مطالب درسی دوره کارشناسی ارشد سازه های آبی

****

و دکتری مهندسی رودخانه

مهندسی رودخانه پیشرفته

قسمت اول:

مرفولوژی رودخانه ها و مطالعات رودخانه ای

****

دکتر مهدی یاسی

دانشیار مهندسی رودخانه

گروه مهندسی آب ، دانشگاه ارومیه

۱۳۹۴

(۲)

" فهرست مطالب "

عنوان	صفحه

سیمای عمومی درس

برنامه دوره درسی

فهرست منابع درسی

فصل اول : مقدمه ۱

فصل دوم : شناخت رودخانه‌ها ۶

مرفولوژی رودخانه‌ها ۶

تقسیم‌بندی رودخانه‌ها ۶

تغییرات رودخانه ای ۱۵

انواع تغییرات ۱۵

عوامل تغییر و کنترل رودخانه‌ها ۱۸

فاکتورهای کمی مطالعه تغییرات رودخانه‌ای ۲۲

مکانیزم تغییرات رودخانه‌ای ۲۵

مکانیزم مارپیچی شدن رودخانه‌ها ۳۲

توزیع تنش برشی در پیچها ۴۰

مکانیزم شریانی شدن رودخانه‌ها ۴۴

پیش بینی عکس العمل رودخانه‌ها ۴۷

معادلات رژیم ۴۸

روشهای کیفی ۵۱

(۴)

عنوان	صفحه
روشهای کمی	۵۳
تخریب دیوارههای رودخانه	۵۷
عوامل فرسایش وتخریب دیوارهها	۵۸
مکانیزم گسیختگی دیوارهها	۶۰
پایداری دیوارههای رودخانه	۶۷
کنترل وحفاظت رودخانههای سیلابی	۷۷
کلیات	۷۷
اصلاح مسیروحفاظت دیوارههای رودخانه	۸۰
متغیرها دراصلاح مسیررودخانه	۸۲
طرح اصلاح مسیررودخانهها	۸۴
میان بری رودخانه	۹۵
کنترل وتثبیت بستررودخانه	۹۷
لایروبی رودخانه	۹۹
تثبیت وحفاظت دیوارههای رودخانه	۱۰۰
روشهای اصلاح مسیروحفاظت دیوارههای رودخانه	۱۰۲
حفاظت دیوارههای رودخانهدرمقابل عوامل هیدرولیکی	۱۰۵
الف)روشهای حفاظت مستقیم دیوارهها	۱۰۵
روکش سنگریزهای	۱۰۶
روکش تورسنگ	۱۰۸

عنوان	صفحه
روکش بتنی مفصل دار	۱۱۲
روکش کیسه‌ای	۱۱۳
روکش آسفالت	۱۱۴
روکش تایرماشین	۱۱۵
حفاظت با ماشین‌های اسقاطی	۱۱۵
پوشش گیاهی	۱۱۶
ب) روشهای حفاظت غیرمستقیم: آرام کننده‌ها	۱۲۷
روش شبکه‌ای	۱۲۷
روش جک فلزی	۱۲۸
ج) روشهای حفاظت غیرمستقیم: انحراف دهنده‌ها	۱۲۹
دیواره‌های شمع کوب چوبی	۱۲۹
آب شکن پره‌ای	۱۳۰
آب شکن ها	۱۳۲
آب شکن مستغرق	۱۳۹
کنترل سیلاب دشتها	۱۳۹
دیواره‌های خاکریزطولی	۱۴۰
حفاظت دیواره‌های رودخانه دربرابرعوامل بیرونی	۱۴۶
ممالح ساختمانی	۱۴۷

عنوان	صفحه
روش حفاظت سنگریزه‌ای	۱۸۶
انتخاب اندازه سنگها	۱۸۶
دانه‌بندی سنگها	۱۹۰
شکل سنگها	۱۹۱
ضخامت سنگریزی	۱۹۱
ارتفاع سنگریزی	۱۹۲
فیلترگذاری	۱۹۵
نحوه سنگریزی	۱۹۶
حفاظت پنجه دیواره	۱۹۷

عنوان	صفحه
فصل سوم : مطالعات رودخانه‌ای	۱۵۱
مراحل مطالعات	۱۵۱
منابع وبررسی‌های موردنیاز	۱۵۲
عکسهای هوائی ونقشه‌های موجود	۱۵۲
مشاهدات وبررسیهای صحرائی	۱۵۳
بررسی زمین شناسی	۱۵۴
نقشه‌برداری زمینی	۱۵۴
ژئوتکنیک ومکانیک خاک	۱۵۶
بررسی اقلیمی وطبیعی	۱۵۷
بررسی هیدرولوژیکی	۱۵۸
بررسی هیدرولیکی	۱۶۰
ضریب زبری	۱۶۰
سرعت متوسط	۱۶۵
محاسبه‌پروفیل سطح آب	۱۶۹
آبشستگی	۱۷۳
عمق آبشستگی عمومی	۱۷۴
عمق آبشستگی موضعی	۱۷۵
بررسی پایداری رودخانه	۱۸۲
انتخاب گزینه‌های مناسب	۱۸۵

فهرست منابع

۱. دفتر استاندارد مهندسی آب کشور (۱۳۸۲). "راهنمای مهار فرسایش و حفاظت رودخانه ها". نشریه استاندارد مهندسی آب کشور- وزارت نیرو، تهران، ایران.

۲. سبزپوند و همکاران (۱۳۸۶). "طبقه بندی رودخانه ها از دیدگاه ریخت شناسی". مهندسی منابع آب ایران، سال دوم، شماره سوم، ۱۳۸۶.

۳. دفتر استاندارد مهندسی آب کشور (۱۳۸۲). "راهنمای طراحی، ساخت و نگهداری پوشش ها در کارهای مهندسی رودخانه". نشریه استاندارد مهندسی آب کشور- وزارت نیرو، تهران، ایران.

۴. یاسی و همکاران (۱۳۸۶). "راهنمای طراحی، ساخت و نگهداری آبشکن های رودخانه ای". نشریه استاندارد ۳۱۱- وزارت نیرو.

۵. مهندسین مشاور سازه پردازی (۱۳۸۰). "راهنمای طراحی و ساخت دیواره های مهار سیلاب (گوره ها)". انتشارات آوای نور، تهران، ایران. همچنین نشریه استاندارد مهندسی آب کشور شماره ۲۱۴ (۱۳۸۰)، وزارت نیرو.

۶. یاسی، م. (۱۳۶۷). "اصلاح مسیر و حفاظت دیواره های رودخانه های سیلابی با روش های طبیعی- ساختمانی". پایان نامه کارشناسی ارشد رشته آبیاری ، بخش آبیاری، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.

۷. یاسی، م. (۱۳۶۸). "اصلاح مسیر و حفاظت دیواره رودخانه فهلیان: گزارش نهائی". کمیته آب جهاد فارس، وزارت جهاد سازندگی، شیراز، شیراز، ایران.

۸. یاسی، م. (۱۳۸۸). "مهندسی رودخانه پیشرفته". مطالب درسی دوره کارشناسی ارشد رشته سازه های آبی، گروه مهندسی آب، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

9. CRC for Catchment Hydrology (1998). "River restoration: A guideline for Australian rivers." Department of Civil Engineering, Monash University, Melbourne, Australia.

10. Gray, D.H., and Leiser, A.T. (1982). "Bio-technical slope protection and erosion control." Van Nostrand Reinhold Company Inc., N.Y., USA.

11. Jansen, P.Ph. et al. (1979). "Principles of river engineering: the non-tidal alluvial rivers." Pitman Publishing Ltd., London, UK.

12. Joglekar, D.V. (1971). "Manual on river behavior control and training." Central Board of Irrigation and Power Publication No. 60, India.

13. Petersen, M.S. (1986). "River engineering." Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., USA.

14. Przedwojski, B., Blazejewski, R., and Pilarczyk, K.W. (1995). "River training techniques: Fundamental, Design and Application." A.A. Balkema, Rotterdam, The Netherland.

15. Scarameia, M. (1998). "River and channel revetments." HR-Wallingford Laboratory, Thomas Telford Publishing Ltd., London, UK.

16. U S Army Corps of Engineers (1981). "The streambank erosion control evaluation and demonstration Act of 1974 Section 32, Public Low 93-251." Final Report to Congress, Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss., USA.

17. U S Army Engineer District, Los Angeles CE. (1980). "Detailed project report for flood control and environmental assessment Sespe Creek at Fillmore, Ventura County, California." Los Angeles CE., USA.

18. Yasi, M. (1997). "Flow and Bed Topography behind a Groyne", Ph.D. Thesis, Department of Civil Engineering, Monash University, Melbourne, Australia.

19. Rosgen, D.L. (1994). "A classification of natural rivers", ELSVIER.

۲۰. دفتر استاندارد مهندسی آب کشور (۱۳۸۶). "راهنمای مطالعات ریخت شناسی رودخانه ها". نشریه استاندارد ۳۱۴.

۲۱. " " " " (۱۳۸۶). "راهنمای طراحی، ساخت و بهره برداری سامانه های انحراف سیلاب". نشریه استاندارد ۳۱۵.

۲۲. " " " " (۱۳۸۴). "راهنمای پرنده بندی سیل و تعیین حد بستر و حریم رودخانه ها". نشریه استاندارد ۳۰۷.

۲۳. ثابتی، ح. (۱۳۸۳). "اصول تقدیماتی مهندسی و ساماندهی رودخانه". پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری جهاد کشاورزی.

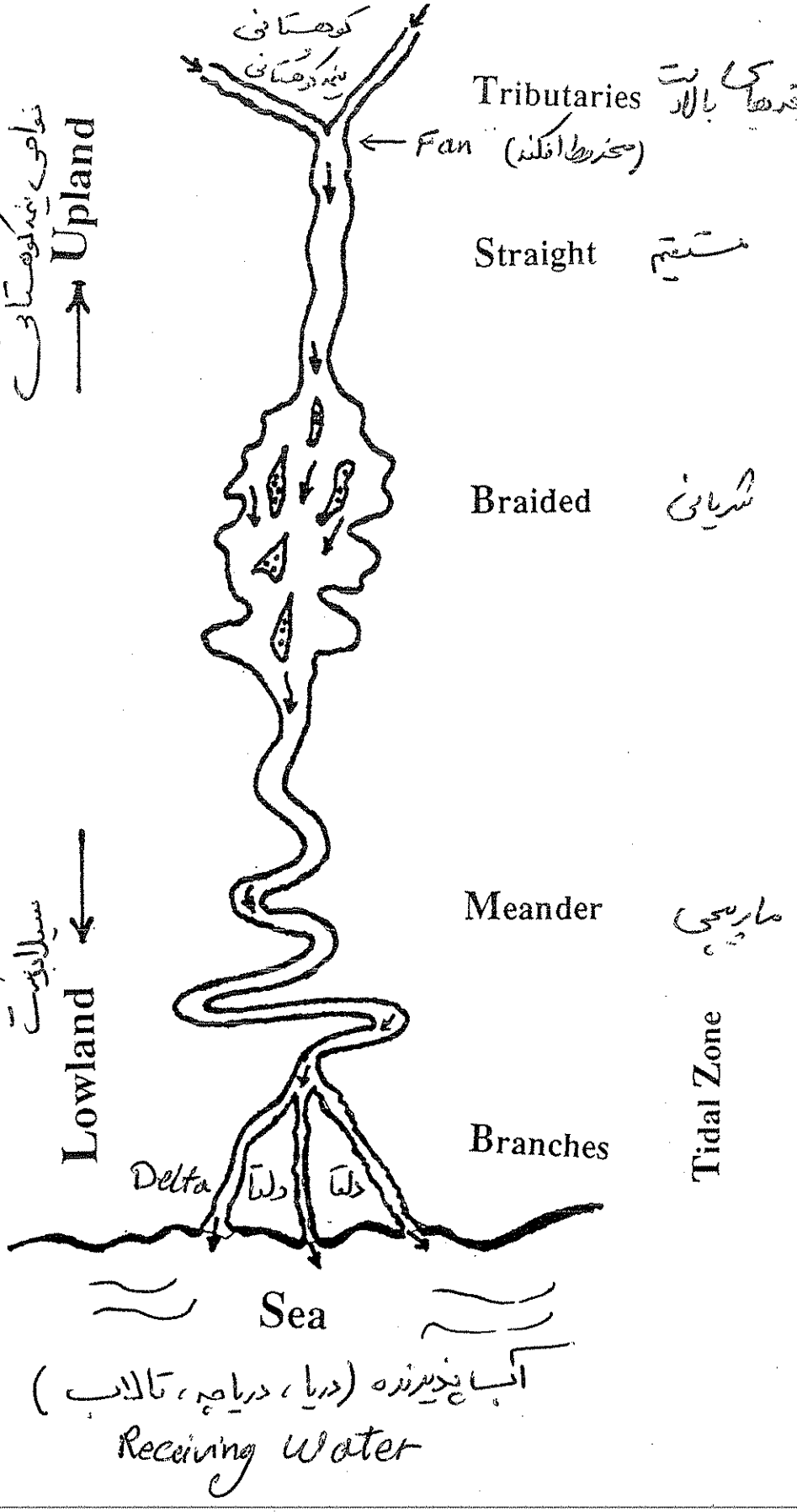
۲۴. جوان، ح. و همکاران (۱۳۶۹). "طرح و آنالیز و اجرای سازه های کوریستکی". معاونت امور آب جهاد سازندگی، ایران.

(11)

رودخانه در مسیر خود

RIVER FORMS ALONG ITS ENTIRE COURSE

****



واژه نامه رودخانه

از: مهندسین مشاور سازاب پیرازان
(۱۳۸۸)

(۱۲)

به استناد آیین نامه نحوه تعیین حد بستر، حریم رودخانه ها، انهار، مسیل ها، مردابها و برکه های طبیعی (مصوب شماره ۴۸۲۰۰/۵۲۰-۱۳۷۰/۴/۱۲ وزیر نیرو) تعریف رودخانه بشرح ذیل ارائه می گردد:

رودخانه: مجرایی است طبیعی که آب به طور دائم یا فصلی در آن جریان داشته باشد.

همچنین به استناد فرهنگ مهندسی رودخانه (استاندارد مهندسی آب- وزارت نیرو) که توسط دفتر مهندسی رودخانه و سواحل کشور در سال ۱۳۷۷ تحت عنوان نشریه ۱۹ منتشر شده است، تعریف رودخانه بشرح ذیل ارائه شده است:

رودخانه: بستر و یا توده ای از آب جاری که در یک مسیر یا مجرای طبیعی باز جریان دارد و نهایتاً به یک اقیانوس، دریا، دریاچه، رودخانه و غیره می ریزد.

در دائرة المعارف Wikipedia تعریف های ذیل برای آبراهه، آبراهه فرعی و رودخانه ارائه شده است.

Astream is a body of water with a detectable current, confined within a bed and banks. stream also an umbrella term used in the scientific community for all flowing natural waters, regardless of size.

آبراهه (Stream) : توده ای از آب در مسیر و با بستر و کناره های مشخص گویند. همچنین آبراهه یک کلمه عمومی است که در مباحث علمی از آن برای هر جریان طبیعی آب بدون در نظر گرفتن ابعاد مسیر این جریان استفاده می شود.

Tributary: A contributory stream, or a stream which does not reach the sea but joints another river (a parent river). Sometimes also called a branch or fork.

آبراهه فرعی: آبراهه ای کمک کننده یا آبراهه ای است که به دریا (یا رودخانه) وصل نمی شود بلکه به رودخانه دیگری (رودخانه اصلی) وصل می شود. گاهی به این نوع آبراهه فرعی یا شاخه می گویند.

A river is a large natural waterway. from their source, all rivers flow downhill, typically terminating in the ocean. Smaller side stream that join a river are tributaries.

مسیل (Flood way) : در معانی ذیل به کار می رود:

۱- آبرو طبیعی یا مصنوعی که برای عبور جریان سیل در نظر گرفته می شود.

۲- زمین هایی که کنار مسیر رودخانه و در معرض طغیان آب بوده و جریان سیل در آنها پیش بینی شده است (فرهنگ فنی آبیاری و زهکشی، ش ۱۶۷۰-۱ و ۱۶۷۰-۲)

۳- به معنی: مجرای آب، محل عبور سیل، جای سیل گیر، جمع آن، مسایل است. (عمید، ج۳، ص ۲۲۴۷).

۴- مجرایی است طبیعی که سیل حاصله از باران و برف و رگبارها موقتاً در آن جریان پیدا می کند (فرهنگ اصطلاحات حقوقی صنعت آب و برق، ش ۳۱۰۳).

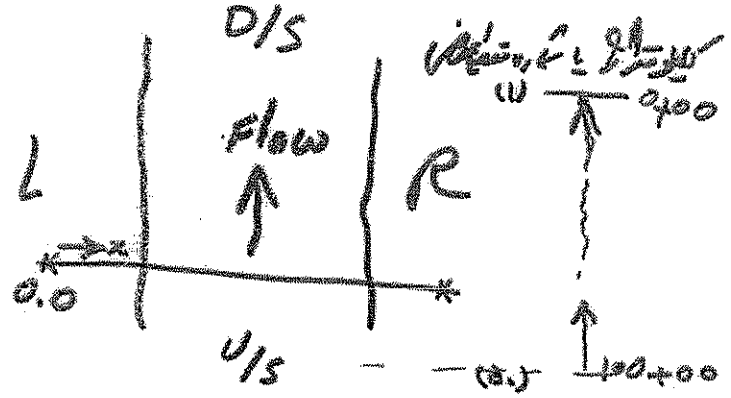
River Survey : مطالعات رودخانه‌ای

- نقشه‌برداری رودخانه

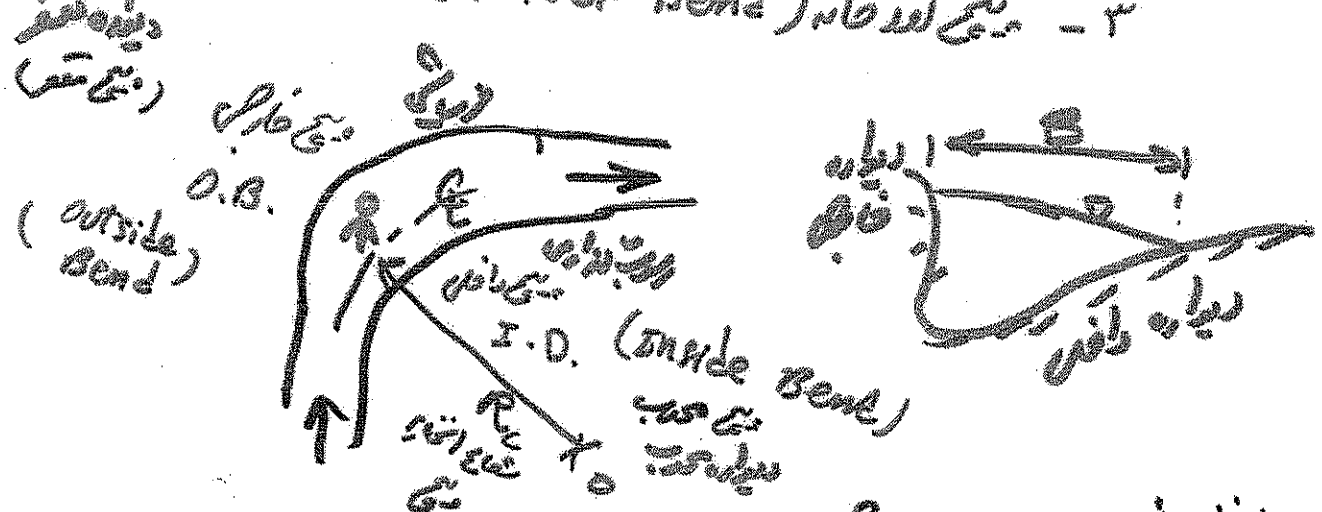
قاعده عمومی در مطالعات رودخانه‌ای :

۱- از پائین دست (D/S) به بالادست (U/S).

۲- از سمت چپ (Left Bank) به سمت راست (Right Bank).

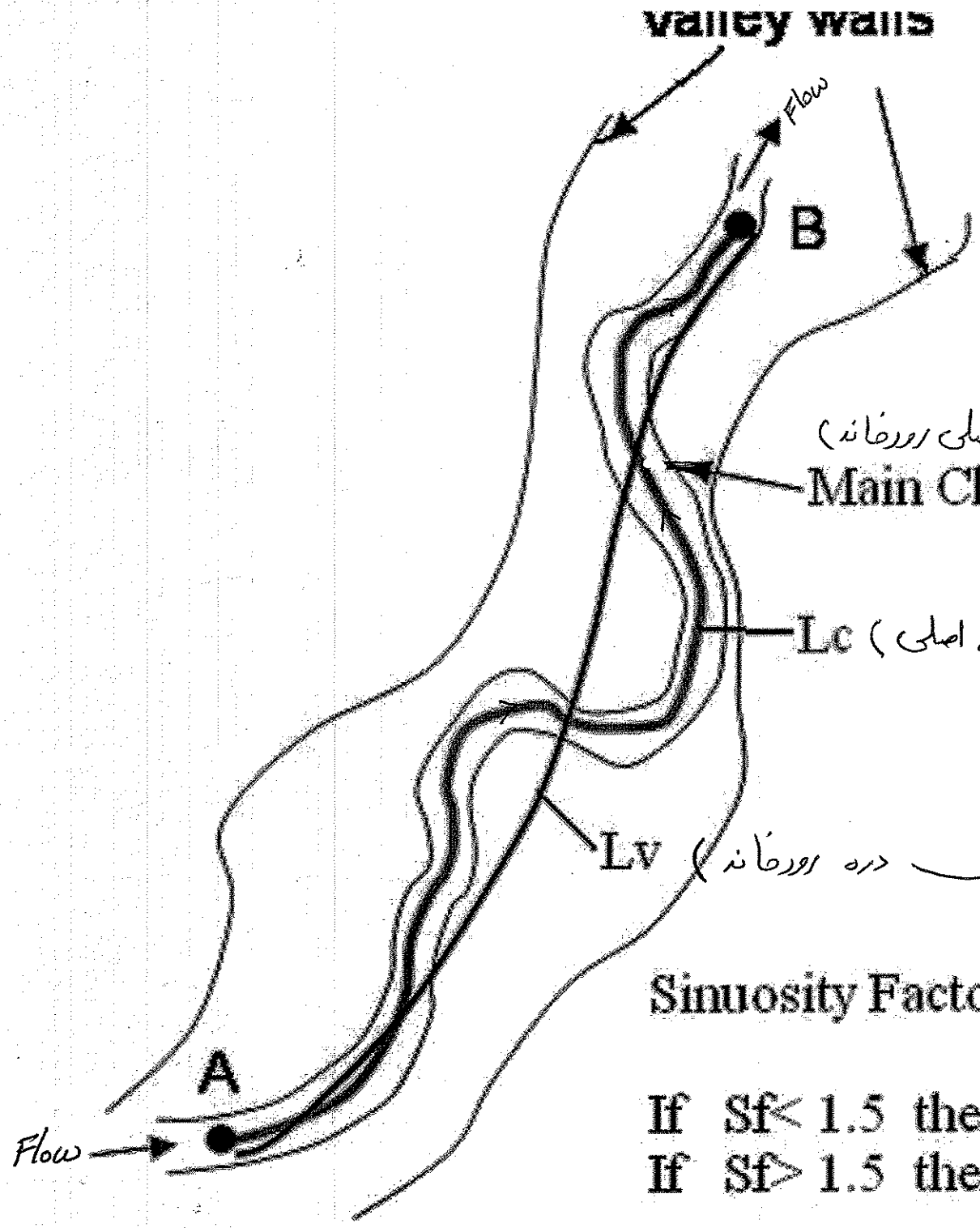


۳- پیچ رودخانه (River Bend)



انحناء پیچ : $\frac{\text{شعاع انحناء}}{\text{عرض سطح آب (عرض متوسط بدنه اصلی)}} = \frac{R_c}{B}$

Sharp Bend $\frac{R_c}{B} < 2.6$ — Mild Bend $\frac{R_c}{B} > 2.6$



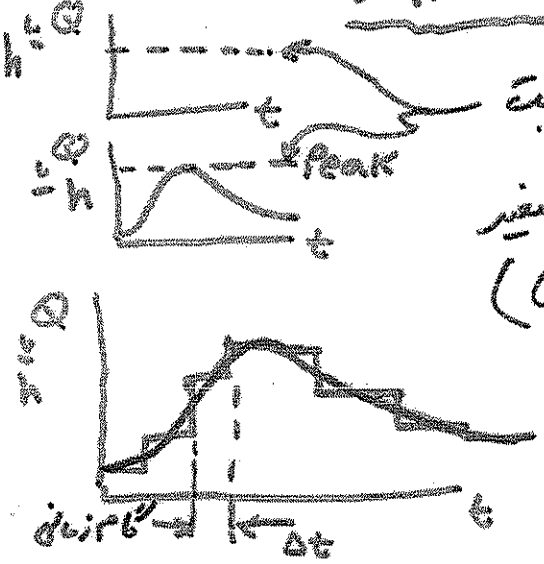
ضریب ماریچی
یا
ضریب پیچشی
یا
ضریب سینوسی

Sinuosity Factor: Sf=Lc/Lv

If Sf< 1.5 then Straight River Reach
If Sf> 1.5 then Meander River Reach

شناسنامه جریان در مجاری روباز

۱- { جریان پایدار (Steady): با دبی ثابت
" ناپایدار (Unsteady): با دبی متغیر
" شبه پایدار (Quasi-Steady)
(دبی در هر گام زمانی ثابت باشد).
بیشتر مسائل مهندسی جریان آب در رودخانه جریان ناپایدار آب



۲- { جریان یکنواخت (Uniform): عمق آب در طول بازه ثابت
" غیر یکنواخت (Non- ") : { تندشونده (G.V.F.) ← کاهش عمق در جهت جریان
کندشونده (R.V.F.) ← افزایش عمق در جهت جریان

۳- حالت جریان:
- آرام: در مجاری روباز نداریم.
- متلاطم: " " " داریم. $f = F(Re, \frac{K_s}{R})$
- متلاطم کامل: عموماً در رودخانه‌ها داریم. (Fully Turbulent)
در آن f یا $n = F(\frac{K_s}{R})$ (زبری نسبی) ضریب مقاومت جریان (ضریب زبری)
توابع عدد رینولدز نیستند.

عدد رینولدز $Re = \frac{VR}{\nu}$ که R شعاع هیدرولیکی $= \frac{A}{P}$ سطح مقطع خیس شده

* جریان متلاطم، یعنی $Re = \frac{VR}{\nu} > \frac{1250}{f}$ و اختلاط در آب و ...!

شدت تلاطم جریان (TI) { کم: جریان یکنواخت در کانال ⟷ آرام!
متوسط: جریان غیریکنواخت تندشونده، در سرریزها نسبتاً مستقیم‌الوجه
زیاد: در تغییر مقطع تند، در محل پل، در پایین دست سازه‌های آبی، در حرکت باد و ... (موج و ...)

تلاطم Turbulence

William Froude : (1810-79), England

۴ - رژیم جریان

$F_r = \frac{V}{\sqrt{gD}}$ ← عمق هیدرولیکی $= \frac{A}{B}$ ← سرعت متوسط

عدد فرود.

- $F_r < 1$ زیربحرانی : جریان عمدتاً در کانال‌ها، رودخانه‌ها (حتی در مواقع سیلابی)
  (کنترل جریان در پایین دست : DIS Control)
- $F_r = 1$ بحرانی : یک جریان متقطع (مصنوعی) یا فرضی - جریان ناپایدار!
- $F_r > 1$ فوق بحرانی : کم در طول کوتاه در کانال (حالت آبگذرو در پایین دست سازه‌های آبی)
  " " " در رودخانه (پایین دست پل و سازه‌های آبی)
  در بازه کوهستانی (با شیب تند و متغیر)
  در محل جهش و یا موج‌های بلند

(کنترل جریان در بالادست : US Control).

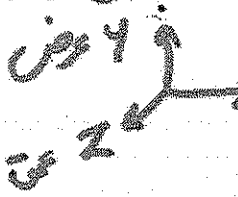
۵ - بُعد جریان (از نظر محاسبات هیدرولیکی)

تحلیل جریان بصورت

- یک بُعدی (1D) : اندازه‌ی خصوصیات جریان در راستای عمده‌ی جریان (در کانال یا رودخانه) - در هر مقطع متوسط گرفته (بعد در راستای جریان).
- شبه دو بُعدی : تحلیل یک بُعدی - در چند کانال فرض جریان.
- دو بُعدی (2D) : محاسبات در شبکه‌ی محاسباتی عمدتاً در سطح افق (متوسط عمق سرعت) - (در دو بُعد کارتزین)

- سه بُعدی (3D)

محاسبات در شبکه محاسباتی سه بُعدی (کارتزین)



(۱۵)

روش های طبیعی سازه ای در ساماندهی رودخانه ها

دکتر مهدی یاسی

استادیار گروه آب، دانشگاه ارومیه

مقدمه

رودخانه تحت تاثیر عوامل مختلفی نظیر: زمین شناسی منطقه، توپوگرافی دره رودخانه، خصوصیات مواد آبرفتی سیلابدشت رودخانه، مشخصات هیدرولوژیکی حوزه آبخیز، شرایط هیدرولیکی جریان، و نیز نحوه بهره برداری بشر از آن، تمایل طبیعی به دستیابی به تعادل پویا دارد. طبیعت تغییر پذیری برخی از عوامل فوق سبب میگردد تا رودخانه- حتی در کوتاه مدت و در بازه های مختلف آن- همواره در معرض تغییر و تحول باشد (۴و ۱۱).

تغییرات و جابجایی هایی که در اثر روند طبیعی یا توسعه طلبی هنجار و یا ناهنجار بشر در مسیر، راستا، و هندسه رودخانه رخ می دهد، نتیجه منطقه ای عکس العمل سیستم رودخانه در جهت برقراری موازنه جدید میباشد. تغییرات رودخانه ای بصورت: فرسایش و رسوب گذاری متناوب در بستر، تخریب و تعریض دیواره ها و سواحل، جابجایی الگوی مارپیچی و راستای جریان، تغییر فرم رودخانه (شریانی- مارپیچی- مستقیم)، میان بری و یا انحراف مسیر رخ می دهد. از اینرو برخورد با رودخانه باید کاملا هوشیارانه و مبتنی بر قواعد خاص حاکم بر آن باشد. هر گونه تغییر در ساختار یک بازه رودخانه- هر چند موضعی باشد- موجب یکسری تحولات جدید در محدوده گسترده تری از آن بازه خواهد شد، که لازم است قبل از هر اقدامی، عکس العمل رودخانه به آن پیش بینی گردد (۴و ۶و ۱۱).

فرسایش و تخریب کناره های رودخانه، و تغییر در کیفیت و کمیت جریان رودخانه ای، از مسائل مهم منابع آب و خاک بوده و از دیدگاه زیست محیطی نیز حائز اهمیت است. در اثر وقوع متناوب سیلاب ها هر ساله سطح قابل توجهی از اراضی حاصلخیز دشت آبرفتی به اشغال رودخانه در آمده و دچار آب گرفتگی و بروز خسارت می گردد (۳و ۱۴). ضرورت بهره برداری مستقیم انسان از رودخانه و سرمایه های طبیعی و احداثی در دو بال آن، و نیز ضرورت حفاظت پایدار سیستم حیاتی رودخانه برای آینده سبب گردیده تا مسئله کنترل و مهار رودخانه ها و تعیین حدود و حریم آن مورد توجه قرار گیرد.

تا سال ۱۹۵۰، علم و فن حفاظت سواحل رودخانه ها بجز در موارد محدود پیشرفتی نداشته است. اقدامات انجام شده غالبا بصورت حفاظت های موضعی در پیچ خارجی و در محدودهایی که فرسایش شدید بوده یا تاسیساتی حضور داشته، متمرکز بوده است. بروز خسارات گذشته و یا احتمال خسارات در آینده نزدیک انگیزه اصلی برای کنترل و حفاظت بازه رودخانه ای بوده است. بیشتر روش های حفاظتی، ساختمانی بوده و در موارد محدودی از روش های طبیعی یا بیولوژیک استفاده شده است (۴و ۸و ۱۴).

در دهه های اخیر، روش ها و تکنیک های مختلف ساماندهی رودخانه توسعه یافته است. ولی باید توجه داشت که، رودخانه ها- و بازه های مختلف آن از نظر رفتار عمومی و مکانیزم فرسایش و تخریب کناره ها با یکدیگر متفاوت

اند. از طرفی نحوه برخورد با رودخانه بستگی به اهداف، اهمیت اقتصادی و اجتماعی، ملاحظات زیست محیطی، و امکانات طبیعی و فنی در منطقه طرح دارد. از اینرو، طرح ساماندهی و روش های تثبیت و حفاظت نیز لزوما متفاوت بوده، و یک قالب مشخص و واحدی برای تمام رودخانه ها و در همه نواحی وجود ندارد. روش هایی که در بعضی مناطق یا کشور ها موفق بوده، دلیل برتری و گزینش آن در شرایط دیگر نخواهد بود (۱۱و ۱۴).

امروزه بسیاری از رودخانه های جهان نظیر : رودخانه می سی سی پی و ویلامت در آمریکا، رودخانه راین در اروپای غربی (آلمان- فرانسه- هلند)، رودخانه زرد در چین، رودخانه گنگ در هند، رودخانه اسلی و یارا در استرالیا و ... با کاربرد محدوده وسیع و متنوعی از روش های گوناگون سازه ای و طبیعی هنوز در مرحله مطالعات، اجرا، و ارزیابی هستند.

در ایران، تا سال ۱۳۶۰، صنعت آب و نظام آموزش عالی کشور اصولا فاقد شناخت علم و فن "رودخانه" و "رودخانه داری" بود. اقدامات رودخانه ای عموما بصورت موضعی و در جهت حفاظت پل ها و تقاطع راه ها، و یا حفاظت سازه های آبی و یا تاسیسات ساحلی بوده است. روش های حفاظتی غالبا با دید ساختمانی و شهرسازی، و با کاربرد گزینه های سازه ای، صلب و غیر قابل نفوذ بوده اند، که در مجموع کارکرد ناموفقی داشته اند. اندک مطالعات رودخانه ای نیز که در دهه ۱۳۵۰ توسط مشاوران خارجی (نظیر مشاور فرانسوی سوگراه) در مورد زاینده رود (در محدوده تاریخی شهر اصفهان) و رودخانه قزل اوزن (در بالا دست سد سفیدرود) صورت یافت، در مرحله شناسائی و مقدماتی باقی مانده بود. علیرغم فعالیت کشورهای همسایه در مورد کنترل تغییرات طبیعی رودخانه های بزرگ مرزی ایران (نظیر اروند، ارس، و هیرمند)- و بعضا مخالف پروتکل های فیمابین- حساسیت خاص و یا اقدامات نظیر و اصولی از سوی ایران و صنعت آب کشور گزارش نگردیده است. سابقه برخی کارهای موضعی (نظیر حفاظت پل زهک بر روی رودخانه هیرمند- در موضع مرزی با افغانستان) نیز به دهه ۱۳۵۰ باز میگردد. عدم شناخت صنعت آب و صنعت نظامی کشور از مسائل رودخانه ای تا حدی بود که در دوران جنگ تحمیلی با عراق، نمایش اجرای برخی راهکارهای حفاظتی رودخانه ای در ساحل راست اروندرود (در سمت کشور همسایه) بصورت موانع نظامی تبلیغ می گردید (هرچند که بدین منظور نیز میتواند باشد).

در دهه ۱۳۶۰، خسارات مالی و بعضا جانی که در اثر طغیان رودخانه ها و آبگرفتگی اراضی زراعی و مسکونی در بیشتر نقاط ایران بوجود آمد، سبب شد تا تعداد بسیار زیادی از طرح های موضعی بصورت ضربتی توسط جهاد سازندگی استان ها (با درجات علمی و فنی مختلف) به اجرا در آید که، عموما در کوتاه مدت نیز ناموفق بوده اند. بتدریج، مطالعات تعدادی از رودخانه های ایران نظیر : ارس (آذربایجان شرقی) ،زرینه رود (آذربایجان غربی)، زنجان رود و قزل اوزن (زنجان و گیلان)، کرخه (خوزستان)، رودخانه های حسن لنگی و جلابی (هرمزگان) ، رودخانه شاپور وحله (بوشهر) ، و رود کر و رودخانه فهلیان (فارس) مورد توجه قرار گرفته و در مواردی نیز به مراحل اجرا در آمد.

در دهه ۱۳۷۰، بتدریج صنعت آب کشور در سطح وزارت نیرو به واحد مهندسی رودخانه و سواحل تجهیز گردید. در دهه ۱۳۸۰، تشکیل و سازماندهی دفاتر مهندسی رودخانه، و آموزش ضمن خدمت کارشناسان در سطوح کارشناسی و کارشناسی ارشد در تمام سازمان های آب منطقه ای در دستور کار قرار گرفته است. تعیین بستر و حریم طبیعی و قانونی رودخانه ها از اولویت برخوردار گردیده، و ساماندهی رودخانه های بزرگ و مرزی مورد نظر قرار گرفته است. دروس مهندسی رودخانه در سطح کارشناسی (رشته آب- دانشکده های کشاورزی، و رشته عمران- آب دانشگاه

صنعت آب و برق) و در سطح کارشناسی ارشد و دکتری (رشته سازه های آبی- گروه آب دانشکده کشاورزی، و رشته عمران- آب) برقرار گردیده است.

در سال های اخیر، تقریبا تمامی مهندسین مشاور به گرایش صنعت آب کشور در سرمایه گذاری گسترده در بخش مهندسی رودخانه واقف گردیده و بهر طریق ممکن سعی در کسب درجه و رتبه لازم دارند. بسیاری از رودخانه های داخلی (نظیر: گاماسیاب و سیمره، رود کر و سیوند، رود کارون و بهمنشیر، زاینده رود و ...) و رودخانه های مرزی (نظیر: ارس غربی و شرقی، بالهارود، و تجن- در مرزهای شمالی، و ...) در حال حاضر در مراحل مطالعاتی قرار داشته و بعضا بطور موضعی تحت عملیات ساماندهی نیز بوده یا هستند.

ارزیابی عمومی گزارشات مطالعات رودخانه ای ایران در مراحل مختلف نشان میدهد که، گرایش سرمایه گذاری کلان در این زمینه با قابلیت و توانائی موجود مهندسین مشاور و مدیریت صنعت رودخانه داری کشور (و استان ها) سازگاری ندارد. در بعضی موارد، حتی فرایند علمی و فنی مشاوران در مطالعات رودخانه ای در دهه ۱۳۸۰ ضعیف تر از دهه ۱۳۶۰ آنان است. یکی از شاخص های مهم در این زمینه، تداوم گرایش مهندسین مشاور و سازمان های آب در پیشنهاد و اجرای روش های سنتی ساختمانی و گاها روش های مطرود (از جنبه های علمی، فنی، اقتصادی و زیست محیطی پایدار رودخانه) است. عموما مطالعات حجیم و کلاسیک مرفولوژیکی، هیدرولوژیکی و هیدرولیکی رودخانه مورد نظر، جایگاه و تاثیرات شفافی در طرح ساماندهی پیشنهادی و روش های کاربردی ندارند. کاربرد روش های طبیعی و بیولوژیک، و روش های تلفیقی (بیومکانیک یا طبیعی- سازه ای)، و پیشنهاد کاربرد تنوعی از گزینه های مختلف (متناسب با شرایط خاص و موضعی در یک بازه طولانی تراز رودخانه) یا نادیده گرفته میشود، و یا با توجیهات سنتی و غیرقابل قبول بصورت گزینه های نامناسب، ناممکن و یا غیر اقتصادی مردود معرفی می گردند.

واقعیت اینست که، خسارات ناشی از تخریب و جابجائی رودخانه ها (بصورت تدریجی و یا ناگهانی در مواقع سیلاب های بزرگ) بسیار زیاد است. این خسارات در کشورهائی نظیر آمریکا- توسط انجمن مهندسین ارتش آمریکا (که قویترین قطب علمی و فنی مهندسی رودخانه و سواحل دنیا بشمار می آیند)- هر ساله برآورد واقعی گردیده و به کنگره گزارش میگردد. در ایران، خسارات سیلاب های سال ۱۳۷۶ (برای رودخانه های بزرگ و در مواضع مهم) معادل ۷۰ میلیارد تومان گزارش شده است (۳). بعضا رسانه های عمومی، خسارات سیلاب های منفرد در مناطق مختلف کشور را در محدوده ۳۰ تا ۱۰۰ میلیارد تومان اعلام می کنند. بهر حال، مبنای علمی و آماری برآوردهای فوق بصورت عمومی گزارش نگردیده است.

واقعیت دیگر اینست که، در تمام دنیا هزینه معادل برای کنترل خسارات رودخانه ای خیلی بیشتر از برآورد خسارات است. بطور مثال، بر اساس آخرین ارزیابی مستند مهندسی ارتش آمریکا (۱۹۸۱)، نسبت متوسط هزینه سالیانه کارهای حفاظتی رودخانه های مهم آمریکا به منافع حاصل از آن (یعنی به برآورد خسارات احتمالی رودخانه) معادل ۴/۴ بوده است (۱۴). بعبارت دیگر علیرغم سابقه علمی و تکنولوژی کارهای آبی در آمریکا، کارهای رودخانه ای عموما غیر اقتصادی گزارش گردیده اند. هنوز هیچ روش عمومی، جهانی وکم هزینه برای حل مسئله تخریب رودخانه ها وجود ندارد. در رودخانه های بزرگ، هزینه ها بسیار بالا خواهد بود . تنها در رودخانه های کوچک- با کاربرد روش های بومی و با مصالح طبیعی و موجود می توان حفاظت های کوتاه مدت ولی کم هزینه را تامین نمود. بهمین دلیل از دو دهه اخیر، گرایش جهانی بسمت طرح های کم هزینه (Low-cost projects)- از طریق توسعه کاربرد گزینه های مختلف بیولوژیکی و یا طبیعی- سازه ای بوده است (۱۴). همچنین، طبیعت غیر

اقتصادی طرح های رودخانه ای با تاکید بر جنبه های زیست محیطی پایدار با اهداف حیاتی- ملی (برای رودخانه های داخلی) و نیز اجبارات حیاتی- بین المللی (برای رودخانه های مرزی و مشترک) توجیه و امکان یابی میگردند. در کشور ایران، جای تعمق بسیار است که چگونه برآورد مهندسین مشاور مختلف از طرح های رودخانه ای در مناطق مختلف کشور (داخلی و مرزی)- حتی با گزینش روش های سنتی و مرسوم و بدون احتساب بسیاری از منافع نهان و حیاتی- عموما اقتصادی ارزیابی گردیده و برای اجرا پیشنهاد میگردند؟ لازم به یادآوری است که بر اساس گزارشات موجود، برآورد هزینه طرح های ساماندهی رودخانه های ایران (بر اساس فهرست بهای رسمی کشور در سال ۱۳۸۲) تقریبا معادل یک میلیارد تومان برای هر کیلومتر طولی رودخانه بوده است (دفتر مهندسی رودخانه- وزارت نیرو، ۱۳۸۲ و مهندسین مشاور یکم، ۱۳۸۲- در طرح رودخانه بالهارود). از آنجا که نظام پیمانکاری ایران تجربیات فنی، تکنولوژیکی و مدیریت اجرائی لازم در کارهای رودخانه ای را هنوز به اثبات نرسانده است، اگر طرح های مطالعاتی انجام یافته به مرحله اجرا در آیند، مطمئنا هزینه انجام یافته خیلی بیشتر از برآورد های نظری فوق نیز خواهد بود.

هدف از ارائه مقاله حاضر، تاکید بر شناخت روش های مختلف طبیعی- سازه ای در کارهای رودخانه ای، ضرورت توجه به تنوع کاربرد این روش ها، اهمیت کسب تجارب لازم در طراحی، اجرا و ارزیابی اقتصادی و فنی هر یک از این روش ها، و لزوم توجه به جنبه های زیست محیطی، اجتماعی و نظامی (بخصوص در مورد رودخانه های مرزی) در طرح های پیشنهادی ساماندهی رودخانه های ایران است.

ساماندهی رودخانه

تا اواسط دهه ۱۹۹۰ میلادی و در سطح جهانی، عموما روح اقدامات مهندسی بر مطالعات و کار های رودخانه ای غالب بود. مفاهیم و واژه هائی نظیر: "مهندسی رودخانه"، "کارهای رودخانه ای"، "تثبیت رودخانه ها"، "اصلاح مسیر رودخانه"، "کنترل سیلاب"، "لایروبی رودخانه"، "بهسازی رودخانه بمنظور کشتیرانی"؛ و یا "کنترل فرسایش دیواره های رودخانه"، "حفاظت دیواره های رودخانه"، "تثبیت دیواره ها و سواحل رودخانه"، که بازتابی از واژگان انگلیسی زیر هستند، بسیار رایج بود؛ و عناوین کتب علمی و فنی، و نیز طرح های رودخانه ای را در بر میگرفت (۶).

River Engineering; River Works; River Training; River Stabilisation; Flood Control; Channel Improvement for Navigation; River Dredging; and, Streambank Erosion Control; Riverbank protection; Riverbank Stabilisation; …

واژه جدید "ساماندهی رودخانه" را نمیتوان و نباید معادل هر یک از واژگان فوق قرار داد. در تمام منابع موجود اخیر، "اصلاح مسیر یا ... رودخانه" شامل تعدیل راستای جریان و بهبود شرایط فیزیکی و هیدرولیکی هندسه رودخانه در یک بازه معین- جهت تامین ظرفیت انتقال جریان (سیلاب مورد نظر)، و تامین پایداری نسبی رودخانه (کاهش تاثیرات فرسایش و رسوب گذاری) می باشد. بعبارت دیگر، اصلاح مسیر شامل: تغییر در عرض، عمق، شیب، مقاومت جریان (فاکتور زبری) و راستای رودخانه است. بطوریکه، جریان آب در یک راستای مارپیچی (با پیچ های معکوس و متوالی، با انحنا نسبتا زیاد، و با غیر یکنواختی تدریجی در هندسه مقاطع عرضی متوالی)، بموازات دیواره های رودخانه هدایت گردیده و در وضعیت جدید تثبیت شود. در عین حال، هندسه هیدرولیکی رودخانه ظرفیت انتقال جریان آب و رسوب مورد نظر (سیل ماکزیمم طرح) را نیز داشته باشد. (۴و ۱۱و ۱۲). همچنین در تمام منابع موجود، تثبیت و حفاظت دیواره های رودخانه مجموعه عملیاتی است که دیواره ها و سواحل رودخانه را در "وضعیت

موجود آن" یا در "راستای اصلاح شده" از تخریب و فرسایش احتمالی حفاظت و کنترل نماید (۴و ۱۱). ولی مفهوم "ساماندهی رودخانه" امروزه فراتر از تعاریف فوق است.

مفهوم جدید ساماندهی رودخانه

در سال های اخیر (و بالاخص از آستانه قرن ۲۱)، مفاهیم و واژه های جدید نظیر: "تجدید حیات"، "بازیابی"، "بازگشت رودخانه به شرایط زیستی آن- قبل از دخالت های ناهنجار بشر"، "بهسازی محیط زیستابی رودخانه ها"، "حفاظت حیات ساحلی رودخانه ها"، که بازتابی از واژگان انگلیسی رایج زیر است، بیانگر توسعه نگرش جامع به سیستم حیاتی و پایدار رودخانه میباشد (۶).

River Restoration; River Rehabilitation; River Management; River Improvement; Sustainable Development of Rivers; Environmental Hydraulics; Eco-Hydraulics; Improvement of Stream-based Life; Environmental Flows; In-stream & Off-stream Habitat Protection; …

امروزه، "ساماندهی رودخانه" عبارت از بهبود "سیستم رودخانه" در یک بازه معین (شامل مقطع اصلی و گستره زیستابی دو بال ساحلی رودخانه) با اهداف چند منظوره است. در مجموعه این اهداف، رفع و یا تعدیل مشکلات ناشی از "رفتار رودخانه" در شرایط طبیعی و موجود آن و یا ناشی از "عکس العمل رودخانه" به تغییرات ایجاد شده در "سیستم زیستابی رودخانه" (Eco-hydro river system) مورد نظر قرار میگیرد (۶). در حقیقت، ساماندهی رودخانه کاربرد دانش علمی، فنی، اقتصادی، زیستی و زیباشناسی در محیط طبیعی و دینامیکی رودخانه را می طلبد.

اهداف مطالعات ساماندهی رودخانه

یک رودخانه معین (در گستره یک بازه مرفولوژیکی معین) ممکن است با یک یا مجموعه ای از اهداف زیر تحت مطالعات ساماندهی قرار گیرد (۶).

۱. تجدید حیات و توسعه پایدار سیستم رودخانه : بازیافت شرایط طبیعی و ظرفیت های زیستی رودخانه؛ حذف و یا تعدیل تاثیرات ناهنجار بشر- بخصوص در طی دو قرن گذشته.
۲. بهسازی محیط زیستابی رودخانه اصلی : کاهش بار رسوبی بمنظور کنترل مسئله ته نشست مواد در نواحی پایین دست رودخانه و بهبود کیفیت آب؛ کنترل آلاینده های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی از منابع معین (فاضلاب شهری، صنعتی، پرورش ماهی) و منابع نامعین (زهکش ها و هرزآب کشاورزی) ورودی به رودخانه- در حد ظرفیت پالایش طبیعی رودخانه؛ تامین جریان زیست محیطی رودخانه (حداقل جریان رودخانه جهت رفع نیاز های زیستابی) بمنظور تامین ظرفیت خود پالائی (هوا گیری و تصفیه) و حفاظت زیستگاه آبزیان (ماهیان، ریز آبزیان- جانوری و گیاهی).
۳. حفاظت حیات ساحلی رودخانه : نوار ساحلی رودخانه- بصورت حریم طبیعی (River riparian zone) بخشی از فضای سیستم حیاتی رودخانه محسوب می شود. گستره عرضی این ناحیه در رودخانه های سیلاب دشتی قابل توجه بوده و غالبا مرطوب و یا بصورت تالاب های فصلی یا باتلاق هستند. این ناحیه بصورت یک نوار حیاتی و زیستگاه طبیعی (برای جانوران زمینی، پرندگان، حشرات، گیاهان- و گاها گونه های منحصر به فرد) محسوب میشود.

۴. اصلاح مسیر رودخانه : بهسازی و اصلاح فرم رودخانه، راستا، شیب، مقاومت بستر جریان و هندسه مقاطع عرضی- بمنظور کنترل سیلاب، کشتیرانی و ...

۵. حفاظت و یا تثبیت دیواره ها و یا ساحل بالای رودخانه : در راستای طبیعی و موجود رودخانه یا در راستای اصلاح یافته.

۶. حفاظت تاسیسات درون رودخانه ای : پل؛ خطوط حیاتی تقاطعی (خط انتقال آب، نفت، گاز، برق و...) ؛ سازه های آبی (سدهای انحرافی، سیفون و...).

۷. جلوگیری از پیشروی جانبی رودخانه به نواحی ساحلی : تهدید و تخریب خطوط حیاتی (راه، مسیر انتقال نیرو ، شبکه آب و گاز...)؛ مناطق مسکونی (شهری- روستایی)؛ و تاسیسات مهم ساحلی (کارخانه، پالایشگاه و فرودگاه ....).

۸. کنترل مرزهای پیشروی سیلاب (Flood encroachments) : حذف یا کاهش خطرات متناوب سیلاب در ساحل بالای رودخانه و یا سیلابدشت رودخانه.

۹. حفاظت نواحی خاص از سیلاب دشت رودخانه : حفاظت موضع مورد تهدید (شهرک، روستا، تاسیسات) در برابر آسیب پذیری متناوب ناشی از گستره سیل بر روی سیلابدشت رودخانه.

۱۰. کاربری رودخانه برای اهداف خاص : تامین راستا، عمق، عرض، و سرعت جریان مناسب جهت کشتیرانی (Navigation)، ماهیگیری (Fishing) و گردشگری (Recreation)؛ برای برداشت مصالح رودخانه ای (Sand mining)؛ برای برداشت آب (Water intake)- از طریق احداث سیستم پمپاژ از رودخانه، احداث سد های انحرافی، اصلاح شبکه های سنتی آبگیری مستقیم از رودخانه.

۱۱. حفاظت، بهسازی و یا بازسازی بنا های تاریخی و مذهبی (Historical / Religious sites) : در داخل رودخانه اصلی (پل های تاریخی، تاسیسات آبی قدیمی...)؛ و یا در ساحل بالای رودخانه (عمارات تاریخی، امامزاده ها و...).

۱۲. ارزیابی پایداری و یا عکس العمل رودخانه به تغییرات : در اثر احداث سد های مخزنی؛ در اثر کارهای مهندسی رودخانه؛ در اثر برداشت مصالح رودخانه ای و ...

۱۳. بهسازی رودخانه در محدوده شهری (Rivers in urban environment) : از نظر ایمنی شهر در مواقع سیلابی (شامل: ظرفیت انتقال سیل معین در طرح شهری، بهسازی نوار ساحلی و طرح خیابان ساحلی در دو بال رودخانه بعنوان بستر سیلاب بزرگتر، بهسازی شبکه تخلیه زهکش شهری به رودخانه و یا احداث دریاچه های مصنوعی تاخیری در شبکه شهری)؛ از نظر زیبا سازی (راستای مارپیچی رودخانه، هدایت جریان در یک مقطع اصلی، توسعه تلاطم سطحی بدون ایجاد نواحی چرخشی جریان، توسعه نوار سبز ساحلی)؛ از نظر ایمنی گردشگران در کناره رودخانه (اجتناب از دیواره سازی قائم و عمیق، نرده های ایمنی، و درعین حال دسترسی آسان به بستر رودخانه)؛ و از جنبه تفریحات سالم (تامین قابلیت ماهیگیری، قایقرانی و ... از طریق ایجاد عمق، سرعت و هواگیری مناسب جریان).

۱۴. تثبیت و حفاظت رودخانه های مشترک مرزی : موضوع رودخانه های مرزی (Boundary rivers) و رودخانه های مشترک تقاطعی- ورودی یا خروجی (Cross-boundary rivers) از جنبه های خاص زیر حائز اهمیت بوده و از حساسیت مضاعف برخوردار است (۶).

- مشکل تغییرات و جابجائی عرضی رودخانه نسبت به موقعیت از پیش تعیین شده "میل های مرزی" (بر اساس قرارداد مشترک مرزی- پروتکل رسمی)؛ تغییرات بصورت طبیعی یا در اثر اقدامات یکجانبه هر یک از طرفین؛ تغییرات بصورت تدریجی یا ناگهانی.
- مشکل برداشت و توزیع سهم آب توافقی از رودخانه- در اثر مشکلات طبیعی در انتخاب محل مناسب و یا تغییرات رودخانه ای.
- ضرورت تثبیت در نقاط کنترل معین جغرافیایی- سیاسی (میل های مرزی)، حتی بدون توجه به شرایط پایدار مسیر رودخانه (خاک باارزش تر از خون !)
- ضرورت ارزیابی عکس العمل رودخانه نسبت به تغییرات جدید و یا حفاظت های موضعی و یکجانبه در یک سوی رودخانه.
- ضرورت مطالعات علمی- فنی دقیق و قابل دفاع برای توجیه طرح در چهار چوب قراردادهای رسمی، و داوری های دو جانبه یا بین المللی (در موارد اختلاف نظر ها).
- ضرورت گزینه یابی روش های طبیعی و بیولوژیکی، بخصوص در ساحل بالای رودخانه- به عنوان روش های موثر ولی با تاثیرات طبیعی و دراز مدت (و پنهان !).
- ضرورت گزینه یابی روش های حفاظتی دو منظوره : ۱) جهت حفاظت و تثبیت رودخانه؛ و ۲) استقرار موانع طبیعی- نظامی برای مواقع نزاع احتمالی مرزی!
- ضرورت هدایت جریان به سیستم آبگیری- تامین شرایط طبیعی در برداشت حقابه قانونی از رودخانه.
- ضرورت نمایش سطح دانش فنی و تکنولوژیک در ناحیه مرزی بین دو کشور.
- ایجاد نوار گردشگری در خط ساحلی (بهسازی طبیعی ساحل رودخانه). همه مردم دنیا دوست دارند از نواز مرزی دیدار نمایند.
- ضرورت احیای شرایط زیست محیطی رودخانه: این مهم گرچه در پروتکل های قدیمی صراحت ندارد، ولی ضرورتا در آینده به عنوان مواد اجتناب ناپذیر در قرارداد های مشترک مرزی وارد و لازم الاجرا خواهد شد.

رودخانه

← نوار باریکی از یک حوضه آبخیز است (منطقه ایلامی - آبخیز دار شیلزی)
(Narrow Strip within a watershed.)

← زهکش طبیعی حوزه است. (natural Drainage)

← محیط زیست طبیعی است. (Environmental System)
برای آبزیان (جانوری و گیاهی) - Aquatic life
" انسان و حیوانات غیر آبزی در نواحی ساحلی - Riparian Zone
در دشت سیلابی رودخانه - Flood plain سیلابه
← مایه حیات است. (The giver of life)

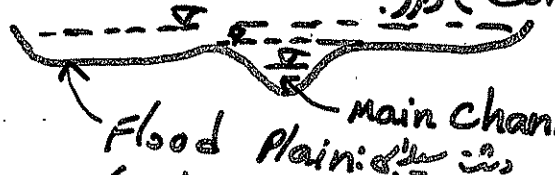
← گذرگاه آبی است. (water course), (water way)
← آبراهه است. Channel, Stream
← مجرای روباز است. Open Channel
← جریان دارد. River flow
← جریان طبیعی (ثقلی) دارد. Gravitational flow
← نهر کوچک است. Stream, Creek
← " بزرگ است. River
← " جریان دائمی دارد. Perennial River
← " فصلی است. Ephemeral River (seasonal ")
← نهر "زاینده رود" است.
← نهر "تغذیه کننده" است.
← نهر "تخلیه کننده" است.
← نهر دارای جریان یکنواخت تر دارد.
← نهر " متغیر و سیلابی دارد. Torrential River
← نهر تحت تاثیر جذر و مد دریا (دریاچه) است. Tidal River
← " غیر " (Inland River). Non-Tidal River
← نهر در ناحیه کوهستانی است. Mountain River
← نهر در مصب دریا قرار دارد. Estuary

River valley رودخانه ...

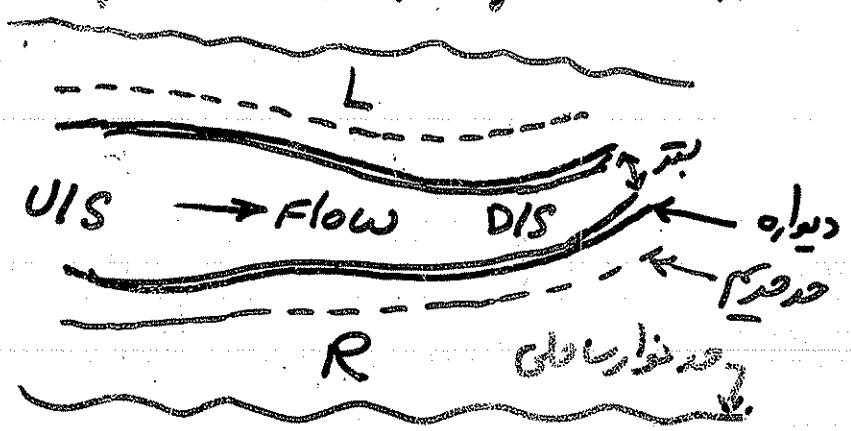
- شناسنامه و تاریخچه دارد. (River History)
- همدیتی و تعادل دارد با: ساختار زمین‌شناسی دره رودخانه، توپوگرافی حوزه، خصوصیات آبرفت دره رودخانه (دشت رودخانه‌ای)، اقلیم حوزه، مشخصات هیدرولوژیکی حوزه، پوشش گیاهی حوزه، خصوصیات هیدرولیکی جریان در آبراهه، نحوه بهره‌برداری انسان از رودخانه، و ....
- فرم و شکل (در پلان) دارد. River Form (in plan) - مستقیم، مارپیچ ...
- مسیر و راستا دارد. River Alignment
- مقطع عرضی دارد. Cross Section عمود بر راستای جریان

گاه مقطع ساده (Single Section) دارد.

" مرکب (Composite Section) دارد.



- رودخانه "بستر" دارد. Stream/River Bed
- " "دیواره" دارد. Stream/River Bank
- " "حریم" دارد. Right-of-way
- " "ناحیه تاثیر متقابل در اراضی دارد Riparian Zone
- " بالا و پائین دارد. Down Stream (D/S), UP Stream (U/S)
- " چپ و راست دارد Left Bank (L), Right Bank (R)



رودخانه ...

← رودخانه یک سیستم طبیعی - زنده و پایدار (جاودان) است. (An immortal living System).
حرکت و جابجائی دارد (مثل اصلی بنام آب!) : River changes
دائماً در تغییر و تکوین است.
میل به تفاضل و بلوغ دارد.
تغییر در مسیر (طول و شیب)، تغییر در شکل و فرم، تغییر در اندازه (عرض و عمق)، تغییر در ... می دهد تا به تعادل و پایداری دست یابد.
گاهی بطور پیوسته و تدریجی و منظم تغییر فرم می یابد.
گاهی بطور نامنظم و یا ناگهانی تغییر می یابد.

← رودخانه بهترین مسیر (راحت ترین و آرام ترین مسیر و راستا) را برای حرکت انتخاب می کند .. با حداقل صرف انرژی و توان به جریان ادامه دهد.

← تغییرات رودخانه ای بسمت "پایدارتر شدن"، "آرام شدن" و "زیباتر شدن"
Towards an equilibrium state
بهترین شاهد، روند مارپیچ شدن رودخانه هاست.

← رودخانه رفتار خاص خود را دارد. (River Behavior)
عموماً خوش رفتار است و قابل پیش بینی است.
گاهاً بد رفتار است و ممکن است قابل پیش بینی نیز نباشد.
← در برابر تغییرات، عکس العمل نشان می دهد. (River Response)
گاهی خشمگین می شود. "خطر" ایجاد می کند. (River Hazard)
یا "فاجعه" می آفریند. (Disaster)

← رودخانه مثل "اسب وحشی" (A wild horse) است.
قابلیت "رام کردن" (Training) دارد. ولی لجاجت نیز دارد.
← قابلیت کنترل، تنظیم، تغییر و اصلاح دارد.
با اهداف : ساماندهی : (River Training)
" : تجدید حیات (احیاء) : (" Restoration)
" : بهبود و بازیابی : (" Rehabilitation)

رودخانه ....

← رودخانه نیاز به مراقبت و نگهداری دارد.

" رودخانه داری " یا " مدیریت رودخانه " (River Management)

مسائل :

- برداشت شن و سایر مصالح رودخانه‌ای (Sand Mining)
- تخلیه فاضلاب ها (Disposal of wastewaters)
- برداشت آب از رودخانه، احداث سد، خشک کردن رودخانه (withdrawal of water)
- توسعه کاربری های آبزی در بستر و کناره ها
- مردابی شدن (اراضی ساحلی) (water logging)
- تجاوز به حریم رودخانه و حریم بستر رودخانه
- تغییرات ناهنجار در مسیر و بستر رودخانه
- احداث پل و تاسیسات آبی در بستر رودخانه و ناهنجاری در شرایط بالادست و پایین دست
- تخلیه زباله و اشغال در کناره رودخانه
- سلفت و ساز در کناره رودخانه (روستا، شهر)
- تخریب حوزه رودخانه و عدم توجه به "مدیریت آبخیز" (watershed management)
- ....

River Degredation : مسائل رودخانه

← مرگ رودخانه (Dead River) ؟

یا

← احیای رودخانه (Restoration) ؟

Environmental flow

مفهوم "مرگ رودخانه" ؟

رودخانه جریان لازم را ندارد (عمق، عرض و سرعت کافی ندارد).
جریان آب، هوای کافی ندارد (قابلیت تهویه و پالایش طبیعی ندارد).
رودخانه فاقد مواد غذائی و معدنی است، ولی مواد آلی وسمی دارد.
آب حاوی زیست توده ریزدانه و کلوئیدی (رس و سیلت ریز) بیش از حد ظرفیت طبیعی آب (تیرگی و آلودگی)
رودخانه ماهی ندارد. حیاتی فرش غوطه ور ندارد
آبزیان: رنگ ندارد.
جلبک‌ها، گیاهان ریز و بنتوزی ندارد.
گیاهان خشن، ناخواسته و آلوده کننده دارد (جلک نیزار و ماندابی، جذامیان ...)

رودخانه قابلیت و ظرفیت حیاتی خود را از دست داده است.
اما، شخص ارزیاب ارزش حیاتی رودخانه، آدم نیست!
بلکه: آبزیان (جانوری و گیاهی) آب.
رودخانه منظر مناسب نیست.

(Natural aeration
Purification)

(Dose)

مثال: در UK:

آئین‌نامه ادوار مجلس UK:

Do > 5 mg/lit : اکسیژن محلول آب

در استرالیا:

حد حیاتی رودخانه: بدون ماهیان بومی

در آمریکا: استانداردهای سلامت برای شنا

اگر در بعضی جاها می‌توانستند تا ۳ گرم از ماهیان رودخانه بخورند سلامت شان تهدید نمی‌شد و جانوران دیگر رودخانه آسیب نمی‌دیدند.

اهداف طرح های ساماندهی رودخانه ها

- تجدید حیات و بازگشت رودخانه به شرایط طبیعی و زیستی آن - در قبال از دخالت های ناصحیح بشر. (River Restoration / River Rehabilitation)
- اصلاح مسیر و راستای جریان رودخانه - برای کنترل و پایداری رفتار رودخانه. (River Training)
- تثبیت و حفاظت دیواره های رودخانه - در برابر تخریب های ناصحیح و ناخواسته دیواره و سواحل و اراضی حاشیه رودخانه.
(River-bank Stabilisation / Bank Protection)
- تثبیت و حفاظت رودخانه های مرزی (Shared-Boundary Rivers)
- جلوگیری از پیشروی رودخانه بسمت راه ها، خطوط انتقال نیرو، شبکه آبی، تاسیسات مهم صنعتی، مناطق مسکونی و شهری و ...
- جلوگیری از تخریب پل و تاسیسات آبی در سیستم رودخانه
- کنترل پیشروی سیلاب در دشت سیلابی رودخانه (Flood Enchroachment)
- بهسازی محیط زیستی رودخانه - از طریق کنترل آلاینده های فیزیکی، شیمیائی و بیولوژیکی
- از طریق تامین جریان زیست محیطی - برای ایجاد ظرفیت پالایش طبیعی، هوادهی و ...
(Environmental Flow)
- تامین شرایط لازم برای تامین (Navigation)، ماهیگیری (Fishing) و ...
زیباسازی رودخانه جهت گردشگری (در محدوده شهرها)
(Recreation)

مطالعات رودخانه ای

نه یک هدف!

← تبیین اهداف مشخص ، درجه و اهمیت طرح رودخانه ای .
تثبیت مرز ؟ ساماندهی عمومی رودخانه ؟ حفاظت های موضعی ؟
اقدامات ضربتی ؟ تثبیت درازمدت ؟ .....

← شناخت رودخانه : مرفولوژی ، رفتار ، روند تغییرات ، عکس العمل رودخانه و..
مکانیزم تغییرات و جابجائی و....
* بررسی زمین شناسی و..
* بررسی اقلیمی ، هیدرولوژیکی (جریان آب و رسوب)
* بررسی هیدرولیکی (خصوصیات جریان)
* بررسی فیزیکی و مکانیکی خصوصیات مواد بستر و دیواره ها
* بررسی زیست محیطی رودخانه

← تشخیص و تفکیک بازه های رودخانه ای - براساس خصوصیات مشترک
تشخیص بازه های بحرانی
اولویت بندی بازه ها در ساماندهی
.....

← بررسی و ارزیابی روش های ساماندهی

← انتخاب گزینه های مناسب
از نقطه زیست محیطی
" " امکان پذیری فنی و اجرائی ، مصالح ، ...
" " توجیه اقتصادی - اجتماعی
.....

← ارزیابی عکس العمل رودخانه نسبت به طرح ساماندهی

← طرح و الگوی مدیریت اجرائی طرح رودخانه ای
- زمان بندی - اولویت بندی قطعات کار با توجه به شرایط رودخانه
- هزینه بندی - واقعی - .....

اقتصاد و هزینه طرحهای ساماندهی رودخانه

الف) مهندسی ارتش آمریکا (۱۹۸۱):

در امریکا بیش از یک میلیون کیلومتر طول رودخانه های آبرفتی میباشد که حدود ۹۲۰,۰۰۰ کیلومتر آن (۱۶,۴٪) در معرض فرسایش و تخریب است. از این مقدار نیز در حدود ۲۲۷۰۰ کیلومتر (۲۴,۷٪) دچار تخریب جدی بوده و در اولویت رسیدگی قرار دارند. برآورد خسارات سالیانه معادل ۲۵ میلیون دلار و هزینه معادل برای کنترل خسارات برابر ۱۱۰۰ میلیون دلار بوده است. نسبت هزینه به خسارات (منافع) معادل ۴,۴ بوده است.

ب) ایران – دفتر مهندسی رودخانه – وزارت نیرو (مهندس چاوشیان) - (۱۳۸۲)

۳۸۰ کیلومتر طول رودخانه در اولویت اول ساماندهی است.

- هزینه حفاظت با روشهای ساماندهی (سازه ای – طبیعی) :

۱. هر یک متر طول رودخانه معادل ۱,۰۰۰,۰۰۰ تومان هزینه را در بر میگیرد. (۱ میلیارد تومان برای هر کیلومتر).

۲. بر اساس فهرست بها (نه واقعی) هرکیلومتر از طول رودخانه معادل ۱,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰ تومان هزینه را در برمیگیرد. پس ۱۴ کیلومتر طرح ساماندهی هزینه ای برابر با ۱۴,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰ تومان را شامل خواهد شد.
(۱۴ میلیارد تومان)

- هزینه مطالعه برای تعیین بستر و حریم :

۱. مطابق شرح خدمات ۴۰۰,۰۰۰ تومان برای هر کیلومتر از طول رودخانه

۲. با اطلاعات صحرایی لازم (نقشه برداری ، نمونه برداری و سفرها و . . .) ۱,۲۰۰,۰۰۰ تومان برای هر کیلومتر از طول رودخانه

ج) کتاب گوره ها – سازمان برنامه و بودجه (مشاور سازه پردازی ایران ، ۱۳۸۰)

در ۵۰ سال گذشته (۱۳۸۰-۱۳۳۰) تعداد ۲۴۰۰ سیل بزرگ در کشور اتفاق افتاده است که ۴۸۰,۰۰۰ واحد مسکونی روستایی و شهری تخریب شده است.

