جمهوری اسلامی ایران

راهنمای مطالعات فرسایش و رسوب در ساماندهی رودخانه‌ها

نشریه شماره ۳۸۳

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور
معاونت امور فنی
دفتر امور فنی ، تدوین معیارها و
کاهش خطر پذیری ناشی از زلزله
http:// tec .mporg.ir

وزارت نیرو
شرکت مدیریت منابع آب ایران
دفتر استانداردها و معیارهای فنی
http:/www.wrm.ir/standard

omoorepeyman.ir

جمهوری اسلامی ایران

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور

راهنمای مطالعات فرسایش و رسوب در ساماندهی رودخانه‌ها

نشریه شماره ۳۸۳

معاونت امور فنی

دفتر امور فنی، تدوین معیارها و

کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله

وزارت نیرو

شرکت مدیریت منابع آب ایران

دفتر استانداردها و معیارهای فنی

انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور ۸۶/۰۰/۴۱

۱۳۸۶

omoorepeyman.ir

فهرست‌برگه

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. دفتر امور فنی. تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله

راهنمای مطالعات فرسایش و رسوب در ساماندهی رودخانه‌ها/ معاونت امور فنی، دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله؛ وزارت نیرو، شرکت مدیریت منابع آب ایران، دفتر استانداردها و معیارهای فنی.- تهران: سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، معاونت امور اداری، مالی و منابع انسانی، مرکز مدارک علمی، موزه و انتشارات، ۱۳۸۶.

۷، ۱۷۴ ص.: جدول، نمودار، مصور. - (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله؛ نشریه شماره ۳۸۳) (انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور؛ ۸۶/۰۰/۴۱)

ISBN 978-964-425-952-4

مربوط به بخشنامه شماره ۱۰۰/۴۸۳۸۹ مورخ ۱۳۸۶/۴/۱۰

واژه‌نامه

کتابنامه: ص. ۱۷۱-۱۷۴

۱. رسوبهای رودخانه‌ای – امکان‌سنجی. ۲. رسوب – اندازه‌گیری. ۳. مهندسی رودخانه. ۴. رودها – حفاظت. الف. شرکت مدیریت منابع آب ایران. دفتر استانداردها و معیارهای فنی. ب. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. مرکز مدارک علمی، موزه و انتشارات. ج. عنوان. د. فروست.

۱۳۸۶ ش. ۳۸۳ ۲۴ س/ TA ۳۶۸

شابک ۴-۹۵۲-۴۲۵-۹۶۴-۹۷۸ ISBN 978-964-425-952-4

راهنمای مطالعات فرسایش و رسوب در ساماندهی رودخانه‌ها

ناشر: سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، معاونت امور اداری، مالی و منابع انسانی، مرکز مدارک علمی، موزه و انتشارات

چاپ اول، ۵۰۰ نسخه

قیمت: ۲۰۰۰۰ ریال

تاریخ انتشار: سال ۱۳۸۶

لیتوگرافی: صبا

چاپ و صحافی: مهنا

همه حقوق برای ناشر محفوظ است.

بسمه تعالی

ریاست جمهوری
سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور
رئیس سازمان

بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران	**شماره :** ۱۰۰/۴۸۳۸۹
	تاریخ : ۱۳۸۶/۴/۱۰

موضوع :
راهنمای مطالعات فرسایش و رسوب در ساماندهی رودخانه‌ها

به استناد آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی ، موضوع ماده (۲۳) قانون برنامه و بودجه و در چارچوب نظام فنی و اجرایی کشور (مصوبه شماره ٤٢٣٣٩/ت ٣٣٤٩٧هـ ، مورخ ١٣٨٥/٤/٢٠ هیأت محترم وزیران)، به پیوست نشریه شماره ۳۸۳ دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله این سازمان، با عنوان «راهنمای مطالعات فرسایش و رسوب در ساماندهی رودخانه‌ها» از نوع گروه سوم ابلاغ می‌شود.

دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور، پیمانکاران و عوامل دیگر می‌توانند از این نشریه به عنوان راهنما استفاده کنند و در صورتی که روش‌ها، دستورالعمل‌ها و راهنمای بهتری در اختیار داشته باشند، رعایت مفاد این بخشنامه الزامی نیست.

عوامل یاد شده باید نسخه‌ای از دستورالعمل‌ها، روش‌ها یا راهنماهای جایگزین را به دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله ارسال کنند.

امیرمنصور برقعی
معاون رییس جمهور و رییس سازمان

امور پیمان
omoorepeyman.ir

اصلاح مدارک فنی

خواننده گرامی:

دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور با استفاده از نظر کارشناسان برجسته، مبادرت به تهیه این دستورالعمل نموده و آن را برای استفاده به جامعه مهندسی کشور عرضه نموده است. با وجود تلاش فراوان، این اثر مصون از ایرادهایی نظیر غلطهای مفهومی، فنی، ابهام، ایهام و اشکالات موضوعی نیست.

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

۱- شماره بند و صفحه موضوع مورد نظر را مشخص کنید.

۲- ایراد مورد نظر را به صورت خلاصه بیان دارید.

۳- در صورت امکان، متن اصلاح شده را برای جایگزینی ارسال نمایید.

۴- نشانی خود را برای تماس احتمالی ذکر فرمایید.

کارشناسان این دفتر نظرهای دریافتی را به دقت مطالعه نموده و اقدام مقتضی را معمول خواهند داشت.

پیشاپیش از همکاری و دقت نظر جنابعالی قدردانی می‌شود.

نشانی برای مکاتبه: تهران، خیابان شیخ بهائی، بالاتر از ملاصدرا، کوچه لادن، شماره ۲۴

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله

صندوق پستی ۴۵۴۸۱- ۱۹۹۱۷ **http://tec.mporg.ir**

omoorepeyman.ir

بسمه تعالی

پیشگفتار

استفاده از ضوابط، معیارها و استانداردها در مراحل تهیه (مطالعات امکان‌سنجی)، مطالعه و طراحی، اجرا، بهره‌برداری و نگهداری طرح‌های عمرانی به لحاظ توجیه فنی و اقتصادی طرح‌ها، کیفیت طراحی و اجرا (عمر مفید) و هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری از اهمیت ویژه برخوردار می‌باشد.

نظام فنی و اجرایی کشور (مصوبه شماره ۴۲۳۳۹/ ت ۳۳۴۹۷ هـ ، مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیأت محترم وزیران) بکارگیری معیارها، استانداردها و ضوابط فنی در مراحل تهیه و اجرای طرح و نیز توجه لازم به هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری در قیمت تمام شده طرح‌ها را مورد تأکید جدی قرار داده است.

باتوجه به مراتب یاد شده و شرایط اقلیمی و محدودیت منابع آب در ایران، امور آب وزارت نیرو (طرح تهیه و تدوین ضوابط و معیارهای صنعت آب کشور) با همکاری معاونت امور فنی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور (دفتر امورفنی،تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله) به استناد آیین‌نامه اجرایی طرح‌های عمرانی، موضوع ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه اقدام به تهیه استانداردهای مهندسی آب نموده است.

استانداردهای مهندسی آب با در نظر داشتن موارد زیر تهیه و تدوین شده است :

- استفاده از تخصص‌ها و تجربه‌های کارشناسان و صاحبنظران شاغل در بخش عمومی و خصوصی
- استفاده از منابع و مآخذ معتبر و استانداردهای بین‌المللی
- بهره‌گیری از تجارب دستگاه‌های اجرایی، سازمان‌ها، نهادها، واحدهای صنعتی، واحدهای مطالعه، طراحی و ساخت
- پرهیز از دوباره‌کاری‌ها و اتلاف منابع مالی و غیرمالی کشور
- توجه به اصول و موازین مورد عمل مؤسسه استانداردها و تحقیقات صنعتی ایران و سایر مؤسسات تهیه‌کننده استاندارد

ضمن تشکر از کارشناسان محترم برای بررسی و اظهار نظر در مورد این استاندارد، امید است مجریان و دست‌اندرکاران بخش آب، با بکارگیری استانداردهای یاد شده، برای پیشرفت و خودکفایی این بخش از فعالیت‌های کشور تلاش نموده و صاحبنظران و متخصصان نیز با اظهار نظرهای سازنده در تکامل این استانداردها مشارکت کنند.

حبیب امین فر- معاون امور فنی

۱۳۸۶

omoorepeyman.ir

ترکیب اعضای تهیه کننده، کمیته و ناظران تخصصی

این استاندارد توسط افراد زیر به ترتیب حروف الفباء تهیه شده است :

آقای محمود افسوس	مهندسین مشاور سازه پردازی ایران	فوق لیسانس هیدرولیک
آقای فیروز بهادری خسروشاهی	مهندسین مشاور سازه پردازی ایران دانشگاه خواجه نصیر طوسی	دکترای مهندسی آب
آقای محمد رستمی	مهندسین مشاور سازه پردازی ایران	فوق لیسانس عمران آب
آقای مسعود ساجدی سابق	مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری	فوق لیسانس تأسیسات آبیاری
آقای رضا سبزیوند	شرکت سهامی مدیریت منابع آب	فوق لیسانس مهندسی آب
آقای مصطفی سعید فر	مرکز تحقیقات منابع طبیعی	دکترای علوم مرتعداری
آقای علی اکبر عباسی	مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری	دکترای هیدرولیک
آقای عبدالمجید فروغی	مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری	فوق لیسانس تأسیسات آبیاری
آقای مهدی مسافری	مهندسین مشاور سازه پردازی ایران	فوق لیسانس سازه‌های هیدرولیکی
آقای جمشید مصباحی	مهندسین مشاور سازه پردازی ایران	فوق لیسانس هیدرولیک

گروه نظارت که مسئولیت نظارت تخصصی بر تدوین این پیش نویس را به عهده داشته اند به ترتیب حروف الفباء عبارتند از :

آقای عبدالرسول تلوری	مرکز تحقیقات جهاد کشاورزی	دکتری هیدرولیک
آقای مهدی شفیعی فر	دانشگاه تربیت مدرس	دکترای سازه‌های دریایی
آقای ابوالفضل معصومی	شرکت آب عمران پردیسان	فوق لیسانس تا سیسات آبیاری
خانم کیاندخت کباری	دفتر پژوهشها و استانداردها	لیسانس راه و ساختمان

اسامی اعضای کمیته تخصصی مهندسی رودخانه و سواحل دفتر استانداردها و معیارهای فنی که بررسی و تایید استاندارد حاضر را به عهده داشته اند به ترتیب حروف الفباء عبارتند از :

آقای محمد ابراهیم بنی حبیب	دانشگاه تهران	دکترای مهندسی آب
آقای ابراهیم جباری	دانشگاه علم و صنعت ایران	دکترای هیدرولیک
آقای محمد حسن چیتی	کارشناس آزاد	فوق لیسانس سازه‌های آبی
آقای مهدی شفیعی فر	دانشگاه تربیت مدرس	دکترای سازه‌های دریایی
آقای حسام فولادفر	موسسه تحقیقات آب	فوق لیسانس سازه‌های آبی
خانم کیاندخت کباری	دفتر پژوهشها و استانداردها	لیسانس راه و ساختمان
آقای جبار وطن فدا	سازمان مدیریت منابع آب ایران	فوق لیسانس سازه‌های آبی

در خاتمه از آقای مهندس حسین شفیعی‌فر که با بازخوانی و ارائه نظرات مفید خود، در تهیه و تدوین این راهنما همکاری نموده‌اند، قدردانی می‌شود.

omoorepeyman.ir

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
مقدمه	۱
۱- هدف و دامنه کاربرد	۲
۱-۱ هدف	۲
۱-۲ دامنه کاربرد	۲
۱-۳ انواع فرسایش و رسوبگذاری و عوامل مؤثر بر آنها	۲
۱-۴ پیامدهای فرسایش و رسوبگذاری	۹
۱-۵ بررسی اجمالی ساماندهی رودخانه‌ها و روشهای مختلف آن	۱۱
۲- چگونگی جمع‌آوری آمار و اطلاعات پایه در مطالعات فرسایش و رسوب ساماندهی رودخانه‌ها	۱۳
۲-۱ بازدیدهای صحرایی از مسیر رودخانه به منظور شناسایی عوامل مؤثر بر فرسایش و رسوب	۱۳
۲-۲ بازدید و بررسی ایستگاههای هواشناسی، آب سنجی و رسوب سنجی محدوده مورد مطالعه	۱۴
۲-۳ جمع‌آوری آمار، اطلاعات، گزارشها، نقشه‌ها، عکسهای هوایی و تصاویر ماهواره‌ای	۱۴
۲-۴ گردآوری اطلاعات تخصصی جریان و رسوب در مطالعات فرسایش و رسوب	۱۶
۳- مطالعات فرسایش در شرایط طبیعی	۱۸
۳-۱ کلیات	۱۸
۳-۲ بررسی کلی پدیده فرسایش، انواع آن و تأثیر نوع رودخانه در پدیده فرسایش	۱۹
۳-۳ بررسی پدیده فرسایش در رودخانه‌ها	۲۳
۳-۴ بررسی اثرهای فرسایش بر ویژگیهای ریخت شناسی رودخانه	۳۵
۴- مطالعات رسوب رودخانه‌ها در شرایط طبیعی	۳۶
۴-۱ بررسی کلی پدیده رسوبگذاری و مشخص کردن تأثیر نوع رودخانه در روند آن	۳۶
۴-۲ بررسی رسوب رودخانه	۳۹
۵- بررسی و پیش بینی پیامدهای ساماندهی در فرسایش و رسوبگذاری رودخانه‌ها	۶۷
۵-۱ سازه‌های عرضی	۶۹
۵-۲ سازه‌های طولی	۱۰۱
۵-۳ اقدامات اصلاح مسیر	۱۱۱
۵-۴ پوششهای گیاهی	۱۱۵
۵-۵ بررسی پیامدهای برداشت شن و ماسه و مصالح رودخانه‌ای	۱۲۳
۵-۶ بررسی پیامدهای تلفیقی ساماندهی رودخانه بر پدیده فرسایش و رسوبگذاری	۱۳۳

omoorepeyman.ir

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۶- کاربرد مدلهای فیزیکی و ریاضی در مطالعات فرسایش و رسوب	۱۳۶
۶-۱ مدلهای فیزیکی در مطالعات فرسایش و رسوب	۱۳۶
۶-۲ مدلهای ریاضی متداول در مطالعات فرسایش و رسوب	۱۳۹
۶-۳ چگونگی آماده سازی داده‌های مورد نیاز	۱۴۴
۶-۴ واسنجی و صحت سنجی مدلها	۱۴۶
۶-۵ نقش مدلها در پیش‌بینی روند فرسایش و رسوبگذاری در محدوده مطالعاتی	۱۴۸
۶-۶ موارد استفاده از مدلهای فیزیکی و ریاضی در مطالعات فرسایش و رسوب	۱۴۹
۷- پایش و ارزیابی پیامدهای اقدامات ساماندهی در رودخانه‌ها از دیدگاه فرسایش و رسوبگذاری	۱۵۱
۷-۱ مروری بر پیامدهای طبیعی فرسایش و رسوبگذاری در رودخانه‌ها	۱۵۱
۷-۲ پیامدهای اقدامات ساماندهی رودخانه بر روند فرسایش و رسوب رودخانه‌ها	۱۵۲
۷-۳ اهمیت و ضرورت پایش عملکرد اقدامات ساماندهی رودخانه‌ها	۱۵۳
۷-۴ ارزیابی پیامدهای اقدامات ساماندهی رودخانه‌ها از جنبه فرسایش و رسوب	۱۵۶
واژه نامه	۱۵۹
مراجع	۱۷۱

omoorepeyman.ir

مقدمه

رودخانه‌ها تحت تأثیر پدیده فرسایش و رسوبگذاری دستخوش تغییرات گوناگونی می‌شوند که از آن جمله می‌توان تغییر راستا[1]، جابجاییهای عرضی و طولی، وقوع میان برها[2]، تغییر نوع رودخانه، تغییر تراز بستر، تغییر دانه‌بندی و دگرگونی ویژگیهای هندسی مسیر را اشاره کرد.

سازه‌های متقاطع و موازی موجود در مسیر رودخانه‌ها مانند پلها، بندها، سدها، دیواره‌های سیل بند سازه‌های حفاظت بستر و کناره‌ها و همچنین تأسیسات موجود در حواشی و اراضی اطراف از جمله جاده‌ها مزارع، مناطق صنعتی، شهری و کشاورزی از فرایندهای مختلف فرسایش و رسوبگذاری تأثیر پذیری مستقیم دارند. بررسی گزارشها و نشریات موجود مبین آن است که در بسیاری از موارد پدیده فرسایش و رسوبگذاری و پیامدهای آن عامل اصلی در تخریب پلها، تأسیسات هیدرولیکی و به ویژه سازه‌های حفاظت و اصلاح مسیر (ساماندهی) رودخانه بوده است [۱۶]. مطالعات فرسایش و رسوبگذاری این امکان را فراهم می‌آورد تا بتوان ضمن شناخت رفتار ریخت شناسی رودخانه، اثرهای اقدامات مختلف ساماندهی را بر عملکرد رفتاری آن مورد ارزیابی کمی و کیفی قرار داده و از این طریق امکان تشخیص عوامل ناپایداری و اعمال معیارهای مناسب حفاظتی و اقدامات مهندسی را پیشاپیش میسر نمود.

از طرفی عوامل تأثیر گذار در پدیده فرسایش و رسوبگذاری متنوع می‌باشند که ازآن جمله می‌توان وقوع سیلابها و تکرار آنها، تغییر رژیم هیدرولیکی، تغییر رژیم رسوبی، تغییر کاربری اراضی، تغییر در ویژگیهای حوضه آبریز، دخل و تصرف در حریم طبیعی رودخانه‌ها و ساخت سازه‌های کنترل برای بهره‌برداری از منابع رودخانه‌ای را نام برد.

در طرحهای ساماندهی رودخانه مجموعه‌ای از عوامل یاد شده تأثیرگذار بوده و لازم است نقش هر یک در فعل و انفعالات فرسایش و رسوبگذاری مد نظر قرار گیرد. از این رو متخصصین رودخانه از دیر باز به بررسی این فرآیند همت گماشته و راهکارها و روشهای مختلفی را برای مقابله با پی آمدها و عوارض آن ارائه داده‌اند. بخصوص در دهه‌های اخیر با بهره‌گیری از تواناییهای وسیع رایانه‌ای و بسط و گسترش مدلهای کامپیوتری بررسی فعل و انفعالات فرسایش و رسوبگذاری از دیدگاه ساماندهی ابعاد وسیعی به خود گرفته است. در این راهنما به جنبه‌های مختلف فرسایش و رسوبگذاری از دیدگاه کاربردی و ارتباط متقابل آن با اقدامات ساماندهی رودخانه‌ها پرداخت شده و چگونگی انجام دادن مطالعات، نیازهای هر بخش و نکات ضروری مربوط مورد بررسی و تأکید قرار گرفته است.

omoorepeyman.ir

1 - Alignment
2 - Cut-off

۱- هدف و دامنه کاربرد

۱-۱ هدف

هدف از تدوین راهنمای مطالعات فرسایش و رسوب شناخت ساز و کارها و استفاده مؤثر از دانش مهندسی رسوب در راستای حفاظت و ساماندهی رودخانه‌ها می‌باشد.

۱-۲ دامنه کاربرد

روشهای ارائه شده در راهنما مختص رودخانه‌های عادی بوده و استفاده ازآن برای رودخانه‌های جزرو مدی توصیه نمی‌شود. رفتارشناسی خاص این‌گونه رودخانه‌ها تدوین راهنمای مستقلی را طلب می‌کند.

۱-۳ انواع فرسایش و رسوبگذاری و عوامل مؤثر بر آنها

اقدامات ساماندهی و تعیین ویژگیهای سازه‌های حفاظت و ایمن سازی مسیر رودخانه نیاز به شناخت انواع مختلف فرسایش و رسوبگذاری دارد. بر اساس منابع موجود از جمله مراجع [۱۶] و [۳۹] انواع فرسایش و رسوبگذاری در رودخانه‌ها را می‌توان در چهار گروه عمده زیر طبقه بندی کرد:

- فرسایش یا رسوبگذاری مستمر[1] (کف کنی یا تراز افزایی)
- فرسایش عمومی[2] (آبشستگی عمومی)
- فرسایش موضعی[3] (آبشستگی موضعی)
- تشکیل تلماسه‌ها[4]، جزایر و پشته‌های رسوبی[5] در بستر رودخانه

از نظر اهمیت هر یک از موارد بالا به بررسی ویژگیهای آنها پرداخته شده است.

۱-۳-۱ فرسایش یا رسوبگذاری مستمر

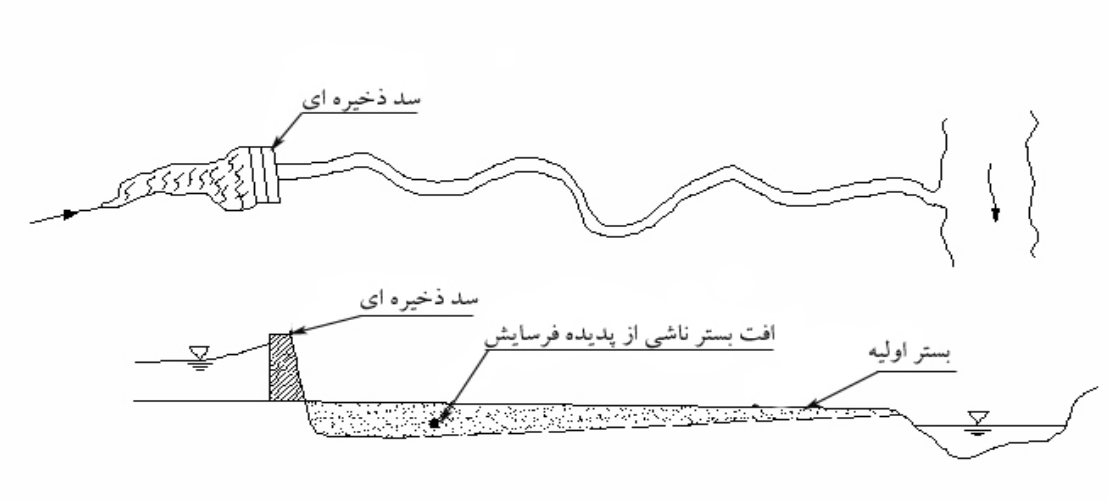
فرسایش مستمر[6] به حالتی گفته می‌شود که در آن بستر رودخانه دچار کف کنی فراگیر بوده و این پدیده برای مدت زمان مدیدی تداوم دارد. در چنین وضعیتی عوامل طبیعی و دخالتهای انسانی مؤثرند. ازجمله عوامل انسانی می‌توان به تغییر کاربری اراضی، ساخت سدهای مخزنی و برداشت شن و ماسه از رودخانه اشاره کرد. این کارها موجب کاهش تغذیه رسوبی رودخانه

1 - Long term Aggradation or Degradation
2 - General Scour
3 - Local Scour
4 - Sand Dunes
5 - Islands & Bars
6 - Long Term Degradation

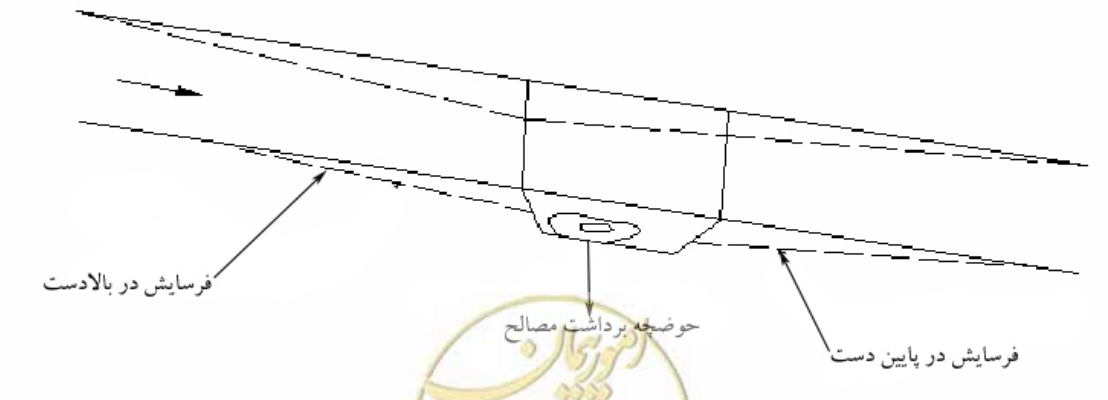
omoorepeyman.ir

شده و در نتیجه فرایند کف کنی تا رسیدن به وضعیت تعادل[1] ادامه می‌یابد، در شکل (۱-۱) نمونه‌ای از این نوع فرسایش در پایین دست سد و در شکل (۱-۲) فرسایش در بالادست محل برداشت مصالح رودخانه‌ای نشان داده شده است.

رسوبگذاری مستمر[2] یا تراز افزایی فرایندی است که طی آن در بخش عمده‌ای از مسیر رودخانه تراز بستر بطور مستمر در اثر رسوبگذاری افزایش می‌یابد. در چنین حالتی تغذیه رسوبی رودخانه بیشتر از ظرفیت حمل آن می‌باشد. تشدید عوامل ناپایداری خاک در سطح حوضه آبریز، وقوع زمین لغزه‌ها، کوه ریزشها، اتصال شاخه‌های پر رسوب، ساخت سدهای انحرافی و برداشت آب در مسیر رودخانه از جمله عواملی هستند که موجب افزایش رسوب ورودی به رودخانه و بالا آمدن بستر آن می‌شوند. در شکل (۱-۳) تأثیر ساخت سد انحرافی [۳۹] و در شکل (۱-۴) تأثیر فرسایش اراضی بالادست حوضه آبریز در افزایش تراز بستر رودخانه نشان داده شده است [۶۹].



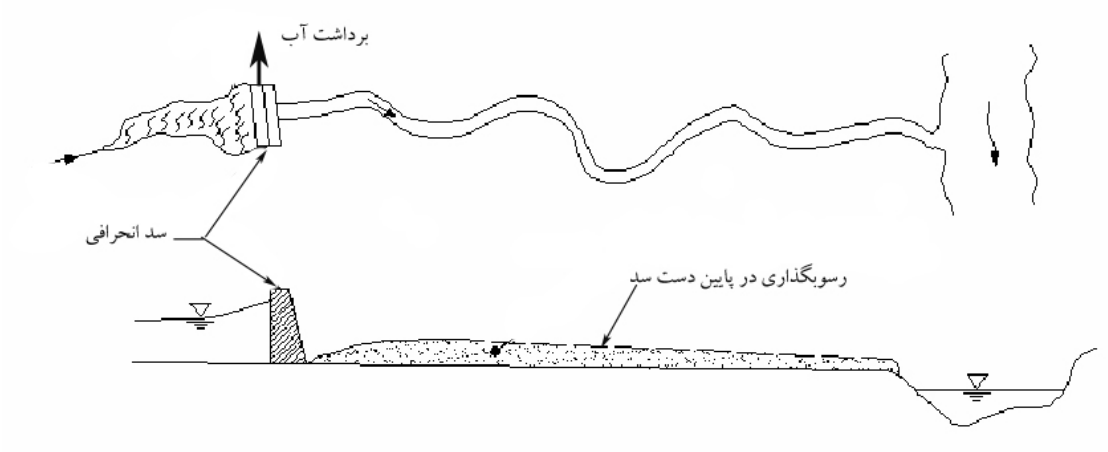
شکل ۱-۱- پدیده کف کنی مستمر در پایین دست سد مخزنی [۳۹]



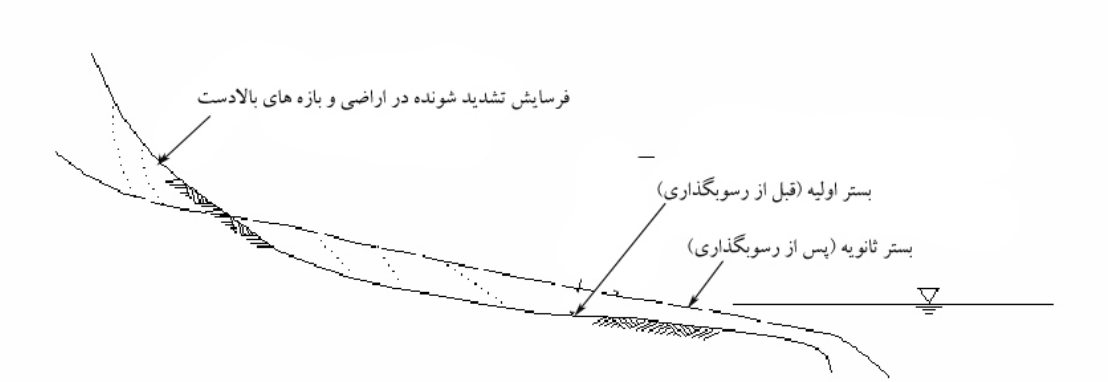
شکل ۱-۲- پدیده گودافتادگی بستر در بالادست محل برداشت مصالح رودخانه‌ای [۱۶]

1 - Equilibrium Condition
2 - Long Term Aggradation

omoorepeyman.ir



شکل ۱-۳- نحوه رسوبگذاری در پایین دست سد انحرافی [۳۹]



شکل ۱-۴- نمونه‌ای از رسوبگذاری ناشی از تشدید فرسایش در بالادست حوضه آبریز [۶۹]

۱-۳-۲ *فرسایش و رسوبگذاری عمومی*

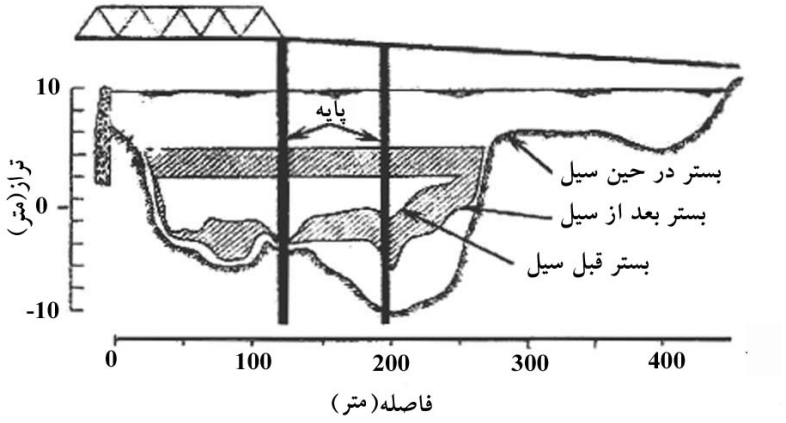
در اثر وقوع سیلابها و افزایش سرعت جریان آب، مواد رسوبی موجود در بستر رودخانه شسته شده و در قسمت عمده‌ای از مسیر رودخانه حالت گودافتادگی پدیدار می‌گردد. این حالت را در رودخانه می‌توان به عنوان فرسایش عمومی یا آبشستگی عمومی قلمداد نمود. بدیهی است افت بستر در چنین حالتی موقتی بوده و در مرحله فروکش سیلاب در اثر رسوبگذاری، بستر به تدریج تراز اولیه خود را باز می‌یابد. رسوبگذاری فراگیر در بستر رودخانه بعد از فروکش سیلاب در دوره جریانهای کم ادامه می‌یابد، از این فرایند به عنوان رسوبگذاری عمومی می‌توان نام برد. شکل (۱-۵) نمونه‌ای از وقوع فرسایش و رسوبگذاری عمومی در بستر رودخانه را در هنگام وقوع سیلاب و پس از خاتمه آن به نمایش می‌گذارد. مطابق شکل (۱-۵) بستر رودخانه قبل از وقوع سیلاب دارای تراز حداقل برابر با ۴- متر بوده و عرض رودخانه نیز کمتر است (حدود ۲۰۰ متر). در هنگام وقوع سیلاب تراز کف بستر به ۱۰- متر کاهش یافته و عرض بستر نیز در اثر فرسایش کناره‌ها افزایش پیدا می‌کند (حدود ۲۸۰ متر)، بعد از فروکش سیل مجدداً کف بستر به تدریج در اثر رسوبگذاری وضعیت اولیه خود را بازیافته و تراز حداقل ۵- متر را تجربه می‌کند[۲۳].

omoorepeyman.ir

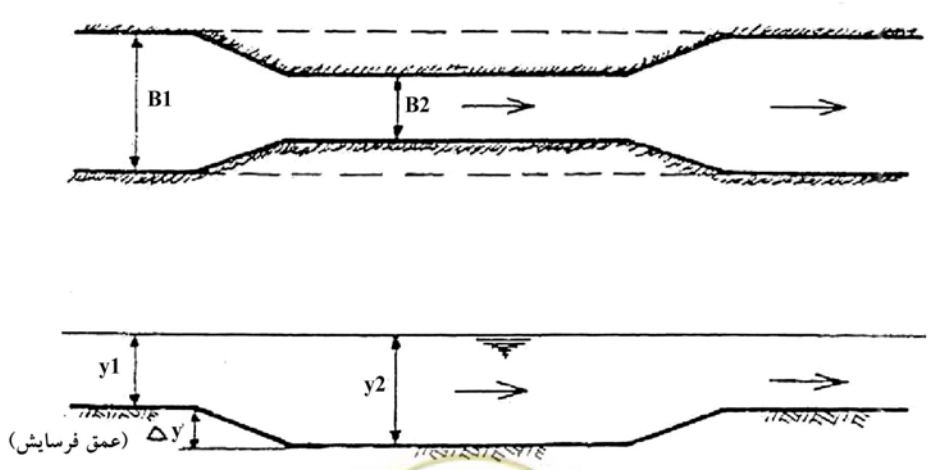
همچنین در نتیجه ساخت سازه‌های حفاظتی مانند آبشکن[1] و یا خاکریزهای سیلبند (گوره‌ها)[2] مقطع رودخانه کاهش یافته و این پدیده منجر به وقوع آبشستگی عمومی می‌گردد. این نوع آبشستگی عمومی را آبشستگی تنگ شدگی[3] می‌نامند. در شکل (۱-۶) نمونه‌ای از وقوع کف کنی ناشی از تنگ شدگی مقطع نشان داده شده است.

۱-۳-۳ آبشستگی موضعی و رسوبگذاری موضعی

آبشستگی موضعی بیشتر در اطراف پایه‌های پل، نوک آبشکنها[4]، خم رودخانه‌ها و به طور کلی در محدوده و پایین دست موانع ایجاد شده در مقابل جریان طبیعی رودخانه که منجر به انحراف خطوط جریان و تمرکز و تفرق آنها می‌شود حادث می‌گردد.



شکل ۱-۵- نمونه‌ای از فرسایش عمومی ناشی از وقوع سیلاب ورسوبگذاری عمومی مجدد [۲۳]



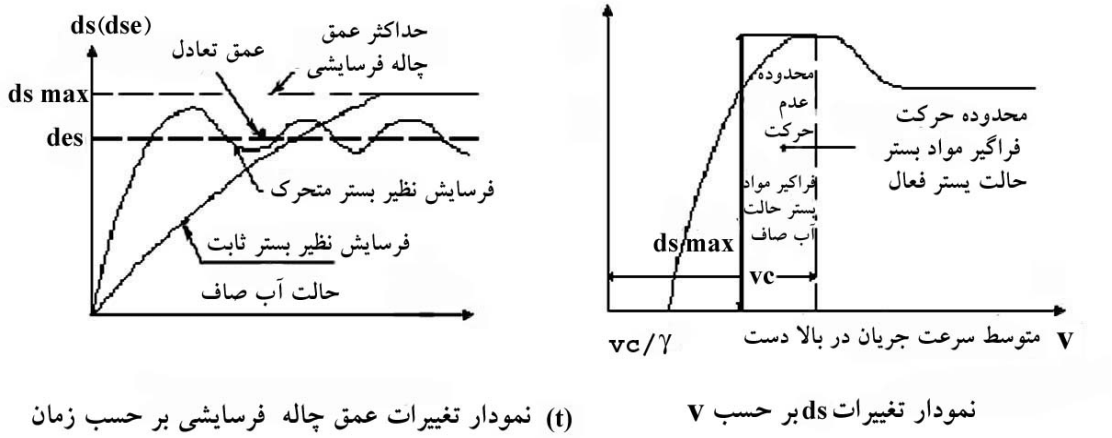
شکل ۱-۶- نمایش چگونگی وقوع آبشستگی عمومی ناشی از تنگ شدگی مقطع رودخانه [۶۹]

1 - Groin
2 - Levee
3 - Contraction (constriction) Scour
4 - Groyne/ Groin/ Spurdike

omoorepeyman.ir

عمق آبشستگی موضعی به مراتب بیشتر از کف کنی ایجاد شده توسط آبشستگی عمومی است. از این رو تعیین عمق چاله آبشستگی[1] ناشی از فرسایش موضعی در طراحی و بررسی پایداری سازه‌های ساماندهی دارای اهمیت زیادی است. در شکل (۱-۷) به عنوان نمونه سازوکار وقوع آبشستگی موضعی وتشکیل چاله فرسایشی در دماغه آبشکن با تأثیرپذیری از زمان و سرعت جریان آب نشان داده شده است.

رسوبگذاری موضعی نیز از جمله فرایندهایی است که به طور مکرر در رودخانه‌ها حادث می‌شود. این نوع رسوبگذاری در قوس داخلی خمهای رودخانه، در محل اتصال شاخه‌های جانبی، در بالادست و پایین دست پلها، در فضای بین آبشکنهای مجاور در بالادست سدهای انحرافی و سایر تأسیسات هیدرولیکی مشاهده می‌شود. شکل (۱-۸) نمونه‌ای از رسوبگذاری موضعی در میدان آبشکنها را به نمایش می‌گذارد. همچنین در شکل (۱-۱۲) رسوبگذاری موضعی در قوس داخلی خمها نشان داده شده است.



نمودار تغییرات ds بر حسب V (t) نمودار تغییرات عمق چاله فرسایشی بر حسب زمان

شکل ۱-۷- نمایش تغییرات عمق چاله فرسایشی بر حسب زمان و سرعت جریان در دماغه آبشکنها [۵۳]

ds= عمق چاله فرسایشی

dsmax= حداکثرعمق چاله فرسایشی

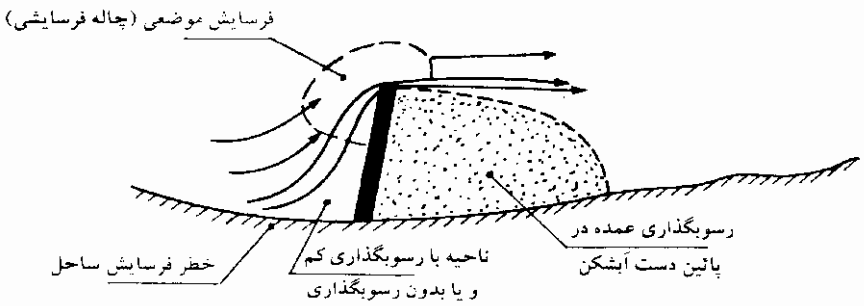
dse= عمق چاله فرسایشی در حالت تعادل

Vc= سرعت آستانه فرسایشی

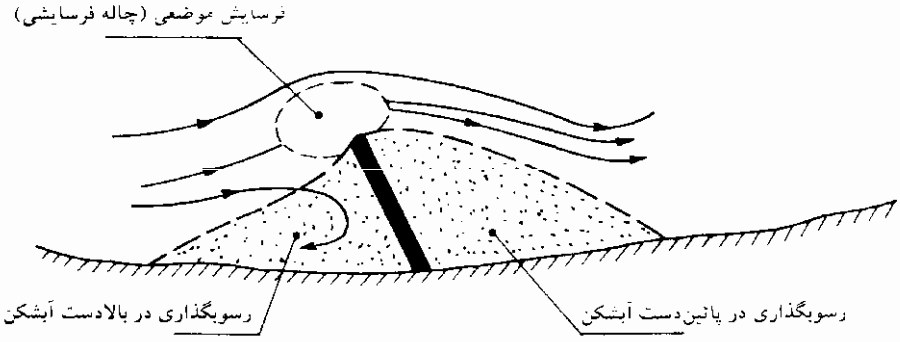
V= سرعت

omoorepeyman.ir

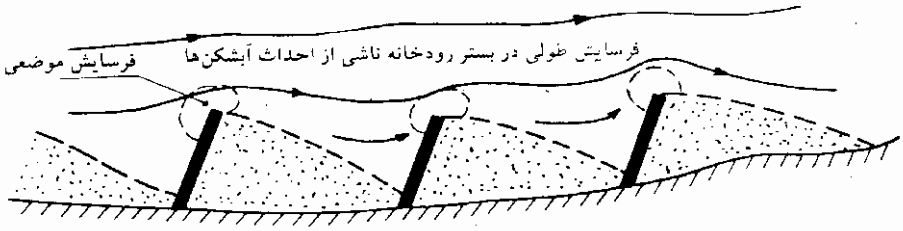
1 - Scour hole



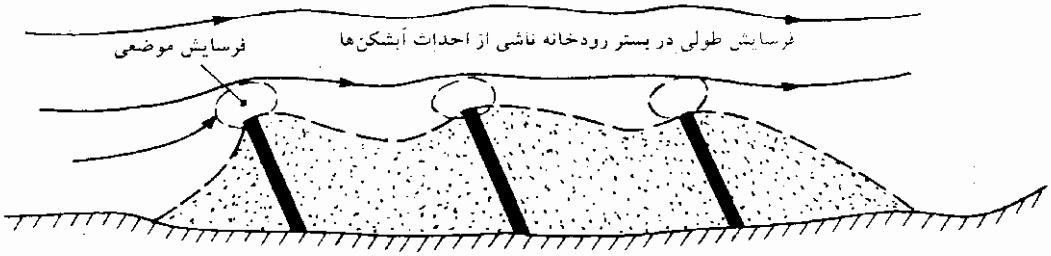
الف - وضعیت رسوبگذاری و فرسایش در محدوده یک آبشکن بسته (از نوع جذبی)



ب - وضعیت رسوبگذاری و فرسایش در محدوده یک آبشکن بسته (از نوع دفعی)



پ - وضعیت رسوبگذاری در سری آبشکن‌های بسته (از نوع جذبی)



ت - وضعیت رسوبگذاری در سری آبشکنهای بسته (از نوع دفعی)

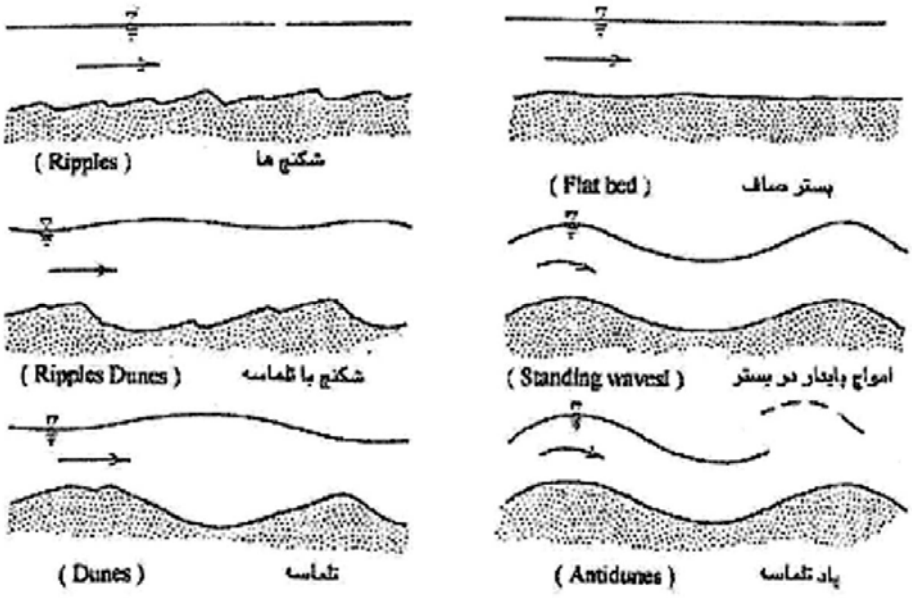
شکل ۱-۸ - مواردی از رسوبگذاری موضعی در محدوده آبشکنها [۴۶]

omoorepeyman.ir

۱-۳-۴ تشکیل تلماسه‌ها، جزایر و پشته‌های رسوبی در بستر رودخانه

جابه جایی مواد رسوبی در بستر رودخانه‌ها به شکلهای مختلف صورت می‌گیرد. در رودخانه‌های با بستر ماسه‌ای حرکت مواد رسوبی به‌صورت امواج ماسه ای[1] است که بسته به شرایط هیدرولیکی از نوع شکنج[2]، تلماسه[3] یا پادتلماسه[4] می‌باشد و عموماً از آنها با عنوان تلماسه یاد می‌شود [۴۶].

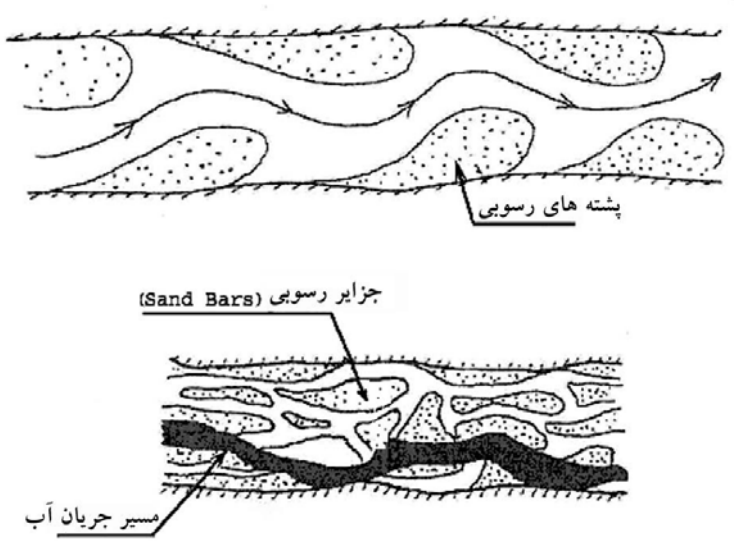
تلماسه‌ها با افزایش ابعاد هندسی رودخانه و عمق جریان رشد کرده و موجب تشدید اصطکاک انحراف و تفرق جریان به خصوص در مواقع کم آبی می‌شوند. در شکل (۱-۹) تصاویر مختلف تلماسه نشان داده شده است. جزایر و پشته‌های رسوبی[5] نیز شکل دیگری از منابع رسوبی رودخانه می‌باشند که بیشتر در رودخانه‌های با بستر شنی مشاهده می‌گردد. همچنین امکان تشکیل آن در بسترهای ماسه‌ای نیز وجود دارد. شکل (۱-۱۰) مواردی از تشکیل جزایر و پشته‌های رسوبی را به نمایش می‌گذارد.



شکل ۱-۹- نمایش چگونگی تشکیل تلماسه‌ها در بستر رودخانه‌ها [۴۶] و [۶۷] و [۱۵]

omoorepeyman.ir

1 - Sand waves
2 - Ripples
3 - Dunes
4 - Anti-dunes
5 - Sand Bars



شکل ۱-۱۰- نمونه‌هایی از تشکیل جزایر و پشته‌های رسوبی در بستر رودخانه‌ها [۳۹] و [۱۷] و [۲۹]

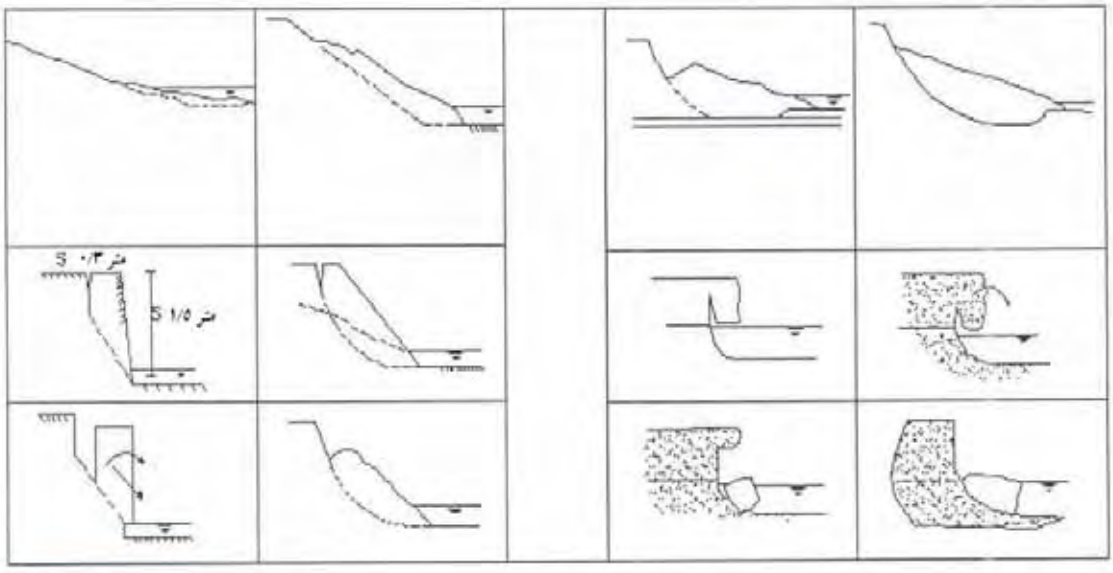
۱-۴ پیامدهای فرسایش و رسوبگذاری

رودخانه‌ها در اثر پدیده فرسایش و رسوبگذاری دستخوش تغییرات مستمر می‌باشند. شناخت چنین تغییرات برای اهداف ساماندهی و ایمن‌سازی رودخانه در مقابل نتیجه‌های به‌دست آمده دارای اهمیت فراوانی است در حالت طبیعی، فرسایش بستر منجر به ناپایداری کناره‌ها گردیده و این امر ریزش توده‌ای خاک و تغییر شکل مقطع هندسی رودخانه را به دنبال دارد (شکل۱-۱۱). قوس رودخانه‌ها نیز در اثر فرسایش موضعی جابه‌جا شده و تأسیسات ساحلی را تهدید می‌کند. افت تراز بستر پایه‌های پل را عریان کرده و احتمال تخریب آن را افزایش می‌دهد. شکل (۱-۱۲) تغییر مسیر رودخانه در اثر فرسایش قوسها را به نمایش می‌گذارد. در پایین‌دست سازه‌های هیدرولیکی، اطراف پایه‌های پل و دماغه آبشکنها نیز، فرسایشهای موضعی سلامت و استحکام سازه را به مخاطره می‌اندازد. بسیاری از سازه‌های حفاظتی مانند دیواره‌های سیل بند[1]، خاکریزها (گوره‌ها)، کف بندها[2]، پوششهای[3] کناره و کف و بدنه آبشکنها در معرض آسیب دیدگی ناشی از فرسایش قرار دارند.

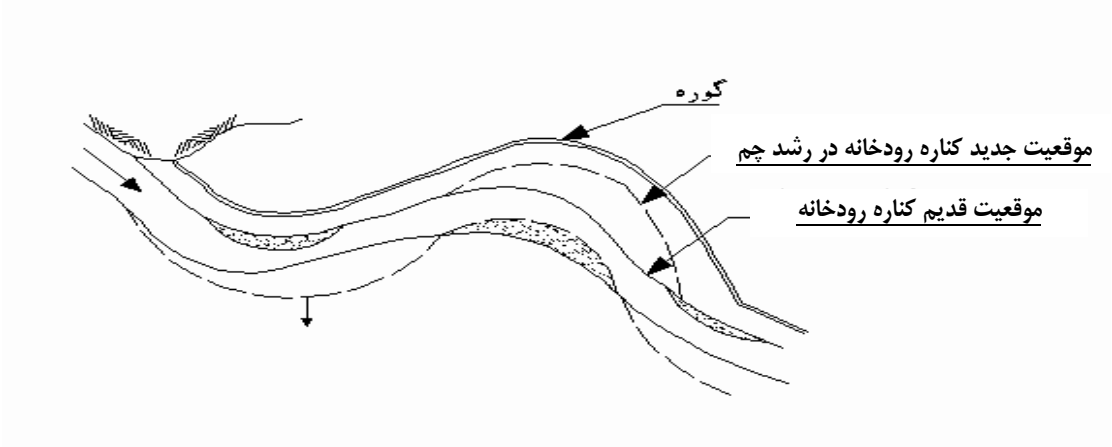
تأثیر رسوبگذاری بر رفتار رودخانه‌ها و نقش آن در فرایند ساماندهی نیز قابل توجه است. در مراحل اولیه اثر رسوبگذاری به صورت تثبیت بستر و پایداری کناره‌ها و سواحل رودخانه ظاهر می‌شود. امابا ادامه روند رسوبگذاری تراز بستر افزایش یافته و در نتیجه تغییراتی در ریخت شناسی رودخانه‌ها پدیدار می‌گردد که به نوبه خود بر عملکرد کارهای ساماندهی تأثیر می‌گذارد. رسوبگذاری ممتد و افزایش تراز بستر[4] موجب عریض تر شدن بستر در اثر جریان رودخانه و به ویژه در مواقع سیلابی موجب سیلگیر شدن اراضی اطراف خواهد شد. در شکل (۱-۱۳) نمونه‌ای از عکس العمل رودخانه و تغییر شکل مقطع عرضی ناشی از رسوبگذاری و تأثیر آن بر سازه‌های حفاظتی نشان داده شده است [۶۹]. ساخت پل و بوجود آمدن شرایط هیدرولیکی جدید به مرور زمان موجب انباشتن مواد رسوبی در بالادست سازه می‌شود. این پدیده بر افزایش تراز آب به خصوص در مواقع سیلابی مؤثر است.

1 - Flood walls
2 - Sills
3 - Revetments
4 - Aggradation

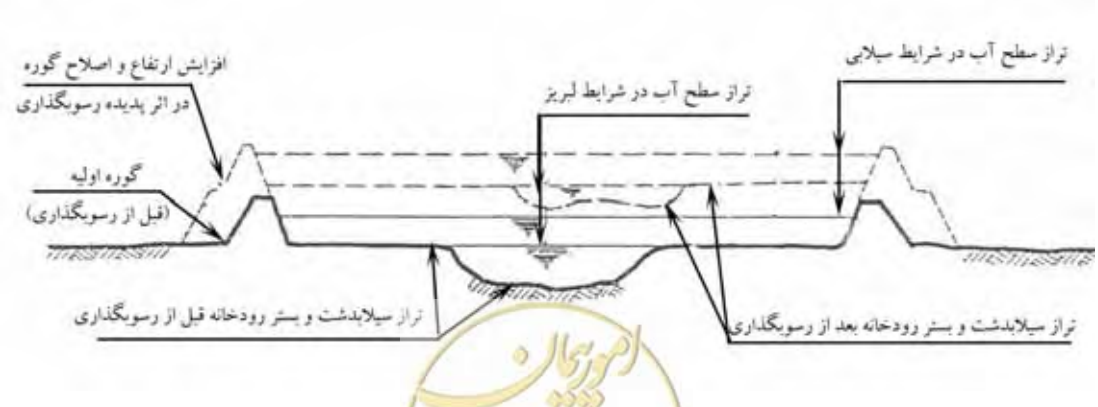
omoorepeyman.ir



شکل ۱-۱۱- مواردی از تأثیر فرسایش بستر بر ناپایداری کناره‌ها [۱۴]



شکل ۱-۱۲- نمونه‌ای از فرسایش در خم رودخانه و تأثیر آن در جابجایی مسیر [۲۹]



شکل ۱-۱۳- نمونه‌ای از عکس العمل رودخانه و تغییر شکل مقطع ناشی از رسوبگذاری

omoorepeyman.ir

۱-۵ بررسی اجمالی ساماندهی رودخانه‌ها و روشهای مختلف آن

اقدامات ساماندهی که با هدف بهسازی و برقراری شرایط مطلوب انجام می‌گیرد، دخالت در نظام رفتاری رودخانه تلقی شده و پیامدهای مختلفی را در پی دارد. تغییر رژیم رسوبدهی از جمله پیامدهای بارز ساماندهی است که به نوبه خود روند فرسایش و رسوبگذاری و الگوهای مختلف ساماندهی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. به عبارتی شناخت اثرهای متقابل ساماندهی و فعل و انفعالات فرسایش و رسوبگذاری از جمله چالشهای مهم در عرصه مهندسی رودخانه بوده ومستلزم آگاهی از کم و کیف آن می‌باشد. روشهای مختلف ساماندهی رودخانه‌ها را می‌توان در دو گروه عمده زیر تقسیم بندی نمود:

۱-۵-۱ روشهای سازه‌ای

۱-۵-۲ روشهای غیرسازه‌ای

در جدول ۱-۱ انواع روشهای حفاظتی و پیامدهای آن از دیدگاه فرسایش و رسوبگذاری درج شده است. دراین جدول روشهای سازه‌ای متشکل از سازه‌های عرضی و طولی است. آبشکنها، کف بندها، شیب‌شکنها[1]، صفحات مستغرق[2] و سرریزها[3] در زمره سازه‌های عرضی و گوره‌ها، دیواره‌های سیل بند و پوششهای حفاظتی در ردیف سازه‌های طولی قرار دارند. استفاده از سازه‌های مختلف ازدیرباز در حفاظت و ساماندهی رودخانه‌ها متداول بوده است.

این سازه‌ها از نظر عملکرد رفتاری در مقابل پدیده کف کنی و یا پنجه شویی[4] از نوع صلب و یا انعطاف‌پذیر تلقی می‌شوند. سازه‌های صلب عموماً از نوع بتنی و یا سنگ و سیمان می‌باشد و در اثر نشستهای غیر همگن دچار شکستگی گردیده و یکپارچگی و مقاومت خود را در مقابل جریان رودخانه از دست می‌دهند.

سازه‌های انعطاف پذیر با استفاده از تورسنگ و یا مواد سنگریزه‌ای و مصالح خاکی ساخت می‌گردند و در مقابل تنشهای ناشی از پدیده نشست آسیب پذیری کمتری دارند [۱۴].

مطابق جدول ۱-۱ روشهای سازه‌ای بسته به نوع واهداف مورد نظر موجب وقوع فرسایش موضعی و یا فرسایش عمومی شده و بعضاً پدیده رسوبگذاری را در پی دارد.

روشهای غیر سازه‌ای در مواردی با هدف افزایش ظرفیت آبگذری رودخانه و کاهش تراز سیلاب به کار گرفته می‌شود. اصلاح مسیر از طریق پاکسازی بستر از رسوبات و ناهنجاریهای موجود و همچنین ایجاد میانبر به منظور حذف چمهای تند و برقراری راستای مناسب در افزایش آبگذری و کاهش تراز سیلاب مؤثر است. همچنین این گونه اقدامات مطابق جدول ۱-۱ موجب تشدید فرسایش در بازه‌های اصلاحی و تغییر رژیم رسوبی آن می‌گردد. استفاده از پوشش گیاهی نیز برای تثبیت کناره‌ها از نظر ملاحظات زیست محیطی و انطباق‌پذیری با اقلیم محیط امروزه مورد توجه متخصصان مسائل رودخانه‌ای و کارشناسان ساماندهی رودخانه‌ها می‌باشد. همچنین پوشش ژئوتکستایل و مصنوعات مشابه از نظر سهولت اجرا و انعطاف پذیری مناسب در طرحهای ساماندهی مانند مهار فرسایش کناره‌ها و تثبیت موقعیت رودخانه متداول شده است [۳۰].

omoorepeyman.ir

1 - Drops
2 - Submerged vanes
3 - Weirs
4 - Undercutting

جدول ۱-۱- روشهای حفاظتی مورد استفاده در ساماندهی رودخانه‌ها و پیامدهای فرسایش و رسوبگذاری آن

روش حفاظتی		نوع سازه یا اقدامات اصلاحی	پیامدهای اقدامات ساماندهی					هدف از اقدامات ساماندهی			
			فرسایش موضعی	فرسایش عمومی	رسوبگذاری موضعی	رسوبگذاری عمومی	تثبیت کناره	تثبیت کف	کنترل سیلاب	ایجاد راستای مناسب
سازه ای	سازه‌های عرضی	آبشکن	×	×	×	×	×			×
		کف بند	×			×		×		
		شیب شکن	×			×		×		
		سرریز	×		×	×		×		
		صفحات مستغرق	×		×	×	×	×		×
	سازه‌های طولی	گوره (خاکریز)		×					×	×
		دیواره سیل بند	×	×					×	×
		پوشش حفاظتی بستر و کناره‌ها	×				×	×		×
غیر سازه ای	اصلاح مسیر	پاکسازی مسیر		×					×	
		ایجاد میان بر		×					×	×
	پوشش غیرسازه‌ای	پوشش گیاهی	×		×		×			×
		پوشش ژئوتکستایل	×				×			×

omoorepeyman.ir

۲- چگونگی جمع‌آوری آمار و اطلاعات پایه در مطالعات فرسایش و رسوب ساماندهی رودخانه‌ها

برای مطالعات فرسایش و رسوب در ساماندهی رودخانه‌ها فراهم آوردن زمینه لازم برای شناخت رفتار رودخانه از نظر تغییرات هندسی آن، چگونگی استفاده از منابع رودخانه‌ای، بررسی پدیده‌های مختلف فرسایش و رسوبگذاری و ارائه روشهای کنترل آن در شرایط عادی و سیلابی جمع‌آوری آمار و اطلاعات انجام می‌شود.

آمار و اطلاعات مورد نظر در این مطالعات شامل مجموعه‌ای از داده‌های پایه، نقشه‌ها و گزارشها و پیمایش مسیر رودخانه می‌باشد و البته علاوه بر جمع‌آوری آمار و اطلاعات، پردازش، اصلاح، تکمیل و طبقه‌بندی آنها نیز باید در نظر قرار گیرد.

در بعضی از موارد ممکن است جمع‌آوری اطلاعات صحرایی و دفتری برای بررسی رفتار هیدرولیک جریان یا ریخت شناسی رودخانه‌ها باشد که در این صورت مسئله فرسایش و رسوبگذاری از جایگاه مهمی برخوردار خواهد بود. به علاوه نتایج این پیمایشها و مشاهدات صحرایی و اطلاعات آماری می‌تواند در تایید یا عدم تایید نتایج مدلهای ریاضی و فیزیکی مرتبط با مطالعات ساماندهی رودخانه‌ها استفاده شود. به طور کلی عوامل زیر در چگونگی جمع‌آوری آمار و اطلاعات پایه مؤثر می‌باشد[۳۰] :

- وسعت ناحیه‌ای که مطالعات مربوط به ساماندهی باید انجام شود
- تنوع داده‌هایی که باید جمع‌آوری گردند
- تراکم نقاط اندازه‌گیری و جمع‌آوری داده‌ها
- فواصل زمانی اندازه‌گیریها
- زمان اندازه‌گیری یا جمع‌آوری داده‌ها
- مدت زمان لازم برای جمع‌آوری و اندازه‌گیری داده‌ها
- روش پردازش داده‌های جمع‌آوری شده

ضمناً علاوه بر موارد گفته شده دربالا باید توجه داشت که روش اندازه‌گیری داده‌ها نیز از عوامل مؤثر تلقی می‌گردد.

۲-۱ بازدیدهای صحرایی از مسیر رودخانه به منظور شناسایی عوامل مؤثر بر فرسایش و رسوب

بازدیدهای صحرایی از بازه‌های مختلف رودخانه در محدوده مورد نظر برای مطالعات، اطلاعات فیزیکی و پایه‌ای مفیدی را فراهم می‌کند. اطلاعات بدست آمده از بازدیدهای صحرایی شامل پیکربندی مسیر رودخانه (شکل پلان)، مشخصات مقاطع عرضی و شیب رودخانه، مواد و مصالح بستر و کناره‌ها، بده جریان، خصوصیات رسوب و کیفیت آب، چگونگی بهره‌برداری از منابع رودخانه‌ای، کاربری اراضی حاشیه رودخانه‌ها، وضعیت فرسایش و رسوبگذاری در مسیر رودخانه، مسائل اجتماعی و محیط زیستی آن می‌باشد.

در مطالعات ساماندهی رودخانه‌ها با هدف بررسی فرسایش و رسوبگذاری، بازدیدهای صحرایی با اهداف عمده زیر انجام می‌گیرد [۱۷]:

- شناسایی و بررسی بازه‌ها و یا نقاط فرسایش پذیر و رسوبگذار و تهیه نقشه از وضعیت موجود رودخانه

omoorepeyman.ir

- شناسایی و بررسی عوامل مؤثر بر فرسایش و رسوب در بازه‌های مورد مطالعه مانند وجود چمها[1]، اتصال شاخه‌های پر رسوب و برداشت شن و ماسه از بستر رودخانه
- شناسایی و بررسی سازه‌ها و تأسیسات اطراف و داخل رودخانه، به ویژه از دیدگاه فرسایش و رسوبگذاری مانند پلها، دیواره‌های سیل بند، خاکریزها، آبشکنها، سدها و بندهای انحراف آب
- شناسایی مناطق مختلف برداشت مصالح رودخانه‌ای و چگونگی برداشت مصالح

نتایج و اطلاعات به دست آمده از بازدیدهای صحرایی می‌تواند به عنوان اطلاعات اولیه در مطالعات مربوط به فرسایش و رسوب استفاده شود.

۲-۲ بازدید و بررسی ایستگاههای هواشناسی، آب سنجی و رسوب سنجی محدوده مورد مطالعه

در بازدیدهای به عمل آمده از رودخانه برای مطالعات فرسایش و رسوب لازم است ایستگاههای هواشناسی، آبسنجی و رسوب سنجی واقع در محدوده مورد مطالعه و سرشاخه‌های آن شناسایی و روی پلان و نقشه‌های موجود از مسیر رودخانه مشخص شوند. برای مطالعات ساماندهی رودخانه‌ها، لازم است دستگاههای اندازه‌گیری باران در سطح حوضه، جریان رودخانه و نمونه برداری رسوب در ایستگاههای واقع در محدوده مورد مطالعه بررسی شده و در صورت لزوم این ایستگاهها تجهیز و تکمیل شوند. علاوه بر آن پیشنهاد تاسیس ایستگاههای جدید آبسنجی و رسوب سنجی بر روی رودخانه اصلی و سرشاخه‌های آن همراه با تعیین محل استقرار آنها و ارائه دستور العمل چگونگی برداشت نمونه‌ها و انجام دادن آزمایشهای لازم در صورت لزوم ارائه شود.

در صورت نبود آمار مربوط به اندازه‌گیری بارکف، لازم است به منظور برآورد میزان بار کف،دانه‌بندی مواد بستر از طریق نمونه‌برداری در نقاط مورد نیاز مشخص گردد[۶۰]. در صورت وجود آمار و اطلاعات ثبت شده، میزان بار کف بر اساس سنجشهای رودخانه‌ای تعیین می‌گردد.

۲-۳ جمع‌آوری آمار، اطلاعات، گزارشها، نقشه‌ها، عکسهای هوایی و تصاویر ماهواره‌ای

جمع‌آوری آمار، اطلاعات و گزارشهای مورد نیاز برای مطالعه فرسایش و رسوب از دیدگاه ساماندهی را می‌توان در دو دسته عمده زیر بیان کرد [۵۹]:

- آمار مرتبط با هواشناسی اعم از آمار بارشهای جوی، آمار تبخیر و ... و همچنین گرد آوری گزارشهای هواشناسی موجود مربوط به منطقه.
- آمار مرتبط با هیدرولوژی و رسوب که شامل آمار بده لحظه‌ای و سیلابها، میزان برداشت آب از رودخانه، آمار رسوب (به ویژه برای دوره‌های کم آبی، پرآبی و سیلابی) و همچنین گرد آوری گزارشهای هیدرولوژی موجود مربوط به منطقه.

علاوه بر این لازم است در صورتی که در محدوده طرح قبلاً کارهای مهندسی رودخانه با اهداف مختلف دیگر مطالعه یا اجرا شده باشد، گزارشهای فرسایش و رسوب این مطالعات نیز در صورت امکان جمع‌آوری شده و بررسی شوند.

1 - Meanders

omoorepeyman.ir

برای کارهای طراحی و موارد اجرایی مهندسی رودخانه مرتبط با مطالعات فرسایش و رسوب، نقشه‌های معتبر و به روز شده با ارزش هستند. از این رو مهندس رودخانه قبل از هر اقدامی لازم است بخشی از اطلاعات مورد نیاز خود را با استفاده از نقشه‌های موجود تهیه نماید. نقشه‌های موجود که از اندازه‌گیریهای زمینی بدست آمده اند معمولاً کامل نبوده و بعضی وقتها غیر معتبر و شاید از نظر زمان تهیه بدون ارزش باشند. بنابراین آماده کردن نقشه‌های رودخانه‌ای از عکسهای هوایی به روز شده کاربرد وسیعی در این رشته پیدا کرده است. به عنوان یک واقعیت، مشاهدات سیستمهای رودخانه‌ای در نواحی صعب العبور و غیر قابل دسترسی غیر ممکن یا سخت می‌باشد، در صورتی که از عکسهای هوایی این موارد به راحتی قابل برداشت است[۱۷].