در سال ۱۳۷۶ خسارات ناشی از سیل ۷۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰ تومان برآورد شده است. (۷۰ میلیارد تومان خسارت سال)

✓ ۲۲٪ از مرز ایران (محیط کشور ۸۷۵۵ کیلومتر)یعنی طولی معادل با ۱۹۲۶ کیلومتر، رودخانه مرزی است.

د) طرح ساماندهی بالارود : (۱۳۸۲ ، مشاور یکم)

۴۰ کیلومتراز یک طرف رودخانه(همه جا نیزکار نمیشود) در طرح میباشد که هزینه آن ۱۸,۹۴۷,۷۵۰,۴۶۲,۷ ریال برآورد شده است!(تقریبا ۱۹ میلیارد تومان). – حدود یک میلیون تومان برای هر متر طول رودخانه (در دو ساحل)

ه) طرح ساماندهی رودخانه فهلیان: (۱۳۶۷ ، یاسی)

این طرح بر اساس فهرست بهای سال ۱۳۶۴ ، دارای هزینه ای معادل ۱۰ میلیون تومان به ازای هر کیلومتر بوده است. (۱۰۰۰ تومان برای هر متر)
(با ضریب تقریبی ۸ برای سال ۱۳۸۵)

لـ تفاوت در برآورد هزینه ساماندهی در فاصله زمانی ۱۳۶۵ تا ۱۳۸۲ (۱۷ سال) ، مطابق شاخص فهرست بهای کشوری ، ۱۰۰ برابر است. (تقریبا تفاوت ارزش ریالی دلار آمریکا !).

مرفولوژی
و
رفتار رودخانه ها

"انواع رودخانه ها، روند تغییرات"
"عمل العمل رودخانه ها"

مهدی یامین

۱- ریخت‌شناسی رودخانه (River Morphology)

← مرفولوژی رودخانه : علم شناخت سیستم رودخانه (River System) از نظر :
(در یک مقیاس بندی شده)

۱- شکل و فرم (در پلان) ، راستا و مسیر ، پروفیل طولی ، شیب ، ابعاد و هندسه رودخانه
(تفاوت از رودخانه موجود) : شناسنامه رودخانه

۲- عوامل کنترل و تغییرات رودخانه ای

۳- رفتار رودخانه و روند تغییرات (تاریخچه رودخانه)

۴- مکانیزم تغییرات (چرا و چگونه تغییر می‌کند؟ Why and how?)

۵- عکس العمل رودخانه نسبت به تغییر عوامل کنترل { طبیعی : سیل ، ...
مصنوعی : احداث سد ، برداشت مصالح ، ...

۶- شرایط پایداری رودخانه (پایدار؟ ناپایدار؟)

← تقسیم بندی و شناسائی رودخانه :

۱- از نظر زمین‌شناسی (درجه تکوین) : جوان ، بالغ ، پیر

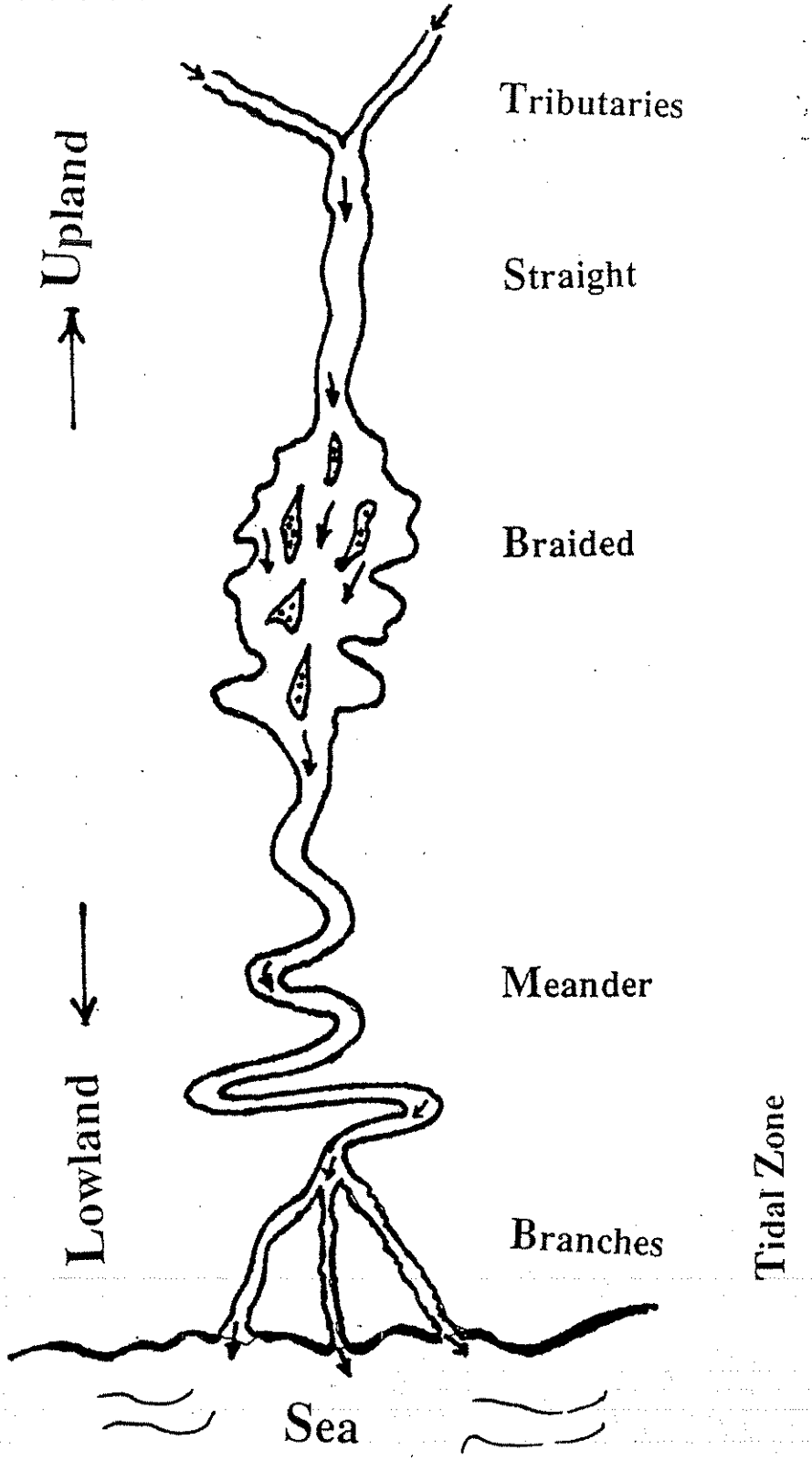
۲- از نظر آزادی تنظیم : - با کنترل زمین‌شناسی یا بدون کنترل
- آزاد یا غیر آزاد (Free Adjustment)

۳- از نظر شکل و فرم ظاهری (در پلان) : مستقیم ، مارپیچ ، شریانی
(Straight) ، (Meander) ، (Braided)

۴- از نظر مواد بستر :
بستر ریزدانه (ماسه‌ای) (Fine-Bed River)
بستر شنی (Gravel-Bed) sand-
بستر درشت دانه (Coarse-Bed River)
(تنه درشت ، تخته سنگ ، قلوه سنگ)

RIVER FORMS ALONG ITS ENTIRE COURSE

****

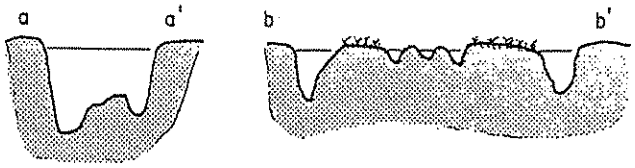


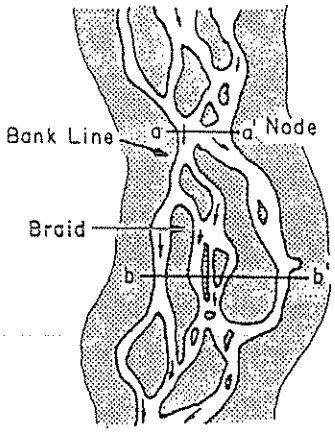
1. TYPES OF RIVERS

****

* Braided:

- Extremely Unstable
- Movable Bars
- A Single Channel
- Unpredictable Channel Shifting

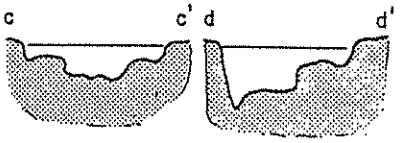


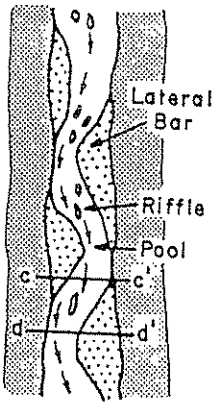


Braided

** Straight:

- Sinuosity<1.5
- Developing Plan Form

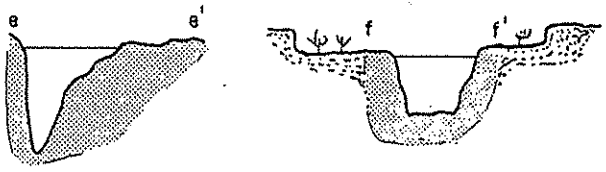


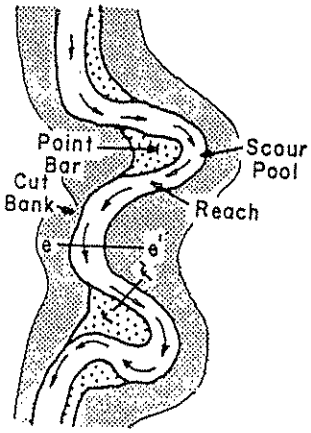


Straight

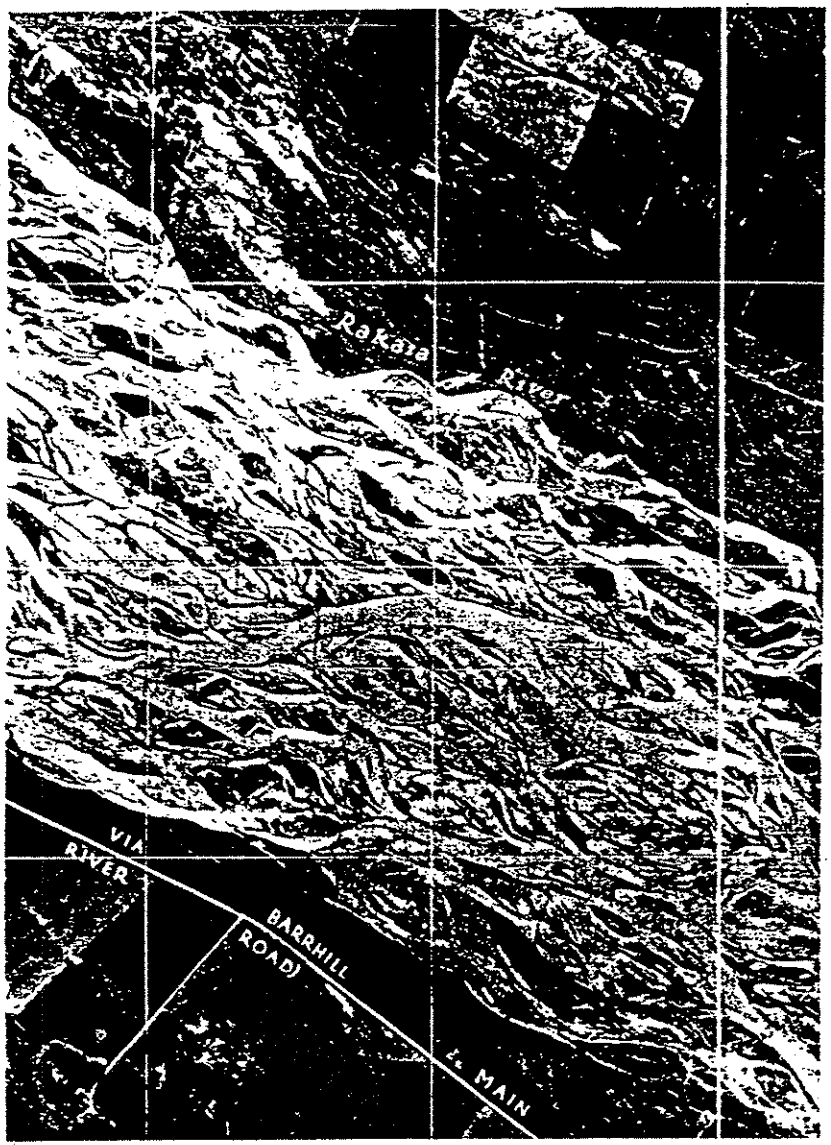
*** Meander:

- Composite Cross Section
- More Stable
- Highly Developed and Regular
- Predictable in Channel Shifting





Meandering



(a)

Figure 10-24. *Typical Natural River Channels, (a) Braided, and (b) Meandering*

[Courtesy New Zealand Lands and Survey Dept.]

(b)

Figure 10-24. *(Continued)* [Courtesy George H. Caddie]

Nixon's is not extremely serious, for in many rivers the six-month and nine-month floods differ by less than 20 percent.

These results are by no means conclusive, and more work is needed to resolve the question. The amount of scatter in the field data suggests that some modification of the statistical approach may be necessary, and indeed there is still no proof that it is even possible to "average" the river flow in the way that has been discussed. The problem offers a tempting field for further investigation.

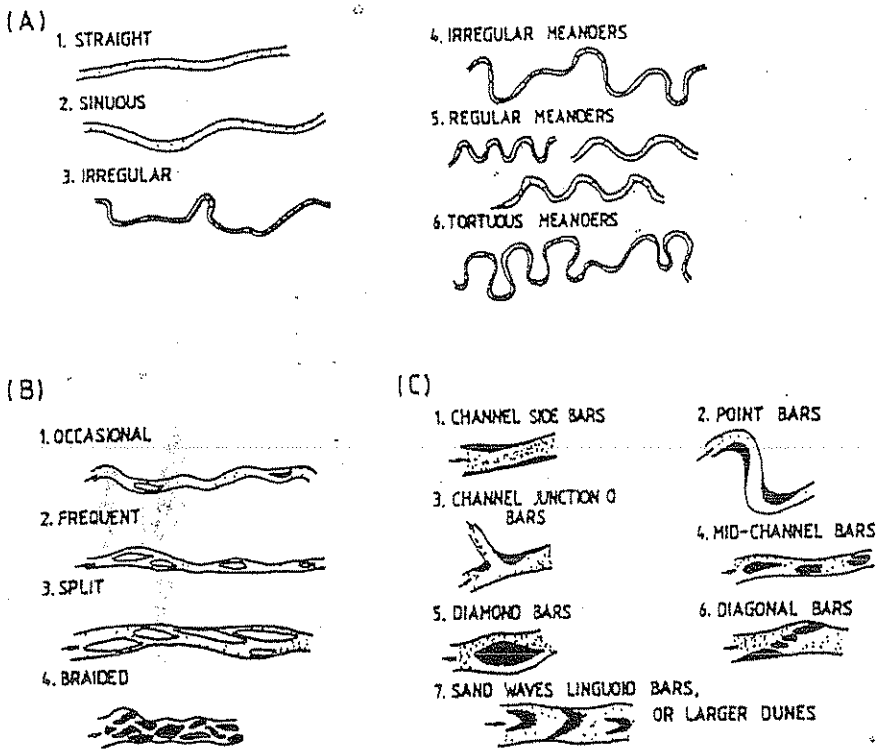


Fig. 2.56. Classification of rivers: (A) – River channel patterns, (B) – Islands, (C) – River channel bars (after Kellerhals et al., 1976).

C) Channel bars (Fig. 2.56C):

1. Side bars: In entrenched straight or sinuous channel, side bars may developed. In very straight channels they can migrate. More frequently their position is associated with slight channel bends and therefore stable.

2. Point bars: These features form on the inside of well-developed bends.

3. Channel junction bars: Where a tributary joins a larger river, a bar frequently occurs immediately downstream, or on both sides of the tributary mouth.

4. Midchannel bars: The bar position remains stable over decades with bed load transport taking place across the bar. Deposition of suspended load in the lee sometimes converts them into islands.

5. Diamond bars: Also called linguoid bars or 'spool' bars by sedimentologists, they are an extreme development of midchannel bars characteristic of braided rivers in sand or gravel.

6. Diagonal bars: This bar type occurs only in gravel bed channels.

7. Sand waves, linguoid bars, or large dunes: This type of bar is common in relatively active sand-bed channels. The most characteristic property is the dune-like profile. The length of such bars is of order channel width, and the height is normally more than 50% of mean bankfull depth.

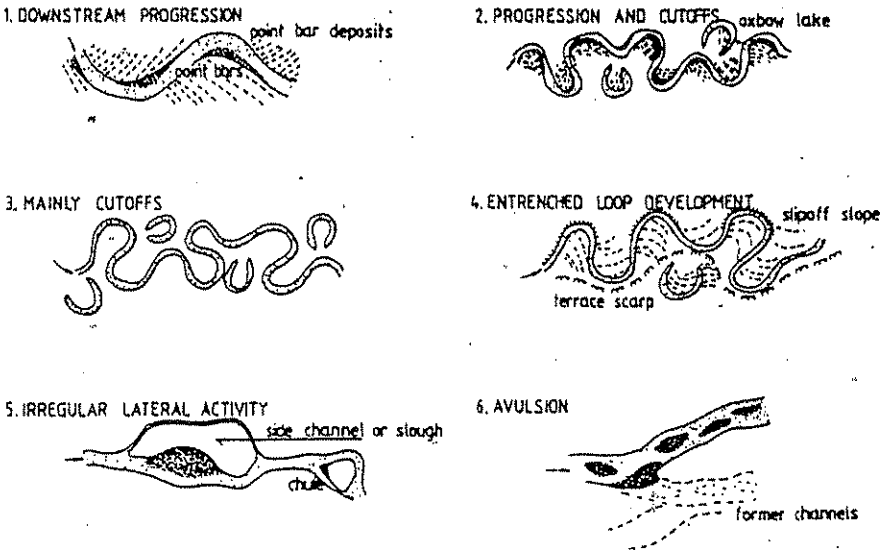


Fig. 2.57. Lateral activity of river channels (after Kellerhals et al., 1976).

Kellerhals et al. (1976) also presented the predominant type of lateral channel activity in the reach (Fig. 2.57). This code consists of the following terms:

1. Downstream progression: The whole meander pattern moves downstream without forming cutoffs.
2. Progression and cutoffs: Common on well-developed flood plains of meandering rivers.
3. Mainly cutoffs: Typical for low-gradient streams with flood plain consisting mainly of vertical accretion deposits.
4. Entrenched loop development: Rivers working downwards and sideways into relatively easily erodible materials.
5. Irregular lateral activity: The occurrence of side channels, chutes and slough, indicating shifts in the main channel position, is typical.
6. Avulsion: Aggrading streams can break out of levees or former channel zones completely and adopt an entirely new course.

Fujita (1989b) carried out detailed flume experiments on the behaviour of multiple row bars leading to braided streams. In his experiments Froude numbers ranged from 0.68 to 2.12, values normally observed in mountain streams. He concluded that braided patterns appeared in cases with small depths and presented a criterion for braided streams. Ackers (1982), based on flume experiments, stated that meander length is strongly dependent on the dominant discharge with secondary dependence of grain diameter. He defined this discharge as 'Dominant discharge is the steady flow, probably lying within the range of imposed periodically varying flow, that would yield the observed meander length in an otherwise similar experiment'. Ackers (1982) main conclusions are as follows:

1. The meander wavelength is closely linked to the wavelength of alternate shoals in a straight channel.

۵- از نظر ابعاد و اندازه : کوچک ، متوسط ، بزرگ

۶- از نظر شکل مقطع عرضی : - مقطع ساده : در ناحیه با شیب زیاد تا متوسط
- مقطع مرکب : در دشت آبرفتی - شیب کم

۷- از نظر محیط اقلیم و رژیم هیدرولوژیکی حوزه :

- دائمی : ← با رژیم جریان نسبتاً یکنواخت (اقلیم مرطوب معتدل)
← با " " تغییر زیاد (اقلیم نیمه خشک ، بارش نامنظم)
- فصلی : (اقلیم خشک و نیمه خشک ، حوزه های کوچک و یا شیب زیاد)
سطح آب زیر زمینی عمیق ، متاثر از رگبارها و ...)

۸- از نظر هیدرولیکی : (Hydro morphology)

← { - رودخانه کوهستانی Mountain River
- " نیمه کوهستانی Semi - "
- " آبرفتی (Alluvial) یا سیلابدشت (Flood Plain)

← برحسب نسبت عمق به عرض : { - عریض و کم عمق (wide and Shallow)
- عمیق و V شکل (V-Shape)

← برحسب مقیاس زبری بستر :
مقیاس زبری = نسبت عمق متوسط به اندازه متوسط مواد بستر
Roughness Scale (Relative Roughness) = $\frac{d}{D_s}$

{ - رودخانه با مقیاس زبری کم $\left(\frac{d}{D_{84}} > 100\right)$ ← بستر ماسه ای
- " " متوسط
- " " زیاد $\left(\frac{d}{D_{84}} < 1\right)$ ← رودخانه کوهستانی

← برحسب فرم بستر (Bed Form) :
{ - بستر تخت و هموار : (plain-bed) ← بستر شنی
- با فرم بستری معین : (Ripple - Dune ...) ← بستر ماسه ای
- با بستر نامعین : (Islands , Bars) ← بستر دشت دانه (شریانی)

۹- از نظر پایداری :

از نظر تغییرات بستر و دیواره (آبراهه‌ها و رودخانه‌ها در شرایط طبیعی)

- پایدار : تغییرات ناچیز قابل ملاحظه در یک دوره زمانی مورد نظر (Stable)
- پایدار دینامیکی : تنظیم و تعادل قابل پیش‌بینی (Dynamically Stable)
- ناپایدار : تغییرات نامعین و گسسته و غیرقابل پیش‌بینی (Unstable)

از نظر تغییرات رسوب

- پایدار : (بار رسوب ورودی = بار رسوب خروجی) از بازه در یک بازه زمانی
- فرسایش (" " < " ") (Degradation)
- ته‌نشستی (" " > " ") (Aggradation)

از نظر تغییرات عرض و عمق

- در شرایط رژیم : تعادل دینامیکی عرض و عمق آبراهه با جریان و رسوب (In-Regime)
- ناپایدار : تغییرات نامعین، ناپیوسته، برگشت‌ناپذیر (Un Stable)

از نظر تغییرات پلان و جابجایی

- جابجائی عرضی - نامعین و نامنظم، تعریض و... ← ناپایداری (خطرناک)
- جابجائی عرضی - معین و قابل پیش‌بینی (روند مارپیچی شدن : Meandering)
  تندتر شدن پیچ و جابجائی به پائین‌دست (Channel Migration)
  ← پایداری
  یا عرض با جریان و رسوب تعادل دارد و نه دوری!
- تغییر عرض آبراهه‌ای
- تغییر الگو (change in Pattern) مستقیم ↔ مارپیچ ↔ شریان

- میان‌بری (در محل پیچ‌ها) - بطور موضعی (Cut-off)
  در موقعیت دقیق باعث پایداری می‌شود (علی‌رغم اثرات آن در بالادست و پایین‌دست)
- تغییر مسیر دائمی (Avulsion)

برای رشته تغییرپذیری سیلاب در بازه رودخانه ← پایدار / ناپایدار

معیارها: ۱- نسبت سری‌های سیلابی در دوره‌های متوالی پیش‌متوسط در دوره‌های ناپایدار

۲- نسبت ماکزیمم سیلاب لحظه‌ای به متوسط ... پایدار

Table 1 Classification of rivers

Size of River	Topography or stream slope	Plan form	Bed material	Remarks
Canal	flat	straight or gently meandering	silt or sand	Stable
Channel in rock or entrenched in valley	any slope	-	bed rock	
Controlled river	stream slope	straight/ meandered	silts/ sands/ gravels	
River	flat	straight/ meandered	silts/ sands	Dynamically stable
River	hilly (moderate slopes)	straight/ meandered	sands/ gravels	
River	steep	straight/ meandered	sand/ gravel/ cobbles	
River	steep	straight/ braided	sands/ gravels/ cobbles	Unstable
Tidal		any plan form	silts /muds	

2.2 General principles

In their natural state rivers are often considered to be in a state of dynamic equilibrium where the channel dimensions are determined by sediment supply and type and the frequency of discharge occurrence. A river in this state of dynamic equilibrium is referred to as being "in regime". When the capacity of a channel to transport sediment is changed due to river improvement work, areas of deposition and erosion can be caused.

In general in the United Kingdom the most frequently carried out river improvement works are flood alleviation schemes, which reduce the flow velocity either by increasing the channel capacity or diverting a proportion of the flood flow from the main channel as described in Chapter 3. Therefore the flood alleviation schemes are likely to generate deposition rather than erosion.

Erosion can occur however when flood flows are allowed to strike an unprotected bank. Often the worst cases of erosion occur downstream of structures or on bends and on reaches of river which have been re-aligned. In all these cases the problem is caused by the local flow velocities being larger than anticipated, especially at flood flows.

۱۰- کاربری اراضی ساحلی

Ri Parian zone (land) use

وضعیت اراضی

(قبل تغییر / اراضی تخریب و بایر ...
اراضی طبیعی

باغ
زراعت
اراضی فعالیت پذیر (از نظر فعالیت سود و ...)

بافت سیمان بدون فاصله ؟
(سیمان بافت بدون فاصله)

روستا
شهر
کارخانه

وضعیت مالکیت اراضی

مشکلات : ① تغییر کاربری بدون اجازه و اثرات آن بر روی محیط زیست
② تأثیرات کاربری موجود بر روی تغییر اراضی (آلودگی)
③ پیشنهادات

مطالب تکمیلی در شناسایی رودخانه

۱۱- بررسی زمین شناسی :

عوامل زمین شناسی که بر کیفیت آب اثر میگذارد.
مثل: گنبدهای نمکی، چشمه های آب شور، چشمه های گوگردی، آب شناسی، تشکیلات زمین شناسی نامناسب (حاوی نمک و ...)

۱۲- مطالعات اجتماعی - اقتصادی

نظیر:

۱- تراکم مناطق روستایی، شهری و ... در نوار ساحلی رودخانه
۲- تقسیمات سیاسی - جغرافیایی
۳- خسارات سیلابهای پیشین
۴- سابقه بروز اختلافات در استفاده از رودخانه
۵- نحوهٔ بهره برداری از آب رودخانه (حقابه ها)
۶- بهره برداری از منابع رودخانه (شن و ماسه و ...)
۷- وضعیت مالکیت اراضی
۸- مقاومت اهالی در برابر تغییرات در بهره برداری از رودخانه، در رعایت حریم و ...
۹- نحوهٔ استفاده (سابقه استفاده) از بستر و حریم رودخانه
۱۰- بررسی منافعی که طرح سامانده‌ی برای اهالی ایجاد می‌کند.
۱۱- پیشنهادات برای کاربری اراضی که آزاد می‌شوند.
۱۲- بررسی اجتماعی - اقتصادی در شرایط موجود رودخانه
و مقایسه با بررسی اجتماعی - اقتصادی در شرایط سامانده‌ی
۱۳- گزینه های مقبول در منطقه و اولویت گزینه ها از نظر مقبولیت اجتماعی ...

پایان نامه کارشناسی ارشد (۱۳۷۷) - دانشگاه شیراز
"مهندسی رودخانه"

"فصل دوم"

"مروری بر مطالعات انجام شده"

مرفولوژی رودخانه‌ها :

مرفولوژی رودخانه[1] ،علم شناخت سیستم رودخانه از نظر شکل و فرم کلی ،ابعاد وهندسه هیدرولیکی ، راستا وپروفیل طولی بستر و نیز روندومکانیزم تغییرات آن میباشد . بررسی مرفولوژیکی برای درک شرایط کنونی وپتانسیل تغییرات احتمالی رودخانه درآینده ضروری خواهدبود وتنها از این طریق میتوان عکس العمل طبیعی آنرا نسبت به تغییرات طبیعی ویا اقدامات ناشی از اجرای طرحهای اصلاح مسیر وتثبیت کناره‌ها پیش بینی نمود .

تقسیم‌بندی رودخانه‌ها :

ازنظرزمین شناسی : دیویس[2] (۱۸۹۹) رودخانه‌ها را ازنظر زمین شناسی وبرحسب سن ودرجه تکوین به‌سه‌گروه : جوان[3] ،بالغ[4] ،وپیر[5] تقسیم‌نمود (گزارش شده ازشوم[6] ، ۱۹۸۴) . بطورکلی یک رودخانه در امتداد مسیرخود ، خصوصیت جوان تا پیر را نشان میدهد . رودخانه‌های جوان درمنطقه کوهستانی با شیب زیاد وراستای نامنظم جریان داشته وبا مقطع V شکل درحالت کف کنی[7] میباشد . رودخانه‌های بالغ‌دردره‌های عریض با شیب کمترجاری بوده وتخریب دیواره‌ها جانشین فرسایش کف بسترشده ونسبتا " پایدار هستند . رودخانه‌های پیردردشت سیلابی عریض (با عرض بیش از ۱۵ تا ۲۰ برابر مارپیچ رودخانه[8] دامنه) با شیب بسیار کم

---

1)- River Morphology 2)- Davis 3)-Youthful

4)- Mature 5)- Old 6)- Schumm

7)- Degradation 8)- Meander belt

وکاملا" مارپیچ جاری میباشند. درمرزمقطع اصلی با بسترسیلابی آنها پشته های طبیعی[1] گسترش یافته ومحدوده بیرونی آن بعضا" بحالت ماندابی درمیآید (پترسن[2]، ۱۹۸۶).

ازنظرآزادی تنظیم[3]: بسیاری ازرودخانه ها درفرآیندشکل‌گیری وانتخاب هندسه هیدرولیکی آزادنیستندوتاثیرعواملی نظیرزمین‌شناسی، تکتونیک وتوپوگرافی محدودکننده میباشد (کلرهال وهمکاران[4]، ۱۹۷۶). شوم[5] (۱۹۷۱ و ۱۹۸۴) رودخانه‌ها را برحسب آزادی به‌دوگروه اصلی تقسیم میکند:

الف) رودخانه‌هائی که توسط سنگ بسترکنترل میشوند[6]. که در این صورت ازنظرشیب، راستا، شکل وابعادمحدودهستند.

ب) رودخانه‌های آبرفتی[7] که‌دربستری ازنوع موادآبرفتی حوزه‌آبخیز خوددرجریان بوده‌ودرتعادل طبیعی با متغیرهای مستقل میباشد.

ازنظرشکل ظاهری: رودخانه‌ها ازنظرشکل ظاهری به‌سه‌گروه اصلی: مستقیم[8]، مارپیچی[9]، وشریانی[10] تقسیم‌میشوند. لئوپولدوولمن[11] (۱۹۵۷) برای تفکیک انواع فوق ازدوعامل: ضریب مارپیچی[12] (نسبت طول محوررودخانه به‌طول دره آن درحدفاصل دونقطه) وفاکتورنسبت عوض به‌عمق استفاده‌کرد.

---

1)-Natural levees 2)- Petersen

3)- Freedom Adjustment 4)- Kellerhals,et.al.

5)- Schumm 6)- Bedrock Controlled 7)-Alluvial

8)- Stright 9)- Meander 10)- Braided

11)- Leopold and wolman 12)- Sinousity

(۲۷)

موری ساوا[1] (۱۹۶۸)، سیمون[2] (۱۹۷۱)، شوم[3] (۱۹۸۴) وپترسن[4] (۱۹۸۶) خصوصیات هریک را گزارش کرده اند.

رودخانه مستقیم: درشرایط مقطع پر، راستای نسبتا" مستقیمی با ضریب مارپیچی کمتر از ۱/۵ دارد. ترکیب جریان اولیه درجهت پائین دست - وجریان ثانویه[5] - درجهت عرضی مقطع - سبب میشودتا خطوط جریان ازصورت محوری خارج شده وبا ایجاد بارهای رسوبی متناوب[6]، مسیرخط القعرجریان رادرشرایط کم آبی مارپیچی نماید. بهمین دلیل توپوگرافی پروفیل طولی بسترنیزفرم پستی وبلندی میگیرد. راستای مستقیم حالت پایدار رودخانه نبوده وبجزدربازه های[7] کوتاه بندرت درطبیعت باقی میماند.

رودخانه مارپیچی: درشکل ظاهری ترکیبی ازسری پیچهای[8] متوالی است که توسط مسیرهای مستقیم وکوتاه[9]، بهم متصل میگردند. این رودخانه ها دربخش پائین دست حوزه که شیب کم بوده وسیلاب دشت گسترش یافته ونیزدرنزدیکی مصب رودخانه باضریب مارپیچی بیش از ۱/۵ حضوردارد. یک مقطع اصلی برای جریانهای متناوب ویک بستر سیلابی عریض درآنها قابل تشخیص میباشد. بواسطه شیب کم، پتانسیل حمل رسوبات آنها کم بوده وبارر سوبی عموما" متشکل ازمواد ریزدانه (رس ولای) است. ازاینرو روندتغییرات درآنها تدریجی ومشخص تر بوده ورودخانه به حالت پایدار میباشد. درمحل پیچ مقطع نسبتا" مثلثی شکل بوده که دردیواره خارجی[10] عمیق میباشد. درحدفاصل پیچها مقطع مستطیلی

---

1)- Morisawa 2)- Simons 3)- Schumm

4)- Petersen 5)- Secondary Current

6)- Alternate Bars 7)- Reaches 8)-Bend

9)- Crossing 10)- Concave/External Bank

شکل با عمق کمتروعرض بیشتر میباشد. بارهای رسوبی به‌صورت بارنقطه‌ای[1] درقسمت دیواره‌داخلی پیچ[2] ونیزبصورت بارهای متناوب درطرفین دیواره‌ها وبارهای میانی[3] درمیانه مقطع ودرقسمت مستقیم آن ته‌نشست میگردند.

رودخانه‌شریانی : درمناطق کوهستانی ونیمه‌کوهستانی با شیب نسبتا " زیاد "، عمق کم وعرض زیادحضوردارد - پتانسیل حمل رسوبات آن بالا بوده‌وبرای اتلاف انرژی مازاد، جریان درآن تمایل به‌گستردگی دارد. ازاینرو ته‌نشست موادرسوبی کف به‌میزان قابل ملاحظه‌ای صورت میپابد. جنس آبرفت دیواره‌ها عموما " درشت دانه وغیرچسبنده[4]، ناپایداروفرسایش پذیراست. گسترش وتعددحضوربارها[5] وجزایررسوبی سبب ناپایداری رودخانه‌گردیده ومسیرجریان را بصورت چندرشته‌ای - درمجاری متعددکم عمق وبفرم ناپیوسته ومتقاطع‌دربستر عریض رودخانه درمیآوردکه موقعیت این آبراهه‌ها نیز تابع شرایط جریان میباشد. راستای کلی رودخانه‌درمقطع سیلابی آن نسبتا "مستقیم بوده‌ودرمواقع سیلابی عموما " جریان بصورت تک رشته‌ای درمیآید. گرچه‌دربعضی شرایط گسترش بارها وتشبیت گیاهی آنها باعث ایجادجزایر مقاومی میگردد که‌حتی درمواقع سیلابی نیزجریان آب را به‌چندرشته تقسیم نموده وسبب انحراف وهدایت خطوط جریان به‌سمت کناره‌ها وتخریب دیواره‌ها وتعریض رودخانه خواهدشد (کرک وجونز[6]، ۱۹۸۲ وشن[7] ۱۹۷۱ و ۱۹۸۴).

---

1)- Point Bar
2)- Convex/Internal Bank
3)- Middle Bar
4)- Bar
5)- Island
6)- Church and Jones
7)- Shen

شکل (۱) انواع رودخانه‌ها وشکل (۲) انواع بارهای رسوبی وشکل (۳) خصوصیات وابعاد مارپیچی رودخانه‌ها را نشان میدهد.

<u>ازنظر هیدرولیکی</u> : رودخانه‌ها برحسب خصوصیات هیدرولیکی به دوگروه اصلی تقسیم میشوند: رودخانه کوهستانی[1] ورودخانه دشتی[2]. باترست[3] (۱۹۷۸ و ۱۹۸۶)، هی[4] (۱۹۷۹) وتورن وزیونبرگ[5] (۱۹۸۵) با تاکید برتفاوت مکانیزم مقاومت جریان وبا معرفی فاکتور "زبری نسبی"[6] (نسبت شاخص ارتفاع زبری بستر، Dp به عمق متوسط آب، d) مشخصات این رودخانه‌ها را بشرح زیر ارائه داده‌اند.

فاکتور زبری نسبی درودخانه‌های کوهستانی درمقایسه زیاد است بطوریکه سنگهای بستر کاملا" حالت بیرون زدگی داشته واغلب از سطح آزاد آب نیز بالاتر میزنند. بهمین دلیل نسبت فوق برای رودخانه‌های کوهستانی نزدیک به یک بوده ومواد بستری آن متشکل ازشن درشت وقلوه سنگ وتخته‌سنگ[7] است. درحالیکه درودخانه‌های دشتی زبری نسبی درحدود ۰/۰۱ است[8] ومواد بستری آنها شنی وماسه‌ای وریزدانه میباشد.

شیب رودخانه‌های کوهستانی زیاد ودرمحدوده ۰/۴ تا ۵ درصد است لذا درمقایسه سرعت جریان ودبی ویژه سیلاب (درواحد سطح حوزه) آنها زیاد ولی مدت دوام سیل آن کم میباشد.

براساس گزارشهای ولی وسیمون[9] (۱۹۸۲) رودخانه‌های بستر شنی[10] با زبری نسبی ۳ تا ۸۰ عموما" شریانی بوده وبارها وجزائر رسوبی آن نسبتا" پایدار هستند. درحالیکه رودخانه‌های بستر ماسه‌ای وریزدانه[11] درسیلاب دشتها وعموما" بصورت مارپیچی جریان داشته وبارهای رسوبی درآنها ناپایدار ومتحرک وتابع شرایط جریان میباشد. ازاینرو مقاومت

---

1)- Upland/Mountain Rivers 2)-Low land Rivers

3)- Bathurst 4)-Hey 5)-Thorne and Zevenbergen

6)- Relative Roughness 7)-Large Scale Roughness

8)- Small Scale Roughness 9)- Li and Simons

10)- Gravel-Bed Rivers 11)- Sand-Bed Rivers

جریان وخصوصیات هندسه هیدرولیکی آنها با یکدیگر متفاوت خواهد بود (۱) (کرک وجونز ۱۹۸۲).

از نظر پایداری: رودخانه‌ها یک پدیده دینامیک هستند زیرا علاوه برخصوصیات جریان (دبی، رسوب و...) ابعاد، راستا و مسیر آنها بطور پیوسته در تغییر است. اما پایداری برحسب شدت تغییرات و نیز دوره زمانی مورد نظر نسبی بوده و محققین مختلف تعاریف متفاوتی از آن دارند.

شوم (۲) (۱۹۷۱ و ۱۹۸۴) وسیمون وشن‌تورک (۳) (۱۹۷۷) رودخانه‌ها را براساس بیلان رسوبی آن دریک بازه معین به گروههای: پایدار (۴)، فرسایشی (۵) وته‌نشستی (۶) تقسیم میکنند. استیون وهمکاران (۷) (۱۹۷۵) نیز رودخانه‌ها را به دوگروه "درحالت رژیم" (۸) وناپایدار تفکیک میکنند بطوری که معنی رژیم این نیست که تغییر در خصوصیات رودخانه رخ ندهد بلکه این تغییرات قابل ملاحظه نبوده ومتوسط خصوصیات آن درطی دوره زمانی کوتاه (مثلا" ۱۰ سال گذشته) تغییرپذیری کمی داشته باشد. شاخص دیگر تغییرات رژیم هیدرولوژیکی است بطوریکه اگرنسبت سری سیلابهای ماکزیمم به سیل متوسط سالیانه دردوره مشاهده‌ای گذشته کم باشد، رودخانه درحالت رژیم ودرغیراین صورت ناپایدار خواهد بود.

علاوه برتقسیم‌بندی فوق گاهی رودخانه‌ها برحسب ابعاد (بزرگ، متوسط وکوچک) یا اقلیم منطقه (مرطوب یا خشک) ویا براساس خصوصیت دوام هیدرولوژیکی جریان (دائمی (۹) وفصلی (۱۰)) تقسیم میشوند. (شوم، ۱۹۷۱)

---

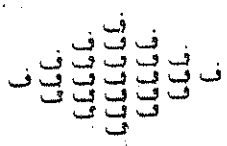
1)- Church and Jones 2)- Schumm

3)- Simons and Senturk 4)-Stable 5)- Eroding

6)- Depositing 7)- Steven,et.al.

8)- In-Regime 9)- Perennial 10)-Ephemeral

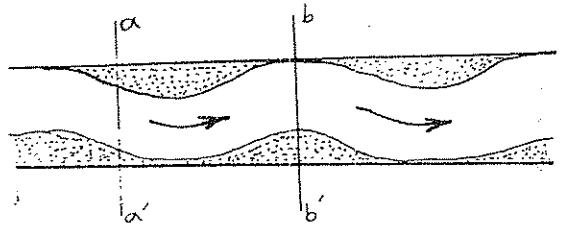
رودخانه‌های فصلی درمناطق خشک باشکل مقطع مستطیلی ، عرض زیادوعمق کم وباتغییرات شدید رژیم دبی ورسوب ، مشخصات مرفولوژیکی متفاوتی ازرودخانه‌های مناطق مرطوب بارژیم جریان دائمی ویکنواخت دارند (پترسن[1] ، ۱۹۸۶). درخصوص هندسه رودخانه‌های فصلی ، رنارد ولارسن[2] (۱۹۷۵) عقیده دارندکه این شکل احتمالا" بدلیل افت انتقال جریان آب دراثرتغذیه سفره آب زمینی است . کاهش جریان درجهت پائین دست پتانسیل حمل وانتقال رسوبات راکم‌کرده وسبب ته‌نشست موادرسوبی وارتقاء کف بستر[3] میگردد. دراین صورت مقطع باریک وعمیق رودخانه به مقطع عریض وکم عمق تبدیل میشود. .

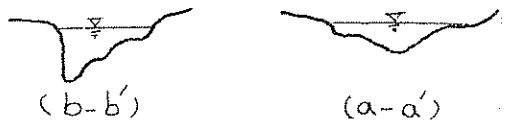


1)- Petersen

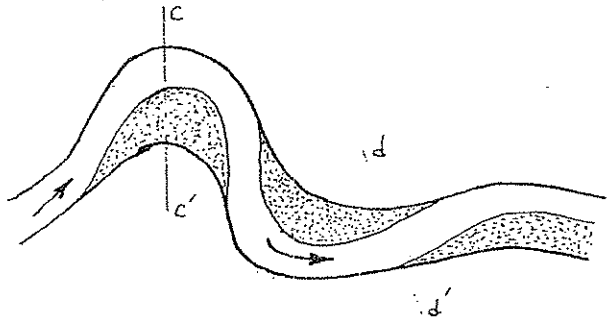
2)- Renard and Laursen

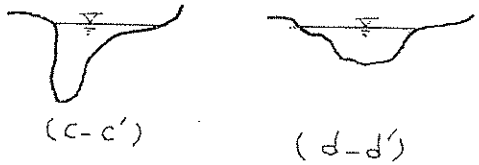
3)- Aggradation



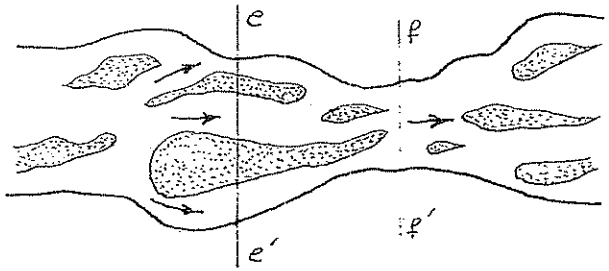


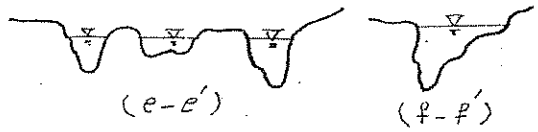
"رودخانه مستقیم"





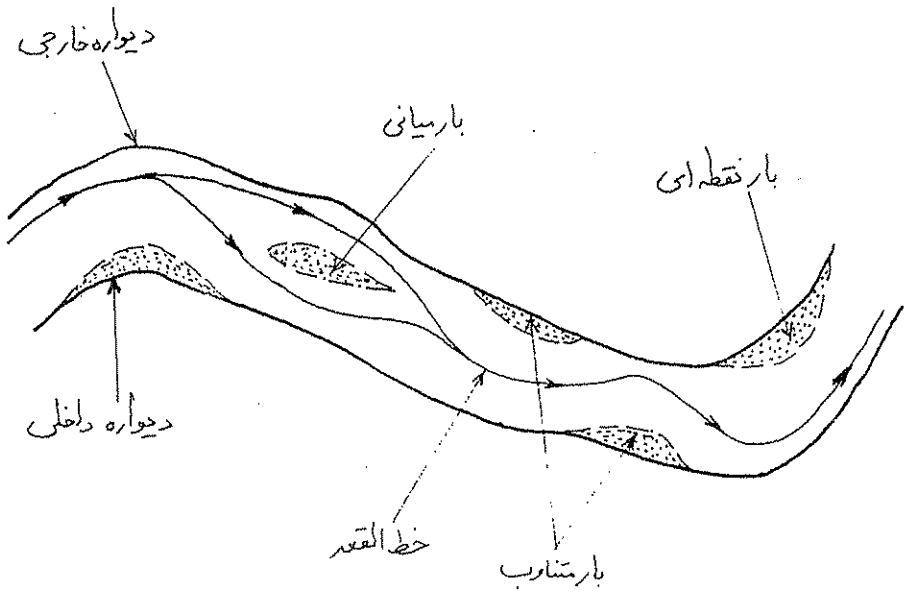
"رودخانه مارپیچی "



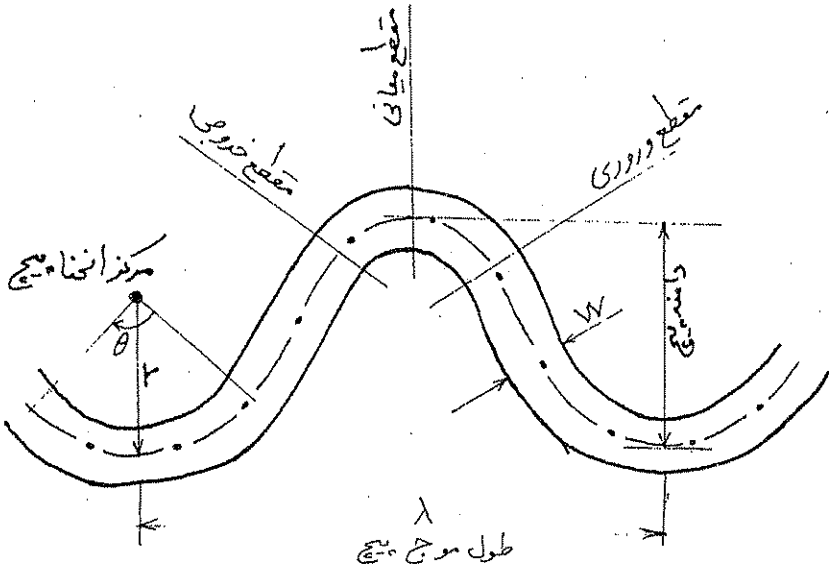


" رودخانه شریانی"

شکل (۱) : فرم کلی رودخانه‌های طبیعی : مستقیم ، مارپیچی ، شریانی



شکل (۲): انواع بارها دررودخانه



شکل (۳) : خصوصیات و ابعاد مارپیچ رودخانه

۵-۲-۱- روش دسته‌بندی Rosgen (1994) در شناخت مرفولوژی رودخانه‌ها

در این روش، الگوی ریخت‌شناسی رودخانه، مستقیماً از هشت عامل اصلی تأثیر می‌پذیرد که عبارتند از: عرض مجرا، عمق، سرعت، دبی جریان، شیب کف، زبری بستر، بار رسوبی و ابعاد ذرات رسوب

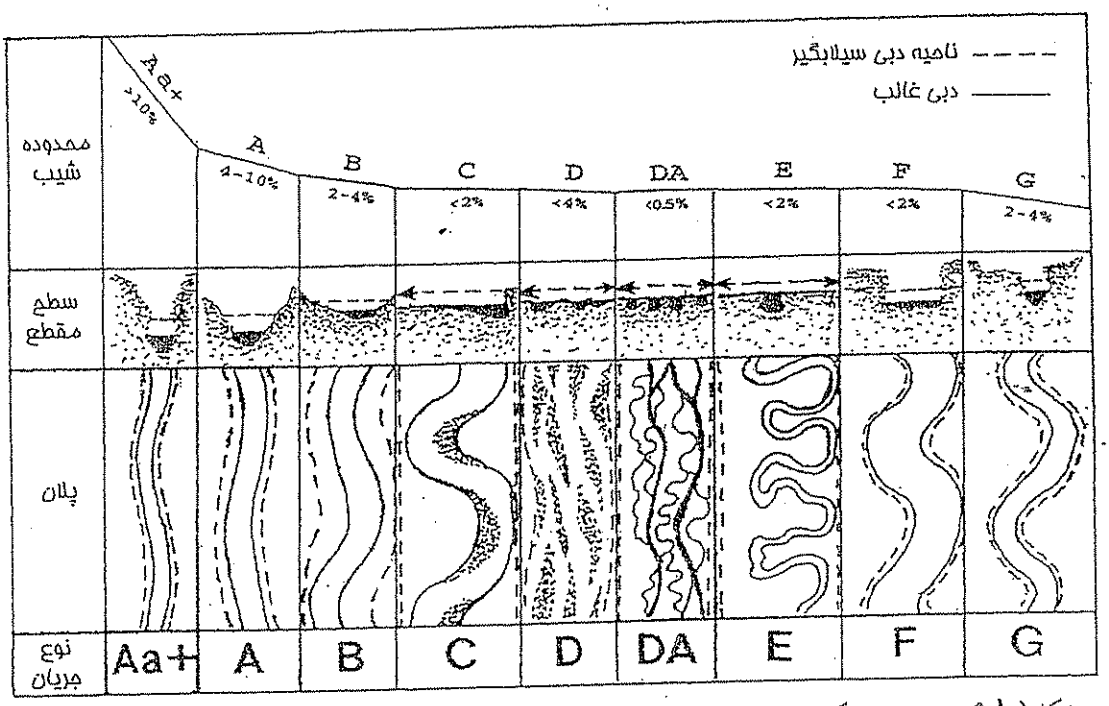
هر گونه تغییر در یکی از این عوامل سبب تغییر در سایر عوامل می گردد که این امر به تغییر الگوی مجرا منجر می‌شود. Rosgen با استفاده از مشخصات پروفیل‌های طولی، شکل دره، مقاطع عرضی رودخانه و الگوی پلان، رودخانه‌ها را در قالب دسته‌های اصلی A تا G دسته‌بندی نمود. سپس انواع رودخانه‌ها را به محدوده‌های معین و مشخص از شیب و ابعاد ذرات مصالح مجرا طبقه‌بندی کرد. او در این طبقه‌بندی شاخص‌های دیگری نیز در نظر گرفت:

- **شاخص گودافتادگی:** که بصورت نسبت عرض سطح سیلابگیر (در ارتفاعی معادل دو برابر حداکثر عمق آب در حالت دبی غالب یا مقطع پر غالب) به عرض سطح آب در حالت دبی غالب یا مقطع پر تعریف می‌شود (نسبت E در شکل (۲)). نسبت E در رودخانه‌ها سیلابگیر: مقدار E حداکثر معادل عرض سطح آب در سیل ۵۰ ساله به عرض سطح آب در سیل متوسط (عرض مقطع اصلی)
- **نسبت عرض به عمق:** که در واقع معرف شکل رودخانه است و بصورت نسبت عرض مجرا در حالت دبی غالب یا دبی مقطع پر به عمق متوسط در همین دبی تعریف می‌شود.
- **ضریب پیچشی:** که بصورت نسبت طول رودخانه در یک قوس به فاصلهٔ مستقیم ابتدا و انتهای قوس تعریف می‌شود. (ضریب مارپیچی)

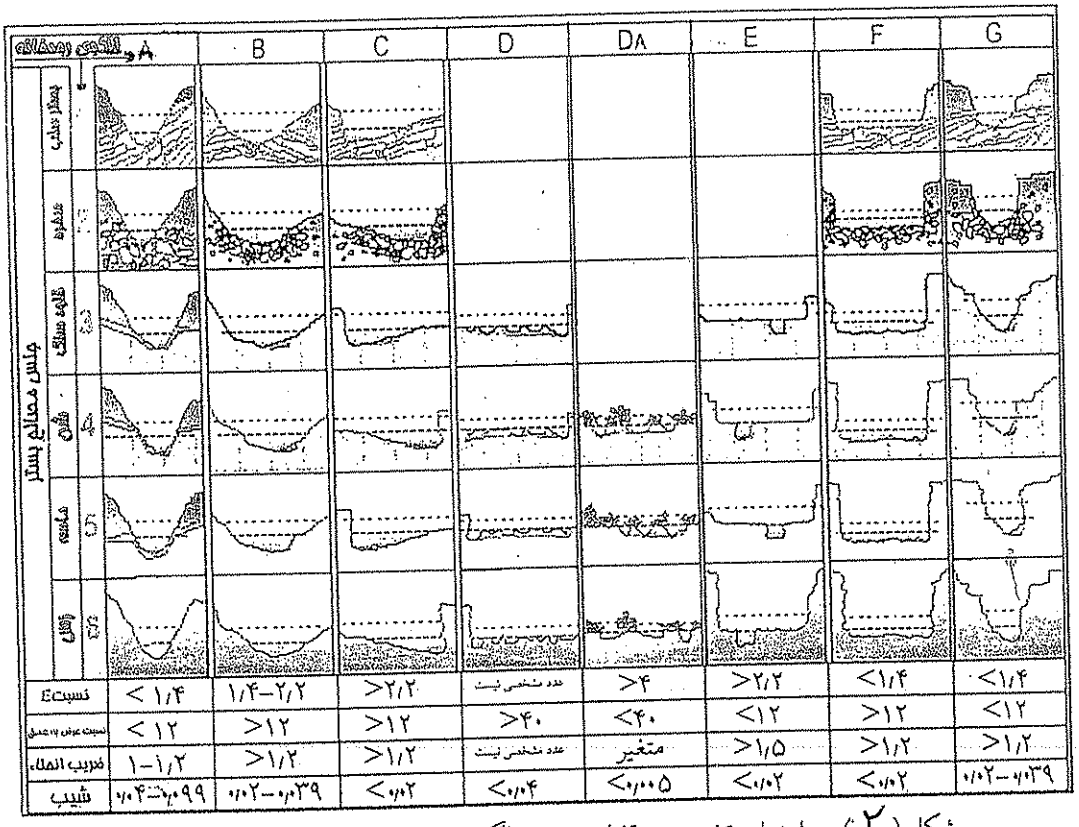
الگوی رودخانه‌ها از نظر شکل پلان در کلاس‌هایی مانند رودخانه‌های نسبتاً مستقیم (رودخانه تیپ A)، رودخانه با ضریب پیچشی کم (رودخانه تیپ B)، رودخانه‌های پیچانرودی (رودخانه تیپ C) و رودخانه باضریب پیچشی زیاد (رودخانه تیپ E) طبقه‌بندی می‌شود. همچنین رودخانه‌ها با الگوی پیچیده و شریانی در دو کلاس D و DA تقسیم‌بندی می‌شوند. جزئیات این طبقه‌بندی در شکل‌های (۱) تا (۳) ارائه شده‌است.

شکل مقطع عرضی رودخانه‌ها نیز اطلاعاتی در مورد پهنه سیلابی، شیب جداره‌ها، شرایط محدوده‌های سطح مقطع (محدوده عرضی)، نسبت گودافتادگی و ابعاد دره را در اختیار می گذارد. برای مثال رودخانه‌های تیپ A دارای عرض کم، عمیق، محدودشده و با ضریب گودافتادگی کم می‌باشند. در این رودخانه‌ها عرض رودخانه و دره تقریباً یکسان می‌باشند. رودخانه تیپ C دارای مجرا پهن‌تر و کم عمق‌تر می‌باشد و پهنه سیلابی این رودخانه‌ها توسعه یافته و دره آن‌ها عریض می‌باشد. رودخانه‌های تیپ E دارای آبراهه عمیق و باریک (نسبت عرض به عمق کم) ولی پهنه سیلابی عریض و توسعه یافته هستند. در رودخانه‌های تیپ F مجرا کم‌عمق و عریض بوده و در رودخانه‌های پیچانرودی نسبت گودافتادگی پایین و پهنه سیلابی توسعه نیافته می‌باشد. رودخانه‌های تیپ G مشابه تیپ E دارای نسبت عرض به عمق کمی می‌باشند ولی برعکس تیپ E دارای نسبت گودافتادگی کم، شیب تندتر و ضریب پیچشی کمتر است (شکل (۱)).

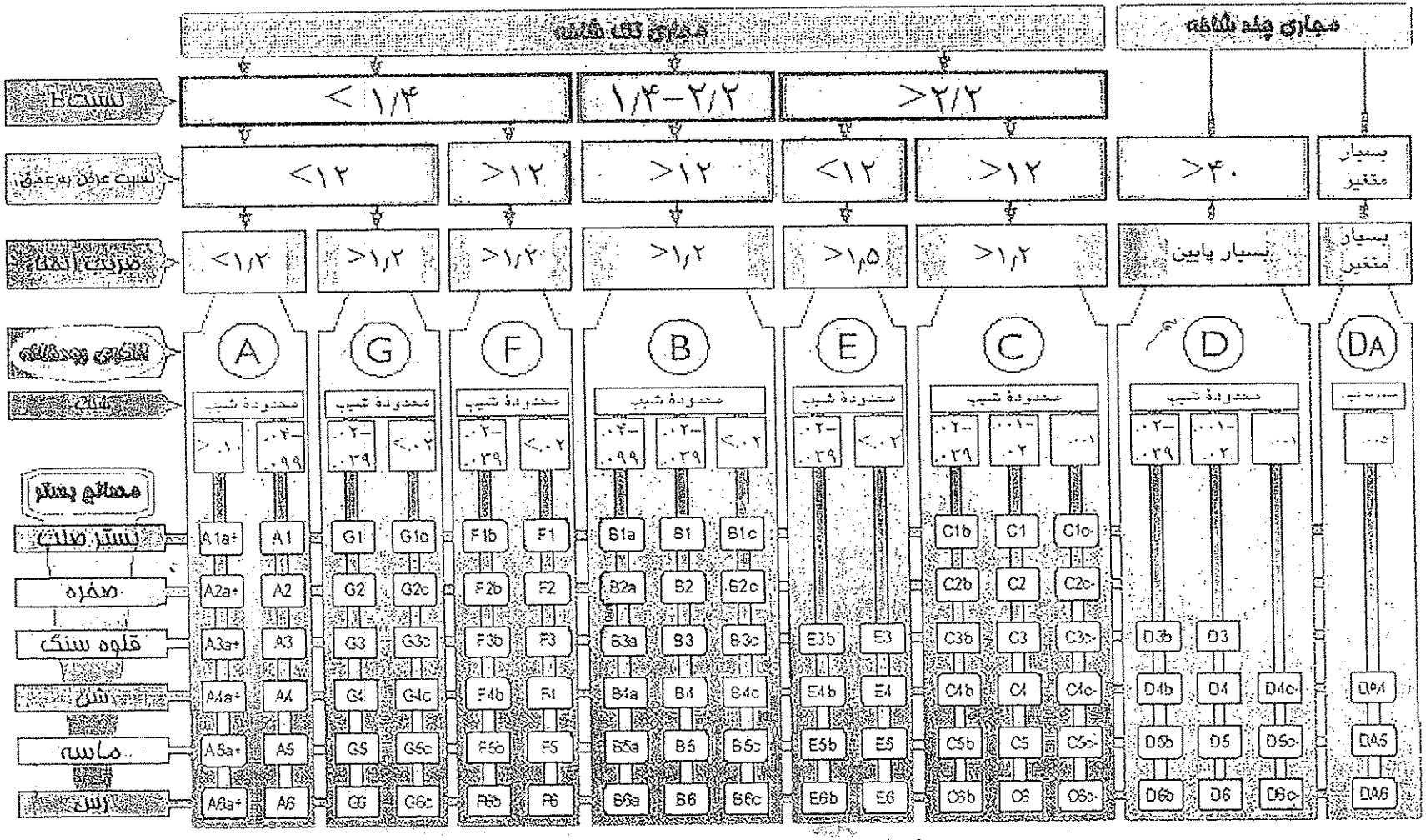
مطالب کامل برای روش Rosgen (1994) در کتاب فارسی: "طبقه‌بندی رودخانه‌ها از دیدگاه ریخت‌شناسی" توسط سندیوندر همکاران (۱۳۸۶) آمده است.



شکل (۱)- نمایی از شکل پلان، پروفیل طولی و مقاطع عرضی الگوهای رودخانه در روش دسته‌بندی Rosgen (۱۹۹۴)



شکل (۲)- راهنمای تشریحی مقاطع عرضی الگوهای رودخانه در روش Rosgen (۱۹۹۴)



شکل (۳) = دسته‌بندی رودخانه‌ها به روش Rosgen (۱۹۹۴)

جدول شرح مشخصات مرفولوژیکی در اوش Rosgen (1994) - در ترکیب با شکل‌های (۱) تا (۳).

جدول ۲: خلاصه معیارهای Rosgen در طبقه‌بندی در سطح وسیع

نوع اورژانس	توصیف عمومی	نسبت E	نسبت عرض به عمق	ضریب ماریپیچی	شیب	شکل نواحی /خاک/ حالات مختلف بستر
Aa +	شیب خیلی زیاد، سیلابدشت کم، حاوی جریانات رسوبی واریزه‌ای، بستر گودافتاده	<۱/٤	<۱۲	۱ تا ۱/۱	>۰/۱	فرسایش، کف صلب یا حالات رسوبی، پتانسیل جریان واریزه‌ای، بستر گودافتاده، پله‌های قائم با حوضچه‌های آبشستگی، آبشارهای متعدد
A	شیب زیاد، بستر گودافتاده، آبشارهای کوتاه، حوضچه‌ها و پله‌های متعدد، جریانات واریزه‌ای همراه با خاکهای رسوبی مجرای پایدار، در حالت کف صخره‌ای	<۱/٤	<۱۲	۱ تا ۱/۲	۰/۰٤ تا ۰/۱	کف رسوبی یا فرسایش پذیر و صلب، بستر گودافتاده و محدود شده با آبشارهای متعدد، حوضچه‌های پله‌ای عمیق
B	گودافتادگی متوسط، شیب متعادل، خیزآبهای حاکم بر مجرا، حوضچه‌های غیر متعارف، پلان ولیمرخ بسیار پایدار، کناره‌های پایدار	۱/٤ تا ۲/۲	>۱۲	<۱/۲	۰/۰۲ تا ۰/۰۳۹	گودافتادگی بستر با وسعت متعادل و نسبت عرض به عمق متوسط، در نهای باریک و یا شیب ملایم، حوضچه‌های اتفاقی محدود
C	شیب کم، پیچانی، بار رسوبی نقطه‌ای، شکل بستر به صورت خیزآب‌ها و حوضچه‌ها، مجاری آبرفتی وسیع، سیلابدشتهای مشخص	>۲/۲	>۱۲	>۱/٤	<۰/۰۲	دره‌های سیلابدشتی، خاکهای آبرفتی سیلابدشت با گسترش ملایم به همراه مجاری پیچانی مشخص، بستر خیزآبی - حوضچه‌ای

ادامه جدول ۲: خلاصه معیارهای Rosgen در طبقه‌بندی در سطح وسیع

نوع اورژانس	توصیف عمومی	نسبت E	نسبت عرض به عمق	ضریب ماریپیچی	شیب	شکل نواحی /خاک/ حالات مختلف بستر
D	مجرای شریانی با تپه‌های رسوبی طولی یا عرضی، مجرای بسیار غریض با سواحل فرسایش پذیر	متغیر	>٤۰	متغیر	<۰/۰٤	دره‌هایی با مخروط افکنه‌های آبرفتی و واریزه‌های پخچالی و رسوبگذاری مختلف، منابع رسوبی فراوان
DA	مجاری چندگانه باریک و عمیق با سیلابدشت، حاوی پوشش گیاهی توسعه یافته با ضریب ماریپیچی بسیار متغییر، سواحل پایدار	>٤	<٤۰	متغیر	<۰/۰۰۵	دره‌های با شیب کم، رسوبات نرم، مجاری چندگانه با کنترل زمین‌شناسی، پوشش گیاهی فراوان در سیلابدشتهای وسیع پایدار
E	شیب کم، جریان حوضچه‌ای - خیزآبی، پیچانی با نسبت عرض به عمق کم و رسوبات اندک، پایدار، عرض متاثر بالا	>۲/۲	<۱۲	>۱/۵	<۰/۰۲	دره‌های وسیع، مصالح آبرفتی، دارای شکل سینوسی وسیع، کناره‌های پایدار حاوی پوشش گیاهی، شکل بستر حوضچه‌ای - خیزآبی با عرض به عمق بسیار کم
F	مجرای حوضچه‌ای - خیزآبی با سیلابدشت محدود باشیبهای کم ونسبت عرض به عمق زیاد	<۱/٤	<۱۲	>۱/٤	<۰/۰۲	گودافتادگی در بستر، شیب ملایم با نسبت عرض به عمق بالا، پیچانرودی، ناپایدار با فرسایش کناره، بستر حوضچه‌ای - خیزآبی
G	سیلابدشتهای با عرض کم، حاوی حفره‌های متعدد و نسبت عرض به عمق کم با شیب متوسط	<۱/٤	<۱۲	>۱/۲	۰/۰۲ تا ۰/۰۳۹	بستر حوضچه‌ای پله‌ای با گودابهای متعدد، شیب و نسبت عرض به عمق متوسط، دره‌های باریک، مصالح آبرفتی با دانه‌بندیهای متفاوت، مخروط افکنه‌ها، ناپایدار، فرسایش کناره بالا

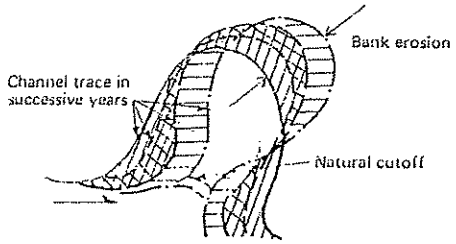


Figure 2–24 Formation of natural cutoffs.

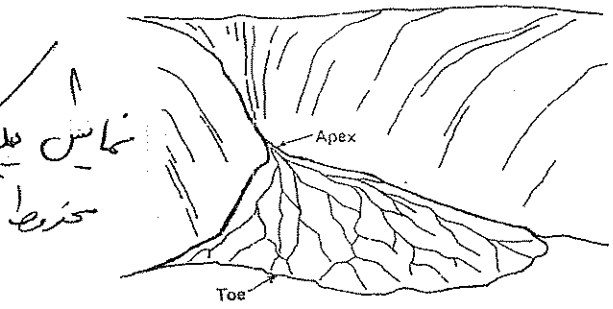
CUTOFFS

As meandering continues with time, and as the concave bank continues to recede, old bends become elongated and a narrow neck of land develops, as shown in Figure 2–24. In large floods exceeding channel capacity, water flows overland across the narrow neck at a steep slope, and the resulting high velocities erode a new short channel (cutoff) across the neck. Eventually, this new cutoff channel widens and deepens, and the old bendway becomes separated from the river by deposition, surviving as an oxbow lake (Figure 2–1). Banks may migrate downstream as much as 2500 ft/year. On the Arkansas River prior to canalization, erosion of 200 to 300 ft during a single flood was common, and erosion of 1200 ft occurred in a single flood.

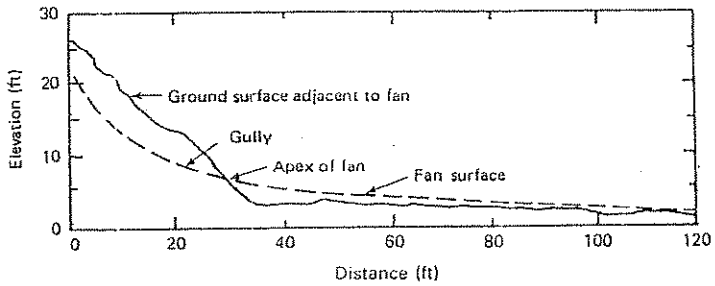
ALLUVIAL FANS

Alluvial fans are deposits of sediments with surface resembling a segment of a cone, fan-shaped in plan, and having a relatively uniform slope from apex to toe (Figure 2–25a). They are common in arid, hilly, and mountainous country, but are also found in humid areas. They occur at the point where a stream emerges from a confined valley and can spread laterally or where the slope abruptly flattens (Figure 2–25b). At the apex of the fan where velocities suddenly decrease, the stream deposits large quantities of ungraded material that is reworked by subsequent floods. The deposited material may be either water-transported or mudflow.

Channels on alluvial fans are entrenched, particularly at the apex of the fan, and are most often ephemeral, but may be intermittent or perennial. Rachocki (1981) describes channels on alluvial fans as typically braided and shallow, except in the upper segment of the fan, where channels become more deeply entrenched with time (Figure 2–26). The channels tend to flow at about critical depth and critical velocity. It is possible that the sediment-transporting flow is peculiarly unstable and is successively supercritical and subcritical, shifting with time from deposition to erosion. Channels on fans shift frequently, so that stream lo-



(a) Fan at valley wall



(b) Profile

Figure 2–25 Typical alluvial fan.

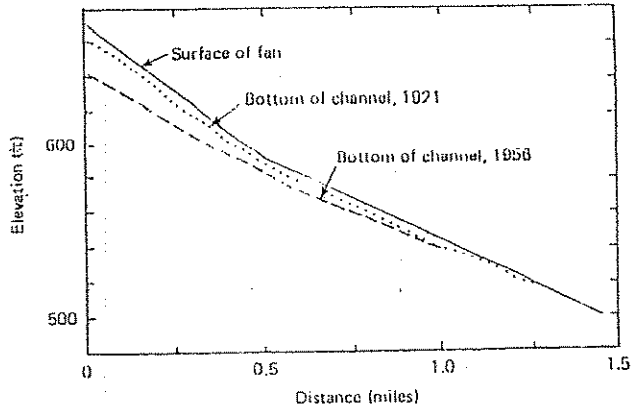


Figure 2–26 Changes in depth of Arroyo Ciervo Fanhead Trench, California. (After Bull, 1964.)

cations are transitory. Dawdy (1979) noted that they are prone to lateral migration and sudden relocations (avulsions). A series of contiguous fans forming a broad sloping plain was defined as a piedmont plain by Bull (1964).

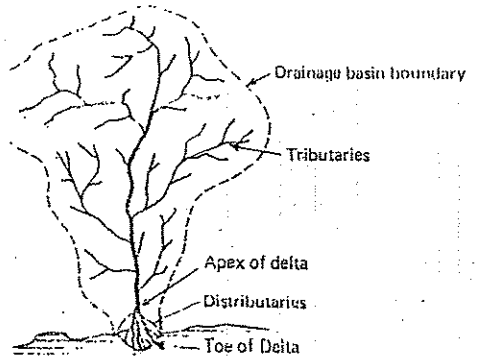
DELTAS

Deltas are formed as streams deposit bed load and coarser suspended sediments where velocities are reduced on entering a body of water such as a natural lake, estuary, sea, or reservoir. Deltas are generally of roughly triangular shape, and the main stream discharges to the body of water through a system of large and small distributary channels (Figure 2–27a). Silvester and de la Cruz (1970) sought to identify forces controlling the accretion patterns of deltas using characteristics of the river system, the receiving water, and the climate of the catchment basin and delta regions. They concluded that the most significant variables were temperature, streamflow, sediment load, salinity, and river slope. The typical pattern of delta accretion in reservoirs and some other cases is for the coarser sediments to be deposited in fore-set beds and the finer material to be deposited in bottom-set beds (Figure 2–27b).

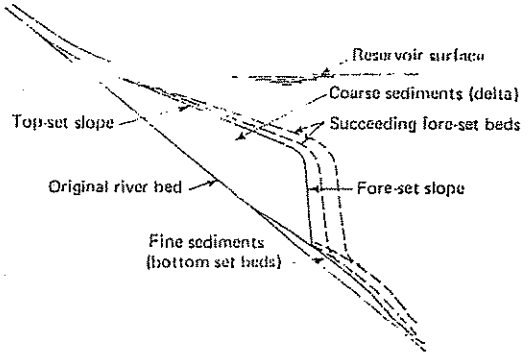
Notable examples of deltas are the marine deltas of the Mississippi, Colorado, Nile, Ganges, and Niger Rivers and the lacustrine delta of the Rio Catatumbo at Lake Maracaibo, Venezuela.

Niger Delta

A typical delta is that of the Niger River, which drains 730,000 square miles and discharges into the Bight of Biafra on the south coast of the bulge of Africa (Figure 2–28). Below Aboh the river is subject to tidal

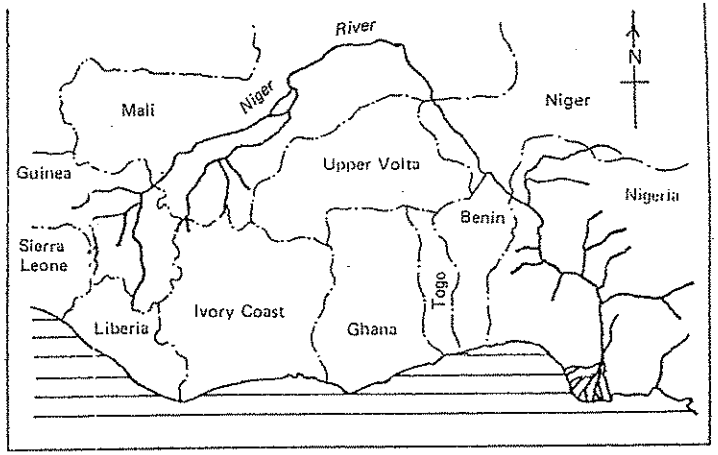


(a) Typical river basin and delta



(b) Reservoir delta formation (after Vanoni, 1975)

Figure 2–27 Typical deltas.



Location Map

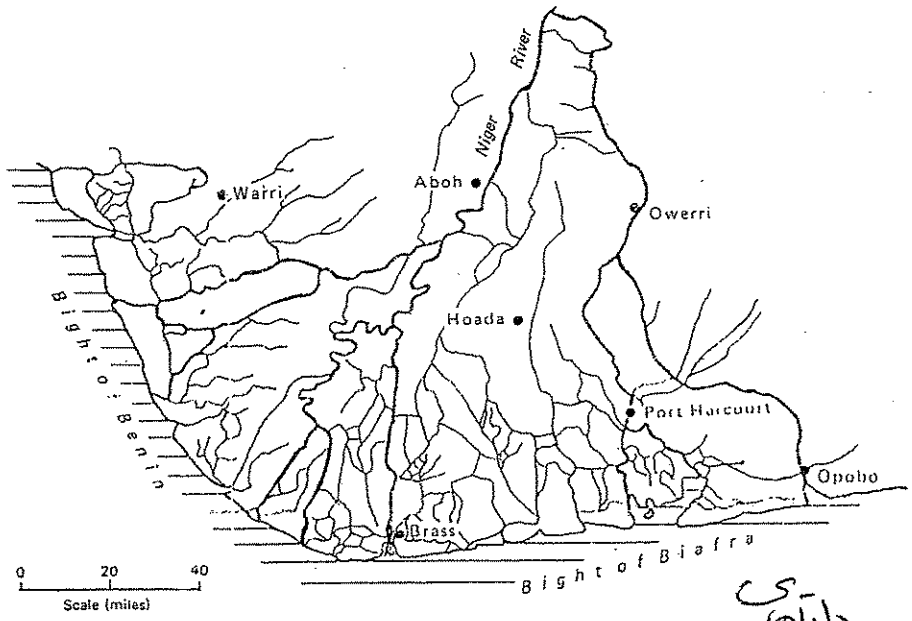


Figure 2–28 Niger River delta.

action, and there are many distributaries in the 150-mile reach from Aboh to the sea. A part of the sediment in transport in the Niger is deposited on low banks through the delta, but the major part is discharged through the outlet channels, building the delta out into the ocean (NEDECO, 1959).

بازه رودخانه (River Reach)

طولی از مسیر رودخانه با خصوصیات نسبتاً یکنواخت مورد نظر

- از نظر خصوصیات مشترک مرفولوژیکی ← بازه مرفولوژیکی
- " " نسبتاً یکنواخت هیدرولیکی ← بازه هیدرولیکی
- " " مشترک کنترل و حفاظت ← بازه حفاظتی یا ...

جمع بندی و ارزیابی مرفولوژیکی رودخانه

⇐ تقسیم رودخانه مورد مطالعه به بازه های مختلف، بصورت:

۱- تفکیک بازه ها براساس هریک از شاخص های ۹۱ گانه (متن نقشه های با لایه های مختلف در GIS).

۲- انطباق بازه ها. (انطباق لایه های مختلف)

و تفکیک بازه ها براساس مشخصات مشترک مرفولوژیکی.

۳- ارائه شناسه مرفولوژیکی دقیق و جزئی برای هر بازه.

۴- گروه بندی بازه ها { از نظر شرایط پایداری، مناظر، مشکلات و...
و تعیین اولویت ها جهت ساماندهی و...
(تشخیص بازه های بحرانی و درجه بندی آنها)

⇐ معیارهای انتخاب کمترین طول بازه مرفولوژیکی:

- تفاوت قابل ملاحظه در خصوصیات عمومی مرفولوژیکی بین دو بازه.
- بازه مستقل از تاثیرات بازه بالادست و بازه پائین دست باشد.
- ابتدا و انتهای بازه به شرایط پایدار منتهی باشد.
- طول بازه تقریباً معادل ۲۰ برابر عمرض بالای رودخانه. (یا حداقل طول)

جدول شناسه مرفولوژی رودخانه (۱/۳)

بازه	زیربازه	نوع بازه (شهری، روستایی، صنعتی و...)	طول از مبدا (km)	شیب طولی (٪)	شکل مقطع عرضی		مواد بستر				مواد دیواره				پوشش گیاهی			متوسط عرض (m)	متوسط عمق (m)	مشخصات ماریچ			
					ساده	مرکب (سیلابدشتی)	لایه سطحی		لایه زیر سطحی		یکنواخت		لایه ای		بستر	دیواره	ساحل بالا				طول موج (m)	دامنه (m)	شعاع انحنا (m)	کرنل بازه مستقیم بین دو پیچ
							بافت	اندازه متوسط	با ممتد	اندازه متوسط	بافت	اندازه متوسط	بافت	اندازه متوسط										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24

ادامه جدول شناسه مرفولوژی رودخانه (۲/۳)

تداوم جریان (دائمی ، فصلی)	جریان متوسط (m3/s)	جریان مقطع پر	سیل متوسط سالیانه	نسبت سیل های 10 ساله به سیل متوسط	نسبت سیل های 25 ساله به سیل متوسط	نسبت سیل های سالیانه به سیل متوسط	ضریب مارپیچی	نسبت عرض به عمق (مقطع پر) (19/20)	عرض رودخانه		عمق رودخانه		انحنا نسبی پیچ (23/19)	نسبت طول مستقیم دو پیچ متوالی به عرض مقطع اصلی (29/19)	زبری نسبی (9/20)	اندازه رودخانه (بزرگ، متوسط و کوچک)	رژیم جریان رودخانه (دائمی، فصلی) براساس ستون 26, 25	تغییرپذیری جریان رودخانه (کم، متوسط، زیاد) براساس ستون 31 تا 27	مواد بستری (ماسه ای، شنی، درشت دانه
									عریض	کم عرض	عمیق	کم عمق							
25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44

شاخص کرد افتادگی بستر (E)
(نسبت عرض مقطع سیلابدیر به عرض مقطع پر)
← در عمق معادل با دو برابر عمق حداکثر مقطع پر

ادامه جدول شناسه مرفولوژی رودخانه (۳/۳)

ارزیابی پایداری از دیدگاه‌های مختلف															ارزیابی کیفی	
توپوگرافی (کوهستانی، نیمه کوهستانی، دشتی)	شکل ظاهری (مستقیم، مارپیچ، شریانی)	آزادی تنظیم (تحت کنترل، آزاد)	زمین شناسی (جوان، پیر، بالغ)	هیدرولیکی: زبری (کم، متوسط، زیاد)	هیدرولیکی: جریان (زیربحرانی، بحرانی، فوق بحرانی)	فرسایش بستر: کف کنی	فرسایش بستر: ته نشینی	فرسایش بستر: پایدار	پایداری (پایدار، پایدار دینامیکی، ناپایدار)	تقسیم بندی Rosgen (1996)	پایداری (رسوبی): شدت بار رسوبی: کم	پایداری (رسوبی): شدت بار رسوبی: زیاد	پایداری (رسوبی): بار رسوبی غالب: کم	پایداری (رسوبی): بار رسوبی غالب: زیاد	کیفیت شیمیایی: شیمیایی (قابلیت مصرف برای شرب کشاورزی، صنعتی و آبزیان)	کیفیت شیمیایی: فیزیکی (کدورت و ...)	کیفیت شیمیایی: زیستی (ارزش حیاتی، بیولوژ یکی و آبزیان)	چشم انداز (زیبایی رودخانه، ارزش گردش گری)	ملاحظات (حضور سازه های ساحلی، تفاطعی یا...)
45	46	48	47	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64

مهندسین مشاور سازه پردازی ایران تهیه سازی نظام ساماندهی رودخانه های ایران(KTSO)	فرم اطلاعات رودخانه H-01	تاریخ: شماره: H-01/

۱.نام رودخانه: ۳.طول رودخانه:

۲.نام رودخانه(لاتین):

۴.موقعیت: ☐ داخلی ☐ مرزی ☐ داخلی-مرزی ۵.نوع رودخانه: ☐ شریانی ☐ پیچاروردی ☐ مسنیم ☐ مرکب

۶.نام کشور/کشورها:

۷.محدوده جغرافیایی: شرکتهای آب منطقه‌ای مرتبط:

استانهای عبوری: شهرهای عبوری از بالادست:

موقعیت سرچشمه مکان: طول: عرض:

موقعیت مصب مکان: طول: عرض:

۸.طبقه بندی رودخانه بر اساس توپوگرافی

ردیف	ریخت شناسی رودخانه			کیلومتر ابتدا از سرچشمه	کیلومتر انتها از سرچشمه	شیب متوسط(٪)	بده متوسط باز(m3/s)	بده متوسط رسیبی(m3/s)	جنس بستر
	شریانی	پیچاندری	مسنیم						

۹.رژیم رودخانه: ☐ دایمی ☐ فصلی ☐ خشک فصل پر آبی: فصل کم آبی:

۱۰.زیرحوزه‌های مرتبط: پوشش گیاهی(مزارع=۱،بیشه‌مزارع=۲،تنک=۳،بدون پوشش=۴)

ردیف	نام	مساحت(ha)	شیب متوسط(٪)	طول آبراهه اصلی(km)	متوسط بارش(mm)	متوسط بده خروجی(m3/s)	پوشش گیاهی

۱۱.رشته بهره‌برداری: ☐ آب شرب و کشاورزی ☐ معادن و منابع رسیبی ☐ نیروی آبی ☐ تفریحی و گردشگری ☐ پرورش آبزیان ☐ صنعتی
☐ تولید برق و انرژی(برقابی) ☐ سایر:

۱۲.سرشاخه‌ها:

ردیف	نام	محل اتصال (کیلومتر از سرشاخه)	طول(km)	شیب متوسط(٪)	بده متوسط(m3/	متوسط آورد سالانه آب(Mm3)	متوسط آورد سالانه رسوب(Mm3)

۱۳.مشکلات حاکم بر رودخانه: ☐ کم آبی ☐ فرسایش کناره و تخریب ☐ سیل ☐ کنبت آب ☐ تجاوز به حریم و بستر ☐ برداشت بی رویه مصالح
☐ سایر:

تکمیل کننده فرم:	مسئول گروه جمع آوری اطلاعات:	مسئول وارد نمودن اطلاعات:	مسئول گروه بانک اطلاعاتی:
تاریخ و امضا:	تاریخ و امضا:	تاریخ و امضا:	تاریخ و امضا:

تغییرات رودخانه‌ای:

← در شرایط طبیعی و موجود رودخانه
← " " ساماندهی بازه رودخانه

تغییرات در: - فرم و شکل رودخانه (در پلان) شیب و ... پیچان رودی
- پاستا و بستر عمومی، پروفیل طولی، شعاع انحنا و پیچ
- شکل مقطع رودخانه
- هندسه مقطع (عرض، عمق و ...)

انواع تغییرات:

۱- در رودخانه‌های سیلابدشت (با گذری مارپیچی - بیشتر ماسه‌ای، گاه پیشرونده)

← Channel Migration: جابجایی عرضی، توسعه دامنه مارپیچی
تندتر شدن پیچ‌ها، پیشروی پیچ نسبت به پایین دست

رودخانه پایدار دینامیکی

← Cut-off: میان‌بری در محل پیچ

آنقاق ناپایداری شدید در بالادست و پایین دست ← افزایش شیب
کاهش موضعی طول بازه

۲- در رودخانه‌های با بستر شنی هدایت رونده، شریانی

← تغییرات نامنظم عرض: تعریض و تغییر شکل مقطع
← فرسایش تغییری موضعی دیواره‌ها، توسعه بارها
و جزایر ← حالت شریانی شدن

شرایط ناپایدار

در رودخانه‌های شریانی

← در رودخانه‌های بستر شنی و یا بستر شنی و دیواره شنی با پیچ و خم کم و در محل پیچ‌ها (شیب ...)

۳- تغییر در پروفیل طولی بستر (شیب رودخانه):

Chute Cut off

در یک بازه طولانی در یک دوره زمانی چند ساله

فرسایش عمومی بازه (Degradation): عمیق شدن ← تخریب دیواره ← تعریض
رسوبگذاری عمومی در بازه (Aggradation): تعریض ← تخریب دیواره‌ها

اثر احداث سد مخزنی بر شیب رودخانه

در بازه بالادست ؟
در بازه پایین دست ؟

سوال
- اثر شاخه‌های جانبی و دره‌ی رودخانه { بار کف آبراهه دره‌ی درشت‌تر از بار کف رودخانه ؟ / ریزتر ؟
- اثر لایه‌دوب { اگر مواد زیر سطحی بستر ریزتر از لایه‌های سطحی باشد؟ / تاثیر روش بازه بالادست و پایین‌دست ؟
- اثر ساختمان‌ها { بصورت کانال محض (در بازه بالادست و پایین‌دست؟)

۴- تغییر فرم رودخانه

{ تغییر مسیر طولی / تغییر مسیر کلی رودخانه }

بازه مستقیم ⟷ مارپیچ / شریان

۵- تغییر مسیر رودخانه (Avulsion) { از مواضع ضعیف دیواره‌ها (مخصوص در ناحیه توسعه‌ی مارپیچ خارجی) / شرایط توپوگرافی محدوده دشت رودخانه

۶- انشعاب رودخانه در محدوده مصب

در مصب رودخانه (Estuary) و محدوده دلتا (Delta) :

کنترل پایین دست (سطح آب دریا و نوسانات جذر و مد) ⟸ شیب دره رودخانه ↓

⟸ بار رسوبی رودخانه و مواد آبرفت رودخانه‌ای : عموماً لای (Silt)

⟸ عمل مارپیچ شدن محدود می‌شود ⟸ مسیر مستقیم‌تر می‌شود

{ خوراک پذیری دیواره‌ها (حتی Silt) از جذر و مد } ⟸ تغییر مسیر ناگهانی ⟸ توان جریان کم ⟸ انشعابات

مثال : { رودخانه‌های مارپیچ یا ایلی‌وتر } ⟸ با وجود شیب ریزدانه ⟸ راستا مستقیم است.
در محدوده مصب

" تغییـــــرات رودخانـــه ای "[1]

رودخانه‌های طبیعی تحت تاثیر عوامل و متغیرهای مختلف همـــواره از نظر ابعاد ، شکل ، راستا[2] و الگو[3] در تغییر هستند . تغییرپذیـــــری رودخانه‌ها در کوتاه مدت ممکن است تدریجی و پیوسته ودر دراز مدت یا تحت شرایط خاص ، ناپیـوسته و ناگهانی باشد (نانسون و هیکین[4] ، ۱۹۸۳) . شن[5] (۱۹۷۹) مسائل مهم رودخانه‌ای را تشخیص عوامل ، روند تغییرات و نحوه پیش بینی آن میداند .

انـــــواع تغییـــــرات :

۱- جابجائی و پیشروی به سمت پائین دست[6] : در این حالت پیـــــچ رودخانه و الگوی مارپیچی آن از طریق مکانیزم فرسایش دیواره خارجـــی و رسوب گذاری در دیواره داخلی بتدریج در جهت پائین دست حرکت میکنـــد . این پیشروی با توسعه جانبی مارپیچ و افزایش ضریب مارپیچی آن همـــراه بوده و در رودخانه‌های مارپیچی با مواد ریزدانه وهمچنین در رودخانه‌های با بستر شنی و شیب زیاد نیز رخ میدهد .

۲- پیشروی به سمت پائین دست همراه با میان بری[7] : در رودخانه ـ های مارپیچی با کاهش تدریجی " انحناء نسبی پیچ "[8] (نسبت شعـــــاع انحنا به عرض r/w) بطور ناگهانی پیچ بریده میشود . در این صورت ضریب مارپیچی کم و شیب رودخانه بطور موضعی زیاد میگردد (کلرهال[9] و همکـــاران ، ۱۹۷۶) .

---

1)- River Channel Changes 2)- Alignment

3)- Channel Pattern 4)- Nanson and Hickin

5)- Shen 6)- Migration 7)- Cut-off

8)- Relative Radius of Curvature

9)- Kellerhals,et.al.

۳- تغییرات نا منظم جانبی : این تغییرات الگوی خاصی ندارند ولی در مواضع فرسایشی دیواره‌ها ، محلهای ورودی آبراهه‌های فرعی و یا انشعابات طبیعی و مصنوعی وقوع میبابد و باعث تغییرات در عرض و شکل مقطع عرضی میگردد. این حالت در رودخانه‌های بسترشنی و شریانی بصورت تعریض غیریکنواخت اتفاق میافتد (شن[1]، ۱۹۸۴) ، درحالیکه در رود - خانه‌های ماسه‌ای و ریزدانه تغییرات عرض بصورت یکنواخت تر و تا بعد از وقوع سری سیلابها میباشد (استیون و همکاران[2]، ۱۹۷۵).

۴- تغییر پروفیل طولی بستر : یک رودخانه تحت تاثیر رژیم دبی - رسوب و هندسه هیدرولیکی آن ممکن است در بازه‌های مختلف درحالت کف کنی[3] و یا از دیاد تراز سطح بستر[4] خود باشد. یک بازه در شرایط کف کنی بطور مستمر نسبت به زمان درحال تعمیق یا تعریض بوده و موقعیت آن در جهت بالادست یا پائین دست در انتقال میباشد. این شرایط در اثر تغییر در سطح مبنای رودخانه[5] - بواسطه نوسانات سطح آب در محل خروجی نهائی آن یا در اثر احداث سد مخزنی یا تعمیق ولایروبی - نیز پدید میآید .همچنین تغییر در رژیم دبی و رسوب نیز عامل دیگری خواهد بود. بطوریکه در پائین دست سد مخزنی، کاهش بار رسوبی سبب افزایش پتانسیل حمل و انتقال گردیده و عمل فرسایش و کف کنی را سبب میشود. شاخه‌های ورودی به رودخانه نیز تاثیر متقابلی خواهد داشت بطوریکه اگر مواد بار رسوبی آن از مواد بار کف رودخانه اصلی ریزتر باشد سبب افزایش بار کف و کف کنی در بازه رودخانه و کاهش شیب آن در پائین دست میگردد و بالعکس باعث ته نشست مواد و افزایش شیب خواهد شد (مهندسی ارتش[6] آمریکا[7]، ۱۹۷۷)

---

1)- Shen 2)- Steven,et.al. 3)-Degradation

4)- Aggradation 5)- Base level 6)-Tributaries

7)- U.S.Army corps of Engineers

البته وقتی درجریان یک سیل عمل آبشستگی[1] صورت میگیرد بمعنی کف کنی کلی نیست زیرا این شرایط موقتی وتابع افزایش سرعت وتنش برشی درموضع زمانی خاصی میباشد. محدودیت مقطع جریان ازطریق احداث دیواره‌های ساحلی ویا افزایش ارتفاع پشته‌های طبیعی رودخانه[2] که درحد فاصل بین مقطع اصلی ومقطع سیلابی دراثر رسوب گذاری مواد درشت تردرحین سیلاب بوجود میآید ـ سبب کاهش عرض وافزایش عمق ودرنتیجه ازدیاد سرعت وتنش برشی گردیده وپتانسیل حمل رسوبات کف را افزایش میدهدوباعث آبشستگی عمومی دربازه‌وناپایداری دیواره‌ها میشود که اثرآن درپائین دست نیزرسوب گذاری بصورت بارها وجزایر وایجادگسترش فرم شریانی خواهدبود (سیمون[3]، ۱۹۷۱).

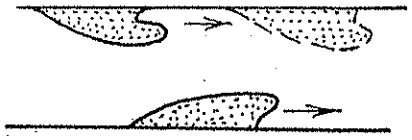
۵ـ تغییر مسیررودخانه : درشرایطی که رودخانه دردشت آزادجریان دارد، اعمال انرژی روی مواضع ضعیف درمحل دیواره خارجی پیچ ویا قسمتهای ضربه‌پذیری ازدیواره‌های طبیعی یا مصنوعی، امکان تغییر مسیر موضعی ویا تغییر مسیرکلی ودائمی[4] راایجادمینماید. این تغییر مسیرگاهی با کاهش شدیدضریب مارپیچی وافزایش شیب همراه است وممکن است الگوی مارپیچی آنرا به شریانی تبدیل کند. این پدیده دربازه‌هائی که درمعرض ته‌نشست زیادرسوبات هستندنیزامکان وقوع دارد (کلرهال[5] وهمکاران[6]، ۱۹۷۶ وشوم، ۱۹۸۴).

۶ـ تغییرفرم رودخانه[7]: دراثرتغییردروضعیت ژئومرفولوژیکی حوزه یا تغییرناگهانی واستثنائی دررژیم دبی ـ رسوب یا وقوع پدیده میان بری، فرم رودخانه ازحالت مستقیم تا مارپیچی ویا ازمارپیچی به شریانی ممکن است تغییرکندکه تاثیرآن علاوه برتغییردرشیب وضریب مارپیچی، درابعاد و شکل رودخانه نیز خواهد بود (شوم، ۱۹۸۴؛ چانگ، ۱۹۸۶).

1)- Scouring
2)- Natural levee
3)- Simons
4)- Avulsion
5)- Kellerhals,et.al
6)- Schumm
7)- Pattern Variability

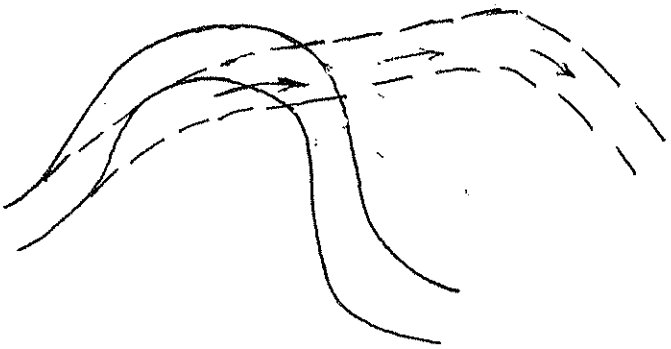
شکل (۴) انواع تغییرات رودخانه‌ای را نشان می دهد.

الف) جابجائی بارهای عرضی

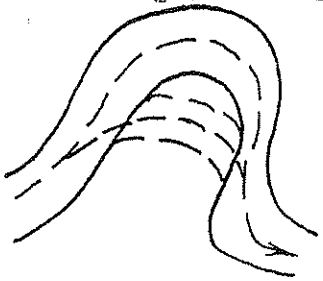


ب) جابجائی بارهای متناوب

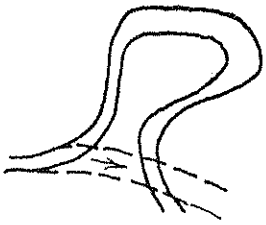
ج) توسعه مارپیچ رودخانه



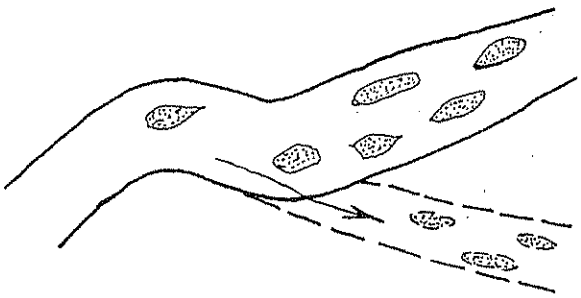
د) جابجائی مارپیچ رودخانه



هـ) میان بُری آبشاری



و) میان بُری طوقه‌ای



ی) تغییر مسیر دائمی رودخانه

شکل (۴): انواع تغییرات و جابجائی رودخانه ها

(خط پر نشانگر وضعیت کنونی وخط چین نشانگرتغییرات احتمالی آینده است .)

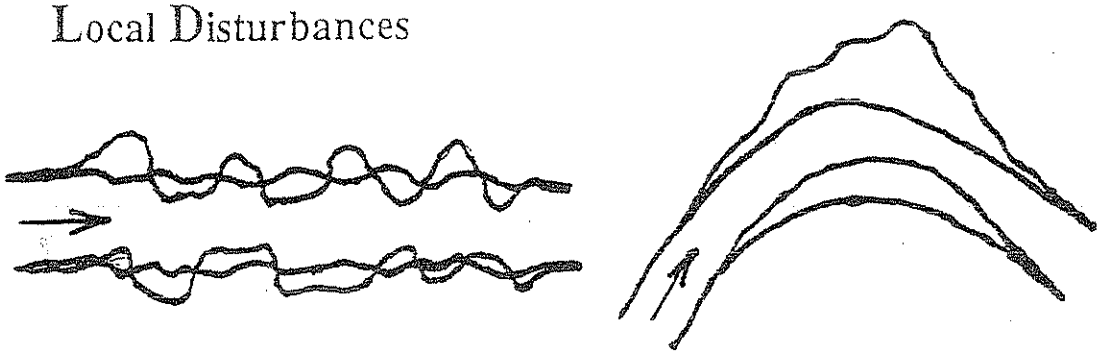
V/1. (V5)

2. RIVER CHANGES

****

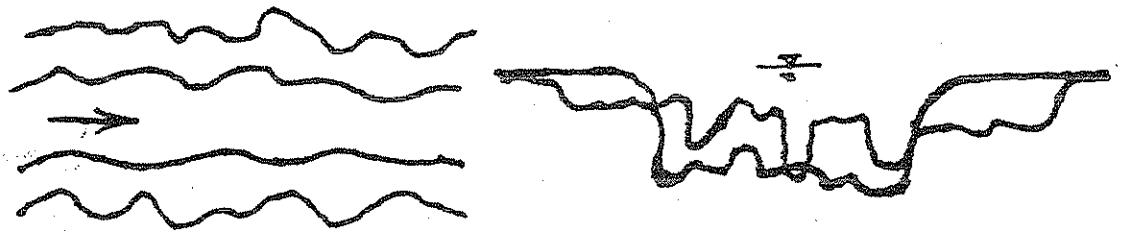
- Irregularity in Channel Geometry:

Local Disturbances



- Braidening:

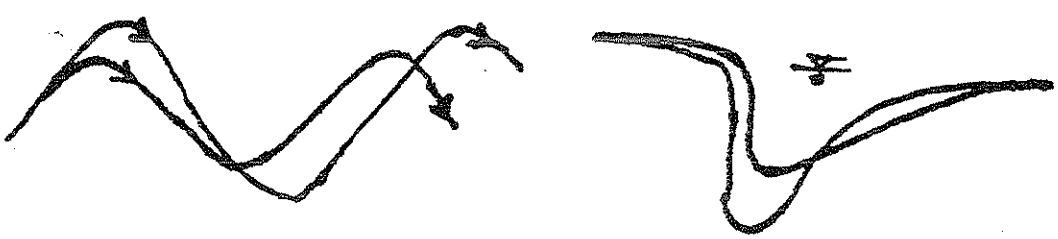
Becomming Wider and Shallower with Bars and Islands



- Meandering:

Channel Migration

Bends Sharpen and Moving Down

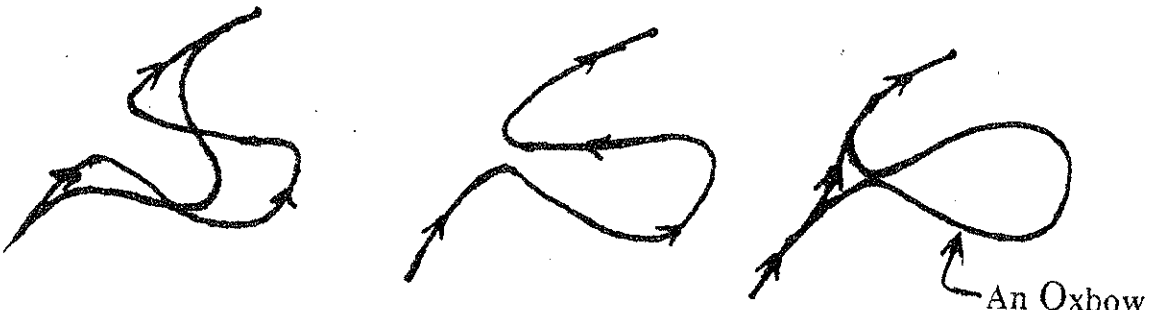


RIVER CHANGES

****

- Cut-off:

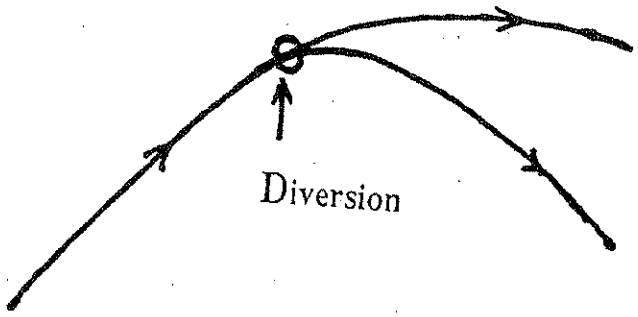
Shortening the Length in a Developed Meander Loop



Progressing Cut-off

- Avulsion:

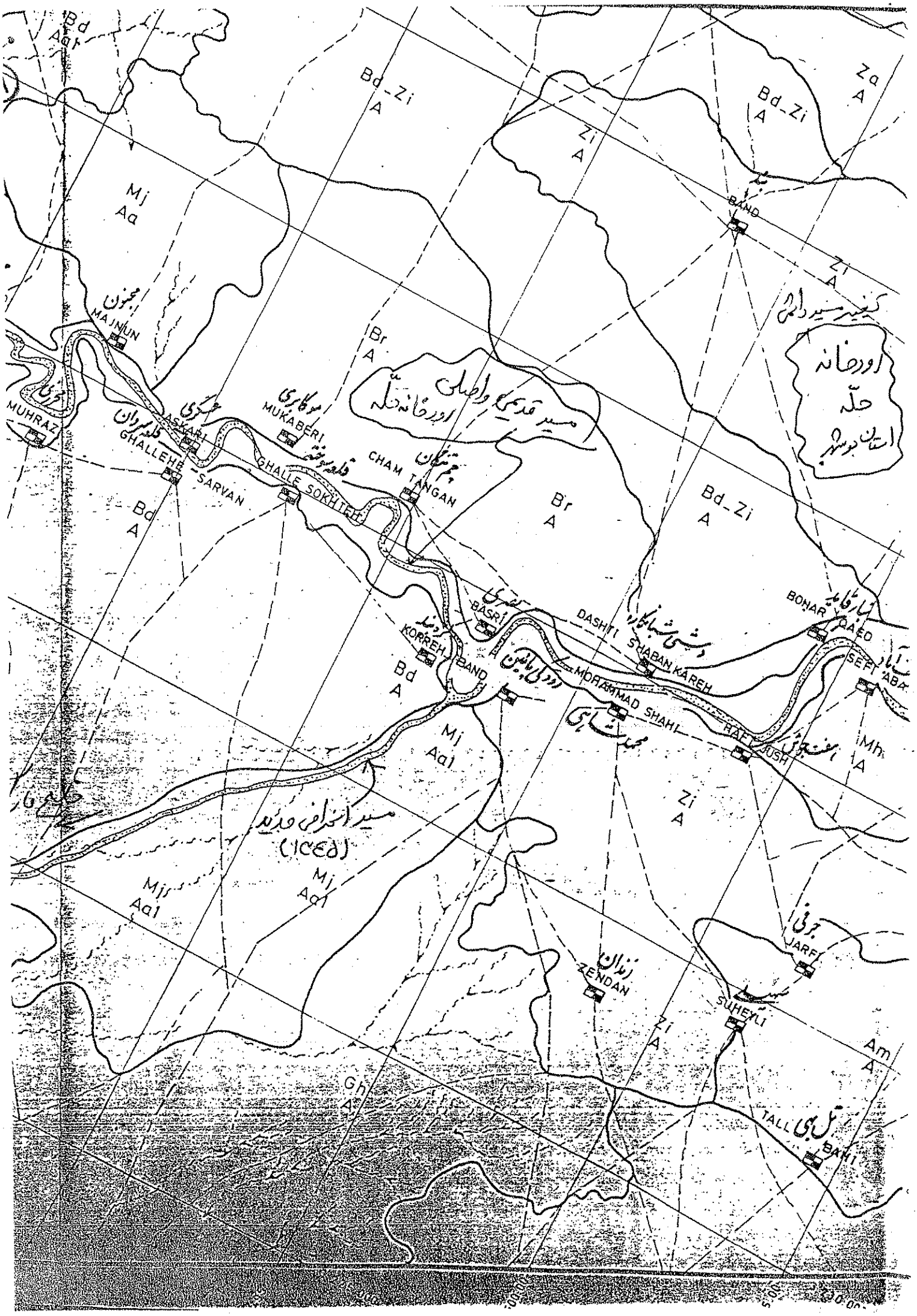
Permanent Change in River Course



سیر رود خانه حله سال ۱۳۴۶

سیر رود خانه حله سال ۱۳۴۵

سیر رود خانه حله سال ۱۳۵۶


Bd Aa1
Bd_Zi A
Zi A
Za A
Mj Aa
BAND
MAJNUN
مجنون
Br A
MUHRAZ
ASKARI
MUKABERI
GHALLEHE SARVAN
GHALE SOKHTEH
CHAM TANGAN
Bd A
Bd_Zi A
BASRI
BONAR DAEO
KORREH BAND
DASHTI SHABAN KAREH
MOHAMMAD SHAHI
RAEI JUSH
Mj Aa1
Mh A
Zi A
JARFI
ZENDAN
SUHEILI
Am A
Gh A
TALL BAHI
مسیر قدیمی و اصلی اوردخانه حله
اوردخانه حله استان بوشهر
مسیر انحراف جدید (ICED)

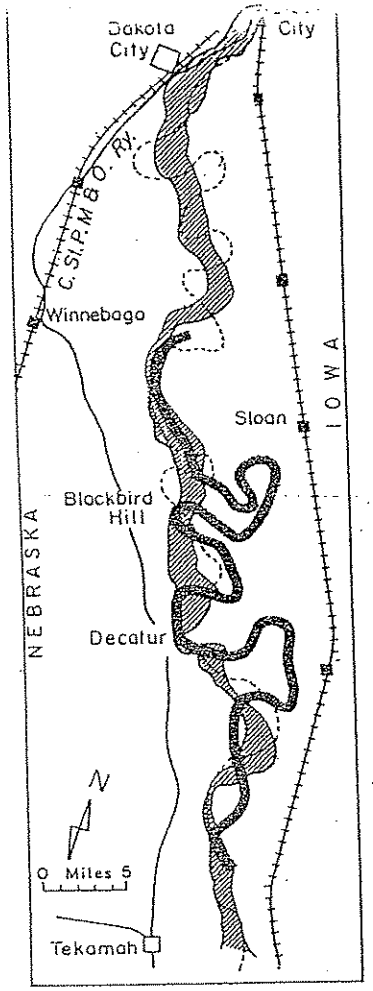


Fig. 5-1. Channel patterns of Missouri River in 1804, 1890, and 1930 between Sioux City, Iowa and Tekamah, Nebraska (from Towl, 1935).

peak discharge and mean annual discharge, as measured at Bloomington, Nebraska. This has caused a reduction in channel capacity between 1952 and 1957 owing to the growth of willows in the channel and the formation of islands and a new floodplain (Northrop, 1965).

⇒ The Republican River example indicates that a decrease in the magnitude of peak discharges and a decrease in the movement of bedload will result in channel narrowing. After the great widening of the Cimarron River between 1914 and 1942, a period of well-above-average rainfall ensued, and although annual runoff increased, no major floods moved through the channel between 1942 and 1951. According to measurements made on aerial photographs taken in 1939 and 1954, the average width of the river decreased from 1200 to 500 feet, so that, in effect, the width-depth ratio was reduced by half (Schumm and Lichty, 1963).

Equally great changes along some major rivers east of the Rocky Mountains can be documented. Especially impressive is the conversion of the broad North and South Platte Rivers and the Arkansas River to relatively insignificant streams owing to flood-control works and diversions for irrigation. The width of these rivers, as shown on topographic maps published during the latter part of the 19th century, can be compared with the width shown on new maps of the same areas. For example, the North Platte River near the Wyoming-Nebraska boundary has narrowed from about 1/2-3/4 mile wide to about 200 feet wide (Fig. 5-2). In eastern Nebraska just upstream from the junction of the

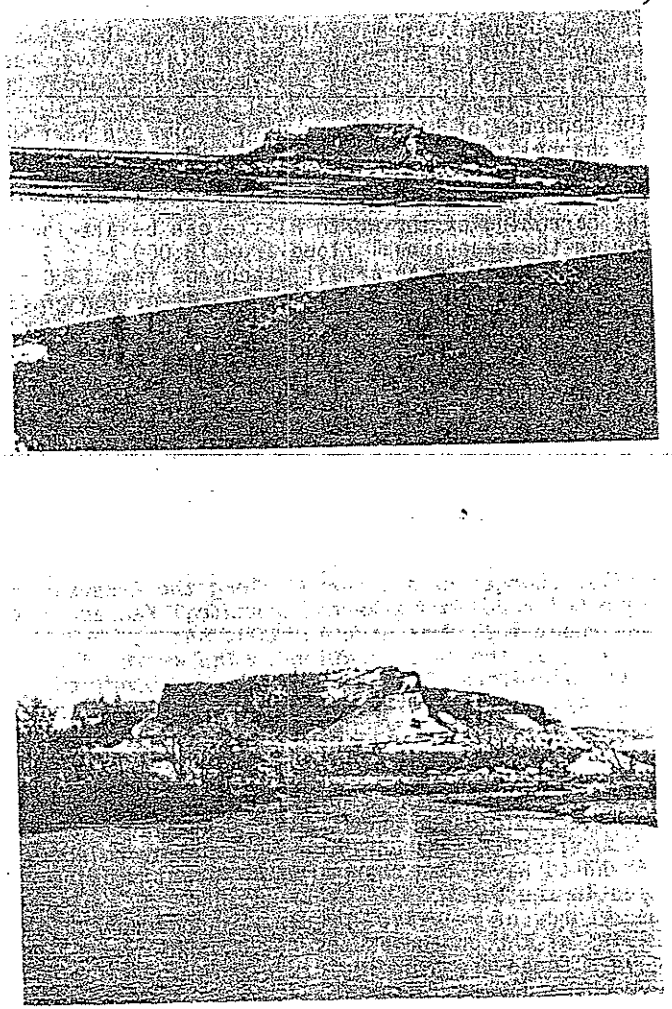


Fig. 5-2. Channel changes of North Platte River at Scotts Bluff, Nebraska.
A. U. S. Geological Survey photograph taken by N. H. Darton in 1895.
B. North Platte River in 1967.

عوامل تغییر و کنترل رودخانه‌ها

① اقلیم : نشانگر تغییرپذیری فرسایش حوزه رودخانه

و " " رسوبدهی "

در اقلیم خشک : * فقدان پوشش گیاهی حوزه ← فرسایش سطحی حوزه ← بار رسوبی زیاد (بخصوص معلق)

* تغییرات شدید جریان ← رودخانه‌های فصلی

رودخانه‌های دائمی با آبدهی بسیار متغیر

در رودخانه فصلی :
- فرسایش بستر در بازه‌های بالادست
- رسوب‌گذاری در پایین‌دست
- تعریض و کم‌عمق شدن
- ناپایداری دیواره‌ها

← رودخانه ناپایدار (بارهای آب و رسوب)

* ← گذارهای شدید
- عدم پوشش گیاهی مناسب
← فرسایش پذیری حریم رودخانه ← ناپایداری دیواره‌ها

* خشک و تر شدن شدید دیواره‌ها ← فرسایش، شکاف و ترک در دیواره‌ها

در اقلیم مرطوب : ؟؟

در اقلیم سرد و خشک : ؟؟

با رژیم برفی ؟ نمی‌دانم !

② رژیم جریان سطحی :

متوسط حجم جریان سالیانه نمی‌گیرد ولی
حجم و زمان جریانات (سیلابها) متغیر است

- تغییرپذیری کم در شدت جریان‌ها
- تغییرپذیری زیاد ← پایداری .

شاخص‌های مهم جریان ؟
(آمار)

شاخص های هیدرولوژیکی :

۱- جریان پایه و دائمی (کم آبی) : کم باشد ← فرسایش دائمی پنجه دیواره (Bank caving)
← پایداری کمتر دیواره
← مشکلات آبگیری مخصوص در رودخانه های پرشیب
← دخالت های مداوم و ناهنجار بشر
← عمق و وسعت رودخانه بدلیل تخریب کم
دانسته باشد.

۲- جریان متناوب قابل ملاحظه :
دبی زیاد - با تکرار نسبتاً (تغییر پذیری کم)
← شاخص تعادل مورفولوژیکی رودخانه
← رودخانه عوامل نظیر شیب، عرض، عمق را با جریان پرآب متناوب تنظیم می کند.
← جریان غالب (Dominant Discharge)

* در رودخانه های سیلابی دشت با مقطع اصلی معین ← به جریان مقطع پر (Bank Full Discharge)
** " " با عوارض بزرگ در دشت دلتا و یا شریانی ← مقطع رودخانه برای سیلاب ها
بزرگ شکل و اندازه می گیرند.
حالت تعادل و پایداری ندارند.
جریان غالب مفهومی ندارد.
*** " کوهستان و "دره رود"
عمق و شکل مقطع تابع زمین شناسی و توپوگرافی است.
تعادل آزاد و پایدار رودخانه مفهوم ندارد.

← کپی ضمیمه ! تعاریف و معیارها . - - - - - ص ۲۰۵

۳- جریانات سیلابی (غیر متناوب)
علاوه بر شدت جریان (عامل اندازه و ظرفیت رودخانه)،
مهمتر : شدت تغییرات جریانات سیلابی !

← نسبت سیل لحظه ای به سیل متوسط روزانه در هر سال - در دوره آماری

← نسبت سیلاب های هر سال به سیل متوسط در یک دوره آماری
یا نسبت سیلاب های جزئی در یک دوره آماری به سیل متوسط همان دوره

مثال : نسبت های بزرگتر از (3-4) : تغییر پذیری قابل ملاحظه
نسبت های بزرگتر از 6 : " " شدید ناپایداری

(۸۳)

صفحه ۵ از ۲ صفحه

ص ۱/۲

Dominant Dischaige

تعاریف ارائه شده برای دبی غالب

Yasi(2003)-1

دبی غالب ، دبی شاخص مرفولوژیکی رودخانه یا دبی جریان متناوبی است که شرایط پایداری نسبی رودخانه (فرم، شکل، ابعاد عمومی) را بوجود میاورد.

Inglis(1941,1949) -2

رودخانه ها به لحاظ دینامیکی تحت سیلابهای متناوبی میتوانند به حالت تعادل خود برسند. وی به دنبال تحقیقات خود این قبیل جریانات را جریان غالب نام گذاری کرد.

Henderson(1966)-3

وی دبی غالب را دبی مقطع پر میداند و عبارت از جریانی است که با تناوب پیوسته دبی و رسوب فرم و مقطع اصلی رودخانه را میسازد

Leopold & Skibitzke (1977)-4

این دو دبی غالب را معادل دبی جریانی که تراز سطح آب را به حد پوشش گیاهی نسبتا دائمی روی دیواره های مقطع اصلی رودخانه برساند، میدانند.

Zarreti(1987)-5

فرسایش یا رسوبگذاری در رودخانه آنقدر توسعه میابد تا به یک تعادل پایدار برسد که در این حالت مقدار دبی که مجرا را بتواند پر کند دارای خواص زیر میباشد :

1- میتواند مقطع فعلی رودخانه را بدون فرسایش یا رسوبگذاری حفظ نماید(مثلا برای رودخانه های سیلاب دشتی)

2- تعدادسیلابهای غیر متناوب بزرگ آنقدر زیاد نیست که سیلاب دشت قابل ملاحظه ای ساخته شود

Tabatabai & Hey (1998)-6

جریان غالب به جریان دایمی گفته میشود که بتواند مانند سیلابهای متناوب باعث ایجاد رژیم (تعادل)در رودخانه شود.

Hey(1982) -7 :

دبی غالب در حد تراز سطح آبی است که در آن تراز ، نسبت عرض به عمق در مقطع اصلی رودخانه می بیشتر چه جوره ؟ و یا مقاومت جریان حداقل باشد.

Dominant Discharge

موضوع : برآورد مقدار دبی غالب

1- Inglis (1949)

مقدار جریان غالب به لحاظ کمی **80** درصد جریان مقطع پر در مقطع اصلی رودخانه میباشد.

2-Leopold & Wolman (1957)

در **24** رودخانه امریکا که دارای دشت سیلابی بالغ میباشنددبی مقطع پر معادل سیلابهای با دوره برگشت بین **1** تا **2** سال(ترجیحا **1.4** سال) میباشد.

3-Nixon (1958)

بر اساس مشاهدات خود روی رودخانه های انگلیس دبی با احتمال وقوع **60** درصد (یا دوره برگشت **170** روزه) را به عنوان مقدار کمی دبی غالب ارائه نموده است.

4– Bray(1975,1982)

در مطالعات رژیم **70** رودخانه با مواد بستری شنی در کانادا، دبی غالب و مقطع پر را معادل سیل متوسط سالیانه با دوره برگشت **2** سال با توزیع لاگ نرمال گرفت.

5– Hey (1975)

مقدار جریان مقطع پر به سیلاب **1.5** ساله نزدیک میباشد.

6– Hey (1982)

در بررسی **66** بازه رودخانه ای با مواد بستری شنی و درشت دانه در انگلیس سیل با تناوب **1.5** ساله را به عنوان دبی غالب ارائه کرده است. در این حد ، نسبت عرض به عمق در مقطع اصلی رودخانه حداقل میگردد(یا مقاومت جریان حداقل میگردد)

7-Schumm(1984)

وی دبی مقطع پر را معادل سیل متوسط سالیانه ویا دبی متوسط سالیانه گرفت.

8– Hey & Heritage (1988)

وی با تحقیق روی **14** رودخانه با بستر شنی در انگلستان دوره برگشت دبی مقطع پردر محدوده **0.56** تا **3.44** سال با متوسط **0.9** سال میباشد.

9 – Nixon (1959) ; Woodyer (1968) ; Kellerhals, Neil and Bray (1972)
; Bray (1975) ; Duhy (1973)

در رودخانه های کوهستانی و نیمه کوهستانی - که رودخانه بستر خود را در تراس کف دره می سازد - دبی مقطع پر معادل دبی در تراز بالای مقطع رودخانه است.

(۳) رسوب و بار رسوبی رودخانه

بار رسوبی {
- بارکف (بار بستر : Bed Load) : مهم از نظر تغییرات رودخانه ای - ذرات مواد بستر حرکت در بستر : تغلتش ، غلطش و جهش
- بار معلق (Suspended Load) : مهم از نظر حجم انتقال رسوب ، آلودگی و معلق ولی با قابلیت ته نشینی در بستر
- بار شسته (Wash Load) : مهم از نظر آلودگی و یا مصرف شرب معلق دائمی !
}

مواد بستر {
- نوعی (d_{50}) ؟
- {
ریز دانه - بستر ماسه ای
درشت دانه - شن ، شن درشت ، تلوه سنگ و تخته سنگ
}
}

خصوصیات مهم رسوب :

۱) مقدار کل بار رسوبی : کم یا زیاد ؟ ناپایداری / پایداری

۲) پیدایش بار رسوبی (متوسط در یک دوره زمانی) در طول یک بازه

تفاوت بار رسوبی بالادست و پائین دست ⇐ {
- مقدار ثابت بازه
- رسوب گذاری = ۰
}

(از آمار هیدرولوژی و یا با محاسبات هیدرولیکی) و مقایسه با ظرفیت موجود بازه رودخانه

۳) مهم بارکف به بار معلق (یا بار کل)

کم است ؟ ← پایداری

زیاد است ؟ ← ناپایداری

← {
در رودخانه های بستر ماسه ای (سیلاب دشت)
یا " " بستر شن ریزدانه
} و مابقی ⇐ (5-25٪)

← {
در رودخانه های بستر درشت دانه ، شریان مهم
} ⇐ >> 50٪ حتی تا ۹۰٪ و بیشتر !!

۴) نوع دانه بندی مواد بارکف :

همان یا قسمتی از مواد بستر است

از مواد کف بستر درشت دانه رودخانه

۵) تغییرات مشخصات مواد بارکف / مواد بستر در طول

جدول ٦-٥-خلاصه اندازه گیریهای باربستر و بار معلق همزمان در ایستگاه پل یزدکان

Row	Date	Dis.(m3/s)	B.load(g/s)	S.load(t/day)	B/S
1	79/6/14	0.944	116.1	43.1	2.70
2	79/6/31	0.866	130.8	35.2	3.72
3	79/7/17	1.223	289.9	79.0	3.67
4	79/7/12	1.183	155.8	232.4	0.67
5	79/6/14	0.944	116.1	43.1	2.70
6	79/4/29	0.921	241.0	128.4	1.88
7	79/3/23	2.529	1166.5	565.3	2.06
8	79/3/3	2.328	420.4	132.8	3.17
9	79/2/11	6.273	106.3	2735.4	0.04
10	79/2/26	1.745	586.5	153.0	3.83
11	79/1/28	6.487	994.3	6099.7	0.16
12	79/4/21	1.459	205.9	156.3	1.32
13	79/1/8	1.781	332.4	433.3	0.77
14	78/12/26	2.140	343.1	305.5	1.12
15	78/11/27	1.821	86.5	54.8	1.58
16	78/9/1	1.969	251.0	155.2	1.62
17	78/9/9	1.342	172.7	74.2	2.33
18	78/10/5	1.882	177.0	111.9	1.58
19	78/10/28	0.900	207.8	12.5	16.60
20	78/8/18	2.330	480.0	258.7	1.86
21	78/8/2	3.101	121.9	2436.9	0.05
22	78/1/31	2.572	274.0	1002.2	0.27
23	78/2/15	2.876	173.3	725.1	0.24
24	78/4/15	1.096	406.6	188.9	2.15
25	78/4/31	0.977	203.2	222.2	0.91
26	78/5/9	0.877	99.8	116.5	0.86
27	78/5/30	2.887	290.1	2723.4	0.11
28	78/6/14	0.776	94.8	134.2	0.71
29	77/12/22	2.580	321.7	181.0	1.78
Average Ratio of Bed Lod to Suspended Load =					2.08

۴) عوامل زمین‌شناسی ـ تکتونیکی دره رودخانه (ژئومورفولوژی رودخانه)

⟸ بدون کنترل (آزاد)! دشت آبرفتی و آزاد رودخانه ؟

⟸ با کنترل :

- وجود گسل‌های طولی (در امتداد مسیر رودخانه)
- " " عرض ⟸ تغییرات نامنظم عرض
- بیرون زدگی سنگ بستر (یا با عمق کم) ⟸ کنترل شیب
- " " عوارض و تکمیلات مقاوم ⟸ کنترل مسیر ،
پیچ‌ها اجباری رودخانه ،
و با ابعاد نامنظم
- خرد شدگی عوارض زمین‌شناسی ⟸ تغییرات نامنظم جانبی

۵) عوامل انسانی (بجا یا نابجا !)

⟸ تاثیرات گسترده (در بازه طولانی) : * توسعه شهرها
- ⟸ افزایش شدت جریان سطحی
- ⟸ " بار رسوبی
- ⟸ تخلیه فاضلاب‌ها و زباله‌ها .

** لایروبی ⟸ تعمیق ، تغییر شیب بستر

*** احداث سد
- ⟸ تغییر در شدت جریان سطحی
- ⟸ " بار رسوبی
- ⟸ تغییر در شیب بازه بالادست

**** طرح‌های مانند (اصلاح مسیر ، تغییر مسیر ...)
- تغییر در هندسه هیدرولیکی
و مشخصات جریان ،
- تغییر در شیب ، عرض و عمق .

تاثیرات موضعی (در طول کوتاهتر) :
* برداشت مصالح رودخانه‌ای
** احداث پل و یا حفاظ‌های ساحلی (آبشکن ، ...)

نتیجه : - تاثیر عوامل زمین‌شناسی ، توپوگرافی و اقلیمی در دوره‌های کوتاه‌مدت (چند سال) ناچیز است
- تاثیر عوامل جریان آب ، رسوب و انسانی قابل ملاحظه است .

مارپیچی ، درابعاد وشکل رودخانه نیزخواهدبود (شوم[1] ، ۱۹۸۴ وچانگ[2] ۱۹۸۶) .شکل (۴) انواع تغییرات رودخانه‌ای را نشان میدهد .

عوامل تغییر وکنترل رودخانه‌ها :

فرم وموقعیت رودخانه‌ها فرآیندی ازشرایط اقلیمی ،زمین شناسی توپوگرافی ، بیولوژیکی ، هیدرولوژیکی وعامل انسانی است (شن[3] ۱۹۷۹)عوامل موثرروی مرفولوژی رودخانه بشرح زیرخلاصه میگردد :

۱ـ اقلیم : نوع وشرایط اقلیمی پتانسیل فرسایشی حوزه رودخانه را درارتباط با عوامل بارندگی ، دما ، رطوبت و.... نشان میدهد .نوع ومیزان رسوبات ونیزشدت ودوام بارش دراقالیم مختلف خشک تا مرطوب متفاوت است (ریگ[4] ، ۱۹۷۸).مقایسه بین هندسه هیدرولیکی رودخانه‌های دائمی درمناطق مرطوب ونیمه مرطوب با رودخانه‌های فصلی درمناطق خشک اثر اقلیم روی مرفولوژی را نشان میدهد . بعنوان مثال افزایش عمق وکاهش شیب درپائین دست برای رودخانه‌های فصلی کمتراست ودلیل احتمالی آن نیزوقوع سیلابهای شدیدوغلظت زیادرسوبات میباشد .فقدان پوشش گیاهی دراقالیم خشک سبب افزایش بارسوبی وته نشست موضعی آنها درودخانه بصورت بارها وجزایرشده وباعث تعریض میگردد (شوم ، ۱۹۷۱ و۱۹۸۴) . درمحدوده حریم رودخانه نیزفقدان پوشش گیاهی قابلیت فرسایش پذیری راافزایش میدهد (شن ، ۱۹۸۴) .

۲ـ رژیم جریان سطحی : خصوصیات جریان ازنظرمیزان دبی ، مدت دوام وشدت تغییرات آن ازعوامل مهم بشمار میآید .رودخانه‌هائی که متاثرازرژیم سیلابی شدیدبا تغییرپذیری زیادهستندشرایط متفاوتی

---

1)- Schumm 2)- Chang 3)-Shen

4)- Riggs

از رژیم یکنواخت و متناوب جریان دارند، هرچندکه حجم جریان سالیانه آنها یکسان باشد. براساس بررسی اسیتون و همکاران[1] (۱۹۷۵) رودخانه‌های فصلی و سیلابی حساسیت بیشتری به تغییر دارند. در اثر وقوع سیلهای بزرگ و استثنائی مقطع رودخانه بشدت عریض میشود ولی متعاقب سیلابهای متوالی کوچکتر بتدریج در اثر رسوب گذاری متناوب عرض و بستر کبیر رودخانه محدود میگردد. بهمین دلیل در مطالعات رودخانه‌ای ابعاد رودخانه را بصورت تابعی از نسبت دبی‌های سیلابی متوالی به دبی سیل متوسط سالیانه در یک دوره زمانی مورد بررسی قرار میدهند. که اگر نسبت های متوالی فوق زیاد باشد تغییرپذیری آن شدید خواهد بود. در بسیاری از موارد دبی‌های متوسط یا سیلاب های متناوب به تنهائی تاثیر قابل ملاحظه‌ای روی تغییر فرم رودخانه ندارند بلکه از نظر مرفولوژیکی در حال تعادل با آن هستند به طوریکه از آنها بعنوان شاخص تعادل و پایداری رودخانه استفاده میکنند که از این جنبه اهمیت خاصی دارند.

دبی مقطع پر[2] :

یکی از تفاوتهای اصلی رودخانه با کانال، دبی متغیر است. در کارهای مهندسی انتخاب یک دبی پایه که از نظر مرفولوژیکی متناسب با شرایط نسبی پایدار رودخانه باشد اهمیت دارد. این دبی پایه را دبی غالب[3] گویند.

هندرسون[4] (۱۹۶۶) آنرا دبی مقطع پر میداند و عبارت از جریانی است که با تناوب پیوسته دبی و رسوب فرم و مقطع اصلی رودخانه را میسازد. لئوپولد و اسکی بیت[5] (۱۹۷۷) آنرا معادل دبی جریانی که تراز سطح آب را به حد پوشش گیاهی نسبتا "دائمی روی دیواره‌های مقطع اصلی رودخانه برساند، میدانند.

---

1)- Steven, et.al
2)- Bank Full-Discharge
3)- Dominant Discharge
4)- Henderson
5)- Leopold and Skibitzke

(۹۱)

(گزارش شده توسط بری[1] ۱۹۷۵).

براون[2] (۱۹۷۱) رابطه ژئومرفولوژیکی میان رژیم جریان وشکل وظرفیت مقطع اصلی رودخانه‌ها را بررسی کرده ونشان دادکه همبستگی خوبی بین سیلاب های متناوب با ابعاد مقطع پررودخانه وجوددارد. محققین مختلف مقادیرکمی دبی مقطع پررا براساس مطالعات صحرائی خودپیشنهاد نموده‌اند. براین اساس لئوپولدوولمن[3] (۱۹۵۷) مقدار این دبی را درمحدوده سیل ماکزیمم ۱تا ۲ ساله (وترجیحا " ۱/۴ ساله) بدست آورد. نیکسون[4] (۱۹۵۸) براساس مشاهدات خودروی رودخانه‌های انگلیس دبی با احتمال وقوع ۶۰ درصد (یادوره برگشت ۱۷۰ روزه) را معرفی نمود (گزارش شده توسط هندرسون ۱۹۶۶). بری (۱۹۷۵ و۱۹۸۲) درمطالعات رژیم ۷۰ رودخانه با موادبستری شنی درکانادا، دبی غالب ومقطع پر را معادل سیل متوسط سالیانه (۲ساله لحظه‌ای) با توزیع آماری لگاریتمی نرمال گرفت. هی[5] (۱۹۸۲) دربررسی ۶۶ بازه رودخانه با موادبستری شنی ودرشت دانه درانگلیس سیل ماکزیمم ۱/۵ ساله را ارائه داده وبهترین تعریف آنرا درحدی میداند که درترازآن نسبت عرض به عمق درسیلاب دشت رودخانه می‌نیمم ونیزمقاومت جریان نیزحداقل باشد. شوم[6] (۱۹۸۴) هر دوفاکتوردبی وسیل متوسط سالیانه را جایگزین دبی مقطع پر میدانند.

بهرحال دبی یک عامل اساسی درتعیین نوع رودخانه نیست ولی برای تشخیص اندازه رودخانه وبطورکیفی برای شناخت خصوصیات رژیم جریان (دائمی یا فصلی) ونیزشدت تغییرات فاکتورمناسبی میباشد.

۳- بارررسوبی : کل بارررسوبی شامل بارکف[7] وبارمعلق[8] میباشد. بارکف بخش اعظم موادبستری را تشکیل داده وشامل ذرات ماسه ودرشت تر میباشد. اهمیت فیزیکی تفکیک میان بارکف وبارمعلق دراین است

---

1)- Bray 2)- Brown 3)- Leopold and Wolman

4)- Nixon 5)-Hey 6)- Schumm

7)- Bed load 8)- Suspended load

که رس ولای دارای چسبندگی بوده و مقاوم به فرسایش هستند در حالیکه ذرات ماسه و درشت تر بستگی به اندازه وشکل آنها قابلیت فرسایش وجابجائی دارند. از نظر مرفولوژیکی سهم بارکف از کل بار رسوبی و نیز اندازه و دانه بندی آن عامل مهمی در تکوین مواد آبرفتی بستر و دیواره های رودخانه و در نتیجه شکل و ابعاد آن است (شوم ، ۱۹۸۴). رودخانه های مناطق خشک با رژیم سیلابی و نیز در محدوده بالادست حوزه، سهم بارکف بیشتر و نوع مواد رسوبی آن نیز درشت دانه و غیرچسبنده است بهمین دلیل رودخانه های با مواد بستری شنی و درشت دانه و عموما " با الگوی شریانی حضور دارند. در جهت پائین دست بتدریج اندازه مواد رسوبی کف کاهش میابد. شن[1] (۱۹۸۴) این کاهش را به دو علت : سایش و تخریب مکانیکی[2] وجداسازی هیدرولیکی ذرات در اثر ته نشینی[3] ذکر میکند و تغییرات اندازه مواد رسوبی یا بستری را در فاصله (X) از ایستگاه مبنا (O) در بالادست بصورت معادله زیر بیان مینماید :

$$D_x = D_o e^{-bx} \qquad (۱)$$

که در آن b ضریب جداسازی است که علاوه بر خصوصیات فیزیکی مواد به شیب و انرژی رودخانه نیز بستگی دارد. روندکاهش شیب نیز بطور کلی از معادله زیر پیروی میکند :

$$S_x = S_o e^{-ax} \qquad (۲)$$

که ضریب کاهش شیب a تابعی از مقاومت و فرسایش پذیری سنگ کف میباشد (شوم[4] ، ۱۹۸۴)

از طرف دیگر مواد رسوبی رودخانه از دو منبع تغذیه میگردد، منشاء خارجی آن از طریق جریان سطحی حوزه و منشاء داخلی آن از فرسایش مواد بستر و دیواره ها تامین میگردد. بنابراین بیلان بار رسوبی در یک بازه

---

1)- Shen 2)- Abrasion 3)-Sorting

4)- Schumm

طولانی میتوانند اثر مواردی نظیر انشعابات فرعی[1]، تخریب پذیری دیواره‌ها، پدیده کف کنی و بارسوب گذاری را روی مرفولوژی و تغییرات رودخانه نشان دهد.

۴- زمین شناسی و تکتونیک : نوع تشکیلات و جنس سنگ بستری از نظر خصوصیت و میزان فرسایش پذیری روی درجه آزادی رودخانه در گسترش عرضی و عمقی آن اثر میگذارد. وجود گسل[2] در امتداد طولی یا عرضی رودخانه، میتواند در استای رودخانه را تحت کنترل درآورد. عوامل تکتونیکی و تغییراتی که در داخل پوسته زمین رخ میدهد و اثر آن بصورت کوهزائی یا دره زائی در سطح ظاهر میگردد که گرچه سرعت آن بسیار کم است (کمتر از یک سانتیمتر در سال برای فعالیت کوهزائی) ولی در دوره زمانی طولانی میتوانند روی شیب رودخانه موثر واقع گردد (شوم، ۱۹۷۱).

زمین شناسی حوزه نیز از نظر فرسایش پذیری و نفوذپذیری تشکیلات روی عامل دبی و رسوب اثر خواهد داشت.

۵- اقدامات بشر : طرحهای حفاظت موضعی در محل تقاطع راهها یا حاشیه شهرها، روستاها و اراضی کشاورزی - و یا طرحهای توسعه منابع آب (احداث سد و ...) تاثیرات خود را بصورت تغییر در رژیم دبی - رسوب و روند فرسایش و رسوب گذاری در طول بیشتری از بالادست و پائین دست بجا میگذارد. مجموعه این وقایع سبب تغییر در شیب، ابعاد و گاه الگوی رودخانه‌ای میگردد (سیمون[3]، ۱۹۷۱ و شن[4]، ۱۹۸۴)

فاکتورهای کمی مطالعه تغییرات رودخانه‌ای :

بمنظور شناخت مرفولوژی و نحوه تغییرات رودخانه‌ای محققین مختلف عوامل موثر روی هندسه هیدرولیکی رودخانه را بصورت رابطه بین متغیرهای مستقل و متغیرهای وابسته مورد بررسی قرار داده‌اند. لاین[5]

1)- Tributaries 2)- Fault 3)-Simons

4)- Shen 5)-Lane

(۱۱)

(۱۹۵۵) درمطالعه‌رودخانه‌های آبرفتی با مواد بستری ریزدانه وماسه‌ای[1] وسیمون (۱۹۸۲) برای رودخانه‌های با مواد بستری درشت دانه وکوهستانی[2] عوامل مانند دبی متوسط (Q_m) ، بارکف (Q_s)،شیب رودخانه (S) ومتوسط اندازه مواد رسوبی کف (D)را تعیین کننده دانسته ونتیجه گرفتند که‌وقتی رودخانه‌درحالت تعادل وپایداری است که میان تغییرات بارکف واندازه‌رسوبات با "دبی وشیب "موازنه برقرار باشد. شوم[3] (۱۹۷۱و۱۹۸۴) عامل دبی وبارکف را مهمترین متغیرهای مستقلی میداندکه‌روی شکل، ابعاد والگوی رودخانه‌اثرداشته‌وعوامل نظیرعرض (w)،عمق (d) شیب (S)، ضریب مارپیچی (P) وطول موج مارپیچی (λ)را تغییر خواهدداد. هی[4] (۱۹۸۲) درمطالعه‌روی ۶۶ بازه‌ازرودخانه‌های بسترشنی[5] عوامل کنترل کننده (متغیرهای مستقل)را دبی،بارررسوبی، اندازه‌مواد بستری وشیب دره‌رودخانه میداند وبرای این نوع‌رودخانه‌ها هفت درجه‌آزادی(متغیرهای وابسته)نظیر : شعاع‌هیدرولیکی(R)،محیط ترشده (P_b)،عمق ماکزیمم (d_m)،سرعت متوسط ($\bar{U}$)،ضریب مارپیچی(P) وطول موج مارپیچ (λ)قائل است که‌درتعادل با یکدیگرهندسه هیدرولیکی سه‌بعدی رودخانه‌را پدیدمیآورند.بری[6] (۱۹۸۲) عامل شیب را درررودخانه‌های کوهستانی وبسترشنی تابع‌تشکیلات زمین شناسی و بیرونزدگی سنگ کف دانسته‌وآنرا بعنوان متغیرمستقل معرفی میکند. چانگ[7] (۱۹۸۵ و۱۹۸۶) درمطالعه‌کمی‌روی رودخانه‌های بسترماسه‌ای وریزدانه‌عوامل دبی ، بارررسوبی واندازه‌مواد بستری را بعنوان متغیر مستقل وشیب ، عرض ، عمق وفرم‌رودخانه‌را بعنوان‌متغیرهای وابسته نام‌میبرد.

---

1)- Sand-Bed Rivers 2)- Mountain Rivers

3)- Schumm 4)- Hey 5)-Gravel Bed-Rivers

6)- Bray 7)- Chang

(۹۵)

براون[1] (۱۹۷۱)، کلرهال و همکاران[2] (۱۹۷۶)، ویگل و هاجرتی[3] (۱۹۸۳)، برادلی و اسمیت[4] (۱۹۸۳) و شوم[5] (۱۹۸۴) عامل دبی‌های متغیر خصوصا " دبی های ماکزیمم سیلابی را در تغییرات رودخانه‌ای بطور مشخص و موثر معرفی نموده‌اند درحالیکه بقیه محققین در مطالعات کیفی و خصوصا " کمی خود عامل دبی را با شاخص " دبی مقطع پر " وارد کرده‌اند. ولی تاثیر عامل بارر سوبی کف مورد توافق عموم میباشد.

---

1)- Brown 2)- Kellerhals, et.al

3)- Weigel and Hagerty 4)- Bradley and Smith

5)- Schumm

یاسی (۱۳۶۷)

"مکانیزم تغییرات رودخانه‌ای"

مقدمه: رودخانه‌های طبیعی بندرت درحالت پایدار هستند، حتی در مقیاس زمانی کوتاه (کمتر از ۱۰۰ سال) نیز روند فرسایش و رسوب گذاری در بازه رودخانه تابع توازن میان عوامل کنترل (متغیرهای مستقل) و متغیرهای وابسته آن میباشد. در این صورت هرگونه تغییری که به سیستم رودخانه تحمیل شود، تعادل موجود آنرا برهم زده و با عکس العمل رودخانه در جهت ایجاد موازنه جدید روبرو خواهد گشت (سیمون و شن تورک[1]، ۱۹۷۷ و هی[2] ۱۹۸۲) نحوه تغییرات رودخانه‌ها از طریق مقایسه عکسهای هوائی متوالی در سنوات گذشته و نیز بعد از وقوع سیلابها و یا حوادث خاص قابل بررسی میباشد که از این طریق میتوان میزان جابجائی، تغییرات بعد و الگوی مارپیچ، تغییر موقعیت جزائر رسوبی و ... را تشخیص داد (کلرهال[3] و همکاران، ۱۹۷۶، وشن[4]، ۱۹۸۴).