در عمل معمولاً نقشه‌ها را به دو دسته عمده تقسیم می‌کنند : نقشه‌های با اهداف کلی و نقشه‌های با اهداف بررسی دقیق جزئیات. هر برگ از نقشه‌های با اهداف کلی عموماً بازه‌ای در حدود ۱۰ تا ۲۰ کیلومتر از رودخانه و نواحی اطراف آن را شامل می‌شود. چنین نقشه‌هایی اطلاعات کلی از رودخانه را در اختیار کارشناس قرار می‌دهد. عموماً مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ برای این نقشه‌ها مناسب می‌باشد.

در حالتهای خاص که تغییرات عمده‌ای در اثر فرسایشهای حاد، تشکیل جزایر رسوبی و موارد دیگر مشاهده می‌شود نقشه‌های با جزئیات بیشتر تا مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ لازم است.

نقشه‌های توپوگرافی موجود در کشور با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ و در بسیاری از نقاط با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ می‌باشد. علاوه بر آن عکسهای هوایی و تصاویر ماهواره‌ای موجود که تمام یا قسمتی از کشور را پوشش می‌دهند عبارتند از : عکسهای هوایی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، ۱:۴۰۰۰۰و ۱:۲۰۰۰۰ و تصاویر ماهواره‌ای با مقیاسهای ۱:۱۰۰۰۰۰ و ۱:۵۰۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰۰ و ۱:۱۰۰۰۰۰ که در زمانهای مختلف قابل تهیه می‌باشند.

برای مطالعات جزیی تر و دقیق تر به نقشه‌های با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰ تا ۱:۵۰۰۰ یا حتی مقیاسهای بزرگتر نیاز است و عموماً مقیاس نقشه‌های استفاده شده به دقت لازم در کار و مقدار جزئیات که باید نشان داده شود ارتباط دارد [۳۳]. به طور کلی برای اصلاح و تثبیت رودخانه لازم است نقشه‌برداری یا آبنگاری در رودخانه انجام شود [۲۹].

برای مطالعات مرحله توجیهی طرحهای ساماندهی رودخانه‌ها با هدف فرسایش و رسوبگذاری لازم است دستور العمل نقشه‌برداری و آبنگاری برای محدوده‌های مورد مطالعه که شامل موارد زیر باشد ارائه گردد [۳۰]:

- تعیین مناطق مورد نظر برای ارائه خدمات نقشه برداری و یا هیدروگرافی
- تعیین مشخصات نیمرخ یا نیمرخهای طولی
- تعیین تعداد، فاصله و محدوده مورد نظر برای برداشت مقاطع عرضی
- تعیین محدوده مورد نیاز برای تهیه نقشه‌های توپوگرافی و مسطحه رودخانه و اراضی حاشیه آن
- تعیین مقیاس و ضوابط لازم برای تهیه نقشه‌ها و نیمرخهای عرضی و طولی
- تهیه و ارائه برنامه زمانبندی نقشه برداری و یا آبنگاری (هیدروگرافی) لازم در چهارچوب برنامه نهایی مطالعات طرح.

همچنین تکنولوژی سنجش از دور بعنوان یک وسیله جمع‌آوری داده‌ها بدون تماس فیزیکی با موضوع تحت مطالعه به طور وسیع استفاده می‌شود. وسایل سنجش از دور در مطالعات منابع آب و خاک هر دو نوع عکسبرداری و غیر عکسبرداری را دارا

omoorepeyman.ir

می‌باشند [۲۹]. این تکنیک با استفاده از تصاویر و عکسهای ماهواره‌ای و پردازشهای لازم روی آنها می‌تواند اطلاعات زیر را در اختیار مهندس طراح قرار دهد.

- نوع خاک و رطوبت خاک
- ترکیب و توزیع پوشش زمین و کاربری آن (تهیه نقشه‌های کاربری اراضی)
- تغییرات بوجود آمده در شبکه‌های رودخانه‌ای ناشی از فرسایش و رسوبگذاری
- سرعت و جهت وزش باد
- تمرکز و توسعه (وسعت) آلودگیها

۲-۴ گردآوری اطلاعات تخصصی جریان و رسوب در مطالعات فرسایش و رسوب

آگاهی از شرایط انتقال رسوب برای طراحی کارهای مهندسی رودخانه، مخصوصاً در رودخانه‌های آبرفتی، ضروری است. مسائل اولیه رسوب در رودخانه‌ها مربوط به رسوبگذاری مخازن و طول عمر آنها آبشستگی پایین دست سدها و مسائل مرتبط با حوضچه‌های آرامش، فرسایش کناره‌ها، آبشستگی بستر و رسوبگذاری می‌باشد. برای دستیابی به این مسائل لازم است ارتباط جریان با بار رسوب معلق و رسوب بستر همراه با دانه‌بندی مواد کف و کناره رودخانه، اطلاعات تاریخی، نرخ رسوبگذاری و موقعیت انباشت رسوبات در مخازن، فرسایش در پایین دست سدهای موجود مشخص گردد [۲۹].

برنامه جمع‌آوری داده‌های پایه رسوب شامل اندازه‌گیریها و نمونه برداریهای زیر می‌باشد :

- نمونه‌های رسوب معلق باید تهیه و تحلیل شوند تا غلظت رسوبات به صورت تابعی از بده جریان و ترکیب اندازه ذرات برآورد گردند.
- نمونه‌های بار بستر باید تهیه و تحلیل شوند تا غلظت آنها به صورت تابعی از بده جریان و نوع و اندازه ذرات جابجا شده برآورد گردند.
- نمونه‌های مصالح سطحی بستر (کف و کناره) برای تعیین دانه‌بندی و ترکیب مصالح بستر تهیه شوند.
- حفاری گمانه‌های دستی تا عمق لازم در بستر و کناره‌ها برای مشخص کردن ضخامت مصالح آبرفتی (فاصله تا سنگ بستر) و توزیع اندازه ذرات رسوبات لازم است.
- محدوده‌هایی در مخازن موجود در محل طرح که نقشه برداری و نمونه برداری متناوب برای برآورد عمق رسوبات و ترکیب اندازه ذرات و وزن آنها انجام گیرد.
- محدوده‌هایی در پایین دست سدهای موجود که نقشه برداری و نمونه برداری متناوب برای برآورد کف کنی و ترکیب مصالح سطحی انجام گیرد [۲۹].

برای بررسی روند فرسایش و رسوبگذاری با روش مدل ریاضی در مطالعات ساماندهی رودخانه‌ها لازم است مجموعه‌ای از داده‌ها و اطلاعات به عنوان ورودی در اختیار باشند. این داده‌ها را می‌توان در سه دسته عمده تقسیم بندی کرد [۸].

omoorepeyman.ir

الف – داده‌های هندسی

داده‌های هندسی شامل شکل مقاطع عرضی و تغییرات آن در طول مسیرو نیمرخ طولی و شیب رودخانه است که با انجام دادن عملیات آبنگاری و عمق یابی یا نقشه برداری بدست می‌آیند. علاوه بر آن لازم است در صورت وجود هر گونه سازه‌های متقاطع با رودخانه اعم از پل، کالورت و همچنین سازه‌های طولی اعم از دیوارهای حائل، سیل بند و خاکریزیها و ...، مشخصات آنها برداشت گردد.

ب – داده‌های هیدرولیکی

داده‌های هیدرولیکی لازم به منظور مطالعات هیدرولیک، اطلاعات پایه‌ای لازم برای مطالعات فرسایش و رسوب می‌باشد. این داده‌ها شامل بده‌های ورودی از بالادست حوضه، بده‌های جانبی وارده از شاخه‌های فرعی و تغییرات تراز آب در پایین دست حوضه می‌باشد. به علاوه برای واسنجی[1] مدل کامپیوتری مورد نظر، لازم است ترازهای آب همراه با سرعت جریان و جهتهای آن برای حداقل یک مقطع مشخص در بازه تحت مطالعه اندازه‌گیری شود تا ضمن مقایسه نتایج به دست آمده ازمدل با مقادیر اندازه‌گیری شده، واسنجی آن نیز انجام گیرد. برای رودخانه‌های جزرومدی لازم است این اندازه‌گیریها در دوره‌های زمانی در شرایط کهکشند[2] و مهکشند[3] انجام گردد تا این شرایط مرزی[4] همراه با شرایط اولیه[5] در محاسبات مدل درنظر گرفته شود.

ج – داده‌های رسوب

این داده‌ها شامل داده‌های ایستگاههای رسوب سنجی که معمولاً رسوب بازاء بده را اندازه‌گیری می‌کند و همچنین مشخصات رسوب، اعم از دانه‌بندی مصالح جابجا شده و چگونگی تغییرات آن در طول مسیر رودخانه، چگالی دانه‌ها و درصد رسوبات چسبنده و غیر چسبنده می‌باشد. برای رودخانه‌های با رسوبات چسبنده و ریزدانه لازم است تغییرات غلظت رسوبات در بازه‌های زمانی مشخص، حداقل در سه نقطه ابتدا انتها و نقطه واسنجی در طول بازه اندازه‌گیری شود.

omoorepeyman.ir

1 - Calibration
2 - Neap
3 - Spring
4 - Boundary Condition
5 - Initial Condition

۳- مطالعات فرسایش در شرایط طبیعی

۳-۱ کلیات

فرسایش یکی از پدیده‌های مهم رودخانه‌ای است. عوامل مختلفی در وقوع فرسایش دخالت دارند که از جمله می‌توان به شیب رودخانه، وقوع سیلابها، نقش پیچابها، دانه‌بندی مواد رسوبی، مشخصات حوضه‌های آبریز و پدیده‌های زمین‌شناسی اشاره نمود. بدیهی است دخالتهای مستقیم و غیرمستقیم انسان در محیط رودخانه‌ای که به منظور بهره‌برداری و ساماندهی رودخانه‌ها انجام می‌گیرد به نوبه خود در تشدید این فرایند تأثیرگذار می‌باشد، که در فصل مربوط به آن پرداخته خواهد شد. براساس نظریه لین[1] وقوع فرسایش در راستای ایجاد شرایط تعادل بین بده آب (Q) و بده رسوب (Qs) و مشخصات دانه‌بندی و شیب رودخانه می‌باشد [۲۰]. رابطه تعادل لین، بین عوامل یاد شده به صورت زیر بیان می‌شود.

$$Q_S D \approx QS$$

دراین رابطه D = قطر شاخص مواد رسوبی بستر، S = شیب بستر یا شیب خط انرژی و Q و Qs به ترتیب بده جریان و بده رسوب می‌باشد. در حالت تعادل شیب رودخانه نسبت به زمان ثابت بوده و رسوب ورودی به بازه عیناً به پایین دست منتقل می‌شود. چنانچه به هردلیلی مقدار تغذیه رسوبی رودخانه کاهش پیدا کند مطابق رابطه (۳-۱) لازم است برای برقراری تعادل جدید شیب (S) نیز کاهش پیدا کند. در این حالت رودخانه برای دوره زمانی خاصی دچار فرسایش یا کف کنی می‌شود. در مواقع بروز سیلاب نیز که مقدار Q رو به افزایش می‌گذارد رودخانه در راستای برقراری تعادل با توجه به معادله (۳-۱) دچار فرسایش فراگیر شده و مقدار S رو به کاهش می‌گذارد. بدیهی است بعد از فروکش کردن سیلاب امکان رسوبگذاری مجدد و بازیافت شیب اولیه رودخانه وجود دارد. از دیدگاه ریخت شناسی، فرسایش ناشی از وقوع سیلاب به عنوان فرسایش عمومی شناخته می‌شود که در بند ۱-۳-۲ به آن پرداخته شده است. علاوه بر آن شکل دیگری از فرسایش طبیعی در رودخانه‌ها اتفاق می‌افتد که از آن به عنوان فرسایش مستمر نیز نامبرده می‌شود [۱۶ و ۳۹]. در چنین حالتی رودخانه بتدریج تا رسیدن به وضعیت تعادل جدید فرسایش یافته و شیب خود را کاهش می‌دهد. از جمله عوامل طبیعی مؤثر در وقوع این پدیده افت سطح اساس[2] در پایاب و یا در بخشهایی از مسیر رودخانه است که در اثر پدیده‌های زمین شناسی مانند حرکات تکتونیکی و جابجایی گسلها حادث می‌شود. به علاوه تغییر رژیم رسوب رودخانه که از تغییر طبیعی رژیم بارندگی و هیدرولوژیک ناشی می‌شود (مانند وقوع دوره‌های خشک و ترسالی) در شکل‌گیری فرسایش مستمر تأثیرگذار می‌باشد.

omoorepeyman.ir

1 - Lane
2 - Base Level

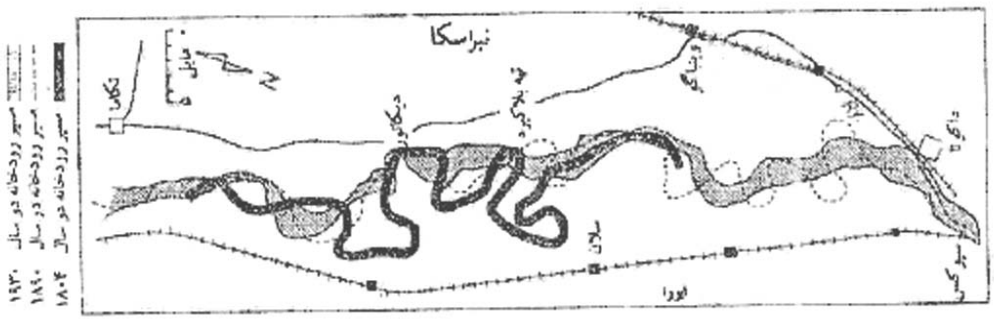
۲-۳ بررسی کلی پدیده فرسایش، انواع آن و تأثیر نوع رودخانه در پدیده فرسایش

بررسی پدیده فرسایش در رودخانه‌ها عموماً از دیدگاه کمی و کیفی مطرح می‌باشد. در کارهای مهندسی توجه اصلی به موارد کمی است. در این خصوص تعیین میزان گودافتادگی بستر، تغییر ویژگیهای هندسی رودخانه، حجم و نوع رسوبات حمل شده و تغییر دانه‌بندی بستر از جمله موارد کمی می‌باشند که مستقیماً در ارتباط با اقدامات ساماندهی و طرحهای مهندسی رودخانه قرار می‌گیرند. درعین حال بررسیهای کیفی مانند چگونگی تأثیرپذیری فرسایش رودخانه از تغییر نظام هیدرولوژیک، نقش تغییرات پوشش گیاهی پدیده‌های زمین‌شناسی و تکتونیک، نوسانات سطح آب زیرزمینی اثر تغییرات زیست بوم رودخانه و موارد دیگر به نوبه خود در تحلیل رفتار و فرسایش رودخانه و پیامدهای آن دارای اهمیت است. از طرفی ازنظر تعدد عوامل تأثیرگذار، تجزیه و تحلیل پدیده فرسایش و تعیین کمی آن به آسانی میسر نبوده و استفاده از روابط، معادلات و الگوهای ارائه شده مستلزم احتیاط و درنظرگرفتن تجربیات و دیدگاههای کارشناسی است. نظری اجمالی به معادله (۳-۱) بعضی جنبه‌های پیچیده پدیده فرسایش را آشکار می‌کند. معادله لین هرچند ارتباط ساده‌ای را بین اصلی‌ترین عناصر رودخانه بیان می‌کند اما هر یک از عناصر معادله تغییر پذیری زمانی و مکانی زیادی دارند به گونه‌ای که در هر مقطع زمانی و موقعیت مکانی بسته به ترکیب کمی عناصر مزبور شرایط خاصی از رفتار و فرسایش بر رودخانه حاکم می‌باشد. وجود خمها در مسیر رودخانه نوع خاک کناره‌ها، اتصال شاخه‌های جانبی و لایه‌بندی مواد رسوبی بستر نیز هر کدام به نوعی بر پیچیدگی مسئله می‌افزاید. علی رغم نارساییهای موجود متخصصان مسائل رودخانه‌ای راهکارهای مختلفی را برای پاسخگویی به نیازهای کاربردی ارائه نموده‌اند. بسته به عوامل مختلف تأثیرگذار وقوع فرسایش در رودخانه‌ها را می‌توان در سه گروه عمده شامل فرسایش مستمر، فرسایش عمومی و فرسایش موضعی بررسی نمود. تعریف کلی هر یک از موارد یاد شده در فصل (۱) ارائه شده است. از جمله عوامل طبیعی مؤثر در فرسایش رودخانه‌ها رشد چمها (پیچابها) می‌باشد که در زمره فرسایش موضعی قرار دارد. این گونه فرسایش که حاصل وقوع جریان پیچشی یا حلزونی[۱] در چم رودخانه است یکی از مهمترین عوامل در تغییر شکل بلند مدت رودخانه‌های پیچانرودی می‌شود. جابه جاییهای عرضی و تغییر شکل مسیر و نیمرخ طولی رودخانه در طی سالهای متمادی حاصل فرسایش موضعی در چمها می‌باشد. در شکل (۳-۱) نمونه‌ای از جابه جاییهای عرضی و تغییر شکل رودخانه میسوری[۲] در بین سالهای ۱۸۰۴ تا ۱۹۳۰ نشان داده شده است[۳۸].

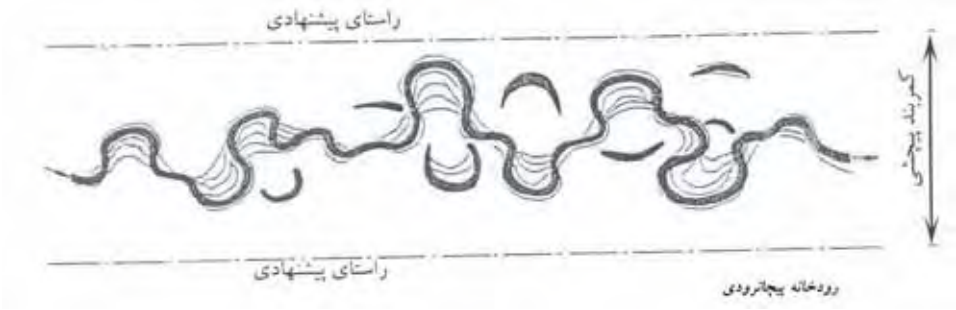
رودخانه‌های پیچانرودی مانند شکل (۳-۱) در یک محدوده عرضی مشخصی جابجا می‌شوند. این محدوده کمربند پیچشی[۳] نام دارد. در شکل (۳-۲) موقعیت کمربند پیچانرودی نشان داده شده است [۱۷]. به علاوه در رودخانه‌های پیچانرودی عرضی، بستر تقریباً ثابت بوده اما به علت فرسایش مستمر موضعی در چمهای رودخانه در یک محدوده عرضی مشخص (کمربند پیچشی) دائماً جابجا می‌شود. در بعضی رودخانه‌ها فرسایش به‌صورت تعریض بستر نمایان می‌گردد. این‌گونه فرسایش در رودخانه‌های شریانی[۴] عمومیت دارد. علاوه براین در رودخانه‌های مستقیم[۵] نیز فرسایش متوجه کناره‌ها بوده و همراه با تعریض بستر می‌باشد. در این نوع رودخانه‌ها حد نهایی تعریض بستر را اصطلاحاً کمربند فرسایشی[۶] گویند [۱۷]. در شکل (۳-۲) موقعیت کمربند فرسایشی نشان داده شده است.

1 - Spiral Flow
2 - Missouri River
3 - Meandering Belt
4 - Braided River
5 - Straight River
6 - Scouring Belt

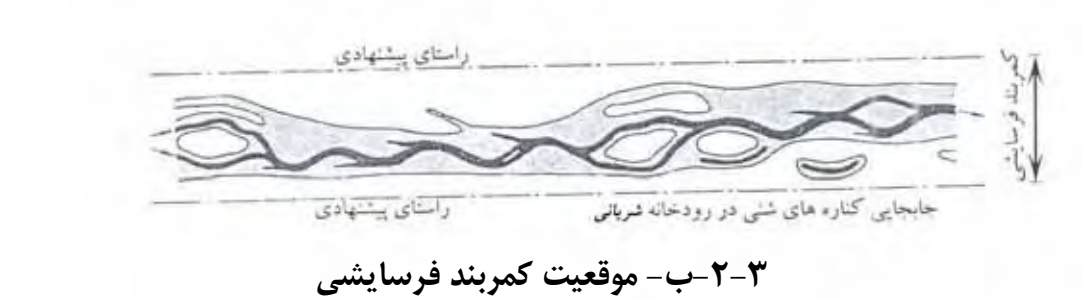
omoorepeyman.ir



شکل ۳-۱- جابجایی عرضی و موقعیت مسیر رودخانه میسوری در پریودهای زمانی مختلف [۳۸]



۳-۲-الف - موقعیت کمربند پیچانرودی



۳-۲-ب- موقعیت کمربند فرسایشی

شکل۳-۲ - موقعیت کمربند پیچانرودی و کمربند فرسایشی در رودخانه‌های پیچانرودی، شریانی و مستقیم [۱۷]

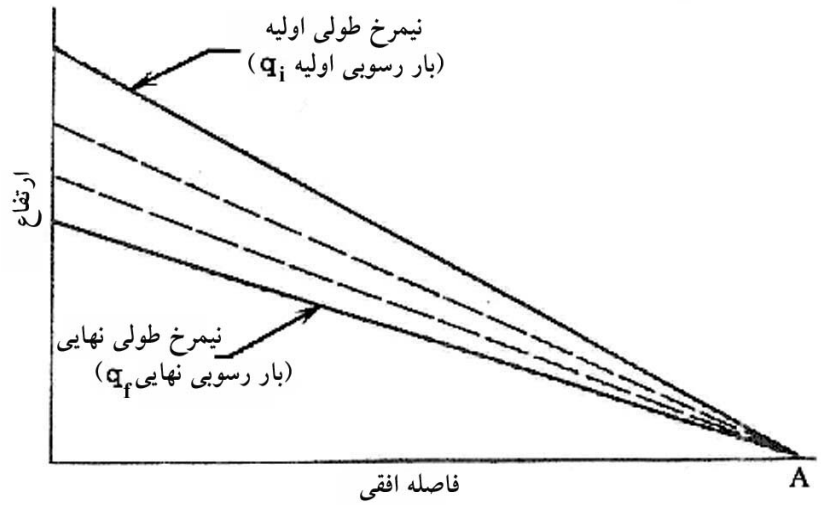
از دیدگاه مهندسی مشخص کردن پهنای کمربند پیچانرودی که بیان گر محدوده جابه جایی عرضی رودخانه در طی زمان می‌باشد و همچنین موقعیت کمربند فرسایشی دارای اهمیت زیادی است. چنین پدیده‌ای ضمن مشخص کردن نقش فرایند فرسایش در رفتارشناسی رودخانه‌ها تأثیرپذیری اقدامات ساماندهی را از الگوهای مختلف فرسایش آشکار می‌نماید. با استفاده از عکسهای هوایی تهیه شده در فاصله‌های زمانی مختلف و همچنین بررسیهای زمین‌شناسی و بازدیدهای میدانی محدوده کمربند پیچانرودی و فرسایش را می‌توان مشخص نمود. علاوه بر تغییرات عرضی تغییر نیمرخ طولی و کف کنی از نمودهای

omoorepeyman.ir

فرسایش در رودخانه‌ها می‌باشد. در شکل (۳-۳) افت تراز بستر ناشی از فرسایش مستمر نشان داده شده است. در این نوع فرسایش فرایند کف‌کنی تا رسیدن به نیمرخ تعادل نهایی (که بر روی شکل نشان داده شده است) ادامه می‌یابد.

کاهش تغذیه رسوبی رودخانه به دلایل مختلف طبیعی از جمله تغییر رژیم بارندگی و افزایش تراکم پوشش گیاهی که موجب تثبیت خاک حوضه می‌گردد، گاهی نقش اصلی را در وقوع فرسایش مستمر مانند آنچه که در شکل (۳-۳) نشان داده شده است بازی می‌کند [۳۸]. وقوع کف کنی در بستر رودخانه به نوبه خود موجب ناپایداری خاک کناره‌ها گردیده و در اثر ریزش توده‌ای[1] بتدریج عرض رودخانه افزایش پیدا می‌کند.

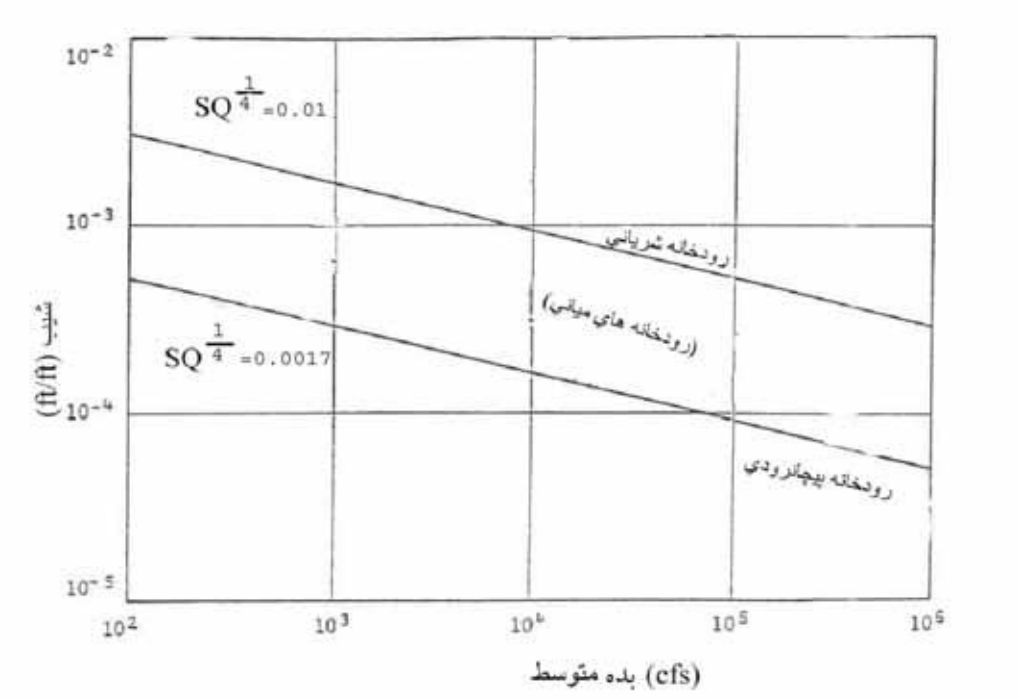
از آنجایی که فرسایش بستر موجب کاهش شیب رودخانه می‌گردد، با آغاز روند فرسایش ممکن است رودخانه‌های شریانی یا مستقیم به تدریج حالت پیچانرودی به خود بگیرند. لین با بررسیهایی که برروی تعداد زیادی از رودخانه‌ها انجام داد تغییر نوع رودخانه را نسبت به شیب بستر (S) و آبدهی متوسط سالانه (Q) مطابق شکل (۳-۴) بیان نمود [۳۳]. مطابق این شکل چنان چه برای یک رودخانه مفروض از نوع مستقیم که دارای آبدهی متوسط ۱۰ مترمکعب برثانیه و شیب ۰/۰۰۱ می‌باشد در اثر فرسایش بستر شیب آن تا حد ۰/۰۰۰۳۵ کاهش پیدا نماید، رودخانه حالت پیچانرودی به خود گرفته و این امر با تشدید حالت ناپایداری موجب فرسایش کناره‌ها و وقوع پدیده جابه جایی عرضی در مسیر رودخانه می‌گردد.



شکل ۳-۳- افت عمومی تراز بستر رودخانه ناشی از فرسایش مستمر [۳۸]

omoorepeyman.ir

1 - Mass Failure



شکل ۳-۴- رابطه تغییر نوع رودخانه برحسب آبدهی متوسط سالانه و شیب بستر [۳۳]

براساس بررسیهای شوم[1] کاهش تغذیه رسوبی رودخانه نیز حالتهای مختلفی از فرسایش بستر و کناره‌ها را با توجه به سهم بار بستر و بار معلق و میزان سیلت و رس موجود در ترکیب خاک کناره‌ها امکانپذیر می‌کند [۳۶]. در جدول (۳-۱) وضعیت فرسایش رودخانه برحسب درصد بار بستر و بار معلق و درصد سیلت و رس کناره‌های رودخانه در سه حالت مختلف نشان داده شده است.

رودخانه‌ها علاوه بر فرسایش عمومی تحت تأثیر فرسایشهای موضعی نیز می‌باشند. این نوع فرسایش در رودخانه‌های مختلف اعم از پیچانرودی، مستقیم و شریانی اتفاق می‌افتد. در رودخانه‌های پیچانرودی همان طوری که پیش از این اشاره شد فرسایش در قوس خارجی چم به عنوان فرسایش موضعی قلمداد می‌گردد. این پدیده علت اصلی جابه جایی عرضی و طولی رودخانه‌های پیچانرودی می‌باشد. [۳۰] در این نوع رودخانه‌ها همزمان با فرسایش قوس خارجی رسوبگذاری در قوس داخلی اتفاق می‌افتد. دراین فرایند عرض رودخانه در مراحل مختلف زمانی تقریباً ثابت می‌باشد. ثابت بودن عرض یکی از ویژگیهای رودخانه‌های پیچانرودی است. در رودخانه‌های مستقیم و شریانی نیز فرسایشهای موضعی در پای دیواره ساحلی که به آن پنجه شویی یا زیرکنی[2] گفته می‌شود [۶۷] موجب ریزش توده‌ای و فرسایش کناره می‌گردد. انباشته‌های رسوبی موجود در بستر رودخانه موجب انحراف و تمرکز جریان گردیده و دراثر افزایش تنش برشی در پای دیواره به طور موضعی فرسایش و گودافتادگی ایجاد می‌شود[۱۴].

1 - Schumm
2 - Undercutting

omoorepeyman.ir

جدول ۳-۱- طبقه‌بندی فرسایش رودخانه برحسب میزان بار بستر و معلق و ترکیب مصالح کناره‌ها [۳۶]

شماره کلاس	ترکیب بار بستر و بار معلق (درصد)	میزان سیلت و رس کناره‌ها (درصد)	حالات مختلف فرسایش بستر و کناره‌ها
۱	– بار معلق ۱۰۰-۸۵ – بار بستر ۱۵-۰	۱۰۰	– فرسایش و کف کنی بستر شدید – فرسایش کناره‌ها جزیی
۲	– بار معلق ۸۵-۶۵ – بار بستر ۳۵-۱۵	۳۰	– در مرحله اول فرسایش و کف کنی بستر – در مرحله بعدی فرسایش کناره‌ها و تعریض مجرا
۳	– بار معلق ۶۵-۳۰ – بار بستر ۷۰-۳۵	ناچیز	– فرسایش بستر و کف کنی جزیی – فرسایش کناره‌ها و تعریض بستر شدید

فرسایش کناره‌ای از جمله منابع عمده بار رسوبی در بیشتر رودخانه‌ها می‌باشد. به عنوان مثال براساس بررسیهای اوگارد[1] از مجموع ۱۱/۵ میلیون تن رسوب حمل شده سالانه توسط رودخانه ساکرامنتو ۵۹٪ (۶/۸ میلیون تن) حاصل فرسایش کناره‌ها می‌باشد [۲۶]. از اینرو پرزوویسکی[2] فرسایش کناره‌ها را یکی از مسائل و مشکلات اصلی در مهندسی رودخانه می‌داند [۳۰].

۳-۳ بررسی پدیده فرسایش در رودخانه‌ها

۳-۳-۱ *تعیین فرسایش‌پذیری و انتقال رسوب در زیرحوضه‌های منطقه مورد مطالعه*

رسوب ناشی از فرسایش زیر حوضه‌ها منبع اصلی تغذیه رسوبی رودخانه‌ها تلقی می‌شود. به طور طبیعی تعادلی بین تغذیه رسوبی رودخانه از طریق زیر حوضه‌ها و خصوصیات هندسی و ریخت شناسی رودخانه‌ها برقرار می‌باشد. چنانچه به دلایل طبیعی و یا دخالتهای انسان تغذیه رسوبی رودخانه دستخوش تغییر شود (افزایش یا کاهش پیدا کند) رودخانه نسبت به آن عکس‌العمل نشان داده و متناسب با افزایش یا کاهش رسوب ورودی پلان و پروفیل عرضی و طولی خود را تغییر خواهد داد. از این رو در مطالعات ساماندهی رودخانه‌ها آگاهی از میزان رسوب ناشی از فرسایش‌پذیری زیر حوضه‌ها و پیش‌بینی روند تغییرات آتی برای اتخاذ تدابیر مهندسی از اهمیت زیادی برخوردار است. از جمله روشهای متداول برای تعیین فرسایش‌پذیری زیر حوضه‌های کشاورزی استفاده از معادله USLE[3] یا رابطه جهانی فرسایش خاک می‌باشد. این رابطه توسط ویشمایر و اسمیت[4] در سال ۱۹۶۵ پس از تحقیقات برروی تعداد زیادی از زیر حوضه‌ها در ایالات متحده ارائه شده است [۴۵] رابطه USLE به صورت زیر می‌باشد:

$$A = 2/47 (R.K.LS.C.P) \qquad (۲-۳)$$

1 - Odgard
2 - Przedwojski
3 - The Universal Soil Loss Equation
4 - Wishmeier and Smith

omoorepeyman.ir

در این رابطه A= نرخ فرسایش سالانه خاک در واحد سطح حوضه (تن بر هکتار)، R ضریب بارندگی K= ضریب فرسایش‌پذیری خاک (معمولاً از صفر تا ۰/۷ تغییر می‌کند)، LS = ضریب طول و شیب حوضه (بی بعد) که از رابطه ۳-۳ تعیین می‌شود. C = ضریب مدیریت کشت (بین ۰ تا ۱ تغییر می‌کند) P = ضریب اقدامات حفاظت خاک (کمتریا مساوی ۱ می‌باشد). توضیح مفصل هر یک از این ضرایب در مراجع [۳۹ و ۴۵] ارائه شده است. در معادله فوق در صورتیکه ضریب ۲/۴۷ اعمال نشود مقدار A برحسب تن بر ایکر (Ton/ Acer) تعیین می‌گردد. برای تعیین ضرایب معادله ۳-۲ جدولها و نمودارهای خاصی تهیه شده که در مراجع [۳۹ و ۴۵] موجود می‌باشد. دراینجا بطور نمونه منحنیهای تغییرات ضریب R برای بخشی از ایالات متحده در شکل (۳-۵) ارائه می‌گردد. این نوع منحنیها بطور اصولی باید براساس تحلیل نتایج رگبارها برای هر منطقه‌ای تهیه شود. معمولاً مقدار LS براساس طول جریان سطحی (λ) و شیب زیر حوضه (S) با استفاده از رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$LS = \lambda(\mathbf{0/0076} + \mathbf{0/0053}S + \mathbf{0/00076}S)^N \qquad (۳-۳)$$

در این رابطه λ = طول جریان سطحی قبل از پیوستن به آبراهه (فوت)، S = شیب سطح حوضه (درصد) و N = نمای معادله که بسته به شیب سطح حوضه بین ۰/۳ تا ۰/۵ تغییر می‌کند.

معادله USLE دارای محدودیتهایی است. به عنوان مثال این معادله فقط متوسط فرسایش سالانه از سطح حوضه را تا محل اتصال به آبراهه تعیین می‌کند. و با این روش، فرسایش آبراهه‌ها را نمی توان ارزیابی کرد.

شکل ۳-۵ - منحنیهای ضریب فرسایش R مورد استفاده در مدل USLE [۳۸و۴۵]

omoorepeyman.ir

همچنین حداکثر قطر قابل فرسایش در این روش برابر با یک میلی‌متر می‌باشد و برای قطرهای بزرگتر نمی‌توان از این روش بهره جست. فرسایشهای خندقی[1] و فرسایشهای ناشی از لغزش زمین[2] که مقادیر متنابهی از مواد رسوبی را وارد آبراهه‌ها می‌کند با روش USLE قابل محاسبه نمی‌باشد. مطالعات انجام شده توسط سیمونس و سنتورک[3] نشان می‌دهد که معادله USLE به دلایلی که در مرجع [۳۹] عنوان گردیده مستقیماً برای مناطق خشک و نیمه خشک مانندایران قابل استفاده نیست، چه دراین نوع مناطق تعیین ضریب R با مشکل جدی مواجه است. از این رو رابطه تغییر شکل یافته زیر با عنوان رابطه MUSLE[4] توسط برنت[5] برای مناطق خشک و نیمه خشک توصیه شده است[۶۳،۵۷]. (لازم به توضیح است که برای سایر شرایط آب و هوایی می‌توان از این معادلات استفاده کرد) [۳۹]:

$$Y_s = a(Q_u q_p)^B K.LS.C.P \qquad (۴-۳)$$

در این رابطه Ys = مقدار رسوبدهی حوضه آبریز بر حسب تن برای یک بارندگی مشخص Q_u = حجم رواناب ناشی از بارندگی مورد نظر (ایکر – فوت)، q_p = بده حداکثر ناشی از بارندگی (فوت مکعب بر ثانیه)، a و B = ضریب معادله که برای هر ناحیه‌ای باید تعیین شود (بعنوان مثال برای ناحیه تکزاس و نبراسکا مقدار a برابر با ۹۵ و مقدار B برابر با ۰/۵۶ تعیین شده است)، سایر عوامل عیناً از جدولها و نمودارهای روش USLE تعیین می‌شود. برتری رابطه (۳-۴) در آن است که بجای تعیین نرخ رسوبدهی سالانه بازاء واحد سطح، مقدار رسوبدهی حوضه را برای یک بارندگی مشخص می‌کند.

یکی دیگر از روشهای تعیین میزان فرسایش‌پذیری زیر حوضه‌ها روش PSIAC [6] می‌باشد. این روش بر پایه امتیاز بندی ۹ عامل مؤثر در فرسایش خاک حوضه استوار می‌باشد. [۳۹ و ۲۷]. عوامل ۹ گانه در روش PSIAC عبارتند از :

زمین‌شناسی سطح حوضه (نوع سازندهای تشکیل دهنده سطح حوضه آبریز)، نوع خاک، آب و هوا (کلیما)، مقدار رواناب سالانه، وضعیت توپوگرافی، پوشش گیاهی حوضه، کاربری اراضی، وضعیت فرسایش سطح خاک، وضعیت فرسایش و انتقال رسوب در آبراهه، در جدول ۳-۲ طبقه بندی حوضه‌های آبریز از نظر رسوبدهی با استفاده از روش PSIAC درج شده است.

جدول ۳-۲- طبقه‌بندی حوضه‌های آبریز از نظر فرسایش پذیری با روش PSIAC [۳۹]

امتیاز از مجموع ۹ عامل	طبقه بندی حوضه آبریز	فرسایش سالانه حوضه آبریز	
		Acre-ft/mile^2	m^3/km^2
> ۱۰۰	۱	>۳	> ۱۴۲۵
۷۵–۱۰۰	۲	۱–۳	۴۷۵–۱۴۲۵
۵۰–۷۵	۳	۰/۵–۱	۲۳۷/۵–۴۷۵
۲۵–۵۰	۴	۰/۲–۰/۵	۹۵–۲۳۷/۵
۰–۲۵	۵	< ۰/۲	< ۹۵

1 - Gully Erosion
2 - Landslide
3 - Simons & Senturk
4 - The Modified Universal Soil Equation (MUSLE)
5 - Berndt
6 - Pasific Southwest Interagenay Committee (PSIAC)

omoorepeyman.ir

روشهای USLE و PSIAC عموماً بار شسته[1] حوضه آبریز را ارزیابی می‌کنند. این نوع فرسایش به فرسایش ورقه‌ای و شیاری[2] معروف است. برای تعیین فرسایش آبراهه که در آن امکان وجود دانه‌های درشت تر از یک میلی متر نیز، که حد بار شسته ناشی از سطح حوضه تلقی می‌شود، وجود دارد لازم است از معادلات انتقال رسوب استفاده شود. این نوع معادلات متکی به عوامل هیدرولیکی ودانه‌بندی مواد رسوبی بوده و ظرفیت حمل رسوب[3] را مشخص می‌نماید. معادله مایر پیتر مولر[4]، معادله انشتین[5] و تعدادی دیگر از معادلات برای تعیین ظرفیت حمل رسوب (باربستر و معلق) استفاده می‌شوند. شرح تفصیلی این معادلات در مرجع [۱۷ و ۳۸ و ۳۹] و مراجع دیگر آمده است. طبق نظریه ارائه شده توسط سیمونس و سنتورک [۳۹] از آنجایی که معادلات انتقال ظرفیت حمل رسوب را مشخص می‌نمایند، رسوبات حاصل از فرسایش خندقی و زمین لغزه‌ها نیز بطور ضمنی در تعیین نرخ رسوبدهی آبراهه منظور می‌شود. بدین ترتیب رسوب حمل شده توسط آبراهه مقدار رسوب حاصل از فرسایش حوضه‌ای یا بارشسته که توسط USLE یا PSIAC مشخص می‌گردد و بار رسوبی مواد بستر[6] که توسط معادله انتقال رسوب محاسبه می‌شود را شامل می‌شود. ترکیب این دو کمیت توسط عاملی که نسبت رسوبدهی حوضه[7] خوانده می‌شود مطابق رابطه زیر انجام می‌گردد [۳۹]:

$$Q_S = DR \times E \qquad (۵-۳)$$

در این رابطه، Q_S = رسوب سالانه خروجی از زیر حوضه برحسب تن، E = جمع رسوب محاسبه شده توسط معادلات انتقال و روش USLE یا PSIAC (تغذیه رسوبی)، DR = نسبت رسوبدهی زیر حوضه که برابر با رسوب خروجی تقسیم بر تغذیه رسوبی یا جمع رسوب ورودی از زیر حوضه‌ها و رسوب حمل شده از بستر آبراهه می‌باشد. بسته به شرایط حاکم، سه حالت ممکن با توجه به کمیت DR قابل پیش‌بینی است. چنانچه DR کمتر از یک باشد نشان می‌دهد که بخشی از رسوب تولید شده در مسیر آبراهه ترسیب می‌کند (حالت رسوبگذاری که درآن ظرفیت حمل رسوب کمتر از مقدارتغذیه رسوبی است)، در صورتی که DR برابر با یک باشد تغذیه رسوبی رودخانه در حد ظرفیت حمل بوده و حالت تعادل برقرار می‌باشد. در مواردی که DR بزرگتر از یک باشد فرسایش در بستر آبراهه اتفاق می‌افتد زیرا میزان تغذیه رسوبی جوابگوی نیاز ظرفیت حمل رودخانه نبوده و بنابراین بخشی از کمبود رسوب ورودی از طریق فرسایش بستر و کناره‌ها تأمین می‌شود. تعیین DR مستلزم مشاهدات میدانی و واسنجی عوامل تأثیرگذار می‌باشد. جزئیات بیشتر در این خصوص در مرجع [۳۸ و ۳۹] آورده شده است.

1 - Wash load
2 - Sheet and Rill Erosion
3 - Transport capacity
4 - Meyer - Peter - Muller
5 - Einstein
6 - Bed material load
7 - Sediment delivery Ratio

omoorepeyman.ir

۳-۳-۲ مشخص کردن بازه‌های فرسایش پذیر و نقاط مستعد فرسایش در محدوده مورد مطالعه

در مطالعات ساماندهی شناخت بازه‌های فرسایش پذیراز جمله اقدامات ضروری برای مشخص کردن شرایط موجود رودخانه می‌باشد. تعیین بازه‌های فرسایش پذیر به دو روش زیر انجام می‌گیرد.

الف – انجام دادن بازدیدهای میدانی

با پیمایش مسیر رودخانه وضعیت بستر و کناره‌ها از نظر فرسایش بررسی و بر روی نقشه مسیر با درج توضیحات لازم درخصوص مشخصات بازه فرسایشی، محدوده‌های ناپایدار علامت‌گذاری می‌شود. تهیه عکس از پدیده‌های مختلف فرسایش اعم از کف کنی یا ریزش کناره، فرسایشهای شیاری و خندقی موجود در مسیر رودخانه و به ویژه فرسایش در محل خمها و در محدوده سازه‌های موازی یا متقاطع با رودخانه کمک مؤثری از نظر تحلیل رفتار رودخانه از دیدگاه ساماندهی می‌کند.

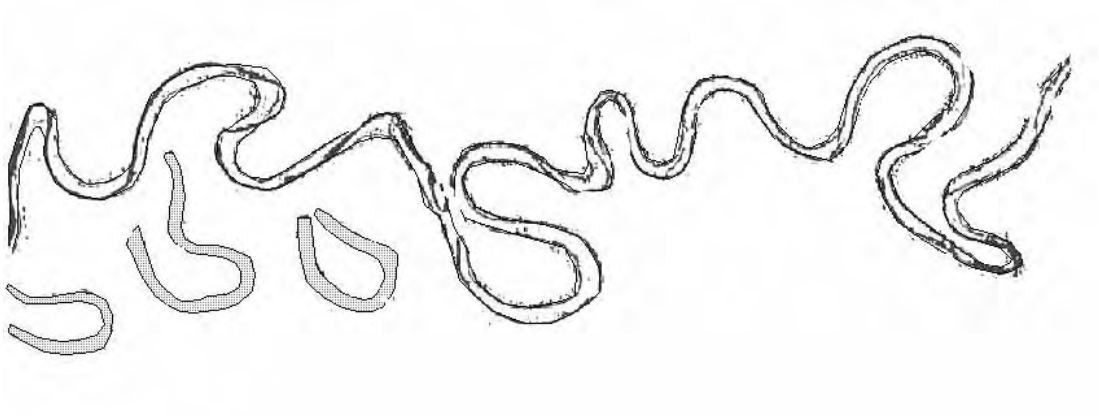
ب – استفاده از عکسهای هوایی و تصاویر ماهواره‌ای

یکی از ابزارهای مؤثر در تعیین بازه‌های فرسایشی و ناپایدار استفاده از عکسهای هوایی است. با تطبیق عکسهای هوایی تهیه شده از مسیر رودخانه در دو دوره زمانی متوالی بازه‌هایی که در اثر پدیده فرسایش دچار جابه جاییهای عرضی و طولی شده‌اند قابل تشخیص می‌باشد. بعلاوه موقعیت بازه‌های شریانی و پیچانرودی که از جمله بازه‌های فرسایش پذیر تلقی می‌شوند با استفاده از عکسهای هوایی مشخص می‌گردد. عکسهای هوایی موجود در کشور با مقیاس۵۰۰۰۰: ۱،۴۰۰۰۰: ۱ و ۲۰۰۰۰: ۱ قابل دسترسی است. همچنین فاصله زمانی مناسب برای سری عکسهای هوایی ۵ سال پیشنهاد شده است [۳۸ و ۳۹]. اخیراً عکسهای ماهواره‌ای در مطالعه رودخانه‌ها جایگاه خود را باز کرده است. این انعکاسها که با فاصله‌های زمانی کوتاه تهیه می‌گردد ابزار مناسبی برای بررسی جزئیات رفتاری رودخانه‌ها می‌باشد. عکسهای ماهواره‌ای از سطح پوشش دهی وسیعی برخوردار می‌باشند.

در بررسیهای میدانی تعیین نقاط در حال فرسایش و نقاط مستعد فرسایش از دیگر اهداف مورد نظر می‌باشد. معمولاً قوس رودخانه‌ها و همچنین دیواره رودخانه‌های شریانی به عنوان نقاط فرسایشی تلقی می‌شوند. همچنین در پایین دست تنگ شدگیها و آبشارهای طبیعی فرسایشهای موضعی به صورت ریزش کناره‌ها و گودافتادگی بستر مشاهده می‌شود. در قوسهای تند احتمال وقوع میان برهای طبیعی[1] وجود دارد. این پدیده را می‌توان در شکل ۳-۶ مشاهده کرد. در اثر وقوع میان بر بقایای مسیر قبلی به‌صورت نعل اسبی در عکسهای هوایی قابل رویت می‌باشد. در شکل (۳-۶) نمونه‌ای از وقوع میان بر در مسیر رودخانه نشان داده شده است [۳].

omoorepeyman.ir

1 - Cutoff



شکل ۳-۶- بررسی مواردی از وقوع میان بر در مسیر رودخانه پیچانرودی با استفاده از عکسهای هوایی [۳]

۳-۳-۳ مشخص کردن انواع فرسایش

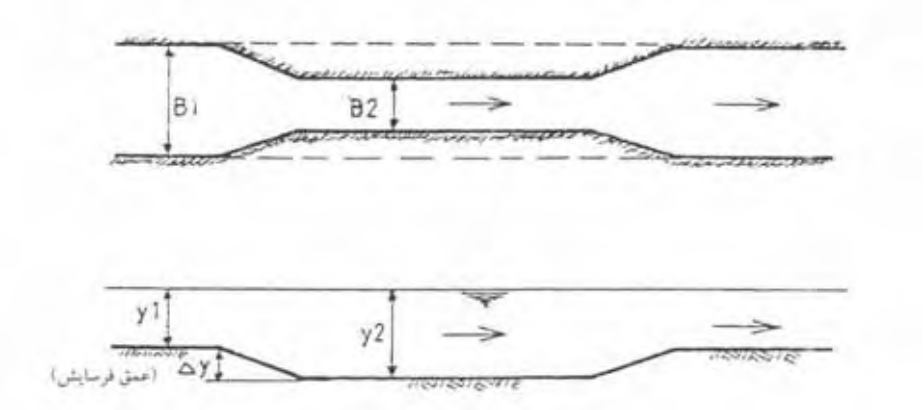
فرسایش در بستر رودخانه‌ها به صورت فرسایش مستمر و فرسایش عمومی ظاهر می‌شود (درخصوص انواع فرسایش و عوامل مؤثر به بندهای ۱-۳ و ۳-۲ مراجعه شود). پدیده فرسایش مستمر که در شرایط طبیعی ناشی از تغییر رژیم بارندگی یا تغییر شرایط پوشش گیاهی و سایر عوامل حوضه‌ای و گاهی پدیده‌های زمین شناسی می‌باشد فرایند طولانی مدتی است که تعیین افت تراز بستر در بازه طولانی را طلب می‌کند. برای مشخص کردن تغییرات نیمرخ طولی رودخانه و شرایط تعادل (توقف فرسایش بستر) استفاده از مدلهای کامپیوتری ضروری می‌باشد. دلیل این امر تنوع دانه‌بندی بستر، تغییر ویژگیهای هندسی، عوامل هیدرولیکی و هیدرولوژیکی و موارد متعدد دیگری که نیاز به بررسیهای میدانی، تهیه نقشه مقاطع هندسی نمونه‌برداری از مواد رسوبی و تدارک اطلاعات گوناگونی دارد. پردازش و محاسبات لازم نیازمند بهره‌گیری از امکانات رایانه‌ای است. تعیین میزان افت تراز بستر در حالت فرسایش عمومی که ناشی از وقوع سیلابها می‌باشد مانند فرسایش مستمر ازنظر تعدد عوامل تأثیرگذار، استفاده از مدل کامپیوتری ضروری است. برای حالتی که فرسایش عمومی ناشی از کاهش مقطع عرضی رودخانه باشد معادله‌ای توسط لارسن[1] ارائه شده است. کاهش مقطع عرضی می‌تواند علل طبیعی و یا ناشی از دخالتهای انسان باشد. این نوع فرسایش که در شکل (۳-۷) نشان داده شده است، فرسایش تنگ شدگی[2] نامیده می‌شود. رابطه لارسن برای تعیین میزان افت تراز بستر (ds) به شرحی که درادامه آمده است می‌باشد. [۳۹ و ۵۴]

$$\frac{y_2}{y_1}=\left(\frac{Q_t}{Q_c}\right)^{\frac{6}{7}}\left(\frac{B_1}{B_2}\right)^{a}\left(\frac{n_2}{n_1}\right)^{b} \qquad (۳-۶)$$

$$d_s = y_2 - y_1 \qquad (۳-۷)$$

1 - Laursen
2 - Contraction Scour

omoorepeyman.ir



شکل ۳-۷- نمایش چگونگی وقوع آبشستگی عمومی ناشی از تنگ شدگی مقطع رودخانه

در روابط فوق ds = عمق فرسایش عمومی (متر) y_1 = عمق آب در مجرای اصلی (متر)، y_2 = عمق آب در مجرای تنگ شده (متر)، B_1 = عرض مجرای اصلی (متر)، B_2 عرض مقطع تنگ شده (متر)، Q_t بده سیلاب (مترمکعب برثانیه)، Q_c بده جریان در مجرای اصلی (مترمکعب برثانیه)، n_1 و n_2 به ترتیب ضریب مانینگ در مجرای اصلی و مقطع تنگ شده، a و b ضرایب معادله که از روابط زیر تعیین می‌گردد:

$$a = 6(2+e)/7(3+e) \qquad (۸-۳)$$

$$b = 6e/7(3+e) \qquad (۹-۳)$$

در این روابط e ضریب انتقال رسوب می‌باشد که از جدول ۳-۳ به دست می‌آید.

جدول ۳-۳- مقادیر ضریب e برحسب شرایط انتقال مواد رسوبی [۵۴]

نحوه انتقال مواد رسوبی	U_c^*/W	e
عمدتاً به‌صورت بار بستر	< ۰/۵	۰/۲۵
بخشی از رسوب به‌صورت بار معلق	۱	۱
عمدتاً به‌صورت بار معلق	۲/۲۵	> ۲

در جدول (۳-۳) U_c^* سرعت برشی است که از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$U_c^* = (g\, y_1 S_1)^{0/5} \qquad (۱۰-۳)$$

omoorepeyman.ir

در این رابطه g شتاب ثقل ۹/۸۱ متربرمربع ثانیه، S_1 شیب مجرای اصلی (قبل از تنگ شدن) به صورت نسبی، y_1 عمق جریان در مجرای اصلی (متر) و U_c^* سرعت برشی برحسب متر بر ثانیه می‌باشد. دراین جدول همچنین W سرعت سقوط دانه‌های با قطر D_{50} (۵۰ درصد ریزتر وزنی) بستر برحسب متر برثانیه است. معادلات و روابط مختلف دیگری نیز برای تعیین d_s موجود است که برای جزئیات بیشتر مراجع [۳۹ و۱۷ و ۵۴] توصیه می‌شود.

علاوه بر فرسایشهای عمومی، وقوع فرسایشهای موضعی در رودخانه‌ها از جمله مسائل مطالعات ساماندهی و حفاظت و تثبیت موقعیت رودخانه‌ها می‌باشد. فرسایش در قوسهای خارجی، پدیده پنجه شویی در پای دیواره ساحلی و یا وقوع غارکنی[1] در کناره‌ها از جمله موارد فرسایشهای موضعی در شرایط طبیعی می‌باشند. تعیین عمق فرسایش ناشی از پنجه‌شویی و یا غارکنی تنها از طریق بررسیهای صحرایی امکانپذیر است. لکن فرسایش در قوسها را می‌توان تا حدودی با استفاده از روابط موجود تعیین کرد. هر چند در این خصوص نیز، مشاهدات میدانی مورد تأکید می‌باشد [۳۳]. برای تعیین عمق فرسایش موضعی ($d_{s\max}$)از روش گرافیکی ارائه شده توسط رانتسین[2] می‌توان استفاده کرد. شکل (۳-۸) روش رانتسین را برای تعیین ($d_{s\max}$) به نمایش می‌گذارد [۳۳]. جزئیات بیشتر درخصوص تعیین مقدار فرسایش در قوسهای رودخانه در مرجع [۱۷ و ۳۳] وجوددارد. در شکل (۳-۷) r_c/w نسبت شعاع قوس به عرض مجرا، y_{max}/w نسبت عمق حداکثر آب به شعاع قوس، y0 عمق جریان قبل از فرسایش و X شاخص پایداری قوس می‌باشد که از رابطه زیر مشخص می‌گردد.

$$X=\frac{D_{50}\times W}{y_{\circ}^2 S_{\circ}} \qquad (۱۱-۳)$$

در این رابطه D_{50} قطر نظیر ۵۰ درصد ریزتر وزنی مواد بستر رودخانه (متر)، $S_{\circ}$ شیب رودخانه (نسبت) می‌باشد. مقدار X بین ۰/۵ (برای قوسهای ناپایدار) تا ۱/۵ و بزرگتر (برای قوسهای پایدار) تغییر می‌کند.

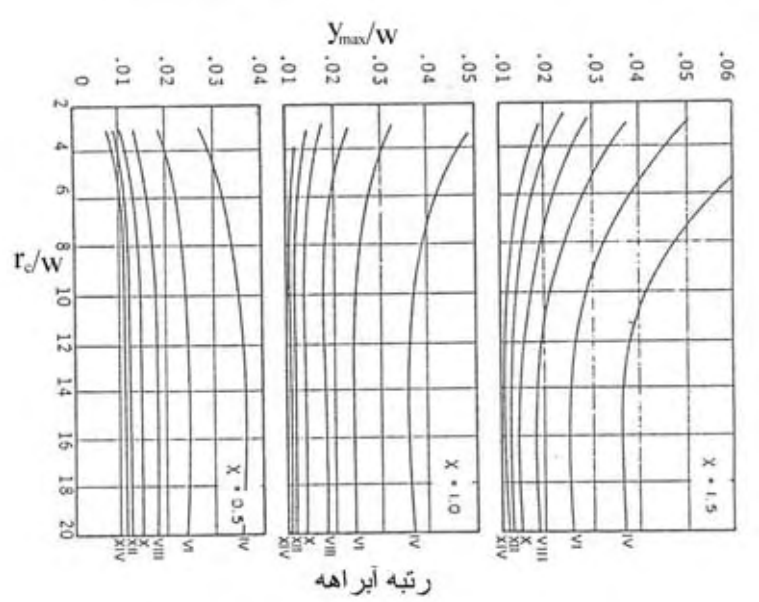
برای تعیین عمق فرسایش موضعی در قوس نخست، رتبه آبراهه که مطابق شکل ۳-۸ برای محدوده چهار (IV) تا چهارده (XIV) در محور افقی مشخص شده است انتخاب می‌گردد. سپس نسبت r_c/w براساس ویژگیهای هندسی قوس محاسبه و به کمک مقدار X از رابطه (۳-۱۰) نسبت y_{max}/w از نمودار استخراج می‌شود. با توجه به اینکه مقدار w نیز مشخص می‌باشد، کمیت y_{max} محاسبه و از معادله (۳-۱۲) مقدار عمق فرسایش موضعی ($d_{s\max}$) تعیین می‌شود.

بعد از تعیین y_{max} مقدار ($d_{s\max}$) از رابطه زیر مشخص می‌گردد.

$$d_{s\max}=y_{max}-y_{\circ} \qquad (۱۲-۳)$$

omoorepeyman.ir

1 - Caving
2 - Rzhanitsyn



شکل ۳-۸- تغییرات حداکثر عمق فرسایش موضعی برحسب شعاع قوس و رتبه رودخانه [۳۳]

۳-۳-۴ *عوامل مؤثر در فرسایش رودخانه*

فرسایش در رودخانه‌ها حاصل عوامل طبیعی ودخالتهای انسانی است. از جمله عوامل طبیعی که موجب فرسایش در رودخانه می‌گردد، وقوع سیلابها می‌باشد. میزان مقاومت بستر در مقابل سیلاب براساس کمیت F_S یا عامل شیلدز[1] سنجیده می‌شود. براساس نظریه شیلدز چنانچه $F_S \leq$ ۰/۰۵۶ باشد، بستر در مقابل جریان آب پایدار می‌باشد [۱۵]. لازم به توضیح است بعضی از محققان دامنه‌های پایداری Fs را برابر با ۰/۰۳، ۰/۰۴۷ و ۰/۱ نیز پیشنهاد کرده‌اند. شرایط پایداری بستر را بر طبق نظریه شیلدز به‌صورت زیر می‌توان بیان نمود.

$$F_S = \frac{\tau_\circ}{\gamma(G_S - 1)D_{50}} \leq 0/056 \qquad (۱۳-۳)$$

$$\tau_\circ = \gamma R S_\circ \qquad (۱۴-۳)$$

در روابط فوق $\tau_\circ$ تنش برش ناشی از جریان آب (نیوتن برمترمربع)، G_S چگالی دانه‌های رسوب (معمولاً برابر با ۲/۶۵ فرض می‌شود)، D_{50} قطر شاخص بستر متردر حالت عادی و یا وضعیت غیر سیلابی، γ وزن مخصوص آب (نیوتن بر متر مکعب)، R شعاع هیدرولیکی (متر)، S شیب رودخانه می‌باشد. مقدار F_S به رقم ۰/۰۵۶ نزدیک بوده و بستر حالت پایدار دارد، لکن با سیلابی شدن رودخانه $\tau_\circ$ بطور چشمگیری افزایش یافته و در نتیجه مقدار F_S از مرز ۰/۰۵۶ تجاوز کرده و بستر رودخانه دچار فرسایش عمومی می‌شود.

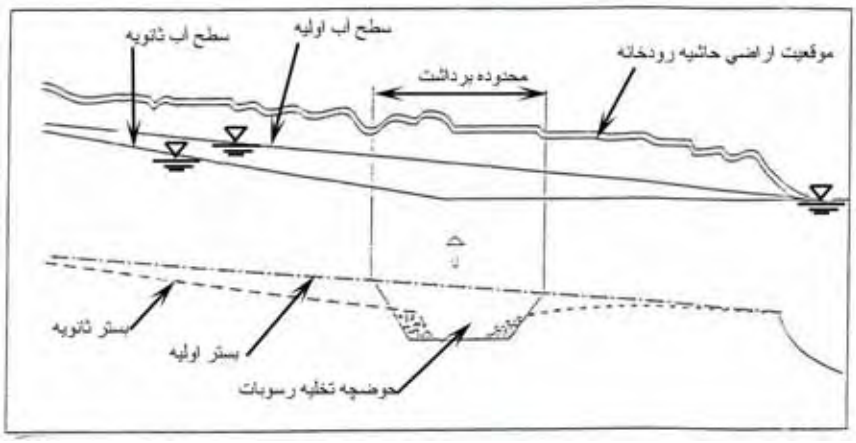
1 - Shields Parameter

omoorepeyman.ir

همان طوری که در مباحث پیشین عنوان گردید به علت شرایط پیچیده هیدرولیکی، تعیین F_s و محاسبه مقدار گودافتادگی بستر، نیاز به استفاده از مدلهای کامپیوتری دارد. کاهش پوشش گیاهی حوضه و شدت سیلابها از دیگر عوامل مؤثر در فرسایش رودخانه است. همچنین تغییر کاربری اراضی و توسعه شهری منجر به تشدید سیلاب و فرسایش بیشتر رودخانه می‌شود. تغییرات لایه‌بندی و دانه‌بندی بستر رودخانه از جمله عوامل طبیعی مؤثر در فرسایش است. وجود لایه‌های مقاوم در بستر رودخانه شدت فرسایش را کاهش داده و در مقابل لایه‌های با مقاومت کم، مانند ماسه و سیلت توان فرسایشی جریان را افزایش می‌دهد. همچنین وقوع رگبارها علاوه بر آنکه عامل مؤثری در شکل‌گیری جریانهای سیلابی است در اراضی حاشیه‌ای مسیر رودخانه سبب وقوع فرسایشهای شیاری و خندقی شده و از این طریق موجب ناپایداری خاک کناره‌ها وتخریب و فرسایش آنها می‌شود.

سازه‌های حاشیه رودخانه مانند دیواره‌های سیلبند، پوششهای حفاظتی کناره‌ها، آبشکنها،خاکریزها (گوره‌ها) به علت آنکه پهنای رودخانه را نسبت به حالت طبیعی کاهش می‌دهند، موجب فرسایش بستر رودخانه می‌شوند. از این رو در استفاده از این سازه‌ها، ضروری است حساسیت رودخانه از نظر فرسایش بستر بررسی شود. درخصوص اثرهای این گونه سازه‌ها در فرسایش رودخانه می‌توان به منابع [۱۴ و ۵۳ و ۶۹] مراجعه نمود.

برداشت شن و ماسه و به خصوص عدم رعایت معیارها و ضوابط لازم برداشت،از دیگر عوامل مؤثر در تشدید فرسایش رودخانه‌ها می‌باشد. مطابق شکل (۳-۸) برداشت مصالح رودخانه موجب وقوع فرسایش در بالادست و پایین دست نقطه برداشت می‌گردد. فرآیند تأثیرپذیری رودخانه از برداشت شن و ماسه و اصول و مبانی مربوط در مرجع [۵۵] به تفصیل بررسی شده است.



شکل ۳-۹ - چگونگی وقوع فرسایش در بالادست و پایین دست نقطه برداشت مصالح رودخانه‌ای [۵۵]

۳-۳-۵ تعیین فرسایش ویژه

فرسایش ویژه، متوسط رسوب فرسایش یافته سالانه از واحد سطح حوضه آبریز است که معمولاً به صورت تن بر کیلومترمربع یا مترمکعب بر کیلومترمربع و تن برهکتار در سال بیان می‌شود. از جمله روشهای تعیین فرسایش ویژه استفاده از روش USLE و یا MUSLE است. این دو روش توسط معادلات (۳-۲) و (۳-۴) در بند ۳-۳-۱ معرفی شده است. معادله (۳-۲) مقدار فرسایش ویژه حوضه را برحسب تن بر هکتار مشخص می‌کند. همچنین در معادله (۳-۴) چنانچه مقدار y_s (بر حسب تن) بر مساحت

omoorepeyman.ir

حوضه آبریز (کیلومترمربع) تقسیم شود، مقدار فرسایش ویژه برای یک بارندگی مشخص برحسب تن بر کیلومترمربع تعیین می‌شود. روش PSIAC نیز برای تعیین فرسایش ویژه قابل کاربرد است. مطابق جدول(۳-۲) فرسایش ویژه در حوضه‌های آبریز از کمتر از ۹۵ مترمکعب (۱۲۴ تن) تا بیشتر از ۱۴۲۵ مترمکعب (۱۸۵۳ تن) در کیلومترمربع متغیر است. روشهای USLE و PSIAS فرسایش رودخانه‌ای را منظور نمی کند. از این رو برای تأثیر فرسایش رودخانه‌ای لازم است با استفاده از معادلات انتقال رسوب مطابق آنچه که در بند ۳-۳-۱ عنوان شده است، میزان فرسایش رودخانه‌ای تعیین و سپس براساس معادله (۳-۵) مقدار Q_s یا رسوب سالانه خروجی از حوضه آبریز محاسبه شود. از تقسیم Q_s (تن) بر مساحت حوضه (کیلومترمربع)، فرسایش ویژه حوضه (تن بر کیلومترمربع) تعیین می‌شود. در جدول ۳-۴ فرسایش ویژه (شامل فرسایش سطح حوضه و رودخانه) با استفاده از نتایج آبنگاری تعدادی از مخازن سدهای کشور درج شده است [۶۶]. مطابق این جدول فرسایش ویژه در حوضه‌های آبریز مختلف (با تقریب قابل قبول ناشی از رسوبات خروجی از مخازن سدها) بسته به عوامل تأثیرگذار از ۱۷۹ تا ۴۴۶۸ تن بر کیلومترمربع متفاوت است. بدیهی است در مطالعات ساماندهی مقدار فرسایش ویژه در انتخاب الگوهای حفاظتی مؤثر می‌باشد.

۳-۳-۶ تخمین اثرهای عملیات آبخیزداری و حفاظت خاک حوضه در روند فرسایش

در مناطق خشک و نیمه خشک مانند ایران فقر پوشش گیاهی یکی از عوامل تشدید فرسایش درحوضه‌ها می‌باشد. سیلابهایی که با مقادیر عظیم گل و لای همراه است. رگبارهای وارده در سطح حوضه آبریز به علت نبود پوشش گیاهی بازدارنده، ذرات خاک را به آسانی فرسایش داده و به شبکه آبراهه‌ها حمل می‌کند. این مواد رسوبی همراه جریان سیلاب به پایانه‌های حوضه حمل می‌شود. عملیات آبخیزداری مانند بذرپاشی، بوته کاری، کشت درختان جنگلی، و سایر اقداماتی که منجر به تثبیت خاک و فراهم کردن زمینه رشد و توسعه پوشش گیاهی شود، می‌تواند به نحو مؤثری خاک حوضه، را حفاظت و از فرسایش بی رویه آن جلوگیری می‌کند. از جمله عوارض فرسایش غیر متعارف خاک حوضه، ترسیب مواد رسوبی در آبراهه‌ها و افزایش تراز بستر رودخانه می‌باشد که به نوبه خود منجر به کاهش ظرفیت آبگذری مجرا گردیده و تشدید سیل گرفتگی و بروز ناهنجاریهای رودخانه‌ای را در پی دارد. در شکل (۱-۱۲) بند ۱-۳ به عنوان نمونه اثرهای فرسایش تشدید شونده در سطح حوضه بر ویژگیهای هندسی رودخانه و موقعیت خاکریزهای سیلبند (گوره‌ها) نشان داده شده است. همچنین در شکل (۱-۴) بند ۱-۲-۱ چگونگی افزایش تراز بستر رودخانه در اثر فرسایش شدید سطح خاک حوضه نشان داده شده است.

۳-۳-۷ پیش‌بینی روند آتی فرسایش رودخانه

چنانچه به دلایلی تغذیه رسوبی رودخانه کاهش یابد و یا بده جریان افزایش یابد، برای تکمیل ظرفیت حمل رسوب، رودخانه بستر و کناره‌های خود را مورد هجوم قرار می‌دهد. بدیهی است در چنین شرایطی تثبیت کناره‌ها که عملاً بخشی از منابع تأمین رسوب رودخانه را بعهده دارد، فرسایش و گود افتادگی شدید کف رودخانه را بهمراه خواهد داشت. برعکس در مواردی عدم تثبیت کناره‌ها موجب تخریب سریع آنها گردیده و عرض رودخانه به طور غیر متعارفی رو به افزایش می‌گذارد. از این رو توجه به روند آتی فرسایش رودخانه از دیدگاه ساماندهی وساخت سازه‌های حفاظتی و ایمن سازی آنها دارای اهمیت زیادی است. مطالعه این فرایند به دلیل تعدد عوامل تأثیر گذار از جمله رژیم هیدرولوژیک، بهره‌برداری از رودخانه، تغییرات دانه‌بندی ولایه‌بندی، عوارض و فعل وانفعالات زمین‌شناسی، خصوصیات فیزیکی و مکانیکی خاک بستر و کناره‌ها، عوامل ریخت شناسی و ملاحظات زیست محیطی به روشهای ساده و متعارف میسر نبوده ولازم است برای تشخیص کم و کیف آن اقدام به تدارک مدل رایانه‌ای کرد. در این خصوص استفاده از مدلهایی مانند HEC-6 و Mike11 و GSTARS کارساز می‌باشد [۸ و۴۷و۵۰]. با استفاده از عکسهای هوایی و تصاویر ماهواره‌ای نیز که در بند ۳-۳-۲به آن پرداخته شده است می‌توان با شناخت رفتار گذشته رودخانه تغییر و تحولات آتی آن را از دیدگاه کیفی پیش‌بینی کرد.

omoorepeyman.ir

جدول ۳-۴- فرسایش ویژه در بعضی از حوضه‌های آبریز براساس نتایج هیدروگرافی مخازن مطابق مرجع [۶۶]

ردیف	نام سد	وسعت حوضه آبریز km^2	مدت رسوبگذاری (سال)	متوسط حجم رسوبات سالیانه MCM	وزن رسوبات ** MT	فرسایش ویژه qs $(Ton/km^2/Yr)$
۱	دز	۱۷۵۲۳	۳۲	۱۷/۹۴	۲۳/۳۲	۱۳۳۱
۲	کارون	۲۵۸۵۰	۱۹	۳۰/۷۴	۳۹/۹۶	۱۵۴۶
۳	زاینده رود	۴۶۳۲	۲۸	۲/۵۳	۳/۲۹	۷۱۰
۴	درودزن	۴۷۵۰	۲۷	۲/۰۰	۲/۶۰	۵۴۷
۵	سفید رود	۵۷۸۰۰	۱۸	۳۶/۶۰	۴۷/۵۸	۸۲۳
۶	میناب	۹۵۰۰	۱۵	۷/۰۰	۹/۱۰	۹۵۸
۷	کرج	۷۶۴	۳۰	۰/۳۵	۰/۴۶	۵۹۶
۸	لار	۶۷۵	۱۴	۲/۳۲	۳/۰۲	۴۴۶۸
۹	لتیان	۶۹۸	۲۸	۰/۸۷	۱/۱۳	۱۶۲۰
۱۰	ساوه	۱۷۸۰۰	۴	۳/۹۳	۵/۱۱	۲۸۷
۱۱	گلپایگان	۱۰۰	۴۱	۰/۱۷	۰/۲۲	۲۱۱
۱۲	پانزده‌خردادقم	۱۰۲۵۰	۲	۱/۸۵	۲/۴۱	۲۳۵
۱۳	چاه نیمه	۳۷۶۰۰۰	۱۷	۱/۰۰	۱/۳۰	۳
۱۴	قشلاق	۱۰۵۰	۲۰	۰/۳۶	۰/۴۷	۴۴۶
۱۵	اکباتان	۲۱۳	۳۲	۰/۱۲	۰/۱۶	۷۴۸
۱۶	جیرفت	۸۱۰۰	۴	۱۱/۵۰	۱۴/۹۵	۱۸۴۶
۱۷	گرگان	۷۱۵۷	۲۵	۰/۹۸	۱/۲۸	۱۷۹
۱۸	طرق	۱۶۵	۸	۰/۸۷	۱/۱۳	۶۸۵۵
۱۹	کارده	۵۹۹	۹	۱/۱۱	۱/۴۴	۲۴۱۱
۲۰	بوکان	۶۸۹۰	۲۴	۴/۱۷	۵/۴۲	۷۸۶
۲۱	مهاباد	۸۰۶	۲۸	۰/۷۸	۱/۰۱	۱۲۵۲
۲۲	ارس	۴۹۲۳۵	۲۸	۷/۲۹	۹/۴۷	۱۹۲
۲۳	پیشین	۶۳۸۰	۵	۱/۶۲	۲/۱۰	۳۳۰

** براساس منابع موجود وزن مخصوص خشک رسوبات ته‌نشین شده در مخزن بین ۰/۶۷ تا ۱/۸۵ تن در مترمکعب متغیر است که رقم ۱/۳۰ تن در مترمکعب به عنوان متوسط مقادیر حدی معرفی شده است. (وزن مخصوص خشک عبارتست از نسبت وزن نمونه خشک شده به حجم نمونه واحد آن) [۲۲] و [۲۳].

omoorepeyman.ir

۳-۴ بررسی اثرهای فرسایش بر ویژگیهای ریخت شناسی رودخانه

فرسایش در رودخانه‌ها که در اثر کاهش تغذیه رسوبی (Q_s) و یا افزایش بده جریان (Q) اتفاق می‌افتد طبق رابطه تعادلی لین (معادله ۱-۳) منجر به کاهش شیب بستر (S) و از این طریق حالت تعادل جدید پدیدار می‌گردد. در بسیاری از رودخانه‌هایی که به دریاهای آزاد تخلیه می‌کنند، کاهش شیب رودخانه با افزایش حالت پیچابی حاصل می‌شود[۳۸]. این امر به منزله بروز وضعیت جدید در ریخت‌شناسی رودخانه می‌باشد. تشدید فرسایش قوسها و افزایش درجه انحناء رودخانه[1] دور جدیدی از ناپایداری کناره‌ها و تغییر شکل مسیر و نیمرخ طولی رودخانه را بهمراه دارد [۳۸]. بدیهی است آگاهی از چنین فرایندی، زمینه لازم برای اعمال تمهیدات حفاظتی و چگونگی مقابله با پیآمدهای احتمالی را از جنبه‌های ساماندهی رودخانه فراهم می‌نماید. وقوع پدیده میانبر از دیگر مواردی است که بر خلاف حالت قبل موجب افزایش شیب رودخانه در بازه مورد نظر گردیده و از این رو فرسایش بازه‌های بالادست و انتقال مواد رسوبی بیشتر به پایین دست را در پی دارد. در مواردی نیز وقوع فرسایش مستمر و کاهش شیب رودخانه مطابق شکل (۳-۴) بند ۳-۳ ممکن است در رودخانه‌های شریانی و یا مستقیم حالت پیچابی ایجاد کند[۳۳]. به علاوه دراثر پدیده فرسایش کف،کناره‌های رودخانه نیز حالت ناپایداری پیدا کرده و به تدریج با ریزش توده‌ای و انتقال مواد کناره توسط جریان آب، بستر رودخانه عریض‌تر می‌گردد. این حالت اغلب در رودخانه‌های شریانی مشاهده می‌شود.

بدیهی است در صورتی که چنین رودخانه‌ای هدف اقدامات ساماندهی قرارگیرد لازم است موقعیت سازه‌های حفاظتی با توجه به تمایل رودخانه به تعریض بستر خود و پی آمدهای ناشی از آن، مد نظر قرار گیرد. به طور کلی اثرهای فرسایش بر ریخت شناسی رودخانه را در حالت طبیعی می‌توان به صورت زیر خلاصه نمود.

- جابجایی عرضی حاصل از فرسایش در رودخانه‌های پیچانرودی
- وقوع پدیده میان بر و تأثیر آن بر ساختار ریخت شناسی
- فرسایش مستمر بستر و کاهش شیب رودخانه و پدید آمدن حالت پیچابی ناشی از کاهش شیب
- تخریب کناره‌ها و تعریض بستر و تغییر ویژگیهای هندسی رودخانه

omoorepeyman.ir

1 - Sinousity

۴- مطالعات رسوب رودخانه‌ها در شرایط طبیعی

حمل رسوب از جمله ویژگیهای شاخص رودخانه‌ها در شرایط طبیعی است. مواد رسوبی حمل شده به پیروی از تغییر ویژگیهای هندسی رودخانه و خصوصیات جریان، فرصت ترسیب یافته و این فرآیند به صورت پدیده تراز افزایی یا رسوبگذاری[1] در بازه‌های مختلف رودخانه خودنمایی می‌کند. بخشی از مواد رسوبی حمل شده حاصل فرسایش بستر و سواحل رودخانه و بخشی از منابع رسوبی رودخانه نیز منشاء حوضه‌ای داشته و حاصل فرسایش خاک سطحی و یا فرسایشهای خندقی و جابه جاییهای توده‌ای ناشی از رانش زمین و مانند آن است. از این رو از دیدگاه مهندسی رسوب، امکان وقوع همزمان فرسایش و رسوبگذاری در بازه‌های مختلف رودخانه میسر است. در این راهنما با توجه به چنین واقعیتی و با توجه به اهمیت این مسئله، فرایند فرسایش و چگونگی مطالعه آن در شرایط طبیعی در فصل سوم و در این فصل نیز مسئله رسوبگذاری و پدیده حمل رسوب در شرایط طبیعی و ارتباط آن با ملاحظات ساماندهی بررسی شده است.

۴-۱ بررسی کلی پدیده رسوبگذاری و مشخص کردن تأثیر نوع رودخانه در روند آن

بررسی پدیده رسوبگذاری در رودخانه‌ها با توجه به منشاء و عوامل طبیعی تأثیرگذار از پیچیدگیهای زیادی برخوردار است. عوامل عمده مؤثر در رسوبگذاری را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد: [۳۸،۳۹ و۴۰]

- تغییر رژیم هیدرولوژیک
- اتصال شاخه‌های پررسوب
- تغییر پوشش گیاهی حوضه آبریز
- وقوع سیلابها
- پدیده‌های زمین شناسی و زمین ریخت شناسی

بدیهی است وقوع همزمان این عوامل با تأثیرگذاری چند جانبه بر فرآیند رسوبگذاری، بخشی از پیچیدگی حاکم بر مسئله را نشان می‌دهد. در ادامه به بررسی این عوامل پرداخته شده است:

۴-۱-۱ *نقش تغییر رژیم هیدرولوژیکی در رسوبگذاری*

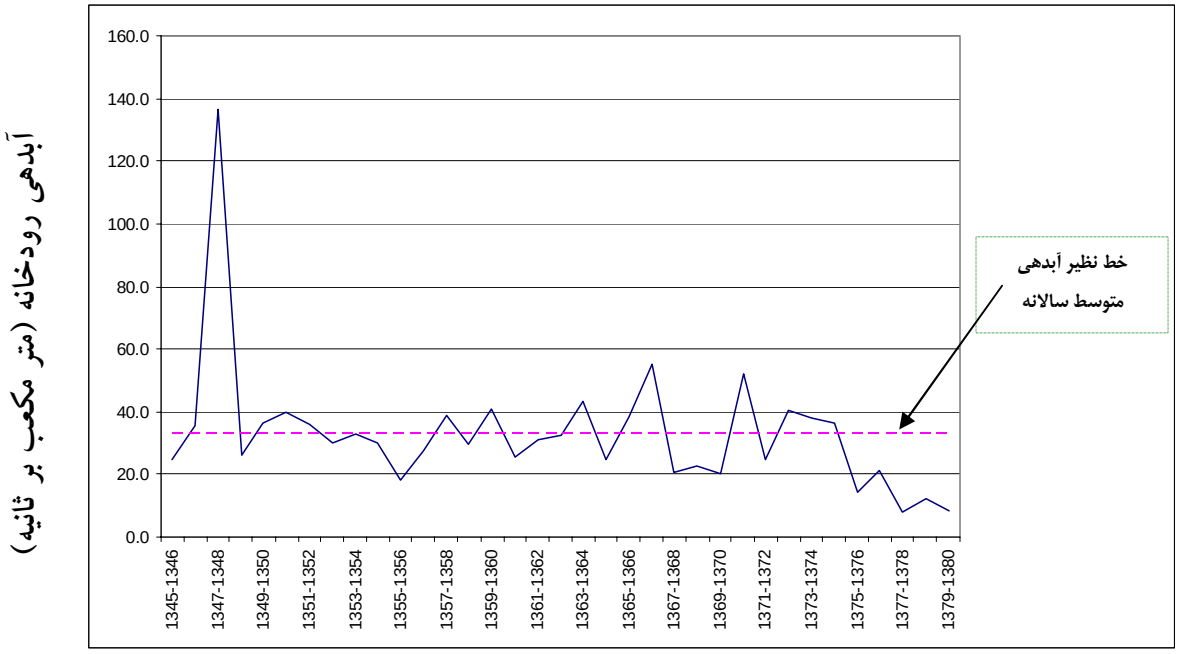
رژیم هیدرولوژیک منعکس کننده روند تغییرات آبدهی رودخانه در سالهای متوالی بوده و با تأثیرپذیری از شرایط آب و هوایی دستخوش تغییر می‌باشد. در شکل (۴-۱) نمونه‌ای از رژیم آبدهی نشان داده شده است [۵۵].

مطابق نمودار یاد شده، مقدار آبدهی در سالهای متوالی متفاوت بوده، بنابراین ظرفیت حمل رسوب رودخانه[2] نیز دستخوش تغییرات سالانه می‌شود. در سالهای پر آبی با افزایش توان حمل رسوب حالت فرسایش و کاهش تراز بستر[3] در رودخانه

1 - Aggradation
2 - Sedinent Transport capacity
3 - Degradation

omoorepeyman.ir

حکمفرما بوده و در سالهای کم آبی در اثر کاهش ظرفیت حمل، مواد رسوبی به تدریج در بستر انباشته شده و با رسوبگذاری مستمر افزایش تراز بستر را به همراه دارد. در سالهایی که بستر رودخانه به پیروی از رژیم هیدرولوژیک فرآیند رسوبگذاری را تجربه می‌کند منحنی سنجه (بده – تراز) دارای تراز بالاتری است و در دوره فرسایش تراز منحنیها افت محسوسی را تجربه می‌کند.



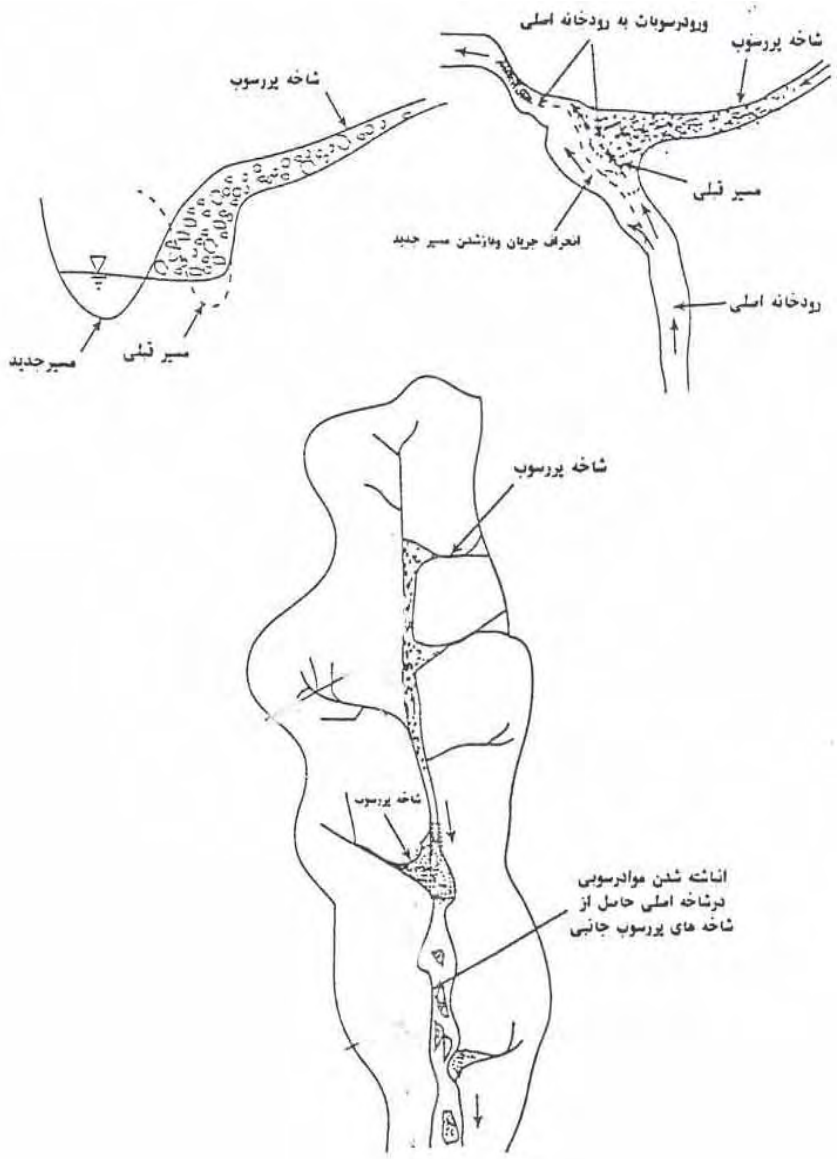
شکل ۴-۱- نمونه‌ای از روند تغییرات سالانه (رژیم جریان) رودخانه شاهرود [۵۵]

۴-۱-۲ *اثرهای اتصال شاخه‌های پر رسوب*

شاخه‌های پر رسوب از جمله منابع تغذیه رودخانه‌ها بوده و از آنجایی که میزان رسوب ورودی از شاخه‌ها بیشتر از ظرفیت حمل رسوب رودخانه می‌باشد بخشی از مواد رسوبی در بستر انباشته شده و حالت رسوبگذاری فراگیر بوجود می‌آید. در شکل ۴-۲ چگونگی تغذیه رسوبی رودخانه توسط شاخه‌های پر رسوب جانبی نشان داده شده است[۴۰].

مطابق این شکل انباشته شدن موضعی رسوبات در رودخانه اصلی گاهی موجب انحراف مسیر جریان گردیده و تغییر شکل رودخانه را در پی دارد. به علاوه رسوبات وارده از شاخه‌های جانبی به صورت لایه‌های رسوبی در بستر رودخانه انباشته می‌شوند که به نوبه خود افزایش تراز بستر و تشدید سیل گرفتگی اراضی اطراف را در پی دارد.

omoorepeyman.ir



شکل ۴-۲- تغذیه رودخانه اصلی توسط شاخه‌های پر رسوب و تبعات حاصله از آن [۴۰و۵۵]

۴-۱-۳ *اثرهای تغییر پوشش گیاهی حوضه آبریز*

وضعیت پوشش گیاهی حوضه‌های آبریز از جمله عوامل تأثیر گذار در تغذیه رسوبی رودخانه‌ها بوده و برظرفیت انتقال رسوب اثر می‌گذارد. در دوره‌های پر آبی رشد و توسعه پوشش گیاهی به طور طبیعی نرخ فرسایش خاک حوضه را کاهش داده و این امر به نوبه خود فرسایش تدریجی بستر رودخانه را به همراه دارد. در دوره‌های کم آبی، تراکم پوشش گیاهی و دامنه گسترش آن کاهش یافته و خاک حوضه در مقابل بارشهای جوی و جریانهای سطحی ناپایدار و نرخ فرسایش خاک رو به افزایش می‌گذارد. این امر تغذیه رسوبی رودخانه را تشدید نموده و با رسوبگذاری مستمر، افزایش تراز بستر را فراهم می‌آورد (در مورد تشدید فرسایش سطح حوضه و رسوبگذاری در بستر رودخانه‌ها به شکلهای ۱-۴ و ۱-۱۳ در فصل اول مراجعه شود.)

omoorepeyman.ir

۴-۱-۴ وقوع سیلابها و تأثیر آن بر رسوبگذاری

جریانهای سیلابی دارای توان حمل رسوب بالایی هستند و از آنجایی که منشاء شکل گیری سیلابها بیشتر نواحی کوهستانی حوضه‌های آبریز می‌باشد، موج سیلاب ضمن عبور از بازه‌های پر شیب و دره‌ای مواد و مصالح رسوبی زیادی را با خود حمل کرده و در مناطق کوهپایه‌ای و به خصوص نواحی جلگه‌ای که شیب کاهش یافته و مقطع رودخانه رو به افزایش می‌گذارد، بخش عمده‌ای از رسوبات در بستر ته نشین شده و تراز آن را افزایش می‌دهد. رسوبات ته نشین شده بعد از فروکش سیلاب به تدریج به پایین دست منتقل می‌شود.

۴-۱-۵ نقش پدیده‌های زمین شناسی و زمین ریخت شناسی در رسوبگذاری

حرکات تکتونیکی و زمین لزره‌ها موجب جابه جایی لایه‌های بستر رودخانه گردیده و ممکن است در بخشهایی از مسیر رودخانه تراز بستر بالاتر از تراز عمومی قرار گیرد. در چنین حالتی در بازه‌های بالادست رسوبگذاری پدیدار می‌گردد. در مواردی نیز با افزایش تراز آب در محل اتصال رودخانه به دریا یا دریاچه فرایند رسوبگذاری ممتد در مسیر رودخانه قابل انتظار است.

رسوبگذاری در رودخانه‌ها تغییر شکل آنها را به دنبال دارد. در رودخانه‌های پیچانرودی[1] رسوبگذاری در قوسهای داخلی از جمله عواملی است که در جابجاییهای عرضی و طولی و وقوع پدیده کمربند چم[2] (در خصوص پدیده کمربند چم به بند ۳-۲ و شکل ۳-۲ مراجعه شود) نقش عمده‌ای رابر عهده دارد. همچنین در اثر رسوبگذاری و افزایش شیب رودخانه (شایسته ذکر است رسوبگذاری موجب افزایش شیب و فرسایش موجب کاهش شیب رودخانه می‌گردد) ممکن است یک رودخانه پیچانرودی به روخانه شریانی[3] تغییر حالت دهد. رودخانه‌های شریانی بر خلاف بسترهای پیچشی دارای عرض بیشتری بوده و کناره‌های ناپایداری دارند.

۴-۲ بررسی رسوب رودخانه

۴-۲-۱ شناخت عوامل مؤثر بر انتقال رسوب

جابجایی مواد رسوبی در رودخانه‌ها تابع عوامل مختلفی است. براساس نظریه شیلدز انتقال مواد رسوبی در رودخانه‌ها را می‌توان تابع دو عامل بی بعد که درادامه ارائه شده است، دانست [۱۵] :

$$F_S = \frac{\tau_\circ}{\gamma(G_S - 1)D} \qquad (۱-۴)$$

$$R_{e^*} = \frac{u_* D}{\nu} \qquad (۲-۴)$$

1 - Meandering River
2 - Meander Belt
3 - Braided River

omoorepeyman.ir

در این روابط:

F_S: عدد شیلدز (بی بعد)، R_{e^*}: عدد رینولدزدانه‌ها (بی بعد)، $\tau_\circ$: تنش برشی بدست آمده از جریان آب (نیوتن بر متر مربع)، D: قطر دانه‌های مواد رسوبی موجود در بستر رودخانه (متر)، u_*: متوسط سرعت برشی جریان آب (متر بر ثانیه) که از رابطه $u_* = \sqrt{\tau_\circ / \rho}$ بدست می‌آید که در آن ρ جرم مخصوص آب (کیلوگرم جرم بر متر مکعب) می‌باشد، γ: وزن مخصوص آب (نیوتن بر متر مکعب)، G_S: چگالی دانه‌های رسوب (بی بعد) که برابر با ۲/۶۵ منظور می‌شود، ν : گرانروی سینماتیکی آب (متر مربع بر ثانیه) بررسی روابط فوق نشان می‌دهد که در انتقال مواد رسوبی سه عامل اصلی دخالت دارند:

۴-۲-۱-۱ ویژگیهای هیدرولیکی جریان که از راه تنش برشی ($\tau_\circ$)و سرعت برشی جریان (u_*) خود نمایی می‌کنند. تنش برشی و سرعت برشی جریان از شاخصهای اصلی جریان رودخانه بوده و انعکاسی از وضعیت عادی یا سیلابی می‌باشند. طبق نظریه انشتین مقدار $\tau_\circ$ در شرایط سیلابی بعضا به بیش از چهل برابر آن در شرایط عادی بالغ گردیده و پتانسیل انتقال را بطور چشمگیری افزایش می‌دهد [۱۵].

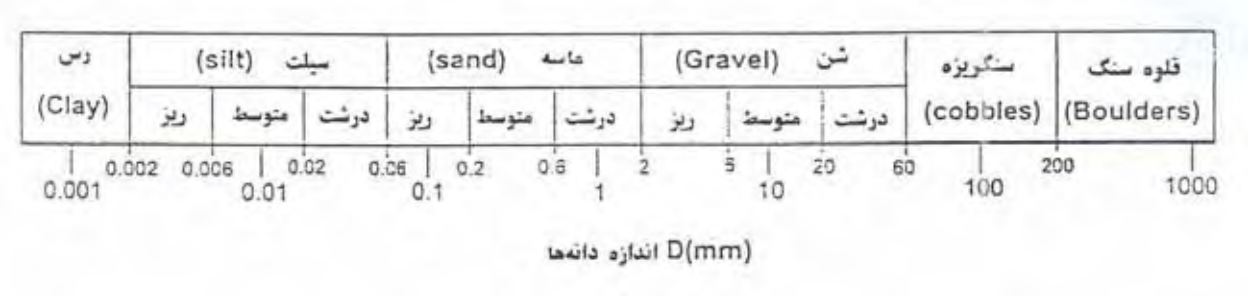
۴-۲-۱-۲ ویژگیهای دانه‌بندی مواد رسوبی بستر که به‌صورت D و G_S در معادلات شیلدز تأثیرگذارمی‌باشند. شدت جابجایی مواد رسوبی با قطر دانه‌ها رابطه عکس دارد، به طوریکه با افزایش D ظرفیت حمل رسوب رو به کاهش می‌گذارد و برای دانه‌های ریزتر توان حمل رسوب بطور محسوسی افزایش می‌یابد. چگالی دانه‌ها نیز در این فرآیند تأثیرگذار می‌باشد. دانه‌هایی که دارای G_S بالاتری هستند (مانند دانه‌های دارای کانیهای آهن) در مقایسه با مواد رسوبی با چگالی کمتر (مانند دانه‌های دارای کانیهای سیلیس) از سرعت انتقال کمتری برخوردارند. اندازه دانه‌ها مرزبندیهای مشخصی را در بررسی رسوب رودخانه‌ها ترسیم می‌کند. براساس اندازه دانه‌ها مواد رسوبی به دو گروه مشخص رسوبات غیر چسبنده یا درشت دانه‌ها[1] و رسوبات چسبنده یا ریزدانه‌ها[2] تقسیم می‌شود.

گروه رسوبات غیر چسبنده شامل : ماسه، شن، قلوه سنگ و نظایر آن می‌باشد و برای رسوبات چسبنده رس و سیلت ریز از عناصر اصلی تلقی می‌شوند. در شکل (۴-۳) گروه بندی مواد رسوبی براساس روش M.I.T [3] نشان داده شده است [۶۸].

از دیدگاه مهندسی رسوب و ساماندهی رودخانه‌ها لازم است رسوبات چسبنده و غیر چسبنده با روشها و مکانیزمهای خاص خود و به طور مجزا مورد بررسی و مطالعه قرار گیرد. در این خصوص ضمن معرفی مرجع [۳۸،۳۹ و ۴۰] در بخشهای بعدی راهنما جزئیات بیشتری ارائه خواهد شد.

omoorepeyman.ir

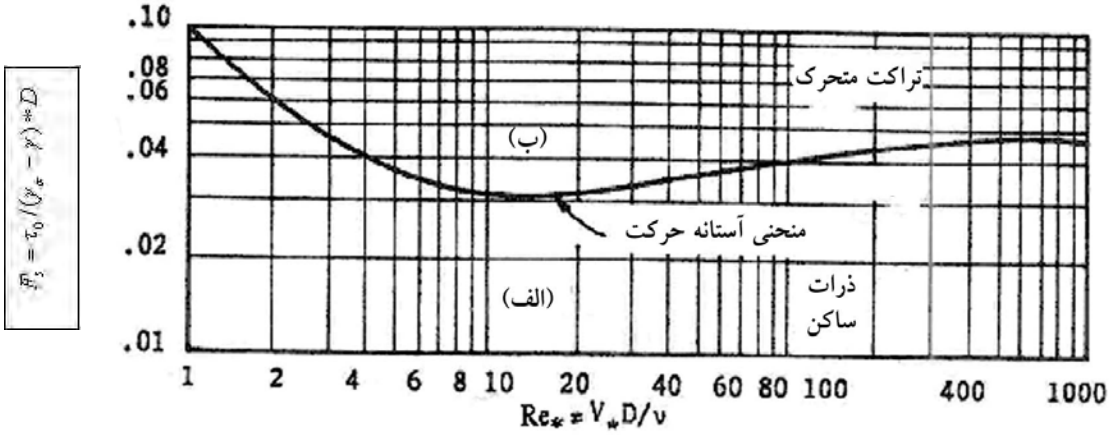
1 - Noncohesive Sediments or Coarse Sediment
2 - Cohesive Sediment or Fine Sediment
3 - Massachosset Institute Of Technology



شکل۴-۳- محدوده‌های دانه‌بندی طبق استاندارد M.I.T [۶۸]

۴-۲-۱-۳ ویژگیهای فیزیکی آب که به صورت ν و γ برفرآیند انتقال رسوب تأثیرگذار بوده و عوامل شیلدز از آن متاثر می‌باشند. ν و γ هر دو تابع درجه حرارت آب و صافی یا کدری آن هستند. بعلاوه املاح محلول در آب نیز تأثیر خود را در عوامل یادشده نشان می‌دهند. به‌گونه‌ای که آبهای شور دارای ν و γ بیشتری در مقایسه با آب شیرین می‌باشند. برای آگاهی بیشتر از خصوصیات فیزیکی آب مراجع [۴۱و۴۶] معرفی می‌گردد.

نظر به اهمیت عوامل شیلدز در تحلیل رفتار انتقال رسوب و به‌منظور معرفی نحوه ارتباط F_S و R_{e*} در شرایط هیدرولیکی مختلف در شکل (۴-۴) منحنی کلاسیک شیلدز[1] معروف به منحنی آستانه حرکت معرفی شده است[۳۴].



شکل۴-۴- منحنی شیلدز (منحنی آستانه حرکت مواد رسوبی) [۳۴]

بر روی نمودار شیلدز دو ناحیه متمایز قابل تشخیص می‌باشد. ناحیه «الف » که در زیر منحنی قرار گرفته و معرف حالت پایداری یا سکون دانه‌ها[2] در شرایط هیدرولیکی حاکم می‌باشد و توسط مختصات F_S و R_{e*} مشخص می‌گردد. ناحیه «ب» که در بالای منحنی شیلدز قرار دارد و معرف حرکت[3] دانه‌های رسوبی به‌صورت بار بستر یا بار معلق است. این حالت انعکاسی از

1 - Shields Curve
2 - Stable condition Nomotion
3 - The threshold curve

omoorepeyman.ir

شرایط هیدرولیکی فعال بوده و با افزایش تنش برشی و سرعت جریان (در اثر افزایش بده جریان هنگام وقوع حالت سیلابی) نقاط بدست آمده از مختصات F_s و R_{e^*} از منحنی شیلدز فاصله بیشتری گرفته و بیانگر توان حمل رسوب بالای رودخانه می‌باشد. شایسته ذکر است که منحنی شیلدز مرز بین سکون و حرکت دانه‌ها را مشخص می‌نماید و از این رو به منحنی آستانه حرکت نیز معروف است.

علاوه بر عوامل سه گانه که به صورت کمی و در قالب عوامل شیلدز مبنای بررسی فرایند انتقال رسوب قرار می‌گیرد، بعضی ویژگیهای فرم بستر رودخانه‌ها نیز به نوبه خود بر جابه جایی مواد رسوبی تأثیرگذار می‌باشند. در این خصوص وجود انباشته‌های رسوبی در بستر رودخانه‌ها که به صورت شکنجها[1] تلماسه[2]، پادتلماسه[3] و بارهای رسوبی[4] و یا جزایر رسوبی خودنمایی می‌کنند، قابل ذکر است (در خصوص انباشته‌های رسوبی بستر به شکل ۱-۹ و ۱-۱۰ در فصل اول مراجعه شود). بررسی کمی تأثیر این گونه پدیده‌های رودخانه‌ای در فرایند رسوبگذاری دارای الگوی مشخصی نبوده و اغلب به استفاده از مدلهای فیزیکی نیاز می‌باشد. نوع رودخانه نیز از جمله عوامل مؤثر بر انتقال رسوب تلقی می‌شود. ساز وکار انتقال در رودخانه‌های پیچانرودی متفاوت از رودخانه‌های شریانی بوده و در رودخانه‌های کوهستانی نیز شرایط ویژه‌ای حاکم می‌باشد. جزئیات بیشتر در خصوص تأثیر نوع رودخانه بر انتقال رسوب را می‌توان در مرجع [۴۰، ۱۵ و ۴۱] بدست آورد.

۴-۲-۲ روابط انتقال رسوب

برای تعیین مقدار رسوب حمل شده توسط رودخانه روابط مختلفی توسط متخصصان مسائل رودخانه‌ای ارائه شده است به دلیل تنوع روابط، تعدد عوامل و پیچیدگی حاکم بر انتقال رسوب تعداد روابط بیش از ۳۰ مورد می‌باشد[۴۶]. بگونه ایکه درنظرگرفتن همه عوامل مؤثر در یک معادله ریاضی را ناممکن می‌کند. از این رو تنها عوامل شاخص و قابل اندازه‌گیری در روابط ارائه شده و عمدتا در شرایط محدود آزمایشگاهی و برای اهداف و موارد کاربردی خاص معرفی گردیده‌اند. چنین محدودیتهایی تا کنون مانع از ارائه یک معادله جهانی[5] واحد برای تعیین نرخ انتقال رسوب در رودخانه‌ها شده است. در مطالعات ساماندهی لازم است با بررسی شرایط رودخانه‌ای و نوع رسوبات و اهداف مورد نظر روابط مناسب برای محاسبات و تعیین نرخ انتقال رسوب انتخاب شود. در خصوص معیارهای انتخاب روابط مناسب در ادامه این بخش بحث خواهد شد. با استفاده از روابط انتقال رسوب می‌توان مقدار بار بستر[6]، بار معلق[7] و مجموع آنها به عنوان بار کل[8] را تعیین نمود. که در ادامه به معرفی روابط مربوط پرداخته می‌شود.

1 - Ripples
2 - Dune
3 - Antidume
4 - Sediment Bars
5 - The Unversal transport equation
6 - Bed Load
7 - Saspended lood
8 - Total load

omoorepeyman.ir

۴-۲-۲-۱ روابط تعیین بار معلق

بار معلق بخشی از رسوب حمل شده توسط رودخانه بوده که دارای منشاء حوضه‌ای و رودخانه‌ای است. در اثر وقوع بارندگی در سطح حوضه آبریز، بخشی از دانه‌های خاک همراه جریان سطحی وارد رودخانه شده و به صورت بار معلق به خارج از حوضه منتقل می‌شود. این بخش از بار رسوبی معلق بار شسته[1] نامیده می‌شود. بار حوضه‌ای متشکل از دانه‌های رس و سیلت کنده شده از سطح حوضه آبریز می‌باشد. تعیین مقدار بار شسته با نمونه‌برداری از رودخانه و مشخص کردن غلظت آن میسر است. آن بخش از مواد رسوبی معلق که منشاء رودخانه‌ای دارد، حاصل فرسایش بستر و اختلاط آب و رسوب در اثر پدیده تلاطم ناشی از تنش برشی، جریانهای ثانویه یا جریانهای گردابی است، بار معلق مواد بستر[2] نامیده می‌شود. برای تعیین غلظت مواد معلق بستر روابط مختلفی ارائه شده است که در زیر به روابط متداول آن اشاره می‌شود.

الف - رابطه راس[3]

رابطه راس توزیع غلظت را نسبت به عمق مشخص می‌نماید [۱۵]:

$$\frac{C_y}{C_\alpha}=\left[\frac{d-y}{y}\times\frac{a}{d-\alpha}\right]^z \qquad (۳-۴)$$

$$Z=\frac{W}{Ku_*} \qquad (۴-۴)$$

در روابط :

Cy: غلظت حجمی مواد معلق در عمق مورد نظر، Ca : غلظت حجمی مبنا که با اندازه‌گیری صحرایی در فاصله a از بستر تعیین می‌شود، d : عمق جریان (متر)، y : عمق مورد نظر (متر)، a: فاصله از بستر (۰/۰۵d) (متر)، Z : نمای معادله توزیع غلظت، W : سرعت سقوط دانه‌ها (متر بر ثانیه) u_*: سرعت برشی (متر بر ثانیه)، K : ثابت ون کارمن می‌باشد که اغلب برابر با ۰/۴ در نظر گرفته می‌شود (این عامل به پیروی از غلظت می‌تواند تغییر کند)، مقدار u_* از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$u_*=\sqrt{\frac{g\tau_\circ}{\gamma}} \qquad (۵-۴)$$

که در آن :

$\tau_\circ$: تنش برشی در بستر (نیوتن بر مترمربع)، g : شتاب ثقل (متر بر مجذور ثانیه)، γ: وزن مخصوص آب (نیوتن بر متر مکعب) می‌باشد.

1 - Wash - Load
2 - Bed material Suspended Load
3 - Rous Equation

omoorepeyman.ir

برای تعیین W انشتین رابطه زیر را پیشنهاد کرده است [۱۵]:

$$W = G\sqrt{gD(G_s - 1)} \qquad (۴-۶)$$

$$G = \sqrt{\frac{2}{3} + \frac{36\nu^2}{gD^3(G_s - 1)}} - \sqrt{\frac{36\nu^2}{gD^3(G_s - 1)}} \qquad (۴-۷)$$

در روابط فوق D : قطر دانه‌های مواد رسوبی(متر)، G_s: چگالی دانه‌های رسوب، ν:گرانروی سینماتیکی[1] (متر مربع بر ثانیه). W: سرعت سقوط دانه‌ها (متر بر ثانیه). برای تعیین مقدار بار معلق از روش راس لازم است نخست غلظت نسبی تعیین و سپس با انتگرال گیری نسبت به عمق مقدار بار معلق در واحد عرض از رابطه زیر تعیین گردد [۸]:

$$q_{ss} = \int_{\alpha}^{d} C_y \nu dy \qquad (۴-۸)$$

$$\nu = \bar{v} + \frac{l}{k}\sqrt{gds}\,(1 + 2/3\,\mathrm{Log}\frac{y}{d}) \qquad (۴-۹)$$

$$\bar{v} = \frac{Q}{A} \qquad (۴-۱۰)$$

در روابط بالا :

s : شیب رودخانه، d : عمق جریان آب (متر)، y : فاصله از کف (متر)، Q : بده جریان آب رودخانه (متر مکعب بر ثانیه)، q_{ss} : بده بار معلق در واحد عرض (متر مکعب بر ثانیه در یک متر عرض رودخانه) $\bar{v}$: سرعت متوسط جریان (متر بر ثانیه)، A : سطح مقطع جریان (متر مربع) و بقیه عوامل قبلاً تعریف شده اند.

از آنجایی که انتگرال‌گیری از معادله (۴-۸) مشکل می‌باشد در عمل می‌توان مقدار q_{ss} را از رابطه زیر تعیین نمود:

$$q_{ss} = \sum_{i=1}^{n} (C_y \nu \Delta y)i \qquad (۴-۱۱)$$

در این رابطه :

عمق جریان (d) به n بخش تقسیم گردیده و در هر بخش (Δyi) مقدار سرعت، (νi) از رابطه (۴-۹) و مقدار غلظت C_{yi} از رابطه (۴-۳) تعیین و از مجموع بدست آمده، مقدار q_{ss} مشخص می‌گردد.

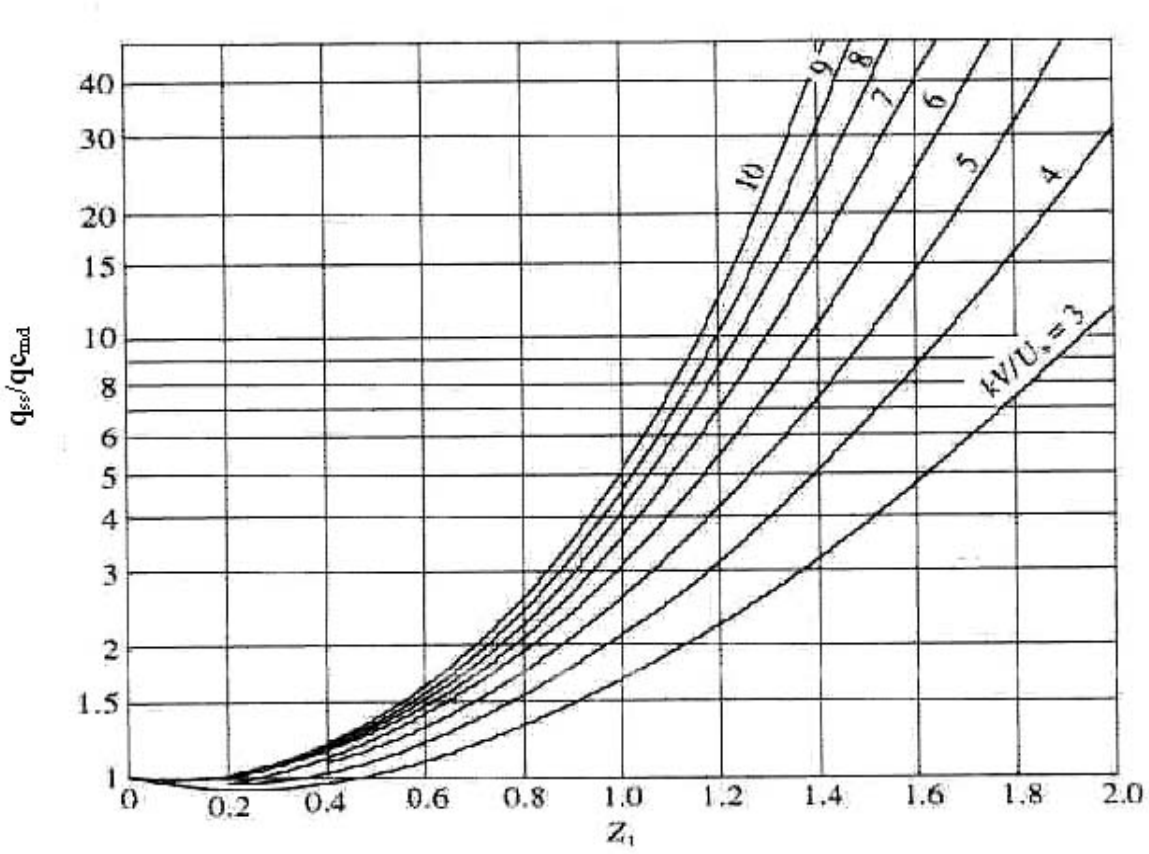
omoorepeyman.ir

1 - Kinematic viscozity

ب- روش بروک[1]

بروک یک روش گرافیکی برای تعیین بار معلق ارائه کرد[۷]. در شکل (۴-۵) منحنیهای بروک داده شده است. در این شکل برای تعیین بار معلق لازم است عامل Z (در فرمول راس، رابطه ۴-۳) و همچنین عامل $\frac{KV}{u_*}$ (که در آن K عدد ون کارمن، V سرعت متوسط جریان، u_*: سرعت برشی است) مشخص گردد. با معلوم بودن عوامل یادشده نسبت $\frac{q_{ss}}{q(C_{md})}$ از شکل (۴-۵) تعیین و مقدار بار معلق (q_{ss}) از حاصلضرب نسبت قرائت شده از نمودار و کمیت $q(C_{md})$ مشخص می‌گردد. q بده جریان در واحد عرض مجرا (متر مربع بر ثانیه) و C_{md} غلظت اندازه‌گیری شده در عمق میانه[2] (عمق نظیر ۰/۵d) می‌باشد که بر حسب میلی گرم در لیتر منظور می‌گردد. مقدار q_{ss} معرف وزن بار معلق در واحد عرض و واحد زمان می‌باشد.

روابط متعدد دیگری نیز برای تعیین بده بار معلق ارائه شده است که برای جزئیات بیشتر مرجع [۳۹و۴۶] پیشنهاد می‌شود.



شکل ۴-۵- نمودار بروک برای تعیین بار معلق [۴۶]

omoorepeyman.ir

1 - Brooks method
2 - Mid Depth Cocentration

۴-۲-۲-۴ روابط تعیین بار بستر

در بسترهای با مواد رسوبی غیر چسبنده، مانند رودخانه‌های کوهستانی و رودخانه‌های شریانی، مقدار بار معلق در مقایسه با بار بستر ناچیز بوده و برای تعیین مقدار رسوب حمل شده از روابط بار بستر استفاده می‌شود. استفاده از این روابط برای پیش‌بینی رفتار رودخانه و تغییرات احتمالی ریخت‌شناسی از دیدگاه ساماندهی ضروری است. در زیر به معرفی روابط بار بستر پرداخته شده است.

الف- رابطه مایر- پیتر-مولر[1] (M.P.M)

رابطه M.P.M از جمله روابطی است که به ویژه برای رودخانه‌های کوهستانی کاربرد دارد [۴۰] معادله M.P.M به صورت زیر است:

$$\frac{q_{sb}}{\left[g(G_s-1)D^3\right]^{0/5}}=8\left[\left(\frac{n'}{n}\right)^{1/5}F_s-0/047\right]^{1/5} \qquad (۱۳-۴)$$

در این رابطه :

q_{sb}: بده بار بستر در واحد عرض (متر مربع بر ثانیه)، D : قطر دانه‌های موجود در بستر (متر)، Fs : عدد شیلدز، n': ضریب مانینگ دانه‌بندی مواد بستر و n : ضریب مانینگ بستر می‌باشد. مقدار n' از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$n'=0/034(D_{90})^{\frac{1}{6}} \qquad (۱۴-۴)$$

مقدار n از معادله معروف مانینگ و یا به روش تخمینی کارشناسی با استفاده از شکلها و جدولهای ارائه شده در مراجع معتبر مختلف تعیین می‌گردد. D_{90} در رابطه بالا قطر نظیر ۹۰ درصد ریزتر وزنی مواد رسوبی بستر می‌باشد (متر).

ب- رابط شو کلیچ[2]

$$q_{sb}=\frac{2/5}{G_s}S^{1/5}(q-q_s) \qquad (۱۵-۴)$$

$$q_c=0/26(G_s-1)\frac{5/3D_{40}^{1/5}}{S^{7/6}} \qquad (۱۶-۴)$$

1 - Meyar- Peter- Muller Equation
2 - Schoklitsch Eq

omoorepeyman.ir

در این رابطه :

q: بده جریان در واحد عرض (متر مکعب بر متر بر ثانیه)، q_c: بده بحرانی در واحد عرض (متر مکعب بر متر بر ثانیه)، S : شیب رودخانه (یا شیب خط انرژی)، D_{40} قطر نظیر ۴۰ درصد ریزتروزنی مواد رسوبی بستر (متر)، بقیه عوامل قبلاً تعریف شده است.

ج- معادله اسمارت[1]

$$\frac{q_{sb}}{\left[g(G_s-1)D^3\right]^{0/5}}=4\left[\left(\frac{D_{90}}{D_{30}}\right)^{0/2}S^{0/6}\frac{\bar{v}}{u_*}F_s^{0/5}-0/056\right] \qquad (۱۷-۴)$$

در این رابطه :

D_{30}: قطر نظیر ۳۰ درصد ریزتر وزنی دانه‌های رسوب بستر (متر)، بقیه عوامل قبلاً تعریف شده‌اند. روابط معرفی شده در سیستم متریک می‌باشند.

علاوه بر روابط فوق روابط متعدد دیگر مانند روابط انشتین – براون[2]، رابطه کالینسک[3]، رابطه دوبویز[4] وجود دارندکه برای آگاهی از جزئیات آنها مراجع [۳۹و۴۶] پیشنهاد می‌شود.

۴-۲-۳-۳ روابط بار کل

در بسیاری از موارد، تفکیک بار بستر و بار معلق از یکدیگر به آسانی امکان‌پذیر نمی‌باشد. علت این امر ترکیب دانه‌بندی مواد بستر است که گاهی طیفی از ماسه ریز تا شن درشت را در بر می‌گیرد. از طرفی در کارهای مهندسی آگاهی از بار کل برای بررسی عملکرد در رودخانه ضروری است. در چنین شرایطی روابطی بکار می‌رود که به تواند بار کل را برای شرایط هیدرولیکی مورد نظر ارزیابی نماید.بعضی از روابط بار کل در زیر معرفی شده است.

الف- رابطه یانگ[5] (معروف به رابطه شن و ماسه یانگ)

که از جمع مقادیر حاصل از دو رابطه می‌توان بار کل جریان رودخانه را تعیین نمود.

یانگ دو رابطه، یکی برای نرخ انتقال ماسه و دیگری برای نرخ انتقال شن به صورت زیر ارائه کرد.

- رابطه نرخ انتقال ماسه

omoorepeyman.ir

1 - Smart
2 - Einstien -Brown
3 - Kalinske
4 - Du-Boys
5 - Yangs sand & Gravel Equation

$$\log C_{ts} = 5/435 - 0/286 \log\frac{wD}{\nu} - 0/457 \log\frac{u_*}{w} + \left((1/799 - 0/409 \log\frac{WD}{\nu} - 0/314 \log\frac{u_*}{w}) \log(\frac{V.S}{w} - \frac{V_{cr}.S}{w}) \right) \quad (۱۸-۴)$$

$$\frac{V_{cr}}{w} = \left\{ \frac{2/5}{\log(u_* D/\nu) - 0/06} + 0/66Z \right\} \quad \text{برای} \quad 1/2 < \frac{u*D}{\nu} < 70$$
$$\frac{V_{cr}}{w} = 2/05 \quad \text{برای} \quad 70 < \frac{u*D}{\nu} \quad (۱۹-۴)$$

در روابط فوق :

C_{ts}: غلظت ماسه (بار بستر و بار معلق) بر حسب میلی گرم بر لیتر یا PPm [1] بقیه عوامل قبلاً تعریف شده است.

- رابطه نرخ انتقال شن:

$$\log C_{tg} = (6/681 - 0/633 \log\frac{wD}{\nu} - 4/816 \log\frac{u_*}{w}) + \left((2/784 - 0/305 \log\frac{wD}{\nu} - 0/282 \log\frac{u_*}{w}) \log(\frac{VS}{w} - \frac{V_{cr}.S}{w}) \right) \quad (۲۰-۴)$$

در این رابطه :

C_{tg}: غلظت شن (میلی‌گرم بر لیتر)، بقیه عوامل قبلاً تعریف شده‌اند.

ب- رابطه انگلن- هانسن [2]

$$f'\varphi = 0/1 F_s^{5/2} \quad (۲۱-۴)$$

$$f' = \frac{2gSd}{\nu^{-2}} \quad (۲۲-۴)$$

$$\varphi = q_{st}/Gs + \gamma\left[(G_s - 1) g D^3\right]^{1/2} \quad (۲۳-۴)$$

$$F_s = \frac{\tau_\circ}{\gamma(G_s - 1) D} \quad (۲۴-۴)$$

در رابطه فوق :

q_{st}: بار کل (بر حسب نیوتن بر متر بر ثانیه)، f': عامل بی بعد که توسط رابطه ۴-۲۱ مشخص می‌گردد، ϕ: عامل انتقال رسوب (بی بعد) بقیه عوامل قبلاً تعریف شده‌اند. (عناصر رابطه در سیستم متریک می‌باشد).

1 - Part per Million (ppm)
2 - Engelund &Hansen Equation

omoorepeyman.ir

ج- روابط ایکرز- وایت[1]

$$F_{gr} = u_*^{\,n}\left[gD\,(Gs-1)\right]^{-1/2}\left[\frac{\overline{v}}{\sqrt{32\log(\frac{10d}{D})}}\right]^{1-n} \qquad (۲۵-۴)$$

$$d_{gr} = D\left[\frac{g(Gs-1)}{v^2}\right]^{1/3} \qquad (۲۶-۴)$$

$$G_{gr} = \frac{xd}{DG_s}\left(\frac{u_*}{v}\right)^n \qquad (۲۷-۴)$$

$$G_{gr} = C\left(\frac{F_{gr}}{A}-1\right)^m \qquad \text{اگر } 1 < d_{gr} \le 60 \qquad (۲۸-۴)$$

$$n = 1 - 0/56\log d_{gr} \qquad A = 0/23\,d_{gr}^{-0/5} + 0/14 \qquad m = \frac{9/66}{d_{gr}} + 1/34$$

اگر $d_{gr>60}$

$$n = 0 \qquad A = 0/17 \qquad m = 1/5 \qquad C = 0/025$$

در این روابط:

x : غلظت بار کل (برحسب میلی گرم بر لیتر)، F_{gr} ،d_{gr} ،G_{gr}: عوامل بی بعد، بقیه عوامل قبلا تعریف شده‌اند. علاوه بر روابط فوق روابط متعدد دیگری برای تعیین بار کل وجود دارد که از جمله رابطه لارسن و رابطه انشتین می‌باشد که اطلاعات دقیق‌تر و جزئیات روشهای مزبور در مرجع [۴۶] آورده شده است.

۴-۲-۴-۴ *بررسی درجه بندی روابط*

فرضیات اعمال شده در روابط انتقال رسوب و محدوده کاربرد آنها موجب می‌گردد تا نتایج بدست آمده از معادلات مختلف دارای تفاوتهای معنی داری باشد. از این رو آگاهی از میزان انطباق نتایج حاصله با مقدار واقعی انتقال رسوب در شرایط طبیعی از دیدگاه مهندسی دارای اهمیت است. یانگ دریک بررسی فراگیر عملکرد معادلات انتقال را مورد تجزیه و تحلیل قرار داده و درجه اعتبار آنها را تعیین نموده است [۴۶]. همچنین انجمن مهندسین عمران آمریکا در یک بررسی مقایسه‌ای روابط انتقال رسوب را براساس میزان انطباق با نتایج بدست آمده از اندازه‌گیری میدانی و آزمایشگاهی مطابق جدول ۴-۱ رتبه بندی کرده‌اند.

1 - Acker & White

omoorepeyman.ir

در این جدول معادلاتی که دارای رتبه ۱ تا ۸ می‌باشند درج شده‌اند. رتبه یک متعلق به معادله‌ای است که بهترین انطباق را با مقدار واقعی رسوب داراست. مطابق این بررسی رابطه یانگ دارای رتبه یک بوده و بر سایر روابط از نظر دقت ارزیابی در شرایط مشابه برتری دارد. رابطه M.P.M مطابق جدول مذکور دارای رتبه ۷ است. جزئیات بیشتری در خصوص رتبه بندی در مرجع [۴۶] قید شده است.

جدول ۴-۱- رتبه بندی روابط انتقال رسوب بر اساس بررسیهای ASCE [۴۶]

نام رابطه		نوع رابطه	رتبه رابطه
Ackers and White	ایکرز- وایت	بار کل	۳
Engelund-Hansen	انگلن- هانسن	بار کل	۴
Laursen	لارسن	بار کل	۲
MPME*	مایرپیتر- مولر- انشتین	بار کل	۶
Yang	یانگ	بار کل	۱
Bagnold	باگنولد	بار بستر	۵
Meyer-Peter-Muller	مایر- پیتر- مولر	بار بستر	۷
Yalin	یالین	بار بستر	۸

* رابطه MPM برای بار بستر و رابطه انشتین برای بارمعلق (درخصوص معادله انیشتین به مرجع ۴۶ مراجعه شود)

۴-۲-۵ معرفی روابط مناسب

انتخاب معادله مناسب با توجه به وضعیت دانه‌بندی و شرایط رودخانه‌ای ازجمله ضروریات مطالعه رسوب در کارهای مهندسی است. رتبه‌بندی انجام شده توسط یانگ یکی از ابزارهای مناسب برای انتخاب معادله می‌باشد. تجربه‌های بدست آمده از کاربرد معادلات انتقال رسوب و پیشنهاد مراجع ۴۱ و۴۶ نشان می‌دهد که روابط لارسن، ایکرزوایت و انگلنهانس برای بسترهای ماسه‌ای مناسب تر می‌باشند. برای بسترهای با ترکیب شن و ماسه، رابطه یانگ برتری دارد. در مناطق کوهستانی که ساختار دانه‌بندی درشت تر بوده و نسبت بار بستر به بار معلق بیشتراست، روابط مایر، پیتر، مولر، شاکلیش و اسمارت مناسب‌ترند [۴۰].

منطقی‌ترین راه برای انتخاب معادله مناسب، آزمون عملکرد معادلات با مقادیر اندازه‌گیری شده در رودخانه می‌باشد. که به سبب مشکلات موجود در اندازه‌گیری بار بستر و نبود آمار مورد نیاز تعیین بار رسوب کل رودخانه به صورت تجربی این انتخاب مشکل می‌باشد. از این رو یانگ بر اساس بررسیها و تجربه‌های متعدد بر روی مطالعات موردی و پژوهشهای میدانی و آزمایشگاهی توصیه‌های زیر را در انتخاب معادله انتقال رسوب ارائه کرده است [۴۶].

omoorepeyman.ir

الف- نوع داده‌های صحرایی موجود و یا قابل اندازه‌گیری را با توجه به فرجه زمانی، بودجه اختصاص یافته و محدودیتهای نیروی انسانی (از نظر وجود افراد فنی ماهر برای انجام دادن سنجشهای رودخانه‌ای و مانند آن) تعیین نمایید.

ب- همه معادلات انتقال رسوب را بررسی و معادلاتی را که از نظر داده‌های اندازه‌گیری شده و موارد مندرج در بند الف سازگاری بیشتری دارند، انتخاب کنید.

ج- معادلات را با شرایط رودخانه مقایسه و با توجه به محدوده دانه‌بندی و دامنه کاربرد معادلات (در نظر گرفتن اینکه بستر ماسه‌ای، شنی یا رودخانه در مناطق جلگه‌ای یا کوهستانی قرار دارد) یک یا تعداد بیشتری معادله انتخاب و مقدار بار رسوبی را تعیین کنید.

د- مقادیر بار رسوبی از معادلات را با مقدار بار رسوبی اندازه‌گیری شده مقایسه و معادله یا معادلاتی که بیشترین انطباق رابا شرایط واقعی نشان می‌دهند، انتخاب کنید.

ه- در صورتی که داده‌های اندازه‌گیری رسوب موجود نباشد، فرمولهای زیر توصیه می‌شود:

- رابطه مایر- پیتر- مولر (M.P.M) برای بسترهای با دانه‌بندی درشت (D_{50} بزرگتر از ۵ میلیمتر).
- رابطه انشتین در حالتی که بار بستر بخش عمده‌ای از بار رسوب کل را به خود اختصاص دهد.
- رابطه تافلتی[1] برای رودخانه‌های با بستر ماسه‌ای
- رابطه کلبی[2] برای رودخانه‌های با عمق کمتر از ۳ متر
- رابطه شن وهانگ[3] برای رودخانه‌های خیلی کوچک
- رابطه کریم و کندی[4] برای رودخانه‌ها با تغییرات زیاد آبدهی و رژیم رسوبی
- رابطه یانگ برای تعیین نرخ انتقال ماسه و شن
- رابطه ایکرز-وایت و یا انگلن-هانسن برای جریانهای زیر بحرانی و در شرایط وجود امواج ماسه‌ای در بستر
- رابطه لارسن برای رودخانه‌های کم عمق با مواد بستر ماسه ریز یا سیلت درشت
- انتخاب رابطه براساس رتبه بندی مندرج در جدول ۴-۱

۴-۲-۳ *استخراج روابط بده آب – بده رسوب*

در مطالعات رسوب رودخانه‌ها لازم است رابطه بین بده جریان و نرخ انتقال رسوب تعیین گردد. چنین روابطی برای تعیین آورد رسوب رودخانه در بازه‌های زمانی مختلف مانند روزانه، ماهانه و سالانه ضروری است. تعیین رابطه بده آب – بده رسوب به دو روش امکان پذیر است:

الف- استفاده از آمار بده جریان و بده رسوب رودخانه (روش تجربی)

ب- استفاده از معادلات انتقال رسوب (روش تحلیلی)

در زیر به تشریح هر یک از این روشها پرداخته می‌شود.

omoorepeyman.ir

1 - Toffaletis Equation
2 - Colbys formula
3 - Shen, Hany Eq
4 - Karim & Kennedy

۴-۲-۳-۱ تعیین رابطه بده آب – بده رسوب با استفاده از آمار موجود

در ایستگاههای آب سنجی علاوه بر اندازه‌گیری بده جریان (Q) همزمان غلظت مواد رسوبی معلق (C) با نمونه گیری و آنالیز آزمایشگاهی تعیین می‌گردد. این گونه اطلاعات بخشی از آمار کلاسیک رودخانه بوده و از طریق سازمانهای مربوط (مانند سازمانهای آب منطقه‌ای– وزارت نیرو) قابل دسترسی است. برای تعیین رابطه مورد نظر لازم است مقادیر غلظتهای ثبت شده با استفاده از رابطه زیر به صورت تناژ رسوب روزانه تعریف گردد:

$$Q_{ss} = 0/0864 \times C \times Q_d \qquad (۲۸-۴)$$

در این رابطه :

Q_{ss} – نرخ انتقال رسوب معلق بر حسب تن در هر روز

C – غلظت مواد رسوبی بر حسب میلی گرم بر لیتر

Q_d – آبدهی روزانه بر حسب متر مکعب بر ثانیه می‌باشد

تعیین رابطه بین Q_{ss} و Q_d با استفاده از روش همبستگی امکان پذیر است. بهترین نوع برازش برداده‌های آماری با آزمون آماری مشخص شود (چنین محاسباتی در محیط EXCEL و یا سایر برنامه‌های رایانه‌ای بخوبی امکان‌پذیر است). منحنی بدست آمده از برازش آماری بر داده‌های رسوب منحنی سنجه رسوب[1] نامیده می‌شود. در شکل ۴-۶ نمونه‌ای از منحنی سنجه رسوب و معادلات مربوط به آن نشان داده شده است. رابطه بده آب و بده رسوب اغلب نمایی بوده و شکل کلی آن به صورت زیر می‌باشد:

$$Q_{ss} = \alpha Q_d^b \qquad (۲۹-۴)$$

دراین رابطه، a و b عوامل معادله هستند که به روش همبستگی تعیین می‌گردند، Q_{ss} و Q_d قبلاً تعریف شده‌اند. با استفاده از این رابطه مقدار رسوب حمل شده روزانه برای Q_d نظیر قابل محاسبه است. رابطه تجربی بدست آمده تنها سهم بار معلق را مشخص می‌کند و برای تعیین بار بستر تمهیدات جداگانه‌ای باید انجام شود که در بخش بعدی اشاره خواهد شد.

۴-۲-۳-۲ تعیین رابطه بده آب – بده رسوب با استفاده از روابط انتقال رسوب

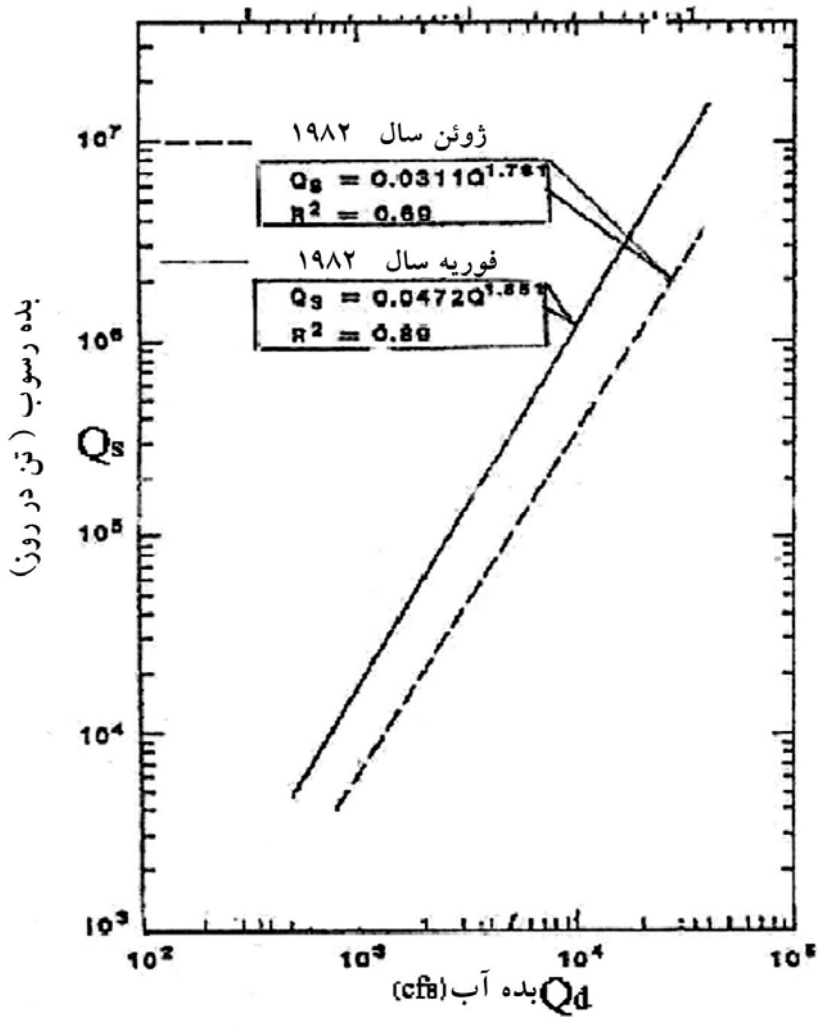
در بسیاری از موارد اطلاعات اندازه‌گیری شده موجود نبوده و لازم است برای تحقق اهداف ساماندهی، رابطه بده آب و رسوب با استفاده از معادلات انتقال رسوب تعیین گردد. بدین منظور پس از انتخاب رابطه انتقال (در خصوص روابط انتقال رسوب به بند ۴-۲-۲ مراجعه شود)، مقدار بار رسوبی برای بده‌های فرضی مختلف و با توجه به مشخصات هندسی مقطع و دانه‌بندی مواد

omoorepeyman.ir

1 - Sediment Rating Curve (SRC)

رسوبی تعیین می‌گردد. حسن روابط انتقال رسوب در آن است که بر خلاف روش تجربی امکان تعیین بار معلق و بار بستر و یا بار کل به صورت همزمان یا جداگانه وجود دارد. از این رو سه نوع رابطه قابل تعریف است:

- رابطه بده آب – بده رسوب معلق $Q_{ss} = f_1(Q_d)$
- رابطه بده آب – بده رسوب بار بستر $Q_{sb} = f_2(Q_d)$
- رابطه بده آب – بده رسوب کل $Q_{ss} = f_3(Q_d)$
- در نوشتارهای بالا Q_{ss} معرف بار معلق، Q_{sb} معرف بار بستر و Q_{st} معرف بار کل می‌باشد.