شدت تغییرپذیری و زمان این تغییرات بستگی به نوع و درجه تاثیر عوامل کنترل کننده دارد. تاثیر عوامل نظیر تغییرات اقلیمی، زمین شناسی و تکتونیک و ... در کوتاه مدت ناچیز است درحالیکه تغییر در بی و بار رسوبی قابل ملاحظه و در بسیاری موارد ناگهانی خواهد بود (استیون[5] و همکاران، ۱۹۷۵، وشوم[6]، ۱۹۸۴). همچنین زمان حصول تعادل در مناطق مرطوب طولانی تر و در مناطق خشک و برای رودخانه‌های فصلی کوتاه‌تر میباشد (چانگ[7]، ۱۹۸۶)

شدت تغییرات و جابجائی رودخانه‌ها در سالهای مختلف یکسان نبوده و بلکه براساس اطلاعات متوالی که از میزان جابجائی رودخانه بیتون[8] در کانادا بدست آمده، این تغییرات در کوتاه مدت نیز یک پدیده پیوسته،

---

1)- Simons and Senturk
2)- Hey
3)- Kellerhals,et.al
4)- Shen
5)- Stëven,et.al
6)- Schumm
7)- Chang
8)- Beatton River

جهت داروشابتی نمیباشد. نانسون وهیکین[1] (۱۹۸۳) علاوه بر مسئله فوق نشان دادندکه ناپیوستگی روندوشدت تغییرات علاوه برزمان شامل مکان نیزبوده وبرای بازه‌ها وپیچهای مختلف یک رودخانه نیزیکسان نخواهدبود. نوسانات شدیددبی سیلابی، تفاوت درتخریب پذیری دیواره‌ها ونیزتغییر پتانسیل فرسایشی یارسوب گذاری ازعوامل کنترل میزان جابجائی دربازه‌های مختلف ونیزدرکوتاه مدت میباشد. هواردوناتسون[2] (۱۹۸۴) اثر این عوامل راروی عرض رودخانه موردبحث قراردادهاند. دراثروقوع یک سیل‌عظیم، کناره‌های رودخانه بشدت فرسایش‌میابد. درمحل پیچها نیزشدت فرسایش دیواره‌خارجی بیشترازسرعت رسوب گذاری دردیواره داخلی خواهدبود، بنابراین رودخانه بطورکلی عریض میگردد. متعاقب سیلابهای‌بعدی بعلت تعریض رودخانه، سرعت وتنش برشی کاهش یافته وروندفرسایشی کنترل میگردد. واگرسیلابهای بعدی بصورت متناوب ویکنواخت وقوع‌یابندبتدریج دردیواره‌داخلی رسوب گذاری انجام شده وعرض کاهش میابد تا مجددا " بحالت تعادل برسد. بنابراین تاثیر سیلابها یکسان نخواهدبود. برهمین اساس درمطالعه‌نحوه‌جابجائی، روند وشدت آن پیشنهاد میگرددکه‌اگراطلاعات مربوط به‌شکل وابعادرودخانه برای یک‌دوره‌زمانی طولانی موجودنیست، مطالعه‌راروی بازه‌ها و پیچ های مختلف ومشابه‌انجام داده‌ومتوسط شدت جابجائی رابااین فرض که‌بسیاری ازعوامل درکل سیستم رودخانه‌دخالت داده‌شده، پیش بینی نمایند (نانسون وهیکین، ۱۹۸۳).

استیون وهمکاران[3] (۱۹۷۵) باارائه‌شواهدی حساسیت رودخانه رابه‌تغییرفرم بررسی نموده‌اند. براساس این گزارش وقوع‌یک سیل ۴۰۰ ساله‌درمنطقه‌داکوتا[4] ـ آمریکا ـ درسال ۱۹۷۲ باعث شدتا یک

---

1)- Nanson and Hickin
2)- Howard and Knutsan
3)- Steven,et.al
4)- Dakota

رودخانه‌کوچک وما رپیچ با پوشش گیاهی مناسب بطورناگهانی‌تبدیل به‌یک رودخانه‌عریض ،مستقیم وشریانی گردد. بهمین دلیل فرم رودخانه را بصورت تابعی ازوقوع‌سیلابهای مختلف ومتوالی موردارزیابی قرار داده‌وتاثیرهرسیل را بصورت شاخص " نسبت دبی سیل ماکزیمم‌به‌دبی سیل متوسط سالیانه " مشخص میکنند. چنانچه‌نسبت فوق برای سیلهای‌متوالی کم‌باشدرودخانه‌ازنظرفرم والگوی آن درحالت رژیم‌وپایدار است ولی اگراین نسبت تغییرات زیادباشد نشانگرحساسیت رودخانه به تغییرات شدیدوحالت ناپایداری خواهدبود. همانگونه‌که‌درروخانه گیلا (1) ـ آمریکا ـ این‌نسبت متناوبا "بین ۶ تا ۱۰ بوده وبهمین دلیل تغییرات درعرض وفرم کلی آن شدیدمیباشد. .

رودخانه‌هائی که‌درموادبستری ریزدانه‌نسبت به‌تغییرات دبی وبارروبی حساسیت بیشتری دارندوشایدبهمین دلیل بیشترتحقیقات هیدرولیکی ومرفولوژیکی روی رودخانه‌های بسترماسه‌ای (2) انجام شده است وتنها از۲۵ سال گذشته‌توجه محققین به‌رودخانه‌های بسترشنی (3) معطوف گردیده‌است (هی ، ۱۹۸۲ (4)) درمناطق نیمه‌کوهستانی وحوزه‌هائی که‌منشاء بارکف زیادودرشت دانه‌هستند ،مواد آبرفتی شنی ودرشت تر دربعضی رودخانه‌ها بصورت یک لایه‌تحت الارضی عمیق ودربعضی دیگربصورت یک لایه‌محدود سطحی‌ـ روی سنگ کف یا لایه‌تحت الارضی ماسه‌ای وریزدانه قرارداردند (6) . که‌درمواقع پرآبی بصورت یک لایه‌مقاوم (5) دربرابرآبشستگی عمل کرده ومیزان بارکف رانیزمحدودمیکند. درحالیکه‌وضعیت کف درروخانه‌های بسترماسه‌ای شدیدا " تحت تاثیرشرایط جریان میباشد (هی ۱۹۸۲،وپترسن (7) ، ۱۹۸۶) بهمین دلیل بارهای رسوبی (8) درروخانه‌های

---

1)- Gila River 2)- Sand-Bed 3)-Gravel-Bed

4)- Hey 5)- Armor layer 6)-Scouring

7)- Petersen 8)- Sand Bars

بستر ماسه‌ای نیز نا پایدار ند ولی در رودخانه‌های بسترشنی، نسبتا "پایدار هستند (کرک وجونز[1]، ۱۹۸۲)

شدت تاثیر دو عامل دبی و رسوب مورد توافق محققین میباشد. برادلی و اسمیت[2] (۱۹۸۴) با انتخاب دو بازه از رودخانه ماریچی و بستر ماسه‌ای میلک[3] ـ درکانادا ـ اثر احداث سد مخزنی و نیز تاثیر اقدامات ناشی از انحراف آب یک شاخه فرعی به رودخانه اصلی را مورد بررسی قرار دادند. براساس این گزارش در اثر رود شاخه فرعی و افزایش دبی، عرض رودخانه بخصوص در محل پیچها بشدت افزایش داشته است درحالیکه در پائین دست سد مخزنی با کنترل رژیم سیلابی رودخانه و همچنین کاهش بار رسوبی آب خروجی از سد، از عرض رودخانه کاسته شده و به عمق آن افزوده گردیده است. علاوه بر آن شدت این تغییرات در سالهای اول زیاد و در سالهای بعد بتدریج کمتر شده تا اینکه سیستم رودخانه به شرایط تعادل نسبی پایداری رسیده است.

نوع مواد دیواره‌ها نیز روی هندسه هیدرولیکی رودخانه موثر است. سیمون[4] (۱۹۷۱) و شوم[5] (۱۹۸۴) اثر جنس و فرسایش پذیری مواد دیواره‌ها را مورد بحث قرار داده‌اند. دیواره‌های درشت دانه و غیر چسبنده تحت تاثیر عوامل فیزیکی و هیدرولیکی بسهولت تخریب شده و سبب تعریض رودخانه میگردد. لایه درشت دانه تر و محافظ سطحی بستر[6] سبب میگردد تا مقاومت دیواره‌ها نسبت به کف بستر بسیار کمتر باشد. علاوه بر آن افزایش بار رسوبی ناشی از تخریب دیواره‌ها نیز بر توسعه بارها[7] و جزایر رسوبی[8] کمک کرده و باعث گستردگی جریان آب و هدایت آن به سمت کناره‌ها مینماید. از اینرو در کل نسبت عرض به عمق رودخانه افزایش میابد و تخریب کناره‌ها جایگزین آبشستگی کف بستر میگردد[9]. درحالیکه مواد ریزدانه و چسبنده

---

1)- Church and Jones
2)- Bradley and Smith
3)- Milk River
4)- Simons
5)- Schumm
6)- Armor layer
7)-Bars
8)-Islands
9)- Channel-Bed Scouring

درمقابل فرسایش فیزیکی مقاومت بوده وتحت تاثیر عوامل هیدرولیکی جریان عمیقتر شده ونسبت عرض به عمق آن کمتر میباشد . .

اقدامات حفاظتی نظیر انتخاب موقعیت دیواره ساحلی ، مسیر وراستای آن ، ارتفاع دیواره و ... بستگی به پیش بینی مکانیزم تغییرات ناشی از آن خواهد داشت . تغییرات احتمالی درقبال محدودکردن مقطع جریان عبارت از افزایش عمق ، سرعت وتنش برشی ، ازدیاد بارکف وکاهش مقاومت جریان خواهد بود . که اثر آن بصورت آبشستگی درشرایط سیلابی واحتمال تخریب وفرسایش دیواره ها ظاهر میگردد مگر آنکه اقدامات حفاظت پی درپای دیواره ها صورت یافته باشد . همچنین اگررودخانه از نوع شریانی باشد درشرایط سیلابی با افزایش بارکف وحذف جرا یر رسوبی بسترهموارشده وپایداری بیشتر میگرددوظرفیت انتقال دبی افزایش میابد .ولی اگربازه مستقیم یا مارپیچی باشد ، افزایش شیب سبب ناپایداری وگاه ایجاد الگوی شریانی خواهدشد .بهرصورت انعکاس این تغییردرپائین دست بصورت ته نشست مواد رسوبی اضافی وایجاد شرایط شریانی همراه با تخریب کناره ها وتعریض رودخانه میباشد مگر آنکه مقطع پائین دست پایدار وکنترل کننده باشد (سیمون [1] ، ۱۹۷۱ و مهندسی ارتش آمریکا ، ۱۹۷۷) . .

شوم [2] (۱۹۸۴) اثر تغییرشیب را روی متغیرهای دیگر بحث نموده است اگرتاثیرات سنک کف یا تغییرات موضعی را ندیده بگیریم شیب رودخانه درجهت پائین دست کاهش میابد . این کاهش با افزایش دبی ونیز کاهش اندازه رسوبات ومواد بستری درپائین دست همراه است .برای رودخانه هائی که درصد مواد ریزدانه آنها کم است شیب رودخانه وشیب دره تقریبا " یکسان است ولی برای رودخانه های با مواد بستری ریزدانه شیب دره تا سه برابر شیب رودخانه نیز میباشد . این نکته نشان میدهدکه گرچه شیب دره میتواند یک عامل موثردرشیب رودخانه باشد ولی شدت

---

1)- Simons 2)- Schumm

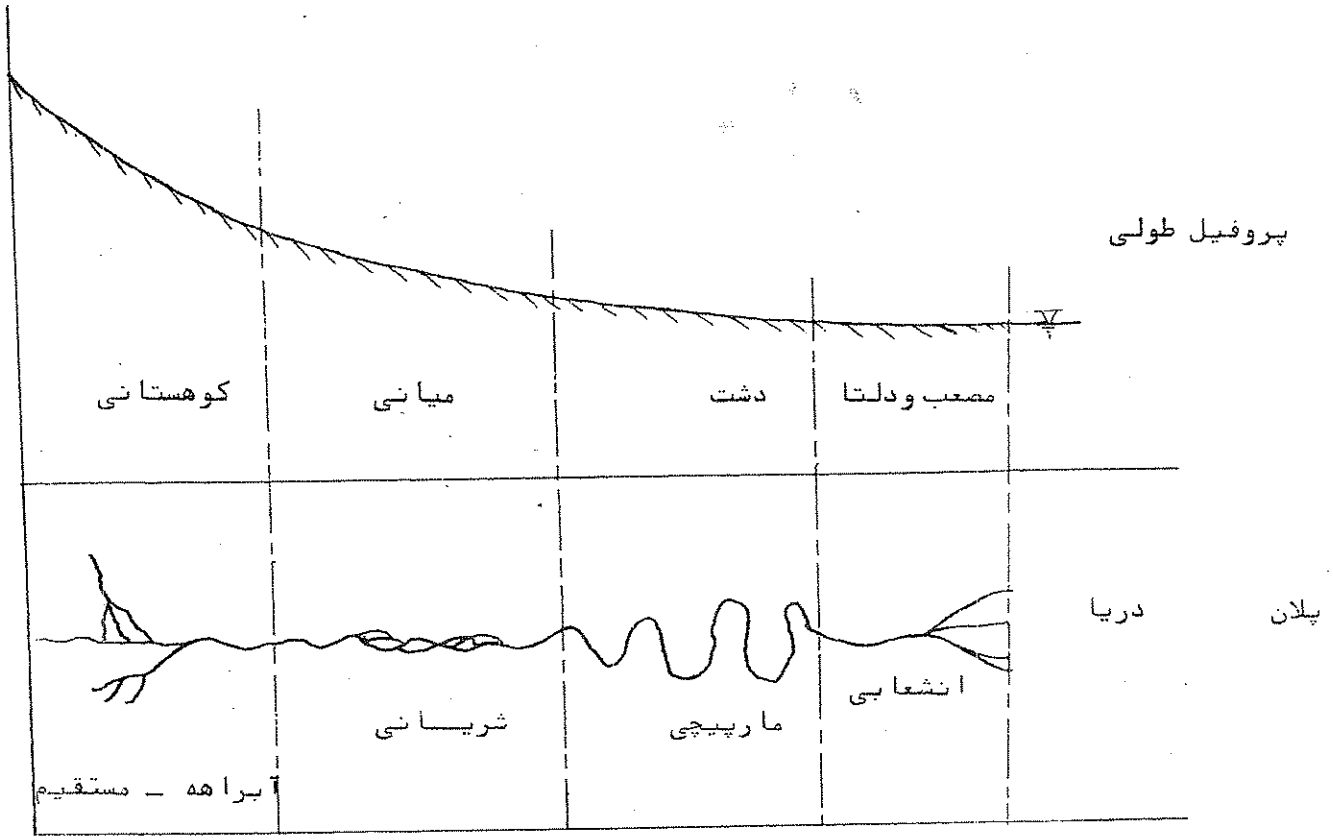
اختلاف آن درنتیجه تفاوت درنوع رسوبات حمل شده میباشد. بهمین دلیل درسیلاب دشتها، رودخانه مارپیچی میشود. افزایش ضریب مارپیچی که با افزایش طول همراه است پدیده اتلاف انرژی را تشدید کرده و از میزان بارکف میکاهد و مارپیچ را گسترش میدهد. البته استثناهائی نیز وجود دارد. برای مثال رودخانه‌های کوهستانی با پوشش گیاهی خوب ممکن است بستر مارپیچی داشته باشد درحالیکه مواد بستری آن قلوه، سنگ است. در مصب رودخانه‌ها (۱) و محدوده دلتا (۲) بعلت اینکه شیب در رودخانه خیلی کم و میزان لای زیاد است، عمل مارپیچی شدن محدودشده و مسیر مستقیم‌تر میشود. همچنین بعلت ضعف دیواره‌ها بخصوص در دیواره خارجی پیچها پدیده تغییر مسیر (۳) شدت یافته و رودخانه با انشعابات متعدد و جداگانه به سمت محل تخلیه طبیعی خود روانه میگردد. نمونه آن رودخانه می‌سی‌سی‌پی در پائین دست نیواورلئان (۴) یا رودخانه ایلینوز است که با وجودیکه رسوبات ریزدانه در آنها غالب است ولی کلا" مستقیم هستند (شوم، ۱۹۸۴) (۵).

شکل (۵) نحوه تغییرات شیب، پروفیل کف و پلان رودخانه را در طول مسیر آن نشان میدهد.

---

1)- Estuary 2)- Delta 3)- Avulsion

4)- Neworleans 5)- Schumm



شکل (۵): نحوه تغییرات پروفیل و پلان رودخانه در طول مسیر آن

مکانیزم تغییرات رودخانه‌ای

۱) مکانیزم فرسایش و تخریب دیواره‌های رودخانه

مسائل ⇐
- عوامل فرسایش و تخریب :
  - نوع : سطحی یا توده‌ای و ...؟
  - شدت فرسایش و تخریب دیواره(ها)
  - شکل دیواره
  - خصوصیات فیزیکی و مکانیکی دیواره‌ها
    - تغییرپذیری لایه‌ها در عمق
    - " مواد دیواره در طول رودخانه
    - دیواره‌های چسبنده (رسی‌دانه)
    - " غیرچسبنده (درشت‌دانه) یا ماسه‌ای
    - " لایه‌لایه (مطبق)
    - " با پوشش گیاهی (علفی و ریشه‌ای)

۱- عوامل فرسایش و تخریب :

* عوامل فیزیکی : - شرایط اقلیمی ، خصوصیات فیزیکی مواد دیواره (زهکشی و ...)
  - عوامل دینامیکی (موضع و شدت مواد شناور و رسوب و ...)
  - عوامل بیولوژیکی (پوشش گیاهی ، ترددو دام و ...)

** عوامل شیمیایی : - نوع رس و ترکیبات شیمیایی مواد دیواره
  - کیفیت شیمیایی آب و تاثیر متقابل با دیواره (تاثیرات تخریبی و در بلندمدت)

*** عوامل هیدرولیکی : - تنش برشی جریان یا توان جریان
  - شدت جریان آب و رسوب

نکته مهم : ⇐ عوامل و نیروهای فرسایش

و

⇐ زمان تاثیر (دوام اعمال نیرو)

⇐ تاثیر تک‌تک عوامل و نیروها را نمی‌توان از یکدیگر دقیق جدا کرد.

⇐ حد آستانه برای مقدار و زمان تاثیر هریک از عوامل را نمی‌توان تعیین کرد.

" تخریب دیواره‌های رودخانه "

مکانیزم تخریب و گسیختگی دیواره‌ها[1] نه تنها بستگی به نوع و شدت فرسایش دارد بلکه به ابعاد، شکل و ساختمان دیواره و خصوصیات مکانیکی مواد تشکیل دهنده آن نیز وابسته میباشد. تورن[2] (۱۹۸۲) و پترسن[3] (۱۹۸۶) دیواره‌ها را به سه گروه : غیرچسبنده[4]، چسبنده[5] و مطبق[6] تقسیم میکنند. گرچه هی[7] (۱۹۸۲) عامل پوشش گیاهی روی دیواره‌ها را نیز معیار دیگری جهت تقسیم بندی جزئی تر نوع دیواره‌ها معرفی میکند.

دیواره‌های غیرچسبنده متشکل از مواد شن، ماسه ولای بوده و خواص مکانیکی آن از روی منحنی توزیع دانه بندی قابل حصول میباشد. دیواره‌های چسبنده حاوی رس و مواد ریزتر از ۰/۰۰۴ میلیمتر بوده و آبگذری و ضریب زهکشی آن پائین میباشد. و بدلیل چسبندگی خصوصیات مکانیکی آن از طریق انجام آزمایشات کامل مکانیک خاک میسر خواهد بود. درطبیعت دیواره‌های رودخانه از مواد یکنواخت تشکیل نشده و بلکه لایه‌های مختلف از مواد چسبنده و غیرچسبنده با خصوصیات مکانیکی متفاوت در آنها قابل تشخیص میباشد. (تورن ، ۱۹۸۲) .

علاوه بر تغییرپذیری لایه‌ها در پروفیل قائم دیواره، نوع مواد آبرفتی دیواره‌ها در پروفیل طولی رودخانه نیز در تغییر است بطوریکه در بازه‌های بالادست متشکل از تخته سنگ و قلوه سنگ و در بازه‌های پائین دست بتدریج شن و ماسه، لای ورس خواهد بود (شن[8] ، ۱۹۸۴)

---

1)- Bank Failure
2)- Thorne
3)- Petersen
4)- Non Cohesive
5)- Cohesive
6)-Stratified
7)- Hey
8)-Shen

Table 2.10. Measured rates of bank erosion for rivers of different size and type.

River and source	Drainage area, km²	Bank erosion rate, in (m/yr)	Period of measurements	River type
1. Mississippi River (Brice, 1983)	1 145 000	57.4	1880-1944	Sinuous point bar locally braided
2. Mississippi River (id.)	1 124 900	25.6	1880-1944	Sinuous
3. Yellowstone River (id.)	69 000	15.4	1938-1967	Sinuous braided
4. Apalachicola River (id.)	17 600	4.3	1949-1978	Sinuous
5. Sacramento River (id.)	9 300	16.7	1947-1974	Sinuous point bar
6. Elkhorn River (id.)	5 850	27.6	1941-1971	Sinuous point bar
7. West Fork White River (id.)	4 700	5.6	1939-1966	Sinuous point bar
8. Iowa River (id.)	3 300	2.8	1937-1970	Sinuous point bar
9. North Canadian River (id.)	1 200	14.8	1936-1966	Sinuous braided
10. Tallahala Creek (id.)	600	1.6	1942-1970	Sinuous point bar
11. Kanaranzi Creek (id.)	120	0.7	1954-1968	Sinuous point bar
12. Axe, Devon (Knighton, 1984)	288	0.15 ÷ 0.46	1974-1976	–
13. Bollin-Dean, Cheshire (id.)	12 ÷ 120	0 ÷ 0.9	1967-1969	–
14. Crawfordsburn, N. Ireland (id.)	3	0 ÷ 0.05	1966-1968	–
15. Exe, Devon (id.)	620	0.62 ÷ 1.18	1974-1976	–
16. Mississippi, Louisiana (id.)	–	4.5	1945-1962	–
17. Forrens, S. Australia (id.)	78	0.58	1960-1963	–
18. Watts Branch, Maryland (id.)	10	0.5 ÷ 0.6	1955-1957	–
19. Wisloka, Poland (id.)	–	8 ÷ 11	1970-1972	–
20. Cound River, Shropshire (Hughes, 1977)	100	0.64	1972-1974	Irregular meander
21. Gwda River, Poland (Przedwojski, 1989b)	4942	2.5 ÷ 3.0	1988-1989	Irregular meander
22. Uji River (Fujita et al., 1988)	–	2.0	1980-1987	Sinuous
23. Jamuna River (Colemans, 1969; Klaassen, 1992)	–	0 ÷ 1000	1965-1969 1973-1987	Braided

Efforts have been made to develop theoretical or modelling methods for prediction of bank erosion in natural streams. Measured rates of bank erosion (E) in m/yr are shown in Table 2.10. However, with so many causes of bank erosion their individual effects cannot be separated or an erosional threshold defined. Thus, the detail research of bank erosion mechanisms requires attention to long-term field studies (Knighton, 1984; Neill and Yaremko, 1989).

The bank erosion along rivers depend on both the morphological processes in rivers that determine the erosive forces, and the soil-mechanical properties of the river banks that characterize their ability to resist erosion. The main factors are:

1. Flow; discharge flow, groundwater flow, ship waves, shear stresses exerted by discharge flow.
2. Sediment transport; e.g. removal of slump debris after mass failure.
3. Bank properties; bank material weight and texture, shear strength including cohesive properties, electrochemical properties, bank height and cross-sectional slope, groundwater level and permeability, stratigraphy, tension cracks, riparian vegetation and constructions.

Cohesive banks usually erode by mass failure. Following mass failure slump, debris accumulates at the bank toe. The debris is removed by lateral erosion prior to further bank

عوامل فرسایش وتخریب دیواره‌ها :

مهندسین ارتش آمریکا[1] (۱۹۸۱) وتورن[2] (۱۹۸۲) مجموعه عوامل فرسایش وتخریب دیواره‌های رودخانه‌را درسه‌گروه اصلی : فیزیکی، شمیمیائی وهیدرولیکی قرارمیدهند :

الف) عوامل فیزیکی : شرایط اقلیمی منطقه، خصوصیات فیزیکی دیواره‌ها وتاثیربیولوژیکی فعالیت انسان روی نوع ومیزان فرسایش موثراست . درشرایطی که زهکشی دیواره‌ها ضعیف است فشار منفذی[3] مثبت عامل کاهش مقاومت دیواره‌ها میگردد . این وضعیت درمواقع بارشهای متداوم ، ذوب برف ویا افت سریع سطح آب سیلابی[4] بوجود میآید . بطوریکه علاوه برافزایش وزن مخصوص خاک ، تراوش آب[5] ازدیواره‌ها نیز باعث شستشوی مواد ریزدانه[6] وکاهش چسبندگی خاکدانه‌ها خواهد شد . این پدیده دردیواره‌های چسبنده باآبگذری کم باعث لغزش توده‌ای خاک[7] میگردد . همچنین دردیواره‌های ازنوع ماسه‌ای بالایه‌سطحی چسبنده رسی سبب ایجاد حالت میعان وروانگرائی[8] شده‌که‌با اعمال نیروهای دینامیکی منجربه‌لغزش ونشست[9] آن خواهدگردید .

حالت فیزیکی آب منفذی دیواره‌ها نیزمهم‌است . ذوب وانجماد[10] آب درخلل وفرج یا ترک وشکافهای دیواره ـ ازطریق تغییرات حجمی سبب تزلزل ساختمان خاک شده‌واصطکاک بین ذرات وفشاربین دانه‌ای[11] کاهش میابد .

---

1)- U.S.Army corps of Engineers 2)- Thorne

3)- Pore Pressure 4)- Rapid Draw Down

5)- Seepage 6)- Piping 7)-Slip

8)- Liquifaction 9)- Sloughing

10)- Freeze and thaw 11)-Intergranular Pre.

تغییرات شدیدرطوبتی خاک وسیکل تروخشک آن عامل مهمی در انقباض[1] یا تورم خاک[2] وایجادترک وشکاف خواهدبود. فرسایش سطحی سواحل ودیواره‌ها دراثرانرژی جنبشی ناشی ازبرخوردقطرات باران[3] وروانااب سطحی آن ازعوامل ایجادفرسایش ورقه‌ای ،شیاری وخندقی است که‌شدت آن بستگی به پوشش گیاهی ، فرسایش پذیری مواد وشیب دیواره دارد ودرمناطق خشک بابارانهای شدید ومواد آبرفتی "لای"[4] حائزاهمیت است .

عوامل دینامیکی نظیراثرموج[5] ناشی ازحرکت باد، قایقها یا حرکت یخ – درفصل بهار– بصورت فرسایش سطحی دیواره‌ها درنوارارتفاعی سطح آب ظاهرمیگردد .

عوامل بیولوژیکی نظیر ترددوچرای دام یازوال وسقوط درختان ویاحذف پوشش گیاهی درمحدوده‌حریم ودیواره‌های رودخانه ،قابلیت فرسایش پذیری راافزایش میدهد . عامل پوشش گیاهی روی دیواره‌ها بااعمال زبری بیشتر وکاهش سرعت وتنش برشی ، نیروی فرسایشی راکنترل میکندوازسوی دیگرنیزریشه‌ها باتحکیم‌وپایداری ساختمان خاک مقاومت دیواره‌ها راافزایش میدهد (شن[6] ، ۱۹۸۴) .

ب) عوامل شیمیائی : اثرنوع کانی رس درانرژی شیمیائی پیوندذرات یافاکتورنسبت سدیم جذبی محلول خاک (SAR) درپخشیدگی ساختمان خاک ویاوجود ترکیبات شیمیائی سیلیسی وکلسیم دار– که سبب سیمانی شدن ساختمان خاک میگردد، روی قابلیت فرسایشی مواد دیواره‌ها تشخیص داده‌شده‌است . همچنین تاثیرکیفیت شیمیائی آب ازنظر قدرت اسیدیته‌آن درحل‌موادچسبنده وسیمانی بین ذرات خاک ویا میزان

---

1)- Shrinkage
2)- Swelling
3)- Rain Drop impact
4)- Silty
5)- Wave action
6)- Shen

قلیا ئیت آن درپخشیدگی خاکدانه‌ها نیزقابل بررسی میباشد. ولی تاثیر کمی عوامل شیمیائی هنوزناشناخته‌است .ومهمترین دلیل آن نیزسرعت بسیارکم تاثیرآن درمقایسه‌بااثرعوامل فیزیکی وخصوصا " هیدرولیکی میباشد. بهرحال برای شرایطی که سطح آب زیرزمینی پائین بوده‌ویا وضعیت زهکشی مواددیواره‌ها مطلوب باشد اثرآن قابل ملاحظه‌نخواهدبود.

ج) عوامل هیدرولیکی : جریان آب درمقطع اصلی وبستر کبیررودخانه ازعوامل اصلی فرسایش وتخریب دیواره‌ها بشمارمیآید. شدت تاثیراین عامل بستگی به‌دبی ، سرعت ، عمق ، شیب ، غلظت بار رسوبی کف ومعلق ، دانسیته‌ولزجت آب وخصوصیات مواد بستری دارد.وقتی تنش برشی جریان آب بیش ازتنش برشی بحرانی دربستورودیواره‌های رودخانه‌باشد تخریب هیدرولیکی صورت میپابد که‌ازدوطریق سبب تخریب دیواره وتعریض رودخانه میگردد : اول آنکه تنش اضافی مستقیما " سبب جداسازی ذرات ازدیواره‌وحمل وانتقال آن میشودودوم آنکه‌دراثر آبشستگی بستر(۱) ،ارتفاع وشیب دیواره بشدت افزایش یافته‌وسبب گسیختگی ثقلی(۲) دیواره‌میگردد.

مکانیزم گسیختگی دیواره‌ها :

هوک(۳) (۱۹۷۹) نشان دادکه فرآیندفرسایش ومکانیزم گسیختگی دیواره‌ها(۴) درنتیجه‌تاثیر متقابل عوامل مختلف فیزیکی وهیدرولیکی صورت میپذیرد. ولی درجه تاثیرهریک ازآنها بستگی به‌اثرژی جریان وشدت نیروهای فرسایشی ازیکسو وپتانسیل مقاومت وپایداری بستر ودیواره‌های رودخانه‌ازسوی دیگردارد. بطورمثال اگرپتانسیل آبشستگی

1)- Scouring
2)- Gravitational Failure
3)- Hooke
4) - Bank Failure

Additional causes of bank erosion in natural environments and effects of human activities include the following (Neill and Yaremko, 1989; US Army Corps of Engineers, 1981):

1. Long term geological process of valley widening.
2. Systematic meandering processes in alluvial floodplains.
3. Geotechnical instability, as a primary cause of bend erosion, is important mainly in entrenched streams with high steep banks in weak soils and formations.
4. Basin development. Where the drainage basin has been altered by developments, such as conversion from forest to farmland or from farmland to urban use, flood peak and sediment loads often increase.
5. Removal of bank vegetation.
6. Local bank protection and river training works often provoke accelerated bank erosion elsewhere.
7. Mining from the stream bed can contribute to bank erosion by causing bed degradation and undercutting of banks.
8. Channelization or straightening often initiates a long sequence of responses including incision or degradation, slope undercutting and a tendency to developed new meanders.
9. Reservoir operation sequences; the consequence is aggradation for streams in which flow dominates and generally degradation whenever sediment transport is more significant.
10. Reduced dam release may produce aggradation in an outlet channel whenever the resulting flows are insufficient for removing sediment inflow from tributary streams.

Mechanisms that cause displacement of soil particles from the bank surface identified by the US Army Corps of Engineers are listed in Table 2.9.

The US Army Corps of Engineers (1981) summarized changing conditions that affect bank stability as follows:

At the surface:

a) Severe surface deterioration that may result in an unstable bank configuration, such as erosion by streamflow at the toe of the bank; erosion at the water surface due to waves; and erosion along the bank surface due to over-bank flows.

b) Deep tension cracks due to excessive drying of a cohesive soil or similar structural change that may cause the bank to weaken and become unstable.

c) Overburden placed along the top of bank that may cause an otherwise stable bank to become unstable.

Moisture content within the bank:

a) The slope of a cohesionless bank may be temporarily steeper than the angle of repose of the bank material due to capillarity or other temporary stabilizing effect. When the stabilizing effect is removed, the bank becomes unstable.

b) With piping, cohesionless material is eroded from a location on the bank surface by seepage flow; a cavity develops and extends rapidly into the bank along a dominant seepage path.

c) Liquefaction of fine-grained and loosely structured materials subject to rapid increase in pore pressure (as during rapid drawdown or earthquake loading) results in a large segment of bank material flowing downslope as a fluid-like mixture.

Table 2.9. Surficial bank deterioration mechanisms (after US Army Corps of Engineers, 1981).

Mechanism	Description
Abrasion	Solid materials carried by wind or flowing water ion collide with and dislodge surface soil particles. Abrasion also occurs during shifting of winter ice cover.
Biological (animals)	Examples are bank surface destruction during overgrazing and by animal burrows and trails.
Biological (vegetation)	Vegetation normally is conducive to surficial stability; exceptions occur during decay of root material and by tree falls or vegetation patterns that concentrate or cause turbulence in over-bank flows or streamflows.
Chemical	Water and acids in water affect cohesive and other types particle-to-particle bonding; bank material is removed by dissolution.
Debris	Debris gouges, or scrapes material from, bank surfaces as well as causing turbulence and flow concentration.
Flow (water)	Soil particle removal by over-bank flows and streamflows is a major cause of bank surface deterioration. Quantity of flow, transport capacity, turbulence, secondary currents, and wave action contribute to the rate and location of surficial particle removal. Seepage flows remove surface particles as well as contributing to mass bank failures.
Freeze-thaw	Cyclic temperature changes cause fracture due to excessive contraction and expansion and spalling due to successive freezing and thawing of moisture within the bank.
Gravity	The stable slope of a cohesionless bank corresponds to gravitational stability; for steeper slopes, surface particles roll down-slope.
Human actions (on bank)	Certain human actions attack the bank – loosening the bank surface material by farming or other mechanized operation is one example. Other actions may influence natural mechanisms – the destruction of a protective vegetation cover by livestock overgrazing is one example. Many actions are possible.
Human actions (stream channel)	Examples of direct actions are dredging and sand or gravel mining of channel sediments. Examples of indirect actions are structures and vessel propeller motion that cause turbulence in the streamflow. Many actions are possible.
Ice	Ice jams restrict a channel and affect stream and over-bank flows.
Precipitation	Surficial destruction occurs due to impact by rain or hail as well as during periods of high streamflows and over-bank flows.
Waves	Waves due to wind or stream vessel traffic cause surficial deterioration of the bank near the stream water surface that result in surface soil particle loosening.
Wind	Surface deterioration by wind is normally small as compared with water flow; however, waves due to wind contribute to surficial deterioration.

d) With a high water table and low stream level, an added hydraulic load is placed on the bank and may result in failure unless relieved by seepage or piping.

e) Swelling and shrinking during wetting and drying affect the stability of clay soils. Substantial hydraulic pressures may result from water flowing freely into deep tension cracks and into openings between different bank materials.

(۱۱۵)

در زمانی که با گرم شدن هوا، لایه یخ ذوب می‌گردد سطح خاک متورم شده، در شرایط سست و ضعیفی درباره به موضع اولیه نشست می‌کند. در حالیکه تحت جریان آب رودخانه به راحتی فرسایش یافته و از کناره، متفل می‌شود. علاوه بر تغییرات دما، بارش شدید و ممتد باران نیز سطح خاک کناره را آماده فرسایش تحت جریان رودخانه می‌کند. [۱۹]

۳-۴ ساز و کار (مکانیزم) فرسایش

توسط گروه مهندسین ارتش آمریکا، ساز و کارهای متداولی که به اشکال گوناگون موجب فرسایش سطحی و توده‌ای می‌شود در جدول ۳-۱ خلاصه شده است. [۱۴]

جدول ۳-۱- ساز و کارهای فرسایش کناره‌های رودخانه (ترجمه جدول صفحه بعد)

عوامل فرسایش	توصیف
سایش	مصالح خاکی به وسیله باد یا یون کلویید همراه آب جاری حمل می‌شوند و ذرات سطحی خاک را جابجا می‌نمایند. سایش همچنین در ضمن حرکت پوشش یخ زمستانی ایجاد می‌گردد.
بیولوژیک (حیوانات)	نمونه‌های آن تخریب سطح کناره در ضمن جریدن و لانه‌سازی حیوانات است.
بیولوژیک (گیاهان)	در حالت عادی گیاهان موجب کمک به پایداری سطحی می‌شوند؛ موارد استثنا درضمن فاسد شدن ریشه گیاهان و قطع درختان با پوشش‌های گیاهی ظاهر می‌شود که موجب تمرکز یا ایجاد آشفتگی در جریانهای جاری بر روی دیواره با جریان رودخانه می‌گردد.
شیمیایی	آب و اسیدهای موجود در آن بر چسبندگی و سایر انواع اتصالات ذره به ذره تأثیر می‌گذارند؛ مصالح دیواره در اثر تجزیه کنده می‌شوند.
واریزه	واریزه موجب کنده شدن یا خراشیده شدن مصالح از سطح دیواره و نیز ایجاد آشفتگی و تمرکز جریان می‌گردد.
جریان (آب)	حرکت ذرات خاک در اثر جریانهای سطحی دیواره و جریان آبراهه عامل بزرگ خرابی سطح کناره است. مقدار جریان، ظرفیت جابجایی، آشفتگی، جریانهای ثانویه و تأثیر موج در نرخ و موفقیت کنده‌شدگی ذرات سطح مشارکت دارند. جریانهای تراوشی موجب حرکت ذرات سطحی و نیز تأثیرگذاری بر گسیختگیهای توده‌ای دیوار می‌باشند.
یخ‌زدگی - آب‌شدگی	تغییرات سیکلی دما به علت انقباض و انبساط فراوان و خردشدن سنگها در اثر یخ‌زدگی و آب‌شدگی مکرر رطوبت درون دیواره موجب تخریب آن می‌گردد.

ساز و کار	توصیف
نیروی ثقل	شیب پابدار یک دیواره بدون چسبندگی بستگی به پایداری ثقلی دارد؛ ذرات سطحی در شیبهای تندتر به پایین سرازیر می‌غلتند.
دخالتهای انسان (در دیواره)	بعضی از دخالتهای انسان موجب لطمه به دیواره‌ها می‌شود. سست کردن مصالح سطح دیواره در اثر کشت و کار یا دیگر عملیات مکانیزه نمونه‌ای از آن است. کارهای دیگری می‌توانند بر ساز و کار طبیعی تأثیرگذار باشند. تخریب یک پوشش گیاهی محافظ در اثر چراندن احشام یک نمونه است. کارهای فراوانی ممکن است صورت پذیرد.
دخالتهای انسان (در کانال رودخانه)	نمونه‌هایی از دخالتهای مستقیم انسان عبارتند از لایروبی و برداشت شن و ماسه از رسوبات رودخانه. نمونه‌های دخالتهای غیرمستقیم نیز عبارتند از ایجاد سازه‌ها و تأثیر حرکت پروانه کشتی که موجب آشفتگی جریان رودخانه می‌گردد. کارهای فراوانی ممکن است صورت پذیرد.
یخبندها[1]	موجب محدودشدن کانال و تأثیر بر جریانهای رودخانه و جریانهای جاری بر روی کناره می‌گردد.
بارش	ضربه قطرات باران یا تگرگ همچون دوره‌های عبور جریان شدید از رودخانه و جریان جاری بر روی دیواره موجب تخریب سطحی می‌شود.
امواج	امواج ناشی از باد یا رفت و آمد کشتیها موجب خرابی سطحی دیواره مجاور سطح آب رودخانه شده که نتیجه آن سست شدگی ذرات سطحی خاک می‌باشد.
باد	خرابی سطح باد در مقایسه با جریان آب در حالت عادی ناچیز است. به هر صورت امواج ناشی از باد در خرابی سطحی مشارکت دارند.

1- Ice Jams

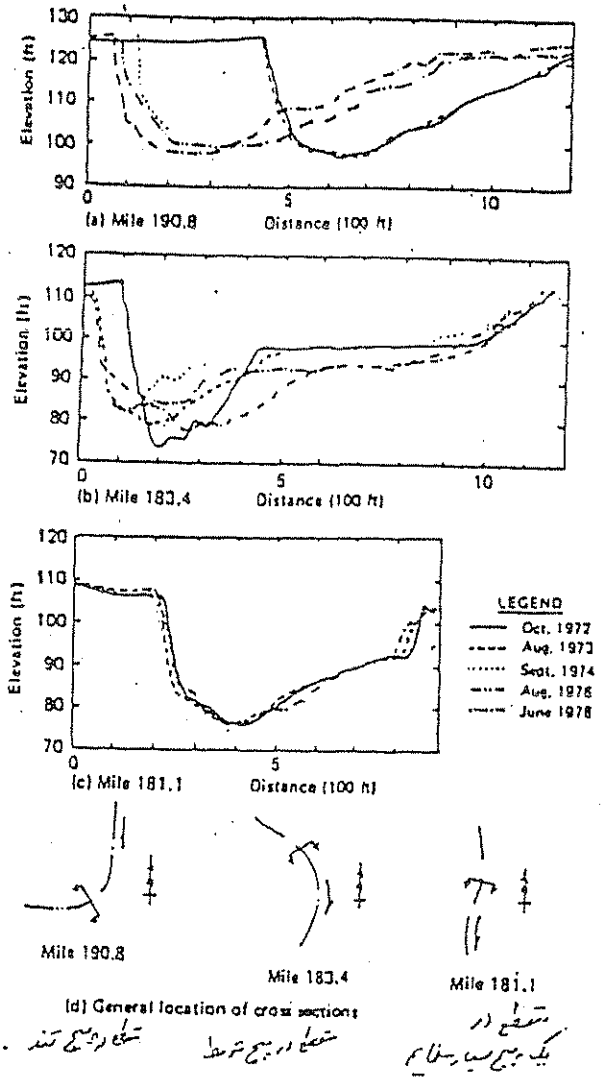


Fig. 2.64. Sacramento River cross sections (after US Army Corps of Engineers, 1981).

period 1972-1978 at representative cross sections of the Sacramento River are shown in Fig. 2.64. Costs of stream-bank protection by conventional methods generally exceed benefits, making such work uneconomical from a cost benefit standpoint. The Corps study concluded that there is no universal low-cost method for solution of field erosion problems and that on major streams and tributaries bank protection will be expensive, but that on smaller streams innovative methods can provide short-term, low-cost protection. However, bank erosion is probably the most common problem faced in river engineering practice.

The mechanics of bank erosion and the stability of protective structures subject to hydraulic loading are a complex problem. The understanding of erosion processes and failure mechanisms of structures is still in a rudimentary stage, and it is not yet possible to describe many important phenomena and their interactions by theory. For this reason

در مجموعی ، برای یک بازه معین زلزله‌ای :

۱) چه عواملی موثر و مهم هستند ؟

۲) سهم کمی هر یک از عوامل موثر - در مقایسه با عامل تنش برشی جریان حیست ؟ از نظر "نوع عامل" و از نظر "زمان وقوع تاثیر".

به جدول (۳) ضمیمه مطالب مراجعه کنید. + صفحات ۱۶۵ تا ۱۶۸ مطالب اصلی درس

← ارزش نسبی : (۱ → ۹) (۴)

M_B : بار متعادل پذیرفته شده — فیزیک عامل
D_B : بار وقوع آزمایش — } عامل موثر ۹ تا تاثیر ۱۰۰٪

مقدار (کمیت) نسبی فرسایش هر عامل :

$$R_B = M_B - D_B$$

مقدار عددی استاندارد شده : $R_B = 9 - 9 = 81$ (مقدار مطلق)

" " حدی استاندارد شده : $a = \frac{81}{81} = 1.0$ (استاندارد شده)

ارزش یا سهم کمی هر عامل ⇐ (ضریب) × تنش برشی جریان ($\tau = \gamma RS$)

بار تنش برشی در دیواره‌ها (مکزیمم آن) : $a_1 = 0.77$

بار مجموعی عوامل و نیروهای دیگر (" ") : $a_2 = 0.55$

مکزیمم ضریب معادل $a = 0.55 + 0.77 = 1.32$

$= 1.32 (\gamma RS)$

مکزیمم تنش کل معادل در دیواره (در مسیر مستقیم)

مکزیمم مطلق : $\tau = (1.0 \times 1.32)\tau_0 = 1.32\,\tau_0$

در مسیرهای خارجی : سرعت بیشتر ← تنش جریان بیشتر !

$\tau = \rho \alpha V^2$

خم‌ها : $K = R(\frac{1}{2w}) \cdots$

$\tau_{Bend} = K\,\tau_{Straight} = (1-2)\,\tau_{St.} \approx 1.5\,\tau_{St.}$ مکزیمم تنش کل معادل در مسیر قوسی

← شکل توزیع تنش در مقطع بستر شکل ۱۳

موارد کاربرد ارزیابی تنش کل

۱- در ارزیابی پایداری دیواره‌ها - مقایسه با تنش برشی بحرانی

۲- " " کف بستر رودخانه

۳- در ارزیابی روشهای حفاظتی - اندازه‌ی مصالح سنگدانه‌ها

توزیع تنش برشی

مقطع { ۱- در میدان مستقیم
۲- در قوس

$\tau_{av} = 0.77\ V_d$ ← تنش برشی متوسط

(۱۲۵) شکل ۱۳ ص ۱۵۱ ، ۱۵۳

$\tau_s = 1.5\ (0.77)\ V_d \simeq 1.2\ V_d$

τ_s: تنش برشی ماکزیمم در جدار خارجی
1.5: ضریب تقریبی استاد فنی
V_d: برش ضربدر

$\tau_s = 2\ (1.5\ V_d) \simeq 3\ V_d$

τ_s: تنش برشی ماکزیمم در جدار داخلی
2: ضریب افزایش تنش
$1.5\ V_d$: برش ضربدر

حداکثر مطلق: مقدار تنش برشی معادل کل عوامل در دیافراگم قوسی شکل و ذیب.

در طول دیافراگم قوسی؟

محدوده مقطعی تنش برشی دیواره (مواضع حمله ذیب)

در کجای دیافراگم است؟

- در محدوده جدایی بتن؟
- دیافراگم ... ؟
- فرورفتگی ... ؟
- زیست دیواره خارجی؟
- داخلی؟

شکل ۱ ـ ص ۱۲۲

$\frac{B}{D} = \frac{۳}{۴۵}$ دارد

شیب

دیاگرام: شکل پیش‌بینی شده بر اساس نتایج تحقیق و مشاهدات جهان (آزمایشگاه ـ سکوی سازه)

(۱۲۱)

~~از طریق کاهش میزان ماکزیمم سیلاب صورت گرفته، شواهد نشان میدهد که بیشترین مقدار خسارت بر دیواره‌ها بعد از زمان وقوع ماکزیمم لحظه‌ای سیلاب و در اثر تداوم جریانهای پرآبی و متوسط بوده است.~~ (۱)

سیمون ولی (۱۹۸۲) علاوه بر نیروهای فرسایشی وارد بر دیواره رودخانه، فاکتور زمانی تاثیر و اعمال نیرو را نیز عامل مهمی در میزان گسیختگی میدانند. بهمین منظور بر اساس مطالعات انجام شده و شواهد صحرائی، اثر مقدار نسبی نیرو (M_B) و مدت زمان نسبی اعمال نیرو (D_B) برای شرایط عمومی دیواره‌های غیرچسبنده و مطبق در رودخانه‌های طبیعی بصورت جدول (۳) ضمیمه ارائه شده است. در این جدول درجه تاثیر هر نیرو و زمان آن بصورت کیفی و با ارزش نسبی ۱ تا ۹ نشان داده میشود. بر اساس ارزیابی فوق عامل هیدرولیکی " تنش برشی جریان " روی دیواره غیر چسبنده و مطبق مهمترین نیرو شناخته شده و ارزش نسبی آن بترتیب ۹ و ۸ میباشد. درحالیکه، "اثر عامل فیزیکی "ذوب و انجماد" حداقل ارزش نسبی ـ معادل (۱) ـ را دارد. این روند توسط تورن (۲) (۱۹۸۲) نیز گزارش شده است. بمنظور ارزیابی دقیقتر، فاکتور جدیدتری بنام "مقدار نسبی فرسایش دیواره" (R_B) تعریف شده که

$$R_B = M_B \cdot D_B$$

میباشد. مقدار R_B برای عامل " تنش برشی " در دیواره غیرچسبنده و مطبق بترتیب ۸۱ و ۷۲ و برای عامل " ذوب و انجماد " او ۱ میباشد. شدت این اختلاف تاثیر عامل زمانی اعمال نیرو را بخوبی نشان میدهد. در جدول فوق همچنین مقدار R_B هر نیرو نسبت به مقدار R_B تنش برشی آن استاندارد شده است تا اثر نسبی نیروها در مقایسه با عامل تنش برشی سنجیده شود. برای این منظور مقدار R_B هر نیرو از تقسیم R_B مربوطه بر عدد ۸۱ ـ برای دیواره غیرچسبنده ـ و بر عدد ۷۲ ـ برای دیواره‌های مطبق ـ بدست میآید. (گزارش شده توسط شن، ۱۹۸۴)

---

1)- Simons and Li

2)- Thorne

جدول (۳)ضمیمه : ارزش کیفی مقدار روزمان نسبی تاثیرنیروهای فرسایشی روی دیواره رودخانه

عوامل ایجادنیروی فرسایشی دیواره‌ها	شرایط رودخانه	مقدارنسبی نیرو M_B		زمان‌نسبی اعمال نیرو (D_B)	مقدارنسبی فرسایش دیواره‌ها (R_B)			
		دیواره غیر چسبنده	دیواره مطبق (لایه لایه)		دیواره غیرچسبنده		دیواره مطبق	
					مطلق	استاندارد (۹)	مطلق	استاندارد (۵۸)
تنش برشی جریان	دیواره معمولی	۹	۸	۹	۸۱	۱/۰	۷۲	۱/۰
	دیواره بلند	۹	۸	۹	۸۱	۱/۰	۷۲	۱/۰
تغییرات سطح آب سیلابی (شدت زیاد جریان سیلابی)	دیواره معمولی	۲	۲	۱	۲	۰/۰۲	۲	۰/۰۳
	دیواره بلند	۲	۲	۱	۲	۰/۰۲	۲	۰/۰۳
تغییرات سطح آب معمولی (شدت جریان زیاد)	دیواره معمولی	۳	۳	۲	۶	۰/۰۷	۶	۰/۰۸
	دیواره بلند	۴	۳	۲	۸	۰/۱۰	۶	۰/۰۸
نوسانات سطح مبناء آب (سطح آب در حوضچه یا در مصب دریا)	دیواره معمولی	۳	۳	۲	۶	۰/۰۷	۶	۰/۰۸
	دیواره بلند	۴	۳	۲	۹	۰/۱۱	۶	۰/۰۸

(۳۰۳)

ادامه جدول (۳) ضمیمه:

عوامل ایجادنیروی فرسایشی دیواره‌ها	شرایط رودخانه	مقدارنسبی نیرو M_B		زمان نسبی اعمال نیرو (D_3)	مقدارنسبی فرسایش دیواره ها (R_B)			
		دیواره غیر	دیواره مطبق		دیواره غیرچسبنده		دیواره مطبق	
					مطلق	استاندارد	مطلق	استاندارد
موج‌ناشی ازوزش باد	دیواره معمولی	۲	۲	۱	۲	۰/۰۲	۲	۰/۰۳
	دیواره بلند	۱	۱	۱	۱	۰/۰۱	۱	۰/۰۱
	دیواره مغمولی	۲	۳	۲	۴	۰/۰۵	۴	۰/۰۸
موج‌ناشی ازقایق رانی	دیواره بلند	۲	۲	۲	۴	۰/۰۵	۴	۰/۰۶
	دیواره معمولی	۱	۱	۱	۱	۰/۰۱	۱	۰/۰۱
اثرذوب وانجماد	دیواره بلند	۱	۱	۱	۱	۰/۰۱	۱	۰/۰۱
	دیواره معمولی	۲	۲	۱	۲	۰/۰۲	۲	۰/۰۳
اثر یخ	دیواره بلند	۳	۲	۱	۳	۰/۰۴	۲	۰/۰۳
	دیواره معمولی	۲	۳	۲	۴	۰/۰۵	۴	۰/۰۸
نیروی تراوش	دیواره بلند	۳	۳	۲	۶	۰/۰۷	۶	۰/۰۸

(۳۰۴)

ادامه جدول (۳) ضمیمه:

عوامل ایجاد نیروی فرسایشی دیواره‌ها	شرایط رودخانه	مقدار نسبی نیرو M_B		زمان نسبی اعمال نیرو	مقدار نسبی فرسایش دیواره ها (R_B)			
		دیواره غیر چسبنده	دیواره مطبق	(D_B)	دیواره غیرچسبنده		دیواره مطبق	
					مطلق	استاندارد	مطلق	استاندارد
نیروی ثقل	دیواره معمولی	۲	۲	۲	۴	۰/۰۵	۴	۰/۰۶
	دیواره بلند	۳	۴	۳	۹	۰/۱۱	۱۲	۰/۱۷

$$R_B = (M_B)(D_B)$$

جدول (۴) ضمیمه : مقادیر (a) ضریب تبدیل تنش برشی بستر جریان (T_b) به تنش برشی معادل کل نیروها روی دیواره (T_s)

عوامل ایجاد نیروی فرسایشی دیواره ها	رودخانه طبیعی معمولی		رودخانه طبیعی با دیواره بلند	
	دیواره غیرچسبنده	دیواره مطبق	دیواره غیرچسبنده	دیواره مطبق
۱- تغییرات سطح آب سیلابی	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۳
۲- تغییرات سطح آب معمولی	۰/۰۷	۰/۰۸	۰/۱۰	۰/۰۸
۳- نوسانات سطح مبناء آب	۰/۰۷	۰/۰۸	۰/۱۱	۰/۰۸
۴- موج ناشی ازوزش باد	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۱
۵- موج ناشی از حرکت قایقها	۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۰۶
۶- اثر ذوب وانجماد	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱
۷- اثر یـــخ	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۳
۸- نیروی تراوش آب ازدیواره	۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۰۸
۹- نیروی ثقل	۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۱۱	۰/۱۷
مجموع نیروهای فوق	۰/۳۶	۰/۴۸	۰/۵۵	۰/۵۲

(۳۰۶)

(۱۲۵)

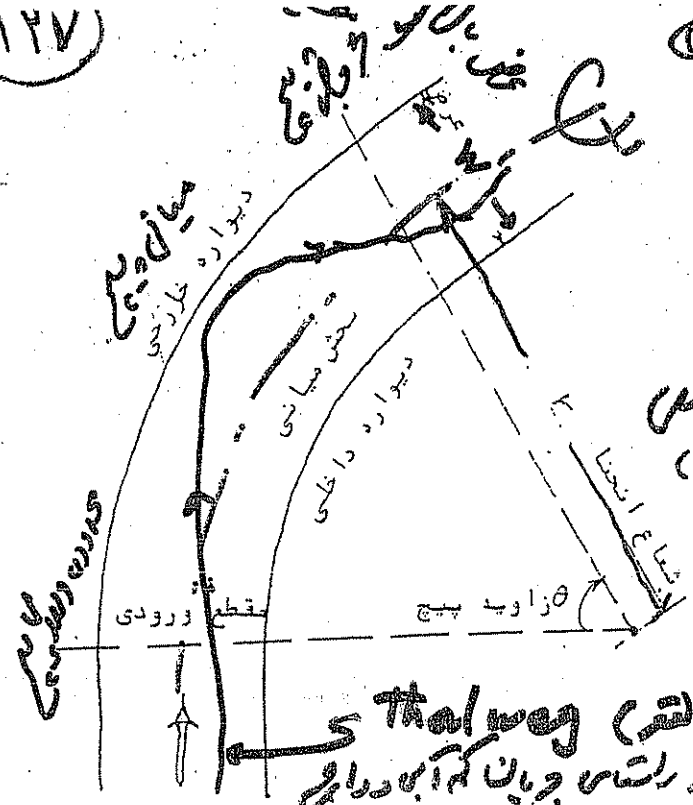
دقت شود که مقادیر جدول از معادله (۲۰) محاسبه شده اند.

ادامه جدول (۴ ضمیمه :

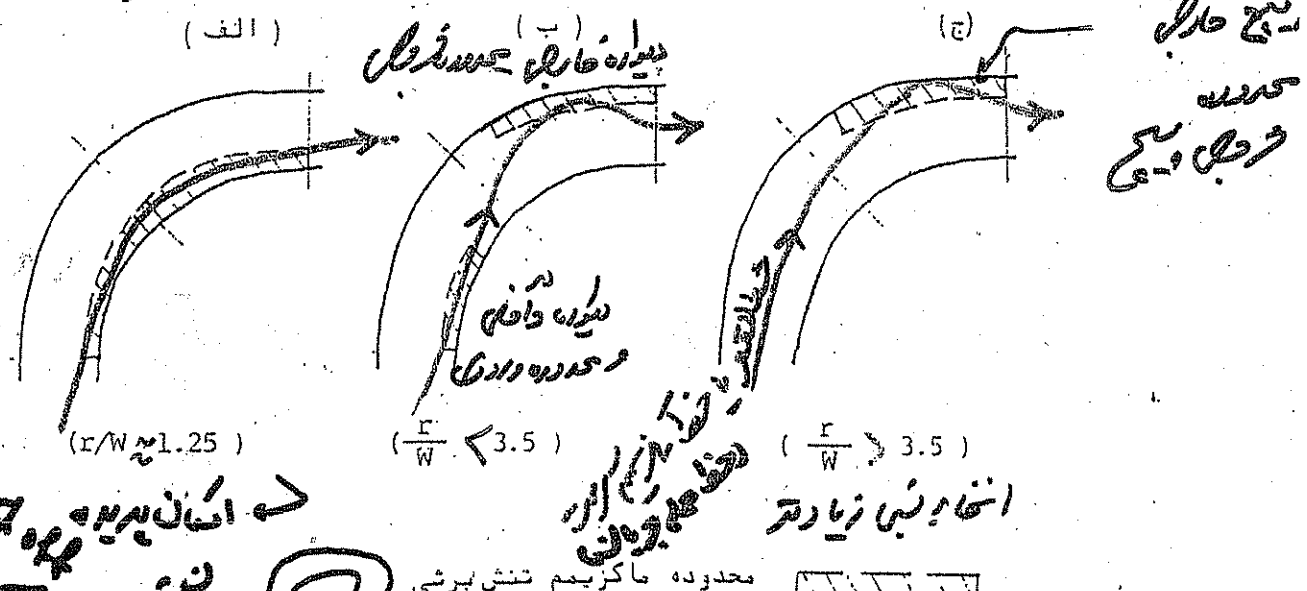
عوامل ایجاد نیروی فرسایشی دیواره ها	رودخانه طبیعی معمولی		رودخانه طبیعی با دیواره بلند	
	دیوارد غیر چسبنده	دیواره مطبق	دیواره غیر چسبنده	دیواره مطبق
۱۰- ماکزیمم تنش برشی جریان آب روی دیواره	۰/۷۷	۰/۷۷	۰/۷۷	۰/۷۷
تنش برشی معادل نیروهای موثر روی دیوارد ها	۱/۰۳۰	۱/۲۵	۱/۳۲	۱/۲۹

* $T_s = a\ T_b = a\ (\gamma ds)$

$$Max.\ T_{wall} \approx 0.77\ T_o \approx 0.77\ T_b$$



شکل (۷) : پیچ رودخانه



محدوده ماکزیمم تنش برشی

شکل (۸): نمایش محدوده وقوع ماکزیمم تنش برشی برحسب مقدار انحناء نسبی $(\frac{r}{W})$

(۲۳)

۲- انواع مکانیزم‌های فرسایش دیواره‌ها:

۱) فرسایش سطحی (Surface Erosion):

عامل مهم: تنش برشی جریان (حجاب مرزی ذرات از دیواره)

عوامل ضعیف‌کننده: + اثرات موج (بادوقایق)، اب‌کشاورز، هوازدگی سطحی از دیواره بالا، رشد و ایجاد لایه سطحی

⇐ در محدوده زمانی اوج‌گیری سیلاب: افزایش تنش برشی جریان ⇐

⇐ { - شستشوی رسوبات‌های آزاد در بستر و دیواره
- فرسایش سطحی مواد روی دیواره

۲) لغزش توده‌ای (Mass Failure):

عامل مهم: تاثیر افت سطح آب سیلابی

⇐ لغزش و ریزش توده‌ای (ثقلی) ⇐ { + فشار منفذی (Pore Pressure) سیلابی
+ آبشستگی پنجه دیواره (در شرایطی که آبی قبلی در محفظه)
+ ترک و شکاف‌ها در دیواره بالا - دراثر عوامل فیزیکی
+ احتمال وجود درختان ضعیف در دیواره بالا

⇐ انواع و مکانیزم‌های مربوطه در فرسایش دیواره‌ها ⇐ { شکل (۱۱) ص ۱۴۳ مطهری
شکل ضمیمه آنگلیس - کاملتر ص ۲۱۱

۳- روش‌های تحلیل پایداری دیواره‌ها: (ص ۱۴۹-۱۵۸)

* مواد دیواره نسبتاً یکنواخت و غیرچسبنده: روش Thorne (1982) - ص ۱۴۹
* " " " " چسبنده: " " " - ص ۱۵۰
* " " غیرچسبنده و یا مطلق: روش Shen (1984) - ص ۱۵۰-۱۵۴

(لایه چسبنده بالا / غیرچسبنده پایین)

یا روش ارزیابی تنش برشی کل مصالح در دیواره و مقایسه با تنش برشی جریان

⇐ در ایران: آقای دکتر اسدی کمالوند ← رودخانه‌شناسی - دانشگاه تهران

۴- ارزیابی تجربی روند تغییرات جانبی و شدت تخریب دیواره‌های رودخانه.

⇐ تهیه عکس‌ها و نقشه‌ها در دوره‌های زمانی گذشته. (رودخانه حله)

⇐ برداشت‌های زمینی (مقاطع عرضی) - نسبت به شاخص‌های ثابت - در دوره‌های زمانی مختلف. (شکل ضمیمه)

(تحلیل و حدود از سیلاب ← دوره‌های سالیانه یا چندساله)

(۱۳۱)

قلیائیت آن درپخشیدگی خاکدانه‌ها نیزقابل بررسی میباشد. ولی تاثیر کمی عوامل شیمیائی هنوزناشناخته است .ومهمترین دلیل آن نیزسرعت بسیارکم تاثیرآن درمقایسه‌بااثرعوامل فیزیکی وخصوصا " هیدرولیکی میباشد. بهرحال برای شرایطی که سطح آب زیرزمینی پائین بوده‌وتنا وضعیت زهکشی مواردیواره‌ها مطلوب باشد اثرآن قابل ملاحظه‌نخواهدبود.

ج) عوامل هیدرولیکی : جریان آب درمقطع اصلی وبستر کبیررودخانه ازعوامل اصلی فرسایش وتخریب دیواره‌ها بشمارمیآید. شدت تاثیراین عامل بستگی به‌دبی ، سرعت ، عمق ، شیب ، غلظت بار رسوبی کف ومعلق ، دانسیته‌ولزجت آب وخصوصیات موادبستری دارد.وقتی تنش برشی جریان آب بیش ازتنش برشی بحرانی دربستررودیواره‌های رودخانه‌باشد تخریب هیدرولیکی صورت میپذیرد که‌ازدوطریق سبب تخریب دیواره وتعریض رودخانه‌میگردد : اول آنکه تنش اضافی مستقیما " سبب جداسازی ذرات ازدیواره‌وحمل وانتقال آن میشودودوم آنکه‌دراثر آبشستگی بستر(۱) ،ارتفاع وشیب دیواره بشدت افزایش یافته‌وسبب گسیختگی ثقلی(۲) دیواره‌میگردد.

مکانیزم گسیختگی دیواره‌ها :

هوک(۳) (۱۹۷۹) نشان دادکه فرآیندفرسایش ومکانیزم گسیختگی دیواره‌ها(۴) درنتیجه‌تاثیر متقابل عوامل مختلف فیزیکی وهیدرولیکی صورت میپذیرد. ولی درجه تاثیرهریک ازآنها بستگی به‌انرژی جریان وشدت نیروهای فرسایشی ازیکسو وپتانسیل مقاومت وپایداری بستر ودیواره‌های رودخانه‌ازسوی دیگردارد. بطورمثال اگرپتانسیل آبشستگی

1)- Scouring
2)- Gravitational Failure
3)- Hooke
4) - Bank Failure

بستر بیشتر از میزان فرسایش دیواره‌ها باشد در این صورت شدت تخریب ـ از طریق افزایش ارتفاع وشیب دیواره ـ بیشتر میگردد و در حالت عکس آن ، برپایداری شیب افزوده و احتمال گسیختگی ثقلی آنرا کاهش میدهد .

تورن[1] (۱۹۸۲) خصوصیات دیواره‌های غیرچسبنده و درشت دانه را بررسی نموده است . مواد درشت دانه و غیرچسبنده از طریق غلطش یا لغزش های جزئی از سطح دیواره به پائین دست ریزش میکنند . مکانیزم گسیختگی آنها بصورت جداسازی ذرات از دیواره و غلطش ولغزش آنها در سطح موازی دیواره بوده و بدو طریق زیر اتفاق می‌افتد :

۱ـ در اثر عوامل فیزیکی ممکن است زاویه اصطکاک داخلی[2] ϕ کوچکتر از زاویه شیب[3] θ گردد . زاویه ϕ رابطه مستقیمی با تراکم و دانسیته مواد دارد . بطوریکه مواد دست تر با دانسیته نسبی کمتر (دانه‌های گرد) مقاومت برشی کمتری داشته وزاویه اصطکاک داخلی آنها کم است (۲۰ تا ۳۵ درجه) درحالیکه مواد متراکم ودانه‌های شن گوشه‌دار زاویه بیش از ۴۵ درجه دارند .

۲ـ در اثر عوامل هیدرولیکی ناشی از تنش برشی جریان ممکن است لایه‌های زیرین یا پنجه دیواره دچار آبشستگی وغارکنی[4] شده وشیب دیواره زیاد ونسبتا " قائم گردد . این پدیده درشرایط جریان متوسط بطور دائمی اعمال میگردد وباعث لغزش صفحه‌ای وگسیختگی ثقلی بخش فوقانی دیواره خواهد شد . بهمین دلیل مشاهده میشود که جریانهای متوسط وسیلاب های متناوب تاثیر بیشتری روی کل میزان تخریب این دیواره‌ها دارند .

اگرشرایط زهکشی این دیواره‌ها مطلوب نباشد فشار منفذی اضافی نیز تولید نیروی تراوش وپدیده زیرشوئی دربخش زیرین دیواره نموده وگسیختگی ثقلی را سبب میگردد . وقتی دیواره‌ها درمدت زیادی اشباع بمانند اگرمواد آن از نوع غیرمتراکم وماسه‌ای باشد حالت میعان وروانگرائی[5] پدید آمده که با اعمال نیروهای دینامیکی منجر به لغزش

---

1)- Thorne
2)- Internal friction angle
3)- Bank angle
4)- Bank Caving
5)- Liquifaction

ونشست دیواره خواهد شد .

مکانیزم گسیختگی منفرد ذرات غیرچسبنده سبب شده تا تحلیل پایداری براساس تعادل ایستائی ذرات روی شیب انجام گیرد . لاین[1] (۱۹۵۵) برای این منظور روش نیروی برشی[2] را ارائه داد . پارکر[3] (۱۹۷۹) نشان داد که این روش برای رودخانه های بسترشنی - که در آنها فرسایش دیواره بخشی از بارکف را تامین میکند - مناسب نمیباشد .

کمیته بررسی رسوب آمریکا[4] (۱۹۶۶) رابطه بهتری را ارائه میدهد که توسط تورن (۱۹۸۲) نیزگزارش شده است .

دیواره های چسبنده خصوصیات متفاوتی دارند وتاثیر عوامل مختلف بستگی به شرایط اقلیمی ، بیولوژیکی ، ساختمان خنثاک و ..... داشته وتنها با مطالعه کامل صحرائی قابل تشخیص وتفکیک میباشد . گریسینگر[5] (۱۹۸۲) علاوه بر نیروهای هیدرولیکی ، نیروهای ثقلی را نیز از عوامل مهم گسیختگی دیواره های چسبنده میداند . همچنین درجه تاثیر این نیروها بستگی به خصوصیات مواد چسبنده دارد زیرا مقاومت چسبندگی مواد تابعی از خصوصیات فیزیکی وشیمیائی خاک وخصوصا " نوع ومیزان رس دارد . بهمین دلیل مقاومت لایه های چسبنده تحت تاثیر عوامل هیدرولیکی بیشتر از لایه های غیرچسبنده است . بررسی گریسینگر (۱۹۸۲) روی رودخانه می سی سی پی شمالی نشان میدهد که تاثیر نیروی ثقلی ناشی از تغییر سطح مبنای دریا روی کف کنی وافزایش ارتفاع وشیب دیواره ها بیشتر از عوامل هیدرولیکی جریان بوده است وگسیختگی عمدتا " ثقلی میباشد .

مکانیزم گسیختگی دیواره های چسبنده بصورت لغزش عمیق چرخشی[6]

---

1)- Lane
2)- Tractive force method
3)- Parker
4)- Task Committee on sedimentation
5)-Grissinger
6)- Deep Rotational slip

است که در صفحه‌ای با انحناء مقعر روی شیب یا محل پنجه یا پی دیـــــواره اتفاق می‌افتد . زیرا مقاومت برشی لایه‌های چسبنده در مقایسه با تنـــش برشی اعمال شده ، با شدت کمتری نسبت به عمق افزایش میابد . ولـــــی بهرحال در دیواره‌های کوتاه و نسبتا " قائم ، لغزش صفحه‌ای (۱) مـــــواد فوقانی نیز اتفاق می‌افتد . بهمین دلیل برخلاف دیواره‌های غیرچسبنـــده که فرآیند گسیختگی مستقل از ارتفاع دیواره است در دیواره‌های چسبنـــــده دو عامل اساسی زاویه شیب (θ) و ارتفاع دیواره (H) مهم میباشند . عـــــلاوه بر این وجود ترک و شکاف (۲) در سطح دیواره‌های ریزدانه و رسی تاثیر تنـــش وارده را تا عمق بیشتری در داخل دیواره و تا سطح زمین گسترش میابـــد . (تورن ، ۱۹۸۲)

همچنین بعلت ضریب زهکشی کم این دیواره‌ها ، و افزایش ناگهانـــی فشار منفذی ـ در شرایط بارندگی متداوم یا بعد از وقوع سیلاب ـ گسیختگی لغزشی تشدید میابد .