شکل ۴-۶- نمونه‌ای از منحنی سنجه رسوب و معادلات بده آب – بده رسوب [۴۰]

omoorepeyman.ir

برای استخراج رابطه موردنظر لازم است با استفاده از آمار و اطلاعات جمع‌آوری شده مقادیر بده جریان در سه محدوده آبدهی کم، متوسط و سیلابی انتخاب و برای بده‌های مختلف مقادیر بار رسوبی مانند (Q_{ss}و Q_{sb} و Q_{st}) تعیین گردد. با استفاده از روش همبستگی رابطه بده آب و بده رسوب به‌صورت زیر تعیین می‌گردد:

$$Q_{ss} = \alpha Q_d^b \qquad (۳۰-۴)$$

$$Q_{sb} = \alpha' Q_d^{b'} \qquad (۳۱-۴)$$

$$Q_{st} = \alpha'' Q_d^{b''} \qquad (۳۲-۴)$$

در روابط مزبور:

Q_{ss}: بده رسوب معلق (تن بر روز)، Q_{sb}: بده بار بستر (تن بر روز)، Q_{st}: بده بار کل (تن بر روز) $b'', \alpha'', b', \alpha', b, \alpha$: عوامل رابطه که به روش با ایجاد رابطه همبستگی بین مقادیر ثبت شده بده جریان و بده رسوب تعین می‌گردند، Q_d: بده جریان روزانه (متر مکعب در ثانیه) می‌باشد.

۴-۲-۴ محاسبه بار رسوبی معلق متوسط ماهانه و سالانه

رژیم رسوبدهی رودخانه‌ها تابعی از رژیم جریان (رژیم هیدرولوژیک) بوده و به پیروی از نوسانات آبدهی دستخوش تغییر می‌گردد. در بررسیهای مهندسی لازم است ضمن آگاهی از چگونگی تغییرات زمانی رسوبدهی نسبت به تعیین متوسط بار رسوبی ماهانه و سالانه اقدام شود. برای تعیین متوسط رسوب ماهانه در یک رودخانه از روش میانگین گیری استفاده می‌شود:

$$(\overline{Q}_{SM})_K = (\Sigma_{i=1}^{N} Q_{SMi} / N)_K \qquad (۳۳-۴)$$

$$(Q_{SM})_{K,i} = (\Sigma_{j=1}^{N} Q_{ssj})_{K,i} \qquad (۳۴-۴)$$

در این روابط:

$\overline{Q}_{SM}$: متوسط رسوبدهی ماهانه در دوره آماری مورد نظر

Q_{SMi}: رسوبدهی ماهانه در سال آماری i، Q_{ssj}: رسوبدهی روزانه در روز j از ماه K، N : تعداد سالهای آماری (منطبق بر دوره مشاهدات آمار آبدهی روزانه رودخانه)، K: شماره ماه مورد نظر (از یک تا دوازده تغییر می‌کند)، j : شماره روز در ماه مورد نظر (بین ۱ تا ۳۱ تغییر می‌کند)، n : تعداد روزهای ماه مورد نظر، i : شماره سال مورد نظر

برای تعیین متوسط رسوبدهی سالانه روشهای مختلفی وجود دارد که در زیر تشریح می‌گردد.

omoorepeyman.ir

الف – تعیین متوسط بار رسوبی سالانه با استفاده از روش میانگین گیری

در این روش مطابق رابطه زیر با میانگین گیری از مقادیر رسوب سالانه متوسط رسوبدهی در دوره آماری مورد نظر تعیین می‌گردد:

$$\overline{Q}_{sy} = \sum_{i=1}^{N} Q_{syi} / N \qquad (۳۵-۴)$$

$$Q_{syi} = (\sum_{k=1}^{12} \overline{Q}_{smk})_i \qquad (۳۶-۴)$$

در این روابط :

$\overline{Q}_{sy}$: متوسط بار معلق سالانه، Q_{syi}: بار رسوبی معلق در سال مورد نظر i ، $\overline{Q}_{smk}$: رسوبدهی متوسط ماهانه در ماه مورد نظر K، N: تعداد سال آماری

ب - روش منحنی دوام جریان[1]

در این روش مطابق شکل (۴-۷) منحنی دوام جریان برای رودخانه ترسیم گردیده و سپس براساس الگوی مندرج در جدول ۴-۲ بده روزانه رده‌بندی شده و برای هر رده تعداد تکرار به صورت احتمال وقوع تجمعی و درصد وقوع احتمال مشخص می‌شود. با قرار دادن بده رده مربوط در معادله بده آب- بده رسوب که قبلاً تعیین شده است (در مورد تعیین رابطه بده آب – بده رسوب به شکل ۴-۶ مراجعه شود) میزان رسوب روزانه در هر رده بر حسب تن تعیین و از جمع رده‌های متوالی، متوسط رسوب معلق سالانه مشخص می‌گردد. مطابق جدول (۴-۲) برای رودخانه الکورن[2] بده روزانه به ۱۷ رده تقسیم گردیده و از جمع مقادیر ستون ۶ متوسط رسوبدهی سالانه به صورت تن در روز مشخص می‌گردد. (Q_{ss}=۱۳۳۸۹ تن بر روز) از حاصلضرب رقم بدست آمده در تعداد روزهای سال (۳۶۵ روز) متوسط بار رسوبی سالانه (Q_{sy} = ۴۸۸۶۹۸۵ تن بر سال) تعیین می‌شود. برای رودخانه الکورن معادله بده آب – بده رسوب به صورت زیر استخراج گردیده است [۳۴].

$$Q_{ss} = 4/342 Q_d^{1/96} \qquad (۳۷-۴)$$

۴-۲-۵ محاسبه میزان بار بستر از روشهای مختلف

نظر به اینکه اندازه‌گیری بار بستر در ایستگاههای آب سنجی بر خلاف بار معلق متداول نمی‌باشد، بنابراین در کارهای مهندسی تعیین بار کف تنها با بهره‌گیری از معادلات انتقال رسوب امکان پذیر است. با بهره‌گیری از معادلات انتقال رسوب مانند معادله MPM، اسمارت و نظایر آن رابطه بده آب–بده رسوب بستر مطابق آنچه که در بند ۴-۲-۳ ارائه شد تعیین گردیده و با استفاده

1 - Flow Duration Curve
2 - Elkhorn River-Nebraska

omoorepeyman.ir

از رابطه وزنی و یا روش منحنی دوام جریان متوسط بار بستر ماهانه و سالانه تعیین می‌گردد. روابط وزنی بار کف را می‌توان به صورت زیر ارائه کرد:

$$(\overline{Q}_{sbm})_k = (\sum_{i=1}^{N} Q_{sbmi} / N)_k \qquad (۳۸-۴)$$

$$(Q_{sbm})_{k,i} = (\sum_{j=1}^{n} Q_{sbj})_{k,i} \qquad (۳۹-۴)$$

$$\overline{Q}_{sby} = \sum_{k=1}^{12} \overline{Q}_{sbmk} \qquad (۴۰-۴)$$

در روابط بالا:

$\overline{Q}_{sbm}$: متوسط بار بستر ماهانه در ماه مورد نظر، Q_{sbmi}: بار بستر محاسبه شده در ماه مورد نظر و در سال مشخص، Q_{sbj}: بار بستر روزانه متعلق به ماه مورد نظر، k: شاخص ماه (۱ تا ۱۲)، i: شاخص سال (۱ تا N) N: دوره آماری بر حسب سال، j : شاخص روز در ماه مورد نظر، $\overline{Q}_{sby}$ متوسط رسوب بستر سالانه و n : تعداد روزهای ماه مورد نظر، می‌باشد.

برای تعیین بار بستر به روش منحنی دوام جریان در جدول (۴-۲) بجای Q_{ss} کمیت Q_{sb} که نشان‌دهنده رسوب بستر در رده مربوط است، قرار داده می‌شود. مقادیر Q_{sb} از رابطه بده آب- بده رسوب بستر (رابطه ۴-۳۰ بند ۴-۲-۳) که برای رودخانه مورد نظر استخراج گردیده است تعیین و در جدول قرار داده می‌شود.

استفاده از نسبت بار بستر به بار معلق از دیگر روشهای متداول در تعیین بار بستر رودخانه‌هاست. به دلیل نبود امکان اندازه‌گیری مستقیم بار کف، استفاده از ضریب K (نسبت بار بستر به بار معلق) در مهندسی رسوب از سالها پیش متداول گردیده است. در این روش درصدی از بار معلق که براساس داده‌های آماری ثبت شده در ایستگاه آب سنجی و با استفاده از روشهای یاد شده در بندهای پیشین تعیین گردیده، به عنوان بار بستر در نظر گرفته می‌شود. بدین ترتیب مقدار بار بستر از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$Q_{sb} = KQ_{ss} \qquad (۴۱-۴)$$

در این رابطه :

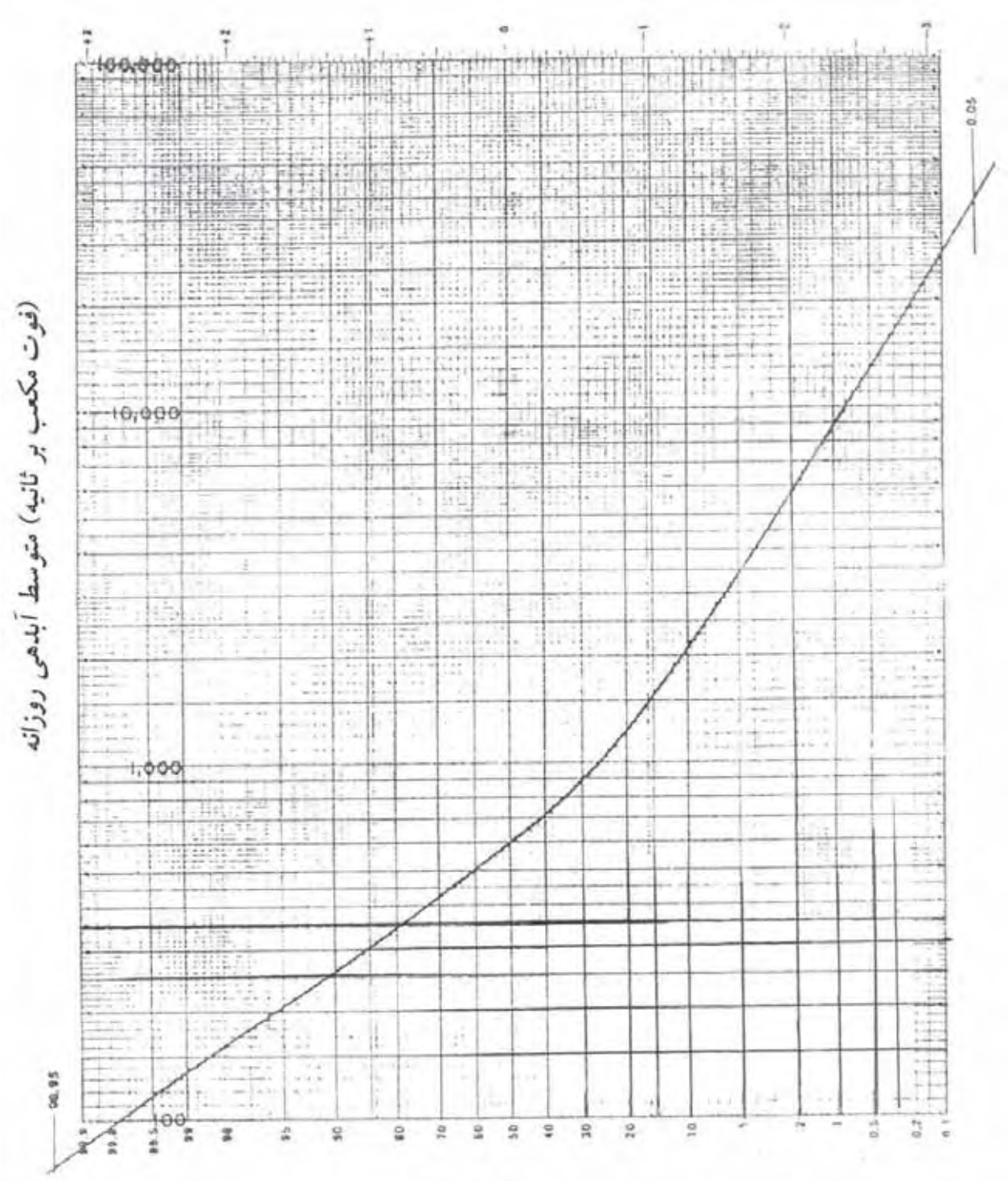
Q_{sb}: مقدار بار بستر در بازه زمانی مورد نظر

Q_{ss} : مقدار بار معلق در بازه زمانی مورد نظر

K : نسبت بار بستر به بار معلق می‌باشد

براساس بررسیهای انجام شده به علت تنوع رفتاری رودخانه‌ها، ضریب K دارای دامنه نوسان زیادی است، چنانچه در بعضی رودخانه‌ها مقدار آن در حد ۰/۰۵ و در مواردی $K>1$ می‌باشد (اگر بار بستر بیشتر از بار معلق باشد مقدار K بیشتر از یک خواهد بود). در شکل (۴-۸) نمونه‌ای از روند تغییرات K برای رودخانه‌های کشور ارائه شده است [۵۵].

omoorepeyman.ir



شکل۴-۷- نمونه‌ای ازمنحنی دوام جریان برای دوره آماری مشخص (رودخانه الکورن – نبر اسکا) [۳۴]

omoorepeyman.ir

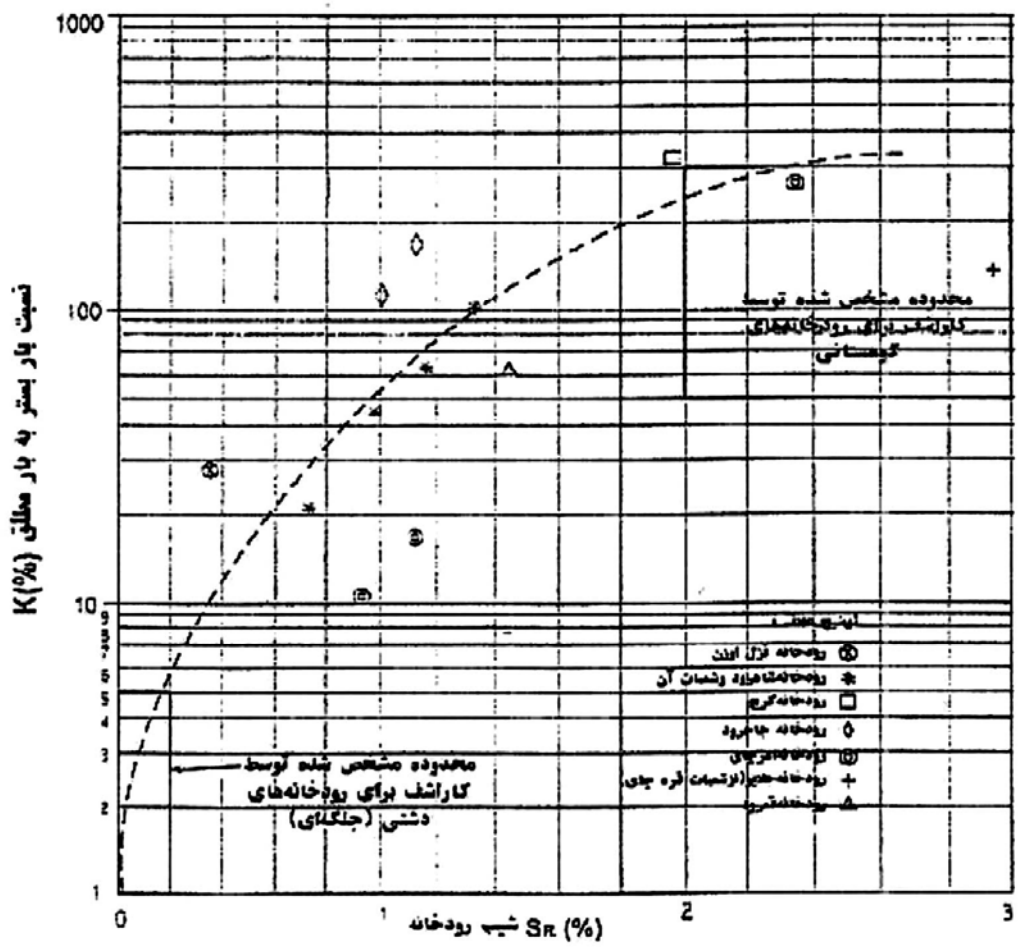
جدول ۴-۲- تعیین متوسط رسوبدهی سالانه (بار معلق) به روش منحنی بده – رده برای دوره آماری ۳۵ ساله (۱۹۶۳-۱۹۳۹)

Q_s تعدیل شده	Q_{ss}	Q_d	احتمال وقوع در هر رده (٪)	احتمال وقوع تجمعی (٪)	شماره هر رده
تن بر روز	تن بر روز	مترمکعب بر ثانیه			
۴۵۰۰	۴۵۰۰۰۰۰	۱۱۷۲/۶	۰/۱	۰	۱
۲۷۲۰	۶۸۰۰۰۰	۴۴۷/۱	۰/۴	۰/۱	۲
۲۳۰۰	۲۳۰۰۰۰	۲۵۷/۱۷	۱	۰/۵	۳
۱۹۲۵	۵۵۰۰۰	۱۲۳/۱۴	۳/۵	۱/۵	۴
۱۱۰۰	۱۱۰۰۰	۵۴/۵۲	۱۰	۵	۵
۳۵۰	۳۵۰۰	۳۰/۳۹	۱۰	۱۵	۶
۱۸۰	۱۸۰۰	۲۱/۶۳	۱۰	۲۵	۷
۱۱۵	۱۱۵۰	۱۷/۲۳	۱۰	۳۵	۸
۸۰	۸۰۰	۱۴/۳۱	۱۰	۴۵	۹
۵۸	۵۸۰	۱۱/۳۸	۱۰	۵۵	۱۰
۱۹	۳۹۰	۱۰/۳۷	۱۰	۶۵	۱۱
۲۵	۲۵۰	۹/۳۲	۱۰	۷۵	۱۲
۱۴	۱۴۰	۸/۰۷	۱۰	۸۵	۱۳
۲	۶۴	۶/۶۹	۳/۵	۹۵	۱۴
۱	۳۵	۵/۷۸	۱	۹۸/۵	۱۵
۰	۲۰	۵/۰۸	۰/۴	۹۹/۵	۱۶
۰	۱۳	۴/۲۵	۰/۱	۹۹/۹	۱۷
۱۳۳۸۹				۱۰۰	جمع

Q_{sy} تن در هر سال $= 13389 \times 365 = 4886985$

در جدول فوق Q_d آبدهی روزانه، Q_{ss} مقدار رسوب بر حسب تن بر روز بدست آمده از معادله انتقال رسوب و Q_{ss} تعدیل شده حاصلضرب Q_{ss} در احتمال وقوع در هر رده می‌باشد.

omoorepeyman.ir



شکل ۴-۸- نمودار تغییرات نسبت بار بستر به بار معلق بر حسب شیب در رودخانه‌های مختلف کشور [۵۵]

۴-۲-۶ *برآورد بار کل رسوب رودخانه با استفاده از معادلات رسوب و بار رسوب معلق محاسبه شده*

برای تعیین بار کل رسوب رودخانه دو روش متداول می‌باشد. در روش اول با در دست داشتن آمار غلظت بار معلق و بده مربوط که حاصل اندازه‌گیری مستقیم در ایستگاههای آب سنجی است نخست رابطه بده آب – بده رسوب مانند آنچه که در بندهای پیشین عنوان گردید تعیین و بدین طریق امکان محاسبه بار معلق برای بده (بده‌های) مورد نظر فراهم می‌شود. در مرحله بعد با تخمین ضریب K (نسبت بار بستر به بار معلق) مقدار بار کل (Q_{st}) از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$Q_{st} = Q_{ss}(1+K) \qquad (۴۲-۴)$$

omoorepeyman.ir

در روش دوم معادلات انتقال رسوب ملاک تعیین بار کل می‌باشد. در این روش با استفاده از معادلاتی مانند رابطه یانگ، انگلن- هانسن و ایکرز- وایت مقدار بار کل برای بده روزانه مورد نظر مستقیما قابل محاسبه است. با تعیین بار کل روزانه در یک دوره آماری معین امکان تعیین متوسط بار کل ماهانه و سالانه از روابط زیر فراهم می‌شود:

$$(\overline{Q}_{stm})_k = (\sum_{i=1}^{N} Q_{stmi})_k \qquad (۴۳-۴)$$

$$(Q_{stm})_{k,i} = (\sum_{i=1}^{n} Q_{sti})_{k,i} \qquad (۴۴-۴)$$

$$\overline{Q}_{sty} = (\sum_{k=1}^{12} \overline{Q}_{stmk} \qquad (۴۵-۴)$$

در روابط بالا:

$\overline{Q}_{stm}$: متوسط بار کل ماهانه،

Q_{stmj}: بار کل ماهانه در ماه مورد نظر و در سال معین i ،

Q_{stj}: بار کل رسوب روزانه،

$\overline{Q}_{sty}$: متوسط بار کل سالانه

n : تعداد روزهای ماه موردنظر

۴-۲-۷ محاسبه بده ویژه رسوب کل حوضه

بده ویژه رسوب کل بیان‌گر مقدار رسوب فرسایش یافته سالانه از واحد سطح حوضه آبریز می‌باشد. پس از تعیین متوسط بار کل سالانه (بند ۴-۲-۶) مقدار بده ویژه رسوب کل (q_{st}) از رابطه زیر مشخص می‌گردد.

$$q_{st} = \frac{\overline{Q}_{st}}{A} \qquad (۴۶-۴)$$

در رابطه بالا :

q_{st}: بده رسوب ویژه،

$\overline{Q}_{st}$: متوسط بار کل سالانه، A : مساحت حوضه آبریز می‌باشد.

در رودخانه‌های ایران مقدار q_{st}در بعضی موارد تا ۶۸۵۵ تن در کیلومتر مربع گزارش شده است (در خصوص نتایج آبنگاریهای انجام گرفته در مخازن سدهای کشور به فصل ۳ بند ۳-۵ تعیین فرسایش ویژه حوضه‌های آبریز مراجعه شود) [۶۶]. یک روش مؤثر برای تعیین $\overline{Q}_{st}$ بهره‌گیری از نتایج آبنگاری[1] مخازن سدهای ذخیره‌ای است. بخش زیادی از رسوبات حمل

1 - Hgdrogrphy

omoorepeyman.ir

شده توسط رودخانه در مخزن سد ترسیب می‌گردد. عمق یابی دوره‌ای مخازن روش مناسبی برای تعیین میزان آورد رسوب واقعی رودخانه در دوره زمانی مختلف است. بدیهی است در استفاده از نتایج رسوب سنجی مخزن لازم است در صد تله اندازی[1] مورد توجه قرار گیرد. به عبارتی بخشی از رسوبات وارده به مخزن از طریق دریچه‌های تخلیه و سرریز سد به پایین دست منتقل می‌شود. با در نظر گرفتن ضریب تله اندازی مقدار $\overline{Q}_{st}$ از رابطه زیر تعیین میگردد.

$$\overline{Q}_{st} = \frac{l}{k} Q'_{st} \qquad (۴۷-۴)$$

در این رابطه:

k : ضریب تله اندازی که بیان گر نسبت بار رسوب ته‌نشین شده به بار رسوب کل ورودی به مخزن بوده و مقدار آن مساوی یا کمتر از یک می‌باشد،

Q'_{st}: متوسط بار رسوبی کل اندازه‌گیری شده به روش عمق یابی از مخزن است.

۴-۲-۸ ترسیم منحنیهای دانه‌بندی مواد رسوبی در بده‌های مختلف جریان

دانه‌بندی مواد رسوبی حمل شده توسط جریان آب تابعی از شرایط هیدرولیکی و نوع مواد رسوبی بستر می‌باشد. بعلاوه مواد رسوبی موجود در بستر رودخانه‌ها نیز در اثر پدیده فرسایش و رسوبگذاری دارای تغییرات مکانی و زمانی بوده و این ویژگی رفتار و عملکرد ریخت شناسی رودخانه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. از این رو مطالعات رسوب رودخانه‌ها به‌ویژه در راستای اهداف ساماندهی با توجه به نقش فرآیند انتقال در رفتار رودخانه، مستلزم شناخت تغییرات دانه‌بندی و پیامدهای آن می‌باشد. از دیدگاه مطالعات رسوب، منحنی دانه‌بندی رودخانه‌ها را می‌توان به سه گروه تقسیم نمود:

الف – منحنی دانه‌بندی بار معلق

ب– منحنی دانه‌بندی بار بستر

ج– منحنی دانه‌بندی مواد بستر

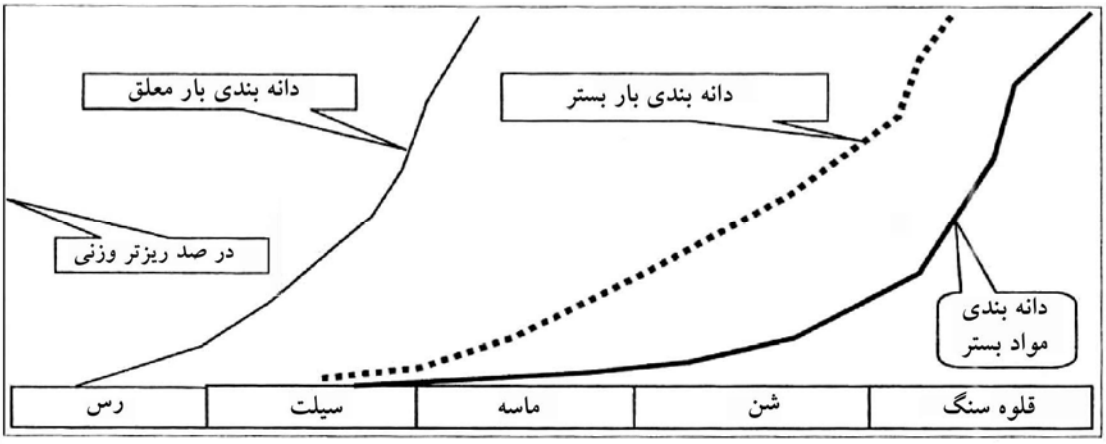
در یک بده معین با توجه به عملکرد حمل رسوب، بار معلق دارای دانه‌بندی ریزتری نسبت به بار بستر بوده و مواد بستر از دانه‌بندی درشت تری نسبت به بار بستر برخوردار است. در شکل (۴–۹) روند تغییرات دانه‌بندی برای هر یک از موارد سه گانه فوق به‌صورت شماتیک نشان داده شده است.

مطابق شکل بالا بخش عمده‌ای از دانه‌بندی مواد معلق متعلق به رده رس و سیلت بوده و این مواد عمدتا منشاء حوضه‌ای دارند. به عبارتی در زمان وقوع رگبارها دانه‌های رس و سیلت از سطح خاک حوضه آبریز شسته شده و به صورت بار معلق وارد شبکه رودخانه‌ای می‌گردد. در مواردی نیز لایه‌های رسوبی موجود در بستر رودخانه ممکن است متعلق به سازندهای رس و سیلت بوده و منبع تغذیه رسوب معلق رودخانه تلقی شوند. از طرفی مطابق شکل ۴–۹ دانه‌بندی بار بستر دارای تفاوت

1 - Trap-Efficiency

omoorepeyman.ir

محسوسی نسبت به بار معلق می‌باشد. دلیل این امر امکان جابه جایی مواد درشت تر در بستر بوده در حالیکه جریان آب قادر به تعلیق آنها نمی باشد. وجه تمایز دیگر، منشاء تغذیه بار بستر در مقایسه با بار معلق است. در حالیکه بخش عمده‌ای از بار معلق حاصل فرسایش سطح حوضه می‌باشد، بار بستر حاصل فرسایش لایه رسوبی موجود در بستر رودخانه بوده و بنابراین با دانه‌بندی مواد بستر مطابق آنچه که در شکل ۴-۹ نشان داده شده است، دارای تشابه زیادی است. منحنیهای دانه‌بندی یاد شده به پیروی از تغییرات بده جریان دچار تغییر می‌گردند. با افزایش جریان توان حمل رسوب نیز افزایش یافته و در نتیجه دانه‌هایی که در بده کم در بستر ساکن می‌باشند به صورت بار بستر یا بار معلق توسط جریان آب به پایین دست منتقل شده و بدین طریق منحنیهای دانه‌بندی مربوط دستخوش تغییر می‌گردند. در مواردی نیز ممکن است تداوم انتقال مواد رسوبی منجر به تشکیل لایه حفاظ گردیده و عمل فرسایش و گودافتادگی بستر متوقف شود. در شکل ۴-۱۰ نمونه‌ای از چگونگی تشکیل لایه حفاظ[1] نشان داده شده است. لایه حفاظ بر روی بستر رودخانه قرار گرفته و دارای دانه‌بندی درشت تری در مقایسه با لایه زیرین می‌باشد. جزئیات بیشتر در خصوص تأثیرپذیری دانه‌بندی از تغییرات بده جریان در مرجع [۱و۷] ارائه شده است.



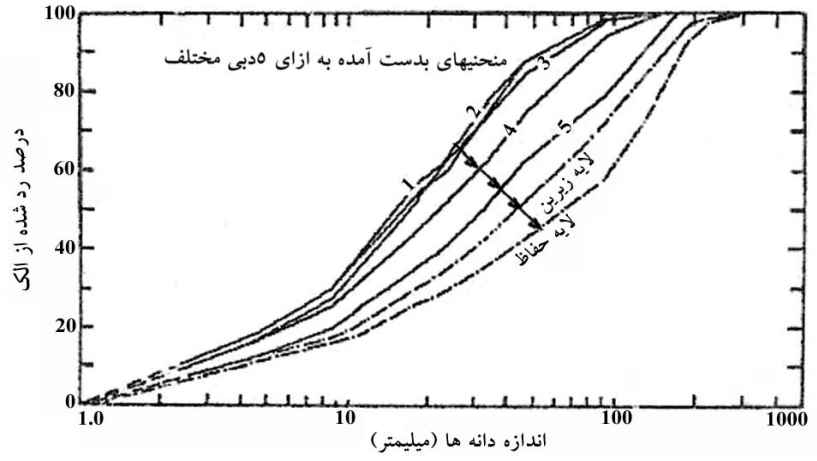
شکل ۴-۹- نمایش روند تغییرات دانه‌بندی بار معلق، بار بستر و مواد بستر

۴-۲-۹ *تعیین دانه‌بندی رسوب در محلهای رسوبگذاری*

رسوبات ته نشین شده در مسیر رودخانه‌ها عموما مخلوطی از خاکهای چسبنده و غیر چسبنده می‌باشند از این رو برای تعیین دانه‌بندی لازم است از روش الک برای خاکهای غیر چسبنده و روش آب سنجی برای خاکهای چسبنده استفاده شود [۴۶و۵۶]. در جدول ۴-۳ دامنه تغییرات دانه‌بندی برای خاکهای چسبنده و غیر چسبنده نشان داده شده است[۳۹]. مطابق این جدول جمعاً ۹ رده دانه‌بندی برای خاکهای چسبنده شامل رس خیلی ریز تا سیلت خیلی درشت و ۱۶ رده برای خاکهای غیر چسبنده شامل ماسه خیلی ریز تا قطعه سنگ خیلی بزرگ ارائه شده است.

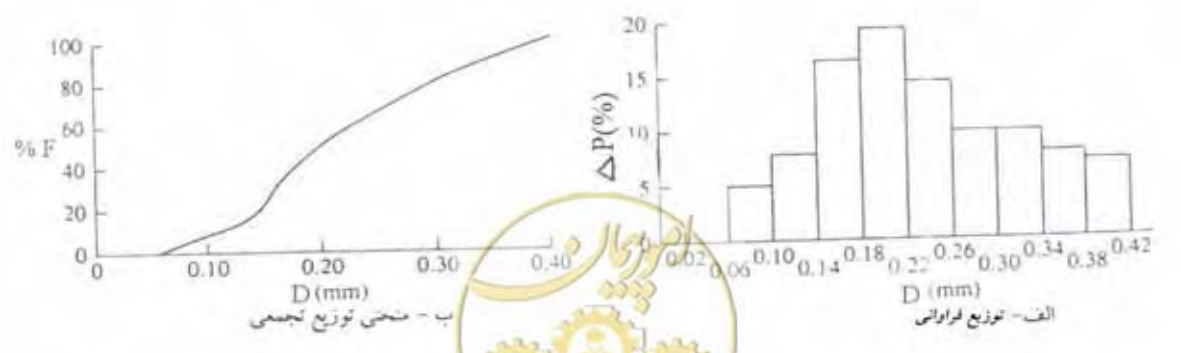
1- Armour Layer

omoorepeyman.ir



شکل۴-۱۰- تغییرات دانه‌بندی ناشی از تغییر بده جریان و تشکیل لایه حفاظ (آرمور) [۱]

در تعیین دانه‌بندی برای محدوده شن و ماسه از الکهای استاندارد استفاده می‌گردد. برای قلوه سنگ و قطعات درشت تر استفاده از روش حجمی و یا اندازه‌گیری مستقیم ابعاد هندسی سنگ و یا وزن آن متداول است. در روش حجمی سنگ در داخل ظرف آب قرار داده شده و از افزایش حجم ظرف قطر معادل سنگ تعیین می‌گردد. برا ی خاکهای چسبنده (سیلت و رس) روش آب سنجی[1] متداول می‌باشد. در این روش با اندازه‌گیری سرعت سقوط دانه‌ها منحنی دانه‌بندی تعیین می‌گردد. جزئیات کامل تر در خصوص روش آب سنجی در مراجع [۵۶] ارائه شده است. منحنیهای دانه‌بندی بدست آمده از آنالیز آزمایشگاهی به روشهای یاد شده (الک یا آب‌سنجی) به‌صورت نمودار تجمعی و یا هیستوگرام توزیع دانه‌بندی نشان داده می‌شود. در شکل (۴-۱۱) نمونه‌ای از منحنی دانه‌بندی نشان داده شده است. در مطالعات رسوب با استفاده از منحنیهای توزیع دانه‌بندی قطرهای شاخص شامل Q_m(قطر میانگین)، $Q_{90}, Q_{85}, Q_{45}, Q_{65}, Q_{50}, Q_{35}$ که معرف قطر نظیر درصد ریزتر وزنی می‌باشند، تعیین می‌گردند. این قطرها در معادلات انتقال رسوب کاربرد دارند. بعلاوه نمودار توزیع فراوانی برای تعیین متوسط قطر رده و درصد وزنی مربوط برای تعیین نرخ انتقال رسوب در رده‌های مختلف کاربرد دارد. اطلاعات مربوط به تعیین منحنیهای دانه‌بندی و کاربردهای آن در مرجع [۵۶ و۴۶] ارائه شده است.



شکل۴-۱۱- نمونه‌ای از منحنیهای دانه‌بندی مواد رسوبی در رودخانه‌ها [۴۶]

1 - Hydrometry

omoorepeyman.ir

جدول۴-۳- رده‌های دانه‌بندی در مطالعه انتقال رسوب [۵۶]

رده دانه‌بندی	اندازه دانه (میلی متر)
تخته سنگ خیلی بزرگ	۲۰۰۰–۴۰۰۰
تخته سنگ بزرگ	۱۰۰۰–۲۰۰۰
تخته سنگ متوسط	۵۰۰–۱۰۰۰
لاشه سنگ	۲۵۰–۵۰۰
پاره سنگ	۱۳۰–۲۵۰
قلوه سنگ	۶۴–۱۳۰
شن خیلی درشت	۳۲–۶۴
شن درشت	۱۶–۳۲
شن متوسط	۸–۱۶
شن ریز	۴–۸
شن خیلی ریز	۲–۴
ماسه خیلی درشت	۱–۲
ماسه درشت	۰/۵–۱
ماسه متوسط	۰/۲۵–۰/۵
ماسه ریز	۰/۱۲۵–۰/۲۵
ماسه خیلی ریز	۰/۰۶۴–۰/۱۲۵
سیلت درشت	۰/۰۳۱–/۰۶۴
سیلت متوسط	۰/۰۱۶–۰/۰۳۱
سیلت ریز	۰/۰۰۸–۰/۰۱۶
سیلت خیلی ریز	۰/۰۰۴–۰/۰۰۸
رس درشت	۰/۰۰۲–۰/۰۰۴
رس متوسط	۰/۰۰۱–۰/۰۰۲
رس ریز	۰/۰۰۰۵–۰/۰۰۱
رس خیلی ریز	۰/۰۰۰۲۴–۰/۰۰۰۵

omoorepeyman.ir

۴-۲-۱۰ مشخص کردن شاخه‌های با بار رسوبی زیاد و ارزیابی اثرهای آن در رودخانه اصلی

بخشی از منابع رسوبی رودخانه‌ها را تغذیه شاخه‌های جانبی بخود اختصاص می‌دهد به دلیل شیب زیاد و تمرکز سریع جریان، توان حمل رسوب شاخه‌های فرعی بیشتر بوده و بخصوص در مواردی که سازندهای تشکیل دهنده بستر از مواد آبرفتی باشد مقادیر قابل توجهی از بار رسوبی توسط سیلابها به رودخانه اصلی تخلیه می‌شود. از این رو لازم است در مطالعات رسوب و بررسی عمکرد رودخانه، شاخه‌های پر رسوب شناسایی و به نقش آنها در آورد رسوب رودخانه و اثرهای ریخت شناسی ناشی از آن توجه شود. (در شکل ۴-۲بند ۴-۱ نمونه‌ای از چگونگی تخلیه منابع رسوبی از شاخه‌های فرعی به مجرای اصلی نشان داده شده است). ورود مقادیر قابل توجه رسوب به صورت موضعی، ضمن تأثیر بر عملکرد هیدرولیکی جریان، موجب انحراف مسیر و بر هم خوردن ویژگیهای هندسی مقطع و ایجاد اختلال در نظام رودخانه‌ای می‌شود. در مواردی نیرشاخه‌های فرعی منشاء وقوع جریانهای گلی[1] یا واریزه ای[2] می‌باشند که جزئیات بیشتری از چگونگی تأثیرگذاری این گونه پدیده‌های طبیعی در بند ۴-۲-۱۱ ارائه خواهد شد.

۴-۲-۱۱ مشخص کردن احتمال وقوع جریانهای غلیظ[3]، جریانهای گلی و جریانهای واریزه‌ای

وجود سازندهای رسی و خاکهای فرسایش پذیر[4] در مناطقی از حوضه آبریز یک رودخانه منشاء وقوع جریانهای غلیظ تلقی می‌شود. خاکهای رسی با افزایش رطوبت ناشی از تداوم بارندگی و یا ذوب تدریجی برف و نفوذ آب به داخل سازند، ناپایدار شده و تشکیل سیال غلیظی را داده و همراه جریان سطحی وارد رودخانه می‌شود. جریان غلیظ دارای وزن مخصوص بیشتری نسبت به آب بوده و از این رو قبل از اختلاط کامل با جریان رودخانه به صورت توده متراکم در نزدیکی بستر پیش می‌رود. در اثر پدیده اختلاط جریانهای غلیظ به تدریج با جریان رودخانه‌ای مخلوط شده و تشکیل سیال همگن با غلظت رسوبی زیاد را می‌دهد. غلظت این گونه جریانها از صد گرم در لیتر تجاوز می‌کند [۴۰]. جریان غلیظ پدیده شناوری مواد رسوبی را افزایش داده و این امر جابه جایی سنگها و لاشه سنگهای موجود در بستر رودخانه را تسهیل کرده و تغییر ویژگیهای هندسی مسیر رودخانه را در پی دارد.

جریانهای گلی و جریانهای واریزه‌ای نیز حاصل افزایش رطوبت خاک بخصوص در نواحی پرشیب می‌باشد. در نواحی پر شیب که بستر از سازندهای سخت تشکیل گردیده لایه‌های خاک رویی در اثر تداوم بارندگی و یا ذوب برف اشباع شده و چسبندگی آن با لایه بستر کاهش می‌یابد. این امر موجب حرکت لایه مرطوب گردیده و به‌صورت مخلوط گل و لای در امتداد شیب جابجا می‌گردد. (غلظت جریانهای گلی به بیش از ۴۰۰ گرم در لیتر می‌باشد.) [۴]. ورود جریانهای گلی به رودخانه به منزله تخلیه ناگهانی مقادیر قابل توجهی از رسوب بوده و ناهنجاریهای هیدرولیکی و رفتاری رودخانه را در پی دارد. به خصوص تجمع موضعی رسوبات درشت دانه و قطعات سنگ حمل شده توسط جریان گلی در بستر رودخانه موجب افزایش تراز آب و تشدید سیل گرفتگی اراضی می‌گردد. به علاوه جریانهای گلی بابرهم زدن رژیم تغذیه رسوبی بر ساختار ریخت شناسی رودخانه اثر می‌گذارد. [۴۰و۴].

omoorepeyman.ir

1 - Mud Flow
2 - Debris Flow
3 - Denstiy Current
4 - Bad Lands

۴-۲-۱۲ برآورد آثرهای عملیات آبخیزداری حوضه در کاهش میزان رسوب در رودخانه

اقدامات آبخیزداری، به تثبیت خاک و کاهش نرخ فرسایش در سطح حوضه آبریز می‌انجامد. عوامل مؤثر در فرسایش خاک را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد [۳۸و۳۹و۴۶].

- شدت و مدت رگبارها
- بافت خاک
- تراکم و نوع پوشش گیاهی
- فعالیتهای زراعی و عمرانی در سطح حوضه
- چرای بی رویه
- توپوگرافی منطقه

هر یک از عوامل بالا به نوعی در فرسایش خاک مؤثرند. عملیات آبخیزداری زمینه لازم برای پایدارسازی خاک را فراهم و از ورود بی رویه رسوبات به سیستم رودخانه‌ای جلوگیری می‌کند.

اهم اقدامات آبخیزداری را می‌توان به صورت زیر بیان کرد [۳۹و۴۱] :

- بذر پاشی و کاشت گیاهان در سطح حوضه به منظور گسترش پوشش گیاهی و افزایش تراکم آن
- کنترل مراتع و حفاظت جنگلها و جلوگیری از چرای بی رویه
- زراعت اصولی و منطبق با معیارهای حفاظت خاک
- ساخت سازه‌های کنترل فرسایش[1] در آبراهه‌های فرعی و مهار فرسایشهای خندقی[2]
- تراس‌بندی در شیبهای تند

ارزیابی کمی میزان تأثیرگذاری اقدامات آبخیزداری در مهار فرسایش خاک و کاهش نرخ انتقال رسوب به داخل شبکه رودخانه‌ای نیاز به اندازه‌گیریهای برنامه ریزی شده و مقایسه آن با شرایط طبیعی دارد. استفاده از مدلهای کامپیوتری وسیله مناسبی برای شبیه‌سازی اثرهای اقدامات حفاظت خاک تلقی می‌شود. اما به دلیل تعدد عوامل تأثیرگذار و پیچیدگیهای حاکم بر رفتار حوضه‌ها، چندان کارساز نمی‌باشد. از این‌رو با وجود تأثیر انکارناپذیر عملیات آبخیزداری در کاهش فراسایش خاک تاکنون، راهکارهای مشخصی برای ارزیابی درجه تأثیرگذاری آن بر تغذیه رسوبی رودخانه‌ها به صورت کمی ارائه نشده است.

omoorepeyman.ir

1 - Check Dams
2 - Gully Erosion

۵- بررسی و پیش بینی پیامدهای ساماندهی در فرسایش و رسوبگذاری رودخانه‌ها

تغییرات و جابه جاییهایی که در اثر عوامل طبیعی یا مصنوعی در مسیر و ویژگیهای هندسی رودخانه رخ می‌دهد، نتیجه منطقی عکس‌العمل سامانه رودخانه برای برقراری موازنه جدید بین فرایند فرسایش و رسوبگذاری می‌باشد. از این رو انجام دادن اقدامات ساماندهی و دخالت در نظام رودخانه‌ای مستلزم شناخت قواعد خاص حاکم بر آن بوده و بررسی و پیش‌بینی عکس‌العمل رودخانه قبل از هر اقدامی ضروری است. در این میان به خصوص تغییرات رودخانه‌ای ناشی از ساخت سازه‌های آبی بسیار با اهمیت می‌باشد. ساخت سازه‌های آبی در مسیر رودخانه موجب بهم خوردن رژیم طبیعی جریان رودخانه شده و رودخانه برای انطباق و سازگاری مقاطع طولی و عرضی خود با شرایط جدیدبا رسوبگذاری یا فرسایش، وضعیت موجود را تغییر می‌دهد. در چنین شرایطی عوامل مهم رودخانه‌ای از جمله شیب، تراز کف، عرض بستر و عمق جریان ممکن است تا رسیدن به وضعیت پایدار دستخوش تغییرات گردد.

لین[1] (۱۹۵۵) رابطه کیفی میان متغیرهای اصلی جریان که شامل بده جریان (Q) بر حسب متر مکعب بر ثانیه، بار کف (Q_S) بر حسب متر مکعب، شیب (S) و شاخص اندازه مواد بستر (d_{50}) بر حسب مترمی شود را به صورت رابطه زیر بیان نمود[۵].

$$Q_S.d_{50} \cong Q.S \qquad (۱-۵)$$

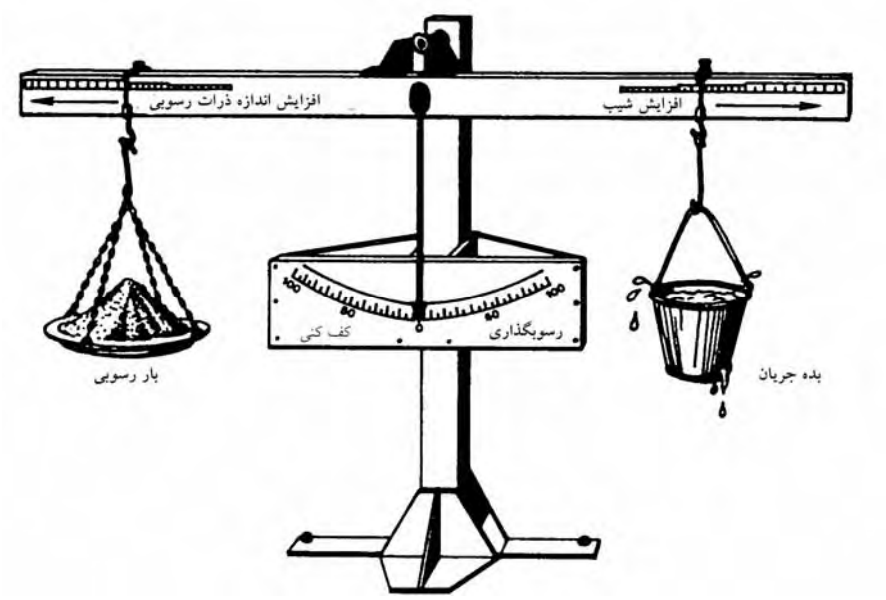
مطابق این رابطه افزایش بده جریان (Q) برای یک بده رسوبی (Q_S)معین، کاهش شیب رودخانه (S) را به همراه دارد. بعبارتی افزایش Q موجب وقوع فرسایش و گودافتادگی بستر گردیده و این فرایند تا تحقق تعادل جدید ادامه می‌یابد، همزمان اندازه دانه‌های مواد بستر (d_{50}) نیز رو به افزایش می‌گذارد.

از طرف دیگر چنانچه به عللی رسوب ورودی به رودخانه (Q_S)تشدید شود مطابق رابطه لین به شرط ثابت ماندن بده جریان (Q) برای برقراری تعادل جدید با آغاز روند رسوبگذاری، شیب رودخانه افزایش یافته و اندازه دانه‌های مواد بستر نیز رو به کاهش می‌گذارد. در شکل (۵-۱) تعادل عناصر اصلی معادله لین نشان داده شده است. شوم[2] با بهره‌گیری از نظریه لین روابط کیفی متعددی را در خصوص تأثیر متقابل عوامل رودخانه‌ای و فرایند انتقال رسوب ارائه کرد که برای آشنایی با جزئیات بیشتر، مرجع [۵] پیشنهاد می‌شود.

بدیهی است ایجاد سازه‌های رودخانه‌ای در مسیر جریان می‌تواند بده جریان، بار رسوبی و یا هر دوی آنها را تحت تأثیر قرار داده و موجبات تغییرات ریخت شناسی آن را فراهم آورد. در چنین شرایطی استفاده از رابطه لین و نظایر آن برای پیش‌بینی تغییرات احتمالی مؤثر خواهد بود. در جدول ۵-۱ دلایل ناپایداری و ایجاد تغییرات در هندسه رودخانه ناشی از انجام دادن اقدامات ساماندهی و عوامل طبیعی درج شده است.

omoorepeyman.ir

1 - Lane
2 - Shumm



شکل ۵-۱- توازن شاخصهای اصلی در رودخانه پایدار [۵]

جدول ۵-۱- ناپایداری و ایجاد تغییرات در هندسه رودخانه ناشی از اقدامات ساماندهی و عوامل طبیعی[۵۱]

ویژگی	نوع تغییرات	شکل تغییرات	علت ناپایداری
ظرفیت انتقال	افزایش	کف کنی	– کانالیزه کردن رودخانه و اقدامات ساماندهی رودخانه – کاهش تراز پایه (درمحل اتصال رودخانه به دریاویا رودخانه) – لایروبی و برداشت شن و ماسه
	کاهش	رسوبگذاری	– بالادست مخازن – پایین دست اتصالات فرعی به رودخانه – افزایش تراز پایه – پایین دست انتهای بازه لایروبی شده
بده رسوبی	افزایش	رسوبگذاری	– انحراف یک جریان پر رسوب به رودخانه – افزایش فرسایش سطحی در حوضه آبریز – افزایش تولید رسوب ناشی از کارهای ساختمانی – تخلیه رسوبات انباشته در سد مخزنی
	کاهش	کف کنی	– پایین دست سد مخزنی – پایین دست بازه لایروبی – کاهش فرسایش در سطح حوضه آبریز

omoorepeyman.ir

۵-۱ سازه‌های عرضی

در این بخش به چگونگی اثرگذاری سازه‌های عرضی اعم از پلها، آبشکنها، سدها و غیره پرداخته و از جنبه‌های مختلف فرسایش و رسوب گذاری بررسی می‌شود.

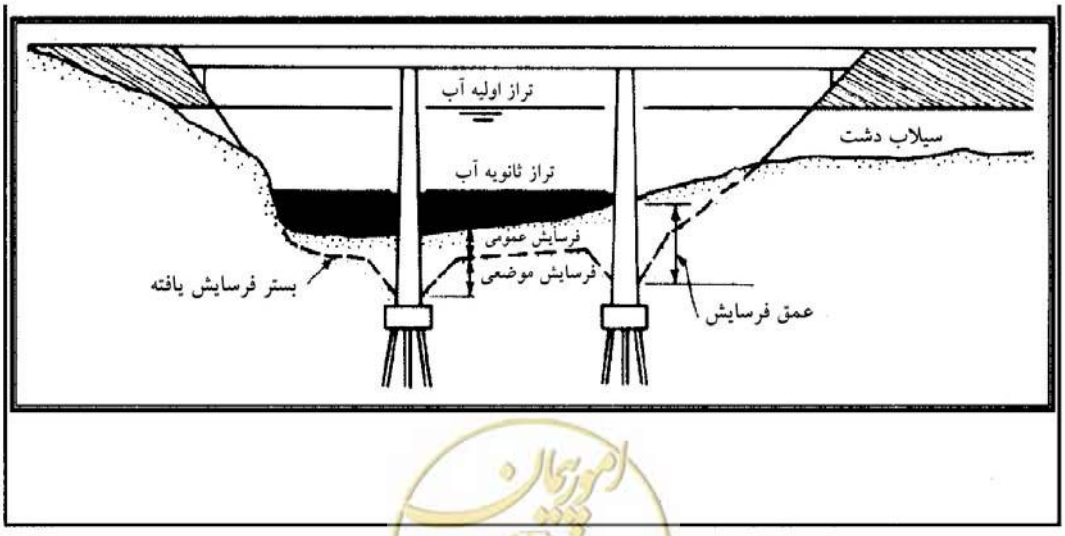
۵-۱-۱ پلها

ایجاد پل در مسیر رودخانه بر الگوی جریان تأثیر گذاشته و موجب تغییر در الگوی رفتاری رودخانه، هندسه آبراه و رابطه بده – سطح آب می‌گردد. پایه‌ها وکناره‌های پل باعث انحراف جریان شده که نتیجه آن، آبشستگی در مجاورت سازه می‌باشد.همچنین خاکریزهای ساخته شده و پایه‌های پل در بستر رودخانه مقطع عبور جریان را محدود کرده و موجب افزایش سطح آب در بالادست پل و تشدید سیلاب خواهد شد.

ساخت پل موجب کاهش عرض مقطع جریان گردیده و از این رو سرعت جریان در این بازه افزایش یافته و با افزایش ظرفیت حمل رسوب، بستر رودخانه در این محل دچار فرسایش می‌گردد.این فرسایش تا جایی که ظرفیت حمل رسوب برابر با ظرفیت حمل رسوب در مقاطع بالادست پل گردد، ادامه می‌یابد.این فرسایشها در نهایت موجب به خطر افتادن پایداری سازه پل می‌شود. آبشستگی در محل پل به دو دسته آبشستگی عمومی و آبشستگی موضعی تقسیم می‌گردد (در خصوص جزئیات انواع آبشستگیها به فصل اول گزارش مراجعه شود).

در حالیکه آبشستگی عمومی حاصل افزایش ظرفیت حمل رسوب ناشی از تنگ شدگی مقطع جریان می‌باشد، فرسایش موضعی بیشتر در اثر وقوع جریانهای گردابی و متلاطم شدن جریان ناشی از ساخت پایه‌های پل صورت می‌گیرد.

در شکل ۵-۲- وضعیت پایه‌های پل در شرایط آبشستگی عمومی و موضعی نشان داده شده است.



شکل ۵-۲- فرسایش عمومی و موضعی در محدوده پلها

omoorepeyman.ir

تخمین آبشستگی عمومی در اثر تنگ شدگی ناشی از ساخت پل با استفاده از رابطه زیر امکان پذیر است : [۳۱]

$$\frac{d_S}{y_1} = \left(\frac{B_1}{B_2}\right)^{\alpha} - 1 \qquad (۲-۵)$$

که در آن :

B_1: عرض طبیعی رودخانه (متر)

B_2: عرض مقطع تنگ شده در محل پل (متر)

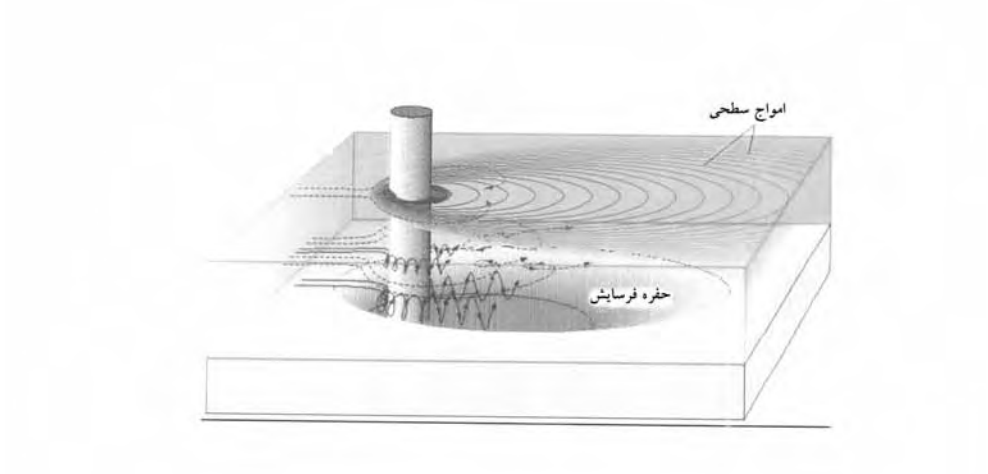
d_s: عمق آبشستگی $(y_2 - y_1)$ (متر)

y_1: عمق جریان در مقطع طبیعی (متر)

y_2: عمق جریان در مقطع تنگ شده (متر)

α : توانی که بسته به انتخاب نوع فرمول رسوب تغییر می‌کند و مقدار آن بین ۰/۶۷ تا ۰/۸ می‌باشد.

آبشستگی موضعی در اطراف پایه‌های پل در اثر یک سامانه جریان گردابی ایجاد می‌گردد. این سامانه در اثر انحراف جریان توسط پایه‌های پل بوجود می‌آید و در دراز مدت باعث ایجاد حفره در محل پایه‌های پل می‌شود. جریان منحرف شده روبه پایین پس از برخورد به بستر رودخانه در جلوی پایه گودالی را حفر می‌کند که در داخل این گودال جریان چرخشی ایجاد شده و به تدریج عمق حفره افزایش می‌یابد. جریان چرخشی در جلو پایه به دو طرف پایه نیز امتداد می‌یابد و به گرداب نعل اسبی شناخته می‌شود. همچنین شکل ۵-۳ چگونگی وقوع جریانهای گردابی از نوع نعل اسبی را در اطراف پایه پل استوانه‌ای نشان می‌دهد.



شکل ۵-۳- نمایش سامانه جریان گردابی در محل پایه پل و چگونگی ایجاد حفره فرسایش

omoorepeyman.ir

علاوه بر رابطه (۵-۲) محققین روابط کمی مختلفی را در خصوص محاسبه عمق آبشستگی ارائه داده اند که در جدول ۵-۲ آورده شده است. [۶۲]

جدول ۵-۲- خلاصه‌ای از معادلات تجربی پیشنهادی برای محاسبه عمق آبشستگی در اطراف پایه پل (۶۲)

نویسنده یا ارائه دهنده معادله	فرم معادله
انگلس و همکاران[1] (۱۹۳۹)	$\frac{d_s + d_\circ}{b} = 1/7\left(\frac{q^{2/3}}{b}\right)^{0/78}$
لارسن[2] (۱۹۵۲)	$\frac{b}{d_\circ} = 5/5\left[\frac{d_s}{d_\circ}\left(\frac{1}{12}.\frac{d_s}{d_\circ}+1\right)^{7/4}/\left(\frac{\tau_\circ}{\tau_c}\right)^{1/2}-1\right]$
ایزارد و برادلی[3] (۱۹۵۸)	$d_s = 1/45 q^{2/3}$
باتا (پایه سیلندری)[4] (۱۹۶۰)	$\frac{d_s}{d_\circ} = 10\left(\frac{V_\circ^2}{g d_\circ} - \frac{3D}{d_\circ}\right)$
چیتاله[5] (۱۹۶۲)	$\frac{d_s}{d_\circ} = 6/65\left(\frac{V_\circ^2}{g d_\circ}\right) - 0/51 - 5/44\left(\frac{V_\circ^2}{g d_\circ}\right)^2$
بروسرز[6] (۱۹۶۵)	$d_s = 1/4 b$
کارس تنس[7] (۱۹۶۶)	$\frac{d_s}{b} = 0/546\left(\frac{N_s^2 - 1/64}{N_s^2 - 5/02}\right)^{5/6} \quad N_s = \frac{V_\circ}{\sqrt{g(G_s-1)D_{50}}}$
شن و همکاران[8] (۱۹۶۹)	$\frac{d_s}{b} = 3/4\left(\frac{V_\circ^2}{gb}\right)^{0/67}\left(\frac{d_\circ}{b}\right)^{1/3}$
جین[9] (۱۹۸۱)	$\frac{d_s}{b} = 1/84\left(\frac{d_\circ}{b}\right)^{0/30}\left(\frac{V_\circ^2}{g d_\circ}\right)^{0/25}$
گونیاکی[10] (۱۹۸۶)	$\frac{d_s}{D} = 1/133\left(\frac{d_\circ}{D}\right)^{0/471}$ $\frac{d_s}{D} = 1/484\left(\frac{d_\circ}{D}\right)^{0/569}$
فروکلیش[11] (۱۹۸۸)	$d_s = 0/32 k_1\left(\frac{b'}{b}\right)^{0/62}\left(\frac{d_\circ}{b}\right)^{0/46} Fr^{0/2}\left(\frac{b}{D_{50}}\right)^{0/08} + 1$
رابطه CSU k_1 و k_2 جین وفیشر[12] (۱۹۷۹) الف) برای بستر زنده (بستر در شرایط انتقال رسوب) ب) برای حداکثر عمق آب شستگی و آب زلال	$\frac{d_s}{d_\circ} = 2/0 k_1 k_2\left(\frac{b}{d_\circ}\right)^{0/65} F_r^{0/43}$ $\frac{d_s}{b} = 2/0\left(F_\circ - F_c\right)^{0/25}\left(\frac{d_\circ}{b}\right)^{0/5}$ $\frac{d_s}{b} = 1/58\left(F_c\right)^{0/25}\left(\frac{d_\circ}{b}\right)^{0/3}$

1 - Ingils
2 - Laursen
3 - Issard and Bradley
4 - Bata
5 - Chitale
6 - Breusers
7 - Carstens
8 - Shent etall
9 - Jain
10 - Gunyakti
11 - Frochlich
12- Jain and Fisher

omoorepeyman.ir

عوامل بکار رفته درمعادلات جدول ۵-۲ به شرح زیر می‌باشد:

d_s : عمق آبشستگی موضعی (متر)

$d_\circ$: عمق جریان در بالادست (متر)

D : قطر پایه در پایه‌های سیلندری (متر)

b : قطر پایه یا عرض پایه عمود بر جریان آب (متر)

مشخصات پایه‌ها در شکل ۵-۴ نشان داده شده است.

L : طول پایه (متر)

q : بده جریان در واحد عرض (متر مربع بر ثانیه)

$\tau_\circ$: تنش برشی اولیه قبل از ساخت پل (نیوتن بر متر مربع)

τ_c: تنش برشی بحرانی (نیوتن بر متر مربع)

$V_\circ$: سرعت جریان در بالادست (متر بر ثانیه)

g : شتاب ثقل (متر مربع بر ثانیه)

$d_\circ$: اندازه مواد رسوبی بستر (میلیمتر)

Gs : چگالی ذرات رسوبی (نیوتن بر متر مکعب)

b': از رابطه زیر محاسبه می‌شود

$$b' = b\cos\theta + L\sin\theta \qquad (۳-۵)$$

که در آن:

θ : زاویه برخورد جریان با پایه پل (درجه)

k_1 و k_2: ضرایب اصلاحی که از جدول ۵-۳ بدست می‌آید.

Fr: عدد فرود در محدوده پل

Fo: عدد فرود در بالادست پل

Fc: عدد فرود برای آستانه حرکت

جدول ۵-۲ نشان می‌دهد که بعضی از معادلات حالت ساده‌تری داشته و عامل q (بده جریان در واحد عرض) بعنوان شاخص هیدرولیک جریان تلقی شده است. معادله انگلس و ایزارد از این نوع می‌باشند. معادله بروزرس فقط ضریبی از قطر پایه پل (b) را بعنوان عمق آبشستگی در نظر می‌گیرد. این نوع معادلات به دلیل عدم در نظر گرفتن دانه‌بندی مواد بستر دارای نارسایی می‌باشد. از این رو بعضی از محققین تلاش کرده‌اند تأثیر دانه‌بندی را در عمق آبشستگی منظور نمایند. در این خصوص معادله کارس تنس و فروکلیش را می‌توان نام برد. همچنین در جدول ۵-۲ اکثر معادلات مورد استفاده در تعیین عمق آبشستگی به ویژگیهای هیدرولیکی جریان بستگی دارد که به صورت عامل سرعت ($V_\circ$)، عمق جریان ($d_\circ$)، عدد فرود (fr)

omoorepeyman.ir

و یا تنش برشی ($\tau_\circ$) معرفی می‌گردند. از دیدگاه کارشناسی هر یک از معادلات مندرج در جدول ۵-۲ دارای اعتبار بوده و استفاده از آنها بستگی به شرایط خاصی ندارد. اما معادلاتی که در آنها اثرهای توام خصوصیات دانه‌بندی مواد بستر و هیدرولیک جریان لحاظ گردیده (مانند فروکلیش و کارس تنس) از استدلال قوی‌تری برخوردار می‌باشند. مشخصات پایه‌های پل مورد استفاده در محاسبه عمق آبشستگی در شکل ۵-۴ ارائه شده است.

جدول ۵-۳- ضرائب اصلاحی k_1 و k_2 [۳۱]

	ضرایب اصلاحی	ضریب اصلاحی k_2			
نوع پایه	k_1	θ	L/b = ۴	L/b = ۸	L/b = ۱۲
نوک مستطیل	۱/۱	۰	۱/۰	۱/۰	۱/۰
نوک گرد	۱/۰	۱۵	۱/۵	۲/۰	۲/۵
سیلندری	۱/۰	۳۰	۲/۰	۲/۵	۳/۵
نوک تیز	۰/۹	۴۵	۲/۳	۳/۳	۴/۳
چند سیلندر	۱/۰	۹۰	۲/۵	۳/۹	۵/۰

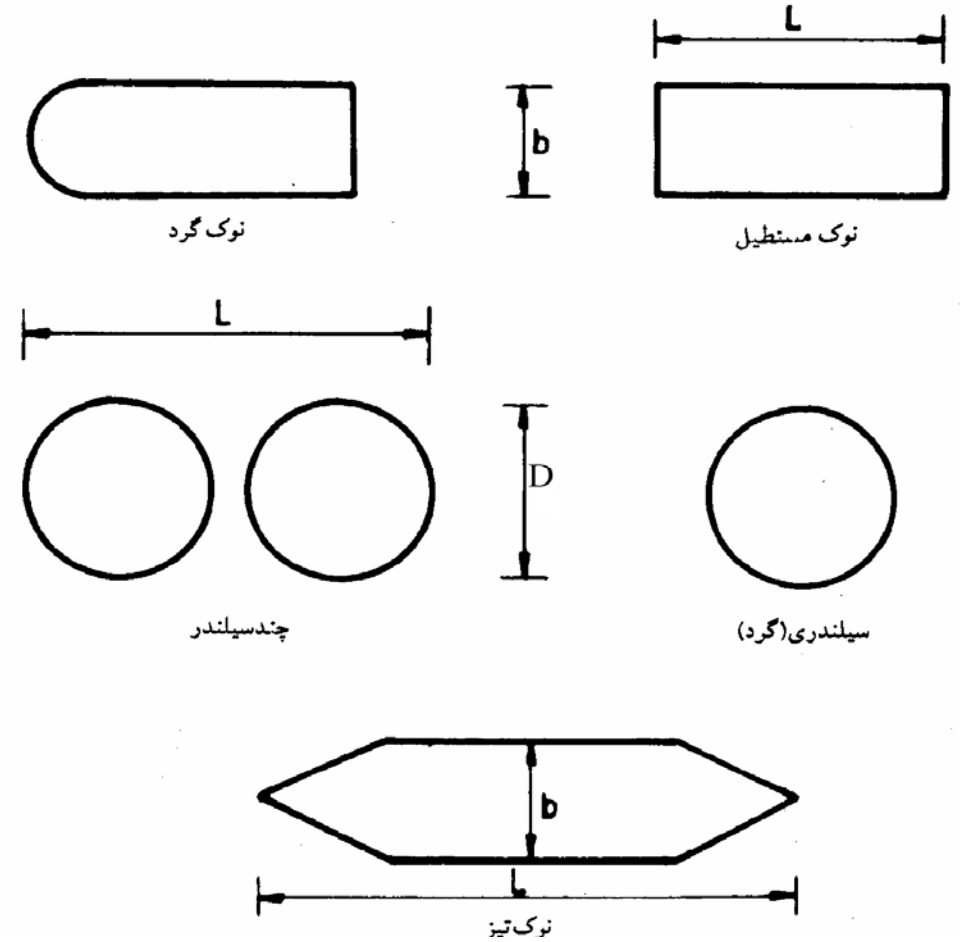
همان گونه که اشاره شد ساخت پل سبب اثر گذاری بر رودخانه می‌گردد. جدول ۵-۴ خلاصه‌ای از این اثرها را نمایش می‌دهد [۵۸]. همچنین نحوه اثرگذاری ساخت پل در رودخانه و تأثیر آن بر بالادست، پایین دست و محل ساخت پل در تعامل با دیگر شرایط رودخانه از دیدگاه فرسایش و رسوبگذاری و اقدامات ساماندهی در جدول ۵-۵ ارائه شده است. [۶ و ۵۱]

۵-۱-۲ آبشکنها

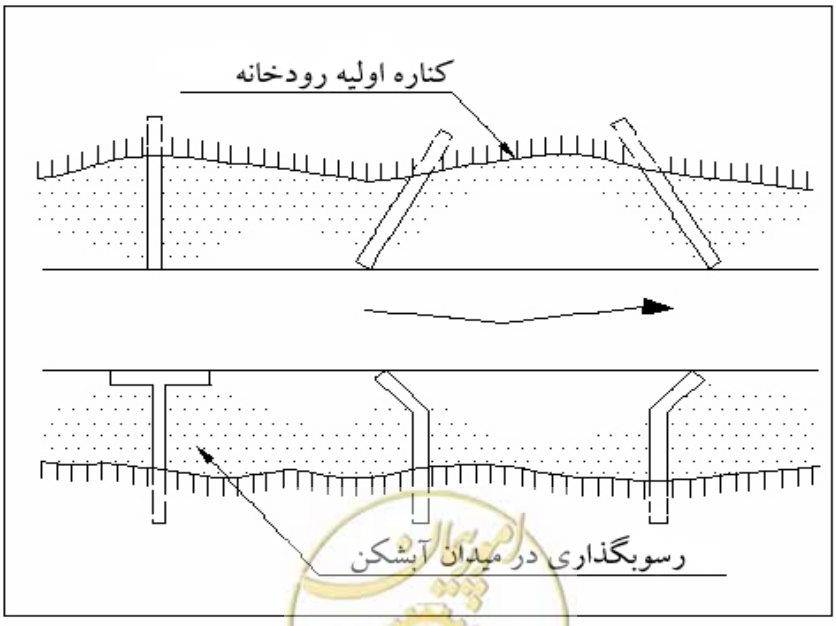
آبشکنها سازه‌هایی هستند که بیشتر با هدف دور ساختن جریان از ساحل فرساش پذیر رودخانه، ایجاد مسیر مناسب برای هدایت جریان، مهار سیل، فراهم آوردن شرایط لازم برای رسوبگذاری در امتداد کناره‌ها و تثبیت موقعیت رودخانه و گاهی تامین عمق لازم جریان برای کشتیرانی ساخته می‌شوند [۶۱].

در واقع آبشکنها با تعدیل شرایط هیدرولیکی جریان، قدرت فرسایشی آب و توان حمل رسوبی را در میدان آبشکن کاهش داده و زمینه رسوبگذاری و تثبیت کناره‌های رودخانه را فراهم می‌آورند. آبشکنها برحسب مورد و شرایط رودخانه‌ای و اهداف مورد نظر در شکلها و انواع مختلفی، طراحی و ساخته می‌شوند. به طور کلی آبشکنها به دو دسته باز (نفوذپذیر) و بسته (نفوذناپذیر) تقسیم می‌شوند. آبشکنها را بر اساس دیگر عوامل، از جمله زاویه میل نسبت به جهت جریان و یا شکل آبشکن نیز دسته بندی و نام‌گذاری کرده اند. در شکل (۵-۵) چند نمونه از آبشکنهای متداول نشان داده شده است.

omoorepeyman.ir



شکل ۵-۴- مشخصات پایه‌های پل مورد استفاده در محاسبه عمق آبشستگی



شکل ۵-۵- نمونه‌ای از آبشکنها بر حسب زاویه میل نسبت به جریان و شکل آن

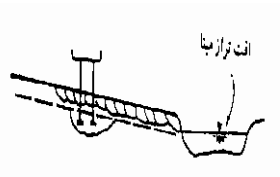
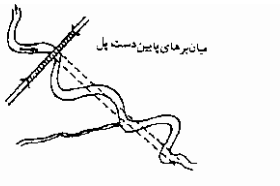
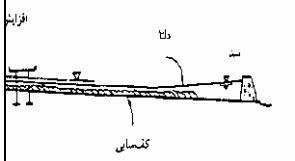
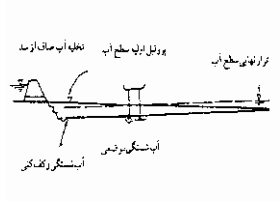
omoorepeyman.ir

جدول ۵-۴- اثرهای ساخت پل بر روی رودخانه [۵]

قسمت موردنظر پل	اثر	نتیجه	تمهیدات لازم قابل اجرا
خاکریز	جلوگیری از حرکت آب در سیلابدشت وافزایش شدت جریان در آبراهه زیر پل	آب شستگی موضعی در اطراف پایه‌ها و کوله‌های پل	افزایش عمق پی پایه‌ها و کوله‌ها طراحی پیش‌بند برای محدود کردن عمق آب‌شستگی
		افزایش نیروهای هیدرودینامیک وارد بر پایه‌ها	افزایش ابعاد پایه‌ها و پی آنها
		افزایش تراز سطح آب و همچنین شدت و تداوم سیل در بالادست پل	ساخت خاکریزهای ساحلی و یا ذخیره سیلاب
		آب شستگی موضعی در سواحل	محافظت سواحل
	جلوگیری از حرکت پیچ و خم	آب شستگی شدید در پایین دست	محافظت سواحل
		آب شستگی در پاشنه خاکریز در قسمت بالادست	کارهای ساماندهی در بالادست محافظت پاشنه خاکریز
دستک	محدود کردن حرکت پیچ و خم و تغییر الگوی رودخانه	آب شستگی شدید در پایین‌دست	محافظت سواحل رودخانه در پایین‌دست کارهای ساماندهی در بالادست
	تغییر الگوی جریان و افزایش موضعی شدت جریان	آب شستگی موضعی در اطراف کوله	افزایش عمق کوله با استفاده از پیش بند برای محدود کردن عمق آب شستگی
		آب شستگی موضعی سواحل پایین‌دست	محافظت سواحل
	کاهش عرض آبراهه و افزایش شدت جریان در آبراهه زیر پل	افزایش آب شستگی در اطراف کوله‌ها پایه‌ها و آبراهه	افزایش عمق کوله‌ها، پایه‌ها و یا استفاده از پیش بند برای محدود کردن عمق آب شستگی
		آب شستگی سواحل پایین‌دست	محافظت سواحل پایین‌دست
		افزایش سطح آب و همچنین شدت و تداوم سیل در بالادست	ساخت خاکریزهای ساحلی و یا ذخیره سیلاب
پایه	تغییر الگوی جریان و افزایش موضعی شدت جریان	آب شستگی موضعی در اطراف پایه‌ها	افزایش عمق پیها و یا استفاده از پیش بند برای محدود کردن عمق آب شستگی
		افزایش نیروهای هیدرودینامیک بر پایه‌ها	افزایش ابعاد پایه‌ها و پی آنها
	کاهش عرض آبراهه و افزایش شدت جریان بازه زیر پل	افزایش آب شستگی موضعی در اطراف پایه‌ها و بازه زیر پل	افزایش عمق پیها ویا استفاده از پیش بند برای محدود کردن عمق آب شستگی
		افزایش سطح آب و همچنین شدت و تداوم سیل در بالادست	ساخت خاکریزهای ساحلی و یا ذخیره سیلاب

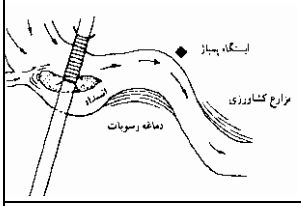
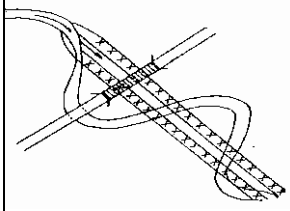
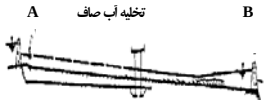
omoorepeyman.ir

جدول ۵-۵- عکس‌العمل رودخانه در برابر سازه پل و اقدامات حفاظتی [۶ و ۵۱]

نوع شرایط حاکم	اثرها در پایین‌دست	اثرها در بالادست	اثرهای موضعی	محل ساخت پل
پل در پایین‌دست آبراهه با شیب تند	– رسوبگذاری بستر – سیل گیری	– فرسایش کناره‌ها – فرسایش بالادست در کف – انتقال مقدار زیاد رسوبات	– مخروط افکنه سبب کاهش شیب آبراهه می‌شود – امتداد نامطمئن جریان در محل پل	
افت تراز مبنا در رودخانه اصلی	– افزایش انتقال رسوب به بازه اصلی – افزایش تراز بستر – افزایش تراز سیل	– افزایش سرعت – افزایش انتقال بار بستر – ناپایداری آبراهه – احتمال‌تغییر شکل رودخانه	– فرسایش بالادست – آب شستگی عمومی – آب شستگی موضعی – ناپایداری کناره‌ها – سرعتهای زیاد	
ساخت میان بر در پایین‌دست محل سازه پل	– رسوب گذاری در پایین دست آبراهه – افزایش تراز سیلاب – کاهش ظرفیت آبراهه اصلی – فرسایش در شاخه‌های فرعی	رجوع شود به اثرهای موضعی	– شیب تند تر – سرعت بیشتر – انتقال رسوب بیشتر – افزایش فرساش‌و کف‌کنی – ناپایداری کناره‌ها – احتمال تبدیل نوع رودخانه به‌شریانی	
پل در بالادست سد مخزنی	– رجوع شود به اثرهای بالادست	– رجوع شود به اثرهای محلی – تغییر تراز پایه شاخه‌های فرعی – رسوبگذاری شاخه‌های فرعی ننزدیک محل اتصال	– تغییر مسیر آبراهه – تغییر هندسه رودخانه – افزایش تراز سیل	
پل در پایین‌دست سد مخزنی	– فرسایش بستر – افزایش سرعت و انتقال رسوب در شاخه‌های فرعی	– فرسایش بستر – احتمال تخریب سد – کاهش تراز سیل – کاهش تراز پایه شاخه‌های فرعی وافزایش انتقال رسوب آنها، افزایش سرعت و کاهش پایداری آبراهه	– فرسایش بستر – احتمال تغییر شکل رودخانه – آب شستگی موضعی – احتمال ناپایداری کناره‌ها	

omoorepeyman.ir

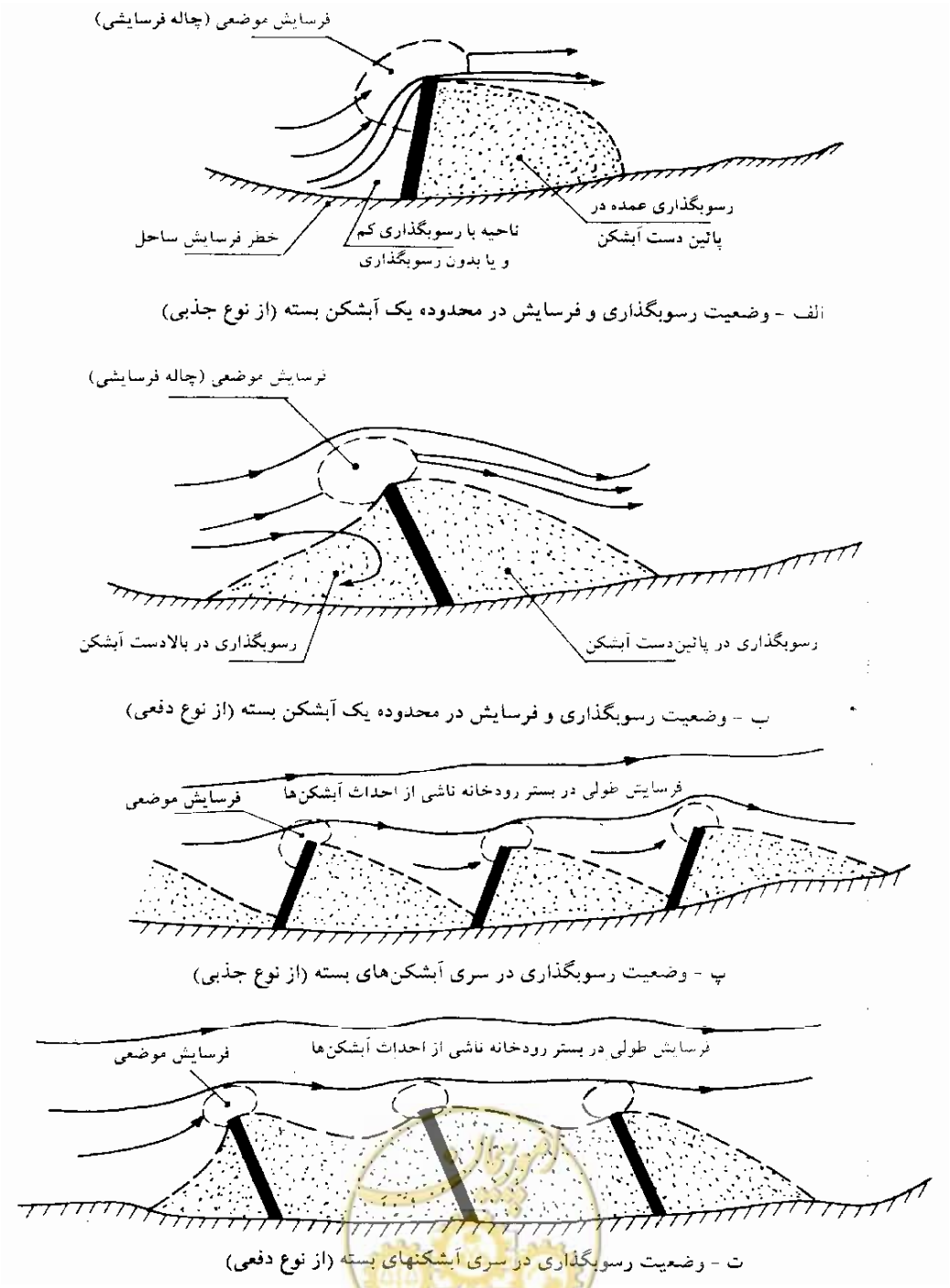
ادامه جدول ۵-۵- عکس‌العمل رودخانه در برابر سازه پل و اقدامات حفاظتی [۶ و ۵۱]

نوع شرایط حاکم	اثرها در پایین دست	اثرها در بالادست	اثرهای موضعی	محل ساخت پل
پل در پایین دست محل تلاقی شاخه فرعی پر رسوب	– ته نشینی رسوبات ناشی از فرسایش پایین دست پلها – حمله شدید تر به اولین قوس پایین دست	– کف زایی – برگشت آب‌هنگام سیلاب – تغییر عکس‌العمل شاخه فرعی	– تنگ شدن رودخانه – افزاش سرعت – آب‌شستگی موضعی‌وعمومی – ناپایداری کناره	
کانالیزاسیون مسیر و حذف چمها	– رجوع شود به اثرهای بالادست	– بدون اثر بالادست، مگر آنهایی که ناشی از تغییرات طبیعی بالادست قسمت مستقیم رودخانه باشد	– بدون تأثیر موضعی در صورتیکه قسمت مستقیم رودخانه طوری طراحی شده باشد که رسوبات وارده را همراه ببرد و پایداری آن طوری در نظر گرفته شده باشد که تحمل جریانهای پیش‌بینی شده را داشته باشد.	
پل بین دو سد مخزنی	– رجوع شود به اثرهای بالادست	– شاخه‌های فرعی ممکن است دچار کف کنی یا کف زایی شوند. – در آبرهه ممکن است کف کنی یا کف زایی اتفاق افتد.	– سد A سبب کف‌کنی می‌شود. – سد B سبب کف‌زایی می‌شود. – وضعیت نهایی محل پل با جمع بندی اثرهای سد بالادست و پایین‌دست و از طریق تحلیلی تعیین می‌شود. وضعیت پیچیده وجود مجموعه سدها، آبراهه اصلی و شاخه‌های فرعی، ضرورت انجام مطالعات دقیق ذخیره سازی آب و رسوبات، بررسی عوامل زمین‌شناسی و غیره را ضروری می‌سازد – لزوم مطالعات فیزیکی و ریاضی	

آبشکنهای باز بیشتر برای رودخانه‌های با بار معلق زیاد [۲۹] و آبشکنهای بسته برای رودخانه‌های با بار بستر زیاد مورد استفاده واقع می‌شوند [۶۱] لیکن در هر دوی این آبشکنها کاهش سرعت جریان درمیدان آبشکن موجب ترسیب مواد رسوبی در محدوده آبشکن می‌گردد. شکلهای ۵-۶ و ۵-۷ چگونگی این رسوبگذاری را در آبشکنهای منفرد و گروهی نمایش می‌دهد. به طور کلی عملکرد آبشکنها در فرسایش و رسوبگذاری تابعی از فاصله، طول، راستا و شکل آنها می‌باشد.

omoorepeyman.ir

همانطوریکه در شکل (۵-۶) مشخص است با ساخت آبشکن بخشی از مواد رسوبی رودخانه تله اندازی شده و زمینه تثبیت کناره‌های فرسایشی را فراهم می‌کند. از طرفی ساخت آبشکن موجب کاهش مقطع جریان گردیده و در تعامل با جریان رودخانه وقوع فرسایشهای طولی و موضعی را به همراه دارد. در شکل (۵-۶) حالتهای مختلف رسوبگذاری و فرسایشهای طولی و موضعی ناشی از ساخت سازه آبشکن نشان داده شده است.

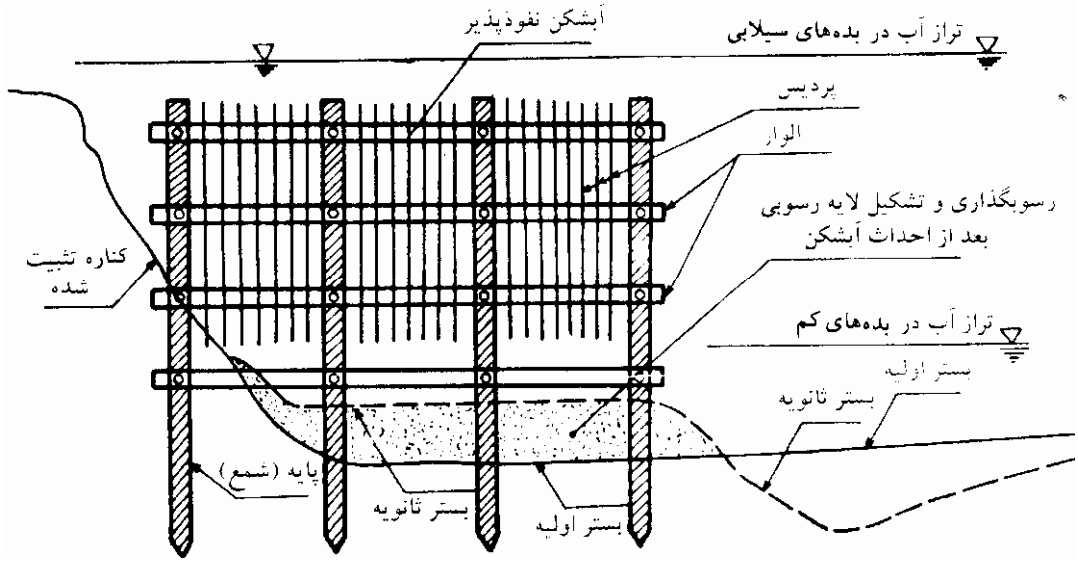


شکل ۵-۶- نمایش وضعیت رسوبگذاری در محدوده آبشکنها (در حالت منفرد و گروهی) [۲۹و۶۱]

omoorepeyman.ir

بدیهی است از دیدگاه ساماندهی رودخانه بررسی این گونه فرسایشها برای ارزیابی عملکرد سازه‌ها و اثرهای بازه‌ای و پیامدهای ریخت شناسی ضروری است. طبق بررسیهای پیترسون ۱میزان تنگ شدگی (کاهش مقطع طبیعی جریان) توسط آبشکنها از ۳۰٪ نباید تجاوز کند [۲۹]. دلیل این امرجلوگیری از اثرهای نامطلوب ناشی از افزایش توان بده رسوب مقطع تنگ شده و انتقال رسوب به بازه‌های پایین دست است که با رسوبگذاری مجدد موجب بر هم خوردن سامانه رودخانه می‌گردد. به علاوه تشدید فرسایش در محدوده آبشکنها، بازه‌های بالادست را متاثر کرده و زمینه فرسایش بستر و ناپایداری کناره‌ها را فراهم می‌آورد.

برای آگاهی از جزئیات طراحی آبشکنها مطالعه مراجع [۶۱] و [۲۹] و [۳۰] پیشنهاد می‌شود.



شکل ۵-۷- نمونه‌ای از یک آبشکن نفوذپذیر و نقش آن در ایجاد لایه رسوبی و تثبیت کناره رودخانه [۳۰ و ۶۱]

راستای آبشکنها نسبت به مسیر جریان نیز تأثیر عمده‌ای در عملکرد آنها از نظر جابه جایی و انتقال مواد رسوبی دارند. در آبشکنهای جذبی (شکل ۵-۷) به دلیل ورود جریان به میدان آبشکن، تخریب و فرسایش کناره‌ها امکان پذیر می‌باشد بنابراین آبشکنهای جذبی برای حفاظت سواحل فرسایشی رودخانه مناسب نمی‌باشند.

آبشکنهای قائم نیز محدوده کمتری را پوشش می‌دهند،اما آبشکنهای دفعی (شکل ۵-۶) با توجه به رسوبگذاری مطلوب بین سازه‌ها به منظور حفاظت کناره‌ها از فرسایش مناسب ارزیابی می‌شود.

۱-Perterson

omoorepeyman.ir

وسعت محدوده رسوبگذاری در پشت آبشکنهای بسته و ضخامت لایه رسوبی ایجاد شده در میدان آبشکن برای یک دوره زمانی tf بر اساس تحقیقات سلاتینا[1] از روابط زیر بدست می‌آید. [۳۰]

$$A \approx 4(B - B_1)^2 \qquad (۴-۵)$$

$$h_{ac} \approx g V_s t_f \frac{C_s}{\gamma_d} \qquad (۵-۵)$$

که در آن :

h_{ac} : ضخامت رسوب انباشته شده (متر)

C_s: غلظت مواد رسوبی (کیلوگرم بر متر مکعب)

γ_d: وزن مخصوص خشک رسوبات ته نشین شده (نیوتن بر مترمکعب)

t_f: مدت زمان عبور جریان (ثانیه)

V_s: میانگین سرعت سقوط دانه‌ها (متر بر ثانیه)

A : سطح محدوده رسوبگذاری (متر مربع)

B : عرض رودخانه (متر)

B_1: عرض رودخانه در محل آبشکن (متر)

هرچند که ساخت آبشکن بیشتر به منظور کنترل فرسایش و تثبیت بستر صورت می‌گیرد،اما استفاده از این سازه‌ها بدلیل تنگ شدگی مقطع عبور جریان موجبات کف کنی بستر را نیز فراهم می‌کند. برای ارزیابی کف کنی ناشی از ساخت آبشکنها استفاده از معادلات مربوط به تنگ شدگی مقطع متداول می‌باشد از طرفی محققین مختلفی با اعمال اصلاحاتی بر معادلات یاد شده روابطی خاص آبشکنها ارائه داده‌اند که از جمله آنها رابطه کمورا[2] می‌باشد : [۲۹]

$$\frac{\Delta Z}{h} = (1 + 1/2 Fr^2)\left[\left(\frac{B}{B_1}\right)^{2/3} - 1\right] \qquad (۶-۵)$$

که در آن :

ΔZ: افت عمومی بستر (متر)

h : عمق جریان (متر)

Fr : عدد فرود در مقطع تنگ شده

B : عرض مقطع تنگ شده (متر)

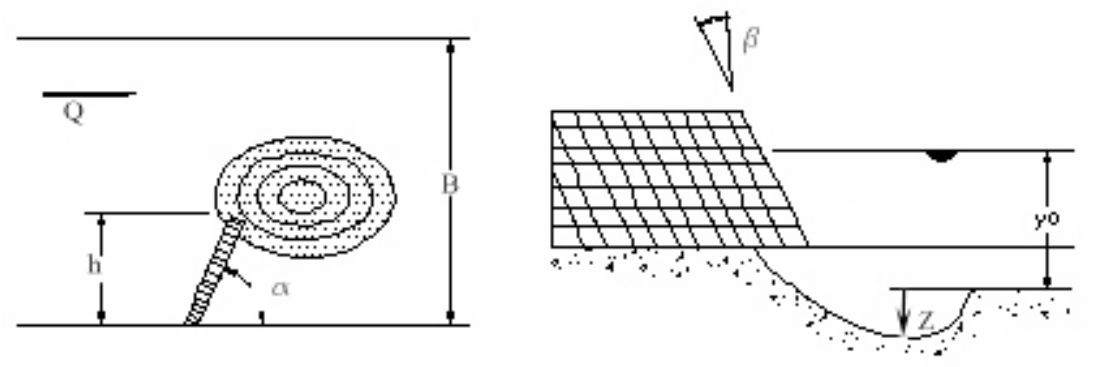
B_1: عرض مقطع طبیعی رودخانه (متر)

1 - Salatina
2 - Komura

omoorepeyman.ir

روابط مختلف دیگری نیزدر مرجع [۶۱] ارائه شده است.

در دماغه آبشکنها نیز به دلیل تنگ شدگی مقطع و تغییر ساختار هیدرولیک جریان که منجر به افزایش سرعت جریان و ایجاد جریانهای ثانویه می‌گردد، آبشستگی موضعی رخ می‌دهد. در شکل ۵-۸ نمونه‌ای از وضعیت آبشستگی موضعی در دماغه آبشکن نشان داده شده است.



شکل ۵-۸- آبشستگی موضعی در دماغه آبشکن

روابط مختلفی برای محاسبه عمق فرسایش در دماغه آبشکن توسط محققین ارائه شده که درجدول (۵-۶) برخی از این روابط آورده شده است.

در این روابط در جدول ۵-۶ عوامل مختلف به شرح زیر تعریف می‌شوند:

$f_2(C_D), f_1(C_D)$: از شکل ۵-۹ تعیین می‌شود.

F_r: عدد فرود که از رابطه $F_r = \frac{u_\alpha}{\sqrt{gh}}$ بدست می‌آید.دراین رابطهUa متوسط سرعت جریان آب است

Lp : طول آبشکن (متر)

D_{50}: قطر نظیر ۵۰ درصد مواد تشکیل دهنده بستر (متر)

α : زاویه میل آبشکن نسبت به جهت جریان (درجه)

hg : ارتفاع آبشکن (متر)

Q : بده جریان (متر مکعب بر ثانیه)

b : عرض رودخانه در محل آبشکن (متر)

n : نسبت تنگ شدگی (نسبت طول آبشکن به عرض رودخانه)

m_s: نمای معادله انتقال رسوب

omoorepeyman.ir

جدول ۵-۶- بعضی از معادلات مورد استفاده در تعیین عمق چاله فرسایشی در دماغه آبشکنهای بسته (۳۰ و ۶۱)

ردیف	نام محقق	شماره معادله	معادله	محدوده دانه‌بندی مواد بستر (میلیمتر)	سایر ملاحظات
۱	خوسلا[1] (۱۹۳۶)	(۹)	$\frac{d_s+h}{h}=\frac{0/9q^{2/3}}{hf^{0/33}}$	–	–
۲	احمد[2] (۱۹۵۳)	(۱۰)	$\frac{d_s+h}{h}=K'\frac{q^{2/3}}{h}$	$0/2\le D\le 0/7$	–
۳	گارده و همکاران[3] (۱۹۶۱)	(۱۱)	$\frac{d_s+h}{h}=f_1(C_d)\frac{(F_r)^{f2(c_d)}}{1-n}$	$0/3\le D_{50}\le 2/2$	$0/1\le n\le 0/47$ $0/1\le F_r\le 0/8$
۴	گیل[4] (۱۹۷۲)	(۱۲)	$\frac{d_s+h}{h}=8/375\frac{\left(\frac{D_{50}}{h}\right)^{0/25}}{(1-n)^{0/857}}$	$0/9\le D\le 1/5$	$0/13\le n\le 0/4$ $0/2\le F_r\le 0/8$
۵	لیموو‌همکاران[5] (۱۹۶۱)	(۱۳)	$\frac{d_s}{h}=1/1\left(\frac{L_p}{h}\right)^{0/4}(F_r)^{0/33}$	$D_{50}=0/6$	–
۶	ریچارسون[6] (۱۹۷۵)	(۱۴)	$\frac{d_s}{h}=4F_r^{0/33}$	–	برای رودخانه می‌سی سی پی $(Lp/h>25)$
۷	لارسن[7] (۱۹۷۵)	(۱۵)	$\frac{L_p}{h}=2/75\frac{d_s}{h}\left[0/087\left(\frac{d_s}{h}+1\right)^{1/7}-1\right]$	–	–
۸	نیل[8] (۱۹۷۳)	(۱۶)	$\frac{d_s+h}{h}=\left(\frac{2/1\to 2/75}{h}\right)\left(\frac{2/5q^2}{9D_{50}^{0/318}}\right)^{0/333}$	$0/1\le D_{50}\le 200$	–
۹	زاگ لول[9] (۱۹۸۳)	(۱۷)	$\frac{d_s}{h}=\frac{2/62}{(180-\alpha)}*\frac{(F_r)^{2/3}}{1-n}$	$D=4/5$	$0\le\alpha\le 150$ $0/1\le n\le 0/5$ $0/18\le F_r\le 0/48$
۱۰	بای نگوک[10] (۱۹۸۱)	(۱۸)	$\frac{d_s+h}{h}=\frac{1/09\exp[-0/075(m_s+1)]}{(1-n)^{0/3}}*\left(\frac{\alpha}{90^\circ}\right)^{0/2}\left(\frac{hg}{h}\right)^{0/41}f_1(C_d)(F_r)^{f_2(C_d)}$	$0/33\le D\le 8/3$	$30^\circ\le\alpha\le 150^\circ$ $0/5\le hg/h\le 1$ $0/12\le F_r\le 1/6$ $0\le m_s\le 3$ $0/1\le n\le 0/6$

1 - Khosla
2 - Ahmad
3 - Gerade et al
4 - Gill
5 - Liu et al
6 - Richardson
7 - Laursen
8 - Neill
9 - Gunyakti
10 - Buy Ngok

omoorepeyman.ir

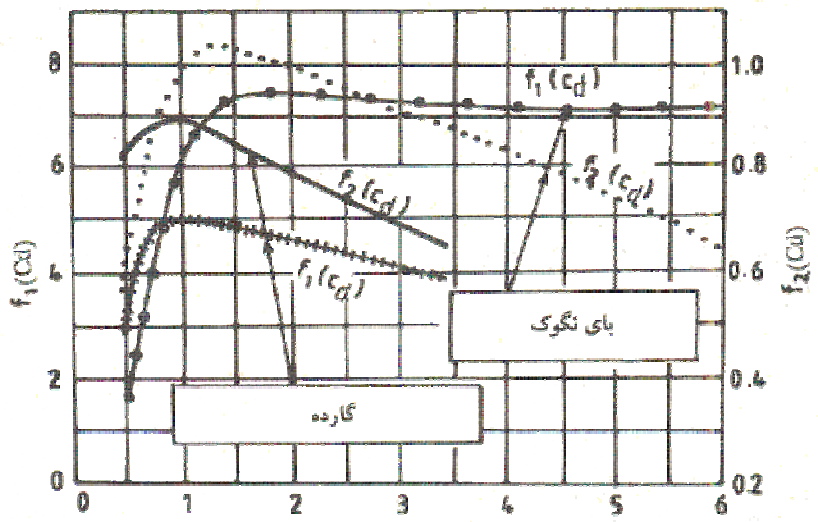
معادلات ارائه شده در جدول ۵-۶ دارای محدوده کاربردی مشخص می‌باشند. بعنوان مثال در معادله احمد دانه‌بندی مواد بستر بین ۰/۲ تا ۰/۷ میلی متر به عنوان معیار استفاده از آن درج شده است. در معادلات کارده، گیل، زاگلول و بای نگوک علاوه بر محدوده دانه‌بندی بستر عوامل دیگری مانند عدد فرود (Fr)، نسبت تنگ‌شدگی بستر (n)، نمای معادله انتقال رسوب(ms) و زاویه میل آبشکن (α) باید در نظر گرفته شود. همچنین شرط استفاده از معادله ریچاردسون مطابق جدول ۵-۶ آن است که نسبت طول آبشکن (Lp) به عمق جریان (h) بزرگتر از ۲۵ باشد ($Lp/h > 25$). ضمن آنکه این معادله بر اساس نتایج بررسیهای انجام شده بر روی رودخانه می‌سی‌سی‌پی بدست آمده و استفاده از آن برای سایر رودخانه‌ها مستلزم ملاحظات کارشناسی می‌باشد. بعضی معادلات مانند خوسلا و لارسن فاقد محدودیت بوده و مطابق جدول ۵-۶ امکان استفاده از آنها برای شرایط مختلف رودخانه‌ای وجود دارد. از این رو در استفاده از معادلات جدول ۵-۶ لازم است به محدودیتها و ویژگیهای مندرج در جدول توجه شود.

جدول ۵-۷- مقادیر ضریب k' درمعادله احمد (معادله ۱۰)

ردیف	موقعیت آبشکن نسبت به مسیر رودخانه	k'
۱	آبشکن در مسیر قوس خارجی (قوس تند)	۲/۲۵-۲
۲	آبشکن در مسیر قوس خارجی (قوس ملایم)	۱/۷۵-۱/۵
۳	آبشکن در مسیر مستقیم با زوایه میل $^{\circ}$۳۰ تا $^{\circ}$۹۰ نسبت به امتداد جریان	۱/۵-۱/۲
۴	آبشکن در مسیر مستقیم با زاویه میل $^{\circ}$۹۰ تا $^{\circ}$۱۵۰ نسبت به امتداد جریان	۱/۷۵-۱/۵

از دیگر کاربردهای آبشکنها استفاده از آنها در قوس خارجی برای توقف فرساش موضعی و جلوگیری از ایجاد کانالهای میانبر در رودخانه‌ها می‌باشد. همانگونه که درشکل ۵-۱۰ مشخص است تفاوت زیادی میان موقعیت خط القعر رودخانه در حالت تراز کم آبی و پرآبی برقرار است. در حالت پرآبی مسیر خط القعر کوتاه تر از مسیر در حالت کم آبی است و در این حالت قوس داخلی تحت تأثیر فرسایش شدیدتری قرار گرفته و زمینه برای ایجاد کانال میانبر فراهم می‌گردد. برای جلوگیری از این پدیده استفاده از آبشکنها متداول می‌باشد.

omoorepeyman.ir



$$Cd = ۴(G_s - ۱)Gd/۳w^۲$$

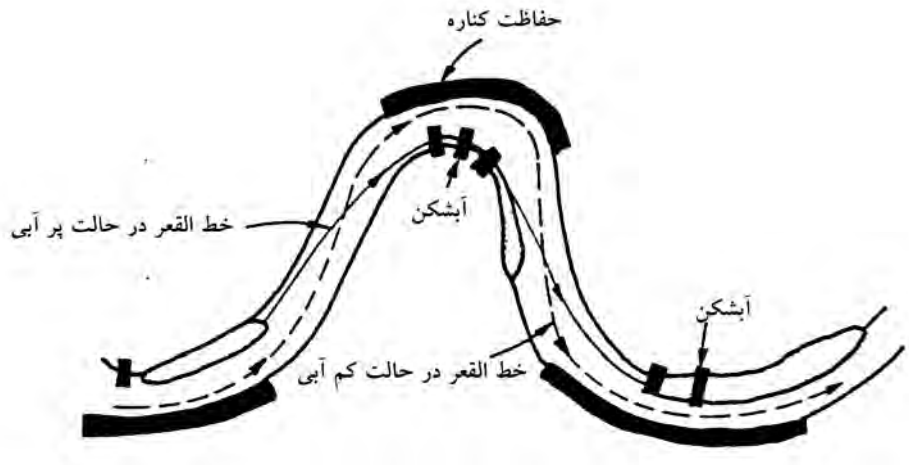
Cd– ضریب کشانه دانه

G_s – چگالی دانه (بدون بعد)

w – سرعت سقوط دانه (متربرثانیه)

g– شتاب ثقل (متربرمجذورثانیه)

شکل۵-۹ – عامل $f_۲(C_d), f_۱(C_d)$ به‌صورت تابعی از C_d مورد استفاده درمعادلات گارده وبای نگوک



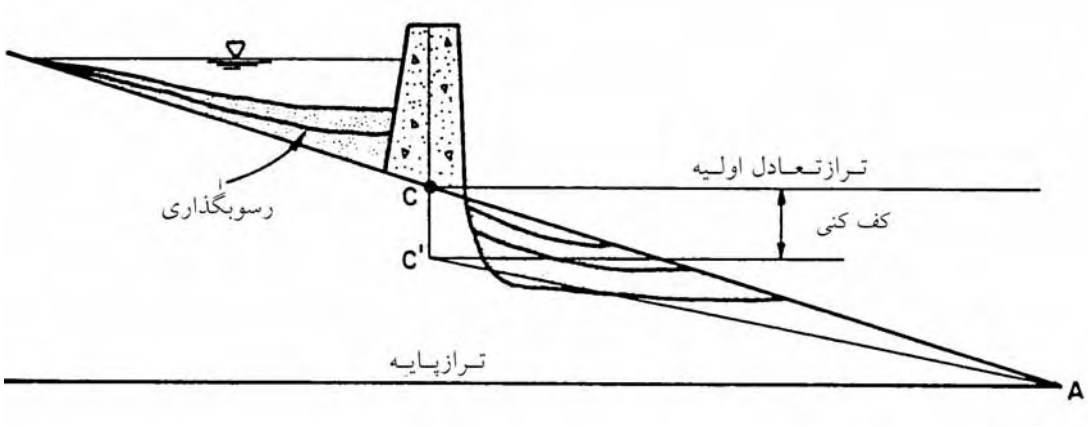
شکل ۵-۱۰ – کاربرد آبشکنها در ساماندهی رودخانه [۳۹]

omoorepeyman.ir

۵-۱-۳ سدهای مخزنی، تاخیری و انحرافی

۵-۱-۳-۱ سدهای مخزنی

ساخت سدهای مخزنی با تغییر الگوی فرسایش و رسوبگذاری، اثرهای زیادی بر هندسه ومشخصات ریخت شناسی رودخانه بر جای می‌گذارد. این گونه اثرهادر سه بازه بالادست، پایین دست و محل ایجاد سد آشکار می‌شود. در بالادست سد مخزنی به دلیل وقوع پدیده برگشت آب[1]، تشکیل دلتا و بالاآمدن تراز بستر مشاهده می‌شود. در مراحل اولیه ساخت سد، تله اندازی رسوبات درمخزن موجب آن می‌گردد تا جریان آب عاری از رسوب از سد خارج گردیده و برای جبران کمبود رسوب خود و رسیدن به ظرفیت انتقال، بازه‌های پایین دست را فرسایش داده و افت عمومی تراز بستر رودخانه را در پایین دست به وجود آورد. در شکل ۵-۱۱ چگونگی تأثیر پذیری رودخانه از فرایند فرسایش و رسوبگذاری ناشی از ساخت سد که منجر به تغییر محسوس شیب بالادست و پایین دست می‌گردد، دریک دوره طولانی بهره‌برداری نمایش داده شده است. همانگونه که دراین شکل مشخص است، بستر اولیه (خط CA) و پس از ساخت سد با توجه به وقوع کف کنی ممتد و مستمر به وضعیت تعادل جدید (خط C′A) تغییر یافته است. لیکن همزمان با توجه به تله اندازی رسوبات در مخزن سد و پر شدن تدریجی آن و انتقال مواد رسوبی به پایین دست مجدداً در بستر رودخانه فرایند رسوبگذاری آغاز گردیده و در نهایت به حالت اولیه خود یعنی خط CA برمی گردد [۳۹] وقوع این پدیده بخصوص در سدهای مخزنی کوچک در بازه زمانی کمتری امکان پذیر است. به عبارتی به عنوان یک قاعده کلی ابتدا آبشستگی و سپس رسوبگذاری مشاهده خواهد شد.



شکل ۵-۱۱- چگونگی تغییرات رودخانه در بالادست و پایین دست محل سد [۳۹]

بدیهی است تغییرات ایجاد شده در رودخانه به تدریج منجر به بروز تغییراتی در شاخه‌های دیگرمتصل به رودخانه و آبراهه‌های فرعی ورودی به آن می‌گردد. از آنجایی که تراز سطح آب در رودخانه اصلی برای شاخه‌های فرعی به‌عنوان تراز پایه

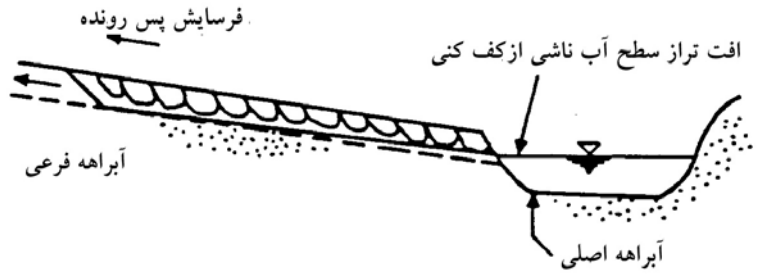
1 - Back Water

omoorepeyman.ir

محسوب می‌شود، لذا با تغییر تراز پایه ناشی از ساخت سد، بالادست و پایین دست رودخانه‌های فرعی نیز دستخوش تغییرات می‌گردد.

مطابق شکل ۵-۱۲ و جدول ۵-۸ دراثر وقوع کف کنی در بازه پایینی و افت تراز سطح آب (تراز پایه)، شاخه فرعی دچار پدیده فرسایش پس رونده[1] گردیده و در نتیجه ویژگیهای هندسی و ساختار ریخت شناسی آن دستخوش تغییر می‌گردد. از طرفی افزایش تراز سطح آب در رودخانه به دلیل ساخت سد در محدوده بالادست آن باعث بروز تغییرات در رودخانه اصلی و فرعی خواهد شد. درواقع با وقوع حالت برگشت آب در رودخانه اصلی و تله اندازی رسوبات در مخزن و گسترش آن به بازه‌های بالادست موجب بالاآمدن کف رودخانه اصلی و افزایش تراز پایه آب می‌گردد. توجه شود که رسوبگذاری همواره منجر به افزایش شیب و فرسایش منجر به کاهش شیب می‌گردد.

در شکل ۵-۱۳ و جدول ۵-۹ اثرهای رسوبگذاری ممتد و افزایش سطح آب و تراز پایه در رودخانه اصلی و پیامدهای ناشی از آن در شاخه‌های فرعی ارائه شده است.



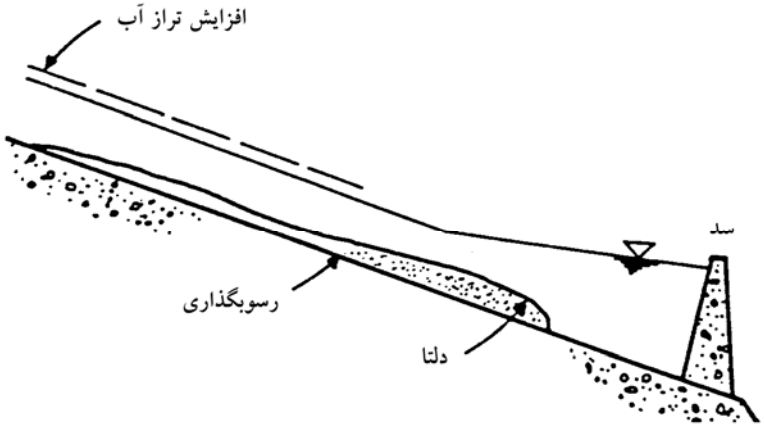
شکل ۵-۱۲- اثرهای پایین افتادگی سطح آب (تراز پایه) رودخانه اصلی بر رودخانه فرعی [۳۹]

جدول ۵-۸- اثرهای پایین افتادگی سطح آب ناشی از کف کنی در رودخانه اصلی و شاخه فرعی

اثرها در شاخه فرعی	اثرها در شاخه اصلی
فرسایش پس رونده	افزایش انتقال رسوب به رودخانه اصلی
فرسایش عمومی	رسوبگذاری
فرسایش موضعی	افزایش تراز سیل
ناپایداری کناره‌ها و تغییر ویژگیهای هندسی	احتمال تغییر شکل رودخانه

omoorepeyman.ir

1 - Headcut



شکل ۵-۱۳- اثرهای افزایش تراز پایه در رودخانه اصلی بر روی رودخانه‌های فرعی

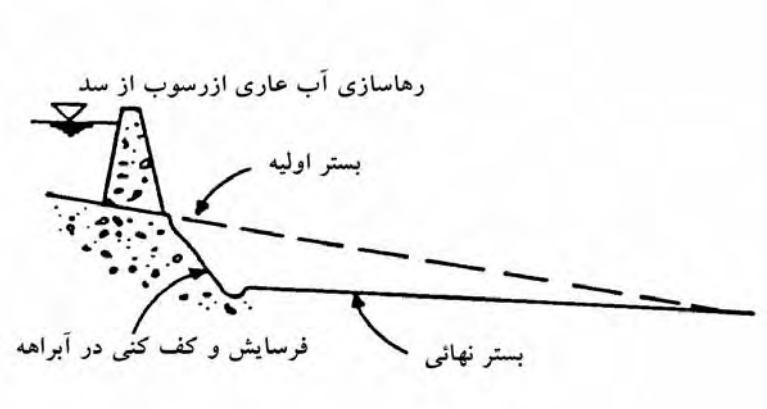
جدول ۵-۹- اثرهای رسوبگذاری و افزایش سطح آب در رودخانه اصلی و شاخه فرعی

اثرها در شاخه اصلی	اثرها در شاخه‌های فرعی
کم شدن ظرفیت عبور جریان	تغییر در تراز پایه برای رودخانه فرعی
تغییر در هندسه رودخانه	رسوبگذاری در رودخانه فرعی در نزدیکی محل اتصال به رودخانه اصلی و پیامدهای ریخت شناسی آن
افزایش تراز سیل	رسوبگذاری به دلیل وقوع پدیده برگشت آب در شاخه‌های فرعی

همان گونه که پیشتر نیز عنوان گردید به دلیل تله اندای رسوبات در مخزن، آب رها شده نسبتاً صاف و عاری از مواد رسوبی بوده و این در حالی است که هندسه رودخانه برای جریانهای حاوی رسوب طی سالهای متمادی شکل گرفته و پایدار شده است. با تله اندازی رسوبات و آزاد سازی جریان مذکور موجبات کف کنی بستر و کناره‌های رودخانه فراهم شده و در نهایت شکل رودخانه در پلان نیز عوض خواهد شد. همچنین شیب رودخانه در پایین دست کم گردیده و این امر تغییر نوع رودخانه را نیز در پی دارد. (شکل ۵-۱۴ و جدول ۵-۱۰). به طوری که در اثر کاهش شیب ممکن است رودخانه مستقیم یا شریانی به رودخانه پیچانرودی[1] تغییر حالت دهد.

omoorepeyman.ir

1 - Meandering River



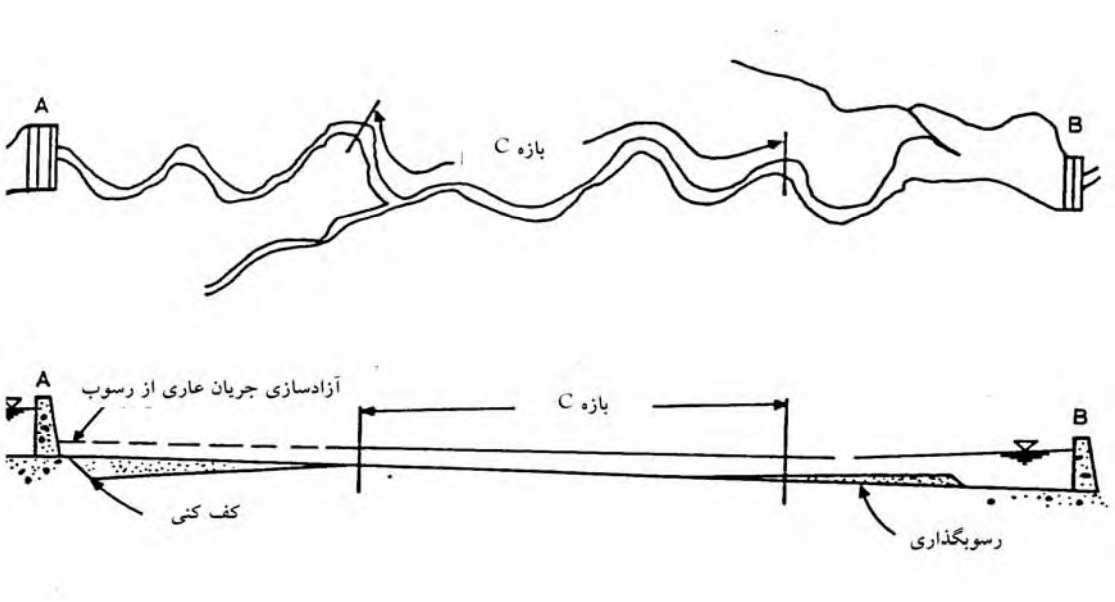
شکل ۵-۱۴- اثرهای رها سازی آب زلال در پایین دست سدها [۳۹]

جدول ۵-۱۰- اثرهای کاهش شیب ناشی از رهاسازی آب صاف در پایین دست سد (در رودخانه اصلی و شاخه‌های فرعی)

اثرها در مجرای اصلی	اثرهای جانبی
کف کنی وافت تراز بستر و سطح آب	کف کنی آبراهه‌های فرعی در اثر افت تراز پایه
تغییر در ریخت شناسی رودخانه	کاهش تراز سیلاب در آبراهه‌های فرعی
فرسایش موضعی در پای سد	کاهش پایداری مجرا بعلت افزایش انتقال رسوبات به مجرای اصلی
کاهش تراز سیلاب	
ناپایداری کناره و ریزش آنها	

از دیدگاه ساماندهی، اثرهای ساخت سدهای زنجیره‌ای بر پدیده فرسایش و رسوبگذاری شایان توجه است. وجود سدهای زنجیره‌ای، موجب افزایش همزمان تراز سطح آب و کاهش آورد رسوبی در یک بازه رودخانه‌ای می‌شود. این پدیده و تغییرات رودخانه مابین دو سد متوالی در شکل۵-۱۵ نشان داده شده است. در این رودخانه مواد رسوبی ناشی از فرسایش بستر و کناره رودخانه واقع در پایین دست سد A در پشت سد B رسوبگذاری می‌کند. بنابراین بازه C که در حد فاصل دو سد A وB واقع است، تأثیر پذیری از هر دو سد را به نمایش می‌گذارد[۳۹].

omoorepeyman.ir



شکل ۵-۱۵- اثرهای ترکیبی حالت افزایش تراز پایه و کاهش آورد رسوبی از بالادست در بازه حد فاصل دو سد [۳۹]

جدول ۵-۱۱- تأثیر ساخت سدهای متوالی در تغییر شکل رودخانه (رودخانه اصلی و شاخه‌های فرعی)

اثرها در رودخانه اصلی	اثرها در شاخه‌های فرعی
سد A موجب کف کنی می‌گردد	آبراهه‌های فرعی می‌تواند بسته به موقعیت خود رسوبگذاری نماید
سد B موجب رسوبگذاری می‌گردد	
برآیند تأثیرات بالا وضعیت نهایی بازه C را مشخص خواهد کرد و بدلیل تعامل و ترکیب اثرهای سدها، آبراهه اصلی و فرعی باید با استفاده از تکنیکهای روندیابی جریان و رسوب و عوامل زمین ریخت‌شناسی تحلیل گردد.	بررسی رفتار شاخه‌های فرعی مستلزم بهره‌گیری از روشهای روند یابی با استفاده از مدلهای رایانه‌ای می‌باشد به علاوه استفاده از مدلهای فیزیکی نیز مطرح است

به طورخلاصه با توجه به اهمیت پدیده‌های فرسایش و رسوبگذاری فراگیر ناشی از ساخت سدهای مخزنی و ضرورت توجه به آن در طرحهای ساماندهی اثرهای این گونه سازه‌های عرضی را درمحدوده‌های بالادست و پایین دست به شرح زیر می‌توان جمع‌بندی کرد:

omoorepeyman.ir

الف – اثرهای ساخت سد بر رودخانه در بالادست

- به علت رسوبگذاری رسوبات در مخزن سد، تراز آب افزایش یافته و با گذشت زمان باعث افزایش وسعت محدوده سیلاب در بالادست می‌گردد.
- به دلیل رسوبگذاری در بالادست مخزن و رودخانه اصلی، شاخه‌های فرعی متصل به رودخانه نیز متاثر گردیده و با توجه به افزایش عمومی تراز آب پدیده رسوبگذاری در آنها اتفاق می‌افتد.
- تشکیل دلتا در محل ورود رودخانه به مخزن سد که در نهایت منجر به ایجاد تالابها در بالادست می‌گردد .
- در اثر رسوبگذاری و بالاآمدن تراز سطح آب در مواقع سیلابی لازم است ارتفاع سازه‌های مهار سیلاب مانند دیواره‌های سیل بند و خاکریز متناسب با آن افزایش یابد.

ب – اثرهای ساخت سد بر رودخانه در پایین دست

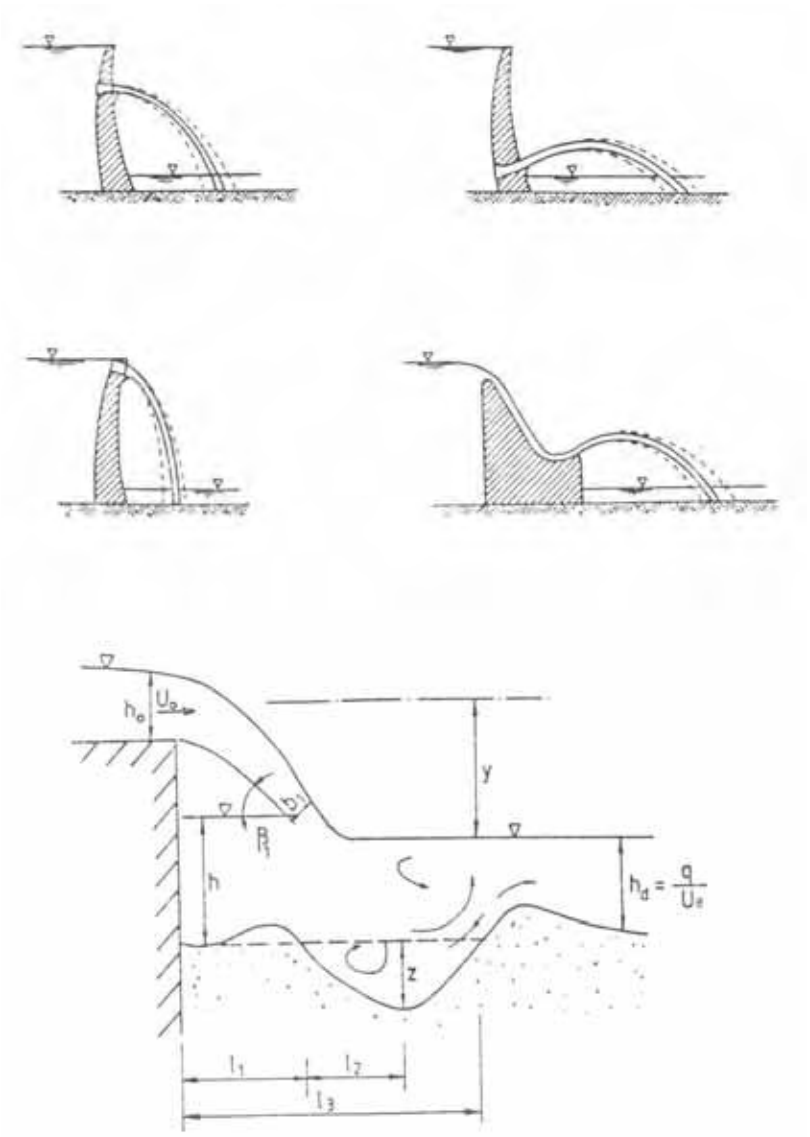
- به دلیل ذخیره آب در مخزن سد آبنمود[1] سیلاب تسکین یافته و منجر به کاهش بده اوج سیلاب می‌گردد. بطورکلی وجود سد، رژیم جریان را تغییر داده و این امر به نوبه خود بر ریخت شناسی رودخانه تأثیرگذار است.
- از آنجایی که رسوبات در مخزن سد تله اندازی می‌شود آب خارج شده از سد دارای ظرفیت حمل رسوب بالایی بوده و این امر منجر به فرسایش کناره‌ها و بستر گردیده و بدین سان کف کنی در پایین دست رخ می‌دهد. هر چند روند فرسایش در بازه زمانی طولانی انجام می‌گردد لیکن این پایین افتادگی تراز می‌تواند تا عمق قابل توجهی پیش رود، درصورتی که هیچ نوع کار حفاظتی و یا ساماندهی صورت نگیرد، کف کنی می‌تواند تا فاصله ۱۰۰ الی ۲۰۰ کیلومتری از سد نیز اتفاق افتد. به طور مثال در سد پارکر[2] در آمریکا کف کنی بستر تا فاصله ۱۷۰ کیلومتری نیز ظاهر شده است [۱۲].
- به دلیل کف کنی، رودخانه عمیق تر شده و این مسئله ناپایداری و ریزش کناره‌ها را در پی داردکه در نتیجه آن رودخانه عریض تر خواهد شد [۲۹]. امکان رخداد این پدیده، به ویژه هنگامیکه بستر در اثر تشکیل لایه حفاظتی مسلح می‌گردد، بیشتر است. در رودخانه‌های پیچانرودی نیز این فرایند گاهی وقوع پدیده میانبر و مستقیم شدن مسیر رودخانه را در پی دارد.
- بر اثر پایین افتادن تراز پایه در رودخانه اصلی، پدیده کف کنی و فرسایش در رودخانه‌های فرعی ورودی به رودخانه اصلی انجام می‌شود.
- خروج جریان جت آب از سد و برخورد آن با بستر در پایین دست موجب فرسایش موضعی گردیده و این مسئله از دیدگاه حفاظت بستر و کناره‌ها و ایمن سازی بدنه سد دارای اهمیت است (شکل ۵–۱۶)
- گود شدن بستر رودخانه موجب پایین افتادن سطح آب رودخانه شده و در نتیجه پرش هیدرولیکی ایجاد شده در حوضچه آرامش به طرف پایین دست حرکت خواهد کرد. در شرایط خاص ممکن است افت سطح آب آنقدر محسوس باشد که مانع

1 - Hydrograph
2 - Parker

omoorepeyman.ir

از تشکیل پرش هیدرولیکی گردیده و در نتیجه آب با انرژی زیاد وارد رودخانه شده و پدیده آبشستگی فراگیر را بهمراه داشته باشد.

- در اثر کف کنی سطح آب پایین آمده و آبگیری از رودخانه و ایستگاههای پمپاژ دچار مشکلاتی می‌گردد ضمن آنکه کف کنی زمینه‌های بروز خطر تخریب سازه‌هایی همانند پل و دیواره‌های حفاظتی را فراهم می‌کند.

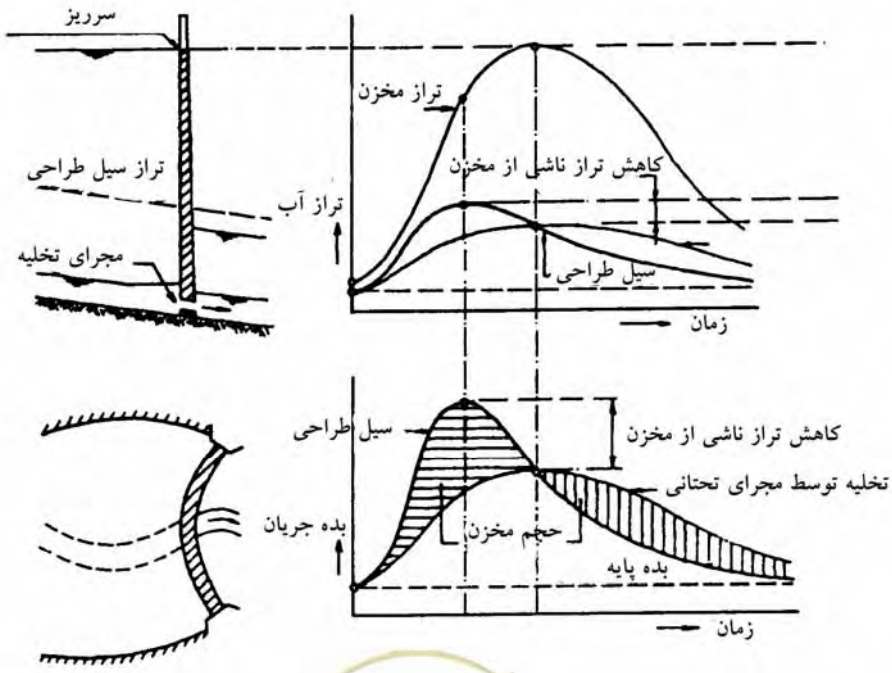


شکل ۵-۱۶- انواع جت آب ایجاد شده توسط سد و فرسایش موضعی

omoorepeyman.ir

۵-۱-۳-۲ سدهای تأخیری

سدهای تأخیری[1] با هدف مهار سیلاب و کاهش تراز سیل در بازه پایین دست ساخته می‌شوند [۱۷و۳۰]. ساخت این نوع سازه‌ها بیشتر بر روی سرشاخه‌ها که دارای ظرفیت آبدهی به نسبت کمی می‌باشند، متداول است. از جمله ویژگیهای سد تأخیری مطابق شکل (۵-۱۷) امکان عبور آزاد جریان در شرایط غیر سیلابی از مجرایی است که در مجاورت کف بستر ساخته می‌شود. در مواقع سیلابی، مازاد بر ظرفیت مجرای تخلیه، آب در مخزن ذخیره و در صورتی که جریان سیلاب ادامه یابد، بخشی از آن توسط سرریزی که به همین منظور طراحی شده تخلیه می‌شود. هر چند درخصوص اثرهای این گونه سازه‌ها از نظر فرسایش و رسوبگذاری در منابع بحثی نشده است. اما آنچه مسلم است وجود چنین سازه‌های کنترل بخشی از مواد رسوبی حمل شده توسط رودخانه به خصوص مواد بار کف را که دارای دانه‌بندی درشت‌تری می‌باشد تله‌اندازی کرده و از این طریق با تغییر ویژگیهای هندسی رودخانه در بالادست بر عملکرد آن تأثیرمی گذارد. از جمله این عوارض بالا آمدن سطح آب در مواقع سیلابی می‌باشد. بدیهی است در ارائه طرح مهار سیلاب لازم است چنین ویژگیهایی ملحوظ شود. در بازه‌های پایین دست نیز به سبب تله‌اندازی رسوبات در مخزن، وقوع فرسایش قابل انتظار است. در عین حال با توجه به قابلیت سدهای تأخیری در تخلیه سریع تر آب ذخیره شده و امکان برقراری جریان عادی در مواقع غیر سیلابی پیامدهای فرسایش و رسوبگذاری این گونه سازه‌ها در مقایسه با سدهای مخزنی چندان زیاد نمی‌باشد.



شکل ۵-۱۷- نمونه‌ای از عملکرد سد تأخیری در مهار سیلاب

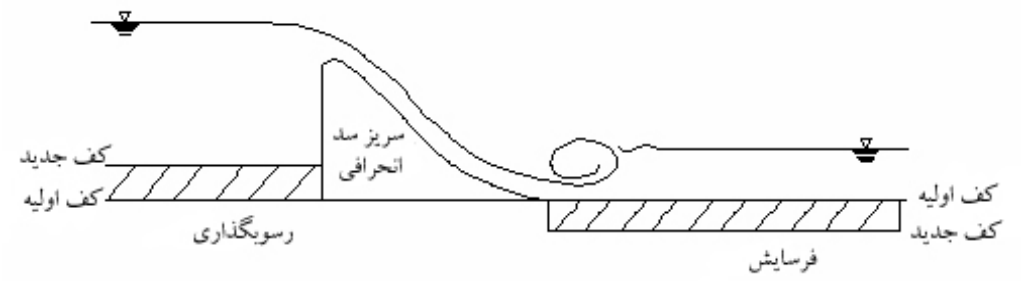
1 - Retarding Dams

omoorepeyman.ir

۵-۱-۳-۳ سدهای انحرافی

ساخت سدهای انحرافی در مسیر رودخانه باعث ایجاد حالت برگشت آب[1] در بالادست سد و در نتیجه افزایش تراز آب و کم شدن سرعت جریان می‌شود. کاهش سرعت جریان نیز کاهش شدید در ظرفیت حمل رسوب رودخانه را در پی دارد. بنابراین رودخانه در بالادست سد انحرافی در حالت رسوبگذاری قرار گرفته و به مرور زمان تراز کف افزایش می‌یابد. تشکیل جزایر رسوبی در بالادست سدهای انحرافی این موضوع را به خوبی نشان می‌دهد.

پایین دست سد انحرافی نیز به علت آنکه جریان آب سرریز شده از سد دارای رسوب کمتری نسبت به حالت طبیعی است، پدیده فرسایش رخ می‌دهد و به دنبال آن تراز کف رودخانه کاهش می‌یابد. در شکل (۵-۱۸) وضعیت فرسایش و رسوبگذاری در پایین دست و بالادست سد انحرافی نشان داده شده است. البته حالت فرسایش و افت تراز کف بیشتر در سالهای اولیه پس از ساخت سد انحرافی برقرار است و پس از آن به علت انتقال بخش عمده‌ای از رسوبات انباشته شده در بالادست به طرف پایین دست، حالت فرسایش به تدریج به حالت رسوبگذاری و بالا آمدن مجدد کف رودخانه تغییر می‌یابد.



شکل ۵-۱۸- رسوبگذاری و فرسایش در بالا و پایین دست سد انحرافی

علاوه بر فرسایش عمومی در پایین دست، سرریز آب از سد انحرافی فرسایش موضعی را نیز در پی دارد. از این رو برای مقابله با پیامدهای آن ساخت حوضچه آرامش در پایاب سد ضروری است. برای محاسبه فرسایش موضعی به بند ۵-۱-۷ همین فصل مراجعه شود و برای توضیحات بیشتر، مطالعه مرجع [۱۲] پیشنهاد می‌شود.

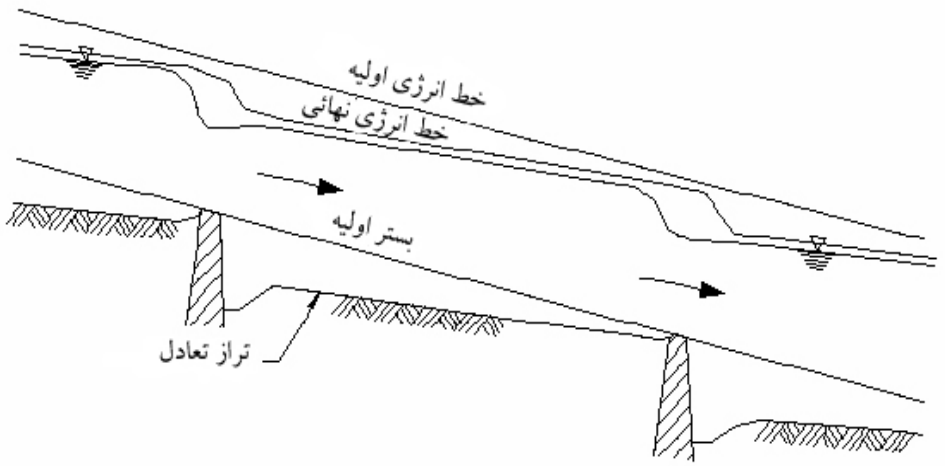
از دیدگاه ساماندهی، ساخت سدهای انحرافی مانند آنچه که درباره سدهای مخزنی عنوان شد پیامدهای مختلفی را به دنبال دارد. در بازه‌های پایین دست وقوع فرسایشهای ممتد منجر به ناپایداری کناره‌ها و تغییر ویژگیهای هندسی رودخانه می‌شود. به علاوه سازه‌های حفاظتی مانند خاکریزها و پوششهای حفاظتی از این پدیده متأثر هستند. در بالادست سد انحرافی رسوبگذاری و افزایش تراز بستر منجر به بالا آمدن سطح آب، به خصوص در مواقع سیلابی شده که تمهیدات حفاظتی لازم را ضروری می‌سازد. به علاوه گسترش اثرهای رسوبگذاری در بازه‌های بالادست عملکرد شاخه‌های فرعی را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. از این رو برای بررسی جامع عکس‌العمل رودخانه در مقابل ساخت سد انحرافی، استفاده از روشهای محاسباتی پیشرفته مانند مدلهای رایانه‌ای سودمند می‌باشد.