در دیواره‌های مطبق فرآیند فرسایش پیچیده‌تر است زیرا ترتیـــب لایه‌بندی و نوع مواد تشکیل دهنده هر لایه در شکل گیری پروفیل دیـــــواره و مکانیزم تخریب و گسیختگی آن موثر میباشد . بطور کلی لایه‌های غیـــــر چسبنده تحت تاثیر عوامل هیدرولیکی جریان قابلیت فرسایشی بیشتری نسبت به لایه‌های چسبنده دارند . بنابراین وجود آن در قسمت تحتانـــــی دیواره سزا نجام سبب گسیختگی لایه چسبنده روئین شده و شیب دیـــــواره را نسبتا " قائم و ناپایدار میکند . درحالیکه اگر لایه چسبنده در قسمـــــت تحتانی و لایه شنی غیرچسبنده در قسمت فوقانی دیواره باشد ، در ایـــــن صورت لایه مقاومتر زیرین بصورت کرسی و سکو (۳) عمل کرده و نقش حفاظـــت لایه فوقانی را در برابر تخریب هیدرولیکی ، فرسایش سطحی و نیز کنتـــــرل

---

1)- Plane slip 2)-Crack

3)- Bench

شیب دیواره بعهده خواهدگرفت .

شکل (۱۱) انواع فرم گسیختگی را دردیواره‌های مختلف رودخانه نشان میدهد .

دیواره‌رودخانه‌های بسترشنی[1] عموما" مطبق بوده ولایه‌تحتانی آن غیرچسبنده ولایه‌فوقانی آن چسبنده میباشد .ازاینرو ناپایدار بوده وتمایل به‌تعریض شدن دارند (هی[2] ، ۱۹۸۴) .

بهرحال مکانیزم فرسایش دیواره‌ها پدیده‌پیچیده‌ای است که‌تحت تاثیرعوامل مختلف ودرشرایط رودخانه‌های متفاوت ،نیازبه‌بررسی جداگانه‌ای دارد (شن[3] ، ۱۹۸۴)

نتایج بررسی صحرائی ویگل وهاجرتی[4] (۱۹۸۳) روی رودخانه اوهایو[5] درآمریکا نشان میدهدکه‌روند فرسایشی‌دیواره‌ها باوقوع سیل ماکزیمم وافزایش ناگهانی عمق ، سرعت وتنش برشی- ازطریق شستشوی رسوب‌گذاری های اخیردرکف ودیواره‌های رودخانه‌شروع‌گردید . ولی تخریب اصلی وشدیدبعدازوقوع سیل وافت ناگهانی سطح آب سیلابی اتفاق افتاد . بدین صورت‌که دراثرتراوش‌سریع آب اضافی ازلایه زیرین نفوذپذیرماسه‌ای وشستشوی موادریزدانه آن ، پنجه‌دیواره‌دچار[6] خوردگی گردید بطوریکه‌عمل‌غارکنی درزیرپای دیواره باعث ریزش ولغزش‌لایه سنگینتررریزدانه واشباع‌فوقانی - بافشارمنفذی زیاد- گردید . درحالیکه اثرتنش برشی جریان بعدازوقوع سیل درلغزش ونشست دیواره کمتربوده‌است .

کلینگمن وبرادلی[7] (۱۹۷۶) درمطالعه‌رودخانه ویلامت[8] آمریکا گزارش نمودندکه : علیرغم کوششهائی که‌برای کاهش خسارات فرسایش

---

1)-Gravel-Bed Rivers 2)-Hey

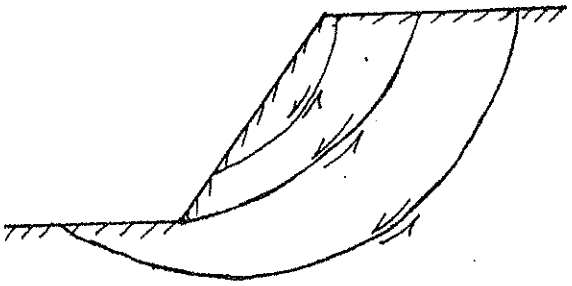
3)- Shen 4)-Weigel and Hagerty 5)-Ohio River

6)- Toe of Bank 7)- Klingeman and Bradley

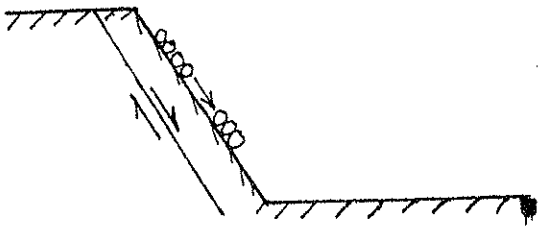
8)- Willamette River

ازطریق کاهش میزان ماکزیمم سیلاب صورت گرفته ، شواهدنشان میدهدکه بیشترین مقدارخسارت بردیواره‌ها بعداززمان وقوع ماکزیمم لحظه‌ای سیلاب ودراثرتداوم جریانهای پرآبی ومتوسط بوده‌است .

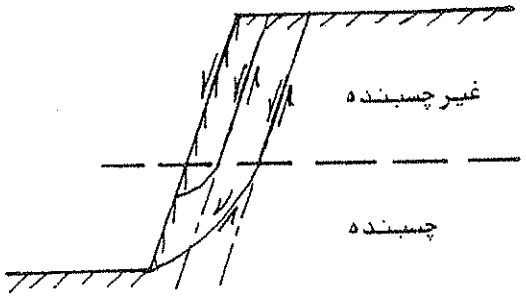
ب)دیواره چسبنده : کسیختگی به فرم لغزش چرخشی روی شیب ، پنجه ، پی دیوار



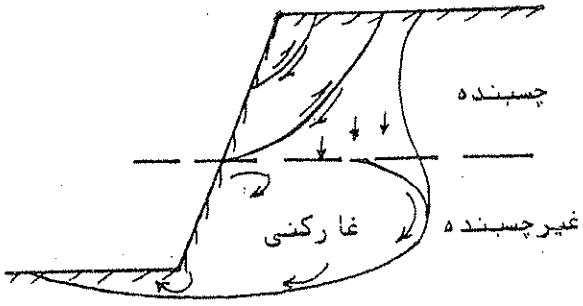
الف)دیواره غیرچسبنده :کسیختگی به فرم غلطش و لغزش سطحی مواد



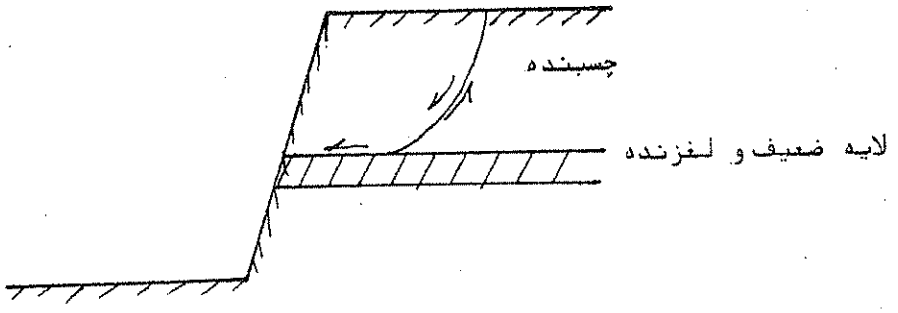
د) دیواره مطبق: لایه تحتانی چسبنده



ج) دیواره مطبق : لایه تحتانی غیر چسبنده .



هـ ـ دیواره مطبق : کسیختگی بصورت لغزش روی لایه لغزنده



شکل (۱۱): انواع وفرم کلی کسیختکی دیواره های رودخانه

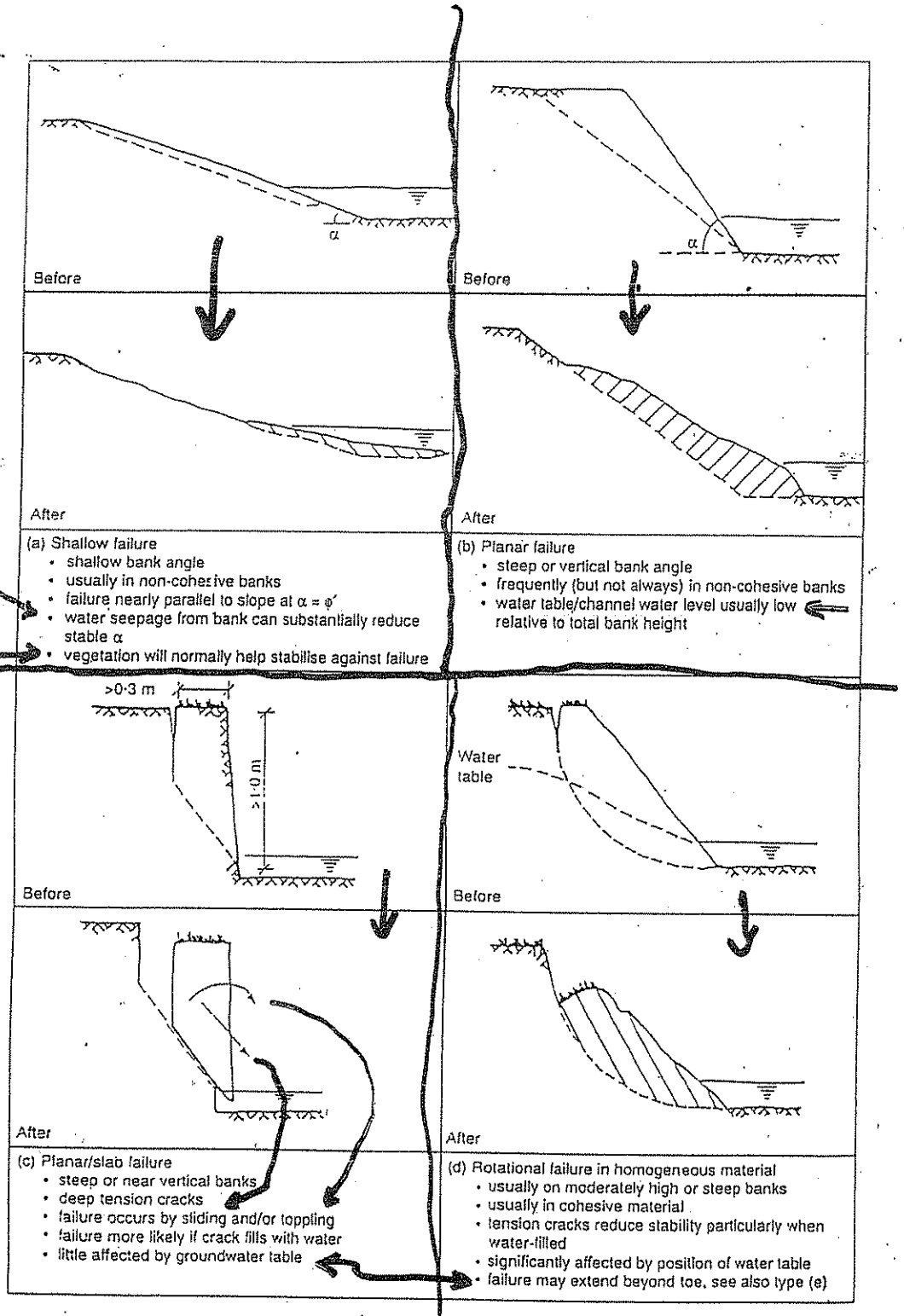


Figure 2.4. Typical types of river bank failure (from Hemphill and Bramley, 1989)

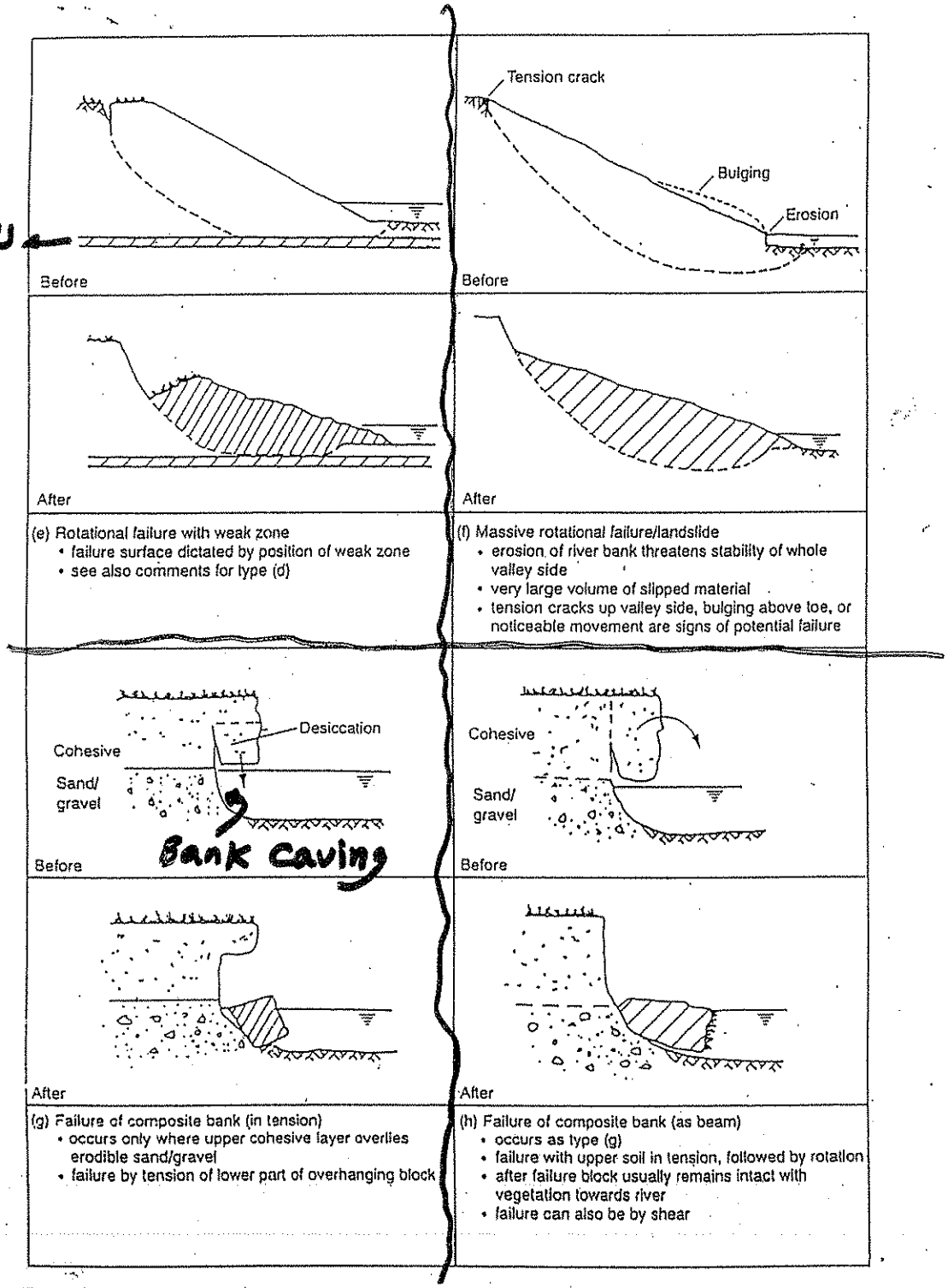


Figure 2.4 (continued)

پایداری دیوارههای رودخانه :

تورن[1] (۱۹۸۲) مقاومت برشی دیوارهها را با استفاده از معادله اصلاح شده کولمب[2] مورد تحلیل قرار میدهد :

$$S=(\sigma-U)\tan\phi+C \qquad (۳۳)$$

که در آن S مقاومت برشی ، σ تنش عمودی ، U فشار منفذی، ϕ زاویه اصطکاک داخلی و C فاکتور چسبندگی ظاهری[3] است .

برای دیوارههای غیرچسبنده فاکتور چسبندگی (C) صفر بوده و معادله (۳۳) بصورت زیر خلاصه میگردد :

$$S=(\sigma-U)\tan\phi \qquad (۳۴)$$

در شرایط زهکشی شده[4] فاکتور U نیز حذف میشود . در این صورت پایداری دیوارهها تنها بستگی به شیب دیواره (θ) و زاویه اصطکاک داخلی (ϕ) داشته و با ضریب اطمینان F_s ارزیابی میشود بطوریکه :

$$F_s=\frac{\tan\theta}{\tan\phi} \qquad (۳۵)$$

زاویه ϕ رابطه مستقیم با تراکم نسبی و دانسیته مواد دیواره دارد .

در شرایط زهکشی نشده[5] فاکتور فشار منفذی U قابل توجه بوده و زاویه شیب پایدار دیواره از معادله زیر محاسبه میگردد :

$$\tan\alpha=\frac{(\gamma z_p\cos^2\theta-U)\tan\phi}{\gamma z_p\cos^2\theta} \qquad (۳۶)$$

که در آن γ وزن مخصوص ظاهری مواد دیواره ، z_p ارتفاع قائم دیواره و α زاویه شیب پایدار دیواره میباشد .

---

1)-Thorne 2)- Coulmb

3)- Apparent cohesion 4)- Drained

5)- undrained

سیمون ولی[1] (۱۹۸۲) وشن[2] (۱۹۸۴) پایداری دیواره‌های غیر چسبنده ومطبق ـ که‌لایه‌تحتانی آن غیرچسبنده‌است ـ را موردتحلیل قرارداده‌است.

برای‌این منظور بااستفاده‌ازروش "نیروی برشی"[3] ـ که‌توسط چاو درسال ۱۹۵۹ارائه‌شده ـ وبادخالت عامل "زمان تاثیر" نیروهای فرسایشی، روش‌اصلاح شده نیروی برشی راارائه‌داده‌که‌رضایت بخش میباشد. دراین روش بااحتساب یک مقطع عرضی شاخص دریک بازه‌رودخانه، فاکتورهای شیب، باررسوبی، عمق وسرعت متوسط رااندازه‌گیری نموده ومقدارنیروهائی راکه‌روی دیواره‌رودخانه‌عمل میکنندبصورت درصدی ازتنش برشی اعمال شده‌ازسوی جریان آب روی بستررودخانه‌محاسبه‌کرده وبدین ترتیب‌کل نیروی برشی معادل روی دیواره‌برآورد میگردد.

نیروی برشی جریان آب دربسترودخانه(τ)ازمعادله‌زیربیان میگردد:

$$\tau = \gamma ds \qquad (۳۷)$$

که‌درآن τ تنش برشی، γ وزن مخصوص مخلوط آب ورسوب و d عمق متوسط درمقطع و s شیب انرژی است. علاوه برآن تنش برشی بسترجریان با استفاده‌ازنتایج اندازه‌گیری مستقیم‌ازمعادله‌زیرقابل محاسبه‌میباشد:

$$\sqrt{\tau/\rho} = \frac{U_1 - U_2}{5.75 \log \frac{y_1}{y_2}} \qquad (۳۸)$$

که‌درآن ρ دانسیته‌آب، U_2, U_1 سرعت نقطه‌ای دراعماق y_2, y_1 میباشد. دراین معادله برای حصول به‌نتیجه‌بهتر y_2, y_1 حتی الامکان نزدیک به‌کف بسترانتخاب میگردد.

درتحلیل پایداری رودخانه، ازروش تنش برشی بحرانی ـ برای آستانه‌حرکت موادکف ـ استفاده میشود. مقدار این تنش(τ_c) با استفاده

---

1)- Simons and Li
2)- Shen
3)- Chow

از نمودار شیلدز[1] ـ شکل (۱۲)ـ برآورد میگردد. در این نمودار D_s اندازه مواد بستری، U_* سرعت برشی[2]، τ لزجت کینماتیک و $(\Delta\gamma = \gamma_s - \gamma)$ تفاوت وزن مخصوص آب و رسوب، R_e عدد رینولدز میباشد. مطابق این روش وقتی R_e بیش از ۵۰۰ باشد (جریان متلاطم) عامل $\left(\frac{\tau}{\Delta\gamma D_s}\right)$ مقدار ثابتی برابر ۰/۰۶ خواهد داشت. در این صورت با دانستن D_s و $\Delta\gamma$ تنش برشی بحرانی (τ_c) قابل محاسبه خواهد بود.

$$\frac{\tau_c}{(\gamma_s-\gamma)D_s} = 0.06 \quad , \quad R_e > 500 \qquad (۳۹)$$

حال اگر تنش برشی بستر τ بیشتر از τ_c باشد، مواد بستری حرکت خواهند نمود و شرایط بستر متحرک[3] خواهیم داشت. بهمین ترتیب اگر تنش برشی روی دیواره‌ها بیش از تنش برشی بحرانی دیواره باشد در این صورت پدیده فرسایش و ناپایداری دیواره‌ها اتفاق میافتد مگر آنکه با پوشش گیاهی یا حفاظتهای ساختمانی تثبیت شده باشد.

تنش برشی بحرانی برای دیواره‌های رودخانه را نیز میتوان با استفاده از نمودار شیلدز ـ شکل (۱۲) بدست آورد. ولی باید ضریب تصحیح کاهش K را بخاطر تاثیر مولفه نیروی ثقل روی پایداری ذرات دیواره‌ها با استفاده از معادله زیر منظور نمود:

$$K = \frac{(\tau_s)_c}{(\tau_b)_c} = \cos\theta \sqrt{1-\tan^2\theta/\tan^2\phi} \qquad (۴۰)$$

که در آن $(\tau_s)_c$ و $(\tau_b)_c$ بترتیب تنش برشی بحرانی روی دیواره و روی کف بستر است. θ زاویه شیب دیواره و ϕ زاویه قرار مواد دیواره[4] میباشد.

برای رودخانه‌های عریض، ماکزیمم تنش برشی روی دیواره حدود

---

1)- Sields Diagram
2)- Shear Velocity
3)- Mobile Bed
4)- Angle of Repose

۰/۷۷ برابر ماکزیمم تنش روی کف است :

$$\tau_s = K\tau_b \simeq 0.77\,\tau_b \qquad (۴۱)$$

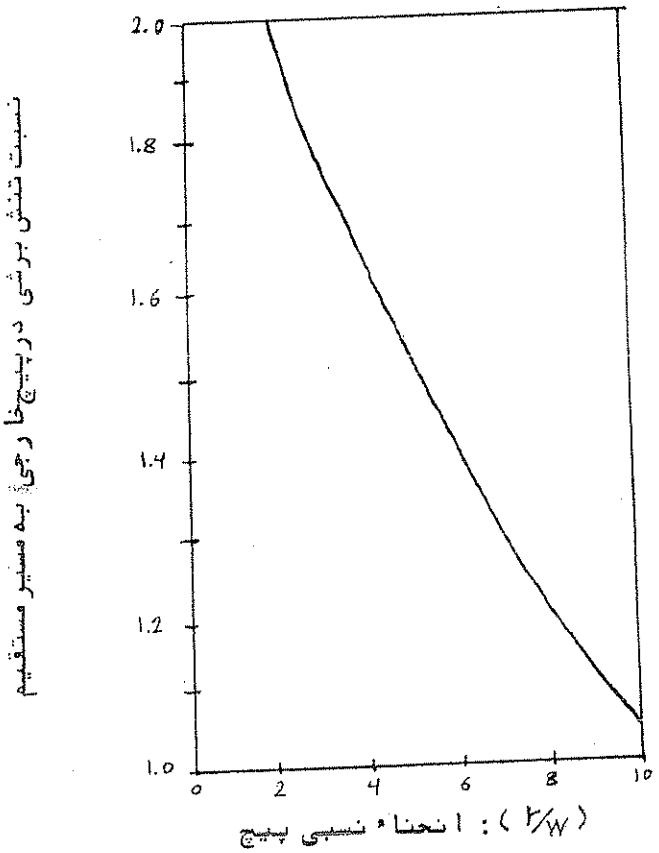
علاوه‌برتاثیر تنش برشی ناشی ازجریان آب روی دیواره، لازمست تا تاثیرجزئی نیروهای دیگررا نیزاضافه‌نمود. این عوامل ونیروها برحسب شرایط رودخانه‌درجدول (۳) ضمیمه‌نشان داده‌شده‌است ؛ با استفاده ازجدول (۳) ضمیمه مقادیرنسبی تاثیرمقداروزمان اعمال نیروها بصورت ضریبی ازتنش برشی بستر ($\tau_b = \gamma ds$) درجدول (۴)ضمیمه‌خلاصه‌گردیده است .مطابق این جدول تنش برشی معادل برای نیروهای دیگر- درروزطغنه با دیواره‌بلند وموادغیرچسبنده برابر با ۰/۵۲ تنش برشی بستر (τ_b) میباشد. با احتساب تنش برشی مستقیم روی دیواره (τ_s) معادل با ۰/۷۷ تنش برشی بستر، میزان کل تنش برشی معادل روی دیواره‌رودخانه برابربا $(1.29\gamma ds)$ خواهدبود. حال اگراین مقدارتنش بیشتراز تنش برشی بحرانی روی دیواره (τ_{sc}) باشد، دراین صورت دیواره‌درمعرض فرسایش وناپایداری خواهدبود.

نتایج فوق که‌درجدول (۴) ضمیمه‌خلاصه‌شده‌برای بازه‌های مستقیم رودخانه‌کافی ورضایت‌بخش میباشد، ولی برای پیچها ودیواره‌های خارجی آن نیز اگرعامل تغییرنحوه‌توزیع تنش برشی درعرض رودخانه ودرمحل پیچ منظورگرددقابل بسط خواهدبود. براین اساس مقدار افزایش‌تنش درپیچ خارجی بایدبرآوردگرددکه‌میزان آن بستگی به فاکتور " انحناء نسبی پیچ "(r/w) دارد. برای پیچهای تندباشعاع انحناء کم ، تنش برشی روی دیواره‌خارجی پیچ تقریبا " ۲ برابرمقدار آن درقسمت مستقیم رودخانه‌است . بطورکلی برای شرایط عمومی پیچها میتوان ازنسبت متوسط ۱/۵ استفاده‌نمود :

$$\tau_{Bend} = 1.5\,\tau_{stright} \qquad (۴۲)$$

شکل (۱۳) نحوه‌توزیع تنش رادرعرض رودخانه‌پایدارنشان میدهد. توزیع تنش درمحیط مقطع تابعی ازیکنواختی شکل مقطع ، نسبت عرض به‌عمق (w/d) وزبری کف ودیواره میباشدوبهمین دلیل درمحل پیچها

توزیع متفاوتی خواهد داشت .



(ضریب تصحیح تنش برشی درپیچهـــــــا)

تحلیل پایداری دیواره‌های چسبنده بسیار پیچیده میباشد .زیـــرا مقاومت چسبندگی درساختمان دیواره تابعی ازخصوصیات مختلف خـــاک (ازنظر دانه‌بندی ، دانسیته ، تخلخل ، میزان رس ومواد آلی آن، نـوع رس وخصوصیت تبادل یونی وپیوند آن با ذرات دیگرو ....) میباشـــد . حصول به‌نتایج صحیح درآزمایشات مکانیکی وشیمی خاک ، بستگی بـــه تامین شرایط واقعی محل نظیر : خصوصیت فیزیکی وشیمیائی آب ،مقدار نمونه ودرجه دست نخوردگی آن ، تامین فشارمنفذی لازم وتاثیرزمان دارد ازطرف دیگر انجام کامل آزمایشات موردلزوم میباشد .درحالیکه برای موادغیرچسبنده ، برداشت یک نمونه ترکیبی ودانه‌بندی آن اطلاعات کافی رابرای تحلیل تامین خواهدکرد (هی[1] ، ۱۹۸۲)۰

1)- Hey

گریسینگر[1] (۱۹۸۲) علاوه برمسائل فوق ، عوامل شکل ومرفولوژی دیواره‌وزبری آنرا درشرایط طبیعی برای ارزیابی مقاومت دیواره‌های چسبنده مهم تشخیص میدهد. مجموع این شرایط سبب میشودتا نتایج آزمایشگاهی با واقعیتهای صحرائی تطابق موردنظررا نداشته‌وازاینرو تحلیل پایداری آنها امری پیچیده‌خواهدبود.برخلاف دیواره‌های غیر چسبنده که‌پایداری آنها مستقل ازارتفاع دیواره‌است ، پایداری‌دیواره‌های چسبنده‌بستگی به‌دوعامل زاویه‌شیب (θ)وارتفاع‌دیواره (H) دارد . تورن[2] (۱۹۸۲) مقاومت برشی موادچسبنده‌راازرابطه‌اصلاح شده کولمب[3] ـ معادله (۳۳) محاسبه میکنند ـ تحلیل پایداری دیواره‌های چسبنده‌ممکن است ازطریق نسبت نیروهای مقاوم به‌نیروهای فعالی که‌روی سطح بحرانی گسیختگی[4] عمل میکنند ـ بااحتساب ضریب اطمینان کافی ـ انجام گیرد. برای این منظورلازم‌است شکل سطح بحرانی‌گسیختگی معلوم باشد. ساده‌ترین راه این است که‌فرض کنیم صفحه‌گسیختگی مسطح بوده‌وازمحل پنجه‌دیواره میگذرد. این فرض برای دیواره‌های کوتاه ونسبتا " قائم صادق بوده‌واساس روش تحلیل کالمن[5] میباشد. ولی دردیواره‌های بلندباشیب کم سطح گسیختگی معمولا"مقعربوده وحد پائین آن نیزممکن است دیواره یا پنجه‌پایی دیواره‌راقطع کند. زیرا تنش های اصلی درخاک باعمق تغییرکرده‌وسبب تغییردرنحوه قرارگیری سطح گسیختگی میگردد. برای شرایط دیواره‌های بلند باشیب کم بهترین فرض این است که‌سطح‌گسیختگی رابصورت انحناء دایره‌ای یاتابع لگاریتمی درنظرگرفت .

مکانیزم گسیختگی دردیواره‌های بلند وباشیب کمتربصورت " لغزش چرخشی عمیق[6] " است وصفحه لغزش نیزبا انحناء مقعرممکن است

---

1)- Grissinger 2)- Thorne 3)-Coulomb

4)- Critical Failure surface 5)- Culmann

6)- Deep Rotational slip

روی دیواره ،محل پنجه‌ویا پی اعمال شده‌که‌وقوع هریک بستگی به ضخامت لایه وانحنای سطح گسیختگی دارد. تحلیل پایداری دراین حالت برای حصول به‌ضریب اطمینان کافی توسط تورن[1] (۱۹۸۲) گزارش شده است. نوع‌گسیختگی "لغزش‌کم عمق"[2] گرچه‌به‌تنهائی اثرکمتری روی دیواره‌داردولی چون تناوب وقوع آن زیاداست درکل قابل ملاحظه خواهدبود. دراین نوع، گسیختگی عموما" درصفحه‌مسطحی- موازی با سطح دیواره - یا با انحناء خیلی کم روی میدهدکه‌ازنظرتئوریکی شبیه گسیختگی دردیواره‌های غیرچسبنده‌است. تحلیل این گسیختگی براساس پارامترهای مقاومت‌خاک (C, ϕ) وشکل هندسی سطح گسیختگی باضریب اطمینان بیشترازیک صورت میگیرد. نوع معمولی ترگسیختگی دردیواره‌های چسبنده‌کوتاه باشیب زیادبصورت "لغزش مسطحاتی"[3] است که‌براساس روش کالمن[4] صفحه‌مسطح گسیختگی ازمحل پنجه‌دیواره میگذرد. تحلیل پایداری با روش کالمن منجربه‌برآورد ارتفاع بحرانی دیواره (H_c) میگردد. شکل (۱۴) ومعادله (۴۳) نحوه‌محاسبه H_c رانشان میدهد.

$$H_c = \frac{4C}{\gamma} \cdot \frac{\sin\theta\cos\phi}{(1-\cos(\theta-\phi))} \qquad (۴۳)$$

که‌درآن θ زاویه‌شیب ϕ زاویه‌اصطکاک داخلی C فاکتورچسبندگی ظاهری ، γ وزن‌مخصوص ظاهری مواددیواره و H_c ارتفاع‌بحرانی دیواره است.

بسیاری ازدیوارهای فرسایشی چسبنده، شیب زیاددارندوتحلیل کالمن نیز معمولا" مناسب میباشد. برای دیواره‌های قائم معادله (۴۳) بصورت زیرخلاصه میشود :

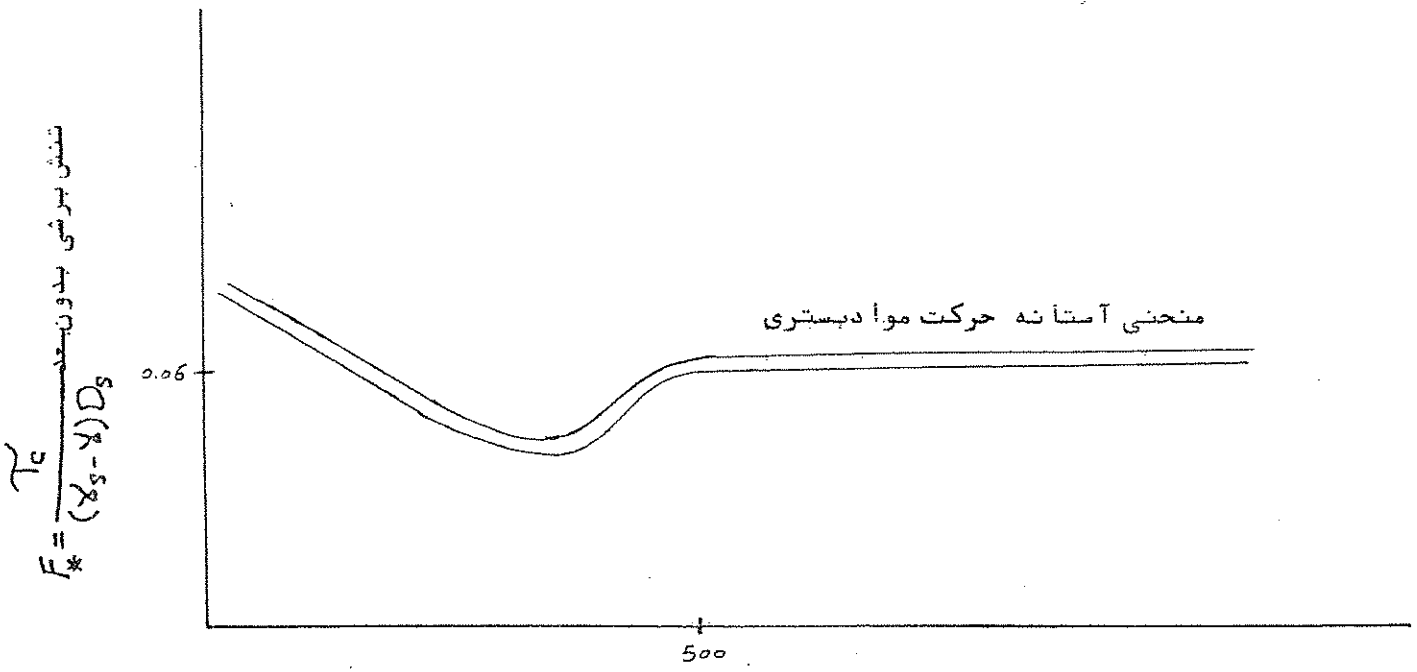
$$H_c = \frac{4C}{\gamma} \tan\left(45+\frac{\theta}{2}\right) \qquad (۴۴)$$

---

1)- Thorne
2)- Shallow slip
3)- Plane slip
4)- Culmann

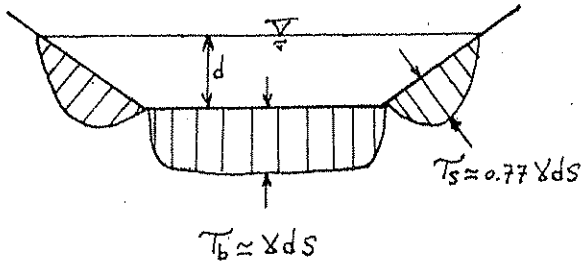
لازم به تذکر است که رابطه کالمن عامل فشار منفذی را در نظر نمیگیرد. ولی برای نمایش اثر ترک وشکافها در پشت دیواره وتنش حاصل از آن روش اصلاح شده کالمن ارائه شده که توسط تورن (۱۹۸۲) گزارش شده است.

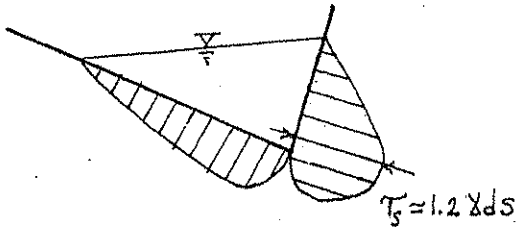
دیواره‌های مطبق ترکیبی از لایه‌های غیرچسبنده و چسبنده است مکانیزم گسیختگی آنها انعکاسی از ترتیب لایه‌بندی وخصوصیات هر لایه بوده وآنالیز پایداری آن بصورت جداگانه امکان پذیر میباشد.



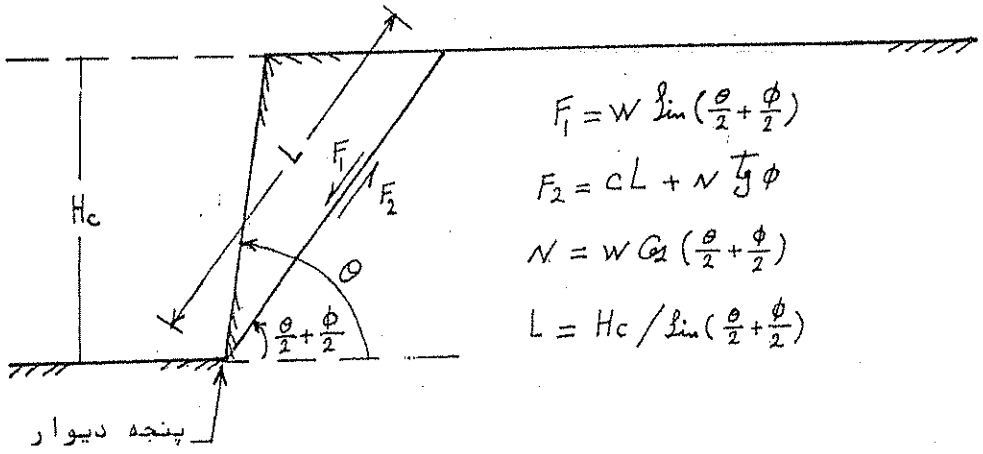
عدد رینولدز: $R_* = \frac{U_* D_s}{\nu}$ (۷۵)

شکل (۱۲)ـ فرم کلی نمودار شیلد (Shield Diagram)





شکل ۱۳ـ نحوه توزیع تنش درمقطع عرضی رودخانه



شکل ۱۴ـ تحلیل کالمن برای کسیختگی لغزش مسطحاتی

② پدیده مارپیچی شدن رودخانه‌ها "Meandering" (ص ۴۳-۴۲)

ص ۱۴۴ - ۱۱۱ مطالب

شواهد و علت :

۱- تمایل طبیعی به مارپیچی شدن است (دیده می‌شود). ۲- رودخانه‌های مستقیم پایدار نیستند.

۳- مارپیچی شدن : افزایش طول مسیر ← کاهش شیب ← کاهش توان جریان (VQS)

← کاهش بار کف { مقدار کم / افزایش } ← مواد بستری رودخانه تر

← پایدار شدن (تغییرات تدریجی، منظم و معین تر)

← زیباتر شدن (بدتری اکولوژیکی)

← ارزش زیست محیطی یافتن (توسعه اطراف مسکونی و تفریحی ← هزینه‌ری ← پالایش صنعتی)

مکانیزم مارپیچی شدن :

الف) فرضیه قدیمی (1957، 1967، 1977) :

عدم وجود زمین ← نیروی گریز از مرکز (نیروی خارجی) کوریولیس : $F_n = ma_n = m\frac{v^2}{r}$

دهانه شمالی : ⊙ دهانه جنوبی : ⊗

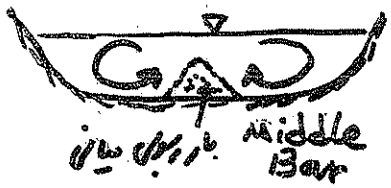
نتایج { ۱- مقدار نیروی F در مقایسه با نیروی لازم برای جابجایی عرضی قابل ملاحظه است.
۲- دهانه شمالی : شواهد عمومی بر جابجایی عرضی بسمت راست میباشد.

ب) فرضیه جدیدتر : تاثیر جریان ثانویه

تعریف { جریان اولیه (Primary current) : جریان در امتداد رودخانه
جریان ثانویه (Secondary ") : " " عرض " (جریان چرخشی در مقطع)

در اثر اختلاف انرژی در عرض
(اختلاف سرعت بین سطح آب، کف، دیواره و سطح)

در مسیر مستقیم و مقطع منشوری (متقارن)



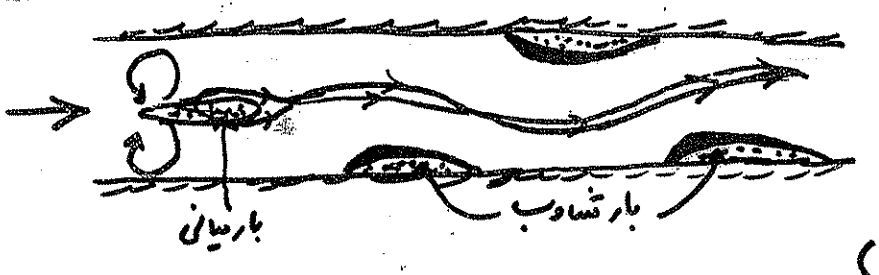
اختلاف سرعت در مقطع عرضی ← جریان چرخشی : دو سلولی با قدرت کم
تقارن در دو سمت

(سرعت عرضی (۱-۲.۵٪) سرعت جریان اولیه)

رسوب گذاری در میانه مقطع (بار میانی)

غیر یکنواخت در شکل و اندازه مقطع ← قدرت دو سلول چرخشی یکسان نیست ← بار کف از یک سمت بسوی دیگر منتقل می‌شود.
" " مقاومت دیواره دو سمت

ترکیب جریان اولیه با ثانویه



⇐ ایجاد بارهای رسوبی تناوب
Alternate Bars

تحت جریان زیحی (کم آب و پیچ تا متوسط)

⇐ توسعه مارپیچی در بستر کم آبی (ولی مسیر عمومی هنوز مستقیم است).

{ توسعه شکل نامتقارن مقطع عرضی و تاثیر جریان های زیاد و سیلابی } ← { قدرت بیشتر جریان ثانویه ← افزایش ناپایداری ← شکل گیری پیچی های ملایم در راستای رودخانه ← توسعه مارپیچی ⇐ جریان چرخشی یک سلولی!

در محدوده پیچی رودخانه

{ توزیع سرعت در مقطع عرضی تغییر کند و اختلاف سرعت در مقطع عرضی بیشتر } ← جریان ثانویه بصورت تک سلولی و قوی تر (سرعت جریان عرضی حدود ۱۵٪ سرعت طولی)

{ توسعه فرسایش در سمت دیواره خارجی و رسوب گذاری " " داخلی } ← { غیر یکنواخت شدن بیشتر شکل مقطع و توزیع سرعت } ← جریان ثانویه قوی تر و تندتر شدن پیچی

{ ترکیب جریان اولیه با ثانویه ⇐ حمل و انتقال بخشی از مواد فرسایش دیواره خارجی به پایین دست } ← (شدت فرسایش از دیواره خارجی) > (شدت رسوب گذاری در دیواره داخلی)

⇐ بار میانی به پایین دست پیچی

⇐ پیشروی پیچی نسبت دیواره خارجی ← تندتر شدن پیچی ← عمیق تر شدن دیواره خارجی
" " داخلی ← ملایم تر شدن " "

← تمرکز جریان در سمت خارجی پیچی

← افزایش فشار یا سطح آب در سمت خارجی پیچی

⇐ ایجاد بار رسوبی میانی در پایین دست پیچی ← مقاومت در برابر جریان خروجی از پیچی

⇐ جابجایی پیچی به پایین دست : و

در رگدانه سیلابی : خطا مانند سیم سرعت (یا خط القعر) در محدوده پیچی مستقیم تر می شود.
← تخریب بیشتر دیواره خارجی در محدوده خروجی پیچی ← جابجایی پیچی (بسمت پایین دست)

"Channel Migration" = "تندتر شدن پیچی و مهاجرت به پایین دست"

پدیدهٔ تغییرات بستر رودخانه‌ها
در شکل (۶) - ص ۱۲۷ :

شدت جابجایی عرضی

- برای بیضی‌های ملایم‌تر ($\frac{b}{w} > 3$) : با کاهش $\frac{b}{w}$ (تندتر شدن) ⇐ میزان جابجایی عرضی ↑
- مکانیسم جابجایی و تنظیم رودخانه در : ($\frac{b}{w} = 3$)
- با تندتر شدن بیضی $\frac{b}{w} < 3$: با کاهش $\frac{b}{w}$ (تندتر شدن) ⇐ میزان جابجایی عرضی ↓
⇐ پایدارتر شدن (مقاومت در برابر جریان در بیضی زیادتر می‌شود)

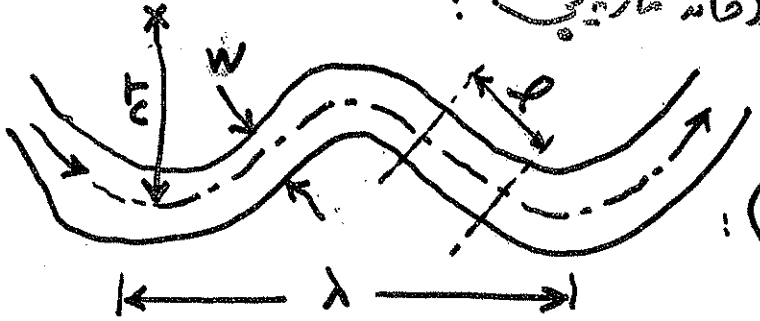
مشخصات عمومی رودخانه‌های مارپیچ

الف) در دشت آبرفتی وسیع (با شیب کم، بار رسوب زیاد، آبرفت ریزدانه‌تر)
⇐ سیلاب دشت (flood plain) ⇐ (Sand-bed Rivers)
: رودخانه با الگوی مارپیچی نسبتاً منظم (یک تا چند سینوس)، بستر ماسه‌ای
: " با مقطع مرکب (: مقطع اصلی M.C. + مقطع کمکی)
⇐ روابط تئوری - تجربی برای مشخصات مارپیچی وجود دارد.

ب) در دشت‌های آبرفتی با بستر سنگی (Gravel-bed Rivers) ⇐ الگوی منظم مارپیچی انتظار نمی‌رود
" " با تغییرات در شیب، نوع آبرفت، توپوگرافی ... ⇐ روابط تجربی برای رودخانه بستر شنی یافت می‌شود.
مثال : در کانادا $\bar{\lambda} = 110\, Q_2^{0.469}$ ($\bar{\lambda}$ طول موج متوسط)

ج) رودخانه‌های کوهستانی، تپه کوهستانی و ... یا در دشت‌های با کنترل زمین‌شناسی ...
ممکن است بصورت مارپیچی (گاهاً زیبا و منظم) دیده شوند.
ولی تحت کنترل‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی، در نتیجه تغییرات در مشخصات سیر، تغییر دارند.
⇐ الگوی آزاد (تغییرات و تنظیم آزاد) دارند.
⇐ مشخصات بیضی‌ها و روند مارپیچی در آنها قابل تعمیم نیست.
⇐ روابط تجربی نباید بدست آورد و یا از روابط موجود جهت ارزیابی مشخصات مارپیچی آنها نباید استفاده کرد.
⇐ طبیعت خود را دارند. و ممکن است علیرغم نامنظمی پایدار باشند.

ابعاد تقریبی از رودخانه مارپیچ :



برای ابعاد مارپیچی (مقطع اصلی) :

محدوده تغییرات : $\frac{h_c}{W} = (1.5-10)$ ؛ $\frac{\lambda}{W} = (5-15)$

عموماً (شیب‌دار) : $\frac{h_c}{W} = (1.5-4.3)$ ؛ $\frac{\lambda}{W} = (7-11)$

تمایل طبیعی رودخانه (در حالت پایداری نسبی) :

$\frac{h_c}{W} = (2-3)$

$\lambda = (2-4)W$ (طول سیر بینهایت مستقیم بین دو پیچ متوالی)

River training

$\lambda/W = (7-11)$ بین دو پیچ متوالی

بررسی روابط تجربی در حد آستانه مارپیچی - شریانی - مستقیم بودن

عوامل مؤثر : نسبت عرض به عمق ($\frac{W}{d}$) ؛ فاکتور مقاومت جریان (f یا n) - هندسه رودخانه ؛ پارامتر شیلدز (τ_c^* یا θ)

Lane (1957) - برای رودخانه‌های شنی ماسه‌ای

مارپیچی : $SQ^{1/4} \leq 0.0017$

شریانی : $SQ^{1/4} \geq 0.01$

Q : دبی مقطع پُر (مقطع اصلی)

S : شیب عمومی بازه رودخانه

شیب متوسط کف

$S = 0.06\, Q^{-0.44}$ ($D_{50} > 6$ mm) (درصد) — Leopold + Wolman (1957) - برای بستر شنی و درشت‌تر

شیب کمتر ← مارپیچی

شیب بیشتر ← شریانی

$S = 0.64\, Q^{-0.44} D_{50}^{1.14}$ (D_{50} : سانتیمتر انگلیسی) — Henderson (1966) - برای بستر شنی

شریانی : $S \gg S_c$ ← متوسط اندازه حرکت بحرانی

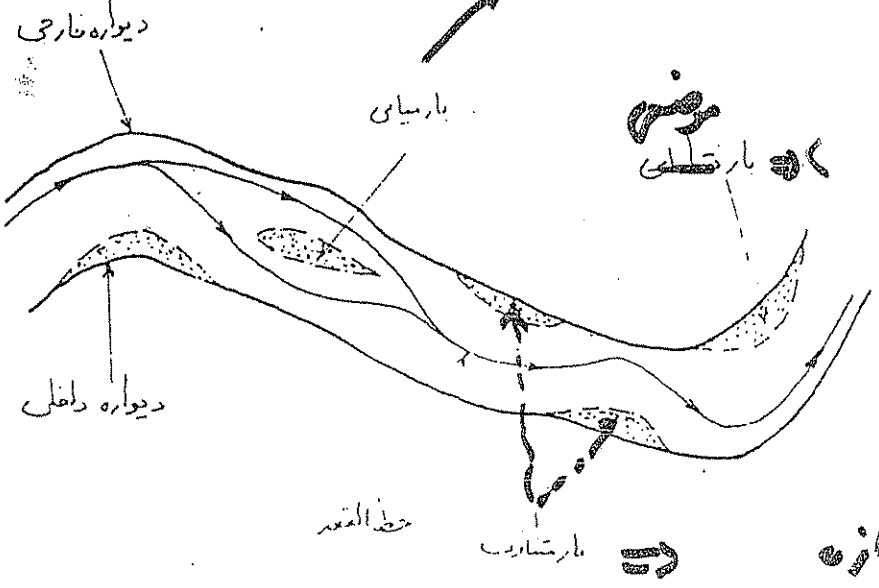
Fred Soe (1978)

$\frac{W}{d} < 8$: مستقیم (نسبت عرض به عمق)

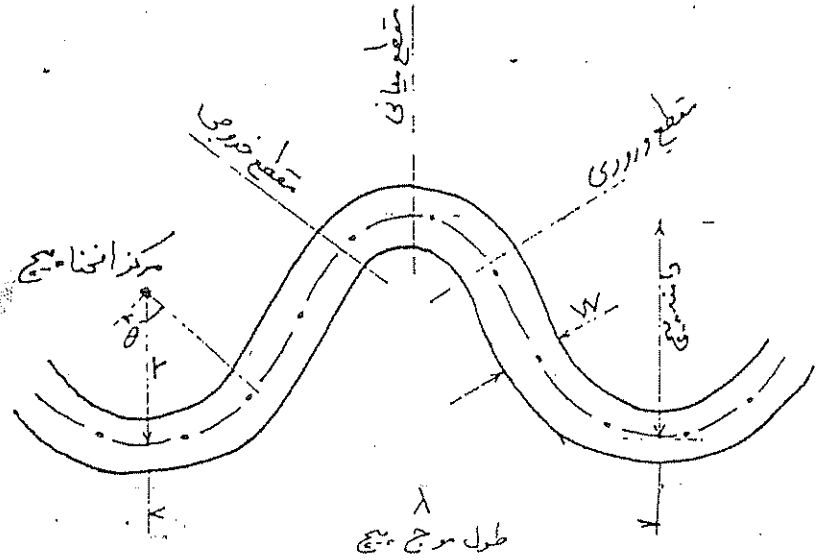
$15 < \frac{W}{d} < 40$: مارپیچی

$\frac{W}{d} > 60$: شریانی

+ روابط مختلف تجربی به روش رژیم (Regime method) : ص ۱۲۸-۱۴۱ ← ص ۱۴۸-۱۵۱



شکل (۲): انواع بارها در رودخانه



شکل (۳) : خصوصیات و ابعاد مارپیچ رودخانه

Braided and Meandering Channels

The single-thread channel described above is by no means universal. It is also common for rivers to be "braided," i.e., split into many channels which endlessly divide and rejoin. An example is shown in Fig. 10-24*a*. Sometimes the biological term anastomosis, which describes the branching and rejoining of blood vessels, is used to describe the process. It most commonly occurs in the steep upper reaches of a river, where the transporting power is high; the braiding process tends to dissipate this power by spreading the flow over a number of channels.

Meandering channels, of which an example is shown in Fig. 10-24*b*, usually occur on lower, gentler slopes towards the river mouth, and the river flows in one well-defined channel. The secondary currents described in Sec. 7.3 occur at each meander loop, e.g., *A-A* in Fig. 10-25*a*, and are shown again in Fig. 10-25*b*, the single cell contrasting with the multicell pattern of a straight channel, shown in Fig. 10-25*c*. The outer-bank scour and inner-bank deposition induced by the secondary current in Fig. 10-25*b* make the meander loops gradually extend outwards, and the more pronounced scour on the downstream faces of the loops makes them gradually migrate downstream. Because of this movement, the geologist regards the meandering form as unstable. The engineer, with a shorter time scale in mind, regards the meandering form as fairly well behaved, for two reasons: first, the gentle river slope and lower transporting power mean that the meander loops can fairly easily be stabilized by protective works; and second, that the secondary flow pattern of Fig. 10-25*b* tends to keep the channel clear. Straight channels on the other hand have quite a strong tendency to form central bars, and this may be a result of the multicell secondary flow pattern in Fig. 10-25*c*.

The main objection the engineer has to the meandering form is that if the loops are too pronounced the resistance to flow is too great and the flood levels are too high. In river training work the aim is usually to cut off loops which are too deep, while still preserving, and working in with, the natural meander pattern. Figure 10-25*d* shows a typical example of this operation.

A section like *B-B* in Fig. 10-25*a* is termed a "crossover." Here the water is of uniform depth where the "thalweg," or line of maximum depth, is at its median position while swinging from one side of the channel to the other. At the crossovers the mean depth is less and the velocity is greater than at the loops; in fact the flow at the crossovers may approach the critical condition. This variation in mean depth occurs also in straight channels, in the "pool and riffle" formation shown in Fig. 10-26*a*. Indeed, the two phenomena seem to be closely akin, for it is found that pools and riffles in straight channels have much the same wavelength as the meander pattern seen from above. An apparently straight channel may also have a concealed meander pattern in which the thalweg follows a sinuous path between straight banks, Fig. 10-26*b*.

Measurements of the horizontal dimensions of meander patterns show

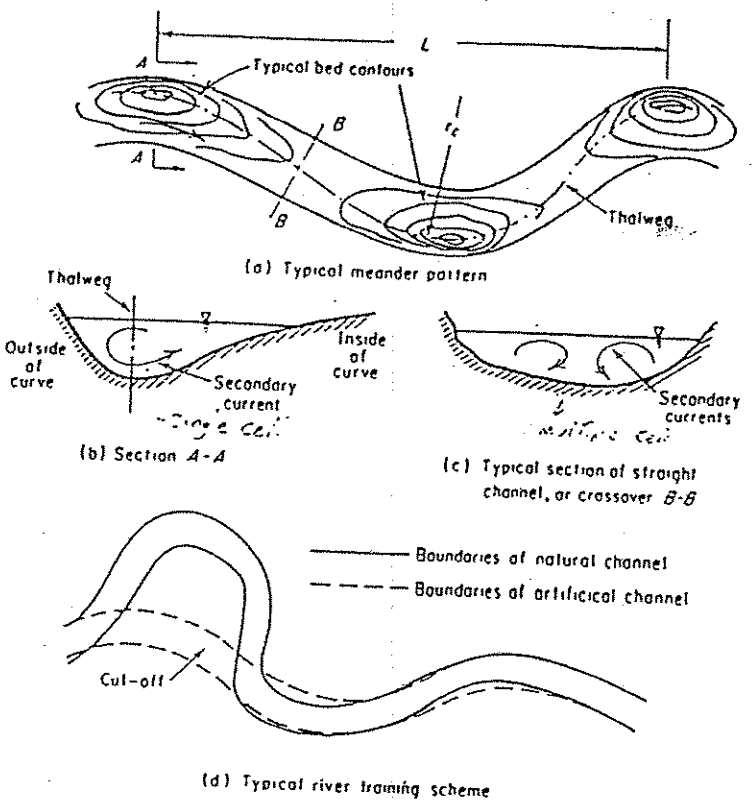


Figure 10-25. *Characteristics of Meandering and Straight Channels*

relations between certain of the parameters which stay remarkably consistent through a large range of stream size, from laboratory streams a foot wide to the Mississippi River nearly a mile wide. Many observers have noted such relations, and their work is summarized by Leopold and Wolman [51]. The wavelength L and loop radius r_c (Fig. 10-25*a*) are related to the width B by these equations

$$\frac{L}{B} = 7 \text{ to } 11 \qquad (10\text{–}87)$$

$$\frac{r_c}{B} = 2 \text{ to } 3 \qquad (10\text{–}88)$$

the range shown for the right-hand numbers being not as large as the full range of values found in the field. Values of the ratio r_c/B, for instance, are

مکانیزم مارپیچی شدن رودخانه‌ها :

در بررسی عوامل و اثرات مارپیچی شدن و نحوه پیش بینی کوتاه مدت و درازمدت تغییرات آن نیاز به همکاری مشترک مهندسین و ژئومرفولوژیست ها میباشد. رودخانه بدلایل مختلف مارپیچی میشود. تشخیص مکانیزم مارپیچی شدن مشکل است و تاکنون میان نتایج حاصل از روشهای تئوری و مدلهای فیزیکی و ریاضی با مشاهدات صحرائی فاصله و شکاف فراوانی وجود دارد و دانش مربوط به آن هنوز کامل نیست (شن[1]، ۱۹۸۴).

بجز در بازه‌های کوتاه که بطور طبیعی یا مصنوعی تثبیت شده باشند رودخانه مستقیم حالت پایدار نداشته و بندرت در طبیعت یافت میشوند (پترسن[2]، ۱۹۸۶) این واقعیت که رودخانه‌های با شیب کم در دره با شیب زیاد جریان دارند توجیه گر مارپیچی شدن است. مشاهدات نشان میدهد که تقریبا" تمام رودخانه‌ها و مجاری فرسایشی تمایل به مارپیچی شدن دارند. و در مراحل رشد و تکوین خود از نظر شکل، ابعاد و راستا به الگوی منظم‌تری دست میابند. که روند تغییرات و جابجائی در آنها تدریجی تر و در عین حال قابل پیش بینی میباشد. علاوه بر آن از نظر اکولوژیکی به مرحله برتری رسیده و منظره زیباتری نیز بخود میگیرند. بنابراین مارپیچی شدن تلاش رودخانه برای حصول به شرایط تعادل بوده و رودخانه‌های مارپیچی بطور نسبی پایدارتر هستند (هی[3]، ۱۹۸۲ و چانگ[4]، ۱۹۸۴).

افزایش ضریب مارپیچی[5] و طول مسیر علاوه بر کاهش شیب سبب اتلاف انرژی اضافی شده و بار کف را کمتر میکند. بهمین دلیل در مراحل رشد یافته نوع مواد رسوبی و در نتیجه نوع مواد بستر و دیواره‌ها غالبا "ریزدانه بوده و بار کف شامل ماسه ریز خواهد بود. از اینرو رودخانه‌های مارپیچی

---

1)- Shen 2)- Petersen 3)-Hey

4)- Chang 5)- Sinousity

عموما "درگروه رودخانه بستر ماسه ای[1] قرار گرفته و در سیلاب دشت ها[2] ظاهر میگردند. لئوپولد و ولمن[3] (۱۹۵۷) روندما رپیچی شدن را ناشی از وجود جریان ثانویه و مولفه سرعت در عرض مقطع جریان میدانند. در بازه های مستقیم ابتدا جریان ثانویه بصورت دوسلولی - درخلاف جهت یکدیگر، گردش دارند. قدرت ایندوسلول چرخشی بدلیل غیریکنواختی شکل، ابعاد و مقاومت بستر جریان عموما " یکسان نیست. لذا علاوه بر بارهای میانی[4] بارکف نیز از یکسوی دیواره به سمت دیواره مقابل منتقل شده و تحت تاثیر مولفه طولی جریان سبب ایجاد بارهای متناوب[5] در کناره ها میگردد. که در شرایط کم آبی و متوسط مسیر جریان بتدریج مارپیچی شده و پیچهای رودخانه توسعه میابند. جریان ثانویه در محل پیچ بصورت یک سلول چرخشی عمل کرده و با فرسایش دیواره خارجی و رسوب گذاری در دیواره داخلی سبب تشدید پیچ و گسترش مارپیچ میگردد. چنانچه زبری دیواره ها بیشتر از کف باشد جریان ثانویه قویتر خواهد بود. سیمون[6] (۱۹۷۱) و شن[7] (۱۹۷۱) سرعت عرضی جریان ثانویه را در مسیر مستقیم حدود ۱ تا ۲/۵ درصد و در محل پیچ حدود ۱۵ درصد سرعت طولی جریان آب میدانند بهمین دلیل شدت تغییرات در محل پیچ بیشتر میباشد. موری ساوا[8] (۱۹۶۸) و پترسن[9] (۱۹۸۶) تاثیر نیروی گریز از مرکز را در افزایش ارتفاع و سطح آب در دیواره خارجی عامل گسترش پیچ رودخانه میدانند. افزایش فشار هیدرواستاتیکی ناشی از سرعت زیاد جریان در سمت دیواره خارجی باعث ایجاد جریان حلزونی[10] در پیچ شده و مواد فرسایش یافته از دیواره خارجی را بصورت بار کف به سمت دیواره داخلی منتقل نموده و با ایجاد حرکت گردابی[11]، تاشی

---

1)-Sand-Bed 2)- Flood Plain 3)-Leopold and Wolman

4)- Middle Bar 5)- Alternate Bar 6)-Simons

7)-Shen 8)- Morisawa 9)-Petersen

10)-Helical 11)- Eddy

(۱۵۷)

ازجدائی خطوط جریان ازیکدیگر(۱) ـ ودرنتیجه کاهش سرعت جریان عرضی باعث رسوب گذاری بصورت بارنقطه‌ای(۲) دردیواره‌داخلی میگردد. ازطرفی میزان فرسایش دیواره‌خارجی با میزان رسوب گذاری دردیواره‌داخلی یکسان نیست لذا مقداری ازرسوبات به‌پائین دست پیچ حمل شده‌وبصورت بارمیانی(۳) دربسترته‌نشست نموده‌وسبب توسعه مارپیچ به‌پائین دست میگردد (هوارد ناتسون(۴) ۱۹۸۴). بهمین دلیل خط القعرجریان‌در ـ محل پیچ به‌سمت دیواره‌خارجی ودرپائین دست آن بصورت مارپیچ ازیک دیواره‌به‌سمت دیواره‌دیگرمتمایل خواهدبود. شن(۵) (۱۹۸۴) وضعیت فوق رابرای شرایط کم‌آبی ومتوسط جریان صادق میداند ولی برای‌شرایط سیلابی بعلت افزایش ناگهانی سرعت وتنش برشی خط القعردرمحل پیچها تمایل به‌مستقیم‌شدن پیدا نموده وازمحدوده بارنقطه‌ای دیواره‌داخلی میگذرد. بهمین دلیل تحت شرایط بحرانی ممکن است تغییرمسیر خط القعردرمحل پیچ منجربه‌میان بری(۶) وافزایش موضعی شیب گردد. درمحدوده مستقیم بین پیچهای متوالی نیزبعلت رسوب گذاری؛ عمق کم وعرض بیشترشده ودیواره‌ها ازدوسمت درمعرض تخریب قرارمیگیرند. تاثیرعوامل گردش زمین ونیروی کوریولیس(۷) روی مارپیچ رودخانه توسط کابلاک(۸) (۱۹۵۷) ونیو(۹) (۱۹۶۷) موردمطالعه‌قرارگرفت. کابلاک (۱۹۵۷)نشان داد که‌مقدارنیروخیلی‌کم‌است مگردرعرض جغرافیائی‌زیاد وشرایط سیلابی وسرعت زیادجریان که‌میتواندقابل ملاحظه‌باشد. نیو (۱۹۷۷) نتیجه‌گرفت که‌زاویه‌انحراف بین محورجریان رودخانه‌با امتداد عرضی جریان ناشی ازنیروی کوریولیس بستگی مستقیم‌به‌عرض جغرافیائی وعمق جریان داشته‌وباسرعت طولی جریان آب رابطه‌معکوس داردکه‌این

---

1)- Seperation 2)- Point Bar 3)-Middle Bar

4)- Howard and Knatson 5)- Shen 6)- cut-off

7)- Coriolis force 8)- Kabelak 9)-Neu

نتیجه‌گیری متناقض با نتایج کابلاک (۱۹۵۷) میباشد. بهرحال تاثیر نیروی کوریولیس هنوز بخوبی مشخص نشده است. همچنین شواهد متقاعد کننده‌ای نیز وجود ندارد که نشان دهد رودخانه‌هائی که در نیمکره شمالی هستند عموما "فرسایش آنها در دیواره سمت راست بیشتر از سمت چپ باشد (گزارش شده توسط شن[1]، ۱۹۷۱).

لانگ بین ولئوپولد[2] (۱۹۶۶) فرم ماربیچی را فرآیند فرسایش و رسوب گذاری در جهت حصول پایداری میدانند بطوریکه با اتلاف انرژی جریان تغییرپذیری فاکتورهای هندسه هیدرولیکی به حداقل رسیده و فرم ماربیچی نیز منظم‌تر و تقریبا "از یک تابع سینوسی پیروی خواهد کرد؛ ولی مطالعه انجام شده توسط بری[3] (۱۹۸۲) در رودخانه‌های بستر شنی نشان میدهد که الگوی ماربیچ رودخانه عموما "نا منظم میباشد.

ناپایداری حضور بارهای متناوب در طرفین دیواره‌های رودخانه مستقیم و جابجائی آن به سمت پائین دست سبب میشود تا علاوه بر تغییر مکان مسیر خط القعر، دیواره رودخانه در یک زمان حفاظت و در زمان دیگر و با حرکت بارها در معرض فرسایش قرار گیرند. این وضعیت باعث ایجاد تخریبهای موضعی در دیواره‌ها و ایجاد آشفتگی در مسیر و گرداب‌شدن جریان میگردد و با گسترش پیچها بتدریج رودخانه ماربیچی میشود (شوم[4]، ۱۹۸۴). لئوپولد و آکر[5] (۱۹۸۲) شرایط ایجاد و توسعه ماربیچ را برای رودخانه‌های بستر ماسه‌ای و شنی شبیه یکدیگر میدانند. براساس این مطالعات روند تبدیل یک بازه مستقیم به ماربیچی بطور طبیعی با افزایش بار رسوبی و در نتیجه شیب بیشتر همراه است. تحقیقات خان و شوم[6] (۱۹۷۲) نشان میدهد که برای یک دبی معین اگر شیب افزایش یابد یک رودخانه مستقیم

---

1)- Shen 2)- Langbein and Leoplod

3)- Bray 4)- Schumm 5)- Leopold and Ackers

6)- Khan and Schumm

به مارپیچ تبدیل میشود .از طرف دیگر میزان افزایش شیب نیز بستگی به دبی دارد . بنابراین پدیده مارپیچی شدن را میتوان فرآیند پیچیده‌ای از عوامل دبی ـ رسوب دانست. (گزارش شده از شوم، ۱۹۸۴) .توسعه و جابجائی مارپیچ رودخانه[1] بدوصورت انجام میگیرد :

۱ـ تغییر مکانی مارپیچ رودخانه در جهت پائین دست[2]

۲ـ تغییر در عرض و دامنه مارپیچ[3] و در نهایت میان بری آن[4] .

این تغییرات عموما " بطور همزمان صورت میگیرند (نانسون، وهیکین[5] ۱۹۸۳ و پترسن[6] ۱۹۸۶) .

نانسون وهیکین (۱۹۸۳) وهوارد و ناتسون[7] (۱۹۸۴) شدت جابجائی را تابعی از عوامل : مقاومت دیواره‌ها ، بار رسوبی کف ، ورژیم جریان رودخانه میدانند .در روند طبیعی و پایدار جابجائی رودخانه ، فرسایش در دیواره خارجی باید با رسوب گذاری در دیواره داخلی معادل گردد .اگر فرسایش پذیری دیواره‌ها بیش از پتانسیل حمل رسوبات کف ، در عرض مقطع پیچ باشد در این صورت ته نشست رسوبات بصورت بار نقطه‌ای[8] در دیواره داخلی کمتر از میزان فرسایش دیواره خارجی بوده و تعریض تدریجی مقطع باعث کاهش تنش برشی و سرانجام کنترل و توقف جابجائی میگردد .برعکس اگر بواسطه مقاومت دیواره‌ها شدت فرسایش دیواره خارجی خیلی کم باشد ، رسوب گذاری در طرف دیگر سبب باریک شدن رودخانه و سرانجام افزایش سرعت و تنش برشی شده و تدریجا "مانع رسوب گذاری میگردد .بنابراین شدت جابجائی و جهت آن بوسیله مقاومت دیواره‌ها و یا مقدار بار کف کنترل میشود .