1 - Back Water

omoorepeyman.ir

۵-۱-۴ کف‌بندها

جاری شدن جریانهای پر قدرت در رودخانه‌ها موجب فرسایش در کناره و بستر آنها می‌شود. یکی از راههای مقابله با فرسایش بستر به ویژه در رودخانه‌های کوهستانی، که پر شیب هستند، پایدار کردن شیب با ساخت کف‌بندها می‌باشند. در واقع کف بندها سازه‌هایی هستند که در عرض و بستر رودخانه به گونه‌ای ساخته می‌شوند که تراز بالای آنها هم‌تراز کف طبیعی رودخانه بوده و مانند یک بند انحرافی با ارتفاع صفر از کف بستر بنا می‌شوند. این نوع سازه‌ها وقتی مؤثرند که نسبت عمق سیلابی در پایین دست به عمق بحرانی آن به گونه‌ای باشد تا جهش حاصل از عبور آب از کف بند در پایین دست به سرعت مستهلک شده و جریان به حالت فوق بحرانی تبدیل نشود. در این حالت با محاسبه T_w برای سیلاب طراحی و انتخاب عرضی معادل عرض رودخانه و با رعایت معیار مذکور، ارتفاع تاج کف بند از بستر طبیعی آن بدست خواهد آمد [۲۹]. کف بندها از ارتفاع ۰/۲ متر شروع و تا چندین متر ارتفاع به صورت عمودی یا افقی قابل طراحی می‌باشند این سازه به ویژه در بازه‌هایی که فرسایش بسیار شدید و رسوبگذاری نامطلوبی در پایین دست رودخانه تشکیل می‌شود، به کار می‌رود لیکن در رودخانه‌های قابل کشتیرانی استفاده از این سازه توصیه نمی‌شود. کف بندها بیشتر در یک بازه رودخانه به‌صورت سری استفاده می‌شوند [۳۰]. (شکل ۵-۱۹)



شکل ۵-۱۹- تثبیت بستر با استفاده از کف بندها [۳۰]

عملکرد کف بندهای کوتاه مستغرق برای رودخانه‌های با شیب کم براساس تحقیق کنسس[1] و همکاران (۱۹۸۸) به صورت زیر نتیجه‌گیری شده است[۳۰].

- ساخت کف بند موجب جلوگیری از فرسایش بستر در محل ساخت کف بند می‌گردد.
- فرسایش مابین دو کف بند متوالی تا جایی که شیب پایدار برقرار گردد، ادامه می‌یابد.

1 - Knasus

omoorepeyman.ir

پدیده آبشستگی موضعی در پایین دست کف بندها مانند دیگر سازه‌های هیدرولیکی رخ می‌دهد برای محاسبه عمق این آبشستگی روابط مختلفی توسط محققین ارائه شده است. از جمله آنها رابطه زبرمن و مانیاک (۱۹۶۷) است که رابطه زیر را برای میزان عمق آبشستگی در انتهای کف بند افقی با آستانه انتهایی (پایین دست حوضچه آرامش) ارائه داده است: [۶۲]

$$d_s = \frac{2/89 q^{0/82}}{D_{85}^{0/23}} \left(\frac{d_2}{q^{0/66}} \right)^{0/93} - d_2 \qquad (۵-۷)$$

که در آن:

d_s: عمق آبشستگی در انتهای کف بند (متر)

q : بده جریان در واحد عرض (مترمکعب بر ثانیه برمتر)

d_2: عمق جریان در پایین دست کف بند (متر)

D_{85}: اندازه دانه‌بندی ذرات نظیر ۸۵ درصد وزنی

لارسن و فلیک (۱۹۸۳) نیز برای محاسبه عمق آبشستگی کف بند شیبدار رابطه زیر را پیشنهاد کرده‌اند: [۲۹]

$$\frac{D_s}{y_c} = 4 \left(\frac{y_c}{d} \right)^{0/2} - 3 \left(\frac{dyy}{y_c} \right)^{0/1} \qquad (۵-۸)$$

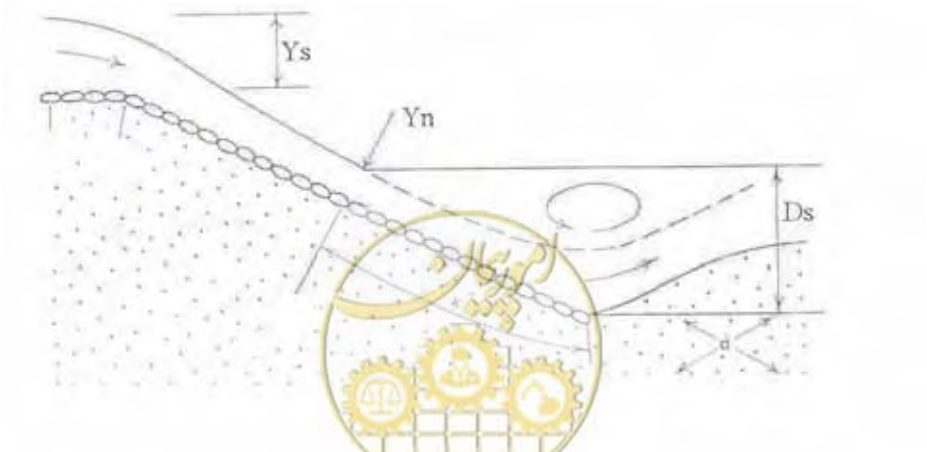
که در آن:

D_s: عمق آبشستگی در پایین دست سازه (متر)

y_c: عمق بحرانی (متر)

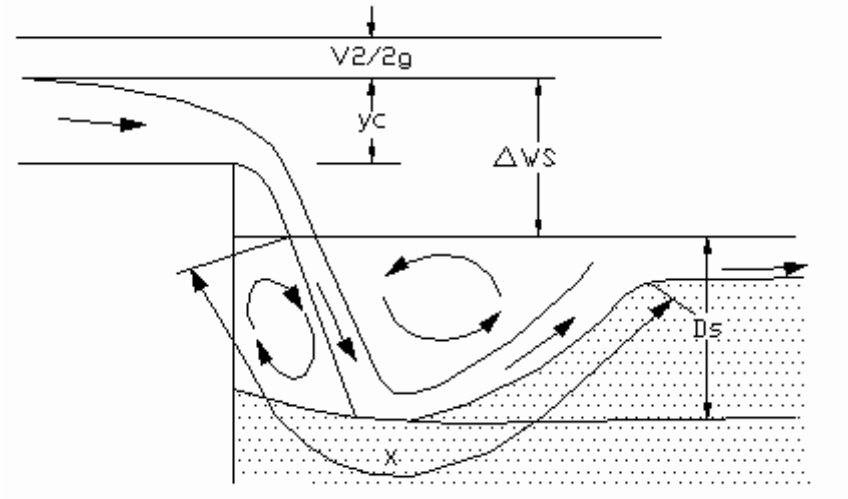
d : قطر ذرات مواد بستر (متر)

dyy : اندازه لایه پوشش سنگی محافظ سازه (متر)



شکل ۵-۲۰- الگوی جریان و آبشستگی در کف بند شیب دار [۲۹]

omoorepeyman.ir



شکل ۵-۲۱- الگوی جریان و آبشستگی در یک آبشار عمودی [۲۹]

فرانک (۱۹۶۰) نیز رابطه زیر را در این زمینه ارائه داده است [۶۱]

$$d_s = 2/49 \frac{H^{0/5} q^{0/67}}{D_{90}^{0/5} g^{0/33}} - y_s \qquad (۹-۵)$$

در رابطه فوق :

d_s : عمق آبشستگی (متر)

y_s : عمق جریان در پایین دست (متر)

H : ارتفاع آب در بالا دست (متر)

D_{90} : اندازه دانه‌بندی ذرات نظیر ۹۵ درصد وزنی

g : شتاب ثقل (مترمربع برمجذور ثانیه)

q : بده جریان در واحد عرض (مترمکعب بر ثانیه برمتر)

۵-۱-۵ سرریزها[1]

فرسایشهای بزرگی اغلب در پایین دست سازه‌های هیدرولیکی همانند سدها، سرریزها و بندهای انحرافی اتفاق می‌افتد. چنین فرسایش موضعی متفاوت از فرسایشهای عمومی است که گاهی تا کیلومترها در پایین دست بازه توسعه می‌یابد. فرسایش

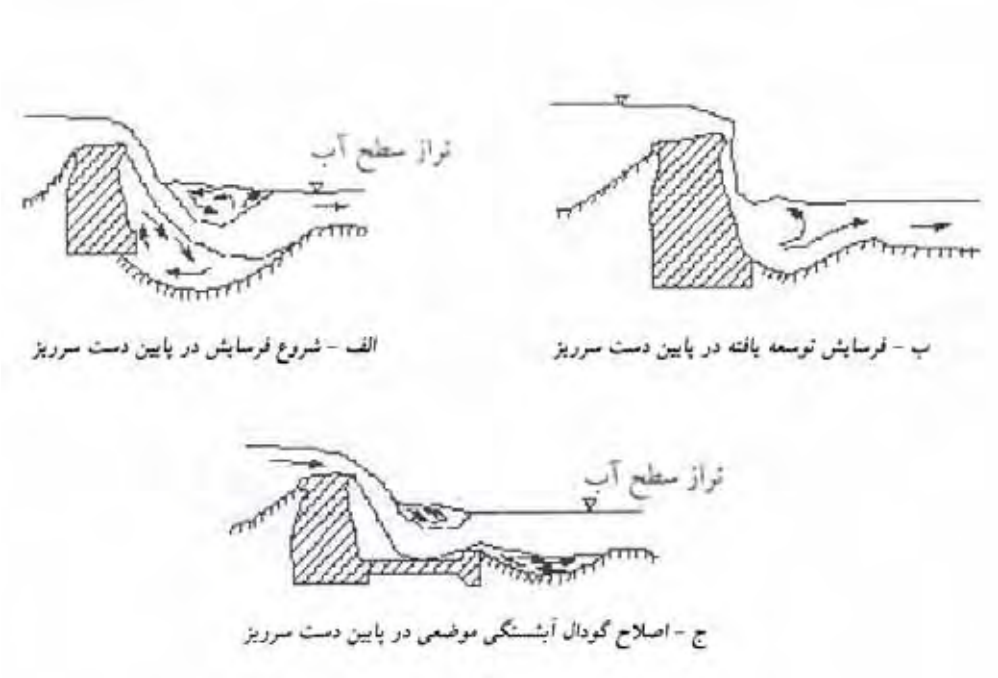
1 - Weirs

omoorepeyman.ir

موضعی بدلیل آنکه جریان انرژی جنبشی[1] زیادی دارد صورت می‌گیرد، اما فرسایش عمومی یا کف کنی به دلیل آزاد شدن جریان بدون رسوب از سد یا سرریز و در نهایت جدا شدن ذرات رسوبی از بستر و کناره پایین دست بازه مذکور به منظور تأمین ظرفیت حمل رسوب انجام می‌شود. وقوع فرسایش موضعی تحت شرایط زیر امکان‌پذیر است :

- ناکافی بودن مقدار استهلاک انرژی
- شکل‌گیری پرش هیدرولیکی ناپایدار در پنجه پایین دست سازه و یا انتقال این پرش به خارج از کف حوضچه آرامش
- بالا بودن تراز کف حوضچه آرامش بهمراه سرعت بالاتر جریان و در نهایت تشکیل جریانهای گردابی[2] در پایین دست سازه‌های هیدرولیکی

در شکل ۵-۲۲ چگونگی تلاطم و گردش جریان در پایین دست یک سرریز آبشاری عمودی و نقش آن در ایجاد حفره‌های آبشستگی نمایش داده شده است [۱۲].



شکل ۵-۲۲- نمایی از آبشستگی موضعی در پایین دست سرریز

یادآور می‌شود که برای مهار فرسایش و تثبیت بستر استفاده از کف بندهای شیب‌دار بر سازه‌های شیب شکن ترجیح داده می‌شود و دلیل آن عمق آبشستگی کمتر و پایداری بهتر آن می‌باشد.

omoorepeyman.ir

1 - Kinetic Energy
2 - Edi

۵-۱-۶ شیب‌شکنها[1]

از جمله روشهای تثبیت بستر رودخانه و جلوگیری از فرسایش آن ساخت شیب شکن در بستر رودخانه می‌باشد. شیب شکن در واقع سازه‌ای است که به صورت آبشار قائم و با ارتفاع کمی از کف بستر در عرض رودخانه ساخته می‌شود و اغلب به منظور کنترل جریان، در پایین دست آنها نیز حوضچه آرامش بنا می‌شود. بدیهی است تعداد سازه‌های تثبیت کف با توجه به شیب رودخانه و ارتفاع سازه تعیین می‌گردد.

پدیده آبشستگی موضعی در پایین دست شیب شکنها نیز اتفاق افتاده و عمق آن با زمان تغییر می‌کند. بر خلاف تحلیل جریان و میزان آبشستگی در حالت تنگ شدگی رودخانه، این کار در سازه‌های شیب شکن بسیار پیچیده بوده و ارائه رابطه‌ای دقیق را مشکل می‌سازد. لیکن براساس تحقیقات انجام شده روابطی برای محاسبه عمق آبشستگی موضعی توسط محققین ارائه شده است که از جمله آنها رابطه لارسن و فلیک (۱۹۸۳) می‌باشد. برای یک شیب شکن قائم، عمق آبشار[2] کسری از عمق بحرانی است. الگوی جریان و آبشستگی در یک شیب شکن قائم در شکل ۵-۲۱ نمایش داده شده است. رابطه پیشنهادی لارسن و فلیک به صورت زیر می‌باشد [۳۲].

$$\frac{D_s}{y_c} = 8\left(\frac{V_c}{\omega_\circ}\right)^{\frac{3}{4}} - \frac{6 + V_c/\omega_\circ}{\sqrt{1 + 2\Delta\omega s / y_c}} \qquad (۱۰-۵)$$

که در آن:

D_s: عمق آبشستگی (متر)

y_c: عمق بحرانی (متر)

V : سرعت بحرانی (متر بر ثانیه)

$\omega_\circ$: سرعت سقوط دانه‌های متوسط بستر (متر بر ثانیه)

$\Delta\omega s$: افت تراز آب بین بالادست و پایین دست سازه (متر)

برای کاهش عمق آبشستگی معمولاً مواد طبیعی بستر با مواد مقاوم و محافظ جایگزین می‌شود.

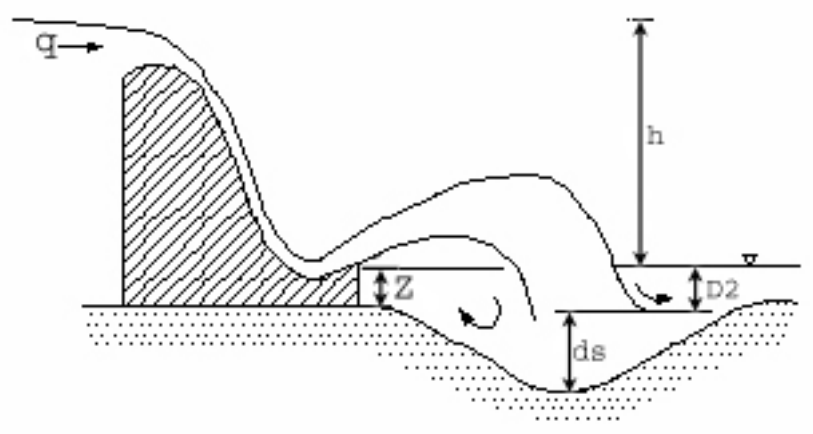
شکل ۵- ۲۲- الف مرحله شروع آبشستگی را بلافاصله در پایین دست سرریز بدون حوضچه آرامش نشان می‌دهد که در آن جریانهای گردابی که بر خلاف عقربه‌های ساعت می‌چرخند، تشکیل شده و به سرعت قدرت فرسایش زیاد می‌شود. مواد فرسایش یافته نیز در پایین‌دست ترسیب می‌شود. در شکل۵-۲۲- ب نیز مرحله توسعه یافتگی حفره آبشستگی و تغییر الگوی جریانهای گردابی در حفره و پس ازگذشت مدت زمانی، از ابتدای شروع آبشستگی آورده شده است. همانگونه که مشخص است وجود جریانهای گردابی در جهت عقربه‌های ساعت در نزدیکی بستر و وجود جریان گردابی خلاف عقربه‌های ساعت در نزدیکی سطح آب برقرار شده است. در این حالت ذرات شسته شده به سمت سرریز حرکت کرده و در مجاورت آن ترسیب می‌گردند. در

1 - Drops
2 - Overfall

omoorepeyman.ir

شکل ۵-۲۲- ج نیز سرریز عمودی که دارای حوضچه آرامش بهمراه لبه[1] است، نمایش داده شده و وجود جریان چرخشی در پایین دست لبه باعث می‌گردد که ذرات رسوبی مقابل لبه رسوبگذاری شوند.

آبشستگی موضعی در پایین دست یک سرریز پرشی نیز در شکل ۵-۲۳ نمایش داده شده است.



شکل ۵-۲۳- آبشستگی موضعی در سرریز باکتی [۱۲]

محققین برای محاسبه عمق آب شستگی ناشی از برخورد جریان پرشی از این نوع سرریز با بستر رودخانه، روابط مختلفی ارائه داده‌اند که از جمله آنها رابطه خواستاریا[2] است [۶۲].

$$d_s = 0/9(qh)^{0/5} \qquad (۱۱-۵)$$

رابطه پیشنهادی مارتین[3] نیز به صورت زیر است [۱۲].

$$D_2 + d_s = 1/59q^{0/6}Z^{0/1} \qquad (۱۲-۵)$$

که در آنها :

d_s : عمق آبشستگی (متر)

q : بده جریان (مترمکعب بر ثانیه بر متر)

1 - Lip
2 - Khatsuria
3 - Martin

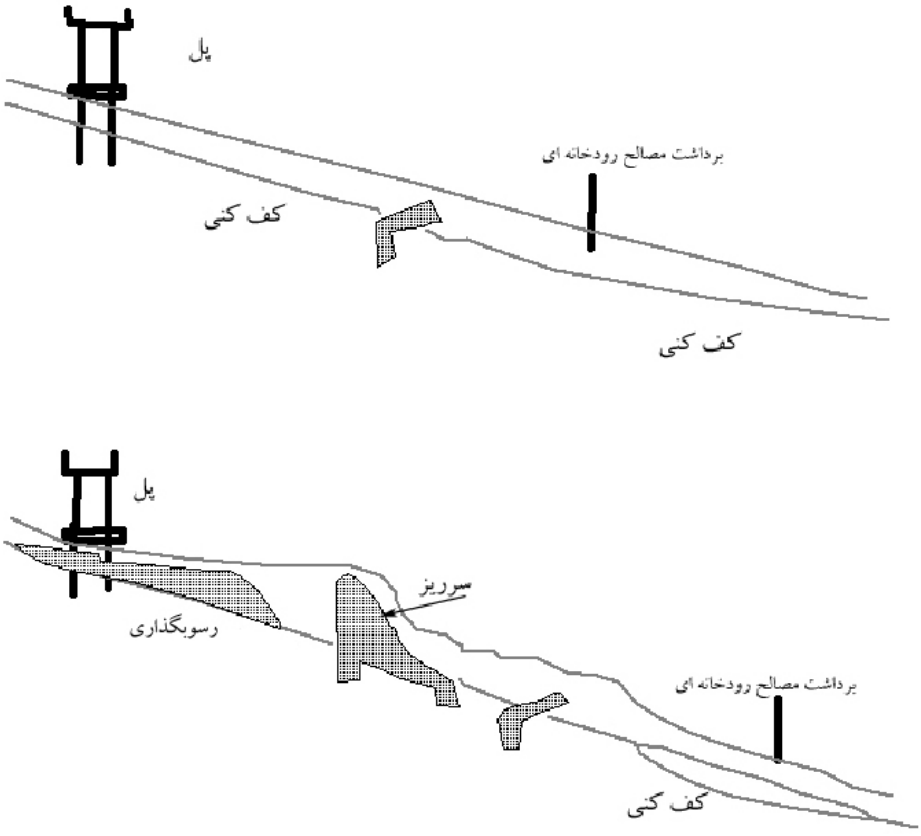
omoorepeyman.ir

h : ارتفاع سرریز (متر)

Z : ارتفاع لبه باکت سریز از بستر رودخانه قبل از فرسایش (متر)

D_2 : عمق جریان در پایین دست (متر)

از جمله موارد کاربرد سرریزها در رودخانه‌ها، کنترل فرسایش و تثبیت بستر می‌باشد. به طور مثال در رودخانه برنتا[1] در ایتالیا به منظور توقف فرسایش ناشی از برداشت مصالح رودخانه‌ای واقع در پایین دست پل ساخته شده، سرریزی ساخته شد که هر چند بدلیل عدم پیش‌بینی مناسب عمق آبشستگی در پای سرریز و طراحی نامناسب، در اثر سیلاب فروریخت، لیکن پس از طراحی مجدد سرریز با رعایت اصول فنی، بستر رودخانه تثبیت و فرسایش متوقف گردید [۳۲]. بنابراین می‌توان عملکرد سرریزها را مشابه آنچه که درخصوص بندهای انحرافی توضیح داده شده، بیان نمود. یعنی رسوبگذاری در بالادست و کف کنی در پایین دست آن که به تدریج و با گذشت زمان کمتر می‌شود.



شکل ۵-۲۴- مواردی از اثرهای ساخت سرریز در تثبیت بستر رودخانه [۳۲]

omoorepeyman.ir

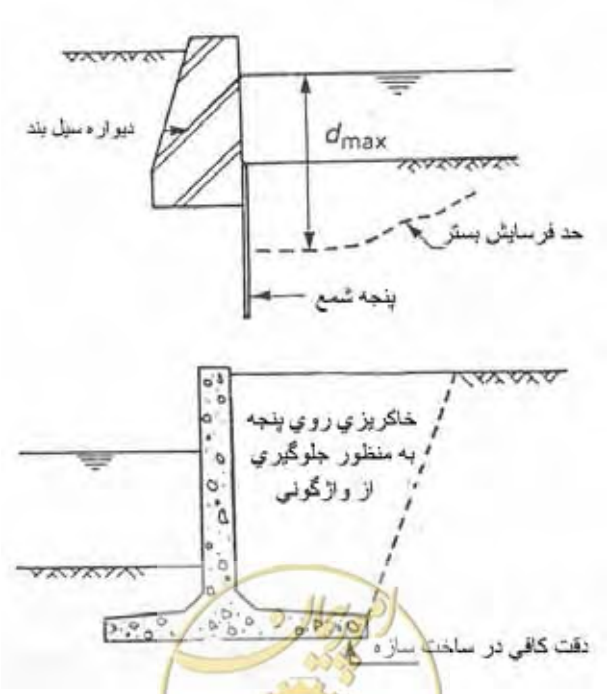
1 - Brenta

۵-۲ سازه‌های طولی

سازه‌های طولی با هدف مهار سیلاب و حفاظت دیواره‌های ساحلی رودخانه در مقابل نیروی فرسایشی جریان ساخته می‌شوند. به علاوه در مواردی نیز هدف از این نوع سازه‌ها بهسازی و ایجاد راستای مناسب و اصلاح مسیر می‌باشد. از انواع سازه‌های طولی می‌توان به دیواره‌های سیل‌بند پوششهای حفاظتی، خاکریزها (گوره‌ها) و نرده کشی (حصار کشی[1]) اشاره نمود. سازه‌های طولی موجب تغییر ویژگیهای هندسی مجرا و بروز شرایط هیدرولیکی جدید می‌گردند که این امر به نوبه خود پدیده فرسایش و رسوبگذاری و خصوصیات ریخت شناسی رودخانه را متأثر می‌کند. کاهش مقطع جریان از جمله نمودهای بارز ساخت سازه‌های طولی است. کاهش مقطع، سرعت جریان را افزایش داده و به تبع آن ظرفیت حمل رسوب رودخانه نیز رو به افزایش می‌گذارد. این پدیده بگونه‌ای که در بخشهای آتی ارائه خواهد شد موجب تشدید فرسایش در محدوده ساماندهی و رسوبگذاری در بازه‌های پایین دست می‌گردد. در زیر به بررسی اثرهای ساخت سازه‌های طولی در فرآیند فرسایش و رسوبگذاری رودخانه پرداخته شده است.

۵-۲-۱ *دیواره‌های سیل بند*

دیواره‌های سیل بند با هدف مهار سیل و ایمن سازی اراضی حاشیه رودخانه در برابر هجوم سیلاب ساخته می‌شوند. با ساخت دیواره‌های سیل بند امکان حفاظت کناره‌ها از خطر فرسایش نیز فراهم گردیده و با تثبیت موقعیت رودخانه جابجاییهای عرضی و تغییرات پلان مسیر در محدوده ساماندهی متوقف می‌گردد. استفاده از دیواره‌های سیل بند بیشتر در مناطق شهری و صنعتی و در مواردی که گزینه سازه‌های عریض مانند خاکریزها به دلیل محدودیت اراضی قابل توجیه نیست، مطرح می‌باشد. در شکل ۵-۲۵ نمونه‌ای از دیواره‌های سیلبند ساخت شده در امتداد حاشیه رودخانه (مجرای اصلی) نشان داده شده است [۵].



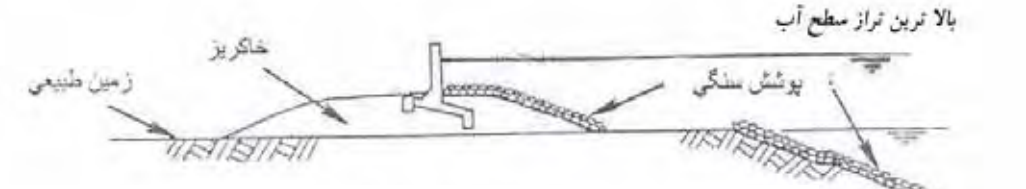
شکل ۵-۲۵- نمونه‌هایی از دیواره‌های سیل بند در طرحهای ساماندهی [۵]

1 - Fencing

omoorepeyman.ir

در مواردی دیواره‌های سیل بند در خارج از مجرای اصلی و گاهی به صورت ترکیب با خاکریزها در اراضی سیلابدشت ساخته می‌شوند. در شکل ۵-۲۶ نمونه‌هایی از ساخت دیواره سیلبند در اراضی حاشیه‌ای نشان داده شده است [۲۹].

الف- جایی که محدودیت مکانی به منظور ساخت خاکریز وجود دارد



ب- جایی که محدودیت ارتفاعی به منظور ساخت خاکریز وجود دارد

شکل ۵-۲۶ - مواردی از ساخت دیواره‌های سیل بند در محدوده سیلابدشت [۲۹]

با ساخت دیواره‌های سیل بند جریان آب در محدوده مشخصی هدایت شده و مقطع جریان نسبت به حالت طبیعی کاهش می‌یابد. این پدیده به خصوص در مواردی که سازه‌ها در حاشیه مجرای اصلی ساخته می‌شوند، از نمود بیشتری برخوردار است. با هدایت جریان در مسیر مشخص و تنگ شدگی نسبی مقطع ظرفیت حمل رسوب افزایش یافته و این امر موجب بروز فرسایشهای عمومی و موضعی می‌گردد. از این رو در استفاده از این سازه‌ها لازم است اثرهای ناشی از فرسایش و رسوبگذاری پیشاپیش بررسی شوند. برای تعیین فرسایش عمومی ناشی از ساخت دیواره سیل بند و پیش بینی میزان افت بستر می‌توان از روابط موجود بهره جست. این روابط بیشتر برای حالت تنگ شدگی ممتد[1] مطابق آنچه که در شکل ۵-۲۷ نشان داده شده ارائه شده‌اند [۳۰]. همچنین می‌تواند برای سازه‌های طولی مانند سیل بندها نیز که موجب کاهش مقطع جریان می‌گردند، استفاده شود.

از جمله روابط موجود برای تعیین ΔZ (عمق فرسایش) رابطه کمورا[2] می‌باشد [۶] :

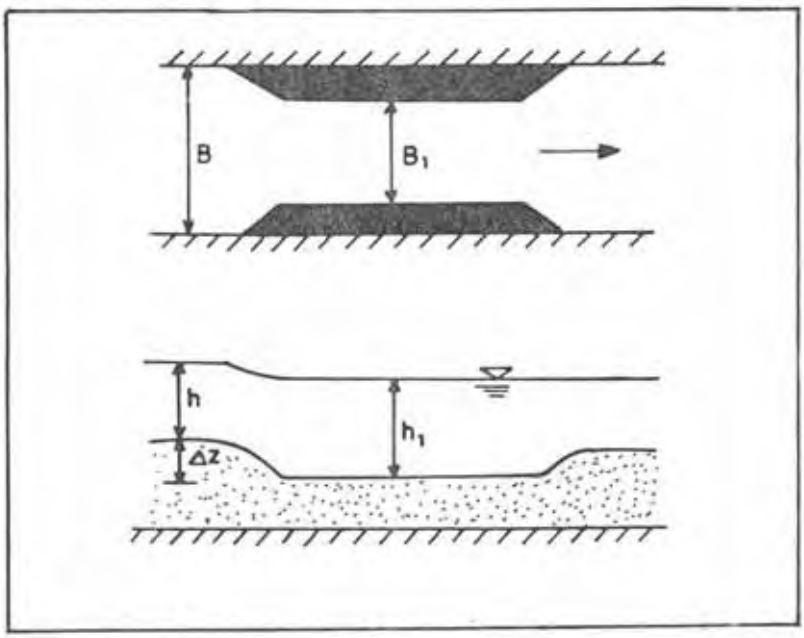
$$\frac{\Delta Z}{h} = (1 + 1/2 F_r^2)\left[\left(\frac{B}{B_1}\right)^{2/3} - 1\right] \qquad (۱۳-۵)$$

1 - Long constriction
2 - Komura

omoorepeyman.ir

رابطه دیگری توسط می‌چیو[1] و همکاران برای تعیین عمق فرسایش ناشی از کاهش مقطع جریان به صورت زیر ارائه شده است [۱۸] :

$$\frac{\Delta Z}{h}=\left[\left(\frac{B_1}{B}\right)^{-4/7}-1\right]+(0/5F_r^2)\left[\left(\frac{B_1}{B}\right)^{-6/7}-1\right] \qquad (۱۴-۵)$$



شکل ۵-۲۷ - الگوی فرسایش عمومی در تنگ شدگی ممتد ناشی از ساخت سازه‌های طولی [۳۰]

در روابط فوق :

ΔZ افت تراز بستر ناشی از فرسایش عمومی (متر)، h : عمق آب در مقطع بالادست (مقطع طبیعی به متر)، B_1: عرض مجرا در محدوده ساماندهی (متر)، B : عرض مجرا در مقطع بالادست (متر)، F_r: عدد فرود که از رابطه زیر حاصل می‌شود :

$$F_r=v/\sqrt{gh} \qquad (۱۵-۵)$$

که در آن :

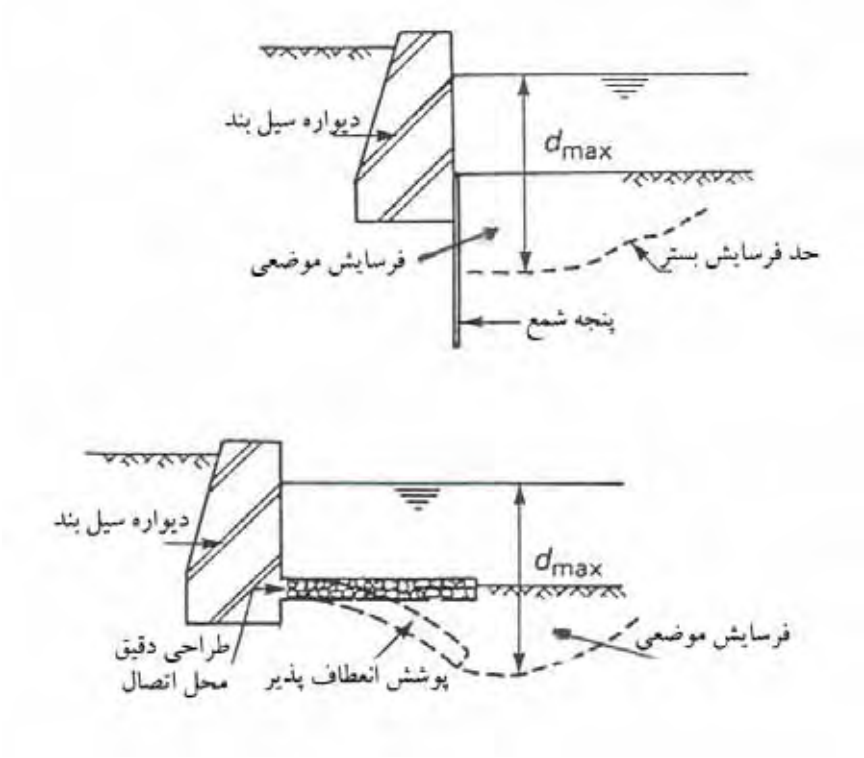
v : سرعت متوسط جریان در مقطع بالادست (متر بر ثانیه) و بقیه عوامل قبلاً تعریف شده‌اند.

1 - Michiue

omoorepeyman.ir

معادلات متعدد دیگری برای تعیین گودافتادگی ناشی از ساخت سازه‌های طولی ارائه گردیده که برای آگاهی از جزئیات آنها مراجع [۲۹]، [۳۰] و [۳۱] پیشنهاد می‌شود.

علاوه بر فرسایش عمومی، وقوع فرسایش موضعی در محدوده دیواره‌های سیل بند پایداری و استحکام سازه‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در شکل ۵–۲۸ مواردی از پدیده پنجه شویی و تشکیل چاله فرسایش در پای دیواره‌های سیل بند نشان داده شده است [۵].



شکل ۵–۲۸ – مواردی از وقوع فرسایش موضعی (پنجه شویی) در پای دیواره سیلبند و راههای مقابله با آن [۵]

برای تضمین سلامت سازه و پایداری شالوده، لازم است تمهیدات حفاظتی مطابق آنچه که در شکل۵–۲۸ نشان داده شده است، پیش‌بینی گردد. برای دیواره سمت چپ از روش سپرکوبی[1] استفاده شده و چاله فرسایشی مستقیماً در پای دیواره اتفاق می‌افتد و برای دیواره سمت راست چاله فرسایشی توسط پوشش انعطاف‌پذیر[2] در فاصله مشخصی از شالوده مهار شده است. دلایل متعددی برای وقوع فرسایش موضعی وجود دارد که از جمله تشکیل پشته‌های رسوبی در مجاورت سازه و انحراف و تمرکز موضعی جریان در محدوده دیواره می‌باشد. به‌علاوه در قوسها با تشکیل جریانهای گردابی خطر وقوع فرسایش موضعی

1 - Sheet Piling (piled toe)
2 - Flexible Skirt

omoorepeyman.ir

تشدید می‌گردد. برای تعیین عمق چاله فرسایشی در پاشنه سازه‌های طولی معادله خاصی ارائه نگردیده و دراین خصوص استفاده از تجارب کارشناسی و گاهی بهره‌گیری از مدلهای فیزیکی پیشنهاد شده است [۵ و ۲۹ و۳۰].

منابع رسوبی حاصل از وقوع فرسایش عمومی و موضعی در محدوده سازه‌های طولی به پایین دست منتقل شده و با رسوبگذاری در بستر رودخانه سبب بر هم خوردن شرایط موجود رودخانه و تغییر رفتار آن می‌گردد. از این رو لازم است اثرهای فرابازه‌ای ساخت دیواره‌های سیل بند از دیدگاه فرسایش و رسوبگذاری بررسی شود. بررسی کم و کیف چنین فرایندی مستلزم بهره‌گیری از مدلهای کامپیوتری و شبیه‌سازی عملکرد رودخانه برای جریانهای عادی و سیلابی می‌باشد.

۵-۲-۲ پوششهای حفاظتی کناره‌ها[1]

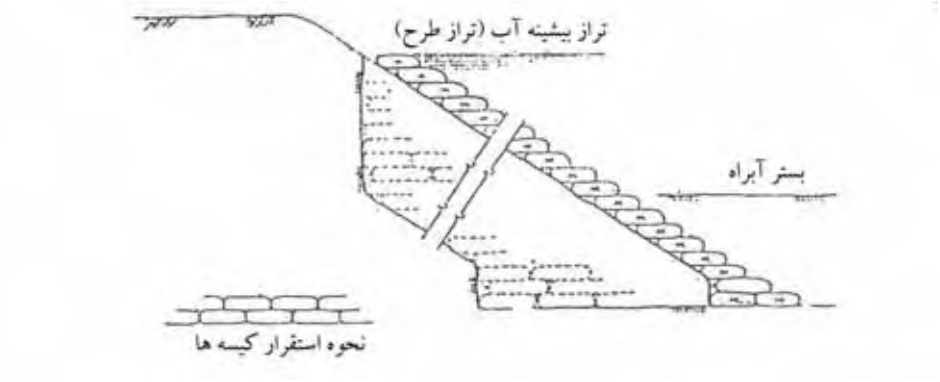
پوششهای حفاظتی با هدف تثبیت کناره‌های فرسایشی رودخانه ساخته می‌شوند. این پوششها دارای انواع مختلفی بوده و با توجه به ملاحظات فنی و اقتصادی و دیدگاههای کارشناسی برای تحقق اهداف موردنظر انتخاب می‌گردند. در شکل ۵-۲۹ دو نمونه از پوششهای حفاظتی شامل پوشش کیسه‌ای و پوشش سنگ چین نشان داده شده است [۵۸،۵].

با تثبیت کناره‌ها و توقف فرسایش عرضی تمایل جریان به فرسایش و کف کنی بستر بیشتر شده و مانند آنچه که در دیواره‌های سیل بند مطرح گردید، امکان وقوع فرسایش بازه‌ای و گودافتدگی بستر تشدید می‌گردد. برای تعیین میزان افت تراز بستر ناشی از ساخت پوشش حفاظتی روابط خاصی ارائه نگردیده اما چنانچه ساخت پوشش حفاظتی منجر به کاهش مقطع جریان رودخانه گردد، تعیین گود افتادگی عمومی با استفاده از معادلات کمورا و می‌چیو و مانند آن امکان‌پذیر است. در این حالت نیز پوششهای حفاظتی به عنوان سازه‌های طولی بخشی از مقطع جریان طبیعی رودخانه را بخود اختصاص داده و به صورت تنگ شدگی ممتد موجب افزایش توان حمل رسوب می‌گردد.

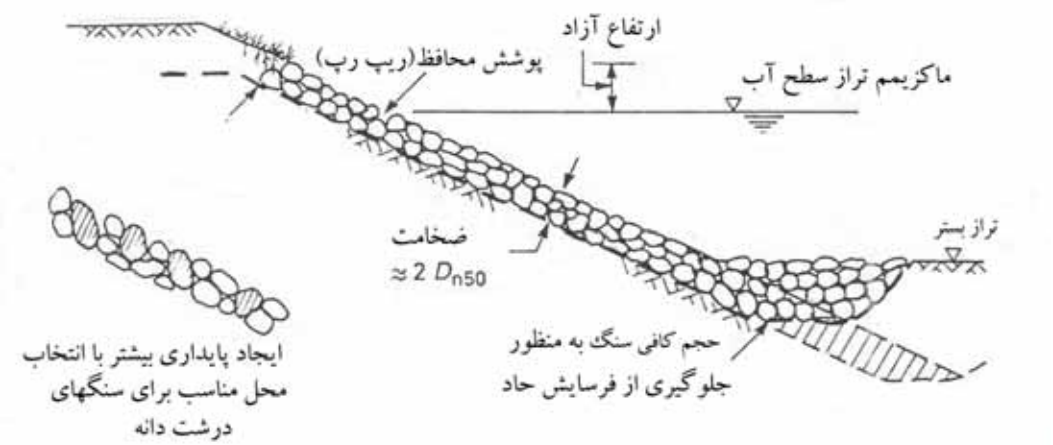
رسوبات حمل شده به نوبه خود در پایین دست فرصت ترسیب یافته و ویژگیهای هندسی و رفتار ریخت شناسی رودخانه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. از این رو لازم است در طراحی این گونه سازه‌ها پیشاپیش اثرهای فرسایش و رسوبگذاری وپیامدهای آن بررسی شود و حسب مورد تمهیدات لازم برای مقابله با عوارض احتمالی فراهم گردد. علاوه بر فرسایش طولی، پوششهای حفاظتی مواجه با فرسایشهای موضعی نیز می‌باشند. این نوع فرسایش در پنجه سازه که محل تلاقی پوشش حفاظتی با بستر آبرفتی می‌باشد اتفاق می‌افتد. در شکل ۵-۳۰ نمونه‌هایی از فرسایش موضعی و راهکار مقابله با آن نشان داده شده است [۵]. برای ایجاد پایداری و جلوگیری از لغزش توده ای، لازم است حفاظت پنجه تا عمق حداکثر فرسایش (d_{max})انجام شود. تعیین مقدار d_{max} مستلزم بهره‌گیری از تجارب کارشناسی بوده و در مواردی نیز استفاده از مدلهای فیزیکی توصیه شده است.

omoorepeyman.ir

1 - Bank revetments

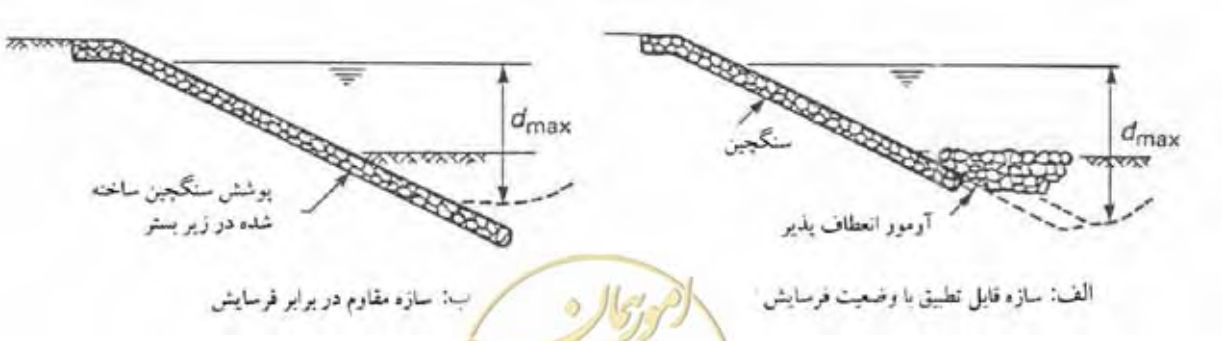


الف – پوشش حفاظتی کیسه ای



ب – پوشش حفاظتی سنگچین

شکل ۵-۲۹- نمونه‌ای از پوششهای حفاظتی مورد استفاده در تثبیت کناره‌ها [۵ و ۵۸]



شکل ۵-۳۰ - پنجه شویی و وقوع فرسایش موضعی در پوششهای حفاظتی [۵]

omoorepeyman.ir

در قوس رودخانه‌ها روابطی برای تعیین عمق آبشستگی موضعی توسط متخصصان ارائه شده است. از جمله تورن[1] رابطه زیر را برای تعیین عمق چاله فرسایشی d_{se} پیشنهاد کرده است:

$$\frac{d_{se}}{y} = 1/07 - \mathrm{Log}\left(\frac{R}{B} - 2\right) \qquad (۵-۱۶)$$

در این رابطه:

d_{se}: عمق چاله فرسایشی موضعی در پنجه پوشش حفاظتی (متر)،

y : عمق جریان آب (متر)

R : شعاع انحناء قوس رودخانه (متر)،

B : عرض رودخانه (متر).

در مرجع [۵۸] جزئیات کاملتری در خصوص اصول و مبانی حاکم بر طراحی پوششهای حفاظتی و بررسی پیامدهای آن ارائه شده است بعلاوه اطلاعات مفیدی در منابع [۵،۲۹و۳۰] موجود می‌باشد.

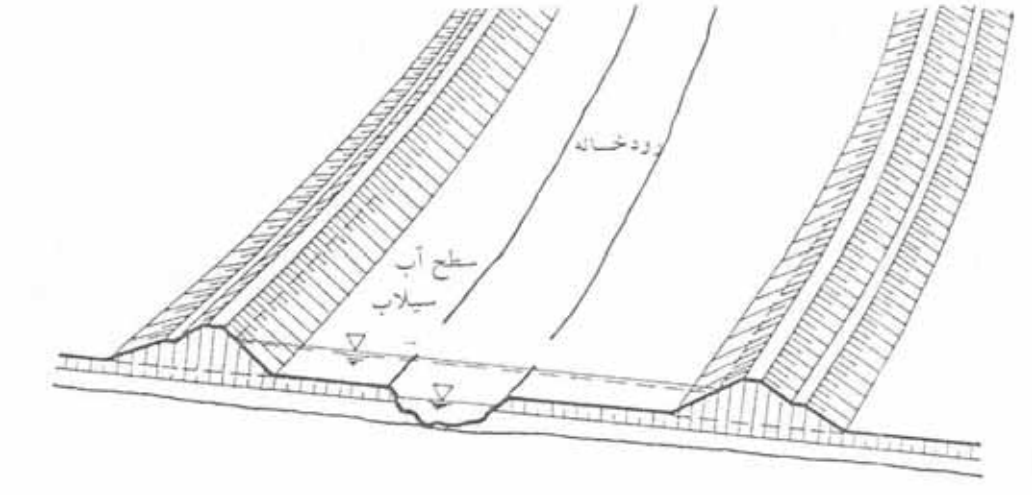
۵-۲-۳ خاکریزهای سیل بند یا گوره‌ها[2]

از جمله روشهای متداول برای مقابله با خطرات سیلاب استفاده از خاکریز یا گوره می‌باشد. این سازه‌ها بیشتر در خارج از مجرای اصلی و در محدوده سیلابدشت ساخته می‌شوند. در شکل ۵-۳۱ نمونه‌ای از خاکریزهای ساخته شده برای مهار سیلاب نشان داده شده است [۵۱]. در مواردی نیز مانند شکل ۵-۳۲ سیلابهای کم توسط خاکریزهای کمکی در امتداد سواحل رودخانه، مهار گردیده و برای سیلابهای مهم خاکریز اصلی در سیلابدشت ساخته می‌شوند. در شکل ۵-۳۲ همچنین اثرهای ساخت خاکریز در فرایند فرسایش و رسوبگذاری نشان داده شده است. همانطور که در شکل مشخص است، ساخت خاکریز مانند سایر سازه‌های طولی بطور محسوسی موجب کاهش مقطع جریان گردیده (به ویژه در حالتی که خاکریزها در مجاورت مجرای اصلی قرار گیرند از شدت بیشتری برخودار است) و پیامدهای فرسایش و گودافتادگی ممتد بستر را به دنبال دارد.

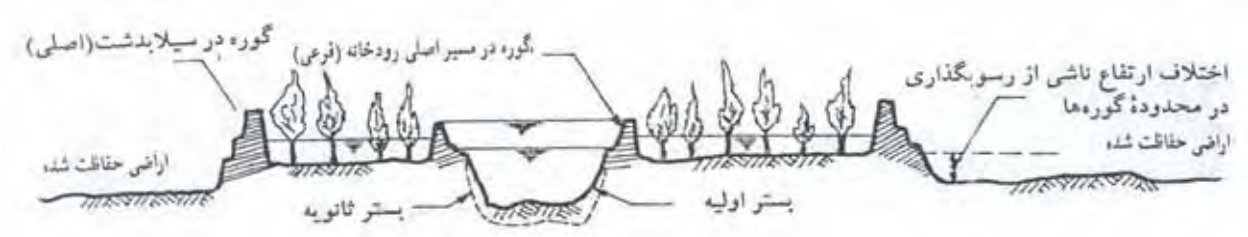
تعیین عمق فرسایش یا کف کنی عمومی ناشی از ساخت خاکریزها مانند سازه‌های طولی یادشده درمباحث پیشین از معادلات مربوط به تنگ شدگی مقطع مندرج در بند ۵-۲-۱ امکان پذیر است. در مواردی ساخت خاکریز موجب تشدید رسوبگذاری در سیلابدشت گردیده و با گذشت زمان ممکن است اختلاف ارتفاع محسوسی بین اراضی دو طرف خاکریزها (سمت رودخانه و قسمت حفاظت شده در مقابل سیلاب) آشکار شود. نمونه بارز چنین حالتی در مسیر رودخانه زرد[3] واقع در کشور چین است که در طی زمان ته نشست تدریجی رسوبات و ضرورت افزایش ارتفاع خاکریزها منجر به بروز اختلاف ارتفاع قابل توجهی بین اراضی حفاظت شده (اراضی مسکونی و کشاورزی در ناحیه جلگه) و اراضی سمت رودخانه گردیده است [۶۲].

omoorepeyman.ir

1 - Thorne
2 - Levees
3 - Yellow River



شکل ۵-۳۱ - موقعیت خاکریزهای ساخت شده درناحیه سیلابدشت [۵۱]



شکل ۵-۳۲ - مهار سیلاب توسط خاکریزهای ساخت شده در امتداد مجرای اصلی و سیلابدشت و پیامدهای فرسایشی و رسوبگذاری ناشی از آن [۱۲]

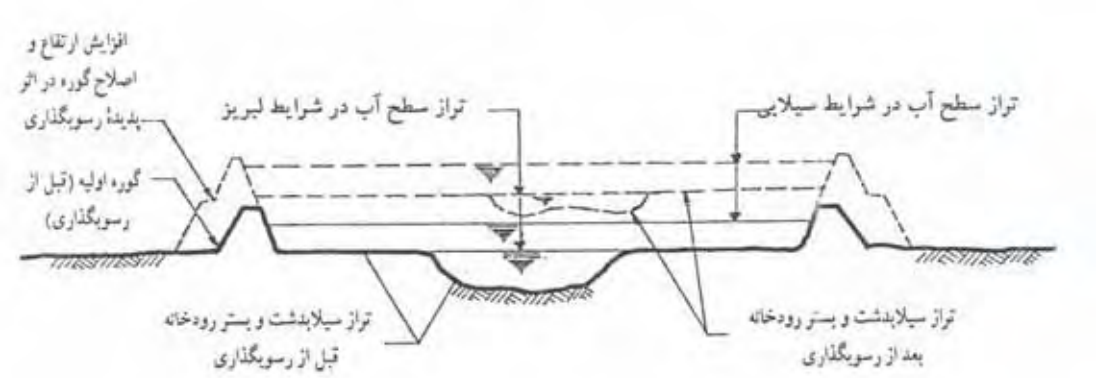
درشکل ۵-۳۳ بعنوان نمونه اختلاف ارتفاع ناشی از رسوبگذاری در محدوده خاکریزها و اراضی حفاظت شده ارائه می‌گردد. علت تشدید رسوبگذاری کاهش محسوس سرعت جریان سیلاب نسبت به مجرای اصلی است که در نتیجه آن مواد رسوبی حمل شده توسط جریان آب در ناحیه کم سرعت سیلابدشت ترسیب می‌گردد. در مواردی نیز تغییر کاربری اراضی و تشدید فرسایش سطح حوضه آبریز موجب افزایش بار رسوبی رودخانه گردیده و رسوبات حمل شده در بازه‌های پایین دست از جمله محدوده سازه‌های طولی و مجرای اصلی مطابق آنچه که در شکل ۵-۳۳ نشان داده شده است رسوب می‌کند [۱۲].

این پدیده موجب جابه جایی مجرای اصلی وافزایش تراز بستر و تغییر ساختار ریخت شناسی رودخانه می‌شود. برای حفظ کارآیی خاکریزها، لازم است مطابق شکل ارتفاع گوره‌ها متناسب با وضعیت رسوبگذاری افزایش داده شود. از این رو لازم است در ساماندهی رودخانه‌ها با هدف مهار سیلاب با استفاده از خاکریزها، اثرهای این گونه پدیده‌های فرابازه‌ای در اندرکنش فرسایش و رسوبگذاری و عملکرد سازه پیشاپیش بررسی و تجزیه و تحلیل کارشناسی شود. از طرفی فرسایش ممتد و وقوع کف‌کنی و گودافتادگی بستر در اثر ساخت خاکریزها درپاره‌ای از موارد،ممکن است بازه‌های بالادست و ازجمله شاخه‌های فرعی متصل به رودخانه را نیز متاثر کند، بروز چنین حالتی مطابق شکل ۵-۳۴ فرسایش پیش رونده[1] را در شاخه‌های فرعی سبب

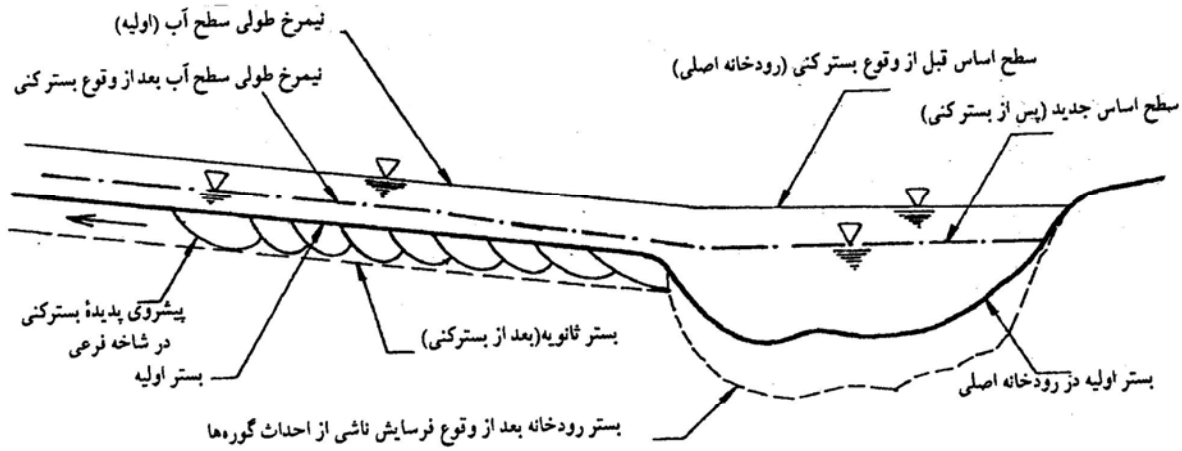
1 - Head Cutting

omoorepeyman.ir

گردیده و زنجیره‌ای از تغییرات ریخت شناسی و ویژگیهای هندسی رودخانه را برای رسیدن به تعادل جدید در پی دارد بدیهی است چنین فرایندی زمینه ناپایداری سازه‌ای را در خاکریزهای مجاور مجرای اصلی به صورت ریزشهای توده‌ای کناره‌ها به ویژه در مواقع سیلابی فراهم می‌آورد.



شکل ۵-۳۳- تأثیرپذیری ساختار ریخت شناسی رودخانه و ضرورت افزایش تراز خاکریزها ناشی از تشدید رسوبگذاری ناشی از فرسایش سطح حوضه آبریز و بازه‌های بالادست [۱۲و۵۱]



شکل ۵-۳۴- فرسایش ناشی از ساخت خاکریز در مجرای اصلی و تأثیرآن بر وقوع فرسایش پیش‌رونده در شاخه‌های فرعی [۳۲و۵۸]

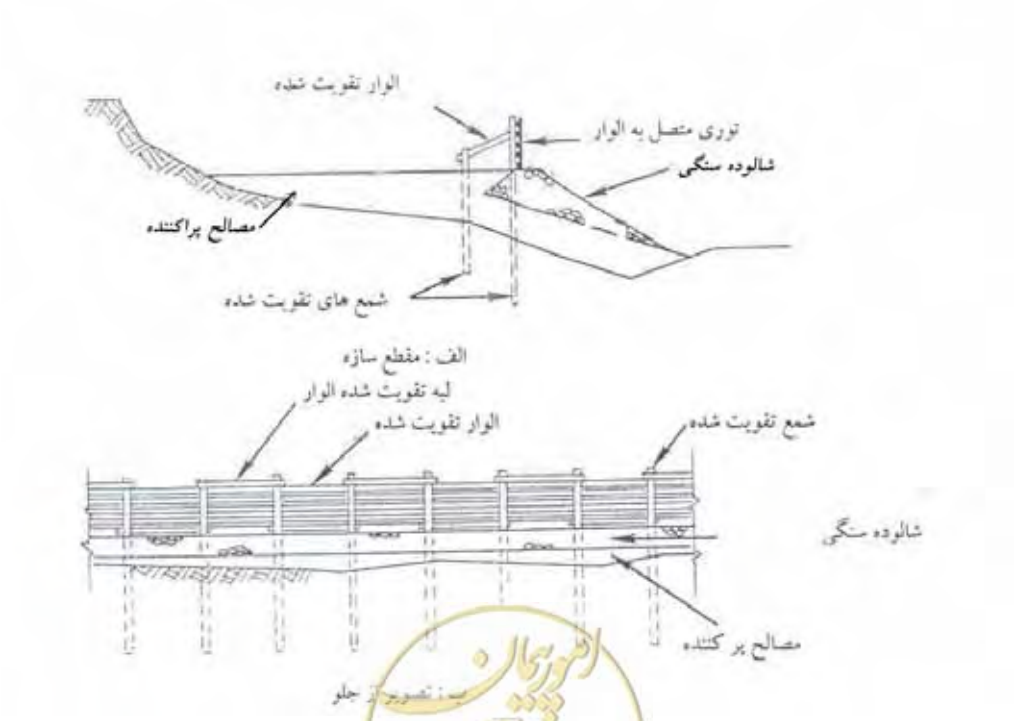
علاوه بر فرسایش عمومی، در مواردی وقوع فرسایشهای موضعی ناشی از برخورد جریانهای پیچشی در محدوده قوس رودخانه‌ها و موانع وانباشته‌های رسوبی موجود در سیلابدشت و بستر رودخانه‌های شریانی که موجب انحراف و تمرکز جریان در پاشنه سازه می‌گردد، محتمل می‌باشد. وقوع فرسایشهای موضعی از جمله عوامل تخریب خاکریزها بوده و موجب بر هم

omoorepeyman.ir

خوردن توازن هیدرولیکی و انتقال رسوب رودخانه می‌گردد و لازم است در مطالعات ساماندهی اثرهای چنین فرایندی، مطالعه و بررسی شود.

۵-۲-۴ نرده کشی (حصارکشی[1])

ساخت دیواره‌های طولی نفوذپذیر یا نرده کشی با استفاده از مصالح چوبی، قطعات ریلها، تیرها یا لوله‌های بتنی و فلزی و نیز توری سیمی از جمله روشهای متداول در ساماندهی رودخانه‌ها می‌باشد. نرده‌کشی روش حفاظت کناره‌ها و سواحل رودخانه می‌باشد که بیشتر برای رودخانه‌های با شیب کم، بار رسوبی زیاد و حاوی مواد شناور مانند قطعات چوب و لاشه درختان و پوششهای گیاهی مناسب می‌باشد.[۶۱]. در شکل (۵-۳۵) نمونه‌ای از ساختار نرده‌کشی با استفاده از الوارهای چوبی و مصالح سنگی نشان داده شده است [۲۹]. دراین شکل نرده‌های ساخته شده با فاصله‌ای از ساحل رودخانه در امتداد طولی مستقر شوند. در اثر کاهش سرعت جریان به تدریج در فضای بین نرده‌ها و ساحل رودخانه رسوبات انباشته شده و از این طریق شرایط مناسبی برای پایدار سازی کناره‌ها و توقف فرایند فرسایش فراهم می‌آید. نرده‌های طولی کناره‌ها را تثبیت و بخشی از منابع تغذیه رسوبی رودخانه را کنترل می‌کند. مطابق شکل (۵-۳۵) با توجه به موقعیت نرده‌ها امکان کاهش مقطع جریان و وقوع فرسایشهای طولی و افت تراز بستر ناشی از ساخت این گونه سازه‌های حفاظتی وجود دارد و لازم است در طرحهای ساماندهی رفتار فرسایش و رسوبگذاری رودخانه بر اثر اقدامات حصارکشی بررسی شود. در مرجع [۲۹] جزئیات بیشتری در این‌خصوص ارائه شده است.



شکل ۵-۳۵- نرده کشی طولی برای تثبیت کناره‌های رودخانه و مهار فرسایش [۲۹]

1 - Fencing

omoorepeyman.ir

۵-۳ اقدامات اصلاح مسیر

اقدامات اصلاح مسیر ازجمله روشهای متداول در طرحهای ساماندهی رودخانه‌ها است که با هدف بهسازی مجرا و ایجاد راستای مناسب برای هدایت جریانهای عادی و سیلابی و همچنین کاهش پیامدهای نامطلوب حاصل از فرسایش و رسوبگذاری انجام می‌گیرد.

پدیده انتقال رسوب، رودخانه‌ها را دستخوش تغییرات ساختاری نموده و از این‌رو انسان برای بهره‌برداری مؤثر از منابع رودخانه‌ای و تثبیت موقعیت و برقراری شرایط مطلوب ریخت‌شناسی ناگزیر از اقدامات اصلاحی و اعمال تمهیدات حفاظتی می‌باشد. از جمله عوارض عینی انتقال رسوب، تشکیل تلماسه‌ها و بارهای رسوبی در بستر رودخانه‌ها است که این امر کاهش ظرفیت جریان، تشدید سیلاب و بروز ناهنجاریهای رفتاری را سبب می‌گردد. به علاوه شکل گیری انواع رودخانه‌ها مانند رودخانه‌های پیچانرودی، شریانی و مستقیم حاصل تأثیر متقابل فرسایش و رسوبگذاری بوده و تعریض بستر، تغییر راستا جابه جاییهای عرضی و طولی و بروز میانبرهای طبیعی از جمله عوامل ناپایداری این گونه رودخانه‌ها می‌باشد که به طرق مختلف محیط زندگی انسان و فعالیتهای عمرانی را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد. مجموعه عوامل بالا، اقدامات اصلاح مسیر به منظور بهره‌برداری منطقی از رودخانه‌ها و مقابله با پیامدها و کاهش خسارات آنها را الزام آور می‌کند. در این راستا با توجه به تنوع ماهیت رفتاری رودخانه‌ها و اهداف مورد نظر، شرایط مختلفی در حوزه اقدامات اصلاح مسیر بروز می‌کند که در ادامه به بررسی هر یک از این حالات پرداخته شده است.

۵-۳-۱ *پاکسازی مسیر از انباشته‌های رسوبی و مصالح رودخانه‌ای*

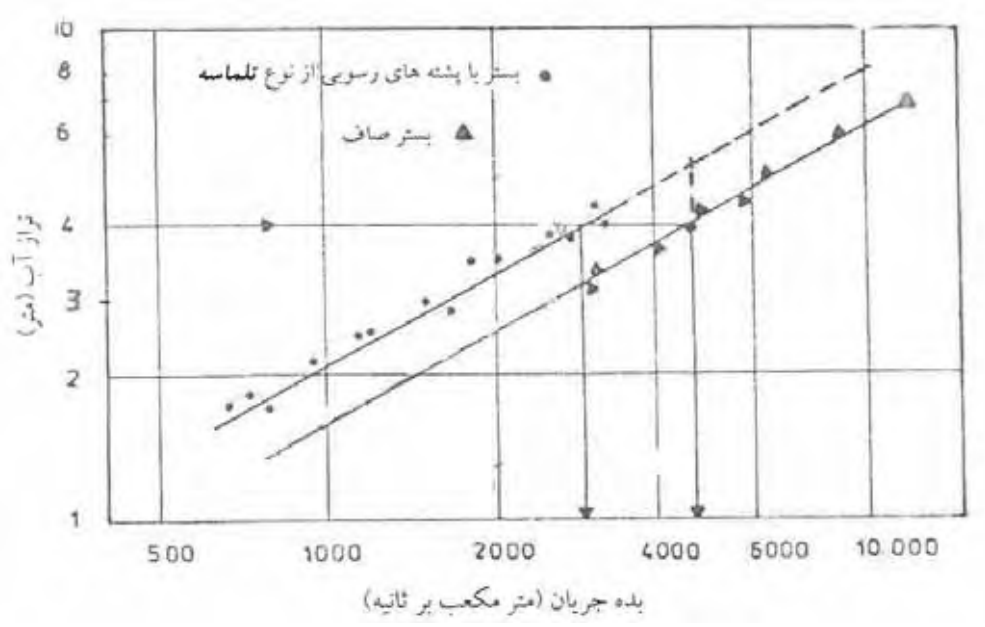
انباشته‌های رسوبی موجود در بستر رودخانه‌ها اغلب موجب اختلال در هیدرولیک جریان و بر هم خوردن ساختار هندسی و رفتار رودخانه می‌گردد. از این رو مقابله با چنین پدیده‌ای مستلزم پاکسازی مسیر و حذف مواد رسوبی انباشته شده در بستر رودخانه است. (شکلهای مختلف رسوبگذاری در بستر رودخانه‌ها در بند ۱-۲-۴ تشکیل تلماسه‌ها، جزایر و پشته‌های رسوبی در بستر رودخانه‌ها، ارائه شده است) عوارض حاصل از وجود انباشته‌های رسوبی را می‌توان به‌صورت زیر خلاصه نمود:

- کاهش سطح مقطع جریان
- افزایش اصطکاک بستر
- تمرکز و تفرق متناوب جریان
- وقوع پدیده پنجه شویی ناشی از تمرکز جریان وریزش توده‌ای کناره‌ها
- بر هم خوردن شکل هندسی مسیر و تغییر ویژگیهای ریخت شناسی رودخانه
- افزایش تراز آب و تشدید سیل گرفتگی

در شکل ۵-۳۶ نمونه‌ای از عملکرد رودخانه در حالت وجود انباشته‌های رسوبی و بستر صاف نشان داده شده است [۳۹].

مطابق این شکل برای آبدهی ۴۰۰۰ متر مکعب درهر ثانیه، تراز آب برای بستر صاف برابر با ۴ متر و در شرایط وجود انباشته‌های رسوبی به بیش از ۵ متر افزایش می‌یابد. به عبارتی وجود انباشته‌های رسوبی با کاهش سطح مقطع وتشدید مقاومت بستر همراه بوده و بطور محسوسی تراز آب را افزایش می‌دهد.

omoorepeyman.ir



شکل ۵-۳۶- نمایش چگونگی تأثیر انباشته‌های رسوبی در کاهش ظرفیت رودخانه [۳۹]

پاکسازی انباشته‌های رسوبی به روش لایروبی و یا کاهش عرضی مجرا به منظور افزایش توان حمل رسوب انجام می‌گیرد. در روش لایروبی مواد رسوبی به صورت دوره‌ای به خارج از محدوده رودخانه حمل گردیده و از این طریق مطابق شکل ۵-۳۶ با صاف شدن بستر ظرفیت عبور جریان افزایش یافته و وضعیت رودخانه بهبود می‌یابد. در مواردی با کاهش عرض رودخانه سرعت جریان افزایش یافته و رودخانه قادر است مواد رسوبی موجود در بستر را به بازه‌های پایین دست منتقل نماید. در چنین حالتی تثبیت کناره‌های رودخانه و ایجاد راستای مناسب با استفاده از روشهای سازه‌ای مانند ساخت آبشکن و یا دیواره‌های حفاظتی طولی ضروری است. در شکل ۵-۳۷ مواردی از اصلاح مسیر و کاهش عرض رودخانه با هدف افزایش ظرفیت حمل رسوب و پاکسازی بستر از انباشته‌های رسوبی با استفاده از آبشکنها نشان داده شده است [۳۰].

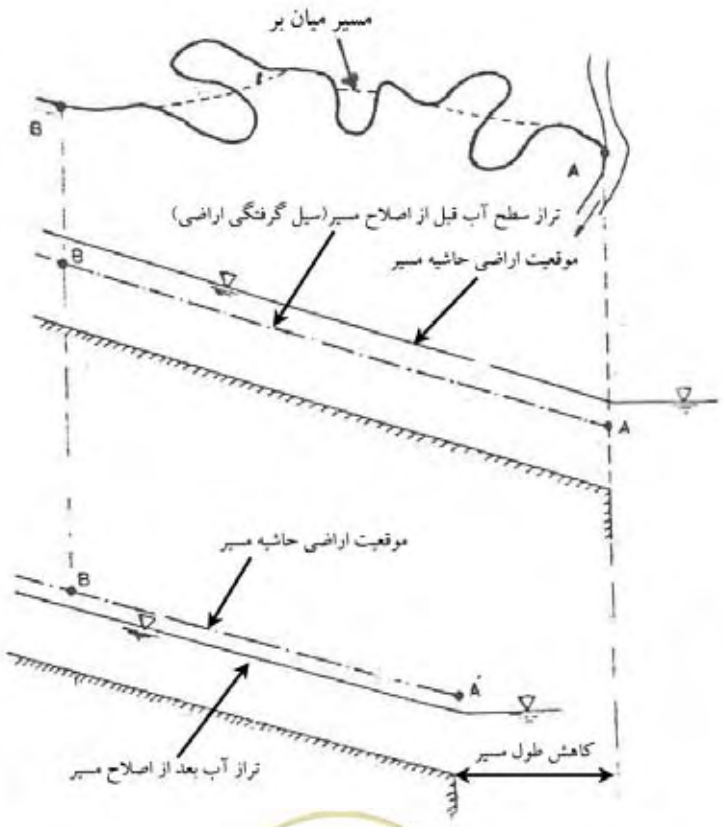
شکل۵-۳۷- مواردی از اصلاح مسیر وکاهش عرض مجرا با هدف پاکسازی بستر از رسوبات با استفاده ازآبشکن [۳۰]

omoorepeyman.ir

۵-۳-۲ اصلاح مسیر با ایجاد میانبرها

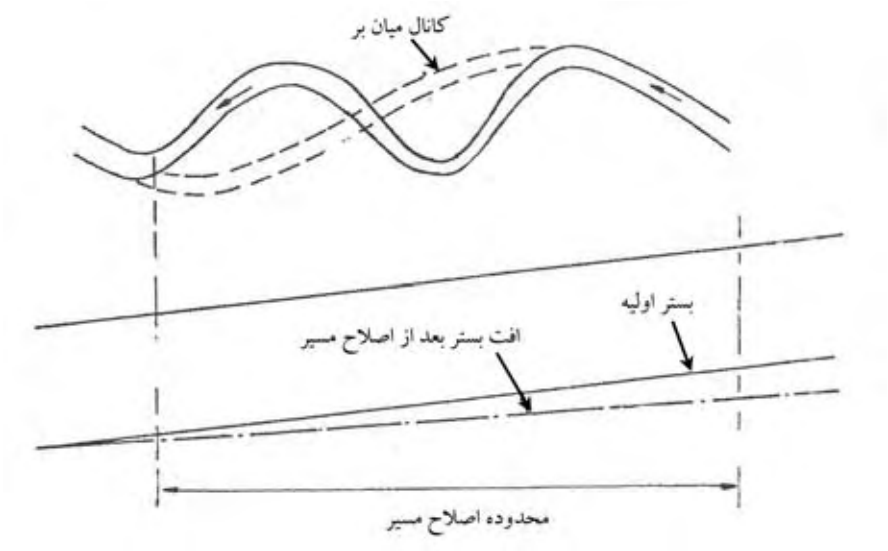
وجود پیچهای تند در رودخانه‌ها یکی از عوامل تشدید سیلاب بوده و برای مقابله با آن اصلاح مسیر با ایجاد میان بر ضروری است. بعلاوه پیچهای تند درجه انحناء مسیر رودخانه را افزایش داده و این امر با تشدید فرسایش و رسوبگذاری در قوسها سبب ناپایداری کناره‌ها و بر هم خوردن تدریجی ساختار هندسی رودخانه و تغییر پلان و پروفیل آن می‌گردد. پاسخ رودخانه به این گونه فعل و انفعالات رفتاری، وقوع میانبرهای طبیعی است که برای برقراری توازن در نظام رودخانه‌ای بوقوع می‌پیوندد. (در خصوص وقوع میان برهای طبیعی به بند ۳-۳-۲ و شکل ۳-۶ مراجعه شود). با ایجاد میان بر مطابق شکل ۵-۳۸ مسیر جریان کاهش یافته و در اثر افزایش شیب رودخانه و ایجاد راستای مناسب ظرفیت عبور جریان نیز رو به افزایش می‌گذارد [۱۷]. این امر کاهش تراز آب را در شرایط سیلابی در پی دارد. از طرفی افزایش ظرفیت آبگذری و شیب رودخانه از عوامل مؤثر بر ظرفیت انتقال رسوب بوده و با ایجاد میان بر مطابق شکل ۵-۳۹ فرایند فرسایش بستر در محدوده اصلاح مسیر و بازه‌های مجاور آغاز می‌گردد [۱۷]. در طرحهای ساماندهی برای آگاهی از عملکرد فرسایش و رسوبگذاری ناشی از اقدامات اصلاح مسیر در دوره‌های زمانی مختلف استفاده از مدلهای کامپیوتری برای شبیه‌سازی رفتار رودخانه پیشنهاد شده است.

جزئیات بیشتر در خصوص پیامدهای ناشی از ایجاد میانبر و راههای مقابله با آن در مراجع ۱۷و۲۹ ارائه شده است.



شکل ۵-۳۸- نمایش چگونگی تأثیر ایجاد میان بر در افزایش ظرفیت آبگذری و انتقال رسوب و کاهش تراز آب [۱۷]

omoorepeyman.ir

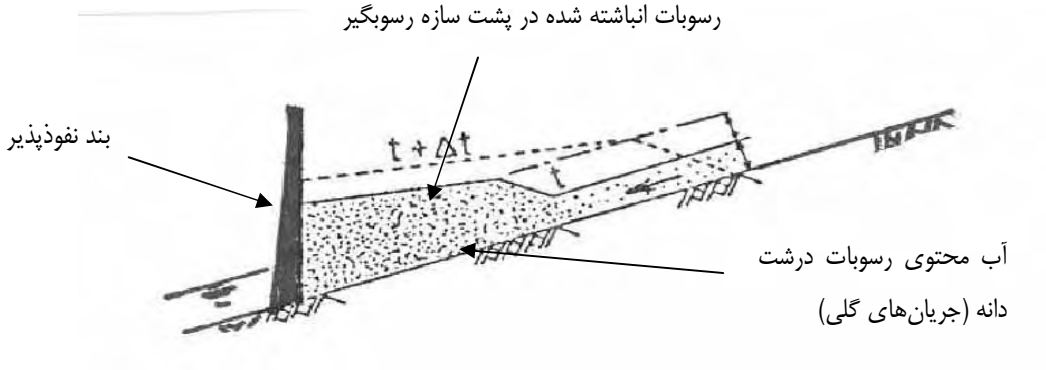


شکل ۵-۳۹ - تأثیر ایجاد میان بر و کوتاه شدن مسیر رودخانه در تشدید فرسایش بستر [۱۷]

۵-۳-۳ انحراف یا انسداد شاخه‌های پر رسوب

شاخه‌های پر رسوب همراه جریانهای سیلابی حجم زیادی از رسوبات را وارد رودخانه می‌کند و از این طریق رژیم رسوبی آن را تحت تأثیر قرار می‌دهند. به دلیل محدودیت توان حمل رسوب، بخشی از مواد رسوبی ورودی در بستر رودخانه انباشته شده و سبب افزایش تراز آب در مواقع سیلابی و تشدید خطرسیل گرفتگی اراضی اطراف می‌گردد.به علاوه تجمع موضعی رسوبات در محل اتصال شاخه‌ها، انحراف جریان و بروز اختلال در رفتار هیدرولیکی رودخانه را در پی دارد. ناپایداری کناره‌ها و تغییر ویژگیهای رودخانه از دیگر پیامدهای تغذیه توسط شاخه‌های پر رسوب می‌باشد (بند ۴-۱-۲) در شکل ۴-۲ نمونه‌ای از نحوه تخلیه رسوب و پیامدهای آن ارائه شده است. [۴۰]. در مواردی نیز جریانهای غلیظ و جریانهای گلی از طریق شاخه‌های جانبی وارد رودخانه اصلی شده و به صورت مانع طبیعی موجب انسداد موقتی آن می‌گردد (بند ۴-۲-۱۱). برای مقابله با اثرهای شاخه‌های پررسوب راهکارهای مختلفی وجود دارد که از جمله ساخت بندهای نفوذپذیر و بندهای رسوبگیر از روشهای متداول در ساماندهی رودخانه‌ها است [۱]. بندهای نفوذپذیر به خصوص برای مهار جریانهای گلی و واریزه‌ای مؤثر می‌باشند. این نوع بندها دارای قابلیت زهکشی بوده و رسوبات درشت دانه را تله اندازی نموده و ریزدانه‌ها را به پایین دست منتقل می‌کند. در شکل ۵-۴۰ نمونه‌ای از بندهای نفوذپذیر و نحوه انباشت رسوبات نشان داده شده است [۱]. بندهای رسوبگیر بخش عمده‌ای از رسوبات شامل مواد ریز و درشت را همراه جریان آب تله انداز می‌کند. بندهای نفوذپذیر از قطعات آهن و به صورت مشبک ساخته می‌شوند. در مواردی نیز امکان ساخت بندهای نفوذپذیر با استفاده از تور سنگی (گابیون) وجود دارد. در سازه‌های تورسنگی علاوه بر درشت دانه‌ها رسوبات ریزدانه در پشت سازه انباشته می‌شود.

omoorepeyman.ir



شکل ۵-۴۰ - نمونه‌ای از عملکرد بندهای نفوذپذیر در تله‌اندازی توده‌ای مواد رسوبی در شاخه‌های پررسوب [۱]

طرحهای مهار سیلاب مانند انسداد و انحراف شاخه‌های پر رسوب و سیل خیز و هدایت آن به بازه‌های پایین دست از جمله گزینه‌های مطرح می‌باشد. به علاوه در صورت فراهم بودن شرایط توپوگرافی جریانهای دارای مواد رسوبی زیاد را می‌توان به گودالهای طبیعی و مناطق پست هدایت کرد.

۵-۳-۴ *بررسی عملکرد رودخانه در قبال اقدامات اصلاح مسیر*

اقدامات اصلاح مسیر منجر به حذف عوامل ناهنجاری مانند پشته‌های رسوبی، پیچابهای تند شاخه‌های پر رسوب و مقاطع غیر منظم گردیده و از این طریق ظرفیت انتقال جریان و توان حمل رسوب را در محدوده ساماندهی افزایش می‌دهد. در چنین شرایطی بستر رودخانه فرسایش یافته و مواد رسوبی بدست آمده به پایین دست منتقل می‌گردد. این امر رسوبگذاری تدریجی و تراز افزایی را در بازه‌های پایین دست در پی دارد. از طرفی پدیده فرسایش ناشی از اصلاح مسیر اثرهای خود را به تدریج در بازه‌های بالادست نیز گسترش داده و با بروز فرایند کف کنی ناپایداری کناره‌ها و بر هم خوردن ویژگیهای هندسی مسیر آغاز می‌گردد (بعنوان مثال در خصوص تشدید فرسایش بستر ناشی از ایجاد میان بر به شکل ۵-۳۹ مراجعه شود).

۵-۴ پوششهای گیاهی

نقش پوشش گیاهی در مهار فرسایش و رسوب شناخته شده و مورد پذیرش قرار گرفته است. در طرحهای ساماندهی رودخانه از این روش به منظور حفاظت، کنترل فرسایش و رسوب و یا اصلاح مسیر رودخانه‌ها استفاده می‌شود [۶۴]. علاوه بر آن پوشش گیاهی به علت قابلیت تجدید حیات و بازسازی طبیعی خود و نیز پویا بودن آن به عنوان یک گزینه اقتصادی و پایدار مورد توجه است [۷۲].

مطالعه و تحقیقات مختلفی در رابطه با نقش و اثر پوشش گیاهی در ساماندهی رودخانه‌ها انجام شده است. این مطالعات نشان می‌دهد پوشش گیاهی از طریق تحکیم خاکدانه‌ها و بهبود ساختمان خاک، تحت تأثیر عمل ریشه گیاهان، موجب افزایش مقاومت دیواره‌ها و زیاد شدن مقاومت خاک در برابر نیروی فرسایشی آب گردیده و با حفاظت طبیعی حاشیه و کناره مسیر

omoorepeyman.ir

رودخانه، کاهش میزان رسوب حمل شده توسط جریان آب را موجب می‌گردد.علاوه بر آن اندامهای هوایی گیاهی نیز باعث افزایش زبری دیواره‌ها و کاهش سرعت و تنش برشی جریان آب در مواقع سیلابی می‌گردد که به نوبه خود در کاهش اثرهای فرسایشی جریان آب مؤثر است.

از این رو پوشش گیاهی به صورت بالقوه توانایی پایدار نمودن و حفاظت سواحل رودخانه‌ها را از طریق کاهش خطر فرسایش و کنترل رسوب دارا می‌باشد. علاوه بر نقش مستقیم پوشش گیاهی در تثبیت خاک کناره‌ها، وجود این نوع پوشش در اراضی حاشیه بالادست رودخانه و همچنین سطح حوضه آبریز نقش مهمی در جلوگیری از فرسایش خاک و کاهش رسوب حمل شده به رودخانه دارد [۱۴]. توجه به این امر از دیدگاه اقدامات ساماندهی ضروریست (شکل ۵-۴۱).

۵-۴-۱ تعریف پوشش گیاهی[1]

استفاده از گیاهان مختلف در قالب فرمهای رویشی چمنی، علفی، بوته‌ای، درختچه و درخت همچنین بکارگیری مصالح گیاهی[2] مانند چوب، سرشاخه، ترکه، اندام هوایی گیاه و در مواردی استفاده ترکیبی از آنها با هدف حفاظت دیواره‌ها و مهار فرسایش و جلوگیری از تشدید رسوبگذاری را روش حفاظت گیاهی می‌نامند.

شکل ۵-۴۱- حفاظت کناره‌های رودخانه با پوشش گیاهی [۳۵]

omoorepeyman.ir

1 - Biological Revetment
2 - Plant Material

کاربرد این روش از جنبه‌های سهولت اجرا و اقتصادی بودن آن از دیرباز مورد توجه دست اندرکاران مسائل رودخانه‌ای و از جمله راهکارهای متداول برای حفاظت کناره‌ها در برابر فرسایش و رسوب قلمداد می‌گردد. تلفیق روش گیاهی با سایر روشهای سازه‌ای طبعاً موجب افزایش کارایی و عمر مفید این گونه سازه‌ها می‌شود. اگرچه ازدیدگاه مدیریتی (ساخت و نگهداری) این روش مشکلات، مسائل و پیچیدگیهای خاص خود را داراست، اما همان‌گونه که اشاره شد از جنبه‌های زیست محیطی، پایداری و صرفه اقتصادی گزینه مطلوبی برای حفاظت رودخانه‌ها در برابر فرسایش و رسوب است [۲۵و۶۵].

۲-۴-۵ *مزایا و معایب استفاده از پوششهای گیاهی*

الف - مزایای پوششهای گیاهی

پوششهای حفاظتی گیاهی به علت شرایط ویژه خود از مزایای متعددی برخوردارند که درزیر ارائه می‌گردد.

- از نظر مکانیکی بوسیله بهبود ساختمان خاک موجب افزایش مقاومت دیواره‌های در معرض فرسایش می‌گردد.
- مقاومت هیدرولیکی دیواره‌ها را توسط ریشه‌ها و اندامهای هوایی (به ویژه اندامهای خوابیده بر سطح خاک) بالا می‌برد.
- از طریق ریشه‌ها و بقایای گیاهی (خزان و ریزش اندامها) شرایط میکروکلیمای خاک تغییر یافته و موجب بهبود ساختمان خاک می‌شود.
- از نظر زیست محیطی دارای اثرهای مفید و مطلوب است.
- علیرغم اینکه در سالهای ابتدای استقرار گیاهان تأثیرات آن کم است، لیکن با گذشت زمان پایداری آن افزایش یافته و اثرهای حفاظتی بیشتری را از خود بروز می‌دهد. نیاز به هزینه و امکانات کمتری نسبت به سایر روشها دارد.
- قابلیت تلفیق با سایر روشها را داراست.
- کاهش میزان هرز آب بارندگی ناشی از عمل تأخیری گیاهان در ایجاد رواناب و در نتیجه شدت فرسایش خاک و انتقال رسوب به داخل رودخانه کم می‌شود.
- کنترل سیلاب با نفوذ دادن آب به داخل خاک و جلوگیری از افزایش رواناب که بر پایداری پوشش گیاهی کناره رودخانه تأثیر عمده دارد

ب- معایب پوششهای گیاهی

- عملکرد پوششهای گیاهی به شرایط و تنشهای محیطی وابستگی زیادی دارد.
- استقرار پوشش گیاهی محدود به زمانهای خاصی است.
- تغییر میزان اثر پذیری آن با تغییرات فصول مختلف (حداقل تأثیر در زمستان بعلت کاهش اندامهای هوایی و حداکثر درتابستان و زمان رشد بهینه گیاه)
- نیاز به صرف هزینه و توجه بیشتر در سالهای اول دارد.
- توسعه پوشش گیاهی و گسترش آن به بستر رودخانه زبری بستر را افزایش داده و خطر سیل گیری را تشدید می‌کند.

omoorepeyman.ir

- سیل می‌تواند درختان و درختچه‌های واقع در مسیر را ریشه کن کرده و با خود حمل نماید که در نتیجه خساراتی را در پایین دست و به ویژه سازه‌های مسیر واردکند.

۵-۴-۳ انواع پوششهای گیاهی مهم درکنترل فرسایش و رسوب

فقدان پوشش گیاهی بر روی سواحل رودخانه‌ها نمود بارزی از ناپایداری و تخریب آنهاست (کریسینگر و بادی ۱۹۸۴)، زیرا که پوشش گیاهی بطور طبیعی قابلیت تجدید حیات و بازسازی خود را داراست و از این طریق موجب حفظ تداوم حفاظت کناره‌ها می‌گردد. پوششهای گیاهی بطور کلی به سه گروه اصلی تقسیم می‌شوند.

الف – گیاهان چمنی و علفی[1]

ب – گیاهان بوته‌ای[2]

ج – گیاهان درختچه‌ای و درختی[3]

میزان اثر گذاری و کاربرد هر گروه درکنترل فرسایش و رسوب بسته به محلی که بکار برده می‌شوند متفاوت است. استفاده ترکیبی از گروههای مختلف موجب افزایش کارایی پوشش گیاهی درکنترل فرسایش و رسوب می‌گردد.

الف- گیاهان چمنی و علفی

ویژگیهای سیستم ریشه‌ای کلافی شکل و گسترده در آنها موجب اتصال بهتر دانه‌های خاک بهم شده و با ایجاد ساختار نمدی شکل و گسترش سطح حفاظتی موجبات پایداری و استحکام خاک را فراهم می‌آورد. پوشش اندام هوایی آنها نیز به سبب تماس با سطح زمین، حفاظت قابل توجهی را در سطح خاک اعمال می‌کند.

کاربرد : گونه‌های آبدوست و مقاوم به شرایط غرقابی این گروه در حفاظت از بخش پایینی دیواره ساحلی کاربرد خوبی دارند. سایر گونه‌های آن که به نوسانات سطح آب حساس نیستند برای سطح دیواره ساحلی مناسب است. برخی گونه‌های مقاوم تر آنها به خشکی، در کاهش میزان فرسایش و رسوب در اراضی ساحلی رودخانه می‌توانند بکار گرفته شوند.

ب – گیاهان بوته‌ای

ویژگیهای سیستم ریشه‌ای نیمه عمیق آنها درحفظ و پایداری خاک مؤثر هستند. شاخ و برگ و اندام هوایی آنها سطح تماس مناسبی را در برخورد جریان آب با دیواره‌ها به وجود می‌آورند و از این طریق موجب استهلاک انرژی و توان فرسایشی آب می‌گردند.

کاربرد : گونه‌های مناسبی برای سطح دیواره رودخانه‌ها هستند. از طریق کاهش سرعت آب و قدرت هیدرولیکی جریان سبب کم شدن قدرت فرسایشی آب می‌گردند. همچنین گیاهان بوته‌ای موجب افزایش نسبی پایداری خاک و انسجام و یکپارچگی آن می‌گردد و خطر ریزش توده‌ای را کم می‌کند.

omoorepeyman.ir

1 - Grass plant
2 - Shrub plant
3 - Trees

ج – گیاهان درختچه‌ای و درختی

ویژگیهای اندام هوایی آنها مانند شاخ و برگ و تنه در کاهش اثرهای تخریبی آب مؤثر هستند و ازنظردارا بودن سیستم ریشه‌ای عمیق و نیمه عمیق قادر به حفظ پایداری خاک به ویژه در اعماق بیشتری هستند. اغلب از طریق اندامهای هوایی (کاهش سرعت آب) و ریشه‌ها (بهبود پایداری خاک) اثر خود را بروزمی دهند.

کاربرد : گونه‌های مناسبی برای حفاظت از اراضی ساحلی هستند. در پایداری خاک این گونه اراضی، به علت تشکیل ساختار مسلح خاک و ریشه گیاه مؤثرند. برخی از گونه‌های آن، به ویژه درختچه‌ها که به شرایط نوسان آب حساس نیستند، در سطح دیواره رودخانه کاربرد دارند.

۵-۴-۴ نقش پوشش گیاهی در کنترل فرسایش و رسوب

۵-۴-۴-۱ مناطق بالادست رودخانه (حوضه آبریز رودخانه)

آب جاری در رودخانه‌ها و آبراهه‌ها حاصل زهکشی بارشهای وارده در حوضه آبریز رودخانه است که به صورت جریانات فصلی و یا دائمی ظاهر می‌شود. برخورد بارندگی با سطح حوضه آبریز و وقوع جریانهای سطحی موجب ناپایداری خاک و فرسایش و حمل بخشی از منابع خاکی به داخل رودخانه می‌گردد. از این رو پوشش گیاهی مناطق بالادست رودخانه در جلوگیری از فرسایش و حمل خاک حوضه به شبکه سیستم رودخانه‌ای نقش تعیین کننده‌ای دارد. در زیر شکلهای مختلف خسارات ناشی از فرسایش خاک حوضه ارائه می‌شود:

- فقر پوشش گیاهی سبب تشدید هرز آب ناشی از بارندگی و حمل مواد رسوبی به داخل رودخانه و آبراهه‌ها می‌شود.
- تخریب و فرسایش خاک اراضی حاشیه رودخانه و دیواره‌های ساحلی بر اثر ورود جریانهای سطحی جانبی ناشی از بارندگی در شرایط کمبود پوشش گیاهی و حساسیت خاک به فرسایش که اغلب به صورت فرسایشهای حاد خندقی ظاهر می‌گردد.

از جمله اثرهای مثبت پوشش گیاهی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد :

۵-۴-۴-۲ اراضی ساحلی رودخانه

اغلب به اراضی ساحلی و حریم رودخانه‌ها به علت توجه بیشتر به بهره‌برداری از این گونه اراضی از طریق فعالیتهای کشاورزی و صنعتی و توسعه شهرها توجه بیشتری می‌شود از این رو بحث فرسایش و رسوب و راههای مقابله با آن در حواشی رودخانه دارای اهمیت است [۳۵و۷۲]. به علاوه اراضی حاشیه رودخانه‌ها به عنوان یکی از منابع تولید رسوب می‌باشد که استفاده از پوشش گیاهی از جمله راهکارهای مقابله با این پدیده می‌باشد. عوامل مؤثر در فرسایش خاک اراضی حاشیه‌ای را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد.

- جاری شدن پساب ناشی از مازاد آب آبیاری بخشی از لایه خاک سطحی را فرسایش داده و به رودخانه منتقل می‌کند.

omoorepeyman.ir

- نفوذ عمقی آب آبیاری در طی دوره فصل کاشت، داشت و برداشت موجب وقوع زهاب در پای دیواره ساحلی رودخانه گردیده و با ایجاد پدیده زیر شویی در پای دیواره گسیختگی و ریزش توده‌ای خاک را درپی دارد.

در فصل غیر زراعی که مصادف با کاهش پوشش گیاهی و لخت شدن خاک سطحی است و همچنین در دوره آیش وقوع بارندگیها و پدیدار شدن رواناب سطحی موجب فرسایش خاک و حمل مواد رسوب به داخل رودخانه می‌شود. این پدیده همچنین فرسایشهای شیاری و خندقی را در امتداد سواحل رودخانه به وجودمی آورد.

- وجود پوشش گیاهی و حفظ بقایای آن درسطح خاک می‌تواند عامل مهم کنترل فرسایش و رسوب در این گونه اراضی به ویژه در فصل بارندگی و بارشهای جوی باشد. وجود لایه پوششی تشکیل شده از درختان و بوته‌ها در لبه دیواره‌های رودخانه وامتداد اراضی حاشیه موجب جلوگیری از ریزش دیواره‌ها و کاهش اثرهای فرسایش رواناب ناشی از بارندگی و هرز آب ناشی از عملیات آبیاری می‌شود. به علاوه این گونه پوششهای گیاهی در کنترل توسعه فرسایش شیاری و خندقی نیز مؤثر است.

کلینک‌من و برارلی (۱۹۷۶) راههای حفاظت سواحل و حریم رودخانه‌ها را به شرح زیر برشمردند [۷۲] :

- کشت اراضی درحواشی رودخانه با هدف کاهش هرز آب سطحی و فرسایش و رسوب
- بهبود روشهای آبیاری به منظور جلوگیری از فرسایش ناشی از آبیاری بی رویه
- ساخت نهرهای انتقال آب مازاد در فاصله مناسب از سواحل رودخانه به منظور جلوگیری از ریزش دیواره‌ها تحت تأثیر نفوذ عمقی آب در امتداد حاشیه رودخانه
- کنترل تردد دام و جلوگیری از آبشخواری آنان بطور مستقیم از رودخانه، ممنوعیت عبور ماشین آلات و ادوات کشاورزی از نزدیکی دیواره‌ها
- ایجاد پوشش گیاهی مناسب از طریق کشت گیاهان علفی و درختان به منظور کنترل فرسایش سطحی و تعیین مرز طبیعی و حریم رودخانه

۵-۴-۴-۳ دیواره رودخانه

دیواره و کناره‌های رودخانه‌ها همیشه در معرض خطر فرسایش و تخریب ناشی از جریان آب قرار دارد. شدت و تداوم آن بستگی زیادی به سرعت جریان، مدت تماس آب با دیواره‌ها و نیز سازند خاک دیواره و کف بستر دارد. اصلی ترین و مستقیم ترین فعالیتهایی که برای کاهش خسارت ناشی از فرسایش خاک و رسوبات انجام می‌شود، در ارتباط با سواحل و کناره‌های رودخانه‌هاست.

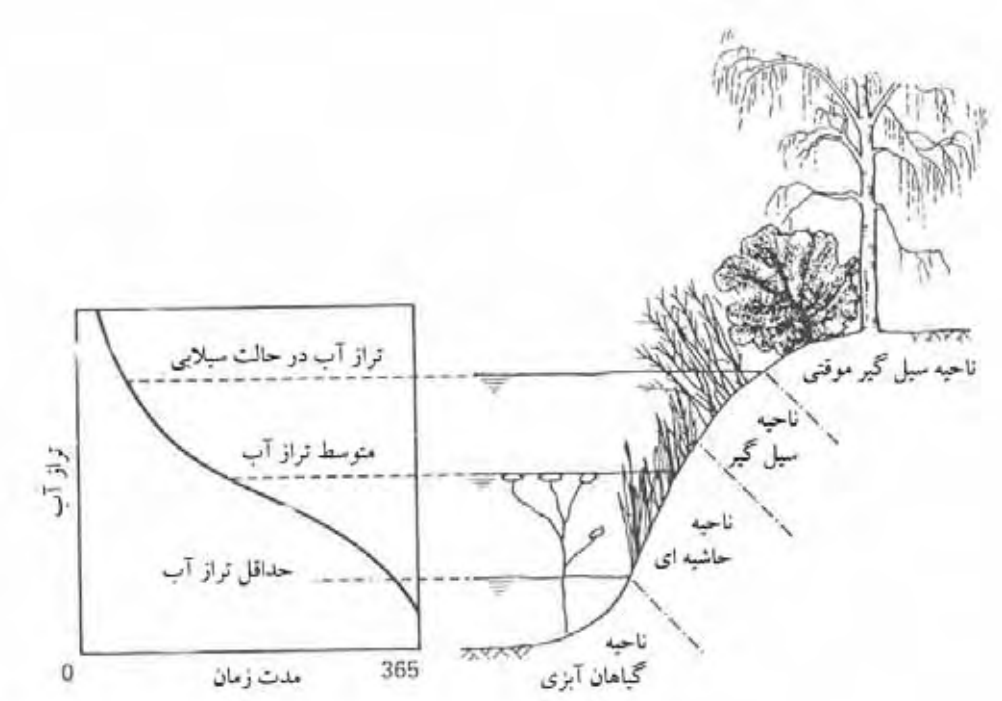
برخورد مستقیم جریان آب با کناره‌ها موجب ناپایداری و فرسایش آن می‌گردد. به علاوه خالی شدن پای دیواره‌ها ناشی از پدیده پنجه شویی سبب گسیختگی خاک و ریزش توده‌ای آن می‌گردد. شدت فرسایش با میزان تلاطم، بده جریان، ساختار خاک دیواره، وجود یا عدم وجود پوشش گیاهی حفاظتی ارتباط مستقیم دارد. خسارت وارده در پیچابهای تند و در محلهای آبگذر با سرعت زیاد بیشتر است.

omoorepeyman.ir

وجود پوشش گیاهی (طبیعی یا کاشته شده) باعث کاهش فرسایش و افزایش رسوبگذاری است. چگونگی تأثیر پوشش گیاهی به شرح زیر است :

- کاهش سرعت و میزان تلاطم آب در کناره‌ها و بدنبال آن کاهش قدرت فرسایش آب
- بالابردن فرصت ته نشینی رسوبات به علت کم شدن سرعت جریان آب که بهبود شرایط رشد گیاهان را فراهم می‌کند.
- اصلاح ساختمان خاک دیواره‌ها به سبب افزایش مقاومت دیواره‌ها که از طریق ترکیب ریشه گیاهان با خاک (مسلح شدن زیستی خاک) فراهم می‌شود.

ایجاد پوشش گیاهی مناسب در نظر گرفتن عوامل مؤثری همچون رژیم جریان (دائمی یا فصلی بودن)، نوسانات سطح آب، ویژگیهای زیست بوم منطقه، خصوصیات خاک بستر و کناره‌ها، ویژگیهای اقلیمی، شکل فیزیکی رودخانه و خصوصیات فردی گونه‌های گیاهی را طلب می‌کند. به علاوه اصلاح شیب دیواره‌ها (در صورت نیاز و توجه به میزان پایداری خاک دیواره‌ها) به‌منظور فراهم آوردن شرایط مناسب استقرار گیاهان از جمله اقدامات مؤثر در راستای تقویت پوشش گیاهی تلقی می‌گردد. استفاده از گونه‌های گیاهی مناسب با توجه به وضعیت دیواره، نوسانات سطح آب و محل بکارگیری آن متفاوت است (شکل ۵-۴۲).



شکل ۵-۴۲- تقسیم بندی دیواره‌ها برای مدیریت پوشش گیاهی [۱۴]

omoorepeyman.ir

مطابق شکل ۵-۴۲ نواحی سه گانه استقرار پوشش گیاهی بشرح زیر می‌باشند :

- دیواره پایین[1]: استفاده از گونه‌های مقاوم به شرایط غرقابی با سیستم ریشه‌ای قوی و اندام بیرونی و هوایی انعطاف پذیر. گونه‌های چمنی مقاوم به شرایط غرقابی مناسب تر است [۷۲].
- سطح دیواره[2]: گیاهان با سیستم ریشه‌ای قوی، خزنده و اندام هوایی نسبتاً انبوه، مقاوم به شرایط نوسانات دائمی سطح آب (تغییر سطح آب در زمانهای مختلف) مناسب تر است. پوششهای چمنی گیاهان علفی و کوتاه و با رشد سریع به ویژه در ترکیب با گیاهان خشبی و درختچه‌های کوتاه پیشنهاد می‌شود. گیاهان چمنی در این قسمت نقش حفاظتی از سطح دیواره‌ها را تا استقرار و تثبیت دراز مدت درختان و درختچه‌ها به عهده دارند (کلینگمن و براولی ۱۹۷۶).
- ساحل بالا[3]: این ناحیه به ندرت در معرض تماس با آب قرار می‌گیرد و در برخی از خاکهای دارای املاح، تبخیر موجب تجمع آن در سطح خاک می‌شود، از جمله عوامل مهم مورد توجه باید انتخاب گونه‌های مقاوم به شرایط خشکی و شوری (در موارد خاص) باشد. استقرار درختان و درختچه‌ها در این ناحیه مناسب تر است.

۵-۴-۵ *تأثیر متقابل پوششهای گیاهی بر پدیده فرسایش و رسوب*

در استقرار پوشش گیاهی مناسب و موفق عوامل متعددی به شرح زیر دخالت دارند که توجه به آنها میزان موفقیت را افزایش می‌دهد [۱۴و۳۵و۷۲] :

- ویژگیهای زیست بوم منطقه : شرایط اقلیمی (میزان بارندگی، پراکنش بارندگی، نوسانات دما، تبخیر، یخبندان و ...) و شرایط محیطی (توپوگرافی، شیب، ارتفاع و ...).
- رژیم آبی رودخانه : از نظر نوسانات سطح آب (تغییرات میزان آب در فصول مختلف) تغییرات کیفی آب (شوری، مقدار اسیدیته، میزان مواد معلق و ...).
- ویژگیهای خاک : فیزیکی (پایداری، ساختمان، بافت، ظرفیت رطوبت پذیری و نیز شیب دیواره‌ها) و شیمیایی (اسیدیته، هدایت الکتریکی، میزان شوری و قلیاییت، مواد بازدارنده رشد).
- ویژگیهای گیاه : خصوصیات فردی[4] و گروهی گیاهان، تحمل تنشهای محیطی (نوسانات سطح آب قدرت رقابت بین گیاهان، تغییرات شیمیایی آب و ...).
- حفظ و نگهداری : بعد از عملیات اجرایی ساخت پوشش گیاهی حفظ و نگهداری آن به علت تهدیدات دائمی محیطی مهم و حائز اهمیت است. نوع عملیات مورد نیاز بستگی به عوامل و شرایط محیطی، زمان و اعتبارات مورد نیاز دارد. فعالیتهایی چون واکاری و آبیاری کمکی، مبارزه با آفات و علفهای هرز (در سالهای اول استقرار)، ازجمله اقدامات مورد نیاز است.

omoorepeyman.ir

1 - Low bank
2 - Face of bank
3 - Top of bank
4 - Autecology

پوشش گیاهی اصولاً اثر مثبت خود را در کاهش هرز آب، فرسایش و رسوب در هر سه ناحیه مناطق بالادست رودخانه، دیواره و نیز ساحل رودخانه به جای خواهد گذاشت. در مقابل پوشش گیاهی هم تحت تأثیر معضلات ناشی از هرز آب فرسایش و رسوب قرار می‌گیرد که به صورت اثرهای مثبت یا منفی بروز می‌کند. غالب این اثرهای متقابل در جدول ۵-۱۲ تشریح شده است.

جدول ۵-۱۲- چگونگی اثر گذاری پوشش گیاهی در فرسایش و رسوبگذاری سواحل رودخانه‌ها در طرحهای ساماندهی

نواحی حفاظتی	سواحل رودخانه	اراضی حاشیه رودخانه	اراضی مناطق بالادست (حوضه آبریز)
اثرهای مستقیم	– کاهش سرعت جریان آب در کناره دیواره‌ها – جلوگیری از فرسایش دیواره‌ها – رسوبگذاری بیشتر در کناره‌ها	– کاهش هرز آب در اراضی ساحلی – جلوگیری از فرسایش سطحی – جلوگیری از حمل رسوب به داخل رودخانه – جلوگیری از خفگی بذر کاشته شده درخاک	– کاهش هرز آب ناشی از بارندگی – کاهش فرسایش سطح خاک
اثرهای غیرمستقیم	– فراهم شدن شرایط بهتر استقرار پوشش گیاهی	– جلوگیری از ریزش دیواره‌ها ی رودخانه – نفوذ بیشترآب به داخل‌خاک و رشد بهتر گیاهان – جلوگیری از کم شدن مواد مغذی خاک – جلوگیری از خفگی بذر کاشته شده	– کم شدن شدت سیلاب در رودخانه – نفوذ آب بیشتر به سفره‌ها و فراهم شدن شرایط مناسب تر استقرار پوشش گیاهی – انتقال کمتر مواد رسوبی به رودخانه – امکان بهتر استقرار پوشش گیاهی

۵-۵ بررسی پیامدهای برداشت شن و ماسه و مصالح رودخانه‌ای

رودخانه‌ها در قبال دخالت انسان در نظام طبیعی خود عکس العمل نشان می‌دهند، برداشت مصالح از بستر رودخانه نیز موجب تغییر در ویژگیهای هندسی مجرا گردیده و تغییر تراز بستر و دگرگونی در ویژگیهای هیدرولیک جریان و رسوب را به دنبال دارد. این امر به نوبه خود نظام بهره‌برداری از منابع آب رودخانه، اقدامات ساماندهی و شرایط زیست محیطی موجود را تحت تأثیر قرار می‌دهد. از این رو بررسی دقیق پیامدهای برداشت شن و ماسه و مصالح رودخانه‌ای ضروری و اجتناب ناپذیر است. در این بخش از راهنما اهم تأثیرات برداشت مصالح رودخانه‌ای بر هیدرولیک جریان، فرآیند انتقال رسوب و رفتار رودخانه از دیدگاه ساماندهی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

omoorepeyman.ir

۵-۵-۱ پیامدهای منفی برداشت مصالح رودخانه‌ای

۵-۵-۱-۱ فرسایش بستر و کناره

برداشت شن و ماسه از رودخانه می‌تواند موجب فرسایش و کف کنی در آن گردیده و ناپایداری و تخریب سازه‌های موجود در مسیر رودخانه و سایر پیامدهای نامطلوب را بدنبال داشته باشد. به طور کلی برداشت نامطلوب مصالح می‌تواند به دو صورت انجام گیرد: [۹]

الف – برداشت مصالح بیش از ظرفیت انتقال رسوبات رودخانه‌ای به صورت برداشت سطحی

ب – حفاری پایین‌تر از بستر رودخانه و ایجاد حفره‌های برداشت مصالح رودخانه‌ای

در حالت اول اگر کناره‌های رودخانه به خوبی حفاظت گردد فرسایش و کف کنی ناشی از برداشت مصالح فقط متوجه بستر بوده و این پدیده ممکن است به بازه‌های پایین دست نیز گسترش یابد. در صورتیکه کناره‌های رودخانه به خوبی محافظت نگردد علاوه بر کف کنی، ریزش کناره‌ها نیز قابل انتظار است و رسوبات ناشی از ریزش کناره‌ها مشکلات متعدد را برای بازه پایین دست فراهم خواهد کرد.

در حالت دوم با ایجاد حفره در بستر رودخانه، فرسایش شدید در بالادست و پایین دست محل برداشت اتفاق خواهد افتاد. درواقع ایجاد حفره، تعادل موجود بین میزان آورد رسوب و ظرفیت انتقال را بهم زده وبا تجمع رسوبات کف در آن سبب افزایش موضعی شیب بستر و خط انرژی و بوجود آمدن پدیده نقطه ویژگی[1] در بالادست حفره می‌شود. افزایش موضعی شیب به جریان آب اجازه حرکت با سرعت بیشتر را داده و به همین دلیل فرسایش شدید در بالادست حفره را خواهیم داشت. از طرفی به دلیل تله اندازی رسوبات ورودی در حفره برداشت ظرفیت انتقال رسوب جریان رودخانه افزایش یافته واز این رو فرسایش در پایین دست حفره نیز اتفاق می‌افتد.

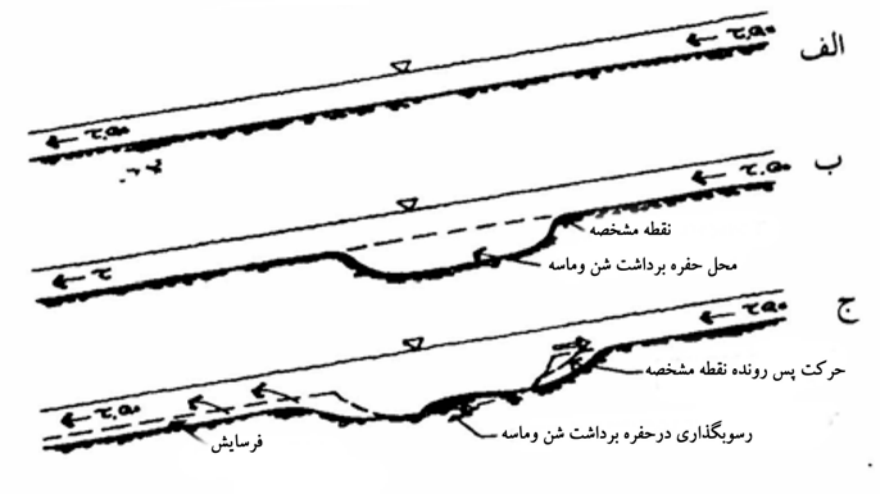
شکل ۵-۴۳- الف نشان دهنده شرایط اولیه رودخانه قبل از حفر گودال می‌باشد. در شکل ۵-۴۳- ب حفره حاصل از برداشت مصالح رودخانه نمایش داده شده و موقعیت نقطه ویژگی ایجاد شده در انتهای آن به خوبی نمایان است. در شکل ۵-۴۳- ج، تله اندازی رسوبات نشان داده شده است. به علاوه مطابق شکل ۵-۴۳- ج در پایین دست حفره به دلیل افزایش پتانسیل حمل رسوب ناشی از تله اندازی رسوبات، فرسایش بستر در بازه پایین دست آغاز گردیده و در نتیجه آن گودافتادگی در پایین دست نیز اتفاق می‌افتد.

از طرفی نقطه ویژگی نیز در روندی که به نام فرسایش پس رونده[2] نامیده می‌شود به طرف بالادست حرکت کرده و بستر بالادست نیز دچار فرسایش می‌گردد (شکل ۵-۴۳- ج).

از این رو فروافتادگیهای ناشی از برداشت شن و ماسه ممکن است تا کیلومترها در مسیر رودخانه اصلی و شاخه‌های فرعی آن توسعه یابد. بدیهی است گودافتادگی تراز بستر، ناپایداری و ریزش کناره‌ها را نیز در پی خواهد داشت. در واقع فرسایش بستر منجر به افزایش ارتفاع کناره شده و به دلیل زیر شویی[3] آن را مستعد شکست و ریزش توده‌ای می‌کند که اولین نمود آن تعریض رودخانه می‌باشد. کف کنی و ریزش همزمان کناره‌ها در نهایت موجب زیر شویی پایه پلها و سایر سازه‌های هیدرولیکی و حفاظتی موجود در مسیر رودخانه و تخریب آنها می‌شود.

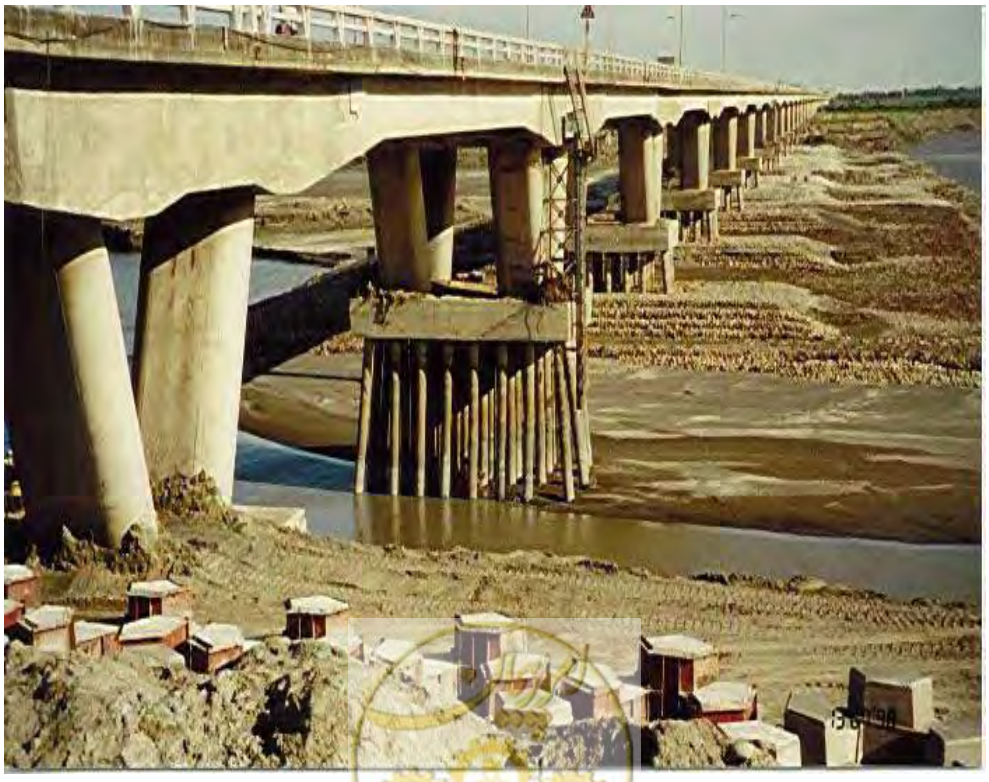
1 - Knick point
2 - Head Cutting
3 - Undermining

omoorepeyman.ir



شکل ۵-۴۳- فروافتادگی ایجادشده بعلت برداشت شن و ماسه

در تصویر ۵-۱ نمونه‌ای از اثرهای برداشت مصالح در گودافتادگی بستر و آبشستگی پایه‌های پل نشان داده شده است. از طرفی پایین افتادن سطح آب در رودخانه، برداشت ثقلی آب را از طریق نهرهای زراعی منشعب از رودخانه غیر ممکن نموده و نیز مشکلاتی را برای ایستگاههای پمپاژ فراهم می‌آورد. در جدول ۵-۱۳ برخی از پیامدهای برداشت مصالح درج شده است.



تصویر ۵-۱- آبشستگی پایه‌های پل ناشی از برداشت بی رویه شن و ماسه از بستر رودخانه

omoorepeyman.ir

جدول ۵-۱۳- پیامدهای برداشت مصالح رودخانه‌ای از دیدگاه فرسایش و رسوب [۹]

نوع برداشت مصالح	اثرها و پیامدها
برداشت مصالح بیش از ظرفیت انتقال رسوبات رودخانه‌ای (برداشت سطحی)	– فرسایش بستر و گسترش آن در پایین دست – فرسایش کناره‌ها و گسترش آن در پایین دست – از دست دادن زمینها و سازه‌های حفاظتی – عدم امکان آبگیری انهار منشعب از رودخانه
ایجاد حفره در کف رودخانه (برداشت عمقی)	– افزایش موضعی شیب مجرا – فرسایش بالادست بدلیل افزایش شیب و تغییر سرعت جریان – فرسایش پایین دست به دلیل افزایش ظرفیت حمل رسوب – تغییر در الگوی رسوبگذاری پایین دست – احتمال انحراف جریان – تغییر در رفتار رودخانه

۵-۵-۱-۲ *ناپایداری رودخانه*

برداشت مصالح از رودخانه در تغییر شکل و مسیر رودخانه مؤثر است. تحقیقات نشان می‌دهد که برداشت مصالح علاوه بر تغییرات عمقی، تغییرات عرضی شدیدی را نیز در قسمتهای مختلف رودخانه بدنبال دارد. مطابق تحقیقات چانگ[1] بر روی رودخانه سان جوان[2] واقع در کالیفرنیا تغییرات عرضی رودخانه نسبت به وضعیت اولیه به بیش از ۶۰ متر بالغ گردیده است[۵۵].

برداشت مصالح سبب تغییر شکل بستر نیز می‌گردد که این امر ناشی از حذف امواج ماسه‌ای موجود در بستر واز بین رفتن لایه مسلح[3] و بر هم خوردن توازن هیدرولیکی می‌باشد که اثرهای آن به بازه‌های بالادست و پایین دست محل برداشت نیز سرایت می‌کند.

بدیهی است با وقوع فرسایش بستر که ناشی از برداشت مصالح رودخانه‌ای است، درشت دانه شدن بستر و تغییر خصوصیات ریخت شناسی رودخانه قابل انتظار می‌باشد. انحراف مسیر جریان نیز از دیگر پیامدهای منفی برداشت مصالح رودخانه‌ای است که در اثر پدیده جذب حفره‌ای ممکن است اتفاق بیفتد. خاطر نشان می‌سازد انباشت مصالح در بستر رودخانه نیز می‌تواند موجب تنگ شدگی مقطع عرضی رودخانه و تشدید خسارات سیل و در نهایت تغییر مسیر رودخانه گردد. [۵۵]

مطابق تحقیقات انجام گرفته اداره بررسیهای زمین شناسی ورمونت[4] در بیش از ۵۰ رودخانه در دنیا اثرهای برداشت مصالح رودخانه‌ای ارزیابی گردیده که نتایج آن در جدول ۵-۱۴ ارائه شده است [۴۲].

1 - Chong
2 - San goung
3 - Armored layer
4 - Vermornt Geology survey

omoorepeyman.ir

جدول ۵-۱۴- اثرهای برداشت شن و ماسه در برخی رودخانه‌های دنیا [۴۲]

نام رودخانه	مکان و وسعت حوضه آبریز (mi^2)	تاریخ برداشت مصالح	اثرها در بازه برداشت مصالح	اثرها در پایین دست بازه برداشت مصالح	اثرها در بالادست بازه برداشت مصالح
Mad	Vermont(139)	1986	$w^{\uparrow}$, Ins, Deg		
White	Vermont (~18)	1998	$w^{\uparrow}$, Ins, QCAP >QMF	Agg, $w^{\downarrow}$	Geol
Trout	Vermont	1997	Ins, Deg, $w^{\uparrow}$		
Browns	Vermont (92)	1980 s	$w^{\uparrow}$, Deg	Agg	
Skykomish	Washington (535& 1780)	فعال تا 1961	$w^{\uparrow}$, Agg, Bra, Shifting		
Naugatuck	Connecticut (307 mi2)	1980	$\Gamma^{\downarrow}$, $w^{\uparrow}$, Deg	$w^{\downarrow}$, Bar$^{\downarrow}$	Bra$^{\downarrow}$, Geol
Puyallup, white & Carbon	Washington (1,000)	فعال	Ins, Agg (limited reaches)		
Salmon CK, Clackamas	British Columbia Oregon (n/a)	N/r	Ins, Deg, $S^{\uparrow}$, $\Gamma^{\downarrow}$, Str, Avul		Hcut
Middle Arve	France (766)	فعال	Initially $w^{\uparrow}$, then Deg, Ins, Bra- Single Thread, $w^{\downarrow}$		
Crooked	Arkansas	1969	Ins, $w^{\uparrow}$, $\phi^{\downarrow}$, w:d$^{\uparrow}$	Agg, $\phi^{\uparrow}$, w:d$^{\uparrow}$	Hcut, w:d$^{\uparrow}$
Lower Mississippi	N/r (N/r)	فعال	$w^{\uparrow}$, $\phi^{\downarrow}$	Chutes, $\phi^{\downarrow}$, multiple Channels	
Amite, Taniphahoa, Boque Chitto, Buttahatchee, Tombigbee	Louisiana(N/r)	فعال	$\Gamma^{\downarrow}$, Ins, $w^{\uparrow}$, $S^{\uparrow}$, Mea-Str		Hcut
Illinois, King & Crooked	Arkansas (300,672&530)	N/r	$w^{\uparrow}$, Hom, pool $L^{\downarrow}$ (2 of 3), pool $l^{\uparrow}$ (1 of 3)	$w^{\uparrow}$	
Salzach	Austria	فعال	Ins, Deg AL-RC, $w^{\downarrow}$, Bra-Single Thread, $\phi^{\uparrow}$		
Dry CK	California (217)	N/r(dam u/s 1950)	$w^{\uparrow}$, ΔS=0, Deg, Ins w:d$^{\uparrow}$, d$^{\uparrow}$		Huct, AL-RB
Russian	California (1483)	فعال	Ins, $w^{\uparrow}$, Deg, $S^{\uparrow}$, d$^{\uparrow}$, Bars$^{\uparrow}$, $\Gamma^{\downarrow}$, win dp:dR$^{\downarrow}$, $\alpha^{\downarrow}$ QACT> QBfL	Deg, $w^{\uparrow}$	
Stony Ck	California (741)	فعال	Bra-Single Thread Deg , initially $w^{\downarrow}$ now $w^{\downarrow}$, Ins	$\phi^{\downarrow}$, $w^{\downarrow}$, Ins,Deg, $\Gamma\uparrow$	Bra-Ins, $\xi^{\uparrow}$, $w^{\uparrow}$
Wooleer, water	England (20.3)	1979	Ins, Deg, initially $w^{\uparrow}$ Currenty $w^{\downarrow}$, $\xi^{\uparrow}$		Hcut
Little Bighorn	Montana (239)	1987	Deg, QACT> QBfL, $S^{\uparrow}$, $\Gamma^{\downarrow}$, $w^{\uparrow}$	Agg , $\Gamma^{\downarrow}$, $w^{\uparrow}$	

omoorepeyman.ir

ادامه جدول ۵-۱۴- اثرهای برداشت شن و ماسه در برخی رودخانه‌های دنیا [۴۲]

اثرها در بالادست بازه برداشت مصالح	اثرها در پایین دست بازه برداشت مصالح	اثرها در بازه برداشت مصالح	تاریخ برداشت مصالح	مکان و وسعت حوضه آبریز (mi^2)	نام رودخانه
Hcut	Ins, Deg, $\phi\downarrow$, Ar$\downarrow$, w$\uparrow$, $\xi\uparrow$, $\alpha\downarrow$	Deg, w$\uparrow$,d$\uparrow$, Nrif$\downarrow$ RifL$\uparrow$	فعال	California (485)	Mad
		Deg, $\xi\uparrow$, w$\uparrow$, $\alpha\downarrow$, d$\uparrow$	فعال	California (426)	Lower Van Duzen
		Deg, , w$\uparrow$, $\xi\uparrow$, $\alpha\downarrow$, d$\uparrow$	فعال	California (3113)	Lower Eel
Hcut	Deg	Ins, Deg- Agg (after mining stopped), w$\uparrow$ Bra-Step Pool. Str, Low Gradient	فعال (رسوبات اضافه‌کف)	France (125)	Griffre
	Agg	Ins, Deg, w$\uparrow$ (except Muooni Δw=0)	فعال (رسوبات اضافه‌کف)	Kenya (N/r)	Athi, Thwake, Kaiti Muooni
Hcut, Deg (4of7) $\xi\uparrow$, p$\uparrow$	$\phi\downarrow$, Arl (5 of 7) $\downarrow$,p$\uparrow$, Agg, d AVE$\downarrow$	w$\uparrow$ & S$\uparrow$ (5 of 7) , V$\downarrow$, Bra$\uparrow$,d AVE$\downarrow$	1986-1996	Alaska (<38.6)	7 bassins
Hcut (1 of 13), Deg (8 of 13), w$\uparrow$,p$\uparrow$ (1of 13)	$\phi\downarrow$ (4of 13). d AVE$\downarrow$, w$\uparrow$, Agg	d AVE$\downarrow$, w$\uparrow$, w: d$\uparrow$, Qs$\uparrow$ & S$\uparrow$ (8of 13)	1996-1979	Alaska (3806 to 386)	13 bassins
Huct, AL-RB	Hcut (2of 5) Deg (1of 5)	QS$\uparrow$, w$\uparrow$, w:d$\uparrow$, QS$\uparrow$ & S$\uparrow$ (1of 5), Agg, d$\downarrow$	1997-1986	Alaska (>386)	5 basins
	Hcut, Deg	Ins, Deg, Bars $\downarrow$, w:d $\uparrow$, Hom, $\Gamma\downarrow$	فعال از 1987	California (278)	Redwood Ck
Bra-Ins, $\xi\uparrow$, w$\uparrow$	W:d$\uparrow$	Mea $\rightarrow$ Bra, $\Gamma\downarrow$, Ctf w:d $\uparrow$	N/r (massive quantities extracted	Louisiana (772)	Amite
Hcut		Ins, Deg, Δw=0	(برداشت N/r رسوبات اضافه کف)	Oregon (N/r)	Humptulips & wynoochee
$\Gamma\downarrow$,$\phi\downarrow$	$\Gamma\downarrow$,$\phi\downarrow$	Deg	فعال	New England	lowerManawata
Nkpt$\uparrow$, Deg	Bra, Shifting	Ins, Deg, w$\downarrow$, QACT> QMF	فعال	California (1150)	Cache Ck
Deg	Deg	Ins	N/r	Oregon (N/r)	lowerManawata
Nkpt$\uparrow$, Deg w$\uparrow$		Ins, w$\uparrow$,Deg ,dp: dR$\downarrow$	N/r	California (115)	Tujunga Wash

omoorepeyman.ir

توضیح علائم :

آبرفتی	AL	رسوبگذاری	Agg		
افزایش روند مسلح شدن بستر	$\uparrow$ Ar	کاهش مسلح شدن	$\downarrow$ Ar		
افزایش بار رسوبی	$\uparrow$ Bar	جداشدن زمین	Avul		
شریانی شدن	Bar	فرسایس شکلهای بستر	$\downarrow$ Bra		
مساحت حوضه آبریز	CDA	افزایش حالت شریاین رودخانه	$\uparrow$ Bra		
کاهش عمق مجرا	$\downarrow$ d	میانبر چم	Cf		
کف‌کنی	Deg	افزایش عمق رودخانه	$\uparrow$ d		
حذف خیزاب در گودال برداشت	dp: $\downarrow$ dR	متوسط عمق رودخانه	dAVE		
کنترل زمین شناسی	Geol	فرسایش پس رونده	Hcut		
کناره مقاوم و بستر فرسایشی	Ins	یکسان شدن مواد بستر	hom		
سیلاب درون آبراهه	QINS	دبی با دوره بازگشت ۱/۵ سال	Qbfl		
حداکثر سیلاب اندازه‌گیری شده	QMF	دبی مقطع پر	QCAP		
افزایش بار رسوبی	$\uparrow$ QS	افزایش بار رسوبی	$\uparrow$ QS		
تعداد خندابها	Nrif	حرکت نقطه ویژگی	$\uparrow$ Nkp		
محیط خیس شده	p	گزارش نشده	N/r		
افزایش طول گودال برداشت	pool $\Gamma\uparrow$	کاهش طول حوضچه	pool $\Gamma\downarrow$		
کنترل شده توسط بستر	RC	بستر صخره‌ای	RB		
دوره بازگشت سیلاب	RI	طول خیزاب	Rifl		
کاهش شیب	$\downarrow$ S	افزایش شیب	$\uparrow$ S		
خمیدگی	Sin	عدم تغییرشیب	ΔS		
تعریض بستر	$\uparrow$ w	مستقیم	Str		
افزایش عرض به عمق	$\uparrow$ W:d	تنگ شدگی	$\downarrow$ w		
کاهش دردامنه چم	win	کاهش نسبت عمق به عمق	$\downarrow$ W:d		
مستقیم شدن رودخانه	$\alpha\downarrow$	عدم تغییر درعرض آبراهه	Δ w		
کاهش خمیدگی	$\Gamma\downarrow$	افزایش در دامنه چم	$\alpha\uparrow$		
افزایش حرکت چم	$\xi\uparrow$	افزایش در میزان خمیدگی	$\Gamma\uparrow$		
کاهش طول موج چم	$\lambda\downarrow$	افزایش طول موج چم	$\lambda\uparrow$		
ریزدانه شدن مواد بستر	$\phi\downarrow$	درشت دانه شدن اندازه مواد بستر	$\phi\uparrow$		

omoorepeyman.ir

مطابق مندرجات جدول شماره ۵-۱۴ به‌طور کلی عکس‌العمل رودخانه نسبت به بهره‌برداری از مصالح رودخانه‌ای را می‌توان به صورت زیر خلاصه نمود:

الف – عکس‌العمل آبراهه در بازه برداشت مصالح

- از بین رفتن دانه‌بندی طبیعی مصالح
- تغییرشکل بستر
- فرسایش بستر و کناره
- تعریض بستر

ب – عکس‌العمل آبراهه در بالادست بازه برداشت مصالح

- فرسایش پس‌رونده بستر تا جایی که به یک نقطه کنترل زمین‌شناسی و یا سازه‌ای ختم گردد.
- فرسایش کناره‌ها

ج – عکس‌العمل آبراهه در پایین‌دست بازه برداشت مصالح

- کاهش تغذیه رسوبی بازه پایین‌دست
- کف‌کنی بستر و کناره
- کاهش ضریب خمیدگی رودخانه
- تعریض بستر
- گسترش چمها

برداشت مصالح رودخانه‌ای علاوه بر اثرگذاری نامطلوب بر سیستم رودخانه‌ای موجبات اثرگذاریهای نامناسب بر شرایط زیست محیطی رودخانه و حاشیه آن نیز می‌گردد. برای اطلاعات بیشتر منابع [۵۵] و [۴۰] توصیه می‌گردد.

۵-۵-۱-۳ پیامدهای برداشت شن و ماسه از سیلابدشت رودخانه

برداشت شن و ماسه از سیلابدشتها به عنوان منابع تامین مصالح مورد نیاز متداول می‌باشد لیکن در صورت عدم رعایت معیارهای فنی برداشت شن و ماسه این مناطق تبدیل به حوضچه‌هایی که فقط به وسیله یک نوار باریک از رودخانه فاصله دارند خواهد شد. در خیلی از موارد حفره‌های واقع در سیلابدشتها به هنگام وقوع سیلاب مجرای اصلی را به خود جذب می‌کند که به آن جذب حفره‌ای گویند و در نتیجه وقوع پدیده جذب حفره‌ای معادن خارج از رودخانه به معادن رودخانه‌ای تبدیل می‌شود. این پدیده جذب هنگامی که نوارجداکننده حفره از کانال بعلت سرریز کردن سیلاب و فرسایش جانبی رودخانه شکسته شود بوجود می‌آید. با تبدیل شدن معادن سیلابدشت به معادن درون رودخانه‌ای اثرهای نامطلوب برداشت از رودخانه که در قسمت قبل اشاره شده است مورد انتظار خواهد بود.

omoorepeyman.ir

۵-۵-۲ تعیین تغییرات عمق و شیب رودخانه ناشی از برداشت مصالح رودخانه‌ای

در اثر برداشت مصالح رودخانه‌ای شیب بستر و عمق جریان دستخوش تغییر می‌گردد که به نوبه خود بر عملکرد سازه‌های حفاظتی و اقدامات ساماندهی تأثیرگذار می‌باشد.

برای تعیین کمی عمق و شیب رودخانه ناشی از برداشت شن و ماسه معادلات مختلفی ارائه شده است که از آن جمله روابط دوریس است که برای آشنایی با کاربرد آنها در زیر آورده شده است : [۴۳و۵۵]

$$\frac{\Delta y}{y_\circ}=\left[\frac{1}{1-\Delta Q_{SB}/Q_{SB}}\right]^{\frac{1}{n}-1} \qquad (۱۷-۵)$$

$$\frac{\Delta S}{S_\circ}=1-(1-\Delta Q_{SB}/Q_{SB})^{\frac{3}{n}} \qquad (۱۸-۵)$$

$$S_d=S_\circ-\Delta S \qquad (۱۹-۵)$$

$$y_d=y_\circ-\Delta y \qquad (۲۰-۵)$$

در معادلات فوق :

Q_{SB}: مقدار بار بستر رودخانه (متر مکعب)

$S_\circ$: شیب اولیه رودخانه قبل از برداشت مصالح

ΔQ_{SB}: مقدار برداشت از سهم رسوب بستر(متر مکعب)

Δy: افزایش عمق در بازه پایین دست (متر)

n : نمای معادله انتقال رسوب

ΔS: کاهش شیب رودخانه در بازه پایین دست

$y_\circ$: عمق نرمال جریان قبل از برداشت مصالح(متر)

y_d: عمق نرمال جریان در بازه پایین دست(متر)

S_d : شیب تعادل ثانویه در بازه پایین دست

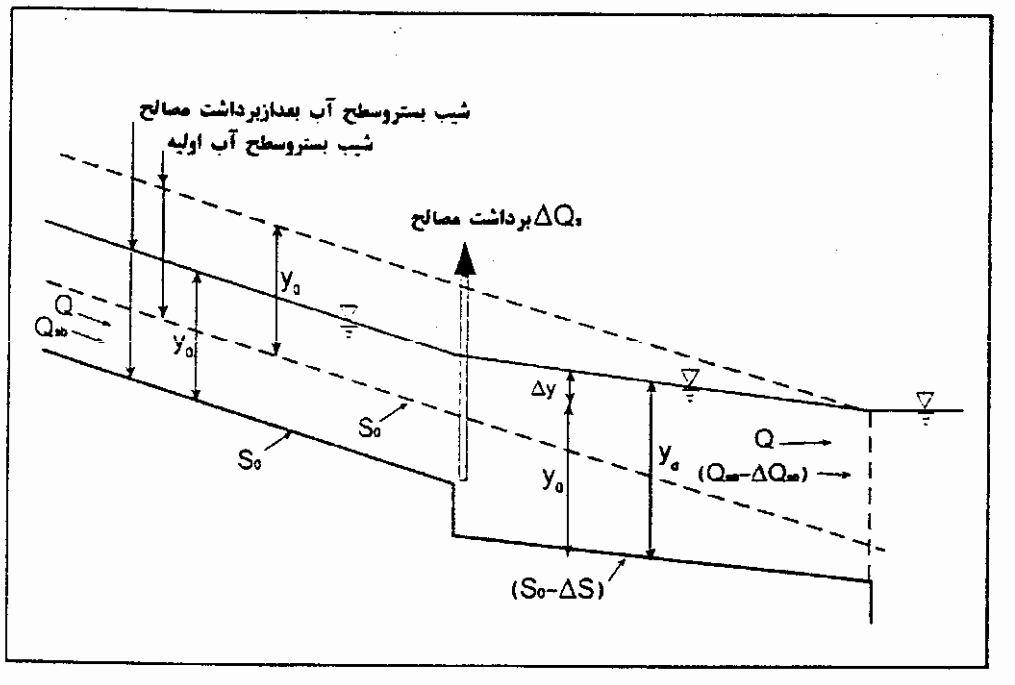
Q_s: متوسط بار بستر سالانه (مقدار عبوری درواحد زمان در کل عرض رودخانه) (متر مکعب)

در شکل ۵-۴۴ این متغیرهای هیدرولیکی نشان داده شده است. در این روابط نسبت $\Delta Q_{SB}/Q_{SB}$ میزان برداشت رسوب را مشخص می‌کند. نمای معادله رسوب (n) از رابطه زیر بدست می‌آید:

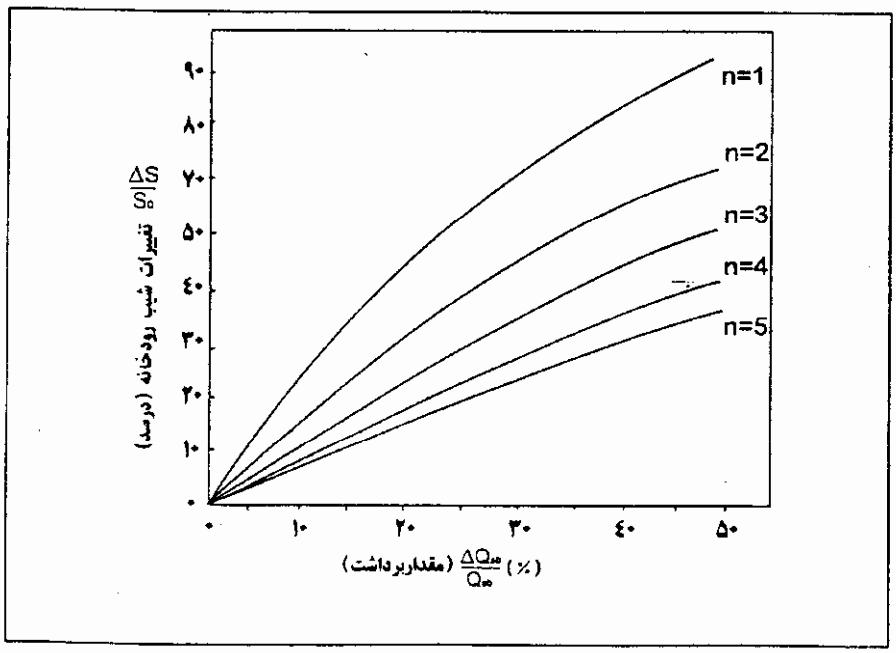
$$q_{sb}=a*v^n \qquad (۲۱-۵)$$

در رابطه فوق q_{sb} بار بستر در واحد عرض رودخانه بر حسب تن بر روز و V سرعت جریان بر حسب متر بر ثانیه و n نمای معادله انتقال رسوب است. شکل ۵-۴۵ تغییرات $\frac{\Delta s}{S_\circ}$ بازاء $\frac{\Delta QSB}{Q_S}$ (مقدار برداشت) را برای nهای مختلف نشان می‌دهد.

omoorepeyman.ir



شکل ۵-۴۴- گود افتادگی تراز بستر و سطح آب ناشی از برداشت مصالح و عوامل مؤثر هیدرولیکی [۵۵]



شکل ۵-۴۵- نمایش روند تغییرات شیب رودخانه بازاء درصدهای مختلف برداشت [۵۵]

یادآوری می‌شود برای بررسی دقیق اثرهای برداشت مصالح رودخانه‌ای استفاده از مدلهای ریاضی و نرم‌افزارهای هیدرولیک رسوب به دلیل انجام دادن شبیه‌سازی مناسب مسئله از ابعاد مختلف مطلوب ارزیابی شده و پیشنهاد می‌شود.

omoorepeyman.ir

۵-۵-۳ پیامدهای مثبت برداشت مصالح رودخانه‌ای

اعمال مدیریت صحیح در برداشت مصالح رودخانه‌ای می‌تواند در مواردی به ساماندهی رودخانه و حتی کاهش اثرهای مخرب سیلاب کمک کند. برداشت از مکانهای مناسب و رعایت ضوابط فنی و ابعاد بهینه و روش و حجم برداشت از جمله عوامل تأثیرگذار در جلوگیری از پیامدهای منفی برداشت مصالح و هدایت بهره‌برداری مصالح رودخانه‌ای به سمت اثر گذاری مثبت محسوب می‌شود. برداشت اصولی انباشته‌های رسوبی از بستر رودخانه ظرفیت آبگذری آنرا افزایش داده و خطر سیل گیری اراضی و حواشی رودخانه را کم خواهد کرد.