وقوع سیلابها تعادل پیچ را از طریق افزایش نسبت فرسایش دیواره

---

1)- Channel Migration
2)- Meander shift
3)- Meander Amplitude
4)- Cut-off
5)- Nanson and Hickin
6)- Petersen
7)- Howard and Knutson
8)- Point Bar

خارجی به‌میزان رسوب‌گذاری دردیواره داخلی‌برهم زده‌وضمن کاهش شعاع انحناء با انتقال رسوبات به‌پائین دست‌وته‌نشست آن بصورت بارمیانی باعث گسترش الگوی مارپیچی به‌سمت پائین دست وافزایش ضریب مارپیچی آن میگردد. تغییرمکانی مارپیچ رودخانه‌درجهت پائین دست ازخصوصیات طبیعی این رودخانه‌ها بشمارمیاید. براساس مطالعه‌برادلی واسمیت (۱۹۸۴)برروی نحوه‌تغییرات پیچهای رودخانه‌میلک[1] درکانادا ـ در ۸۰ سال گذشته‌بطورکلی باگذشت زمان مارپیچ رودخانه‌به‌سمت پائین دست گسترش داشته ودردامنه‌مارپیچ ونیزعرض رودخانه‌تغییراتی حاصل گردیده است. تغییرات مکانی بصورت تدریجی باجابجائی پیچها[2] ویا بصورت سریع وناگهانی به‌شکل میان بری[3] ویاتغییردائمی‌مسیر[4] همراه‌میباشد. میان بری درپیچها بدوصورت اتفاق می‌افتد :

۱ـ میان بری آبشاری[5] : دراین شرایط پیچ رودخانه‌توسط یک مسیر کوتاهترونسبتا " مستقیم‌تعدیل میگردد. درمحل پیچهای تندرودخانه‌هائی که‌عرض زیاد وموادرشت دانه‌وغیرچسبنده‌وفاقدپوشش گیاهی هستنددراثر وقوع سیلاب این پدیده‌واقع‌شده‌وسبب تخفیف ضریب مارپیچی‌میگردد.

۲ـمیان بری طوقه‌ای[6] : باافزایش تدریجی ومستمرضریب مارپیچی، حلقه‌پیچ بقدری تنگ میگرددکه‌سرانجام‌منجربه‌جداسازی پیچ بصورت یک هلال یا نعل اسب[7] خواهدگردید. این شرایط درروخانه‌های سیلاب دشتی باشیب کم‌وموادچسبنده وباپوشش گیاهی رخ داده‌ودرواقع‌نهایت مقاومت دیواره‌ها رانشان میدهد.

این‌موارد علاوه‌برمشاهدات صحرائی شوم[8] (۱۹۸۴) ازطریق مدل سازی

---

1)- Bradely and Smith 2)- Meander Shift

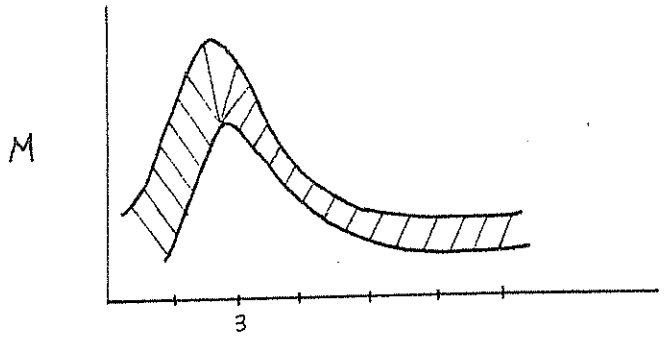
3)- Cut-off 4)- Avulsion 5)-Chute cut off

6)- Neck cut off 7)- oxbow 8)- Schumm

توسط هواردوناتسون[1] (۱۹۸۴) تیزتائیدشده است .

چانگ[2] (۱۹۸۴) درمطالعه شدت جابجائی فاکتور "انحناء نسبی پیچ"[3] (نسبت شعاع انحناء به عرض پیچ : r/w) را معیار بهتری نسبت به "ضریب مارپیچی"[4] میداندزیرا این ضریب بسیار متغیر میباشد. درحالیکه تغییرپذیری فاکتور " انحناء نسبی پیچ " برای رودخانه‌ها کم‌بوده‌واین نسبت (r/w) عموما "بین ۱/۵ تا ۴/۳ درتغییراست ومتوسط آن ۳میباشد که‌با مقدار ۲/۷ که‌توسط لئوپولدوولمن (۱۹۵۷) گزارش شده مطابقت ونزدیکی دارد. درعین حال اکثررودخانه‌ها تمایل دارندکه‌نسبت r/w آنها بین ۲ تا ۳ باشد.

براساس مطالعات استیون وهمکاران(۱۹۷۵) وناتسون وهیکین(۱۹۸۳) وقتی نسبت r/w حدود ۳ باشدشدت جابجائی(M :متردرسال)به ماکزیمم مقدارخودمیرسد .کاهش شدت‌جابجائی M درنسبت های‌بیشترr/w تدریجی ترودرنسبتهای کمترآن ، شدیدترمیباشد. بعبارت دیگرتندترشدن پیچ باعث کاهش سرعت وتنش برشی شده‌ومیزان جابجائی‌را کمترمیکند (هوارد وناتسون ،۱۹۸۴) .شکل (۶)رابطه‌فوق را بهترنمایش میدهد.



شکل (۶): رابطه‌انحناء نسبی پیچ r/w باشدت جابجائی M

---

1)- Howard and Rnutsun
2)- Chang
3)- Relative Bend curvature
4)- Sinousity

تا کنون مطالعات زیادی روی تغییرابعاد مارپیچ رودخانه (عرض طول ودامنه مارپیچ ، شعاع انحناء و ...) انجام شده است . بعضی محققین با استفاده ازهمبستگی روابطی بین ابعاد مارپیچ با عوامل بارکف ودبی مقطع پرایجاد کرده اند .که نمونه این روابط توسط چیتال (۱) (۱۹۷۰) ارائه شده است .بری (۱۹۸۲) با مطالعه روی ۱۴ رودخانه بسترشنی ضمن تاکید روی الگوی نا منظم وغیرسینوسی مارپیچ ها معادله همبستگی زیر را بدست آورد :

$$\bar{\lambda} = 110\, Q_2^{0.479} \qquad (۳)$$

که $\bar{\lambda}$ متوسط طول موج مارپیچها برحسب متر و Q_2 سیل لحظه ای ۲ساله برحسب مترمکعب درثانیه است .براساس گزارش شن (۱۹۸۴) مطالعاتی که توسط اینگلوند (۲) (۱۹۷۴) ،کالندر (۳) (۱۹۷۸) وایکدا وهمکاران (۴) (۱۹۸۱) انجام شده ، با استفاده ازروش آنالیز خطی وغیرخطی پایداری مارپیچ رودخانه ها نشان میدهد که طول موج مارپیچ تنها تابعی ازخصوصیات جریان ومستقل ازخصوصیات باررسوبی است . بری (۵) (۱۹۸۲) نتیجه گرفت که وقتی غلظت بارکف دررودخانه مارپیچی بیشترشود ، طول موج مارپیچ مستقل ازآن خواهدبود .

چانگ (۶) (۱۹۸۴) با استفاده ازروش انرژی وبراساس حداقل انرژی مصرف شده درواحدطول پیچ خصوصیات مارپیچ رودخانه های بسترماسه ای را موردبررسی قرارداده تا بتوان ماکزیمم "انحناء نسبی پیچ (r/w) را برای حالتی که فعالیت رودخانه برای جابجائی به حداقل برسد ، بدست آورد .در این بررسی نسبت ماکزیمم (r/w) درمحدوده ۲/۲ تا ۴ برآورد گردیده است .

گروه دیگری ازمحققین با استفاده ازروش تحلیل تئوری "توزیع سرعت وتنش برش درپیچها " وآزمایش روی مدل ، علل وخصوصیات تغییر

---

1)- Chitale 2)- Engelund 3)-Callander

4)- Ikeda,et.al 5)-Bray 6)-Chang

پذیری پیچها را مورد مطالعه قرار داده اند .

توزیع تنش برشی (۱) در پیچها :

ازدیاد تنش برشی در بستر همراه با افزایش بارکف و آبشستگی (۲) در کناره ها باعث فرسایش و تخریب دیواره ها خواهد بود . بنابراین نحوه توزیع تنش برشی در طول پیچ راهنمای تشخیص مواضع احتمالی تخریب میباشد . ازطرف دیگر تنش برشی متناسب با مجذور سرعت است ولذا حساسیت تغییر در آن بیش از تغییرات سرعت خواهد بود (هوک (۳) ، ۱۹۷۵) چن و شن (۴) (۱۹۸۴) با جمع بندی داده ها ونتایج محققین مختلف در زمینه نحوه توزیع سرعت و تنش برشی ، تغییرات وجابجائی پیچهای رودخانه را مورد بررسی قرار داده اند . اما بهرصورت اندازه گیری سرعت و تنش در پیچها بسیار مشکل بوده وبا توجه به غیریکنواختی شکل وابعاد مقطع ، حل سه بعدی معادلات دیفرانسیل مربوطه پدیده پیچیده ای میباشد . مطالعات صحرائی در این زمینه بسیار کم بوده واز سطح مدلهای تشبیهی وشرایط محدود جریان آب فراتر نمیباشد . شکل (۷) یک پیچ ساده را نشان میدهد .

عوامل مهمی که روی توزیع تنش در پیچها موثرند عبارتست از : "انحناء نسبی پیچ r/w " ، "نحوه توزیع سرعت در مقطع ورودی پیچ "" زاویه پیچ θ (۵) "" نسبت عرض به عمق (w/d) " ، "عدد رینولد (R_N) " ، "عدد فرود (F_r) " ، " فاکتور زبری بستر (n) " ونحوه تغییرات مقطع جریان در قسمت ورودی ، میانی وخروجی پیچ . فاکتور انحناء نسبی r/w مهمترین عامل در تعیین توزیع تنش برشی در پیچ میباشد . براساس اندازه گیریهای بعضی محققین نظیر وارشنی وگرید (۶) (۱۹۷۵) وچاداری ونا راسیان (۷) (۱۹۷۷)،

---

1)-Shear stress distribution 2)-Scouring

3)- Hooke 4)-Chen and Shen 5)-Bend Angle

6)- Varshney and Grade 7)- Choudary and Narasimhan

نتایج زیر بدست آمده است :

برای پیچهای با نسبت r/w بیشتر از ۳/۵ توزیع تنش در مقطع ورودی پیچ تقریبا " یکنواخت بوده و منطقه ماکزیمم تنش در قسمت خروجی پیچ ودیواره خارجی آن اتفاق می افتد . وقتی نسبت r/w از ۳/۵ کمتر میشود ، دو منطقه تنش ماکزیمم بوجود میآید که یکی در قسمت خروجی پیچ ودیواره خارجی آن ودیگری در قسمت ورودی پیچ ودیواره داخلی آن میباشد . درشرایطی که نسبت r/w خیلی کم وبه مقدار ۱/۲۵ نزدیک شود منطقه تنش ماکزیمم بطورکامل در محدوده دیواره داخلی قرار میگیرد .شکل(۸) شرایط فوق را بصورت کیفی شرح میدهد .

علاوه براین با ثابت نگهداشتن بقیه عوامل ،هرچه نسبت عرض به عمق (w/d)بیشتر شود تغییرات تنش در عرض مقطع کمتر خواهد بود . زیرا نسبت سرعت در مقطع ورودی به سرعت در مقطع خروجی پیچ کمتر بوده و علاوه بر آن گسترش جریان حلزونی ونیز جدائی خطوط جریان[1] که منجر به انتقال خط ماکزیمم سرعت وتنش از یک دیواره به سمت دیواره دیگر میگردد ضعیفتر شده ولذا تغییرات مقطع در طول پیچ یکنواخت تر میگردد .

ین[2] (۱۹۷۰) وهوک[3] (۱۹۷۵) تاثیر توپوگرافی بستر متحرک رودخانه ها را روی افزایش تنش برشی در دیواره خارجی قسمت خروجی پیچ ونیز دیواره داخلی قسمت ورودی ، پیچ مشاهده واندازه گیری نموده اند .

کارسون ولاپوئنت[4] (۱۹۸۳) با شواهد صحرائی موقعیت مکانی وقوع تنش ماکزیمم را تشخیص داده اند . برای نسبتهای r/w بزرگتر از ۱/۵ تنش برشی بطور نسبی در دیواره داخلی قسمت ورودی پیچ بیشتر میباشد . همچنین در حد فاصل دیواره داخلی قسمت ورودی پیچ تا نزدیکی دیواره خارجی قسمت خروجی پیچ افزایش تنش وجود دارد . وماکزیمم تنش در

---

1)- Seperation 2)- Yen 3)-Hooke

4)- Carson and Lapointe

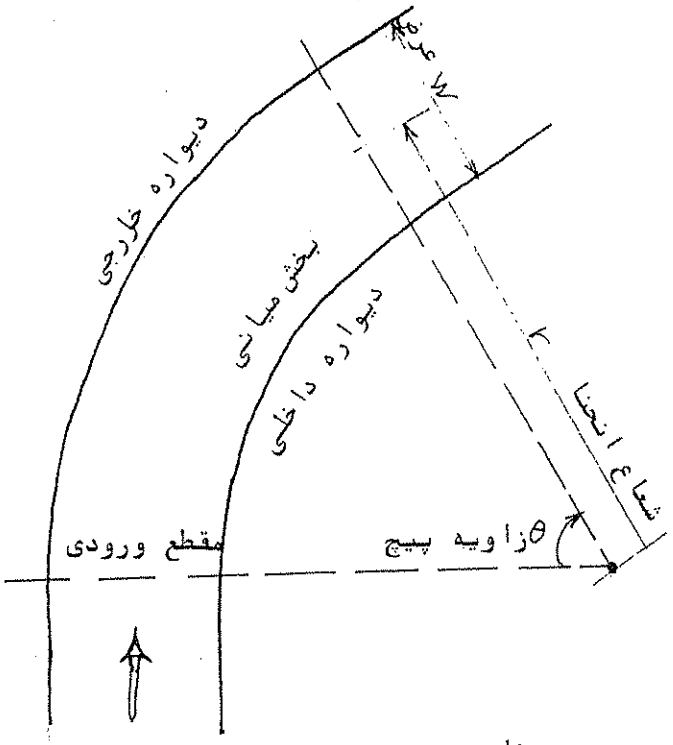
(۱۶۵)

دیواره‌خارجی قسمت خروجی پیچ اتفاق خواهد افتاد. درصورتیکه نسبت r/w کوچکتر از ۱/۵ شود دراین صورت تنش برشی درمحدوده‌طولی دیواره‌داخلی پیچ ماکزیمم شده‌وپدیده "میان بری آبشاری"[1] ازسمت دیواره‌داخلی رخ‌میدهد.

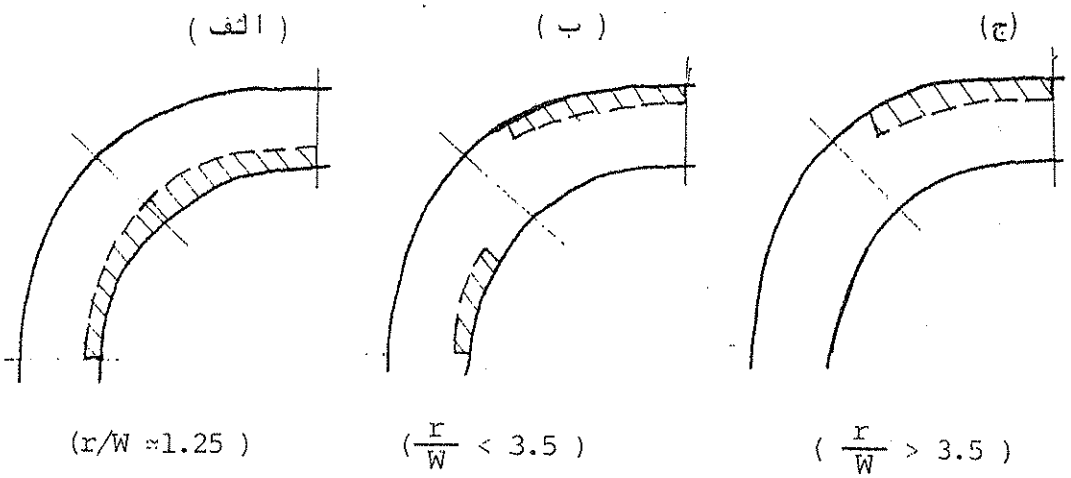
انتقال ماربپیچ رودخانه به‌سمت پائین دست با حفظ الگوو ابعاد آن بندرت به‌تنهائی رخ‌میدهد. وقتی رودخانه درروندتغییرات طبیعی خودازحالت مستقیم به‌فرم‌ماربپیچی تکوین مییابد چون نسبت r/w آن زیاداست لذا مقادیرماکزیمم تنش دردیواره داخلی قسمت ورودی و دیواره‌خارجی قسمت خروجی پیچ تقریبا" یکسان بوده‌وماربپیچ رودخانه با حفظ الگو وابعادخودبسمت پائین دست منتقل میگردد. ولی‌افزایش تنش درمحدوده دیواره خارجی قسمت‌خروجی پیچ بتدریج باعث تندتر شدن پیچ وکاهش نسبت r/w میگرددکه‌دراین صورت تغییرات بصورت جابجائی درعرض ودرجهت پائین دست ـ متقابلا"ظاهرخواهدشد (چن وشن[2] ۱۹۸۴).

---

1)- Chute-cut off 2)- Chen and Shen



شکل (۷) : پیچ رودخانه



شکل (۸): نمایش محدوده وقوع ماکزیمم تنش برشی برحسب مقدار انحناء نسبی $(\frac{r}{W})$

"Braiding"

(۳) مکانیزم شریانی شدن رودخانه‌ها - ص ۴۶-۴۴ / ص ۱۴-۱۲۴

شیب زیاد رودخانه ← { میدان جریان (SDS) بیشتر ← { میدان مستقیم‌تر / توان جریان بیشتر } ← { بار رسوبی کف زیادتر / مواد بار کف درشت دانه‌تر (مواد ریزتر بصورت معلق حمل می‌شود). }

← { بستر آبرفتی دشت رودخانه: درشت دانه. (لایه زیرین بستر) / مواد بستر رودخانه: درشت دانه تر (مواد ریزتر از لایه زیرین انتقال می‌یابند) / مواد دیواره‌ها: درشت دانه و منسجم (دیواره‌ها در برابر فرسایش پذیرتر از کف بستر رودخانه) }

← شیب بیشتر و مکانیزم شریانی شدن

در بازه پائین دست (شیب کمتر می‌شود):

← بار رسوبی کف بیشتر از ظرفیت حمل و انتقال جریان ← رسوب‌گذاری مواد درشت دانه در کف

← عمق کم می‌شود ← جریان منبسط، عرض بیشتر می‌خواهد

← فرسایش پذیری بیشتر دیواره نسبت به کف بستر ← نسبت عرض به عمق ... افزایش می‌یابد

← تشکیل بارهای رسوبی (Bars)

← شیب بازه پائین‌تر زیاد می‌شود (در اثر رسوب‌گذاری و تشکیل بارها)

← گردش سریع‌تر آب در بستر ← چند رشته‌ای شدن جریان

← توسعه بارهای رسوبی

← عمیق‌تر شدن رشته‌های جریان

در جریان سیلابی: ← ناپایداری مسیر رشته‌های جریان در شرایط سیلابی

(استغراق بارهای رسوبی و رشته‌های متعدد جریان، فرسایش بارها، جابجائی بارها، تخریب کف، عرض - دیواره‌ها)

بعد از اوج سیلاب (افت جریان سیلابی، افت سطح آب، کاهش قدرت جریان):

رسوب‌گذاری با آلودگی نامنظم ← توسعه بارهای رسوبی

در دوره کم آبی و خشکسالی:

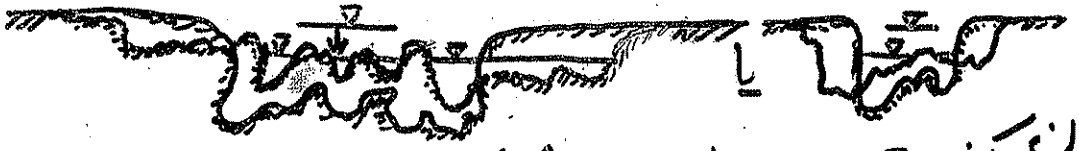
تشکیل جزائر رسوبی (Islands) ← تثبیت بیولوژیکی و سیمانی بارهای رسوبی

تقویت شرایط شریانی شدن ← فرسایش نامنظم عمیق دیواره‌ها (تا چند سال)

در جریان سیلاب بعدی: جابجائی جزائر و بارها (Bank Caving) ← تخریب دیواره‌ها ← تعریض و کم عمق شدن

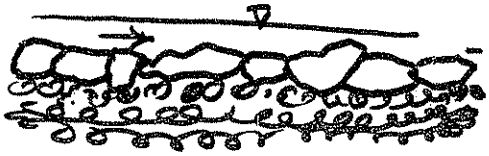
(افت سطح آب + Bank Caving) ← Massive Bank Failure

آللوی نامنظم و ناپایدار در مقاطع عرضی مختلف در طول بازه :



یا

پدیده مقدوش شدن کف بستر (Armoring)



مواد بستر آبرفتی درشت دانه
مواد بار کف، درشت دانه

تحت شرایط جریان دائمی (کم آب تا متوسط) :

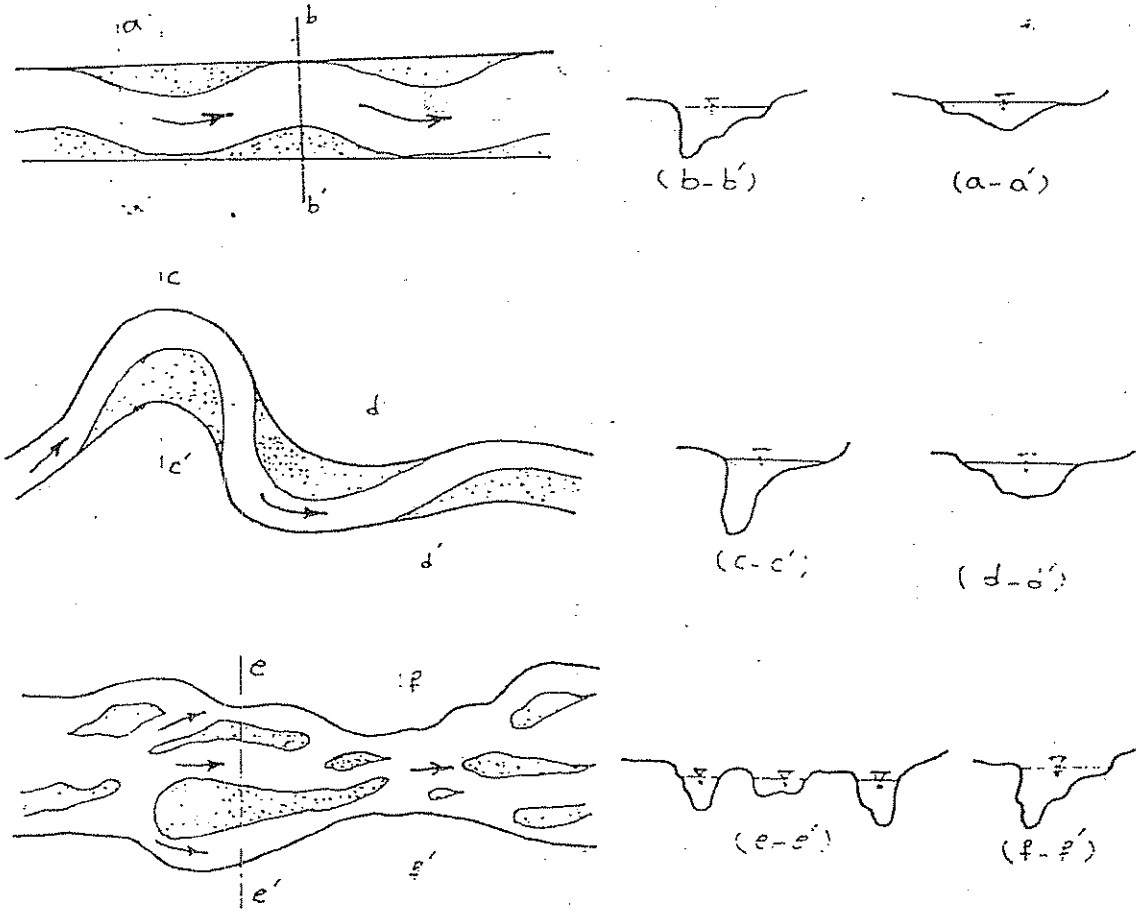
← ذرات ریزتر لایه سطحی بستر در رشته های جریان انتقال می یابند.
← ذرات درشت تر (تلوه شده و...) روی سطح بستر باقی خود می خوابند.
← کف بستر حالت سنگ فرش و تحکیم می یابد.
← لایه سطحی بستر متقاوم به فرسایش می شود.
← کف بستر در رشته های جریان متقاوم تر از دیواره ها می شوند.
← رشته های جریان در کناره ها باعث فرسایش پنجه (غارکنی : Bank Caving) می شوند
← فرسایش تدریجی و دائمی دیواره ها (ریزش مداوم) - با آللوی نامنظم در طول و دوره.

در جریان سیلابی :

← در محدوده اوج گیری سیلاب : ← تمرکز جریان در رشته های موجود.
← حمله نامنظم به دیواره ها
← کف متقاوم تر و دیواره ها بسیار ضعیف
← تخریب و تعریض رودخانه

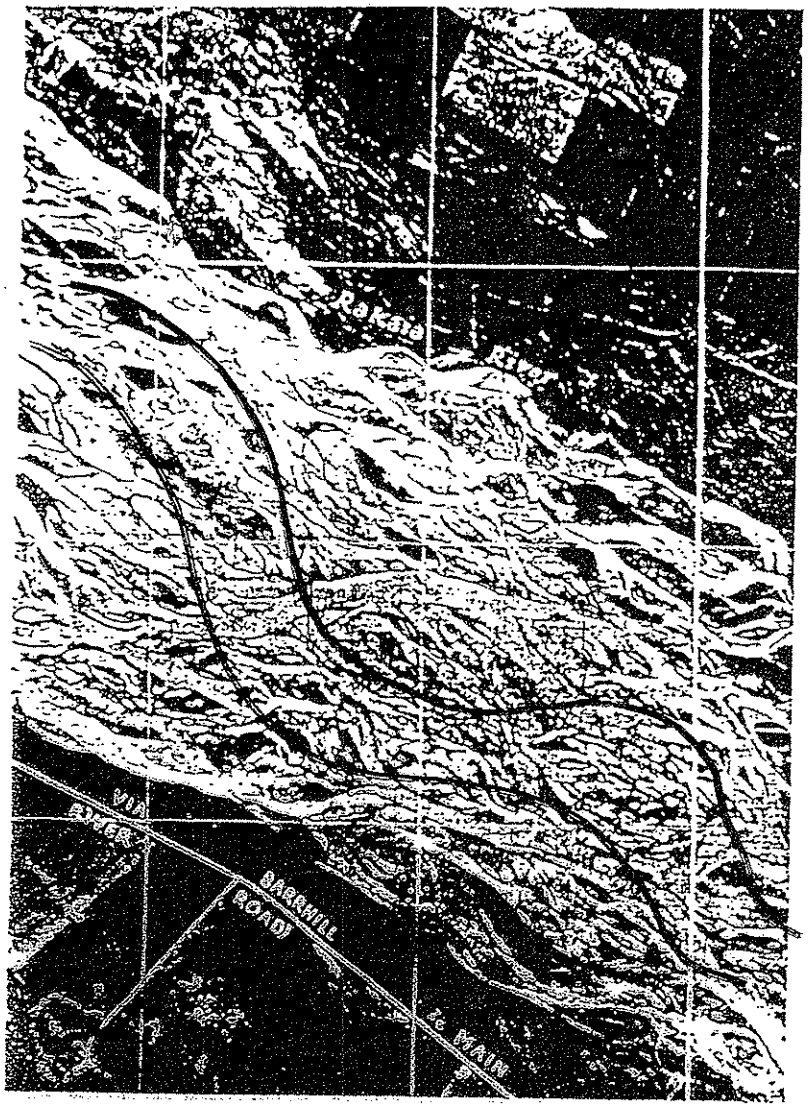
← در اوج سیلاب :
← جابجائی بارهای رسوب ← ناپایداری رشته های جریان
← احتمال فرسایش و جابجائی لایه سطحی مفروش و متقاوم
← لایه زیرسطحی (دانه بندی ریزتر) در معرض جریان
← تغییرات شدید در کف بستر
← کنسولی شدن دیواره ها ← تعریض نامنظم

← در محدوده زمانی افول سیلاب :
← کنسولی شدن دیواره ها
← رسوب گذاری ← تشکیل بارهای رسوبی با دانه بندی ریزتر
← ناپایداری شدید در وضعیت هندسی رودخانه.



شکل (۱) : فرم کلی رودخانه‌های طبیعی : مستقیم ، مارپیچی ، شریانی

(۱۶۹)



(a)

Figure 10-24. *Typical Natural River Channels, (a) Braided, and (b) Meandering*

[Courtesy New Zealand Lands and Survey Dept.]

(b)

Figure 10-24. *(Continued)*

[Courtesy George H. Caddie]

Nixon's is not extremely serious, for in many rivers the six-month and nine-month floods differ by less than 20 percent.

These results are by no means conclusive, and more work is needed to resolve the question. The amount of scatter in the field data suggests that some modification of the statistical approach may be necessary, and indeed there is still no proof that it is even possible to "average" the river flow in the way that has been discussed. The problem offers a tempting field for further investigation.

مکانیزم شریانی شدن رودخانه‌ها (۱) :

پدیده‌شریانی شدن رودخانه‌ها یک حالت شبه‌تعادل بین متغیرهای دبی ، بارکف وشیب میباشد . شریانی‌شدن تمایل رودخانه‌به اتلاف انرژی اضافی ناشی ازپتانسیل دبی - رسوب‌آنست . ازاینرورودخانه‌های شریانی عموما " دربخش بالادست ومیانی حوزه- که‌شیب بیشتر ومسیرنسبتا " مستقیم تربوده‌وبارکف زیادودرشت دانه‌است حضوردارند وبندرت درسیلاب دشتهای عریض باشیب کم وبستر ریزدانه‌دیده میشود مگرتحت شرایط خاصی رودخانه‌ماربپیچی ازطریق میان بری (۲) یا تغییرمسیر (۳) شریانی گردد (شن (۴) ، ۱۹۸۴ وپترسن (۵) ، ۱۹۸۶) .

لاین (۶) (۱۹۵۷) دوعامل برای شریانی شدن ذکرکرده‌است :

۱- بارزسوبی رودخانه‌بیشترازظرفیت حمل وانتقال آن به‌پائین دست میباشد .

۲- شیب زیادکه‌سبب عرض زیاد، عمق کم وحضوربارها وجزایرمیگردد . وقتی بارکف رودخانه‌زیاداست دراثرته‌نشست ، کف بستربالا آمده‌وشیب درپائین دست بیشترمیگردد . باافزایش شیب ، سرعت زیادشده‌وگردش سریع آب دربسترته‌نشینی ، مسیرهای چندرشته‌ای جریان راتوسعه میبخشد . این عوامل سبب ناپایداری نسبی بارها وتغییرموضعی‌خط القعر جریان میگردد که‌تابع زمان وجریان سیلابی خواهدبود .

عامل دیگرشریانی شدن ، فرسایش‌پذیری دیواره‌هاست . مواد درشت دانه‌بارکف سبب میشود تاآبرفت دشت رودخانه‌ازنوع‌درشت دانه وغیرچسبنده بوده‌وقابلیت فرسایش وتخریب داشته‌باشد . ازطرف دیگر لایه‌سطحی بستر (۷) تحت تاثیرتنش برشی دائمی که‌ازسوی جریانهای کم

---

1)- Braiding 2)-cut-off 3)- Avulsion

4)- Shen 5)-Petersen 6)-Lane

7)- Surface layer

ومتوسط آب اعمال میشودذرات ریزتر را ازدست داده وباقلوه سنگ وتخته‌سنگ تحکیم‌ومفروش[1] میگرددوازاین طریق پوشش‌محافظی برای لایه زیرسطحی بستر[2] که‌دانه‌بندی یکنواخت ترودرشت‌دانه‌تری دارد ـ ایجاد میکنند ـ شکل (۹) این پدیده‌را نشان میدهد (روبرت اتما[3] ـ ۱۹۸۴). درصورتیکه‌دیواره‌های رودخانه‌نظیرلایه‌زیرسطحی بستر تحت شرایط تخکیم‌طبیعی مقاومت کمتری دارند. بهمین دلیل علاوه برفرسایش معمولی ، لایه‌های زیرین دیواره‌بصورت تدریجی ودرشرایط دائمی جریان دچار فرسایش بصورت غارکنی[4] گردیده‌وسبب میشود تا دردبی های زیاد وشرایط سیلابی لایه‌های فوقانی نیزبطورثقلی تخریب وریزش نمایند. بدین ترتیب رودخانه عریض ونسبت عرض به عمق بشدت افزایش میابد (هی[5] ، ۱۹۸۲ وشن[6] ، ۱۹۸۴) .

منابع‌تولیدرسوب خارجی وداخلی دربازه‌رودخانه‌شریانی سبب ایجادبارهای رسوبی[7] درمیانه‌بستر بلافاصله‌بعدازوقوع‌ماکزیمم‌سیلاب گردیده‌وبتدریج ارتفاع آن نیزافزوده‌میشود. بارها دراثرسیلابها حرکت وجابجائی داشته‌وگاهی نیزباگذشت زمان وازطریق رشدپوشش گیاهی برروی آن بصورت جزایر دائمی[8] تشبیت میگردند. جزایررسوبی گاه کاملا" ازآب بیرون هستند وگاه‌درمواقع سیلابی زیرآب میروند. (کلرهال وهمکاران[9] ،۱۹۷۶).

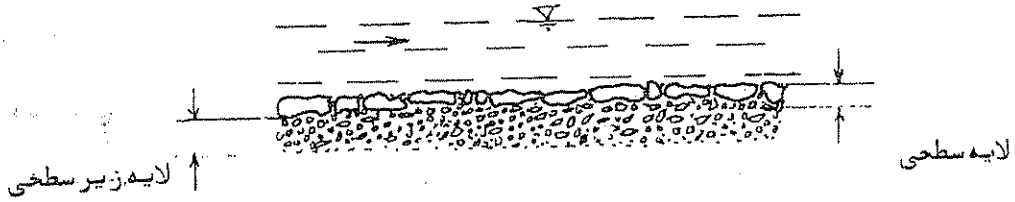
رودخانه‌های شریانی عموما" وضعیت ناپایدارداشته‌وراستای جریان موقعیت بارها وجزایر و عرض رودخانه‌بسرعت درمعرض تغییر میباشد. ازاینروپیش بینی عکس العمل آنها نیزبسیارپیچیده میباشد.

---

1)- Armoring or paving
2)- sub-surface layer
3)- Robert Ettema
4)- Bank Caving
5)-Hey
6)- Shen
7)- Bar
8)-Island
9)- Kellerhals,et.al.

(شن[1]، ۱۹۸۴) . برداشت مصالح شنی از رودخانه[2] میتواند تاثیرات مثبت یا منفی روی پایداری داشته باشد. برداشت بی‌رویه موضعی شن و ماسه میتواند باعث ایجاد آبشار طبیعی شود که در حین وقوع سیلاب سبب کف کنی در بالادست و رسوب گذاری در پائین دست گردد. گاهی نیز منجر به تغییر راستای جریان میگردد. ولی برداشت صحیح مصالح از رودخانه‌های شریانی سبب هموار شدن بستر و بهبود راستای جریان میگردد (شن، ۱۹۸۴).

احداث تاسیسات آبی، کانال، راه و... در نزدیکی ساحل رودخانه‌های شریانی از اطمینان کافی برخوردار نبوده و ریسک پذیر میباشد. در این رودخانه‌ها آبگیری نیز با مشکل همراه است زیرا موقعیت خط القعرهای جریان بستگی به شرایط دبی جریان داشته و محل سراب و دهانه آبگیر در طول سال با افت و خیز سطح آب در تغییر میباشد و معمولا" با حضور متناوب جزائر رسوبی ماسه و شنی مسدود میگردد (سیمونز[3] ۱۹۷۱).

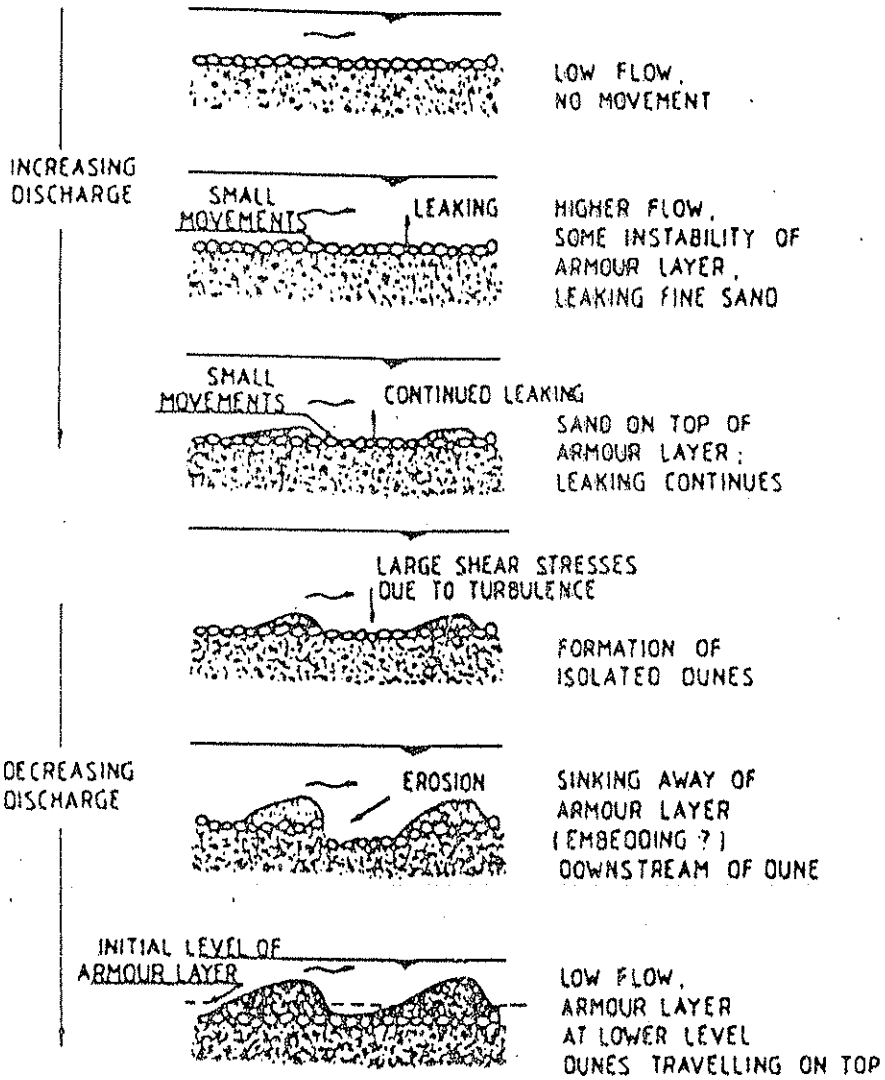


(شکل ۹) : پدیده تحکیم و مفروش شدن کف بستر

---

1)- Shen
2)- Gravel Mining
3)- Simons

(۱۷۴)



(Armor layer) نمایش روند تغییرات در لایه سطحی بستر

در

جریان یک سیل

در رودخانه شریانی (Braided River) :

← شرایط ناپایداری بر رودخانه غالب است .
← تغییرات رودخانه بصورت تابعی از "جریان آب و رسوب" نامعین و ناپیوسته است .
← عکس العمل رودخانه نسبت به سیلاب های مختلف یا اقدامات مصنوعی قابل پیش بینی نیست
← هر دو سمت رودخانه با الگوی نامنظمی ممکن است در معرض تخریب قرار گیرند .
← در شرایط کم آبی ، الگوی رشته - رشته ای نامنظم و ناپیوسته ؛ در شرایط سیلاب آبراهه ، بشکل مستقیم
← مقطع رودخانه ، یک مقطع است قابل تفکیک به مقطع اصلی و مقطع کمکی سیلابی است .
← مقطع مؤثر معادل مقطع کمکی رودخانه است . (معادل ظرفیت سیلابی موجود (نسبت به عمق بسیار زیاد است و تابع معنی داری از میزان جریان نیست) .
← اقدامات رودخانه ای خطرناک است !

- بدون بهسازی بستر - در طول بازه زیاد کم
- " اصلاح هندسی بستر - " " "
- " حفاظت و تثبیت دو سمت رودخانه

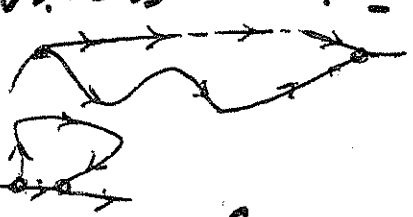
← عکس العمل رودخانه ممکن است خطرناک تر شود .

ظهور رودخانه شریانی یا پدیده شریانی شدن :

در بازه های بالادست رودخانه :
← در محدوده ورودی رودخانه از دره ها به دشت آبرفتی
← در دشت های آبرفتی (با شیب زیاد و بستر درشت دانه)

در بالادست مخزن سدها :
← در اثر رسوب گذاری و تشکیل دلتاها (بازه رسوبی درشت دانه) .

در سیلاب دشت ها (دشت آبرفتی با شیب کم ...) :
← در صورت انحراف مسیر رودخانه (افزایش شیب و کوتاه شدن آن)
← در صورت میان بُری میچ ها (طبیعی یا مصنوعی)
- در بازه پائین دست میچ



نکته مهم : - بازه رودخانه های شریانی (ناپایدار) ، روابط تعادلی و مرتبه ندارند !!
- با افزایش دبی (S ، ...) ...

" پیش بینـــی عکس العمل رودخانه‌هـا "

دربررسی مسائل رودخانه‌ای دوبخش حائز اهمیت است :

الف : تشخیص نوع مرفولوژی وهندسه‌هیدرولیکی رودخانه‌دروضعیت موجودآن .

ب : پیش بینی پتانسیل تغییررودخانه[1] درجهت حصول به‌تعادل وموازنه‌جدید .

برای‌نیل به‌اهداف فوق لازمست که‌اثرتغییریک یا چندمتغیررا روی سیستم رودخانه بررسی نموده وپاسخ رودخانه‌به‌تغییرات احتمالی‌ درراستا ومسیر، جابجائی عرضی والگوی رودخانه‌ای راپیش بینی نمود (سیمون وشن تورک[2] ، ۱۹۷۷ وچانگ[3] ،۱۹۸۶) .

بررسی های مرفولوژیکی وهیدرولیکی دراستخراج‌معادلات رژیم[4] وروشهای مختلف‌کیفی وکمی درپیش بینی عکس العمل رودخانه‌ها ،عموما " برای‌شرایطی که‌رودخانه‌دربسترآبرفتی بصورت آزاد ودرحالت تعادل جریان دارد، انجام‌شده‌است . ازاینروتوانسته‌اند رابطه‌متغیرهای مستقل با متغیرهای وابسته‌رابدست آورند . بهمین دلیل مطالعه رودخانه‌هائی که‌بواسطه شرایط خاص زمین شناسی وتوپوگرافی با آزادی عمل نمیکنند نیازمندبررسی های خاص موضعی‌میباشد[5] (بری،۱۹۸۲) علاوه برآن خصوصیات رودخانه‌ها عموما " دریک فاصله‌کوتاه بواسطه ورودشاخه‌های فرعی[6] یا اقدامات انسان - درتغییررژیم‌دبی وربوب میتواند تغییرکند . لذا مطالعه‌رودخانه‌باید‌دربازه‌های مختلف ویا مجموعه بازه‌های مشابه بطورجداگانه‌انجام‌پذیرد (شوم[7] ، ۱۹۸۴) .

---

1)- River Response to change
2)-Simons and Senturk
3)- Chang
4)- Regime Equations
5)- Bray
6)- Tributaries
7)-Schumm

ارزیابی رفتار رودخانه (River Behavior)
" تغییرات " (" Changes)
" عکس العمل " به تغییرات (River Response To Changes)

ص ۱۲۷-۱۳۷ مطالب + ضمائم

① متغیرهای کنترل در ارزیابی مرفولوژیکی :

متغیرهای مستقل :
۱- شدت جریان آب (Q_w) : جریان غالب (دبی متوسط پر) - در رودخانه ماریچی و سیلاب کنترل
یا جریان سیل مورد نظر - در رودخانه مستقیم، شریانی یا متقاطع شده
۲- بار رسوبی (بارکف) : Q_s
۳- مشخص اندازه مواد بستری یا مواد بارکف (D_s)
(و یا غلظت مواد بار رسوبی کف : C_b).

متغیرهای وابسته :
۱- شیب متوسط بازه (S) و یا ضریب ماریچی (λ)، داخل ماریچی
۲- عرض متوسط بازه متقاطع (B یا W) و یا نسبت عرض به عمق ($\frac{B}{d}$)
۳- عمق متوسط متقاطع در بازه (d)

$\left\{ \begin{matrix} Q_w \\ Q_s \\ D_s \end{matrix} \right\}$ ⟺ (توازن دینامیکی) $\left\{ \begin{matrix} S \text{ یا } \lambda \\ B \\ d \end{matrix} \right\}$

(۲) روش‌های ارزیابی مرفولوژیکی

۲-۱) روش‌های کیفی (Qualitative Methods)

: ارزیابی کیفی رابطه تعادل دینامیکی بین متغیرهای وابسته و مستقل.
بررسی کیفی احتمال تغییرات در شکل و فرم اورخانه و ابعاد هندسه هیدرولیکی.

→ Lane (1955) : $(Q.S) \propto (Q_s \cdot D_{50})$

→ Li and Simons (1982): $(Q.S) \propto (Q_s \cdot \frac{D_{50}}{C_f})$

← برای اورخانه‌های کوهستانی - با مواد بستری درشت دانه

D_{50} = اندازه متوسط مواد بارکف ؛ C_f = فاکتور بار رسوبی کف (درجات تعادل)

→ Schumm (1969, 1984) : روابط شماره (۲۵ تا ۲۸) - ص ۱۳۲
و Table (2) از منبع Fisher (1992).

→ Schumm (1984) :
تعاریف کیفی تغییر متغیرها بر روی فرم و تغییرات اورخانه‌ای (شکل ضمیمه)

→ Li and Simons (1982) :
تعاریف کیفی:
برای اورخانه بستر ماسه‌ای: (جدول ضمیمه ۱)
" " بستر شنی و ماسه شنی: (جدول ضمیمه ۲)

→ Fisher (1992) :
در رودخانه‌های با شیب زیاد و بارکف زیاد (Upland Rivers) - سنگی، شریانی: عکس‌العمل اورخانه به تغییرات سریع‌تر
" " " کم و " کم (Lowland) - سیلابی رشته: " " " تدریجی و آهسته‌تر.

۲-۲) روش فرضیه رژیم (Regime Theory)

فرضیه: اورخانه در یک بستر آبرفتی و آزاد (بدون کنترل‌های طبیعی یا مصنوعی)، شرایط تعادل پایدار دینامیکی بین متغیرهای مستقل و وابسته برقرار می‌کند.

روابط رژیم: - معادلات تجربی
- " فرضیه تجربی (تحلیلی - تجربی)

برای رودخانه‌هائی که
- تحت کنترل (طبیعی یا مصنوعی) قرار دارند
- در محدوده تقاطع با آبراهه‌های جانبی هستند
- در محدوده اقدامات موضعی (پل، ...) هستند
- در محدوده Fan ها، Delta ها

← بررسی خاص و محلی لازم است. معادلات رژیم کاربرد ندارند. (Blay, 1982)

۲-۲-۱) روابط رژیم - تجربی

⇐ برای رودخانه‌های آبرفتی و آزاد، با بستر ماسه‌ای، شنی یا درشت‌تر و با مقطع اصلی - در حالت "جریان غالب (متعارف)":

⇐ جهت هندسه هیدرولیکی پایدار بازه رودخانه:

→ Kennedy (1895)
→ Lacey (1929) } : برای بستر ماسه‌ای - در کانال‌های هندوستان

→ Blench (1966) : در هندوستان: → Simons and Albertson (1966) هندوستان، آریزونا، کلرادو

→ Blay (1982) : برای بستر شنی - در کانادا

→ Hey (1982) : برای بستر شنی و تلوه سنگی ($21^{mm} < D_{50} < 190^{mm}$) - کانادا

→ Schumm (1984) : برای بستر شنی و ماسه‌ای - مناطق نیمه مرطوب تا نیمه خشک - آمریکا

⇐ روابط تجربی تشخیص فرم رودخانه‌ای (مستقیم، مارپیچ، شریانی):

→ Lane (1955) : برای بستر ماسه‌ای

$$\begin{cases} SQ^{1/4} \leq 0.0017 & \Rightarrow \text{مارپیچی} \\ SQ^{1/4} \geq 0.010 & \Rightarrow \text{شریانی} \end{cases}$$

دبی آبگیر (cfs)

→ Henderson (1966) برای بستر شنی و درشت دانه‌تر

$$\begin{cases} S < S_c & \Rightarrow \text{مارپیچی - مستقیم} \\ S \gg S_c & \Rightarrow \text{شریانی} \end{cases} \quad , \quad S_c = 0.64\, Q^{-0.44} D_{50}^{1.14}$$

دبی آبگیر (cfs)

Fredsoe (1978)

$$\begin{cases} B/d < 8 & \Rightarrow \text{مستقیم} \\ 15 < B/d < 40 & \Rightarrow \text{مارپیچی} \\ B/d > 60 & \Rightarrow \text{شریانی} \end{cases}$$

بهرحال کاربردروابط تجربی فوق بدلیل محدودیت اطلاعات وتنوع تاثیر متغیرهای مستقل ، برای رودخانه‌های مختلف وشرایط متفاوت ازنظرکمی نتایج قابل اعتمادی نخواهدداشت .

روشهای کیفی :

روش ژئومرفولوژیکی دربررسی وشناخت وضعیت رودخانه‌ها گرچه یک روش کیفی بوده‌وامکان برآوردمقادیرکمی تغییرات را نمیدهد ، ولی چون براساس تعادل وتوازن بین "انرژی پتانسیل رودخانه"[1] با بارررسوبی آن استوار است لذا بسهولت میتواندوضعیت موجودرودخانه وپتانسیل تغییرات احتمالی آنرا پیش بینی نموده‌ومعیاری جهت کنترل بررسی های کمی باشد (لی وسیمون[2] ، ۱۹۸۲) .

لاین[3] (۱۹۵۵) رابطه‌کیفی میان متغیرهای اصلی مانندبی (Q) بارکف(Q_s) شیب (S) وشاخص اندازه‌موادبستری (D_{50}) رابصورت زیر بیان نمود :

$$Q_s D_{50} \simeq QS \qquad (۲۰)$$

براین اساس رودخانه‌وقتی درحالت تعادل پایدار باقی‌میماندکه میان تغییرات بارررسوبی واندازه‌رسوبات بادبی وشیب موازنه‌برقرار باشد. شوم[4] (۱۹۸۴) با استفاده‌ازرابطه فوق ، تاثیرتغییرات دبی وبارررسوبی کف را روی هندسه‌هیدرولیکی رودخانه‌بصورت جزئی تر ،مشخص نموده‌که‌درزیرخلاصه‌شده‌است .

$$Q^+ \simeq b^+, d^+, \lambda^+, S^- \qquad (۲۱)$$

$$Q^- \simeq b^-, d^-, \lambda^-, S^+ \qquad (۲۲)$$

$$Q_s^+ \simeq b^+, d^-, \lambda^+, S^+, P^- \qquad (۲۳)$$

$$Q_s^- \simeq b^-, d^+, \lambda^-, S^-, P^+ \qquad (۲۴)$$

---

1)- Stream Power
2)- Li and Simons
3)- Lane
4)- Schumm

که در آن b و d عرض و عمق بوده و P و λ بترتیب ضریب مارپیچی وطول موج مارپیچ میباشد. نمای مثبت (+) یا منفی (-) بترتیب جهت افزایش یا کاهش متغیرها را نشان میدهد.

افزایش یا کاهش دبی (Q) میتواند در اثر ورود شاخه‌های فرعی و یا انحراف آب از رودخانه باشد. و افزایش بارکف Q_s در نتیجه از دیاد فرسایش حوزه - در اثر تخریب جنگل ها و مراتع، افزایش سطح کشت، تغییرات اقلیمی و ... - و کاهش آن در نتیجه برنامه‌های حفاظت آب و خاک و بهبود وضعیت اراضی میباشد. تغییر در میزان بارکف نه تنها ابعاد هندسی رودخانه بلکه شیب (S)، فاکتور شکل (F=b/d) و ضریب مارپیچی P را نیز تغییر خواهد داد.

در طبیعت بندرت تغییر Q یا Q_s بتنهائی صورت میپذیرد. بطور کلی هر تغییر در دبی سبب تغییر در بار رسوبی شده و میزان نسبی بارکف و بار معلق را تغییر خواهد داد. در این صورت از ترکیب معادلات (۲۰) تا (۲۳) چهار حالت زیر را میتوان متصور نمود:

$$Q^+, Q_s^- \simeq b^+, d^{\pm}, \lambda^+, S^{\pm}, P^-, F^+ \qquad (۲۵)$$

$$Q^-, Q_s^- \simeq b^-, d^{\pm}, \lambda^-, S^{\pm}, P^+, F^- \qquad (۲۶)$$

$$Q^+, Q_s^- \simeq b^{\pm}, d^+, \lambda^{\pm}, S^-, P^+, F^- \qquad (۲۷)$$

$$Q^-, Q_s^+ \simeq b^{\pm}, d^-, \lambda^{\pm}, S^+, P^-, F^+ \qquad (۲۸)$$

لی و سیمون[1] (۱۹۸۲) با مطالعه روی رودخانه‌های کوهستانی[2] با مواد بستری درشت دانه، رابطه لین[3] را بصورت زیر اصلاح و پیشنهاد نمود:

$$Q \cdot S \simeq Q_s \frac{D_{50}}{C_f} \qquad (۲۹)$$

که در آن D_{50} اندازه متوسط آزاد مواد بارکف[4] و C_f غلظت نهائی بار سقوط رسوبی میباشد. این معادله مشابه معادله (۲۰) است با این تفاوت که

---

1)- Li and Simons
2)-Mountain Rivers
3)- Lane
4)-Fall Diameter of Bed Material

بجای فاکتور" متوسط اندازه مواد بستری " ، عامل نسبی $(\frac{D_{50}}{C_f})$ بکار گرفته شده است .

لی وسیمون[1] (۱۹۸۲) با تفکیک رودخانه‌های بستر ریزدانه و ماسه‌ای[2] از رودخانه‌های بسترشنی وقلوه‌سنگ[3] ،تغییرات احتمالی را بصورت جداول (۱و۲) ضمیمه نشان میدهد .

شوم[4] (۱۹۸۴) نیز براساس ارزیابی وپایداری نسبی رودخانه‌های بستر ماسه‌ای ،انواع فرم رودخانه‌ها وتمایل تغییرات احتمالی آنها را نشان داده است .

روشهای کمی :

چانگ[5] (۱۹۸۵) الگو وهندسه هیدرولیکی رودخانه‌های بستر ریزدانه وماسه‌ای را با کاربرد روش انرژی بطور کمی موردبررسی قرار داد .در این روش انرژی مصرف شده درطول بازه رودخانه با عوامل نظیر دبی، بار رسوبی ،مقاومت جریان وابعاد هندسی ربط داده شده است .تعادل وتنظیم رودخانه متناسب با انرژی مستهلک شده درآن ، سبب تشخیص وتفکیک خصوصیات مرفولوژیکی میگردد . دراین روش رودخانه‌ها برحسب میزان دبی مقطع پر (Q) وشیب (S) واندازه متوسط مواد بستری (d) به چهار گروه مشخص تفکیک شده وابعاد هندسی آن نظیر عرض (B) وعمق (D) معلوم میگردد . دراین تحلیل ، شرایط مرزی برای تفکیک الگوهای چهارگانه فوق بصورت روابطی مشخص گردیده ونحوه تاثیر متغیرهای مختلف روی تغییر عوامل دیگر ویا تغییر الگوی آن قابل پیش بینی وبرآورد کمی میباشد .

---

1)- Li and Simons 2)- Sand-Bed

3)- Gravel and Cobble-Bed 4)- Schumm 5)-Chang

(۱۸۵) ۹ ارزیابی تاثیرات کیفی در تغییرات رودخانه‌ای

Changes in the processes operating within a river channel could occur in response to alterations of water and sediment discharge. Predictions of the types of qualitative impact which induce channel changes are shown below in Table (2) as given by Schumm (1969).

With the increase in urban development, the removal of trees and vegetation together with increased run-off due to the construction of impermeable surfaces: pavements, roads, houses, causes increases in peak flows during floods. The channel responds to the increase in discharge and decrease in sediment by eroding the bed and banks. downstream

Table 2 Qualitative impact of channel changes

Parameters	Examples of change
$+\frac{\delta Q_s}{\delta t}\ \frac{+\delta Q_w}{\delta t} \Rightarrow \frac{-\delta S}{\delta t}\ \frac{\delta d_{50}}{\delta x}\ \frac{\delta D}{\delta x}\ \frac{\delta W}{\delta x}$	Long term effect of urbanisation. Increased frequency and magnitude of discharge. Channel erosion (increasing width and depth)
$\frac{-\delta Q_s}{\delta t}\ \frac{\delta Q_w}{\delta t} \Rightarrow \frac{-\delta S}{\delta t}\ \frac{\delta d_{50}}{\delta x}\ \frac{\delta D}{\delta x}\ \frac{-\delta W}{\delta x}$	Intensification of vegetation cover through afforestation and improved land management reduces sediment load (Diversion of water to a river)
$\frac{-\delta Q_s}{\delta t}\ \frac{-\delta Q_w}{\delta t} \Rightarrow \frac{-\delta S}{\delta t}\ \frac{\delta d_{50}}{\delta x}\ \frac{\delta D}{\delta x}\ \frac{\pm\delta W}{\delta x}$	Intensification of vegetation cover through afforestation and improved land management reduces sediment load
$\frac{-\delta Q_w}{\delta t} \Rightarrow \frac{\delta S}{\delta t}\ \frac{-\delta d_{50}}{\delta x}\ \frac{-\delta D}{\delta x}\ \frac{-\delta W}{\delta x}$	Extraction of water from river resulting in narrower stream

8 River improvement works

The improvement works which are used for flood alleviation or protection can be grouped under four main titles:

- enlarging the river channel to accept peak flood discharges;
- the construction of flood walls and embankments to confine the flood waters
- the construction of a relief or by-pass channel only used during times of flood, to remove a part of the flood flow from the river to by-pass areas which might otherwise be flooded
- flood-storage reservoirs, used for the temporary storage of flood waters and discharging them at a later date when the risk of flooding has passed.

All four methods have advantages and disadvantages and can have an effect on the river morphology which will be described below.

جدول (۱) ضمیمه : شرح کیفی عکس‌العمل رودخانه‌های با مواد بستری ماسه ای ـ لی وسیمون (۱۹۸۲)

متغیر	تغییردر مقدار متغیر	فرم رودخانه	مقاومت جریان	سرعت	ارتفاع سطح آب	مطح مقطع	تاثیر روی بابداری
دبی	+	مارپیچی ـ شریانی	±	+	+	+	−
	−	شریانی ـ مارپیچی	+	−	−	−	+
	+	مارپیچی ـ شریانی	+	−	+	+	±
اندازه مواد بستری	−	شریانی ـ مارپیچی	−	+	−	−	±
	+	شریانی ـ مارپیچی	−	+	−	−	+
بارروبی کف	−	مارپیچی ـ شریانی	+	−	+	+	−
	+	نامشخص	−	+	−	−	±
بارروبی معلق	−	نامشخص	+	−	+	+	+
	+	شریانی ـ مارپیچی	+	−	+	+	+
پوشش گیاهی	−	مارپیچی ـ شریانی	−	+	−	−	−

علامت (+) نشانگر افزایش و علامت (−) نشانگر کاهش در معرف‌ها می باشد .

جدول (۲) ضمیمه : شرح کیفی عکس العمل رودخانه‌های با مواد بستری شن و قلوه سنگ ـ لی وسمون(۱۹۸۲)

متغیر	تغییر در مقدار متغیر	نرم رودخانه	مقاومت جریان	سرعت	ارتفاع سطح آب	سطح مقطع	ناتنر روی بابداری
دبی	+	ثریانی	−	+	+	+	−
	−	ماربیچی	+	−	−	−	+
	+	ماربیچی	+	−	+	+	+
اندازه مواد بستری	−	ثریانی	−	+	−	−	−
	+	ثریانی	−	+	±	−	−
باررسوبی کف	−	ماربیچی	+	−	+	+	+
	+	ثریانی	−	+	−	−	+
باررسوبی معلق	−	ماربیچی	+	−	+	+	−
	+	ماربیچی	+	−	+	+	+
پوشش گیاهی	−	ثریانی	−	+	−	−	−

علامت (+) نشانگر افزایش و علامت (−) نشانگر کاهش در معرف ها می باشد.

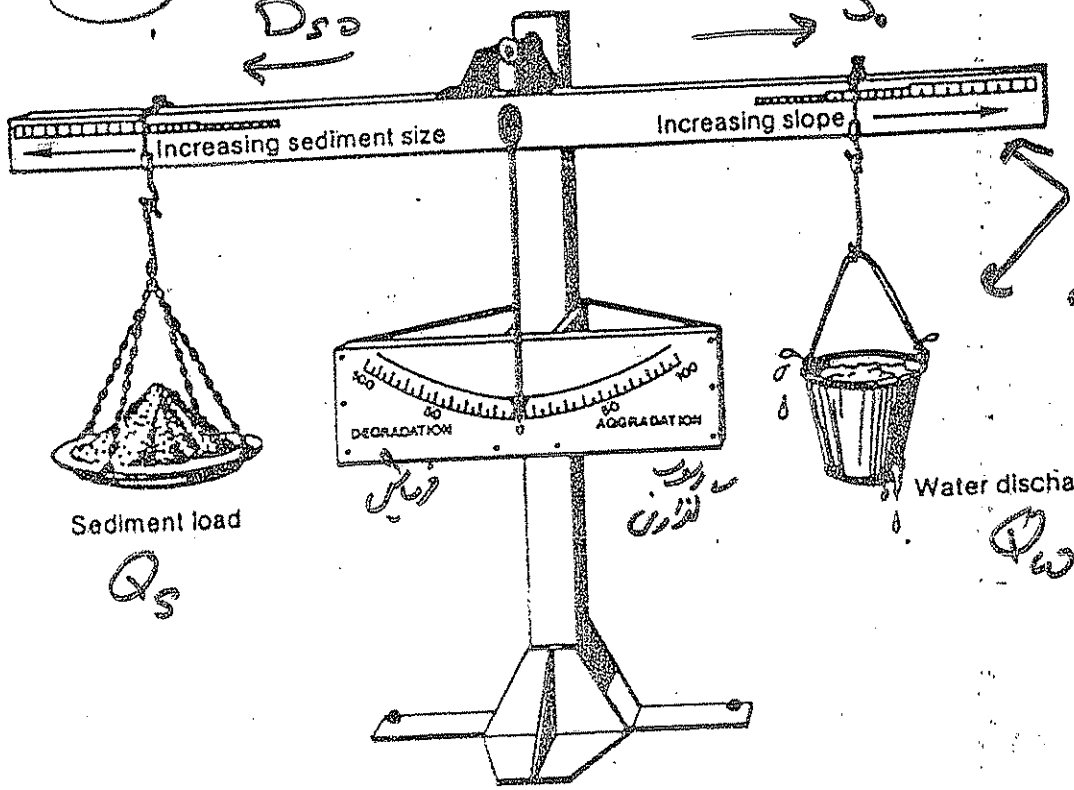


Figure 1: Stable Channel Balance (1)

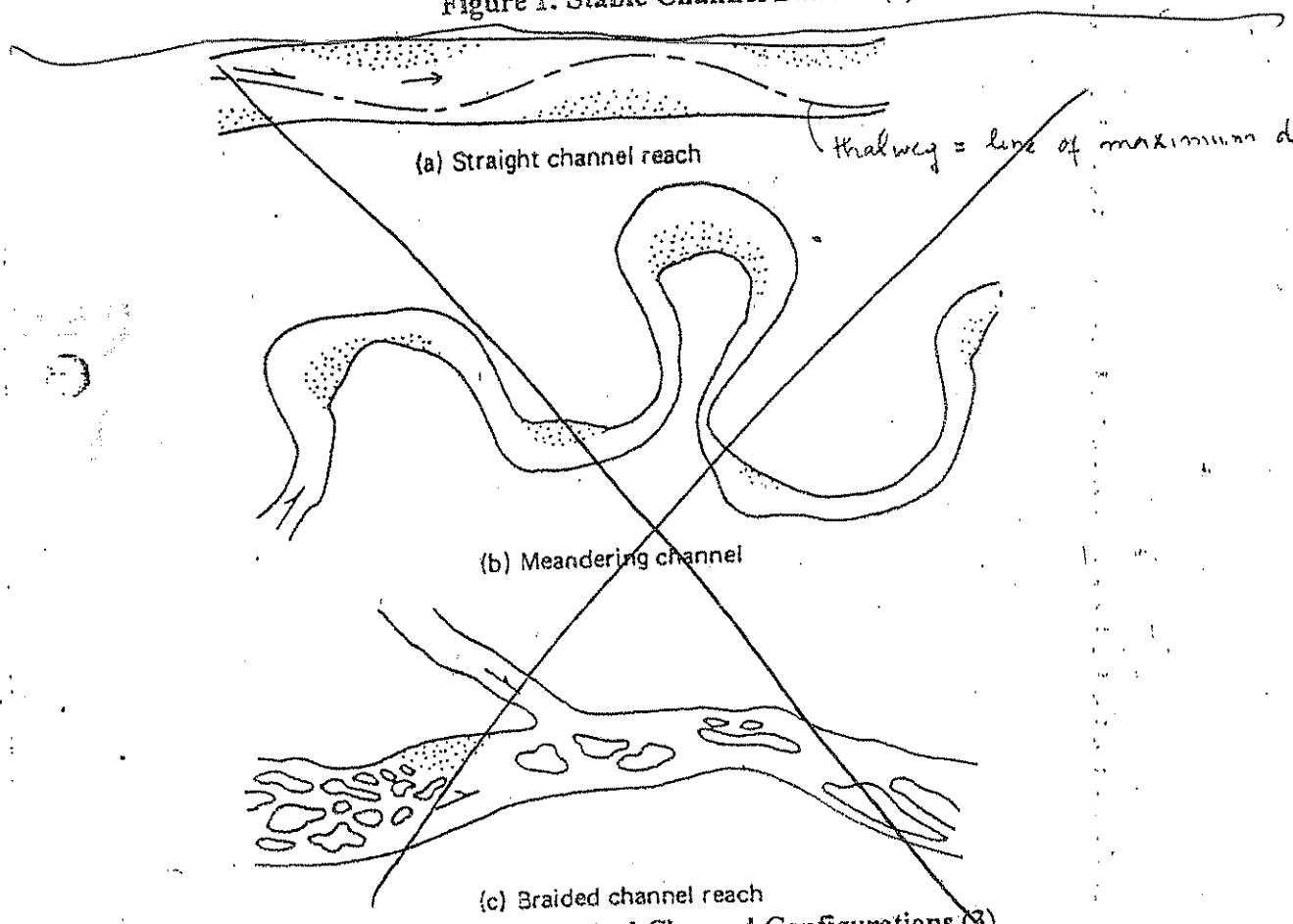
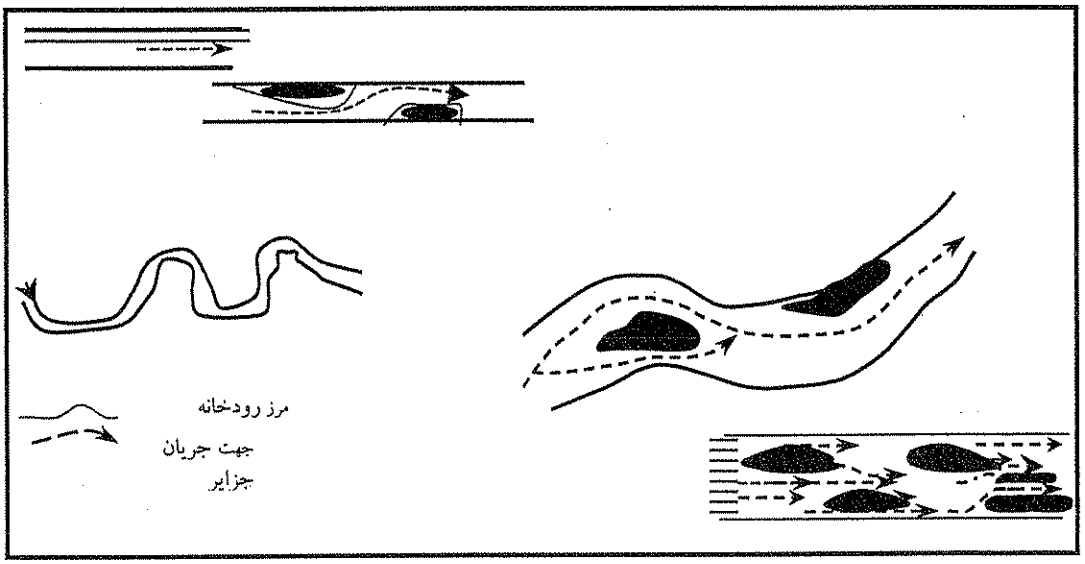


Figure 2: Typical Channel Configurations (3)

درشت‌دانه ← **رودخانه‌ها** → ریزدانه



کم	پایداری نسبی	زیاد
زیاد	نسبت باربستر به بارکل	کم
بزرگ	اندازه مواد رسوبی	کوچک
زیاد	بارِرسوبی	کم
زیاد	سرعت جریان	کم
زیاد	شیب	کم
زیاد	قدرت جریان	کم
زیاد	نسبت عرض به عمق	کم

شکل (۱-۱): مقایسه کیفی رودخانه‌های با مواد بستری درشت‌دانه و ریزدانه

Schumm (1984)

(۱۹۱)

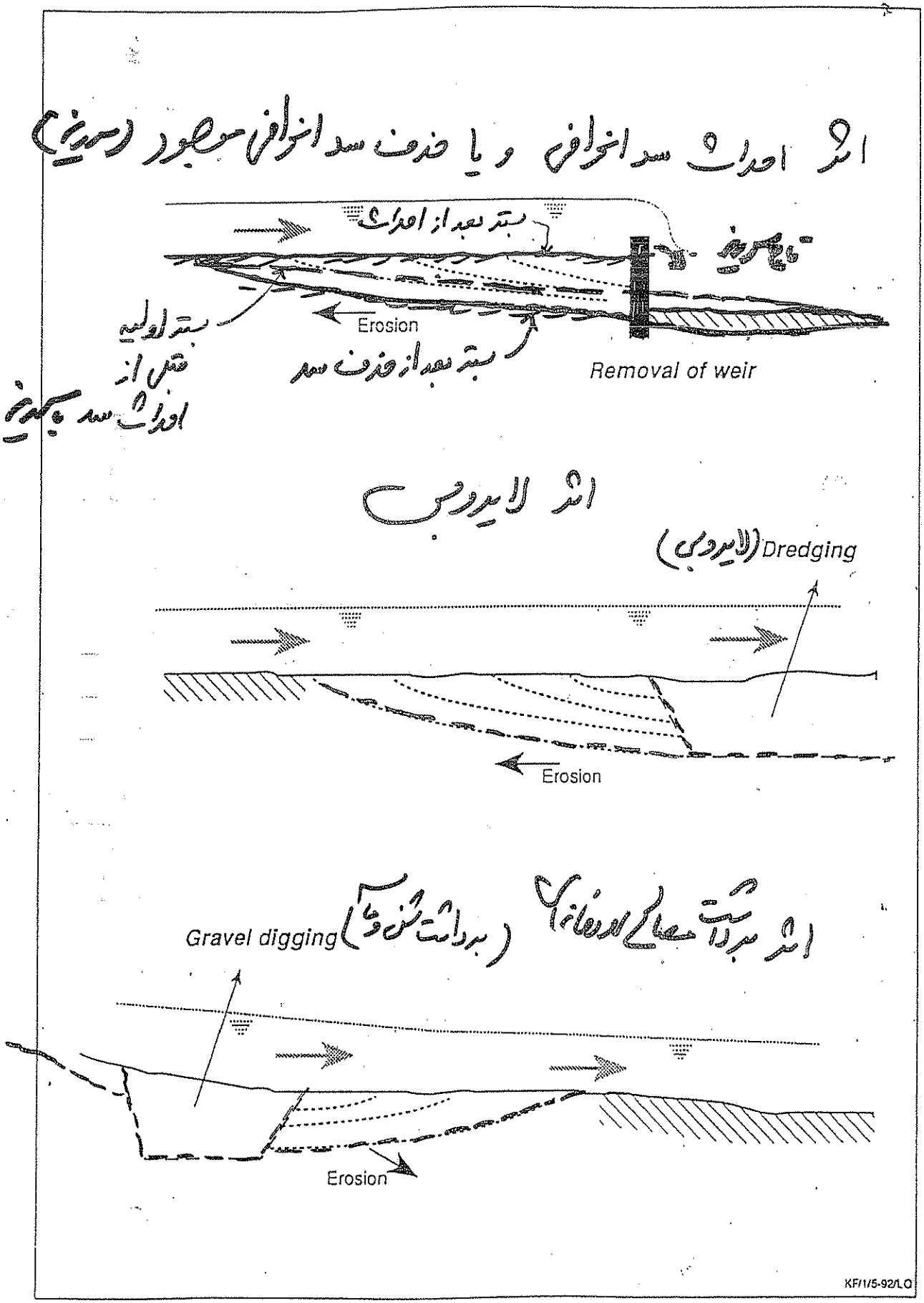


Figure 1 Changes in bed level

صـ ۲۰۰

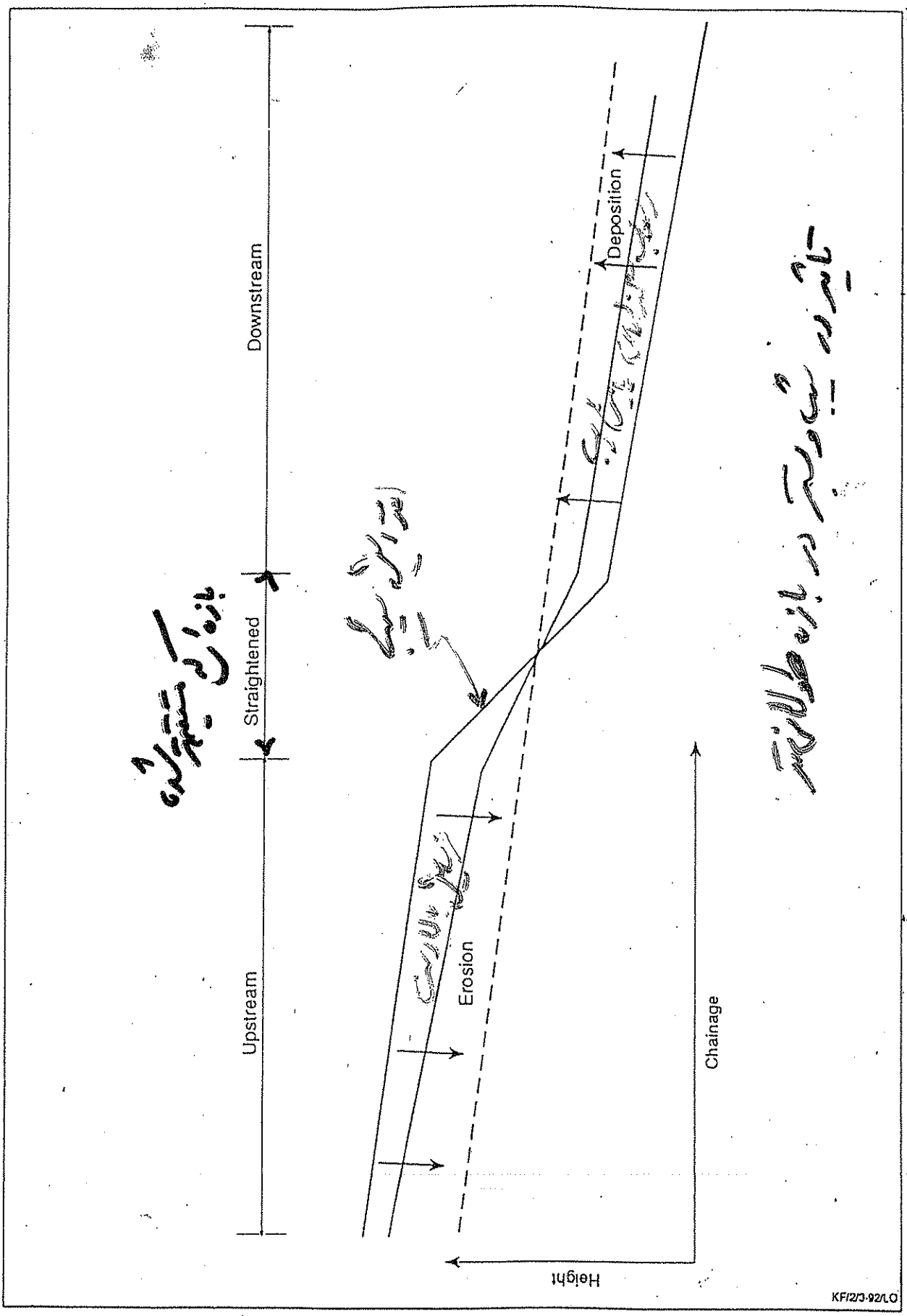


Figure 2 Degradation in straightened channels

معـــادلات رژیـــم :

بسیاری ازمحققین برای شرایط پایداررودخانه ، عامل دبـــی رابعنوان مهمترین متغیرمستقل برگزیده ورابطه آنرا با متغیرهـــای وابسته نظیرعمق ، عرض ، سرعت ، طول موج مارپیچ و ... بصورت تجربی ارائه نموده اند. دراین روابط متغیرهای وابسته بصورت تابع نمائـــی ساده ای از " دبی مقطع پر" بدست میآیند.(بری (۱)، ۱۹۸۲ وچانگ (۲)، ۱۹۸۶). شوم (۱۹۸۴) علاوه بردبی ، عامل باررسوبی کف واندازه موادبستـــری راتعیین کننده ترمیداند. بری (۱۹۸۲) براساس مطالعه روی ۱۴ بـــازه ازرودخانه های بسترشنی (۳) ـ درکانادا ـ معادلات همبستگی زیررا بدســت آورده است :

$$W=2.38\ Q_2^{0.527} \qquad (۴)$$

$$d=0.266\ Q_2^{0.333} \qquad (۵)$$

$$W=2.08\ Q_2^{0.528}\ D_{50}^{-0.07} \qquad (۶)$$

$$d=0.256\ Q_2^{0.331}\ D_{50}^{-0.025} \qquad (۷)$$

$$F= P\ Q_2^{0.20} \qquad (۸)$$

که دراین روابط Q_2 دبی سیل ماکزیمم دوساله (فوت مکعب درثانیـــه) و D_{50} اندازه متوسط موادبستری (فوت) w و d بترتیب عرض وعمـــــق مقطع پر (فوت) و F فاکتورشکل (نسبت عرض به عمق: w/d) و P ضریبی است که شدت مارپیچی را نشان میدهـــد .

درمعادله (۸) فاکتورشکل F درواقع تابعی ازنوع موادبستـــری یا بارکف میباشدبطوریکه مقدارآن درروخانه های با موادچسبنده ودرشت دانه بیشتراست .همچنین ضریب P نیزبستگی مستقیم به موادبستـــــر

---

1)- Bray 2)- Chang 3)-Gravel-Bed

ودیواره‌ها دارد بطوریکه در بستر ریزدانه، مارپیچ رودخانه توسعه بیشتری خواهد داشت. مقادیر P درجدول زیر پیشنهاد شده است.

P	نوع مواد دیواره‌ها
۶/۹۳	رس ولای
۷/۴۳	لایه زیرین لای ولایه فوقانی شنی
۹/۸۳	ماسه وشن (کوچکتر از ۶۴ میلیمتر)
۹/۴۵	ماسه وقلوه سنگ (بزرگتر از ۶۴ میلیمتر)

هی[1] (۱۹۸۲) روابط رژیم برای ۶۶ رودخانه بسترشنی وقلوه سنگی[2] (با متوسط اندازه مواد بستری بین ۲۱ تا ۱۹۰ میلیمتر) وبا "زبری نسبی زیاد" بصورت زیر ارائه داده است:

$$P=2.20\ Q^{0.54} Q_s^{-0.05} \qquad (۹)$$

$$R=0.161\ Q^{0.41} D_{50}^{-0.15} \qquad (۱۰)$$

$$d_m=0.252\ Q^{0.38} D_{50}^{-0.16} \qquad (۱۱)$$

$$S=0.679\ Q^{-0.53} Q_s^{0.13} D_{50}^{0.92} \qquad (۱۲)$$

که درآن Q دبی سیل ۱/۵ ساله (مترمکعب درثانیه) Q_s متوسط بارکف (مترمربع درثانیه)، D_{50} متوسط اندازه مواد بستری (متر) d_m عمق ماکزیمم و P محیط ترشده و R شعاع هیدرولیکی مقطع پر (متر) و S شیب میباشد.

شوم[3]، (۱۹۸۴) برای رودخانه‌های آبرفتی پایدار در مناطق نیمه مرطوب تا نیمه خشک که بارکف آنها از نوع شن وماسه است معادلات زیر را پیشنهاد نموده است:

$$W = 37\ \frac{Q_m^{0.38}}{M^{0.39}} \qquad (۱۳)$$

---

1)- Hey

2)- Large Scale Roughness

3)- Schumm

$$d=0.6\ M^{0.342}Q_m^{0.29} \qquad (۱۴)$$

$$\lambda=1890\ \frac{Q_m^{0.34}}{M^{0.75}} \qquad (۱۵)$$

برای تشخیص شرایط حدی جهت تفکیک نوع والگوی رودخانه‌ها روابط تجربی متعددی پیشنهاد شده‌است. لاین[1] (۱۹۵۵) برای رودخانه‌های بستر ماسه‌ای[2] معادلات زیر را میدهد :

رودخانه ماریپیچی : (۱۶) $SQ^{1/4} \leqslant 0.0017$

رودخانه شریانی : (۱۷) $SQ^{1/4} \geqslant 0.01$

که در آن Q دبی مقطع پر (فوت مکعب برثانیه) میباشد. در حد فاصل مقادیر فوق رودخانه نسبت به تغییر در شیب یا دبی حساس خواهد بود.

لئوپولد و ولمن[3] (۱۹۵۷) با مطالعه بسیاری از رودخانه‌های بستر شنی در آمریکا و هند ، حد مرزی تفکیک رودخانه ماریپیچی و شریانی را بصورت معادله زیر پیشنهاد نموده که گرچه عامل مواد بستری در آن وارد نشده ولی در بسیاری موارد نتایج خوبی داشته است :

$$S=0.0125\ Q^{-0.44} \qquad (۱۸)$$

در این رابطه Q دبی مقطع پر (مترمکعب در ثانیه) بوده و شیب بیشتر نشانگر نوع شریانی رودخانه خواهد بود. هندرسون[4] (۱۹۶۶) در معرفی شرایط حدی با دخالت عامل شاخص مواد بستری رابطه تکمیل شده زیر را پیشنهاد نموده است :

$$S=0.64\ Q^{0.44}D_{50}^{1.14} \qquad (۱۹)$$

که در آن Q دبی مقطع پر (فوت مکعب در ثانیه) و D_{50} متوسط اندازه مواد بستری (فوت) میباشد.

---

1)- Lane 2)- Sand-Bed 3)-Leopold and Wolman

4)- Henderson

بهرحال کاربردروابط تجربی فوق بدلیل محدودیت اطلاعات وتنوع تاثیرمتغیرهای مستقل ، برای رودخانه‌های مختلف وشرایط متفاوت ازنظرکمی نتایج قابل اعتمادی نخواهدداشت.

روشهای کیفی :

روش ژئومرفولوژیکی دربررسی وشناخت وضعیت رودخانه‌ها گرچه یک روش کیفی بوده‌وامکان برآوردمقادیرکمی تغییرات را نمیدهد ، ولی چون براساس تعادل وتوازن بین "انرژی پتانسیل رودخانه"[1] با باررسوبی آن استوار است لذا بسهولت میتواندوضعیت موجودرودخانه وپتانسیل تغییرات احتمالی آنرا پیش بینی نموده‌ومعیاری جهت کنترل بررسی های کمی باشد (لی وسیمون[2] ، ۱۹۸۲) .

لاین[3] (۱۹۵۵) رابطه‌کیفی میان متغیرهای اصلی مانندبی (Q) بارکف(Q_s) شیب (S) وشاخص اندازه‌موادبستری (D_{50}) رابصورت زیر بیان نمود :

$$Q_s D_{50} \propto QS \qquad (۲۰)$$

براین اساس رودخانه‌وقتی درحالت تعادل پایدارباقی‌میماندکه میان تغییرات بارروسوبی واندازه‌رسوبات بادبی وشیب موازنه‌برقرار باشد. شوم[4] (۱۹۸۴) با استفاده‌ازرابطه فوق ، تاثیرتغییرات دبی وبارروسوبی کف راروی هندسه‌هیدرولیکی رودخانه‌بصورت جزئی تر،مشخص نموده‌که‌درزیرخلاصه‌شده‌است .

$$Q^+ \propto b^+, d^+, \lambda^+, S^- \qquad (۲۱)$$

$$Q^- \propto b^-, d^-, \lambda^-, S^+ \qquad (۲۲)$$

$$Q_s^+ \propto b^+, d^-, \lambda^+, S^+, P^- \qquad (۲۳)$$

$$Q_s^- \propto b^-, d^+, \lambda^-, S^-, P^+ \qquad (۲۴)$$

1)- Stream Power
2)- Li and Simons
3)- Lane
4)- Schumm

Table 6.9. Summary of regime relations for hydraulic geometry of rivers.

Source	Formulae	Remarks
Lambor (1966)	$I = I$ given	$\eta = 1000\,aI$ – Lambor's Contraction constant. For Central Europen rivers:
	$h_s = 13.34\left[\frac{QnI^{1/3}}{\eta}\right]^{3/8}$	$\eta = 15.5 \div 21.6$ – Vistula River $\eta = 12.0 \div 18.2$ – Oder River $\eta = 14.6 \div 19.1$ – Elbe River $\eta = 7.1 \div 8.9$ – Warta River
	$B = \frac{h_s \eta}{1000\,I}$	$a = B/h_s$ – shape factor of the cross-section
	$u = \frac{1}{n} H_s^{2/3} I^{1/2}$	
	$A = Bh_s$	
Grišanin (1976)	$I = I$ given	Rivers in the Soviet Union $M = 1.05$ – Grišanin's similarity constant for non-erodible and non-silting channels
	$P = k\,(Q/I^3)^{2/7}$	
	$R_h = \frac{MQ^{1/2}}{(gP)^{1/4}}$	
	$A = R_h$	
	$k = \frac{g^{5/7} n^{12/7}}{M^{20/7}}$	
Grišin (Altunin formula)	$I = I$ given	Rivers in the Soviet Union: $A = 0.7 \div 0.9$ – mountain (gravel bed) rivers $A = 1.1 \div 1.7$ – lowland (sand bed) rivers $m = 1.0 \div 0.8$ – gravel bed rivers $m = 0.8 \div 0.5$ – sand bed rivers $a = 8 \div 12$ – gravel bed rivers $a = 4 \div 3$ – sand bed rivers
	$B = AQ^{0.5}/I^{0.2}$	
	$h_s = B^m/a$	
Bray (1982)	1. Threshold method $B = 4.83\,Q_2^{0.500}$ $h = 0.0585\,Q_2^{0.428} D_{50}^{-0.285}$ $u = 3.53\,Q_2^{0.0715} D_{50}^{0.285}$ $I = 0.968\,Q_2^{-0.428} D_{50}^{1.285}$	
	2. Kellerhals' method $B = 3.26\,Q_2^{0.500}$ $h = 0.183\,Q_2^{0.400} D_{90}^{-0.120}$ $u = 1.67\,Q_2^{0.100} D_{90}^{0.120}$ $I = 0.026\,Q_2^{-0.400} D_{90}^{0.920}$	
Bray (1982)	3. Best-fit dimensionless expressions	For Alberta gravel-bed rivers Q_2 – 2-year flood flow The ranges of the parameters: $Q_2 = 5.5 \div 3920$ [m^3/s] $B = 14.3 \div 566$ [m] (at Q_2) $h = 0.442 \div 6.93$ [m] (at Q_2) $I = 0.00022 \div 0.015$ $D_{50} = 19 \div 145$ [mm]
	$B = 2.68\,Q_2^{0.496} D_{50}^{-0.241}$	
	$h = 0.20\,Q_2^{0.397} D_{50}^{0.008}$	
	$u = 1.87\,Q_2^{0.107} D_{50}^{0.233}$	

Table 6.9. (Continued).

Source	Formulae	Remarks
	$I = 0.063\, Q_2^{-0.375} D_{50}^{0.937}$	
	4. Best-fit expressions	
	$B = 3.83\, Q_2^{0.528} D_{50}^{-0.070}$ $h = 0.246\, Q_2^{0.331} D_{50}^{-0.025}$ $u = 1.05\, Q_2^{0.140} D_{50}^{0.095}$ $I = 0.018\, Q_2^{-0.334} D_{50}^{0.586}$	
Hey (1982)	$R_h = 0.161\, Q_{bf}^{0.41} D_{50}^{-0.15}$	For data from 66 sites of gravel-bed rivers in the UK The ranges of the parameters:
	$h_{\max} = 0.252\, Q_{bf}^{0.38} D_{50}^{-0.16}$	$Q_{bf} = Q_{1.5}$ – bankfull discharge = 1.5 year flood $Q_{bf} = 2.12 \div 820$ [m^3/s]
	$I = 0.679\, Q_{bf}^{-0.53} S_b^{0.13} D_{50}^{0.97}$	$S_b = 7.5 \cdot 10^{-5} \div 3.74 \cdot 10^{-2}$ [m^3/s] $D_{50} = 0.021 \div 0.190$ [m] $\sigma_{50} = 2.03 \div 8.52$
	$p = I_r / I$	$\sigma_D = [D_{84}/D_{16}]^{1/2}$ $e_s = 7.92 \div 83.76$ per cent
	$L_A = 2\Pi B$	$I_r = 0.000334 \div 0.0215$
Hey (1985)	$B = 4.33\, Q_{bf}^{0.50}$ Vegetation I	Data from 62 gauging stations of gravel-bed rivers in the UK (with bankside vegetation). The ranges of the parameters:
	$B = 3.33\, Q_{bf}^{0.50}$ Vegetation II	Q_{bf} = bankfull discharge $Q_{bf} = 3.9 \div 424$ [m^3/s] $S_b = 0.001 \div 14.14$ [kg/s]
	$B = 2.73\, Q_{bf}^{0.50}$ Vegetation III	$D_{50} = 0.014 \div 0.176$ [m] $\sigma_D = (1/2)\log(D_{84}/D_{16}) = 0.24 \div 0.68$ $I_r = 0.0219 \div 0.00166$
	$B = 2.34\, Q_{bf}^{0.50}$ Vegetation IV $h = 0.22\, Q_{bf}^{0.37} D_{50}^{-0.11}$ $h_{\max} = 0.20^{0.37\sigma_D}\, Q_{bf}^{0.36}\, D_{50}^{-0.21}$ $I = 0.087^{0.84\sigma_D}\, Q_{bf}^{-0.43}\, D_{50}^{0.75} S^{0.10}$ $p = I_r / I$ $L_A = 6.31\, B$	
Brownlie (1983)	Flow depth for the lower regime $\frac{h}{D_{50}} = 0.3724\, q_*^{0.654} I^{-0.254} \sigma_g^{0.105}$	Range of data used in analysis: $D_{50} = 0.088 \div 2.8$ [mm] $q = 0.012 \div 40$ [m^3/s] $Q = 0.0032 \div 22\,000$ [m^3/s] $I = 0.000003 \div 0.037$
	Flow depth for the upper regime $\frac{h}{D_{50}} = 0.2836\, q_*^{0.625} I^{-0.288} \sigma_g^{0.080}$ $q_* = \frac{q}{\sqrt{g D_{50}^3}}$ $q = Q/B$ $\sigma_g = \frac{1}{2}\left(\frac{D_{84}}{D_{50}} + \frac{D_{50}}{D_{16}}\right)$	$R_h = 0.025 \div 17.0$ [m] $T = 0 \div 63\,^\circ$C (temperature)

Table 6.9. (Continued).

Source	Formulae	Remarks
Hâncu and Batuca (1988)	$h = 8.03\, D_{50}\, (Q_{bf}/D_{50}^2)^{0.29}$	Field data collected on earth canals in India, and on certain stable reaches of some Romanian rivers
	$B = 0.21\, D_{50}\, (Q_{bf}/D_{50}^2)^{0.56}$	
	$u = 0.61\, (gD_{50})^{0.50}\, (Q_{bf}/D_{50}^2)^{0.15}$	
	$\frac{B^{0.52}}{h} = 0.056\, D_{50}^{-0.48}$	
Julien (1988)	$h \sim Q^{1/a}\, D^{(6\alpha-1)/b}\, \Theta^{-3/b}\, \Theta_r^{1/a}$	
	$B \sim Q^{(1+2\alpha)/a}\, D^{-(1+4\alpha)/b}\, \Theta^{1/b}\, \Theta_r^{-(1+\alpha)/a}$	
	$u \sim Q^{\alpha/a}\, D^{(1-\alpha)/a}\, \Theta^{1/a}\, \Theta_r^{\alpha/a}$	
	$I \sim Q^{-1/a}\, D^{5/b}\, \Theta^{(7+6\alpha)/b}\, \Theta_r^{-1/a}$	
	where	
	$a = 2 + 3\alpha$	
	$b = 4 + 6\alpha$	
Wilson (1988)	$B \sim Q^{\alpha}$	Values of exponents α and β are shown in Fig. 6.13
	$h \sim Q^{\beta}$	
	$I \sim Q^{-(\alpha-\beta)}$	

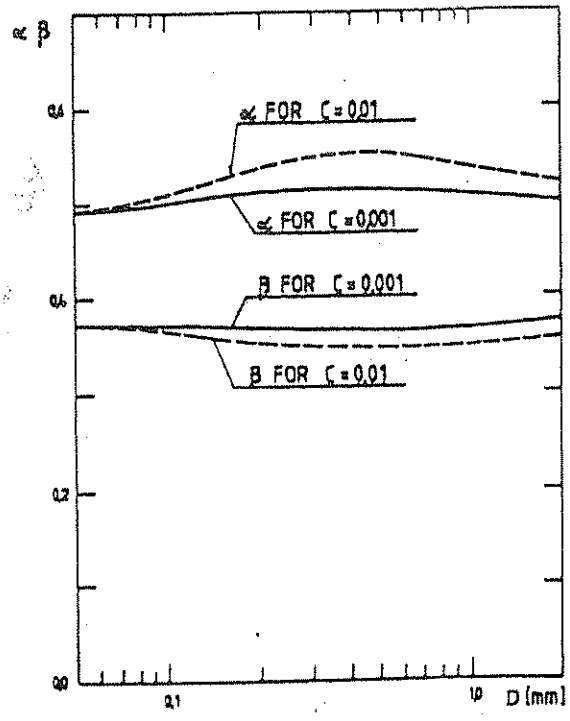


Fig. 6.13. Exponents for Wilson's regime relations (after Wilson, 1988).

equations, can be used for the design of stable gravel-bed rivers with small sediment transport. The Kellerhals' method can be acceptable for estimating channel slope; however, this method for estimating channel width, depth and mean velocity is the poorest (see Table 6.10). Bray explained this by the fact that Kellerhals' channels were pri-

روابط تعادلی و رژیم
برای
آبراهه‌های ماریچی

Leopold, et.al. (1964)

L = طول موج ماریچ
B = عرض مقطع
R_m = شعاع انحنا متوسط

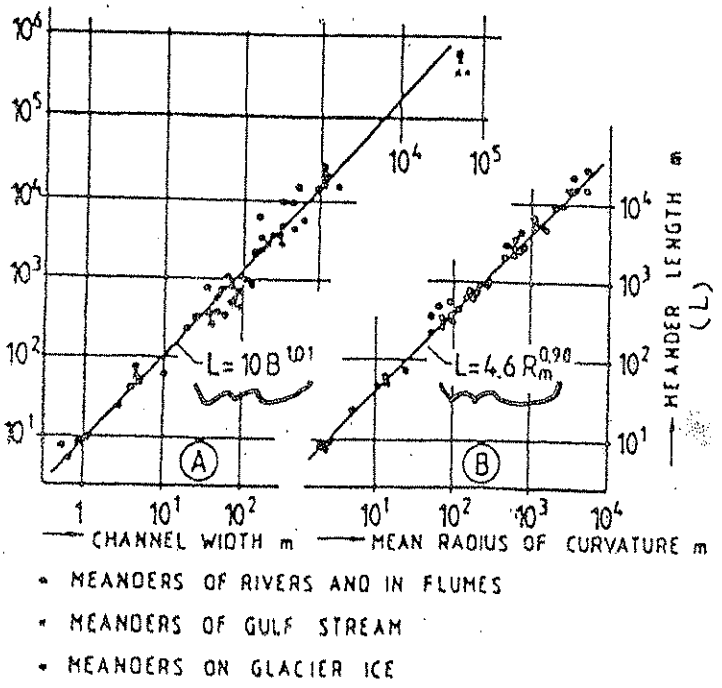


Fig. 2.1. Channel characteristics for meandering rivers (after Leopold et al., 1964).

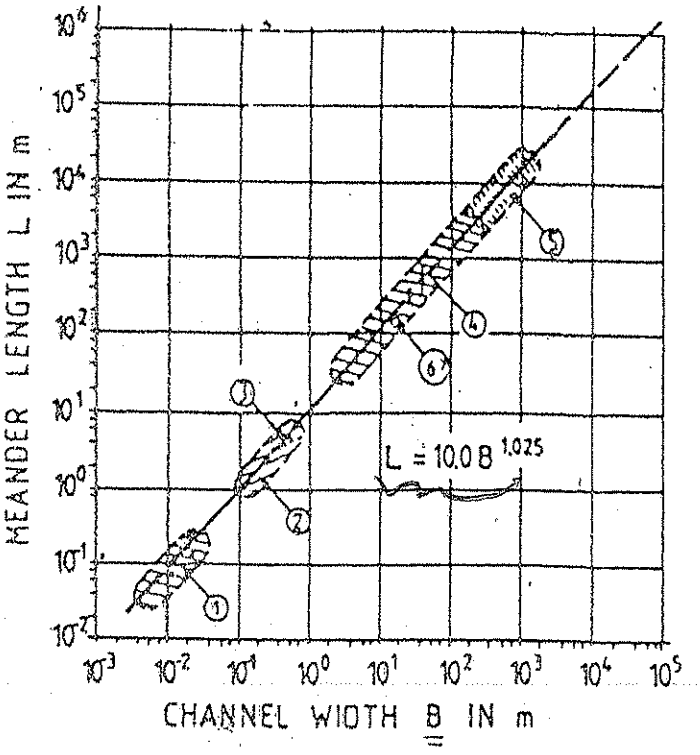


Fig. 2.2. Relationship between meander wavelength and channel width (after Zeller, 1967). 1 – Limestone furrow meander, 2 – Supraglacial stream meander, 3 – Laboratory channel meanders in sand, 4 – Swiss rivers meanders, 5 – Alluvial river meanders.

روابط تعادلی و رژیم برای آبراهه‌های ماریچی مختلف (از حوزه کوهستانی تا دشت سیلابی)
Zeller (1967)

۲-۲-۲) روابط رژیم - تئوری تجربی

کاربرد معادلات { - مقاومت جریان
- بار رسوبی (کف)
- آستانه ناپایداری دیواره
و یا تئوری حداقل توان جریان } + نتایج تجربی (عموماً آزمایشگاهی)

مثال:
White, Paris and Bettess (1981) - HR Wallingford.
منبع: Fisher (1992):

کاربرد روش رژیم:
← مقایسه شرایط بازه رودخانه با مشخصات تغییر آن در حالت رژیم.
← بررسی تاثیر تغییرات متغیرها در ایجاد تعادل جدید رژیم.
← بررسی عدم رودخانه‌ای و یا احتمال تغییر عدم رودخانه‌ای.

۲-۳) روش تنش برشی (Shear Stress)

مقایسه تنش برشی معادل کف رودخانه (ناشی از جریان و عوامل موثر دیگر) با تنش برشی بحرانی (بحرانی) برای تغییرات بستر (یا دیواره)
(مطالب ص ۱۵۰ تا ص ۱۵۳ + جداول (۳،۱)، (۴)، صفحه آن) ⇔ (Chow (1959 ←

۲-۴) روش تئوری حداقل توان جریان (Minimum Stream Power)

فرضیه: توان بیشتر جریان ⇒ پتانسیل تخریب ⇒ تغییرات رودخانه‌ای.
رودخانه وقتی در حالت تعادل پایدار است که توان مصرفی جریان (انرژی جریان در واحد طول و در واحد زمان) به حداقل مقدار لازم خود برسد.

توان جریان: $\gamma Q S$

در واحد عرض: $\frac{\gamma Q S}{B} = \frac{\gamma (AV) S}{B} = \gamma \left(\frac{A}{B}\right) S V \approx (\gamma R S) V = \tau_0 \cdot V$

$\propto V^2 \cdot V$

$\propto V^3$

روش چانگ (۱۹۸۶، ۱۹۸۵) Chang (1985, 1986),

$$F_* = \frac{\tau_c}{(\gamma_s - \gamma) D_s}$$ تنش برشی بدون بعد

$$R_* = \frac{U_* D_s}{\nu}$$ عدد رینولدز

شکل (۱۲)- فرم کلی نمودار شیلدز (Shields Diagram)

کاربرد فرضیه توان جریان

مقایسه توان بازه رودخانه با حداقل توان جریان برای پایداری.

: روش ارائه شده توسط Chang (1986) - عموماً در رودخانه‌های آبشاری ...

بررسی توان بازه رودخانه در شرایط قبل و بعد از تغییرات و ارزیابی پایداری.

: کار ارائه شده توسط Brooks (1987) در رودخانه‌های آلمان

۲-۵) روش انتقال رسوب (ظرفیت انتقال رسوب) : Sediment Transport

فرضیه : (بار رسوبی ورودی به بازه = بار رسوبی خروجی از بازه) ⇐ پایداری بازه

(بار رسوبی ورودی به بازه > بار رسوبی خروجی از بازه) ⇐ فرسایش عمومی

(بار رسوبی ورودی به بازه < بار رسوبی خروجی از بازه) ⇐ رسوب‌گذاری

میزان بار رسوبی کم در یک بازه ⇐ تغییرات رودخانه‌ای کم و تدریجی ⇐ پایداری

" " زیاد " " ⇐ " " زیاد ⇐ ناپایداری

روش : ۱- محاسبه ظرفیت انتقال رسوب در بازه (به روش مناسب هیدرولیکی)

مثال روش : Ackers and White (1990)

(روش‌های متعددی وجود دارد. انتخاب روش یا روش‌های مناسب مهم است!)

۲- برآورد میزان بار رسوبی از اندازه‌گیری‌های هیدرومتری.

که : تداکم اندازه‌ها و موقعیت آنها عموماً پاسخگو نیست!

کاربرد : ۱- برای یک بازه معین : ارزیابی ظرفیت انتقال رسوب در بازه بالادست آن و بازه پائین‌دست آن

۲- مقایسه ظرفیت انتقال رسوب در یک بازه، تحت شرایط طبیعی و شرایط ساماندهی

مثال : روش کاربردی در منبع : Fisher (1992)

بجای فاکتور" متوسط اندازه مواد بستری " ، عامل نسبی ($\frac{D_{50}}{C_f}$) بکار گرفته شده است .

لی وسیمون[1] (۱۹۸۲) با تفکیک رودخانه‌های بستر ریزدانه و ماسه‌ای[2] از رودخانه‌های بسترشنی و کلوه‌سنگ[3] ، تغییرات احتمالی را بصورت جداول (۱و۲) ضمیمه نشان میدهد .

شوم[4] (۱۹۸۴) نیز براساس ارزیابی و پایداری نسبی رودخانه‌های بستر ماسه‌ای ، انواع فرم رودخانه‌ها و تمایل تغییرات احتمالی آنها را نشان داده است .

روشهای کمی :

چانگ[5] (۱۹۸۵) الگو و هندسه هیدرولیکی رودخانه‌های بستر ریزدانه و ماسه‌ای را با کاربرد روش انرژی بطور کمی موردبررسی قرار داد . در این روش انرژی مصرف شده در طول بازه رودخانه با عوامل نظیر دبی ، بار رسوبی ، مقاومت جریان و ابعاد هندسی ربط داده شده است . تعادل و تنظیم رودخانه متناسب با انرژی مستهلک شده در آن ، سبب تشخیص و تفکیک خصوصیات مرفولوژیکی میگردد . در این روش رودخانه‌ها برحسب میزان دبی مقطع پر (Q) و شیب (S) و اندازه متوسط مواد بستری (d) به چهار گروه مشخص تفکیک شده و ابعاد هندسی آن نظیر عرض (B) و عمق (D) معلوم میگردد . در این تحلیل ، شرایط مرزی برای تفکیک الگوهای چهارگانه فوق بصورت روابطی مشخص گردیده و نحوه تاثیر متغیرهای مختلف روی تغییر عوامل دیگر و یا تغییر الگوی آن قابل پیش بینی و برآورد کمی میباشد .

---

1)- Li and Simons 2)- Sand-Bed

3)- Gravel and Cobble-Bed 4)- Schumm 5)-Chang

چانگ درسال ۱۹۸۶ مجددا " همان چهارناحیه‌را معرفی نموده وروابط ونمودارهای خودرا درسیستم متریک ارائه میدهد.

(شکل الف ـ ۱۰)الگوهای رودخانه‌ای را بصورت نواحی۱ تا ۴ نشان میدهد. که‌بطورمثال ، الگوی شماره(۱) درحدفاصل مرز I و II قرارگرفته وازنوع‌مارپیچی باعرض یکنواخت وشیب کم میباشددرحالیکه الگوی شماره(۴) که‌درمحدوده‌بالای مرز IV قرارمیگیردازنوع‌شریانی باشیب زیادخواهدبود. دراین بررسی حدمرزی I براساس‌شیب بحرانی ناشی ازوقوع‌تنش برشی بحرانی ، درآستانه‌حرکت موادکف(۱) ـ بصورت معادله‌زیرمحاسبه‌میشود :

$$\frac{S_c}{\sqrt{d}} = 0.000386\ Q^{-0.51} \qquad (۳۰)$$

که‌درآن Q دبی مقطع پر (مترمکعب درثانیه) d متوسط اندازه‌مواد بستری (متر) و S_c شیب بحرانی برای حرکت موادبصورت بارکف میباشد این رابطه‌راهنمای خوبی برای طراحی کانالهای فرسایشی پایدار درموادآبرفتی ریزدانه‌وماسه‌ای خواهدبود. معادلات مربوط به‌تفکیک حدمرزی II و III بترتیب زیرمیباشند :

$$\frac{S}{\sqrt{d}} = 0.00704\ Q^{-0.55} \qquad (۳۱)$$

$$\frac{S}{\sqrt{d}} = 0.00763\ Q^{-0.51} \qquad (۳۲)$$

برای تشخیص مرز IV معادله‌ای بدست نیامده وامتدادآن بصورت خط چین روی شکل (الف ـ۱۰) رسم شده‌است .علاوه‌براین چانگ (۱۹۸۶) عامل بارکف(Q_s) رانیزبصورت " نسبت بارکف به‌دبی " ($C_t=Q_s/Q$) دخالت داده‌وباتشخیص نواحی چهارگانه‌الگوی رودخانه، مقدارنسبی رسوبات کف (C_t برحسب قسمت درمیلیون ppm) رانیزدرشکل (ب ـ ۱۰) میدهد.

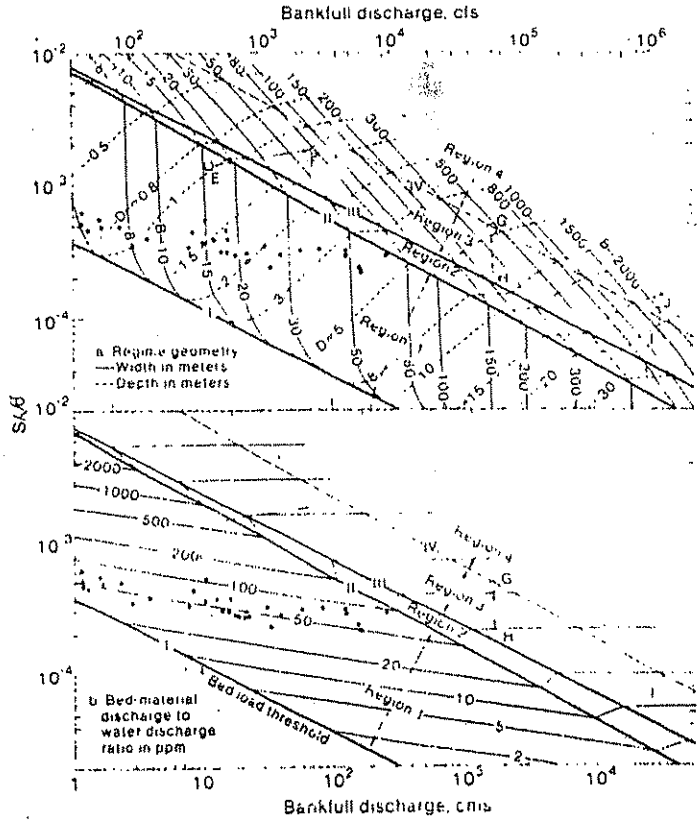
---

1)- Initiation of Motion

این بررسی گرچه براساس مطالعات مدل انجام یافته ولی با شواهد صحرائی نیز تطابق قابل قبولی داشته و با نتایج حاصل از روشهای کیفی هماهنگی دارد. بهرحال مطالعات کمی در این زمینه بسیار محدود بوده وآن نیز تنها متوجه رودخانه‌های بستر ماسه‌ای میباشد و هنوز روش برآورد دقیقی برای رودخانه‌های بسترشنی ودرشت دانه ارائه نشده است (شوم[1]، ۱۹۸۴)

---

1) - Schumm



شکل (۱۰) : روابط رژیم برای رودخانه‌های بسترماسه ای همراه‌با نمایش‌فرم رودخانه (چانگ ، ۱۹۸۶) .

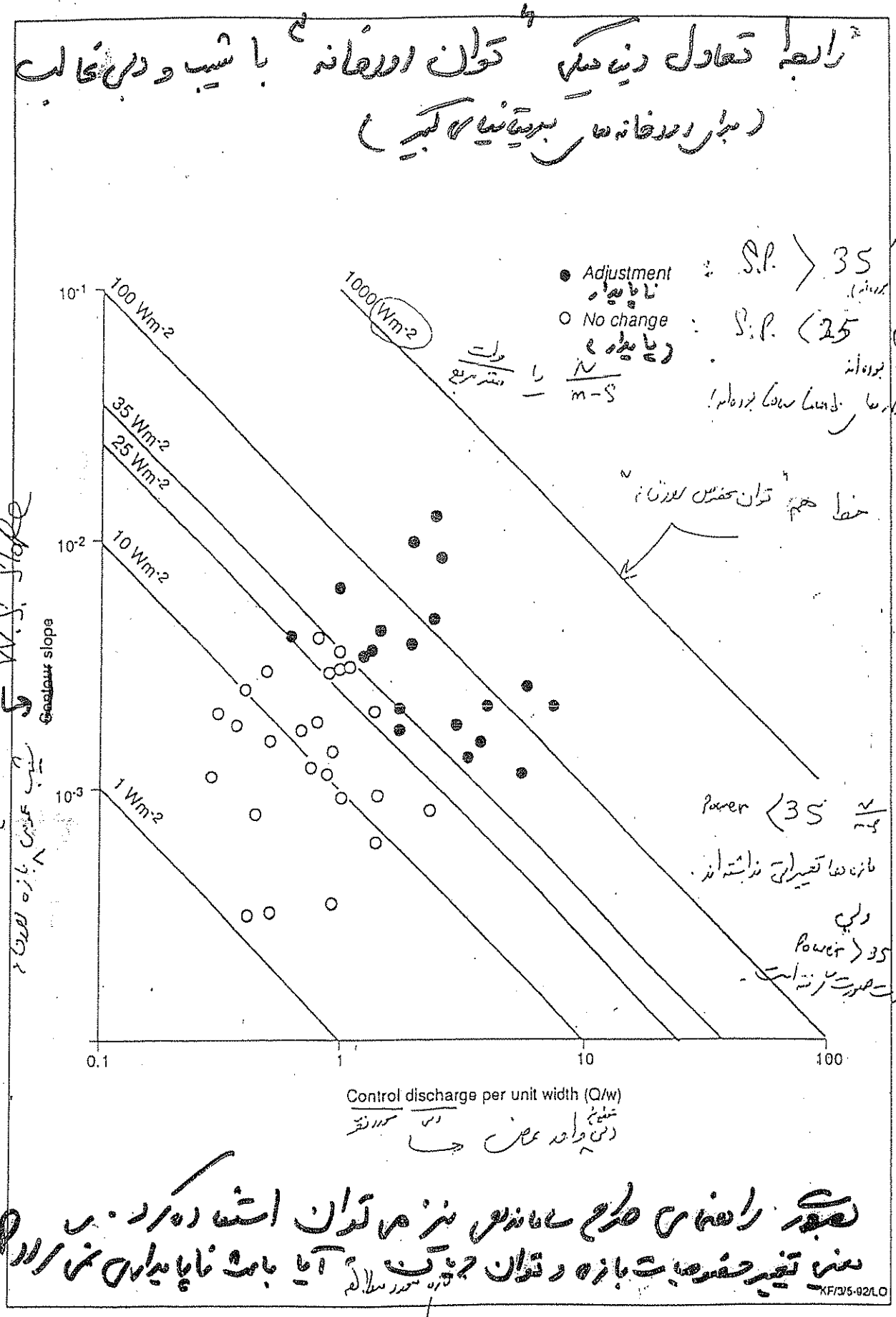


Figure 3 Relationship between bankfull discharge per unit width and water slope for natural control reaches of eroded and non-eroded sites of channelisation in England and Wales. Lines of equal specific stream power are superimposed (after Brooke, 1988)

If an actively meandering river is straightened, causing an increase in slope and power, the result could be accelerated bank erosion as the river attempts to regain its previous slope and meander pattern. A similar effect may be seen if lateral shifting of part of a channel takes place.

3.5.9 *Construction works*

During the construction phase of a project vegetation may be removed, and the bed and banks of a channel disturbed, leading to erosion of bed and banks and an increased sediment load during and immediately after construction. The effects resulting from disturbance due to construction works, however are likely only to be short term.

4 *Methods available for studying morphological effects* اوش های بررسی تاثیرات مرفولوژیکی رودخانه ها

At the design stage of river improvement works there are several steps which can be taken which will identify any potential morphological problems in a qualitative manner.

As a first step, it is useful to identify the river type as described in Table 1 and Section 2.1. When the river is identified as being unstable then, if changes are made to the river, morphological problems are more likely to occur or will occur more quickly than in a stable river. For rivers that transport insignificant amounts of bed material load, lowland rivers, the adjustment process will be relatively slow and maintenance of the unnatural condition may not be too expensive. Upland rivers, in contrast, transport considerable amounts of bed material load and quickly respond to any imposed changes. Maintenance of the artificial condition may prove to be very costly.

After determining the stability of a river a useful initial indicator for predicting channel change is stream power. The calculation procedure is relatively simple and given below.

4.1 Stream power

Stream power may be used as a basis for predicting channel change. Stream power is highly dependent on gradient and can be defined as the rate of energy expenditure per unit length of channel is the rate of doing work.

$$\Omega = \rho g Q S$$

where Ω = the rate of loss of potential energy
ρ = unit weight of water = 1000 kgm^{-3}
g = gravity = 9.81 ms^{-2}
Q = discharge
S = bed slope

We can determine the energy per unit width or specific stream power (w) by dividing the above equation by channel width.

$$\omega = \frac{\Omega}{W} = V\tau$$

where W = channel width
V = mean velocity
τ = mean bed shear stress

The specific stream power allows comparison of the stream power of rivers of different sizes. From studies carried out by Brooks, (1987) in England and Wales, measurements of discharge and slope were taken at river improvement sites. At some sites changes occurred in the river in the region of the improvement works or downstream and at other sites no changes were noted. The results of these studies are shown in Figure 3 where slope is plotted against discharge per unit width. The lines of equal stream power are also plotted. It can be seen from the graph that the two sets of schemes fall into distinct categories those which experienced post scheme changes and those which did not. The schemes which did not experience changes mostly fall below the 25 Wm^{-2} stream power line. The majority of these schemes can be found in lowland Britain. Those schemes where post scheme changes occurred mainly lie above the 35 Wm^{-2} stream power line and are generally upland rivers or streams. This graph should not be used in a quantitative way but as a guide giving a general indication of the possibility of change.

4.2 Sediment transport

There is a relationship between sediment transport and discharge. This relationship, however is non-linear, with the majority of sediment transport occurring at high discharges.

Some of the many sediment transport theories have been compared, White, Milli and Crabbe (1975), based on almost 1000 flume experiments. The conclusion drawn was that the most reliable theory, over a wide range of flow conditions and particle characteristics, is that of Ackers and White (1973). Since 1973 the procedure has been updated HR Wallingford (1990).

It is recommended that the sediment transport rates both pre and post scheme are estimated, using the Ackers and White theory, for a number of discharges towards the upper limit of those that can be expected. If the sediment concentrations and the sediment transport rates are low both before and after the scheme it is unlikely that major sedimentation problems will be caused as a result of the scheme. If problems do occur due to a change in sediment transport rates these are likely to develop over a number of years.

If sediment transport rates were high before the scheme was implemented or the sediment concentrations have increased or decreased significantly as a result of the scheme, then sedimentation problems could occur. These problems can result in long term maintenance commitments for the relevant authorities.

Calculating sediment transport rates requires data both from the pre-improvement scheme conditions and design data or post improvement scheme data if the scheme has already been constructed.

A list of required data is given below:

Pre-improvement	Post-improvement	Description
w_1	w_2	width of water surface in channel at design discharge (m)
d_1	d_2	design depth of water (m)
t_1	t_2	side slope of channel
A_1	A_2	cross-sectional area (m^2)
P_1	P_2	wetted perimeter (m)
Q_1	Q_2	design discharge (m^3/s)
D_{35}	D_{35}	D_{35} sediment size (mm)
S_1	S_2	gradient of channel
z_1	z_2	bed level (m)

The D_{35} sediment size can be estimated by collecting samples of the bed sediment which are then analysed in the laboratory. Ideally bed samples should be collected by hand during low flow conditions. In situations where this is not practical, samples can be collected using a grab lowered from a boat or bridge. When taking a sample, care should be taken to collect a sample which is representative of the bed sediment, ensuring that finer sediment is not lost.

The sediment sample can be analysed in the laboratory to determine the particle size distribution. The techniques for determining the distribution are described in British Standards publications BS 1377, BS 410, BS 1796. The Ackers and White theory recommends that the representative particle size to use is the D_{35} of the sand fraction.

The Ackers and White theory is only valid for non-cohesive sediments which are classified as sand or larger. Anything which is approximately 60 microns or less, in diameter is classified as silt. For bed materials consisting of more than 10% silt or clay it is recommended that expert advice is sought on estimation of transport rates.

4.3 Sediment transport calculation procedures

As river works can affect channel morphology it is important that an estimate of the rate of sediment transport is made at the design stage of new channels or when channel improvements are planned.

The pre-improvement scheme and design or post improvement scheme sediment concentrations can be compared. The calculation procedure is given below:

1 From the data collection (see above) obtain estimates of:

depth of water (d);
water surface slope (S);
flow velocity (V);
discharge (Q).

The velocity (v) can be estimated from the discharge (Q) and the cross-sectional area (A).

2 For the sediment in the river obtain estimates of the following:

D_{35} sediment size (D_{35});
specific gravity (s_g).
viscosity (v)

3 Calculate the dimensionless particle size D_{gr}:

$$D_{gr} = D_{35}\left(g\frac{(s_g-1)}{v^2}\right)^{\frac{1}{3}}$$

4 Use value for D_{gr} calculated above to calculate Ackers-White parameters n, A, m and c.

If $D_{gr} > 60$ then: n = 0.0; A = 0.17; m = 1.78; and c = 0.025.

If $1 < D_{gr} < 60$ then:

$$n = 1 - 0.56\log_{10}D_{gr}$$

$$A = \frac{0.23}{\sqrt{D_{gr}}} + 0.14$$

$$m = \frac{6.83}{D_{gr}} + 1.67$$

$$\log_{10}c = 2.79\log_{10}D_{gr} - 0.98(\log_{10}D_{gr})^2 - 3.46$$

5 Calculate the shear velocity at the bed v_*.

$$v_*=\sqrt{gdS}$$

6 Calculate

$$F_{gr}=\frac{v_*^{\,n}}{\sqrt{[gD_{35}(s_g-1)]}\left(\frac{V}{\sqrt{32}\log_{10}\left(\frac{10d}{D_{35}}\right)}\right)^{\frac{1}{n}}}$$

7 Calculate

$$G_{gr}=c\left[\frac{F_{gr}}{A}-1\right]^{m}$$

8 Calculate the sediment concentration, X:

$$X = G_{gr}\frac{s_g D_{35}}{d}\left(\frac{V}{v_*}\right)^{n}$$

9 Calculate the sediment transport rate, q_s, by multiplying sediment concentration X, calculated above, by discharge Q.

From the calculation it can be seen that if the sediment concentration for the pre-improvement situation, X_1, is greater than that for the design situation, X_2, this suggests that the some of the sediment being carried in the river will be deposited. If the cross-sectional area can be reduced the sediment concentration, X_2, will increase, therefore reducing the risk of sediment deposition.

In general, if the sediment transport rates are high either before or after the scheme then sedimentation problems could occur resulting in long term maintenance commitment. Under these circumstances, techniques such as numerical or physical mobile-bed models can be utilised see Chapter 5. It is recommended that expert advice be sought on the use of these techniques.

An example calculation can be found in Appendix A.

If from these initial procedures, river type, stream power and sediment transport, it seems that there is a possibility of erosion or deposition and that the equilibrium of the channel may change then the morphological impacts can be predicted using methods in Chapter 5.

Apperidix A - Example calculations

1 Example of use of regime tables for design of stable alluvial channels

A channel is required to carry a discharge of $10m^3/s$ at a slope of 0.2×10^{-3}, the D_{35} of the bed material being 0.35mm. What are suitable stable dimensions for the channel?

The appropriate table from the regime tables is reproduced in Figure A1. If one looks down the column corresponding to a discharge of $10m^3/s$ one can see that the slopes corresponding to sediment concentrations of 10, 20, 40 and 60 ppm are 0.09×10^{-3}, 0.13×10^{-3}, 0.19×10^{-3} and 0.24×10^{-3}.

The slope 0.19×10^{-3} is closest to the required slope of 0.2×10^{-3} corresponding to a sediment concentration of 40 ppm. So an approximation to the required channel characteristics are given by:

velocity = 0.63m/s
depth = 1.32m
surface width = 12.1m
sediment concentration = 40 ppm

Interpolation within the table could be used to refine this estimate

2 Example of sediment transport calculation

Since river works can affect channel morphology it is important that an estimate of the rate of sediment transport is made at the design stage of new channel or when channel improvements are made. Using the Ackers and White sediment transport theory outlined in Section 3.5 an example application is given here.

Example Calculation

2-1

A channel has the following dimensions: width 24m, depth 2m. If the channel comprises sand with a D_{35} of 1mm and a specific gravity of 2.65 what is the sediment transport for a discharge of 48 m^3/s with a velocity of 1 m/s and a surface water slope of 0.0004?

1. d = 2 m
   V = 1 m/s
   S = 0.0004
   Q = 48 m^3/s

2. D_{35} = 0.001 m (1 mm)
   sg = 2.65

3. $$D_{gr}=0.001\left[\frac{9.81(2.65-1)}{0.00000114^2}\right]^{\frac{1}{3}}=23$$

4. n = 0.2374

A = 0.188
m = 1.97
C = 0.0333

5. $v_* = \sqrt{9.81 * 2 * 0.0004} = 0.0886$

6. $$F_{gr} = \frac{0.0886^{0.2374}}{\sqrt{(9.81 * 0.001(2.65-1))}} \left[\frac{1}{\sqrt{32}\log(10 * \frac{2}{0.001})}\right]^{0.7626} = 0.3877$$

7. $$G_{gr} = 0.0333\left(\frac{0.3877}{0.188} - 1\right)^{1.97} = 0.0375$$

8. $$X = 0.0375\left(\frac{2.65 * 0.001}{2}\right)\left(\frac{1}{0.0886}\right)^{0.2374} = 0.000088 = 88 ppm$$

9. $q_s = 0.000088 * 48 = 0.00424$ tonnes/s

2-2 →

If the channel dimensions are changed so that the width is increased by 10 m the discharge capacity of the channel will increase from 48 m^3/s to 70 m^3/s. All the other dimensions remain the same.

1. d = 2 m
   V = 1.03 m/s
   S = 0.0004
   Q = 70 m^3/s

2. D_{35} = 0.001 m (1 mm)
   sg = 2.65

3. $$D_{gr} = 0.001\left[\frac{9.81(2.65-1)}{0.00000114^2}\right]^{\frac{1}{3}} = 23$$

4. n = 0.2374
   A = 0.188
   m = 1.97
   C = 0.0333

5. $v_* = \sqrt{9.81 * 2 * 0.0004} = 0.0886$

6. $$F_{gr} = \frac{0.0886^{0.2374}}{\sqrt{(9.81 * 0.001(2.65-1))}} \left[\frac{1.03}{\sqrt{32}\log(10 * \frac{2}{0.001})}\right]^{0.7626} = 0.3965$$

(٢٢١)

7. $G_{gr}=0.0333(\frac{0.3965}{0.188}-1)^{1.97}=0.0408$

8. $X=0.0408(\frac{2.65*0.001}{2})(\frac{1.03}{0.0886})^{0.2374}=0.000097=97ppm$

9. $q_s=0.000097*70=0.00677 tonnes/s$

(2-3) → If the depth is increased instead of the width to provide a channel with capacity of 70 m^3/s. The depth would increase from 2m to 2.83m

1. d = 2.83 m
   V = 1.03 m/s
   S = 0.0004
   Q = 70 m^3/s

2. D_{35} = 0.001 m (1 mm)
   sg = 2.65

3. $D_{gr}=0.001[\frac{9.81(2.65-1)}{0.00000114^2}]^{\frac{1}{3}}=23$

4. n = 0.2374
   A = 0.188
   m = 1.97
   C = 0.0333

5. $v_*=\sqrt{9.81*2.83*0.0004}=0.1054$

6. $F_{gr}=\frac{0.1054^{0.2374}}{\sqrt{(9.81*0.001(2.65-1))}}[\frac{1.03}{\sqrt{32}\log(10*2.\frac{83}{0.001})}]^{0.7626}=0.4025$

7. $G_{gr}=0.0333(\frac{0.4025}{0.188}-1)^{1.97}=0.0432$

8. $X=0.0432(\frac{2.65*0.001}{2.83})(\frac{1.03}{0.0886})^{0.2374}=0.0000724=72ppm$

9. $q_s=0.000072*70=0.00507$ tonnes/s

٣/٤

The sediment transport rate increases for both the cases of channel improvement. This indicates that there is more likelihood of deposition as the river is carrying more sediment. However the exact nature of any morphological problems cannot be determined from these simple calculations and it is recommended that a morphological model study be carried out.

۲-۶) مدل های فیزیکی رودخانه ای (Physical Models)

بررسی و پیش بینی تغییرات

← ساخت مدل رودخانه ای (با مقیاس مناسب کوچکتر) ،
← معمولاً مدل تغییر شکل یافته (Distorted Model) - با بستر قابل و بستر متحرک.
← و ارزیابی شرایط جریان و تغییرات بستر (در شرایط طبیعی و یا ساماندهی).
یا تاثیر احداث پل، سد، خاکریز و ...

۲-۷) مدل های ریاضی (مدل های مرفولوژیکی): Morphological Models

← شبیه سازی هندسه بازه رودخانه ای و تغییرات رودخانه ای
- برای یک بازه طولانی و در مدت زمان مورد نظر (زیاد).

← شبیه سازی تغییرات موضعی (آبشستگی موضعی) در اثر سازه های رودخانه ای.
- برای یک بازه کوتاه تر و در مدت زمان کمتر.

از طریق: حل همزمان معادلات {
- پیوستگی و ممنتم جریان
- " بار رسوب (کف)
- معادلات بار رسوبی
- " آشفتگی حرکت مواد رسوبی

مدل ها: {
- جریان پایدار و
- " شبه پایدار
- " ناپایدار
{
- یک بعدی (1D)
- دو بعدی (2D)
- سه بعدی (3D)

مدل ریاضی "مرفولوژیکی" - شبیه سازی روند مارپیچی شدن

Crosato (1990)

Fig. 3.21. Definition sketch for sinusoidal channel.

تندتر شدن میچ
بازگشت میچ؟
پایداری

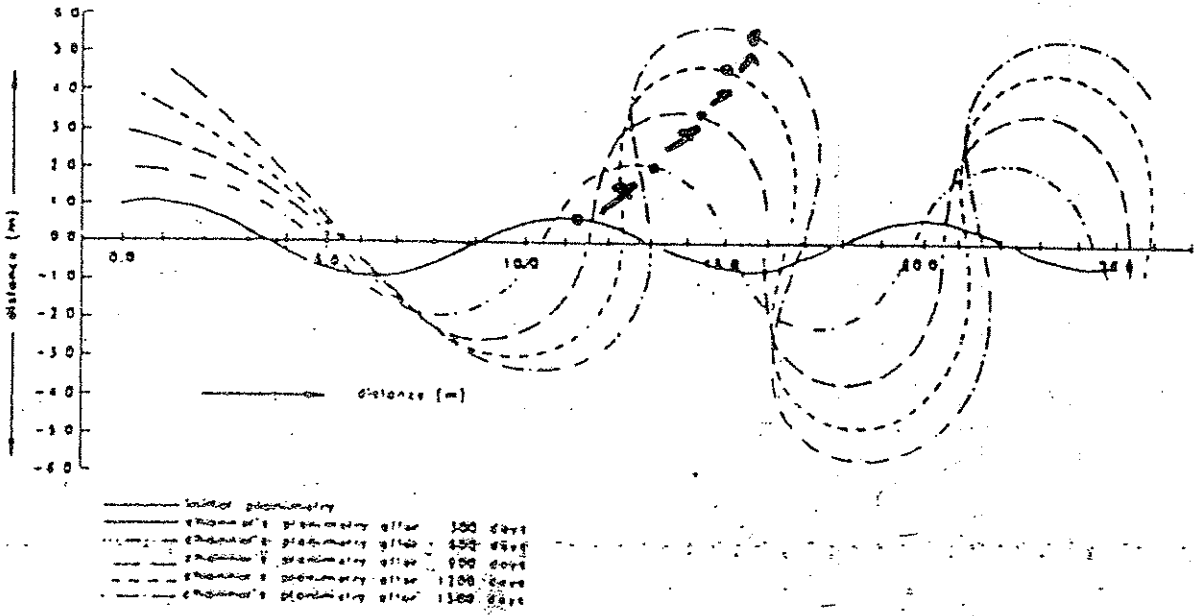


Fig. 3.22. Simulation of the development and migration of meander bends (after Crosato, 1990)).

مطالعات و ارزیابی تغییرات و پایداری رودخانه ها

(۱) اطلاعات عمومی مورد نیاز در تحلیل رفتار رودخانه ای :

← جدول (۹) ، (۱۲) ضمیمه (ص ۲۲۵ ، ص ۲۳۲) + مطالعات پایه (زمین شناسی و ...)
+ جدول شناسه مورفولوژی رودخانه

(۲) بررسی روند تغییرات رودخانه :

روند تغییرات در گذشته رودخانه (مقایسه در حداقل ۳ دوره زمانی - در طی حدود ۳۰ سال)

روند تغییرات در قبل و بعد از یک سیلاب

عکس برداری هوایی از دشت سیلاب رودخانه

روند تغییرات در قبل و بعد از طرح سامانده‌ی

یا هرگونه تغییرات در سیستم رودخانه

منابع بررسی : * نقشه ها ، عکس های هوائی ، سنجش از راه دور (ماهواره ای و ...)

** موقعیت های مبنائی و شاخص های ثابت و موجود

(عوارض طبیعی : بیرون زدگی سنگ ، تپه ؛ ...

- مصنوعی : پل ، جاده ، تاسیسات ، میل مزری ، ...)

روش : تطبیق شواهد فوق - بر اساس سیستم مختصاتی دقیق (منطقه جغرافیائی یا منطقه ای).

با مقیاس مناسب (۱:۱۰۰۰۰ یا ...)

با دقت کافی (چند متر در سال)

(۳) بررسی عوامل تغییرات :

← تاثیر عوامل زمین شناسی ، توپوگرافی و اقلیمی : در دوره های کوتاه مدت ناچیز است.

← تاثیر جریانات سطحی ، بار رسوبی ، اقدامات انسانی و ... " " " قابل توجه است.

(۴) بررسی شدت تغییرات و جابجائی ها

← روند تدریجی ، پیوسته ، معین و جهت دار { - نسبت به زمان ؟ - نسبت به مکان - در بازه های مختلف همسان است ؟

← روند تغییرات ناپیوسته ، نامعین ، ناگهانی و شدید ؟ { - در چه زمان هائی ؟ - چرا ؟ سیل ؟ اقدامات خاص ؟

← شدت تغییرات نسبت کم (متر در سال) در بازه های مستقیم ؟ در قوس ها ؟

۵) تشخیص و تفکیک بازه‌های مختلف رودخانه
بر اساس مشخصات عمومی مرفولوژیکی
با توجه به عوامل مشترک تغییرات
جدا سازی بازه‌های با تنظیم آزاد از بازه‌های با کنترل طبیعی یا مصنوعی

۶) تشخیص عمومی بازه‌های شاخص پایدار - بازه‌های بستر مستقیم، پیچ‌ها، مانیچ‌ها.
" " " ناپایدار

← مشخصات فیزیکی، هندسی و مرفولوژیکی بازه‌های پایدار:
← بهترین شاهد برای ارزیابی پایداری بازه‌های دیگر
← بهترین شاخص برای طرح پایدار بازه‌های مذکور.

۷) تحلیل پایداری رودخانه
← در شرایط طبیعی و موجود آن
← در شرایط تغییرات آینده (طبیعی یا مصنوعی)

۷-۱) روش‌های کیفی:
← تحلیل درست، سریع، با اطلاعات کم صحرائی: شناخت مقدماتی
← جدول (۱۰) ضمیمه: Shen (1984)

۷-۲) روش‌های تجربی:
تحلیل تکمیلی، با اطلاعات بیشتر صحرائی
برمبنای مقایسه خصوصیات بازه‌ها با متوسط خصوصیات بازه‌های پایدار
فرضیه: بسیاری از عوامل تغییرات طبیعی در بازه‌های مختلف یک رودخانه مشترک هستند.
جدول (۱۱) ضمیمه: Shen (1984)

۷-۳) روش‌های هیدرولیکی:
تحلیل دقیقتر و کمی از شرایط پایداری بازه‌ها و تاثیر متغیرها.
← جدول (۱۲) ضمیمه:
← روش تریم، تنش برشی، توان جریان، انتقال رسوب، مدل‌ها

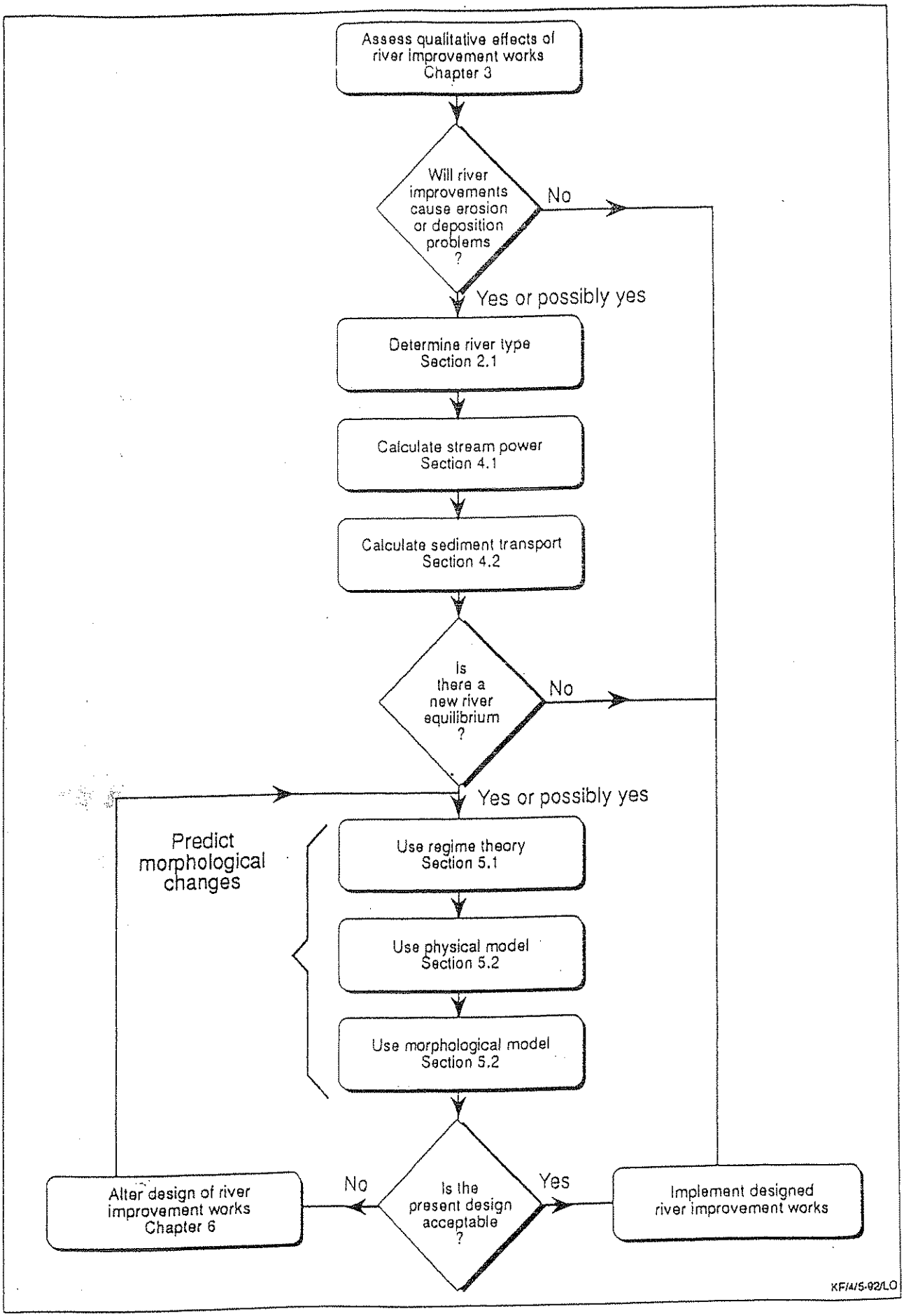


Figure 4 Predicting morphological impact of river emprovement works in channels – flow diagram

منبع: یاسی (۱۳۶۷)

عکسهای هوائی و نقشه‌های موجود :

درمطالعه مرفولوژی رودخانه وبررسی وضعیت تاریخی تغییرات وجابجائی آن ،الگوی کلی وابعاد رودخانه ، عوامل محدودکننده توپوگرافی وزمین شناسی ،وضعیت دیواره‌های رودخانه ،تشخیص بازه‌های فرسایشی ، نوع اراضی ساحلی ونحوه بهره برداری از آنها ،موقعیت تاسیسات درارتباط با رودخانه و... استفاده از نقشه‌ها وعکسهای هوائی کاربرد وسیعی دارد (شن (۱)، ۱۹۸۴ وپترسن (۲)، ۱۹۸۶) . نقشه‌های توپوگرافی بزرگ مقیاس (۱:۵۰،۰۰۰) برای شناسائی منطقه طرح وشرایط کلی رودخانه ونقشه‌های کوچک مقیاس (۱:۲۰۰،۰۰۰) برای مطالعه خاص وجزئی بازه‌های رودخانه مورد استفاده قرار میگیرند (کلرهال وهمکاران (۳)، ۱۹۷۶ وشن ۱۹۸۴) .

کاربرد عکس های هوائی بهتر از نقشه‌های زمینی جزئیات زمین را نشان میدهند . همچنین اگر نقشه‌های زمینی هر ۵۰ سال دوبار تهیه شوند ، عکسهای هوائی با هزینه وزمان کمتر وبا تناوب بیشتری (مثلا" هر ۵ سال یکبار) برداشت میشوند که از این طریق میتوان تاثیر حوادث ومتغیرها را روی شرایط رودخانه بررسی نمود (شن ، ۱۹۸۴) .

عکسهای هوائی با حداکثر مقیاس (۱:۲۰،۰۰۰) برای مطالعات کافی هستند (راف وهمکاران (۴)، ۱۹۷۶) .برای مطالعه تاریخی رودخانه نقشه‌ها وعکس های هوائی سنوات گذشته به یک مقیاس (ترجیحا "۱:۱۰،۰۰۰) جهت مقایسه تبدیل میشوند (برادلی واسمیت (۵)، ۱۹۸۴) .

---

1)- Shen 2)- Petersen 3)-Kellerhals,et.al

4)- Ruff,et.al. 5)- Bradley and Smith

← عکس‌های هوائی (با حداکثر مقیاس $\frac{1}{20,000}$) ، مبنای مناسب وضروری برای تهیه نقشه برداری دقیق از رودخانه - در طرح‌های مهندسی رودخانه، پهنه‌بندی سیلاب وتعیین بستر وحریم قانونی هستند. منظور استفاده عبارتند از : ۱- تشخیص گستره عرضی سیلاب رودخانه برای تعیین مرزهای نیزتکیی خواه برداشت وتهیه نقشه توپوگرافی رودخانه.
۲- تعیین موقعیت‌های برداشت مقاطع عرضی وگستره عرضی آنها.
۳- تشخیص راستای مقاطع عرضی (عمود بر راستای عمومی رودخانه).
۴- تشخیص راستای گستره عرضی رودخانه [illegible]
۵- تشخیص [illegible]

بمنظور مطالعه حدود پیشروی سیلاب وسطح آب گرفتگی اراضی، عکسهای هوائی درزمان وقوع سیلاب تهیه شده وهمچنین مقایسه عکسها درفاصله قبل وبعد ازسیلاب، شدت تاثیر متغیرها روی رودخانه را نشان میدهند (راف وهمکاران، ۱۹۷۶ وبرادلی واسمیت، ۱۹۸۴).

تفسیر عکسهای هوائی خالی از اشکال نبوده وخطاهای عکسبرداری ازدقت کار میکاهد. همچنین تغییرات جزئی درابعاد ومارپیچ رودخانه قابل تشخیص نبوده ومقایسه عکسها درشرایط سیلابی وکم آبی گاهی گمراه کننده میباشد مگرآنکه چندین سری متوالی با تناوب زمانی معین گرفته شوند.

مشاهدات وبررسیهای صحرائی:

مطالعه دقیقتر بازه‌های فرسایشی ـ که ازروی عکسهای هوائی تشخیص داده شده وبررسی عوامل ومتغیرهائی که باعث تخریب وفرسایش هستند نیازمند مشاهدات صحرائی میباشد. پروازبا ارتفاع کم درمحدوده بازه‌های فرسایشی، خصوصیات ظاهری رودخانه ووضعیت اراضی ساحلی را بهترنشان میدهد. همچنین تهیه عکس ازمشاهدات غیرعادی وخاص برای بررسی موضعی زمینی لازم میباشد.

مباحثه وگفتگو با اهالی منطقه پیرامون نحوه تغییرات رودخانه اطلاعات مفیدی میدهد، گرچه خاطره‌ها وداستانهای افراد گاهی اوقات موردتردید خواهدبود (۱) (شن، ۱۹۸۴).

بررسی ایستگاههای هیدرومتری، جمع آوری اطلاعات صحرائی ازرسوبات کف ودیواره‌ها، بررسی اثرات تخریبی سیل وشناسائی عوامل تخریب ومسائل خاص موضعی ـ حداقل دریک دوره یکساله ـ ضروری میباشد (شن، ۱۹۸۴).

1)-Shen

← بررسی‌های صحرائی (میدانی) همچنین بمنظور:
۱ـ تعیین حد پیشروی سیلاب در سیل‌های گذشته.
۲ـ تعیین دامنه سیلاب‌های اخیر.
۳ـ تشخیص تغییرات رودخانه‌ای ـ بعد از عکس‌ها و نقشه‌های موجود
(در انگلوند صفحه ۱۰ ـ لغزانات شیب)

بررسی زمین شناسی :

مطالعه اجمالی زمین شناسی درمحدوده رودخانه با استفاده از نقشه‌های زمین شناسی ، عکسهای هوائی ، گزارشات موجود و نیز بررسیهای صحرائی برای تشخیص تاثیر عوامل زمین شناسی درکنترل آزادی رودخانه درتعیین الگوی مارپیچ ، گسترش عرضی ، شیب و ابعاد آن ضروری میباشد .

تفکیک نوع تشکیلات زمین شناسی و تغییرپذیری نوع و مشخصات کلی آبرفت درطول رودخانه و نیز در دو سمت آن راهنمای بررسیهای خاص و موضعی درتشخیص عمق و گستردگی سنگ کف و انتخاب محل گمانه های ژئوتکنیک و آزمایشات مکانیک خاک خواهد بود . همچنین تشخیص موقعیت گسل هائی که درمحدوده رودخانه وجود دارند و نیز وضعیت آنها از نظر فعال یا غیرفعال بودن ضروری میباشد . گسل هائی که رودخانه را در امتداد عرضی قطع میکنند یک ناحیه تکتونیکی موضعی ایجاد مینمایند یا گسل هائی که به موازات رودخانه امتداد دارند عموما " عامل تعیین کننده در انتخاب مسیر رودخانه میباشند (سیمون (۱) ، ۱۹۷۱ وپترسن ، ۱۹۷۶) .

نقشه برداری زمینی : (River Survey)

*

برای مطالعات جزئی ابعاد و هندسه هیدرولیکی بازه مورد مطالعه از رودخانه برداشت نقشه توپوگرافی با مقیاس کوچک ضروری میباشد (شن ، ۱۹۸۴) .

نقشه برداری از رودخانه بصورت توپوگرافی و پلان - همراه با مقاطع عرضی انجام شده و برای اهداف زیر مورد استفاده قرار میگیرد :

- تعیین مشخصات هندسه هیدرولیکی برای بررسیهای مرفولوژیکی و هیدرولیکی .
- محاسبات پروفیل سطح آب درشرایط رژیم طبیعی رودخانه و نیز

1)- Simons

* قبل از اقدامات برای نقشه برداری زمینی ، بررسی عکس های هوائی اخیر و نیز مطالعات صحرائی صورت گیرد تا :
۱- راستای عمومی رودخانه ،
۲- نوار عرضی نقشه برداری - براساس عوارض طبیعی زمین و دشت سیلابی رودخانه ،
۳- موقعیت مقاطع عرضی و تعداد مقاطع عرضی لازم ،
۴- راستای مقاطع عرضی نسبت به راستای رودخانه
۵- تشخیص نوع رودخانه (مستقیم / شریانی / مارپیچ) - مقطع ساده / مقطع مرکب) تعیین گردد .

۶- موقعیت و عرض جاده در سطل بالای رودخانه (جهت پیاده روی) .
۷- عوارض با موقعیت های خاص (تیر برق ، خط لوله ، ...)

درچهارچوب طرح اصلاح مسیر وحفاظت دیواره‌ها .

- ارائه نقشه‌های اجرائی

بهتراست توپوگرافی وپلان رودخانه همزمان با مقاطع عرضی ونسبت به یک مبناء ارتفاعی مشترک برداشت شوند .زیرا درصورتیکه برای نقشه توپوگرافی جداگانه ازعکسهای هوائی استفاده شود مشکل انطباق زمانی وهمچنین انطباق مبناء ارتفاعی خواهد داشت (مهندسی ارتش آمریکا ۱۹۷۵).

توپوگرافی وپلان رودخانه با مقیاس (۱:۱۰۰۰) تا (۱:۵۰۰۰) ومعمولا" با مقیاس (۱:۲۰۰۰) با فواصل خطوط کنتوری ۰/۳ تا ۳ متردرمحدوده طولی حریم رودخانه برداشت میشود (پترسن[1] ، ۱۹۸۶) .مقاطع عرضی نیز عمودبرراستای جریان وباعرض کافی (بیشتراز ماکزیمم حدودپیشروی سیلاب درا راضی ساحلی) ودرفواصل معین ازطول رودخانه تهیه میشوند .

مقاطع عرضی معمولا" ازسمت چپ به‌سمت راست رودخانه وبطورمتوالی درجهت بالادست رودخانه وبا یک مقیاس مشترک برداشت شده وموقعیت آنها روی نقشه‌پلان رودخانه نمایش داده میشود (مهندسی ارتش آمریکا ، ۱۹۷۵).

برای تعیین فاصله مقاطع عرضی ازیکدیگرقاعده مشخصی وجودندارد .بطور کلی برای رودخانه‌های سیلاب دشتی با شیب کم (کوچکتراز ۰/۰۰۰۷) ومقاطع نسبتا" یکنواخت ، مقطع عرضی حداکثر به فاصله ۱/۵ کیلومترلازم میباشد .

ولی برای رودخانه‌های با شیب بیشتر ومقاطع نامنظم تقریبا" بفاصله هر ۳۰۰ متریک مقطع عرضی برداشت میشود .بهرحال درمحلهای تغییر ناگهانی شیب ، درعرض ، درزبری بستر وهمچنین محل ورودی شاخه‌های فرعی ونیزدربالادست وپائین دست تاسیسات ومقاطع کنترل ، برداشت مقطع عرضی جهت دقت درمحاسبات هیدرولیکی لازم خواهدبود (مهندسی ارتش آمریکا ، ۱۹۷۱ و ۱۹۷۵).

تعداد نقاط درمقطع عرضی بایدنشانگرتغییرات مقطع وحداکثر ۱۰۰ نقطه باشد . ترتیب نقاط مقطع عرضی (با مختصات x,z) از ساحل چپ به راست رودخانه باشد.

---

1)- U.S.Army Corps of Engineers

2)- Petersen

* درمحدوده پل یا هر نوع تبدیل و ناپیوستگی از جمله سازه‌های آبی : ۴ مقطع لازم است .

** درمحدوده پیچ رودخانه : حداقل ۳ مقطع (ورودی - میانی وخروجی) لازم است .

+ دربرگه اطلاعات عرضی تقاطع عرضی باید اطلاعات زیر باشد: ۱- موقعیت خط‌العقر ؛ ۲- موقعیت لبه بالای دیواره مقطع اصلی رودخانه (B.C.) درساحل چپ ورات ؛ ۳- موقعیت شاهد دوراه بستر کبیر رودخانه ؛ ۴- تغییرات کاربری اراضی (برای تعیین ضریب زبری ومنینگ) در بستر سیلابی ؛ ۵- حداقل سه مقطع عرضی در بستر اصلی رودخانه .

(۲۳۳)

مهندسین مشاور سازه پردازی ایران تهیه سازی نظام ساماندهی رودخانه های ایران(IRTSO)	فرم اطلاعات رودخانه H-01	تاریخ: شماره: H-01/ ۱/٤

۱.نام رودخانه:

۲.نام رودخانه(لاتین):

۳.طول رودخانه:

۴.مرتفعیت: ☐ داخلی ☐ مرزی ☐ داخل‌مرزی

۵.نوع رودخانه: ☐ شریانی ☐ پیجانروی ☐ مستنبم ☐ مرکب

۶.نام کشور/کشورها:

۷.محدوده جغرافیایی

شرکتهای آب منطقه‌ای مرتبط:

استانهای عبوری:

شهرهای عبوری از بالادست:

مرتفعیت سرچشمه مکان: طول: عرض:

مرتفعیت مصب مکان: طول: عرض:

۸.طبقه بندی رودخانه بر اساس تیپ‌گرانی

ردیف	ریخت شناسی رودخانه			کیلومتر ابتدا از سرچشمه	کیلومتر انتها از سرچشمه	شیب متوسط(٪)	بده متوسط بازه(m3/s)	بده متوسط رسوبی(m3/s)	جنس بستر
	شریانی	پیجاندری	مستنبم						

۹.رژیم رودخانه: ☐ دایمی ☐ فصلی ☐ خشک فصول پر آبی: فصول کم آبی:

۱۰.زیرحوزه‌های مرتبط: پوشش گیاهی(متراکم=۱،نیمه‌متراکم=۲،تنک=۳،بدون پوشش=٤)

ردیف	نام	مساحت(ha)	شیب متوسط(٪)	طول آبراهه اصلی(km)	متوسط بارش(mm)	متوسط بده خروجی(m3/s)	پوشش گیاهی

۱۱.وضعیت بهره‌برداری: ☐ آب شرب و کشاورزی ☐ معادن و منابع رسوبی ☐ ترابری آبی ☐ تفریحی و گردشگری ☐ پرورش آبزیان ☐ صنعتی

☐ تولید برق و انرژی(برقابی) ☐ سایر:

۱۲.سرشاخه‌ها:

ردیف	نام	محل اتصال (کیلومتراز سرشاخه)	طول(km)	شیب متوسط(٪)	بده متوسط(m3/	متوسط آورد سالانه آب(Mm3)	متوسط آورد سالانه رسوب(Mm3)

۱۳.مشکلات حاکم بر رودخانه: ☐ کم آبی ☐ فرسایش کناره و تخریب ☐ سیل ☐ کنیت آب ☐ تجاوز به حریم و بستر ☐ برداشت بی رویه مصالح

☐ سایر:

تکمیل کننده، فرم:	مسئول گروه جمع آوری اطلاعات:	مسئول وارد نمودن اطلاعات:	مسئول گروه بانک اطلاعاتی:
تاریخ و امضا:	تاریخ و امضا:	تاریخ و امضا:	تاریخ و امضا:

مهندسین مشاور سازه پردازی ایران
بهینه سازی نظام سامانه‌دهی رودخانه های ایران(IRTSO)

اطلاعات خدمات کارنرمایی
H-04(2/2)

تاریخ:
شماره:

۵.ژئوتکنیک

نوع نمونه‌برداری				سال	تعداد				متوسط عمق حفاری		مشاور ژئوتکنیک رآزمایشگاه	نوع آزمایشات صحرایی انجام شده یا در دست انجام	نوع آزمایشات آزمایشگاهی انجام شده یا در دست انجام	خلاصه نتایج
حفر گمانه مکانیکی	حفر چاهک دستی	آزمونهای صحرایی	آزمونهای آزمایشگاهی		حفر گمانه مکانیکی	حفر چاهک دستی	شرکت دست نخورده	نمونه دست خورده	گمانه‌های مکانیکی	چاهکهای دستی				

۶.تهیه عکسهای هوایی

متیاس				سال	محل تهیه		تعداد	سایر مشخصات	هزینه خرید
سایر متیاسها	۱:۲۰۰۰۰	۱:۴۰۰۰۰	۱:۵۰۰۰۰		سازمان نقشه برداری کشور	سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح			

۷.تهیه تصاویر ماهواره ای

نوع		سال	مشخصات ماهواره	محل تهیه		تعداد نرم	تعداد باند	سایر مشخصات	هزینه خرید
دورنی	غیر دورنی								

۸.نقشه های توپوگرافی کوچک متیاس

نوع و تعداد (متیاس نقشه‌های توپوگرافی)				سال	محل تهیه		نوع		سایر مشخصات	هزینه خرید
۱:۵۰۰۰۰	۱:۲۵۰۰۰۰	۱:۵۰۰۰۰۰	۱:۱۰۰۰۰۰۰		سازمان نقشه برداری کشور	سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح	دورنی	غیر دورنی		

۹.نقشه های زمین شناسی

نوع و تعداد (متیاس نقشه‌های زمین شناسی)				سال	محل تهیه		نوع		سایر مشخصات	هزینه خرید
۱:۵۰۰۰۰	۱:۱۰۰۰۰۰	۱:۲۵۰۰۰۰	۱:۵۰۰۰۰۰		سازمان زمین‌شناسی کشور	شرکت ملی نفت ایران	دورنی	غیر دورنی		

۱۰.سایر خدمات کارفرمایی

نوع و مشخصات	سال	توضیح

تکمیل کننده فرم:
تاریخ و امضا:

مسئول گروه جمع آوری اطلاعات:

مسئول وارد نمودن اطلاعات:

مسئول گروه ...

(۲۳۵)

مهندسین مشاور سازه پردازی ایران بهینه سازی نظام ساماندهی رودخانه های ایران(IRTSO)	مشخصات معادن شن‌وماسه H-02	تاریخ: شماره: H-02/۳/۴

۱.نام معدن:

۲.نام رودخانه مرتبط:

۳.نوع مصالح:
☐ ماسه ☐ شن ☐ مخلوط

۴.مشخصات جغرافیایی

محل معدن:

درمحدوده شرکت آب منطقه‌ای ..... طول جغرافیایی: عرض جغرافیایی:

اداره کل امور آب استان.....

۵.ابعاد معدن طول: عرض: عمق:

۶.رضمیت مجوز ☐ بامجوز حجم برداشت مجاز: دستگاه صادر کننده مجوز:

☐ بدون مجوز حجم برداشت واقعی:

۷.رضمیت حقوقی
☐ پرونده مفتوحه در دادگاه دارد
☐ تعطیل شده با حکم دادگاه

۸.برداشت کننده: ☐ دولتی ☐ غیردولتی

۹.وضمیت: ☐ فعال ☐ غیرفعال

۸مطالعات ☐ انجام نشده ☐ انجام شده نام مشاور: تاریخ مطالعه:

هزینه کارشناسی صدور مجوز دستگاه ذینفع و مرجع آن:

۹.نظارت بر بهره برداری ☐ دارد ☐ ندارد مسئول نظارت:

۱۰.عواقب ناشی از برداشت مصالح:

تکمیل کننده فرم: تاریخ و امضا:	مسئول گروه جمع آوری اطلاعات: تاریخ و امضا:	مسئول وارد نمودن اطلاعات: تاریخ وامضا:	مسئول گروه بانک اطلاعاتی: تاریخ و امضا:

مهندسین مشاور سازه پردازی ایران بهینه سازی نظام ساماندهی رودخانه های ایران(IRTSO)	مشخصات معادن شن‌وماسه H-02	تاریخ: شماره: H-02/

۱.نام معدن:

۲.نام رودخانه مرتبط:

۳.نوع مصالح:
☐ ماسه ☐ شن ☐ مخلوط

۴.مشخصات جغرافیایی

محل معدن:

درمحدوده شرکت آب منطقه‌ای ..... طول جغرافیایی: عرض جغرافیایی:

اداره کل امور آب استان.....

۵.ابعاد معدن طول: عرض: عمق:

۶.رضمیت مجوز ☐ بامجوز حجم برداشت مجاز: دستگاه صادر کننده مجوز:

☐ بدون مجوز حجم برداشت واقعی:

۷.رضمیت حقوقی
☐ پرونده مفتوحه در دادگاه دارد
☐ تعطیل شده با حکم دادگاه

۸.برداشت کننده: ☐ دولتی ☐ غیردولتی

۹.وضمیت: ☐ فعال ☐ غیرفعال

۸مطالعات ☐ انجام نشده ☐ انجام شده نام مشاور: تاریخ مطالعه:

هزینه کارشناسی صدور مجوز دستگاه ذینفع و مرجع آن:

۹.نظارت بر بهره برداری ☐ دارد ☐ ندارد مسئول نظارت:

۱۰.عواقب ناشی از برداشت مصالح:

تکمیل کننده فرم: تاریخ و امضا:	مسئول گروه جمع آوری اطلاعات: تاریخ و امضا:	مسئول وارد نمودن اطلاعات: تاریخ وامضا:	مسئول گروه بانک اطلاعاتی: تاریخ و امضا:

۲۳۶

مهندسین مشاور سازه پردازی ایران بهینه سازی نظام ساماندهی رودخانه های ایران(IRTSO)	فرم اطلاعات پروژه های ساماندهی رودخانه C-01	تاریخ: شماره: C-01/۴/۴

۱.عنوان پروژه:

۲.نوع: ☐ مطالعاتی ☐ اجرایی ☐ تحقیقاتی ☐ علمی،ترویجی

۳.اهداف:

۴.موضوع: ☐ کنترل فرسایش و رسوب ☐ کنترل سیل ☐ تعیین حدحریم و بستر ☐ تثبیت بستر و سواحل ☐ اصلاح مسیر ☐ ترابری آبی ☐ کنترل کیفیت و محیط زیست ☐ مصالح ومعادن رودخانه‌ای ☐ ساماندهی به منظورتفریح و تفرج ☐ استحصال اراضی ☐ سایر:

۵.مشخصات جغرافیایی: طول: عرض: \ نزدیکترین شهر/روستا:

محل اجرا:

در محدوده شرکت آب منطقه‌ای: اداره کل امور آب استان:

۶.مشخصات رودخانه: ☐ مرزی ☐ غیرمرزی متوسط آورد سالیانه: مرجع:

نام رودخانه: طول پروژه:

۷.تشکلها و دستگاههای مرتبط: کارفرمای اصلی:

پیمانکار: مشاور/محقق/مجری:

دستگاه نظارت:

۸.خدمات کارفرمایی:

تئشه‌برداری زمینی	☐ شده ☐ نشده	مقیاس:	وسعت:	تئشه‌بردار:
تئشه‌برداری هوایی	☐ شده ☐ نشده	مقیاس:	وسعت:	
هیدروگرافی:	☐ شده ☐ نشده		رسعت:	تئشه‌بردار:
ژیوگرافی:	☐ شده ☐ نشده	مقیاس:	وسعت:	تئشه‌بردار:
مقطع برداری:	☐ شده ☐ نشده	مقیاس:	تعداد:	تئشه‌بردار:

۹.مرحله پروژه: ☐ شناخت ☐ مرحله ۱ ☐ مرحله ۲ ☐ اضطراری ☐ اجرا ☐ بهره برداری و نگهداری ۱۰.وضعیت: ☐ فعال ☐ غیر فعال

۱۱.زمانبندی و هزینه

	زمان شروع	زمان خاتمه	پیشرفت فیزیکی(٪)	کل هزینه ریالی	پیشرفت ریالی(٪)
پیش‌بینی‌شده					
واقعی					

۱۲.نوع سازه‌های اجرایی:

۱۳.آدرس سایتهای اینترنتی مرتبط:

۱۴.توضیح:

تکمیل کننده فرم: تاریخ و امضا:	مسئول گروه جمع آوری اطلاعات: تاریخ و امضا:	مسئول وارد نمودن اطلاعات: تاریخ وامضا:	مسئول گروه بانک اطلاعاتی: تاریخ و امضا:

بررسی پایداری رودخانه :

الف) ارزش کمی اطلاعات در بررسی پایداری :

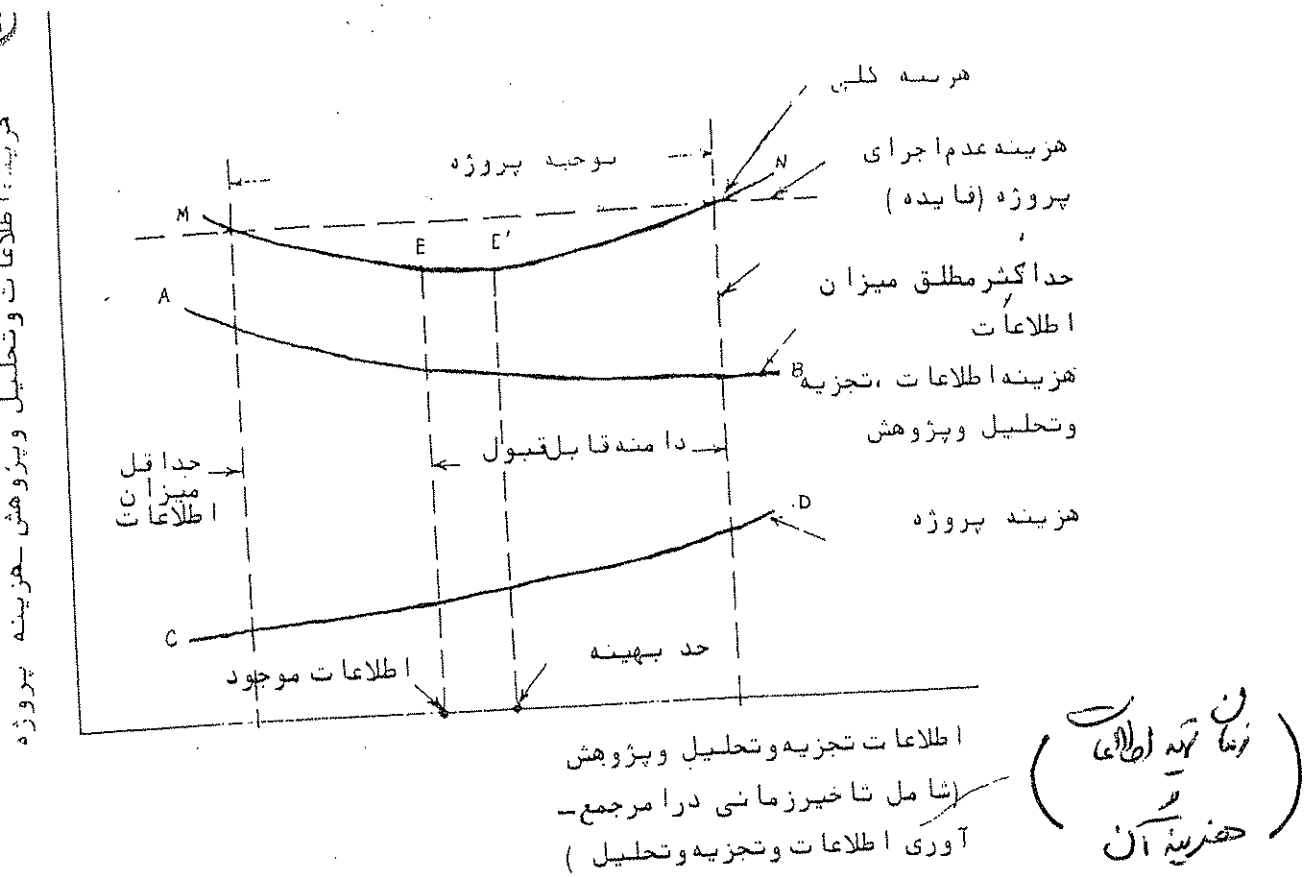
منابع اطلاعات وروندجامع بررسیهای موردنیازکه قبلا" بحث شد برای مطالعه رفتار طبیعی رودخانه درشرایط فعلی وپیش بینی وضعیت آن درآینده ، ازاهمیت ویژه ای برخوردار است .اما جمع آوری این اطلاعات وتحلیل آنها مستلزم صرف زمان وهزینه زیادخواهدبود .گرچه هزینه مطالعات درارتباط باکل هزینه های طرح ناچیز میباشد (شن (۱) ، ۱۹۸۴). شکل (۲۷) روابط بین هزینه اطلاعات ، تحلیل وپژوهش (منحنی AB)وهزینه پروژه (منحنی CD)را نشان میدهد . ازمجموع دومنحنی فوق ،منحنی (MN) بدست میآید که نشان دهنده هزینه کل پروژه است .قابل توجیه بودن پروژه (۲) بوسیله دوحد مینیمم وماکزیمم اطلاعات مشخص شده است .نقطه E نشان دهنده هزینه جمع آوری اطلاعات موجود ونقطه 'E وحدبهینه (۳) میباشد . بدیهی است که جهت اطمینان ازموفقیت یک پروژه ، اطلاعات جمع آوری شده باید بین حد E وحدحداکثر اطلاعات باشد .

مسئله دیگراین است که جمع آوری اطلاعات اضافی لزوما" باعث ارائه طرح اقتصادی ترنمیگردد . گرچه اطلاعات اضافی سبب سهولت تصمیم گیری واطمینان بیشتراست ولی برای رسیدن به این هدف نیز باید میزان اطلاعات اضافی ازنظر اقتصادی توجیه پذیرباشد .شکل(۲۸) ارزش هزینه اطلاعات اضافی را دررابطه باطول دوره جمع آوری اطلاعات نشان میدهد .ازاین شکل استنباط میشود که اطلاعات باید تا آنجا جمع آوری شودکه ارزش اضافی برابرهزینه اضافی گردد (شن ، ۱۹۸۴).

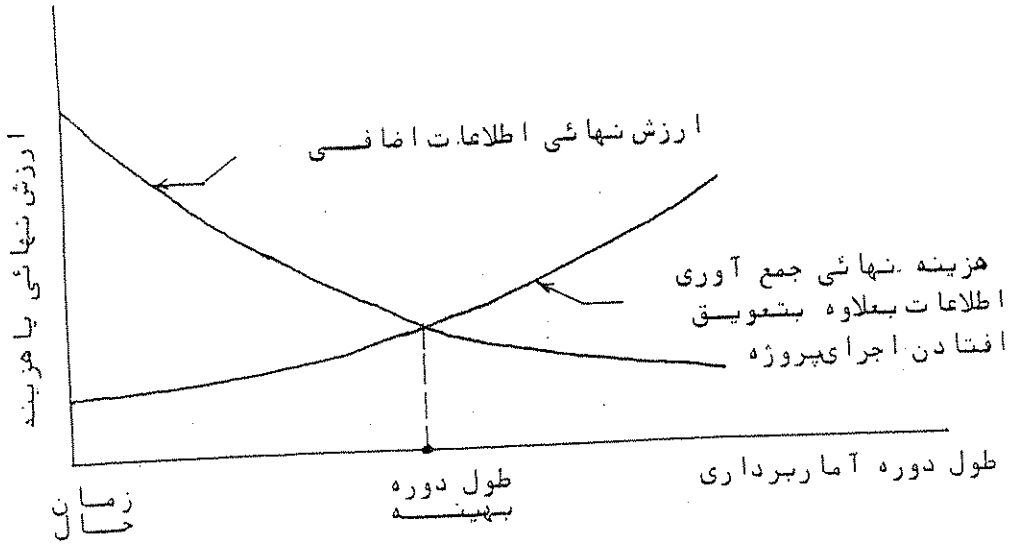
---

1)- Shen 2)- Feasibility of project

3)- Optimum level



شکل (۲۷) منحنی نمایش ارزش اطلاعات وتجزیه وتحلیل



شکل (۲۸) ارزش وهزینه نهائی دررابطه باطول دوره آماربرداری

ب) روشهای بررسی پایـــداری :

اطلاعات عمومی مورد نیاز جهت تحلیل رفتار رودخانه و منابع تهیه آنها درجدول (۹) ضمیمه نشان داده است . براساس تجارب بدست آمده ، تحلیل پایداری جانبی (۱) - متناسب با سطح بررسی ودرجه اهمیت - از سه روش : کیفی ،تجربی وهیدرولیکی قابل انجام میباشد (شن ، ۱۹۸۴).

روش کیفی (۲) : جدول (۱۰)ضمیمه اطلاعات موردنیاز جهت این روش را ارائه میدهد. نتایج جدول نشان میدهد که تنها با بررسیهای صحرائی واستفاده ازعکسهای هوائی - بدون استفاده از اطلاعات درازمدت ویا وضعیت گذشته رودخانه میتوان پایداری رودخانه را بررسی نمود . سادگی این روش ازجنبه های مثبت آن میباشد .

روش تجربی (۳) : دراین روش علاوه براطلاعات فوق ،اندازه گیری های کمی نیزصورت میگیرد . دقت اندازه گیریها تابعی از اهمیت پروژه میباشد . اساس این روش مقایسه بازه های مختلف رودخانه وانتخاب یک یا چند بازه نسبتا " پایدار (۴) است بنحویکه بتوان ازمشخصات هندسه هیدرولیکی ومقایسه پارامترهای آن با بازه فرسایشی موردمطالعه ، وضعیت پایداری را ارزیابی نمود . جدول (۱۱) ضمیمه اطلاعات مورد نیازدرانجام این روش را نشان میدهد .

روش هیدرولیکی (۴) : دراین روش تحلیل پایداری با استفاده از نیروی برشی (۵) برای لایه ها و مواد غیرچسبنده (۶) انجام میگیرد . بطوریکه تنش برشی وارده درمقایسه با تنش برشی بحرانی مورد ارزیابی قرار میگیرد .جدول (۱۲) ضمیمه بطورخلاصه نحوه استفاده ازاین روش را نشان میدهد .

---

1)- Lateral Stability-Analysis 2)-Qualitative Method

3)- Empirical method 4)- Stable Reach

5)- Hydroulic Method 6)- Tractive force

7)- Non-Cohesive Material

جدول شماره (۹) صفحه : اطلاعات عمومی مورد نیاز در تحلیل رفتار و پایداری رودخانه + (تعیین حد بستر و ...)

نوع اطلاعات	منابع اطلاعات				
	عکس‌های هوائی	نقشه ها	بررسی صحرائی	بررسی هیدرولیکی	بررسی اقلیمی و هیدرولوژیکی
نوع رودخانه	×	(۱) ×	×		
ابعاد مارپیچ	× (۳)	(۱) ×	×		
هندسه مقاطع رودخانه		(۲) ×	×	×	
شیب		(۴) ×	×	×	
دبی ـ اشل				× (۵)	×
سرعت				× (۵)	×
تحلیل سیلاب					×
دبی رسوب				×	(۶) ×
دانه بندی رسوبات			×		
ضریب زبری			×	×	
وضعیت دیواره های رودخانه	×		×		
موقعیت بازه های فرسایشی	×		×		
ویژگیهای زمین شناسی	×	× (۷)	×		
تغییرات آبرفت	×	(۷) ×	×		
پوشش گیاهی	×		×		
استفاده از اراضی	×		×		
مواد تشکیل دهنده دیواره ها			×		
موقعیت تأسیسات	×		×		

(۱) مقیاس کوچک، (۲) مقیاس بزرگ، (۳) درصورتیکه اندازه گیری مقیاس روی عکسهای هوائی امکان پذیر باشد. (۴) متوسط شیب در طول زیاد، (۵) برای مقاطع خاص (۶) آمار رسوبات معلق (۷) نقشه های ویژه.

+ (Shen, 1984)

جدول شماره (۱۰ صفحه) ـ اطلاعات مورد نیاز جهت تجزیه وتحلیل پایداری به روش کیفی +

روش تجزیه وتحلیل	منبع اطلاعات*	اطلاعات مورد نیاز	ملاحظات
مشاهده وتجربه	۲	وضعیت ساحل رود خانه	علائم فرسایش جدید
	۲	علائم وجود نیروهای خارجی عامل فرسایش	موج ، ترافیک در حاشیه سواحل رود خانه
	۲	جنس مواد ساحل رود خانه	اندازه ، چسبندگی وتغییرات
	۲ و ۱	پوشش گیاهی	نوع واثرآن
	۲	شکل ساحل	نحوه تخریب وگسیختگی
	۲	ارتفاع ساحل	اندازه کمی مورد نیاز است
	۲ و ۱	شرایط جریان	مشخص نبودن قسمتهائی ازساحل که دردبی کم ودبی زیاد درمعرض حمله جریان قرار دارند .
	۲ و ۱	فعالیت بستررود خانه	تأثیربستربرروی پایداری دیواره های ساحل
	۲ و ۱	کارهای حفاظتی موجود در مقابل فرسایش	موفقیت یا شکست
	۲ و ۱	استفاده ازاراضی ساحلی	ارزش زمین وتأثیرفرسایش
	۲ و ۱	قابل دسترس بودن	جهت انجام امورحفاظتی
	۲ و ۱	محل سازه های آبی	—
	۱	محل فرسایش های شدید	—
	۱	نوع رود خانه	باتوجه به تأثیرشکل رود خانه بر روی فرسایش
	۱	تغییرات خاک در اثر فرسایش	—
	۱	جابجائی رود خانه درگذشته	—
	۱	جابجائی اخیردرراستای رود خانه	دیواره آب بند ، خاکریزهای کرتاه واقدامات حفاظتی دیگر

(در این صفحه ۴ آدم!)

* راهنمای منبع اطلاعات :

۱ـ عکسهای هوائی و نقشه های موجود

۲ـ مطالعات وبررسی صحرائی

+ (Shen, 1984)

جدول شماره (۱۱-۳) : تحلیل پایداری رود خانه به روش تجربی + (راهنمای کمی تهیه شده از این اطلاعات)

روش تحلیل	منابع اطلاعات*	اطلاعات مورد نیاز	ملاحظات
مقایسه با بازه ها و مقاطع پایدار	۴ و ۱	تشخیص بازه های مشابه	در صورت اهمیت پروژه از پارامترهای بیشتری استفاده شود. دقت زیادی لازم نیست.
	۵ یا ۳ و ۲ و ۱	شعاع انحناء پیچ	
	۵ یا ۳ و ۲ و ۱	طول موج رودانه مارپیچ	
	۵ یا ۳ و ۲ و ۱	عرض رود خانه	
روابط مربوط به شکل رود خانه	۴	دبی متوسط	از حل ایستگاه هیدرومتری بدست میآید. شیب کلی بازه.
	۵ یا ۳ و ۲	شیب رود خانه	
روابط مربوط به ابعاد مارپیچ	۵ یا ۳ و ۲ و ۱	عرض مقطع پر	ممکن است از دبی مقطع پر استفاده شود
	۵ یا ۳ و ۲ و ۱	طول موج مارپیچ	برای مقایسه با ابعاد بازه پایدار
	۲	دانه بندی مواد بستری	
روابط مربوط به هندسه رود خانه	۴	دبی متوسط سالیانه در چند محل رود خانه	مورد نیاز جهت کالیبراسیون روابط هندسه هیدرولیکی
	۳	عرض و عمق محاذل دبی متوسط سالیانه	
	۴	دبی متوسط سالیانه در بازه مورد مطالعه	
مقدار نسبی نیروهای فرسایشی	۲	مشاهدات صحرائی	مطابق روش کیفی

* راهنمای منابع اطلاعات : ۱ــ عکس های هوائی ، ۲ــ بررسی های صحرائی ، ۳ــ بررسی هیدرولیکی ، ۴ــ آمار هیدرولوژیکی ، ۵ــ نقشه ها

+ (Shen, 1984)

جدول شماره (۱۱-۳) ، تحلیل پایداری جانبی رودخانه به روش هیدرولیکی +

روش تحلیل	منابع اطلاعات *	اطلاعات مورد نیاز	ملاحظات
روش نیروی برشی	۳ یا ۲	شکل هندسی رودخانه	برای محاسبات هیدرولیکی نظیر: سرعت ، تنش برشی ، محاسبات پروفیل سطح آب
	۳ یا ۲	شیب	
	۳ یا ۲	عمق آب در دبی طراحی	
	٤	دبی طراحی	
	۳ یا ۲	ضریب زبری	
	۲	دانه بندی مواد دیواره	تعیین شاخص اندازه مواد نظیر D_{50} ، D_{75} یا D_{95}
	۲	شاخص شکل ذرات	برای محاسبه زاویه قرار ذرات
	٥ یا ۳ و ۲ و ۱	شعاع انحناء پیچ رودخانه	برای محاسبه تنش برشی اضافی در محل پیچ خارجی

* راهنمای منابع اطلاعات : ۱ــ عکس‌های هوائی ، ۲ــ بررسی‌های صحرائی ، ۳ــ بررسی هیدرولیکی ، ٤ــ آمار هیدرولوژیکی ــ ٥ــ نقشه‌ها .

+ (Shen, 1984)

جدول شناسه مرفولوژی رودخانه

بازه	زیربازه	نوع بازه (شهری، روستا یی، صنعتی و...)	طول از مبنا (km)	شیب طولی (٪)	شکل مقطع عرضی		مواد بستر				مواد دیواره				پوشش گیاهی			متوسط عرض (m)	متوسط عمق (m)	مشخصات ماریچ			
					ساده	مرکب (سیلابدشتی)	لایه سطحی		لایه زیر سطحی		یکنواخت		لایه ای		بستر	دیواره	بالا			طول موج (m)	دامنه (m)	شعاع انحنا (m)	طول بازه مستقیم بین دو پیچ
							بافت	اندازه متوسط	بافت	اندازه متوسط	بافت	اندازه متوسط	بافت	اندازه متوسط									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24

جدول شناسه مرفولوژی رودخانه

تداوم جریان (دائمی، فصلی)	جریان متوسط (m3/s)	جریان مقطع پر	سیل متوسط سالیانه	نسبت سیل های 10 ساله به سیل متوسط	نسبت سیل های 25 ساله به سیل متوسط	نسبت سیل های سالیانه به سیل متوسط	ضریب مارپیچی (نسبت طول راستای مقطع اصلی به طول دره رودخانه)	نسبت عرض به عمق (مقطع پُر) ($\frac{19}{20}$)	عرض رودخانه		عمق رودخانه		انحنا نسبی پیچ	نسبت طول مستقیم دو پیچ به عرض مقطع اصلی	زبری نسبی (نسبت اندازه متوسط سنگریزه به عمق متوسط)	اندازه رودخانه (بزرگ، متوسط و کوچک)	رژیم جریان رودخانه (دائمی، فصلی)	تغییرپذیری جریان رودخانه (کم، متوسط، زیاد)	مواد بستری (ماسه ای، شنی، درشت دانه
									عریض	کم عرض	عمیق	کم عمق							
25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44

شاخص گود افتادگی بستر (E)
(نسبت عرض مقطع سیلابی به عرض مقطع پُر)
← در عمق معادل با دو برابر عمق حداکثر مقطع پُر.

ادامه جدول شناسه مرفولوژی رودخانه (۳/۳)

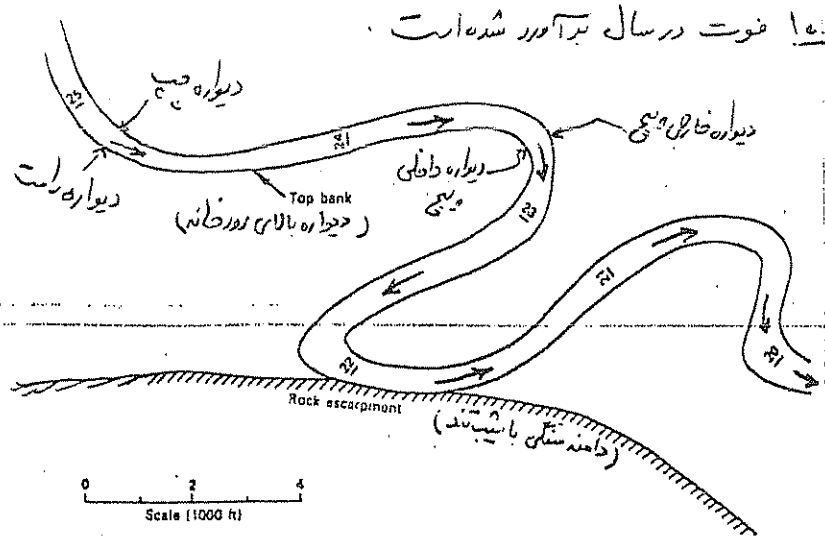
ارزیابی پایداری از دیدگاه‌های مختلف															ارزیابی کیفی					
توپوگرافی (کوهستانی، نیمه کوهستانی، دشتی)	شکل ظاهری (مستقیم، مارپیچ، شریانی)	زمین شناسی (جوان، پیر، بالغ)	آزادی تنظیم (تحت کنترل، آزاد)	هیدرولیکی		فرسایش بستر			تقسیم بندی Rosgen (1996)	پایداری (پایدار، پایدار دینامیکی، ناپایدار)	پایداری (رسوبی)				کیفیت شیمیایی			چشم انداز (زیبایی رودخانه، ارزش گردش گری)	ملاحظات (حضور سازه های ساحلی، تقاطعی یا....)
				زیری (کم، متوسط، زیاد)	جریان (زیربحرانی، فوق بحرانی)	کف کنی	ته نشینی	پایدار			شدت بار رسوبی		بار رسوبی غالب		شیمیایی (قابلیت مصرف برای شرب، کشاورزی، صنعتی و آبزیان)	فیزیکی (کدورت و ....)	زیستی (ارزش حیاتی، بیولوژ یکی و آبزیان)		
											کم	زیاد	کم	زیاد					
45	46	47	48	49	50	51	52	53	55	54	56	57	58	59	60	61	62	63	64

(۲۴۹)

مثال (۱) : اهمیت پیش بینی روند تغییرات رودخانه‌ای - در طرح ساماندهی

در شکل زیر، عکس هوائی سال ۱۹۸۰ از رودخانه شیرین در بازه حدفاصل مایل ۱ و ۲ و مایل ۲۵ نشان داده شده است. رودخانه در دشت آبرفتی جریان دارد. در ساحل راست، ناحیه کنترل زمین‌شناسی وجلبی (دامنه سنگی با شیب تند: Rock Escarpment) وجود دارد.

دیواره‌های آبرفتی رودخانه فرسایش پذیر بوده، و براساس مقایسه عکس‌های هوائی سنوات گذشته، شدت فرسایش دیواره‌ها بطور متوسط ۱۰۰ فوت در سال برآورد شده است.



جهت ساماندهی رودخانه، پیش‌بینی شرایط رودخانه در ۵ سال آینده (سال ۱۹۸۵) و در ۱۰ سال آینده (سال ۱۹۹۰) ضروری می‌باشد.

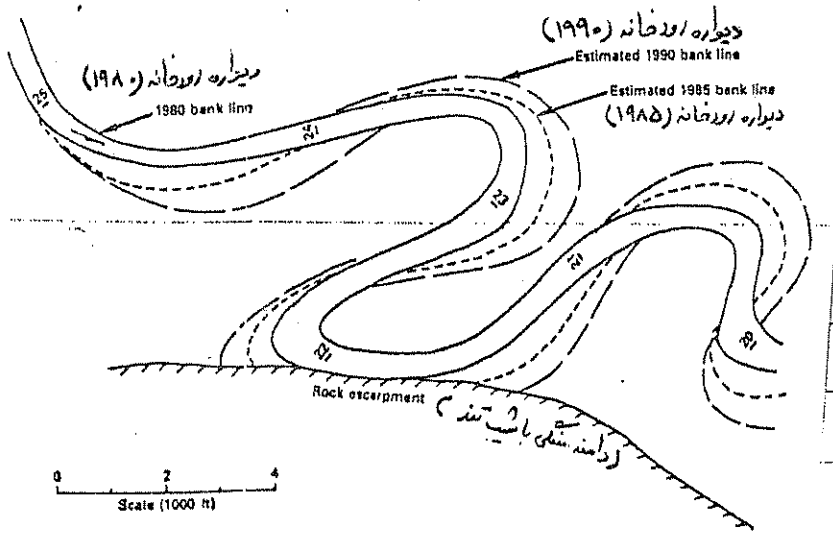
شکل زیر، روند تغییرات رودخانه را در آینده نشان می‌دهد. نکات مهم در این ارزیابی عبارتند از:

۱- روند مارپیچی رودخانه، تنها بصورت افزایش دامنه عرضی مارپیچ نیست، بلکه همراه با جابجائی مئاندر به سمت پائین دست نیز می‌باشد (Meandering یا Channel Migration).

۲- توسعه دامنه مارپیچی در سمت ساحل آبرفتی چپ، بصورت آزاد است. ولی، دامنه سنگی ساحل راست بعنوان مرکز کنترل جلبی (مخصوص برای مئاندر دوم بازه) محدود کننده است.

۳- شدت جابجائی عرضی دیواره‌ها (متوسط ۱۰۰ فوت در سال) در دیواره خارجی مئاندر بیشتر از متوسط، و در مسیر مستقیم حدفاصل دو مئاندر متوالی (Crossing) کمتر از متوسط است.

۴- شدت جابجائی برای دو مئاندر با شعاع انحناء متفاوت، یکسان نیست.



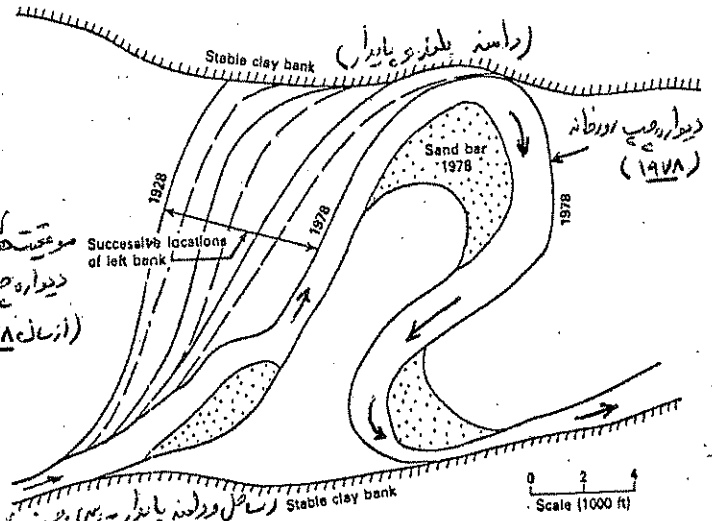
شواهد نشان می‌دهد که احتمال میان‌بری طبیعی (Neck Cut-off) در مئاندر دوم بازه در ۱۵ تا ۲۰ سال آینده (۲۰۰۰-۱۹۹۵) وجود دارد!

مثال (۲) : اهمیت پیش بینی روند تغییرات رودخانه‌ای - و احتمال میان بُری

روند تغییرات یک مئیج از رودخانه تلخاب - در محدوده دامنه پایدار ساحل چپ و راست سیلابی رودخانه - از انطباق هم مقیاس ۷ سری عکس های هوائی در یک دوره زمانی ۵۰ ساله (از سال ۱۹۲۸ تا ۱۹۷۸) در شکل زیر ارائه شده است. (راستای دیواره چپ در ۷ زمان مختلف رسم شده است).

براساس شواهد تاریخی و مستند:

پیش بینی احتمال وقوع میان بُری مئیج در شرایط طبیعی، اختیار رودخانه اهمیت دارد!

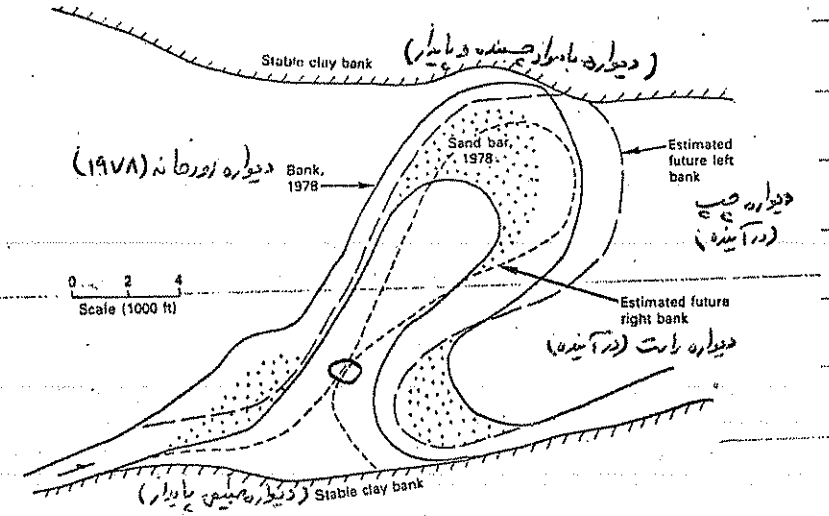


نکات قابل توجه:

۱- دامنه جابجائی عرضی مئیج رودخانه در حد فاصل دو دیواره پایدار رس چسبنده و بلند (Stable Clay Bank) محدود می باشد. و نرخ پذیری دیواره کنیز رودخانه بسیار کم و موضعی است، ولی راستای آن پایدار است.

۲- تغییرات مئیج رودخانه، غالباً بصورت جابجائی بسمت پائین دست است. چون آزادی تنظیم در عرض بستر کنیز آبرفتی محدود و کنترل می گردد، در نتیجه احتمال وقوع میان بری طبیعی یا حلقوی (Neck cut-off) بطور طبیعی وجود دارد.

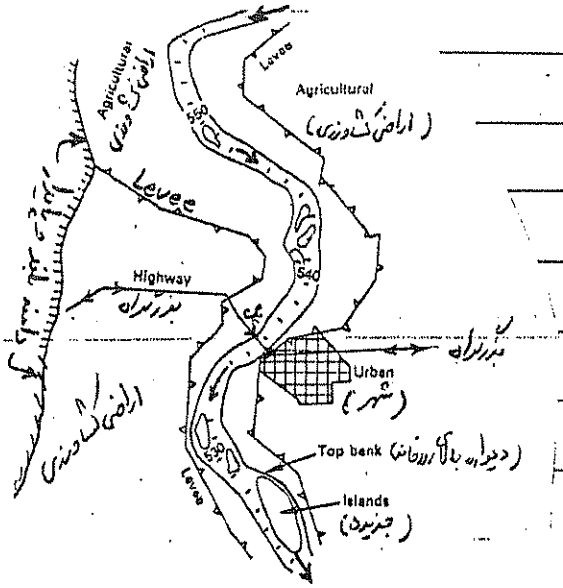
۳- پیش بینی میشود که مئیج رودخانه بعد از حدود ۱۰ سال بطور طبیعی میان بری کند. (در سال 1988).



مثال (۳) : تاثیر احداث دیواره‌های ساحلی (Levees) بر سیستم رودخانه

شکل زیر، نمایشی از یک بازه رودخانه آبرفتی با مارپیچ فعال در یک منطقه نیمه‌خشک است.

- رودخانه در اکثر مواقع سال قابل کشتیرانی است.
- رودخانه چندین بار در سال تحت شرایط سیلابی قرار می‌گیرد.
- دیواره‌های موجود رودخانه تقریباً در حد بستر سیل ۲۵ ساله واقع شده‌است.
- در محدوده بازه مورد نظر، اراضی مستعد کشاورزی، شهر، بزرگراه و پل قرار دارد.
- سال‌ها پیش، با هدف حفاظت شهر و بزرگراه، دیواره‌های خاکریز (Levee) در دو سمت رودخانه مطابق شکل احداث گردید، تا ایمنی مورد نظر را برای سیل ۵۰ ساله فراهم سازد.
- احداث دیواره‌های کنترل سیلاب، روند تغییرات رودخانه اصلی را تشدید نمود. آلوویال راستای رودخانه نامنظم‌تر گردید و تخریب‌های ناهنجار و موصفی پدید آمد. بطوریکه تغییرات خصوصیات جریان در مقطع اصلی زیاد گردیده و ناپایداری رودخانه توسعه یافت.



نکات مهم :

۱- راستای دیواره کنترل سیلاب (Levee) بدون توجه به راستای عمومی جریان سیلاب ۵۰ ساله (عدم امکان هدایت مناسب سیلاب در بستر جدید) انتخاب شده بود.

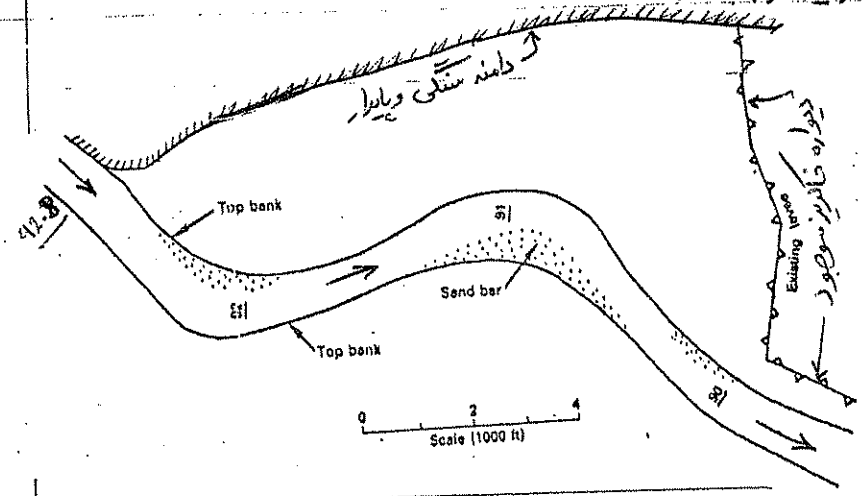
۲- دیواره خاکریز سمت بالادست و در سمت راست در موقعیت مناسب و پایداری و با ارتفاع مناسب تثبیت نیافته بود. در نتیجه جریان سیلاب توانست از ناحیه پشت دیواره به سمت اراضی کشاورزی و شهر راه باز کند.

۳- حفاظت و تثبیت دیواره‌های رودخانه در بستر اصلی مورد نظر قرار نگرفت. در نتیجه تغییرات در راستای اصلی رودخانه شدیدتر و نامنظم‌تر گردید و در محدوده شهر (ساحل چپ) و نیز در ساحل راست (پایین دست شهر)، دیواره‌های خاکریز در معرض تخریب قرار گرفتند.

مثال (۴): اهمیت پیش‌بینی تغییرات رودخانه‌ای - در طرح مهندسی رودخانه

در نظر است که، در ۳ سال آینده، یک دیواره ساحلی خاکریز حفاظتی (Levee) در ساحل چپ $\frac{c}{c}$ بازه رودخانه شکور (حد فاصل دامنه سنگی در مایل ۹۳ و دیواره خاکریز عرضی موجود در مایل ۹۰) احداث گردد. دیواره‌های رودخانه مذکور پذیرفته و متوسط شدت فرسایش دیواره‌ها ۳۰۰ فوت (۹۱ متر) در سال است. همزمان با ساخت دیواره خاکریز، دیواره ساحل چپ $\frac{c}{c}$ مقطع اصلی رودخانه با روکش سنگریزه‌ای محافظت خواهد شد.

راستا و موقعیت دیواره خاکریز طوری باید باشد تا حداقل فاصله دیواره رودخانه در ساحل چپ (بعد از ۳ سال) از پنجه دیواره خاکریز ۵۰۰ فوت (۱۷۰ متر) باشد.



الف) شرایط رودخانه

در موقعیت کنونی ← روند مارپیچ شدن رودخانه (با توجه به دامنه آبرفتی دست رودخانه) بصورت توسعه دامنه‌های پیچ (جابجائی عرضی)، تندتر شدن پیچ‌ها (کاهش شعاع انحنا)، و پیشروی پیچ به سمت پایین دست بعد از ۳ سال بصورت شکل زیر خواهد بود.

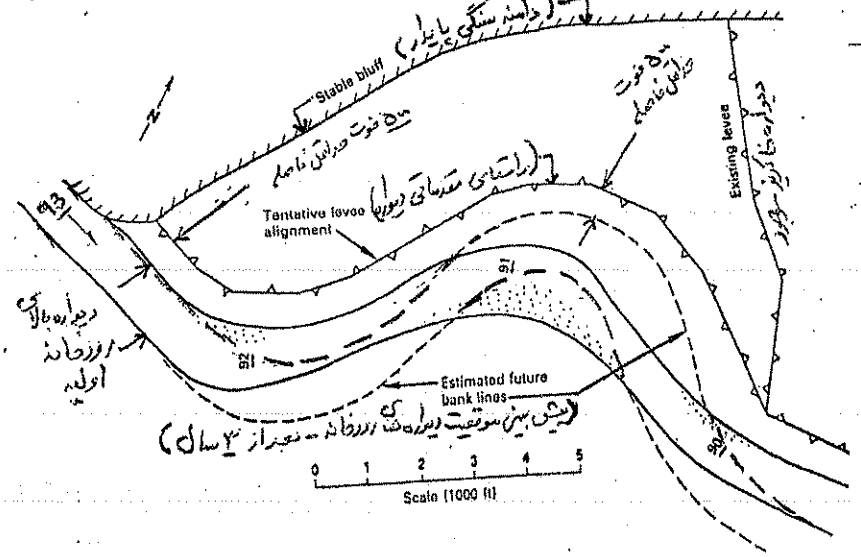
نکات مهم:

۱- رعایت راستای عمومی Levee برای پایداری رودخانه اصلی، و میدان بستر سیلابی رودخانه (در سیل مورد نظر).

۲- تثبیت موقعیت دیواره خاکریز در بالادست (به دامنه سنگی)، و در پایین دست (به دیواره خاکریز عرضی موجود).

۳- رعایت حداقل ۵۰۰ فوت عرض بستر سیلابی در ساحل چپ $\frac{c}{c}$ (برای: ۱- موقعیت احتمالی دیواره چپ بعد از ۳ سال تغییرات متوسط؛ ۲- احتمال اینکه در ۳ سال آینده، رودخانه تغییرات و جابجائی نداشته باشد).

ب) رودخانه بعد از مدت ۳ سال - همراه با طرح هندسی دیواره حفاظتی ساحل چپ $\frac{c}{c}$



۱- اصابت سر مخزنی چه اثراتی در بازه بالادست و پائین دست رودخانه خواهد داشت؟

۲- اثرات ورود شاخه‌های جانبی به رودخانه را در دو حالت :
الف - بارکف آبراهه ورودی درشت‌تر از بارکف رودخانه باشد.
ب - بارکف آبراهه ورودی ریزتر از بارکف رودخانه باشد.
بررسی کنید.

۳- الف - اگر مواد زیرسطحی بستر رودخانه ریزتر از لایه‌های سطحی آن باشد، فایروبی چه اثراتی را بدنبال خواهد داشت؟
ب - اثرات فایروبی را روی بازه‌های بالادست و پائین دست رودخانه بررسی کنید.

۴- در یک سامانه‌ی رودخانه بصورت کاهش عرض آن، چه تغییراتی در رودخانه بوجود می‌آید؟

۵- شاخص‌های کمی جریان در تعیین مقدار تغییرپذیری شدت جریانات داشی و سیلابی کدامند؟ معیار مقایسه آنها چیست؟

۶- عوامل تغییر و کنترل رودخانه‌ای را در :
الف - اقلیم مرطوب (شمال ایران)
ب - اقلیم سرد و خشک با رژیم برفی و یخبندان (آذربایجان)
ج - اقلیم گرم و خشک (بلوچستان)
مورد بررسی قرار دهید.

۷- شیب رودخانه معمولاً در طول آن کمتر می‌گردد ولذا انتظار می‌رود مواد بستری آن رفته رفته ریزدانه‌تر شوند. حال اگر مواد بستری در طول رودخانه درشت‌دانه‌تر گردند، علت آن چه می‌تواند باشد؟

۸- جدول "مکانیزم تخریب دیواره‌های رودخانه" (Ref: properties of rivers and Fluvial processes) با متن ترجمه شده آن مقایسه، کنترل و در صورت لزوم اصلاح کنید.

۹- شکل 2.4 مربوط به "انواع گسیختگی دیواره رودخانه" را ترجمه کنید.

مهندسی رودخانه - "مرفولوژی رودخانه" : سری سائل ۲

۱- مفهوم "سیل" (Flood) ؟

۲- انواع سیل ؟

۳- منشاء سیل ها ؟

۴- سیل "خوب" است یا "بد" ؟

مزایا ؟

معایب ؟

۵- در منطقه شما اگر سیل بیاید، چه آثار سوئی خواهد داشت ؟

۶- مفهوم "مدیریت جامع (یکپارچه) سیلاب" چیست ؟

۷- راهکارهای سازه‌ای کنترل سیلاب ؟

۸- راهکارهای غیر سازه‌ای (مدیریتی) کنترل سیلاب ؟

۹- اجزاء مختلف و پیوند آنها در "سیستم هشدار سیل" ؟

امتحان جامع - درس "رفتار رودخانه‌ها"

۱/۳

(۱) پارامترهای مهم "هیدرولوژیک" در بررسی مرفولوژی، و طرح سامانه‌ی رودخانه را مشخص نمائید.

(۲) " " "انتقال رسوب" " " " " " " " " "

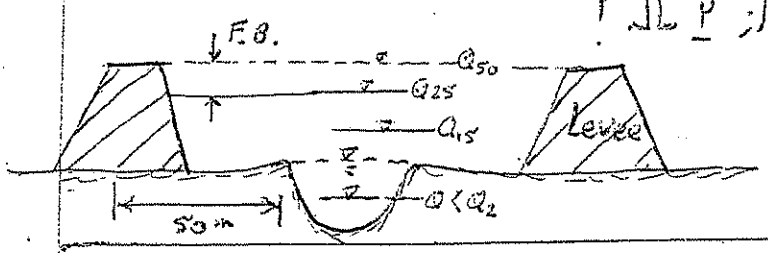
(۳) مسیر ۲۰ کیلومتری "رودخانه مرزی ارس" - در محدوده استان اردبیل - به ۱۵ بازه مرفولوژیکی متفاوت تفکیک شده است.
مشخصات هیدرولیکی مشترک در انتهای و تفکیک هریک از بازه‌های مرفولوژیکی را ارائه نمائید.

(۴) برای رودخانه "سیمینه رود" - در محدوده "سیمینه" - عوامل موثر در تخریب دیواره‌های رودخانه را مشخص نموده، و نحوه ارزیابی کمی این عوامل را بصورت ضریبی از تنش برشی جریان در بستر ($\tau_0 = \gamma RS$) در یک جدول محاسبه و ارائه نمائید.

(۵) در دشت میاندوآب، بر روی "سیمینه رود" (رودخانه مارپیچ با بستر ریزدانه و با مقطع مرکب)، احداث یک سد انحرافی جهت آبگیری پیوسته (معادل 30% از جریان متوسط رودخانه) پیشنهاد شده است.
تاثیر طرح بر تغییرات احتمالی مرفولوژی "بازه پائین دست سدانحرافی" را با استفاده از روش بررسی کیفی Schumm (1969) و/یا روش کیفی Li and Simons (1982) ارزیابی نمائید.

(۶) جهت کنترل سیلاب در دشت رودخانه "سیمینه رود" (مارپیچ - با بستر ریزدانه و با مقطع مرکب)، دیواره خاکریز ساحلی (کرده: Levee) در دو سمت رودخانه (ساحل چپ و راست) - بفاصله تقریبی ۵۰ متر از دیواره بالای مقطع اصلی رودخانه، و با ارتفاع ۳ متر برای ظرفیت سیل ۲۵ ساله لنگاب در حال احداث است. (ارتفاع آزاد دیواره خاکریز برای سیل ۵۰ ساله در حدود ۱ متر)
تاثیرات طرح را بر روی تغییرات احتمالی در مقطع اصلی و سیلاب دشت رودخانه، در شرایط جریان زیر ارزیابی نمائید.

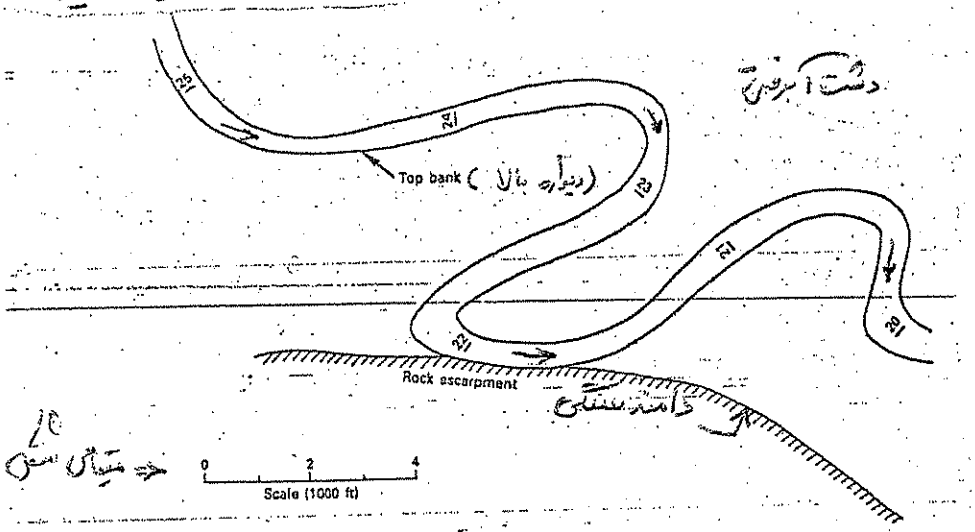
الف) برای سیل های متناوب کمتر از ۲ ساله؟
ب) برای سیل ۱۵ ساله؟
ج) برای سیل ۱۰۰ ساله



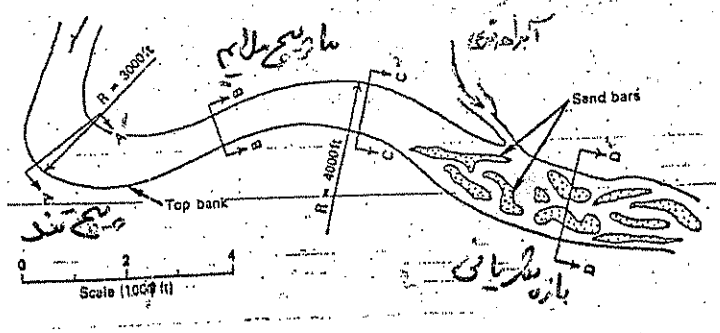
(۷) "رودخانه شور" - در دشت آزادگان (خوزستان) با مواد آبرفتی "سن درشت" با شیب بستر متوسط ($S_0 = 8‰$) جاری است. متوسط اندازه مواد بستری رودخانه ($D_{50} = 6^{mm}$) و دبی جریان غالب رودخانه معادل ($Q = 200 m^3/s$) گزارش شده است.
نوع رودخانه (مارپیچ - مستقیم - شریانی) را با روش پیشنهادی Henderson (1966) تعیین نمایید.

(۸) احداث یک سد مخزنی در مقطع مناسبی از "رود شیرین" پیشنهاد شده است. تاثیرات مرفولوژیکی احداث سد را بر روی بازه پائین دست رودخانه در دو شرایط زیر را ارزیابی و پیش بینی نمائید.
الف) رودخانه پائین دست در دشت سیلابی با مواد آبرفتی ماسه ای، بصورت مارپیچ با مقطع مرکب جاری است
ب) " " " " " آبرفتی سنگ دار با مواد درشتدانه و بصورت ممرفیض و شریانی جاری است.
* در شرایط (الف)، تاثیر سد مخزنی بر روی بازه بالادست رودخانه چگونه خواهد بود؟
(شرایط رودخانه در بازه بالادست و بازه پائین دست سد در شرایط اولیه، یکسان بوده است.)

(۹) براساس عکس هوائی سال 2000، بازه "رودخانه تلخ آب" آبرفتی در شکل زیر نشان داده شده است. شدت تخریب دیواره های آبرفتی رودخانه بطور متوسط معادل 100 فوت در سال ارزیابی شده است. شرایط رودخانه را برای سالهای 2005 و 2010 پیش بینی و روی شکل زیر رسم نمائید.



(۱۰) براساس اطلاعات رودخانه شکل زیر،
الف) مقطع عرضی رودخانه را بطور دقیق در موقعیت های عرضی (A-A')، (B-B')، (C-C') و (D-D') رسم کنید.
ب) طول رودخانه را به چند بازه مرفولوژیکی تفکیک می کنید؟ روی شکل نشان داده و نامگذاری کنید.
ج) دلایل تفکیک بازه ها را بطور خلاصه و براساس اطلاعات ارائه شده در شکل، شرح دهید.



(۱۱) برای یک آبرو خانه عریض (عرض ۲۰۰ متر)، بستاً مستقیم (ضریب ماریپیچی ۱/۲) و شریانی (با رشته‌ها مقرر و ثابت جریان، با بارهای رسوب پراکنده) - در منطقه آذربایجان، خصوصیات مواد بستر و دیواره‌ها بطور نمونه در شکل زیر مشخص شده است.

دبی پایه آبرو خانه معادل $50\ m^3/s$ بوده، ولی سیلی با مشخصات هیدروگرافی شکل زیر در آبرو خانه جاری می‌گردد.

تغییرات احتمالی بستر آبرو خانه و نحوه فرسایش و گسیختگی دیواره آبرو خانه را برای سه دوره زمانی مختلف زیر، بطور خلاصه و دقیق و مفید شرح داده و با رسم شکل ارائه دهید.

الف) در دوره زمانی جریان پایه آبرو خانه؟

ب) " " " اوج گیری سیلاب؟

ج) " " " افت جریان سیلاب؟