برداشت از قوس داخلی رودخانه باعث می‌شود که جهت جریان به سمت قوس داخلی متمایل شده و از تندتر شدن قوس خارجی جلوگیری شود و بدین ترتیب موجبات پایداری بستر فراهم می‌گردد [۵۵و۴۲].

برداشت مصالح از بالادست پلها و گاهی دهانه آنها نیز از جمله مواردی است که برای محافظت پل و نیز مسیر رودخانه ضرورت دارد. با این کار ضمن جلوگیری از تخریب پل، از سیلابی شدن مناطق بالادست نیز جلوگیری می‌شود. از جمله مکانهای مناسب برداشت که منجر به اثرهای مثبتی در سیستم رودخانه می‌شود جزایر کوچکی است که اغلب در رودخانه‌های شریانی و یا در پشت بندهای انحرافی وجود دارد. با برداشت این مصالح می‌توان به ساماندهی مسیر رودخانه وجلوگیری از عمل تعریض آن کمک کرد. ضمن آنکه با حذف این موانع می‌توان کاهش ضریب زبری و افزایش سطح مقطع و سرانجام افزایش ظرفیت سیل گذری را انتظار داشت. برداشت مصالح از محل تلاقی شاخه‌های فرعی به اصلی نیز موجب اصلاح مسیر رودخانه و ایجاد نظم هیدرولیکی در آن می‌شود [۶۸]

با توجه به مطالب یاد شده چنانچه مدیریت صحیحی بر برداشت مصالح رودخانه‌ای صورت پذیرد نه تنها اثرهای منفی آن کاهش می‌یابد بلکه موجبات ساماندهی رودخانه نیز از این طریق فراهم می‌گردد.

۵-۶ بررسی پیامدهای تلفیقی ساماندهی رودخانه بر پدیده فرسایش و رسوبگذاری

از نظر تنوع اقدامات ساماندهی وضرورت استفاده از سازه‌های مختلف و ملاحظات فنی جامع نگری وبررسی پیامدهای تلفیقی از دیدگاه فرسایش ورسوبگذاری به منظور ارزیابی عملکرد رودخانه و اتخاذ تدابیر لازم برای مقابله با پیامدهای آن ضروری می‌باشد. کنترل سیلاب، تثبیت بستر وکناره‌ها، اصلاح مسیر بهره‌برداری از منابع رودخانه‌ای و ملاحظات زیست محیطی از جمله مواردی هستندکه اغلب استفاده همزمان ازانواع سازه‌های عرضی و طولی و اعمال تمهیدات ساماندهی را الزام آور می‌کند.

همانگونه که در بند ۵-۱ در خصوص سازه‌های عرضی مطرح گردیده است، در نتیجه ساخت این گونه سازه‌ها وقوع فرسایش ورسوبگذاری در بازه‌های بالادست و پایین دست و همچنین در محدوده ساماندهی قابل انتظار است. به عنوان نمونه با ساخت سد مخزنی، بازه‌های پایین‌دست دچار فرسایش وکف‌کنی شده و در بازه‌های بالادست فرایند رسوبگذاری تا مسافت زیادی از رودخانه ادامه می‌یابد[۳۹]. سایر سازه‌های عرضی مانند سدهای انحرافی، سدهای تاخیری ، پلها، شیب شکنها، کف بندها، و انواع سرریزها نیز هریک به نوعی اثرهای فرسایش و رسوبگذاری متقابل را تجربه می‌کنند [۱۷و۲۹].

از طرفی سازه‌های طولی نیز مطابق آنچه که در بند ۵-۲ مطرح گردیده است دارای پیامدهای مختلفی بوده وبسته به نوع سازه تأثیر خود را بر عملکرد فرسایش ورسوبگذاری رودخانه بر جای می‌گذارند [۱۴و۳۳]. به عنوان مثال ساخت خاکریزهای

omoorepeyman.ir

سیل بند منجر به کاهش مقطع جریان گردیده و تشدید فرسایش را در محدوده مهار سیلاب در پی داشته و اثرهای آن در بالادست و پایین‌دست رودخانه نیز گسترش می‌یابد. سایر سازه‌های طولی مانند دیواره‌های حفاظتی و پوششها نیز هر یک به نوعی در چنین فعل و انفعالاتی تأثیر گذار می‌باشند.

به علاوه در مواردی که اصلاح مسیر و ایجاد میان بر و یا برداشت مصالح وپاکسازی بستر از انباشته‌های رسوبی (در بند ۵-۳ جزئیات آن ارائه گردیده است)، از جمله اهداف ساماندهی قرار گیرد لازم است تعامل آنها با سازه‌های موجود ورودخانه از دیدگاه فرسایش و رسوبگذاری در نظر گرفته شود [۳۰و۴۰]. در این خصوص مواردی از اثرهای تلفیقی در جدول ۵-۵ (بند ۵-۱) ارائه گردیده است. در این جدول جنبه‌های مختلف تأثیرپذیری پلها در حالتی که سازه در بالادست، پایین‌دست و بین دو سد مخزنی قرار گیرد، ارائه شده است. بدیهی است در اثر ساخت پل وکاهش مقطع جریان وقوع فرسایش در اطراف پایه‌ها و همچنین در بخشی از بازه پایین‌دست و همزمان رسوبگذاری در بالادست پل به ویژه در مواقع سیلابی محتمل است. چنانچه در بالادست پل، سدی ساخته شود فرسایش ناشی از پدیده کف کنی حاصل از خروج آب صاف، مخزن محدوده پل را تحت تأثیر خود قرار داده و پیامدهای ناشی از آن باید مد نظر قرار گیرد. از طرفی ساخت سد در پایین دست پل موجب افزایش تراز بستر و در نتیجه کاهش اثرهای فرسایشی جریان آب می‌گردد. در عین‌حال ظرفیت آبگذری پل در اثر رسوبگذاری رو به کاهش گذاشته و سازه‌های مهار سیلاب مانند خاکریزها را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد. وجود پل بین دو سد نیز اثرهای تلفیقی در خور توجه داشته و فرسایش و رسوبگذاری ناشی از سدها، محدوده پل وسایر بخشهایهای رودخانه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. تأثیر سد پایین دست به صورت رسوبگذاری و سد بالادست به صورت فرسایش می‌باشد که بسته به موقعیت پل اثرهای تلفیقی ناشی از آنها متفاوت خواهد بود. تأثیر برداشت مصالح رودخانه‌ای (بند۵-۵) بر پایه‌های پل نیز از دیگر موارد شاخصی است که اگر در پایین دست پل انجام شود، منجر به تشدید فرسایش در اطراف سازه و گاهی لخت شدن پایه‌های پل می‌گردد. چنین عارضه‌ای در تصویر ۵-۲ بند ۵-۵ به عنوان نمونه عینی از اثرهای تلفیقی پیامدهای برداشت مصالح وعکس العمل سازه‌های عرضی نشان داده شده است.

بدیهی است ارزیابی مجموعه اثرهای تلفیقی اقدامات ساماندهی که ممکن است باتوجه به اهداف مورد نظر ترکیبی از سازه‌های عرضی، طولی، اصلاح مسیر، استفاده از پوشش گیاهی و در مواردی لحاظ کردن پیامدهای برداشت مصالح رودخانه‌ای باشد، به سبب تعدد عوامل تأثیر گذار و گوناگونی رفتار سازه‌ها و پیچیدگی پدیده‌های ایجادشده، به روشهای متعارف امکان پذیر نبوده و استفاده از ابزارهای کار آمد مانند مدلهای رایانه‌ای و پایش و داده سنجیهای صحرایی را طلب می‌کند. از این رو در مطالعات ساماندهی برای تحلیل رفتار رودخانه‌ها مدلهای ریاضی وفیزیکی از جایگاه بالایی بر خوردار بوده و بررسی همزمان اثرهای تلفیقی الگوهای مختلف ساماندهی را بر فرسایش ورسوبگذاری رودخانه امکان پذیر می‌سازد. با توجه به اهمیت ونقش مدلها در فصل ۶ این راهنما جایگاه و زمینه‌های کاربرد مدلها در مطالعات ساماندهی رودخانه‌ها تشریح گردیده است. به علاوه پایش و رفتارسنجی سازه‌ها وثبت عملکرد اقدامات ساماندهی به ویژه از جنبه‌های فرسایش و رسوبگذاری از دیگر راهکارهای مؤثر برای بررسی اثرهای تلفیقی است. بدین منظور در فصل ۷ راهنما پایش و ارزیابی اقدامات ساماندهی با جزئیات بیشتری مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

omoorepeyman.ir

وجه دیگری از جنبه‌های تلفیقی ساماندهی و اثرهای آن بر فرسایش و رسوبگذاری رودخانه استفاده توام از روشهای سازه‌ای و بیولوژیک (پوشش گیاهی) می‌باشد. مطابق آنچه که در بند ۵-۴ تحت عنوان پوششهای گیاهی بحث گردیده است امروزه ملاحظات زیست محیطی و ضرورت حفظ زیست بوم رودخانه‌ای، اغلب بهره‌گیری توام سازه‌های حفاظتی را با پوششهای گیاهی ضروری می‌سازد. به علاوه تلفیق اقدامات ساماندهی با عملیات آبخیز داری در حوضه‌های آبریز از طریق گسترش پوشش گیاهی و اعمال روشهای حفاظت وتثبیت خاک حوضه پیامدهای فرسایش و رسوبگذاری مختلفی دارد که لازم است در چارچوب اثرهای تلفیقی مورد مطالعه و بررسی قرار گیرد.

omoorepeyman.ir

۶- کاربرد مدلهای فیزیکی و ریاضی در مطالعات فرسایش و رسوب

مطالعات در زمینه فرسایش و رسوب در رودخانه به طور معمول دارای پیچیدگیهای فراوانی است و استفاده عملی از نتایج مطالعات مستلزم دقت و توجه زیادی می‌باشد. از این رو لازم است قبل از اقدام به طراحی و اجرای پروژه‌های مهندسی رودخانه از چگونگی عملکرد آنها اطمینان حاصل شود. برای این منظور از مدلهای فیزیکی و ریاضی به‌عنوان ابزارهای مفید برای حل مسائل مرتبط با فرسایش و رسوب در رودخانه‌ها بهره گرفته می‌شود. فرسایش موضعی در اطراف سازه‌های رودخانه‌ای مانند پلها و آب‌شکنها، تغییرات ریخت شناسی، فرسایش و رسوبگذاری در خم رودخانه‌ها و انتقال رسوب در رودخانه از جمله مسائلی هستند که با استفاده از مدلهای فیزیکی و ریاضی قابل بررسی می‌باشند.

مدلهای فیزیکی معمولاً به دلیل محدود بودن فضا و امکانات آزمایشگاهی، با محدودیت مقیاس روبرو هستند، خصوصاً در مورد شبیه‌سازی رسوب مشکل وجود دارد ولی به دلیل اینکه پدیده‌ها به صورت سه بعدی قابل مدل کردن می‌باشند، فهم نتایج آنها آسان‌تر است. از طرفی مدلهای ریاضی به دلیل اینکه ابعاد واقعی پدیده‌ها را مدل می‌کنند، با محدودیت مقیاس مواجه نیستند ولی به اطلاعات بیشتری برای واسنجی و صحت سنجی نیاز دارند. بدلیل پیچیده بودن روابط حاکم بر پدیده‌های فرسایش و رسوب، معمولاً مدلهای یک بعدی در این گونه مطالعات مورد استفاده قرار می‌گیرند. گرچه مدلهای دو بعدی و سه بعدی نیز توسعه یافته و در مواردی برای اهداف مهندسی از آنها استفاده می‌شود.

۶-۱ مدلهای فیزیکی در مطالعات فرسایش و رسوب

مطالعات مدل فیزیکی به‌منظور حل مشکلات مرتبط با طراحی و بررسی عملکرد پروژه‌های مشخص مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به وجود عوامل متعدد و مؤثر در انتقال رسوب و شرایط مرزی متغیر در رودخانه‌ها و سازه‌های هیدرولیکی، بررسی تحلیلی شرایط هیدرولیکی رودخانه‌ها به راحتی میسر نمی‌باشد و به همین منظور بسیاری از پدیده‌های پیچیده هیدرولیکی جریان و رسوب توسط مدل فیزیکی و با استفاده از قوانین حاکم برای شبیه‌سازی مطالعه می‌شوند. اگر چه امروزه به دلیل مشکلات موجود در ساخت مدلهای فیزیکی، استفاده از این گونه مدلها در مقایسه با مدلهای ریاضی کاربرد کمتری یافته است.

۶-۱-۱ انواع مدلهای فیزیکی

در مدلهای رودخانه‌ای معمولاً الگوی جریان و حرکت مواد رسوبی مورد مطالعه قرار می‌گیرد. اگر مطالعه الگوی جریان در مدل مورد نظر باشدو حرکت رسوبات بستر در مدل حائز اهمیت نباشد، مدل با بستر ثابت[1] و بنحوی ساخته می‌شود که مواد بستر حرکت نداشته باشند. در صورتیکه هدف اصلی بررسی حرکت مصالح بستر باشد، مدل با بستر متحرک[2] ساخته می‌شود [۷۱].

omoorepeyman.ir

1 - Fixed Bed Model
2 - Moveable Bed Model

هر یک از مدلهای بستر ثابت یا بستر متحرک می‌تواند دارای مقیاس افقی و مقیاس عمودی یکسان باشد، که به مدلهای غیر کج[1] معروف هستند و یا اینکه مقیاس عمودی با مقیاس افقی آنها متفاوت باشد که در این صورت مدلهای کج[2] نامیده می‌شود.

۶-۱-۲ مدلهای فیزیکی غیر کج

مدلهای فیزیکی غیر کج بیشتر برای تعیین الگوی فرسایش موضعی در اطراف سازه‌های هیدرولیکی و مطالعه رسوب در دهانه‌های آبگیر مورد استفاده قرار می‌گیرند. برای مدلهای جریان و رسوب که نیروی تنشی غالب است، قانون شبیه‌سازی فرود حاکم است و عدد فرود در مدل و طبیعت[3] باید یکسان باشد. در این حالت نسبت مقیاس فرودی برای مدلهای غیر کج به شرح جدول ۶-۱ می‌باشد [۷۱].

جدول ۶-۱- ویژگی مقیاس فرودی در مدلهای غیر کج

پارامتر	طول	سرعت	زمان	بده	ضریب مانینگ
مقیاس	L_r	$L_r^{\frac{1}{2}}$	$L_r^{\frac{5}{2}}$	$L_r^{\frac{1}{6}}$	$L_r^{\frac{1}{6}}$

در روابط فوق، L_r که به مقیاس مدل نیز معروف است، عبارت از نسبت طول نمونه طبیعی به طول مدل (Lp/Lm) است. این روابط از تساوی قرار دادن نسبت نیروی ثقل و اینرسی در مدل و طبیعت به دست آمده‌اند. مدل فیزیکی باید به گونه‌ای طراحی شود که جریان در مدل آشفته باشد تا سرعتها در عمق جریان، نشان دهنده الگوی جریان واقعی باشد. برای این منظور عدد رینولدز در مدل باید بزرگتر از ۱۸۰۰ باشد تا از آشفته بودن جریان در مدل اطمینان حاصل شود [۴۹].

از آنجا که عدد رینولدز در مدل همیشه کمتر از عدد رینولدز در طبیعت می‌باشد، ممکن است انحراف مقیاس[4] برای بعضی از پدیده‌ها مانند ناحیه جدایی جریان و آشفتگی در مدل مشکلاتی ایجاد کند. از این رو لازم است در تعبیر نتایج این اثرها در نظر گرفته شود.

مطالعات مختلف نشان داده است که شبیه‌سازی اندازه و وزن ذرات رسوب در مدل فیزیکی با استفاده از قوانین شبیه‌سازی ممکن نیست، از این‌رو نتایج این مدلها معمولاً به‌صورت کیفی مورد تفسیر و تحلیل قرار می‌گیرند.

omoorepeyman.ir

1 - Undistorted Model
2 - Distorted Model
3 - Prototype
4 - Scale Distortion

۶-۱-۳ مدلهای فیزیکی کج

در مدلهای فیزیکی با بستر متحرک برای رودخانه‌ها و کانالها، اغلب نیاز می‌باشد تا در مقیاس قائم آنها انحراف ایجاد شود تا از حرکت مصالح بستر در مدل اطمینان حاصل شود. انحراف در مقیاس قائم همچنین امکان اندازه‌گیری عمق و شیب را بنحوی فراهم می‌کند که از آشفته بودن جریان در مدل اطمینان حاصل شود. روابط مورد استفاده برای مقیاس در مدلهای کج در مراجع مختلف ارائه شده است که به‌طور نمونه به روابط ارائه شده توسط پترسن[1] (۱۹۸۶) می‌توان اشاره نمود. نسبت شیب در مدلهای کج که از روابط زیر محاسبه می‌شود، به نسبت انحراف در مقیاس نیز معروف است.

$$S_r = y_r / x_r \qquad (۱-۶)$$

S_r: نسبت مقیاس شیب و نسبت انحراف در مقیاس،

x_r: نسبت مقیاس افقی و

y_r: نسبت مقیاس قائم می‌باشد.

اگر رابطه مانینگ برای شبیه‌سازی زبری در مدل مورد استفاده قرار گیرد، رابطه زیر حاصل می‌گردد:

$$n_r = R_r^{2/3} / X_r^{1/2} \qquad (۲-۶)$$

که در آن

n_r: نسبت زبری و

R_r: نسبت شعاع هیدرولیکی در نمونه طبیعی به مدل می‌باشد.

از این رابطه به‌عنوان راهنما در طراحی مدل استفاده می‌شود.

در مدلهای فیزیکی با بستر متحرک، برای اطمینان از حرکت رسوب به‌صورت بار بستر در مدل، خصوصاً در سرعتهای کم، اغلب لازم می‌شود که برای مصالح بستر در مدل، از مصالحی سبک‌تر از ماسه مانند پودر زغال سنگ با وزن مخصوص حدود ۱/۳ گرم بر سانتیمتر مکعب یا پودر پلاستیک با وزن مخصوص ۱/۲ گرم بر سانتیمتر مکعب استفاده می‌شود [۴۹].

۶-۱-۴ مشکلات ناشی از انحراف مقیاس

انحراف در مقیاس در مدلهای با بستر متحرک مشکلاتی را ایجاد می‌کند که افزایش شیب دیواره‌ها از آن جمله است. افزایش شیب دیواره ممکن است سبب شود شیب دیواره از زاویه اصطکاک داخلی مصالح بیشتر گردد و درنتیجه پایداری مصالح دیواره در مدل با مشکل مواجه شود. در این حالت دیواره‌ها معمولاً صلب ساخته می‌شوند و این زمانی ممکن است که دیواره‌ها در طبیعت پایدار باشند. انحراف در مقیاس قائم در مدلهای کج همچنین سبب افزایش طولی می‌شود که برای رفع این مشکل لازم

1 - Petersen

omoorepeyman.ir

است که زبری افزایش داده شود. با توجه به اینکه زبری تابع دانه‌بندی مصالح بستر و شکل بستر می‌باشد، زبری به‌طور دقیق شبیه‌سازی نمی‌شود. انحراف در مقیاس قائم همچنین سبب انحراف در توزیع جانبی سرعتها نیز می‌شود. در نتیجه شبیه‌سازی در نقاط تلاقی و انشعاب و محل خمهای تند رودخانه‌ها با مشکل مواجه می‌شود. مقدار انحراف درمقیاس قائم در مدلهای بستر متحرک رودخانه‌های با شیب ملایم حداکثر برابر ۳ توصیه شده است[۴۹]. درحالتی که صرفاً مطالعه پروفیل سطح آب مد نظر باشد، مقدار حداکثر نسبت انحراف برابر ۲ توصیه شده است [۷۱].

۶-۱-۵ ساخت، صحت سنجی و تفسیر نتایج مدلهای کج

انتخاب مقیاس و مصالح بستر برای مدلهای با بستر متحرک، بستگی زیادی به تجربه و قضاوت شخصی مدل کننده دارد. پودر زغال سنگ یکی از مصالح مناسب برای مصالح بستر درمدلهای بستر متحرک می‌باشد. سرعت درمدل برای حرکت این مصالح در محدوده ۹ تا ۳۰ سانتیمتر بر ثانیه می‌باشد که به‌عنوان معیاری برای انتخاب مقیاس قائم مورد استفاده قرار می‌گیرد. شیب مدل براساس رابطه مانینگ و برای ضریب زبری ۰/۰۱۸ برای پودر زغال سنگ تعیین می‌شود. مقیاس افقی نیز با استفاده از رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$x_r = y_r / s_r \qquad (۳-۶)$$

مدل پس از ساخت، بر اساس اطلاعات اندازه‌گیری شده در طبیعت باید صحت سنجی شود. مقیاس زمانی برای جریان در مدل ممکن است متفاوت از مقیاس زمانی برای رسوب باشد. در مرحله صحت سنجی مدل، آبنمود جریان ثبت شده آنقدر تغییر داده می‌شود تا تغییرات بستر اندازه‌گیری شده در مدل بازسازی شود. آبنمود جریان انطباق یافته ممکن است در بده‌های کم و بده‌های زیاد دارای مقیاس متفاوت باشد که ناشی از طبیعت مصالح بستر در مدل می‌باشد. بطور مثال، پودر زغال سنگ در اثر اندکی افزایش در نیروی کشش سطحی، تغییرات سریع حرکتی دارد. بنابراین ممکن است لازم باشد که مقیاس زمانی در بده‌های کم افزایش داده شود و در بده‌های زیاد کاهش داده شود تا حرکت مصالح بستر در طبیعت به‌خوبی شبیه‌سازی شود. صحت یابی مدلهای با بستر متحرک، به دلیل اینکه شبیه‌سازی دقیقاً بر اساس قوانین حاکم انجام نمی‌شود، از اهمیت زیادی برخوردار است. زمانیکه مدل و عملکرد آن با طبیعت انطباق داده شود، با دقت خوبی می‌تواند تغییرات بستر را نیز بازسازی کند. در نتیجه زمینه برای اعتماد به نتایج مدل برای پیش بینی آینده فراهم می‌آید [۴۹].

۶-۲ مدلهای ریاضی متداول در مطالعات فرسایش و رسوب

با توجه به پیچیدگی پدیده‌های هیدرولیکی و رسوبی در رودخانه‌ها، امکان حل معادلات حاکم به روشهای تحلیلی ممکن نیست و معمولاً از روشهای عددی استفاده می‌شود. امروزه با پیشرفت زیاد کامپیوتر و توسعه هر چه بیشتر روشهای عددی، مدلهای ریاضی در مطالعات مهندسی رودخانه کاربرد زیادی یافته‌اند. در مدلهای ریاضی با توجه به اینکه اندازه واقعی رودخانه مدل می‌شود، محدودیت مقیاس وجود ندارد. کاربرد و دقت مدلهای ریاضی بستگی به تعریف معادلات حاکم بر پدیده و روشهای عددی به کار گرفته شده دارد[۵].

omoorepeyman.ir

مدلهای ریاضی درمطالعات فرسایش و رسوب معمولاً برای موارد زیر مورد استفاده قرار می‌گیرند.

- شبیه‌سازی فرسایش در اطراف سازه‌های هیدرولیکی مانند پلها و آب‌شکنها
- شبیه‌سازی تغییرات ریخت شناسی رودخانه
- بررسی تغییرات بستر در اثر برداشت شن و ماسه
- بررسی شکل گیری و تغییرات دلتای رودخانه‌های جزرومدی
- شبیه‌سازی فرسایش و رسوبگذاری در خم رودخانه‌ها
- بررسی عملکرد سازه‌های حفاظت دیواره رودخانه
- انتقال رسوب در رودخانه‌ها
- رسوبگذاری در مخازن سدها

۶-۲-۱ انواع مدلهای ریاضی

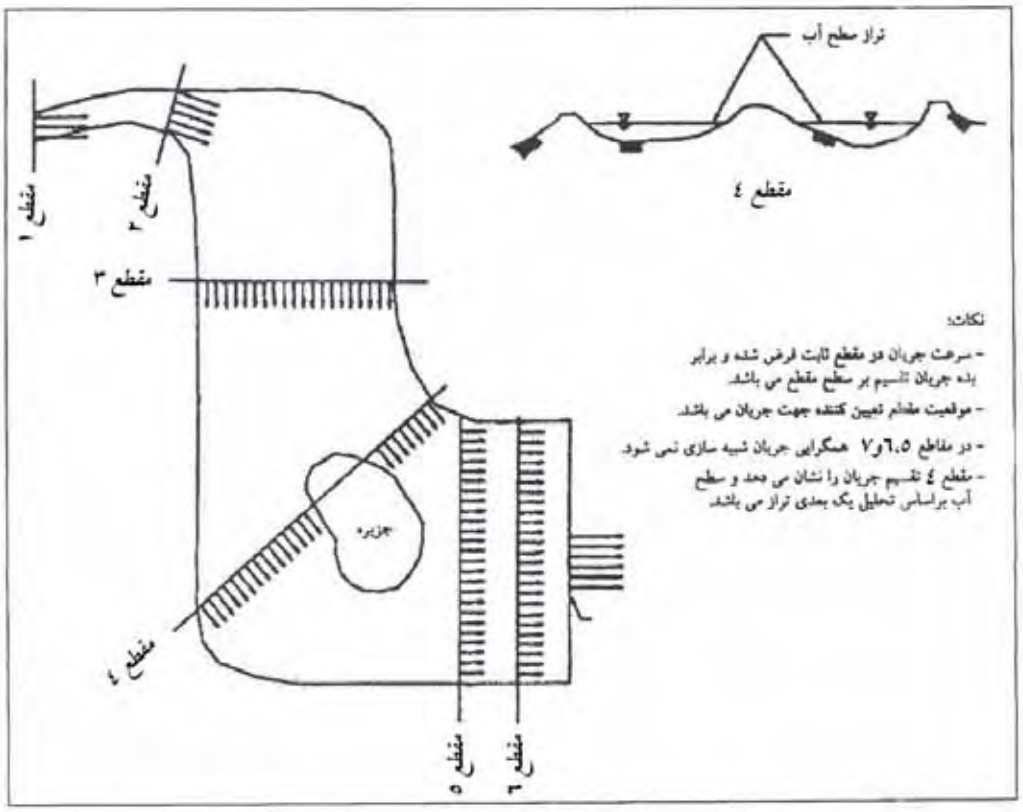
با توجه به ماهیت پدیده‌ها، مدلهای ریاضی یک بعدی، دو بعدی و سه بعدی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در مدلهای یک بعدی فرض می‌شود که مؤلفه جریان فقط در جهت طولی وجود دارد و این بدین معنی است که تراز سطح آب، سرعت و بده جریان، تراز بستر و سایر عوامل فقط در جهت طول تغییر می‌کنند و در سایر جهات ثابت می‌باشند. از این‌رو این مدلها باید در مواردی مورد استفاده قرار گیرند که تغییرات عوامل در جهتهای دیگر ناچیز و قابل صرف نظر کردن باشند. مدلهای ریاضی دو بعدی دو گروه هستند، دو بعدی در جهت قائم و دو بعدی در جهت افق. در مدلهای ریاضی دو بعدی در جهت قائم، تغییرات درجهت طول و در عمق غالب است و از تغییرات در جهت عرض صرف نظر می‌شود. این مدلها خصوصاً در مواردی که مرتبط با غلظت رسوب و تغییرات آن در عمق هستند، کاربرد دارد. در مدلهای دو بعدی در افق، از تغییرات مشخصات جریان در رسوب در جهت عمق صرف نظر می‌شود. در جریان کم عمق (مانند جریان در رودخانه‌ها)، معمولاً تغییرات عوامل جریان در عمق کم است و می‌توان از متوسط آنها در عمق استفاده کرد. در این حالت فقط توزیع افقی عوامل متوسط‌گیری شده در عمق را مورد بررسی قرار می‌دهند. مدلهای دو بعدی در افق معمولاً در موارد زیر کاربرد دارند[۳۰].

- بررسی توپوگرافی بستر در خم رودخانه‌ها
- توسعه پیجانرود همراه با فرسایش دیواره
- بررسی الگوی[1] رودخانه و طبقه‌بندی شکل پلان
- برسی پدیده جورشدگی[2] در خم رودخانه‌ها

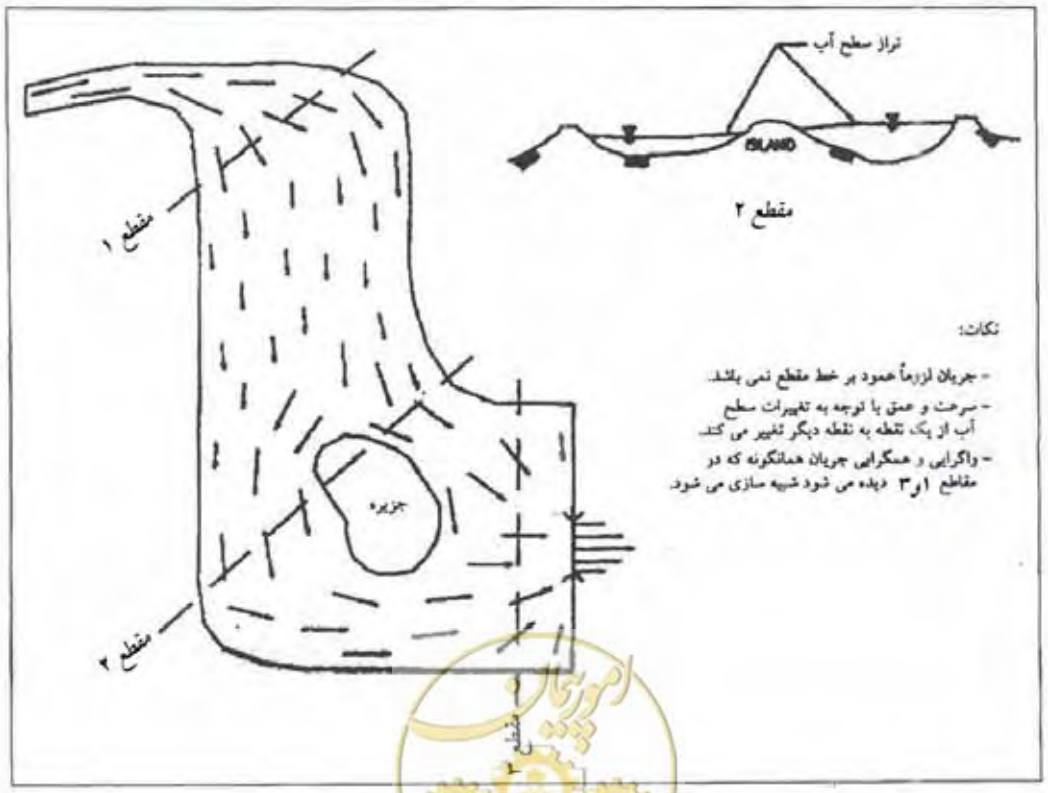
اگر نسبت عرض به عمق برابر و یا بیشتر از ۲۰ باشد، معمولاً تغییرات مولفه سرعت در عمق کم اهمیت‌تر از مولفه طولی و عرضی سرعت می‌باشد و می‌توان از مولفه‌های متوسط‌گیری شده در عمق جریان استفاده کرد [۱۹]. بطور کلی مدلهای ریاضی دو بعدی در افق در مواردی مورد استفاده قرار می‌گیرند که جهت و یا توزیع جریان در عرض مهم باشد و نتوان جریان را یک بعدی فرض کرد. تفاوت استفاده از معادلات یک بعدی و دو بعدی در یک حوضچه ترسیب در شکلهای ۶-۱ و ۶-۲ نشان داده شده است.

1 - Pattern
2 - Pattern

omoorepeyman.ir



شکل ۶-۱ - استفاده از معادلات یک بعدی جریان در یک حوضچه ترسیب [۴۸]



شکل ۶-۲- استفاده از معادلات دو بعدی جریان در یک حوضچه ترسیب [۴۸]

omoorepeyman.ir

مدلهای ریاضی سه بعدی نیز اغلب برای مطالعه هیدرودینامیک جریان توسعه یافته و تعریف کاملی از معادلات جریان و جریانهای ثانویه را شامل می‌شوند. پیچیدگی و محاسبات زیاد این مدلها، سبب شده است که در سطح وسیع مورد استفاده قرار نگیرند. اغلب مدلهای ریاضی سه بعدی به هیدرولیک جریان بدون در نظر گرفتن رسوب و مرزهای فرسایش‌پذیر پرداخته‌اند [۳۰]. در عین حال بعضی از مدلهای سه بعدی همزمان رفتار هیدرولیک جریان و فرسایش و رسوب را می‌توانند به‌صورت موضعی شبیه‌سازی کنند. [۲۱].

جریان در خم رودخانه‌ها معمولاً همراه با فرسایش بستر و دیواره می‌باشد که ناشی از جریان چرخشی در اثر انحناء قوس و غیر یکنواختی پروفیل سرعت است. همچنین جریان در اطراف سازه‌های حفاظت کناره رودخانه، پایه‌های پلها و دهانه‌های آبگیر به صورت سه بعدی می‌باشد. مدلهای ریاضی سه بعدی همراه با رسوب، برای تعیین میدان غلظت در کانالها، تغییرات بستر در محدوده پایه‌های پل، مطالعه جریان و رسوب در دهانه‌های آبگیر مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۲-۶-۲ برخی از مدلهای کامپیوتری توسعه یافته برای مطالعات فرسایش و رسوب

مدلهای ریاضی زیادی توسط محققان مختلف برای مطالعه جریان و رسوب در رودخانه‌ها توسعه یافته است که برخی از آنها جنبه تجاری پیدا کرده و به دفعات در پروژه‌های متعدد در نقاط مختلف جهان مورد استفاده قرار گرفته‌اند. مدلهای MOBED, MIKE11, SEFLOW, GSTARS2, HEC6 وFLUVIAL از جمله این مدلها می‌باشند.در زیر به معرفی جزئیات بیشتری از مدلها پرداخته شده است:

مدل HEC6 : یکی از متداول‌ترین مدلهای کامپیوتری بستر متحرک برای محاسبات یک بعدی در رودخانه‌ها می‌باشد. این مدل برای تحلیل فرسایش و رسوبگذاری از طریق اندرکنش مخلوط آب و رسوب، مصالح بستر و هیدرولیک جریان در کشور آمریکا توسعه یافته است. این مدل قدرت رودخانه را برای حمل رسوب شبیه‌سازی می‌کند. حمل بار بستر، حمل لای و رس، رسوبگذاری، سپرشدگی[1] و از بین رفتن لایه سپر در مدل قابل بررسی می‌باشد. مدل هم‌چنین توانایی تعیین محل و حجم رسوبگذاری در مخزن سد را دارد. فرسایش در پایین‌دست سد، تغییرات دراز مدت فرسایش و رسوبگذاری ناشی از اصلاح کانال و رسوبگذاری درکانالهای کشتیرانی از جمله مواردی است که در مدل قابل بررسی می‌باشد. این مدل برای جریان ماندگار توسعه یافته و برای جریان غیر ماندگار کاربرد ندارد. با توجه به اینکه مدل یک بعدی می‌باشد، توانایی شبیه‌سازی پدیده پیچانرودی یا توزیع رسوب درعرض رودخانه را ندارد [۴۷].

مدل GSTARS2 : برای شبیه‌سازی جریان و رسوب در بسترهای آبرفتی در کشور آمریکا توسعه یافته است و با توجه به اینکه از مفهوم لوله جریان[2] در تعیین عوامل هیدرولیک جریان و انتقال رسوب استفاده شده، یک مدل شبه دو بعدی محسوب می‌شود که علاوه بر تغییرات طولی، توانایی تعیین تغییرات در عرض را هم دارد. با توجه به اینکه روشهای مختلف انتقال رسوب (یازده روش) در مدل مورد استفاده قرار گرفته، امکان به‌کارگیری مدل در شرایط مختلف وجود دارد. قابلیتهای عمده این مدل به شرح زیر می‌باشد[۵۰].

- محاسبه پروفیل سطح آب با و بدون انتقال رسوب
- محاسبه پروفیل سطح آب در شرایط جریان زیر بحرانی، فوق بحرانی و بینابین

1 - Armoring
2 - Stream Tube

omoorepeyman.ir

- انتقال رسوب و تغییرات طولی و عرضی بستر
- محاسبات سپر شدگی و جورشدگی مصالح بستر
- محاسبه تغییرات در عرض و عمق مقطع بر اساس تئوری حداقل قدرت جریان (شبه سه بعدی)

با توجه به اینکه مدل شبه دائمی و شبه دو بعدی می‌باشد، برای جریانهای متغیر سریع، جریانهای غیر دائمی و شرایطی که جریان دو بعدی و سه بعدی می‌باشد و همچنین برای جریانهای ثانویه کاربرد ندارد.

مدل MOBED : برای تحلیل جریان و رسوب در رودخانه‌ها در کشور کانادا توسعه یافته است. این مدل یک بعدی بوده و برای جریان غیر ماندگار کاربرد دارد. این مدل برای پیش‌بینی تغییرات تراز بستر، بررسی تأثیر انحراف جریان، بررسی اثر سازه‌های هیدرولیکی مانند سد بر پروفیل بستر و بررسی تغییرات در مشخصات رسوبی بستر کاربرد دارد [۱۹]. مدل در مسائلی که نیاز به تحلیل دو بعدی یا سه بعدی جریان داشته باشد، کاربرد ندارد. مدل فقط برای رسوب غیر چسبنده قابل کاربرد بوده و به دلیل اینکه فقط از یک رابطه برای انتقال رسوب استفاده کرده، محدوده کاربرد آن کم می‌باشد.

مدل SEFLOW : برای مطالعه جریان، انتقال رسوب و تغییرات ریخت شناسی در شبکه کانالها و رودخانه‌ها در کشور هلند توسعه یافته است. این مدل یک بعدی بوده و در شرایط جریان ماندگار و غیر ماندگار کاربرد دارد. عمده قابلیتهای این مدل به شرح زیر می‌باشد.

- روند یابی جریان و رسوب برای جریان ماندگار و غیر ماندگار درشبکه رودخانه‌ها و کانالها
- بررسی اثرهای ناشی از ساخت سازه‌های هیدرولیکی بر شرایط جریان، تغییرات بستر و ریخت‌شناسی رودخانه
- بررسی جریانهای سیلابی در رودخانه‌های جزرومدی
- مطالعه انتقال رسوب به صورت بار معلق و بارکل

مدل برای پدیده‌هایی که شرایط دو بعدی یا سه بعدی در آنها حاکم است، کابرد ندارد. به دلیل اینکه تعداد روشهای به‌کار گرفته شده در این مدل برای انتقال رسوب کم است (سه روش)، قابلیت انعطاف برای انتخاب روشهای مختلف محدود است.

مدل MIKE11 : برای شبیه‌سازی جریان، انتقال رسوب و کیفیت آب در شبکه کانالها و رودخانه‌ها درکشور دانمارک توسعه یافته و در سطح وسیعی از دنیا و از جمله کشور ایران مورد استفاده قرار گرفته است. این مدل دارای مولفه‌های مختلف برای مطالعات هیدرولوژی، پیش بینی سیلاب، شبیه‌سازی جریان، انتقال رسوبات چسبنده و غیر چسبنده، تغییرات ریخت‌شناسی و کیفیت آب در شبکه کانالها و رودخانه‌ها در حالت جریان ماندگار و غیر ماندگار می‌باشد. قابلیتهای عمده این مدل به شرح زیر می‌باشد [۸]:

- روندیابی جریان در شبکه کانالها و رودخانه‌ها در حالت زیر بحرانی و فوق بحرانی
- شبیه‌سازی جریان به صورت شبه دو بعدی در سیلابدشت
- بررسی تأثیر سازه‌های هیدرولیکی در تغییر پروفیل سطح آب و بستر
- شبیه‌سازی فرسایش و رسوبگذاری رسوبات چسبنده
- محاسبات انتقال رسوب در رسوبات لایه‌ای و غیر یکنواخت
- محاسبات انتقال رسوبات غیر چسبنده و تغییرات ریخت شناسی رودخانه
- شبیه‌سازی کیفیت آب در رودخانه‌ها

omoorepeyman.ir

این مدل یک بعدی بوده و برای پدیده‌هایی که ماهیت دو بعدی و سه بعدی دارند کاربرد ندارد. شبیه‌سازی فرسایش دیواره در مدل قابل انجام نمی‌باشد. با توجه به اینکه روشهای به‌کار رفته برای محاسبات انتقال رسوب زیاد می‌باشد (پنج روش)، انعطاف پذیری برای انتخاب روش مناسب وجود دارد.

به طور خلاصه ویژگیهای مدلهای معرفی شده در جدول ۶-۱ ارائه گردیده است.

جدول ۶-۱- ویژگیهای مدلهای کامپیوتری مورد استفاده در مطالعات فرسایش و رسوب در رودخانه

شاخصهای عددی	نام مدل				
	HEC-6	GSTARS2	MOBED	SEFLOW	MIKE11
نوع مدل	یک بعدی	شبه دو بعدی	یک بعدی	یک بعدی	یک بعدی
نوع جریان	ماندگار- شبه‌ماندگار	ماندگار- شبه‌ماندگار	غیر ماندگار	غیر ماندگار	ماندگار- غیرماندگار
حالت جریان	زیر بحرانی	زیر بحرانی فوق بحرانی	زیربحرانی	زیر بحرانی	زیربحرانی فوق بحرانی
نوع رسوب	چسبنده و غیرچسبنده	چسبنده و غیرچسبنده	غیر چسبنده	غیر چسبنده	چسبنده و غیره چسبنده
تعداد روشهای حمل رسوب	۱۲	۱۱	۱	۳	۵
شبیه‌سازی اثرات سازه‌های هیدرولیکی	دارد	دارد	دارد	دارد	دارد
محل توسعه مدل	آمریکا	آمریکا	کانادا	هلند	دانمارک

۶-۳ چگونگی آماده سازی داده‌های مورد نیاز

برای اجرا، واسنجی[1] و صحت سنجی[2] مدلهای فیزیکی و ریاضی، به مجموعه‌ای از داده‌های اندازه‌گیری شده نیاز می‌باشد. بخشی از اطلاعات ممکن است موجود باشد و بخشی نیز با استفاده از برداشتهای صحرایی تهیه شود. داده‌های جمع‌آوری شده ممکن است به صورت خام مورد استفاده قرار گیرند یا نیاز به پردازش و تحلیل داشته باشند. جمع‌آوری، پردازش و تحلیل داده‌های صحرایی، نقش مهمی در اجرا، واسنجی و صحت سنجی مدلهای فیزیکی و ریاضی دارد [۴۸].

1 - Calibration
2 - Verification

omoorepeyman.ir

۶-۳-۱ انواع داده‌های مورد نیاز برای اجرای مدلها

برای اجرای مدلها، بسته به شرایط حاکم بر مدل و پدیده مورد مطالعه، داده‌های مورد نیاز متفاوت می‌باشد ولی به طور کلی داده‌های مورد نیاز مدلها را به شرح زیر می‌توان طبقه‌بندی کرد.

الف- داده‌های هندسی

این داده‌ها شامل پلان، مقاطع عرضی و طولی رودخانه، موقعیت و مشخصات سازه‌های هیدرولیکی می‌باشند. این داده‌ها با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ویا برداشتهای صحرایی تهیه می‌گردند. تعداد مقاطع عرضی بستگی به تغییرات شکل مقطع در طول رودخانه و دقت مورد نیاز در مطالعات دارد. در هر صورت تعداد مقاطع باید بنحوی باشد که تغییرات شدید درشکل مقطع را در نظر بگیرد. اغلب مدلها نیز این قابلیت را دارند که در صورت نیاز در بین مقاطع عرضی معرفی شده به مدل، مقاطع عرضی جدید را با استفاده از روش درونیابی تولید کنند. در هنگام برداشت اطلاعات مقاطع عرضی به این نکته باید توجه شود که علاوه بر مقطع اصلی، سیلابدشت طرفین نیز به اندازه کافی برداشت شود.

داده‌های مربوط به ضریب زبری مقاطع سیلابدشت نیز در این گروه قرار گرفته است. ضریب زبری اغلب به دو صورت ضریب زبری مانینگ و یا ضریب زبری شزی در مدلها مورد استفاده قرار می‌گیرد. ضریب زبری مشتمل بر دو قسمت است. زبری مربوط به مصالح بستر که بیشتر با استفاده از مشخصات منحنی دانه‌بندی مصالح بستر و با استفاده از روابط تجربی ارائه شده توسط محققان مختلف قابل محاسبه می‌باشد. بخشی از زبری نیز به فرم بستر، پوشش گیاهی و موانع موجود در مقطع بستگی دارد که دراین خصوص نیز پیشنهادها، جداول و روابط مختلفی ارائه شده است که از آن جمله جداول ارائه شده توسط چاو[1] می‌باشد. شایان ذکر است که مقدار ضریب زبری با استفاده از پیشنهادها و روابط تخمین زده می‌شود و از جمله عواملی می‌باشد که در مرحله واسنجی مدل تدقیق می‌شود.

ب- داده‌های هیدرولوژیکی

این داده‌ها معمولاً شامل جریان ورودی و خروجی از بازه مورد مطالعه می‌شود که بسته به شرایط حاکم بر مدل (جریان ماندگار یا غیر ماندگار) و یا اطلاعات در دسترس (بده، تراز سطح آب، آبنمود و رابطه بده – تراز سطح آب) به عنوان شرایط مرزی جریان در مدلها مورد استفاده قرار می‌گیرند. در مدلهای جریان ماندگار بده ثابت، تراز سطح آب ثابت و یا رابطه بده- تراز سطح آب به عنوان شرایط مرزی جریان و اطلاعات ورودی مدلها مورد استفاده قرار می‌گیرد. در مدلهای جریان غیر ماندگار آبنمود جریان (بده- زمان یا تراز سطح آب- زمان و یا رابطه بده- تراز سطح آب) به عنوان شرایط مرزی جریان مورد استفاده قرار می‌گیرند. این داده‌ها معمولاً از طریق ایستگاههای آب‌سنجی که دارای تجهیزات ثبت تراز سطح آب و سرعت جریان می‌باشند، تهیه می‌شوند. برخی از خواص آب مانند دانسیته و درجه حرارت نیز به عنوان داده‌های ورودی مدلها مورد نیاز می‌باشد که با اندازه‌گیری تعیین می‌گردند.

omoorepeyman.ir

1 - Chow

ج- داده‌های رسوب

داده‌های رسوب در مدلها به صورت داده‌های عمومی و یا شرایط مرزی مورد استفاده قرار می‌گیرند. دانه‌بندی رسوبات مصالح بستر، بار بستر و بار معلق، دانسیته و چگالی رسوبات به‌صورت داده‌های عمومی رسوب در مدلها استفاده می‌گردد. غلظت یا بده رسوبات معلق و بار بستر (ثابت و یا تابعی از زمان)، رابطه بده جریان و بده رسوب و یا تغییرات بستر در یک مقطع مشخص (ثابت یا تابعی از زمان) بعنوان شرایط مرزی جریان رسوب در مدلها مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به تئوریهای حاکم بر مدل و اهداف مطالعه ممکن است تمام و یا بخشی از این داده‌ها مورد نیاز باشد. این داده‌ها معمولاً از طریق نمونه‌برداری مصالح بستر و انجام دادن آزمایشهای لازم، نمونه‌گیری از جریان همراه با رسوب و یا با استفاده از تجهیزات ثبت غلظت رسوبات تعیین می‌گردند.

۶-۳-۲ داده‌های مورد نیاز برای واسنجی و صحت سنجی مدلها

علاوه بر داده‌های مورد نیاز برای اجرای مدلها، برای واسنجی و صحت سنجی مدلها نیز تعدادی داده مورد نیاز می‌باشد که به‌کارگیری آنها نقش مهمی در اجرای صحیح و نتایج بدست آمده از مدلها را دارد. در خصوص واسنجی و صحت سنجی مدلها بعداً به تفصیل مطالبی ارائه می‌گردد. در اینجا به برخی از داده‌های جریان و رسوب که در واسنجی و صحت سنجی مدلهای مورد استفاده در مطالعات فرسایش و رسوب کاربرد دارد، اشاره می‌گردد. لازم به یادآوری می‌باشد که داده‌های مورد استفاده در مرحله واسنجی، نباید در مرحله صحت سنجی مورد استفاده قرار گیرند و برای هر مرحله یک سری داده‌های جداگانه مورد نیاز می‌باشد.

تراز سطح آب در چند نقطه از بازه مورد مطالعه به ازاء بده جریان مشخص یکی از داده‌هایی است که در واسنجی و صحت سنجی مدلهای فیزیکی و ریاضی استفاده می‌شود. همچنین ثبت مقادیر سرعت جریان در چند مقطع از بازه مورد مطالعه مبنایی برای واسنجی و صحت‌سنجی مدلها از نظر عملکرد هیدرولیک جریان می‌باشد.

اغلب با استفاده از این اطلاعات ضریب زبری در مدل واسنجی می‌شود و سپس عملکرد مدل واسنجی شده با گروه دیگری از اطلاعات مورد صحت سنجی قرار می‌گیرد.

داده‌های مربوط به تغییرات تراز بستر در اثر شرایط مشخص جریان و همچنین داده‌های مربوط به غلظت یا بده رسوب در چند نقطه از بازه مورد مطالعه، از جمله داده‌هایی می‌باشند که برای واسنجی و صحت سنجی مدلهای بستر متحرک استفاده می‌شوند. این اطلاعات از طریق اندازه‌گیری و برداشتهای صحرایی و قبل از مرحله اجرای نهایی مدل تهیه می‌شوند.

۶-۴ واسنجی و صحت سنجی مدلها

واسنجی و صحت سنجی مهم‌ترین عامل در بکارگیری مدلهای فیزیکی و ریاضی برای شبیه‌سازی پدیده‌های مورد مطالعه می‌باشد. واسنجی بر اساس اطلاعات اندازه‌گیری شده و شرایط معلوم برای طبیعت و انطباق ضرایب متغیر در مدل صورت می‌گیرد به نحوی که شرایط متناظر در مدل ایجاد شود. بعد از واسنجی، مدل باید با اطلاعاتی که در مرحله واسنجی مورد استفاده قرار نگرفته باشد، صحت‌سنجی شود [۴۹]. در صورتی‌که مدلها به خوبی واسنجی و صحت سنجی شوند، پیش‌بینیهای انجام شده توسط مدلها، واقع‌بینانه‌تر خواهند بود.

omoorepeyman.ir

۶-۴-۱ واسنجی و صحت سنجی مدلهای فیزیکی

در مدلهای فیزیکی فرسایش و رسوب در رودخانه، واسنجی بخشی از مرحله ساخت مدل می‌باشد به‌نحوی که انتخاب مقیاس و انتخاب مصالح بستر در مدل نقش عمده‌ای دارد. در مدلهای فیزیکی با بستر ثابت، عمدتاً با ایجاد زبری مناسب، پروفیل سطح آب و توزیع سرعت در مدل واسنجی می‌گردد. این زبری ممکن است به طور طبیعی و با استفاده از مصالح بکار رفته در مدل و یا اینکه به طور مصنوعی و با نصب میله و موانع در مسیر جریان ایجاد گردد به طوری که نتیجه آن شبیه‌سازی پروفیل سطح آب، توزیع سرعت و یا توزیع غلظت رسوب در مدل بر اساس اطلاعات اندازه‌گیری شده باشد.

در مدلهای فیزیکی با بستر متحرک و خصوصاً مدلهای فیزیکی کج که معمولاً قوانین شبیه‌سازی و مقیاس مدل برای انتخاب مصالح بستر دقیقاً رعایت نمی‌گردد، واسنجی و صحت سنجی مدل از اهمیت بیشتری برخوردار می‌باشد. در این مدلها جنس و دانه‌بندی مصالح بستر و هم‌چنین مقیاس زمانی آبنمود جریان به‌نحوی انتخاب می‌گردد که مصالح بستر در مدل حرکت داشته باشند و تغییرات اندازه‌گیری شده در طبیعت درمدل بازسازی شود.

توزیع سرعت، خصوصاً درمدلهای کج، از جمله اطلاعاتی است که برای واسنجی مدل استفاده می‌شود. انحراف در مقیاس افقی و قائم در مدلهای کج سبب می‌شود سرعت در مدل به خوبی بازسازی نشود و در این موارد واسنجی مدل از اهمیت خاصی برخوردار است.

در مدلهای فیزیکی، واسنجی و صحت سنجی مدل دو مسئله به هم وابسته هستند که به‌طور جداگانه باید انجام شوند. زمانی که اطلاعات طبیعت تحت شرایط خاص اندازه‌گیری می‌شود، مدل تحت همان شرایط اجرا می‌شود و نتایج با اعمال مقیاسها، با نتایج اندازه‌گیری شده مقایسه می‌شود. اگر نتایج مدل و اندازه‌گیری شده مطابقت داشته باشد، مدل تایید شده است. چنانچه نتایج مدل با طبیعت مطابقت نداشته باشد، شبیه‌سازی به خوبی انجام نشده است و نیاز هست که مدل اصلاح شود. بعد از هر اصلاحی که در مدل انجام می‌شود، باید مرحله صحت سنجی مدل نیز انجام شود تا زمانی که نتایج قابل قبولی بدست آید.

به طور ایده‌آل، اطلاعات در مرحله واسنجی، باید متفاوت از اطلاعاتی باشد که در مرحله تایید نهایی استفاده می‌شود. در صورتی‌که با این اطلاعات مدل تایید شود، نشان می‌دهد که مدل به خوبی واسنجی شده و پیش بینی آن قابل اعتماد خواهد بود. هزینه زیاد تهیه اطلاعات سبب می‌شود که در اغلب مواقع از بخشی از اطلاعاتی که برای واسنجی مدل استفاده می‌شود، برای صحت سنجی مدل استفاده گردد [۳۷].

۶-۴-۲ واسنجی و صحت سنجی مدلهای ریاضی

برای مدلهای ریاضی نیز همانند مدلهای فیزیکی باید مراحل واسنجی و صحت سنجی صورت گیرد. در مرحله واسنجی مجموعه‌ای از عوامل به نحوی اصلاح می‌گردند که مقادیر محاسبه‌ای توسط مدل و مقادیر اندازه‌گیری شده در طبیعت، انطباق داشته باشد. قبل از واسنجی، کاربر باید از صحت عملکرد مدل و کامل بودن فایل ورودی اطمینان حاصل کند. درمطالعه هیدرولیک جریان، معمولاً از اطلاعات اندازه‌گیری شده بده جریان و تراز سطح آب برای واسنجی استفاده می‌گردد. در این حالت ضریب زبری عمده‌ترین عاملی است که مورد واسنجی قرار می‌گیرد. در مدلهای دو بعدی و سه بعدی، جریان غیر ماندگار

omoorepeyman.ir

و مدلهای فرسایش و رسوب، اطلاعات بیشتری برای واسنجی مورد نیاز می‌باشد. تغییرات مکانی و زمانی بده جریان و تراز سطح آب، توزیع سرعت، تغییرات مکانی و زمانی غلظت رسوب، تغییرات زمانی و مکانی تراز و شکل بستر از جمله اطلاعاتی هستند که برای واسنجی این‌گونه مدلها مورد نیاز می‌باشد.

صحت سنجی آخرین مرحله‌ای است که باید بعد از واسنجی صورت گیرد. برای این کار نیاز به اطلاعاتی می‌باشد که در مرحله واسنجی استفاده شده باشد. دراین مرحله مدل واسنجی شده با اطلاعات جدید اجرا می‌شود و نتایج محاسبات با اطلاعات اندازه‌گیری شده مقایسه می‌گردد. در صورتیکه نتایج انطباق داشته باشد، از واسنجی مدل اطمینان حاصل می‌شود و به نتایج پیش بینی مدل برای تغییرات آینده می‌توان اعتماد کرد. در صورتیکه اطلاعات کافی برای واسنجی و صحت سنجی مدل در دسترس نباشد، باید آنالیز حساسیت مدل به عوامل ورودی انجام گیرد تا میزان تأثیر خطای در اطلاعات ورودی روی نتایج خروجی مدل قابل بررسی باشد.

۶-۵ نقش مدلها در پیش‌بینی روند فرسایش و رسوبگذاری در محدوده مطالعاتی

به دلیل وجود پیچیدگیهای زیاد در پدیده‌های هیدرولیکی و رسوبی، لازم است قبل از طراحی و اجرای پروژه‌های مرتبط با این پدیده‌ها، از چگونگی عملکرد آنها اطلاعاتی بدست آورده شود. به منظور پیش‌بینی پدیده‌های پیچیده هیدرولیکی و رسوبی از روشهای شبیه‌سازی و مدلهای فیزیکی و ریاضی بهره‌گیری می‌شود. چنانچه مراحل واسنجی و صحت سنجی مدلها به خوبی صورت گیرد و عملکرد مدل تایید گردد، پیش بینی مدل در خصوص پدیده‌های مورد مطالعه قابل اعتماد خواهد بود. مدلهای فیزیکی با استفاده از قوانین شبیه‌سازی، شرایطی را فراهم می‌کنند تا پدیده‌هایی مانند آبشستگی، فرسایش و رسوبگذاری به صورت سه بعدی مورد مطالعه قرار گیرند.

مدلهای ریاضی به صورت یک بعدی، دو بعدی و سه بعدی توسعه یافته و متناسب با اطلاعات موجود و نیازهای طراحی، هر یک از آنها در شرایط خاص خود مورد استفاده قرار می‌گیرند. با استفاده از مدلهای ریاضی ابعاد واقعی پدیده‌ها و برای دوره‌های زمانی طولانی قابل بررسی می‌باشد.

به طور کلی از روند تغییرات رودخانه در گذشته برای واسنجی و صحت سنجی مدلها استفاده می‌گردد و پس از تایید عملکرد مدل، روند تغییرات در آینده با استفاده از مدل پیش بینی می‌گردد. برخی از مواردی را که روند تغییرات آنها با استفاده از مدلها قابل پیش بینی می‌باشد به شرح زیر است :

- فرسایش در اطراف سازه‌های هیدرولیکی مانند پلها و آب‌شکنها
- فرسایش و رسوبگذاری در خم رودخانه‌ها و توسعه پیچانرودها
- تأثیر عملکرد سازه‌های حفاظت رودخانه بر فرسایش و رسوبگذاری در محدوده مورد مطالعه
- انتقال رسوب در رودخانه‌ها و تغییرات بستر در اثر فرسایش و رسوبگذاری
- رسوبگذاری در مخازن سدها ودلتای رودخانه‌ها

omoorepeyman.ir

۶-۶ موارد استفاده از مدلهای فیزیکی و ریاضی در مطالعات فرسایش و رسوب

موارد استفاده از مدلهای فیزیکی و ریاضی در مطالعات فرسایش و رسوب به شرح زیر ارائه می‌گردد :

۶-۶-۱ مدلهای فیزیکی

- به طور کلی مدلهای فیزیکی برای پدیده‌هایی که نیاز به مطالعه سه بعدی دارند، مانند فرسایش و رسوبگذاری در اطراف سازه‌های هیدرولیکی و مطالعه جریان و رسوب در دهانه آبگیرها، استفاده می‌شوند.
- در صورتیکه مطالعه الگوی جریان در مدل مورد نظر باشد و حرکت مواد بستر در مدل حائز اهمیت نباشد، ازمدل فیزیکی با بستر ثابت می‌توان استفاده کرد.
- در صورتیکه حرکت بار بستر و تغییرات توپوگرافی مورد نظر باشد از مدلهای فیزیکی با بستر متحرک استفاد می‌شود.
- مدلهای فیزیکی غیر کج برای مطالعات موضعی و در وسعت محدود مانند الگوی فرسایش موضعی در اطراف سازه‌های هیدرولیکی و مطالعه رسوب در دهانه‌های آبگیر استفاده می‌شود. به طور کلی در صورتی که امکانات آزمایشگاهی، امکان ساخت مدل غیرکج را فراهم کند، ساخت این مدلها بر مدلهای فیزیکی کج برتری دارد.
- در زمانی که محدوده وسیعی از رودخانه مدل می‌شود و یا محدودیت عمق جریان و حرکت مواد بستر درمدل پیش می‌آید، از مدلهای فیزیکی کج استفاده می‌شود. در این مدلها مقیاس عمودی و افقی متفاوت می‌باشد. تفسیر نتایج این مدلها نیاز به دقت بیشتری دارد.
- در مدلهای فیزیکی با بستر متحرک، برای اطمینان از حرکت رسوب به صورت بار بستر، معمولاً از مصالح سبک‌تر از مصالح طبیعی، مانند پودر ذغال سنگ و پودر پلاستیک استفاده می‌شود.

۶-۶-۲ مدلهای ریاضی

- مدلهای ریاضی در اغلب مطالعات فرسایش و رسوب کاربرد دارند و به دلیل اینکه اندازه واقعی رودخانه مدل می‌شود، در استفاده از این مدلها محدودیت مقیاس وجود ندارد.
- در مدلهای ریاضی یک بعدی فرض می‌شود که مولفه جریان فقط در جهت طولی وجود دارد. از این رو این مدلها باید در مواردی استفاده شوند که تغییرات عوامل در جهتهای دیگر ناچیز و یا قابل صرف نظر کردن باشند.
- مدلهای ریاضی دو بعدی در قائم، زمانی بکار گرفته می‌شوند که تغییرات عواملی مانند غلظت رسوب در عمق زیاد باشند.
- در مدلهای ریاضی دو بعدی در افق، از تغییرات در جهت عمق صرف نظر می‌شود و یا اینکه از مقادیر متوسط‌گیری شده در عمق استفاده می‌شود. این مدلها اغلب برای بررسی توپوگرافی بستر در خم رودخانه‌ها، توسعه پیچانرودها و الگوی رودخانه و شکل پلان مورد استفاده قرار می‌گیرند.
- مدلهای ریاضی سه بعدی برای مطالعه پدیده‌هایی که ماهیت سه بعدی دارند مانند جریان در خم رودخانه‌ها، جریان در اطراف سازه‌های هیدرولیکی و جریان آب و رسوب در دهانه‌های آبگیر استفاده می‌شوند.
- انتخاب نوع مدل به موضوع مطالعه، قابلیتهای مدل و اطلاعات در دسترس بستگی دارد.

omoorepeyman.ir

- به طور کلی قبل از انتخاب مدل ریاضی مناسب برای مطالعات فرسایش و رسوب در رودخانه سئوالهای زیر باید طرح و پاسخ گفته شود.

- آیا اطلاعات مورد نیاز مدل متناسب با نیازهای پروژه وجود دارد؟
- آیا ظرفیت و محدودیت مدل (نرم افزاری و سخت افزاری) متناسب با نیاز پروژه می‌باشد؟
- آیا مبانی تئوری مدل جوابگوی نیاز پروژه می‌باشد؟
- تا چه حد امکان واسنجی و صحت سنجی مدل وجود دارد؟
- اطلاعات موجود چقدر است و چقدر نیاز به پردازش دارد؟
- سادگی و انعطاف پذیری مدل برای استفاده کاربران چقدر است؟
- آیا قابلیت انتقال اطلاعات بین مدلهای مورد استفاده وجود دارد؟
- آیا امکان ایجاد اطلاعات توسط مدل وجود دارد؟
- هزینه و زمان اجرای مدل چگونه است؟
- آیا مدل روی کامپیوترهای معمولی اجرا می‌شود یا نیاز به کامپیوترهای خاص دارد؟
- آیا امکان پشتیبانی مدل برای استفاده کاربران وجود دارد؟
- آیا اطلاعات ورودی مدل با دقت مورد نیاز و در تعداد کافی وجود دارد؟

omoorepeyman.ir

۷- پایش و ارزیابی پیامدهای اقدامات ساماندهی در رودخانه‌ها از دیدگاه فرسایش و رسوبگذاری

۷-۱ مروری بر پیامدهای طبیعی فرسایش و رسوبگذاری در رودخانه‌ها

مهار فرسایش و مقابله با پدیده رسوبگذاری از جمله اهداف اقدامات ساماندهی در رودخانه‌ها می‌باشد. در فصل سوم و چهارم این راهنما به تفصیل در خصوص پدیده‌های فرسایش و رسوبگذاری و عوامل مؤثر برآنها در شرایط طبیعی پرداخته شده است. بر اساس نتایج حاصل از این بررسیها می‌توان انواع فرسایش و رسوبگذاری را در حالت طبیعی به‌صورت زیر خلاصه کرد:

فرسایش:

- فرسایش عمومی (کف کنی فراگیر بستر رودخانه)
- فرسایش موضعی (فرسایش در قوسها، غارکنی، پنجه شویی)

رسوبگذاری:

- رسوبگذاری عمومی (افزایش فراگیر تراز بستر رودخانه)
- رسوبگذاری موضعی (رسوبگذاری در قوسهای داخلی، تشکیل جزایر و بارهای رسوبی)

عوارض ناشی از این‌گونه پدیده‌های طبیعی بسیار متنوع بوده و پیامدهای آن نیز مستقیماً محیط رودخانه‌ای را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد. پیامدهای وقوع فرسایش و رسوبگذاری را می‌توان به‌صورت زیر عنوان کرد:

الف – پیامدهای ناشی از فرسایش

- ناپایداری دیواره‌های ساحلی رودخانه و ریزش تدریجی یا توده‌ای آنها که منجر به از بین رفتن اراضی حاشیه‌ای و تأسیسات موجود می‌گردد.
- جابجایی عرضی پیچابها و تغییر مسیر رودخانه
- ایجاد میانبر و بر هم خوردن ساختار ریخت‌شناسی رودخانه
- تغییر عرض و شیب رودخانه که منجر به تغییر نوع رودخانه نیز می‌گردد (تبدیل مسیرهای مستقیم به پیچانرودی و برعکس و یا تبدیل رودخانه شریانی به پیچانرودی و برعکس)
- تغییر دانه‌بندی مواد بستر
- تغییر ظرفیت انتقال رسوب ناشی از تغییر دانه‌بندی و شیب رودخانه

ب – تبعات ناشی از رسوبگذاری

- کاهش ظرفیت آب‌گذری مجرا که منجر به افزایش تراز آب و تشدید خطر سیلابها می‌گردد.
- تغییر مسیر رودخانه ناشی از تجمع رسوبات
- تعریض بستر و بر هم خوردن ساختار هندسی رودخانه
- تغییر نوع رودخانه (در اثر رسوبگذاری ممکن است رودخانه پیچانرودی به رودخانه شریانی تبدیل شود)

omoorepeyman.ir

۲-۷ پیامدهای اقدامات ساماندهی رودخانه بر روند فرسایش و رسوب رودخانه‌ها

با انجام دادن اقدامات ساماندهی، شرایط طبیعی دستخوش دگرگونی گردیده و رودخانه در وضعیت جدیدی قرار می‌گیرد. همان گونه که در فصل پنجم مطرح گردیده است، اقدامات ساماندهی شامل ساخت سازه‌های عرضی، سازه‌های طولی، اقدامات اصلاح مسیر و پوشش گیاهی بوده و توجه به پیآمدهای برداشت شن و ماسه در راستای ساماندهی نیز بخشی از این‌گونه اقدامات می‌باشد. با انجام دادن اقدامات ساماندهی، هر چند اهدافی چون مهار سیلاب، تثبیت بستر و کناره‌ها، ایجاد راستای مناسب و برقراری حالت متوازن در رودخانه محقق می‌گردد، لیکن در چنین شرایطی نیز خطر فرسایش و رسوبگذاری مرتفع نگردیده و همچنان تهدیدی برای سازه‌های حفاظتی و اهداف ساماندهی تلقی می‌شود. در فصل ۵ به تفصیل پیآمدهای ساماندهی در فرسایش و رسوبگذاری رودخانه‌ها مورد بحث و بررسی قرار گرفته که نتایج آن‌را می‌توان به‌صورت زیر خلاصه نمود:

نوع سازه یا اقدامات ساماندهی	وقوع فرسایش یا رسوبگذاری
آب‌شکنها	فرسایش موضعی در دماغه آبشکن فرسایش عمومی ناشی از کاهش مقطع جریان رسوبگذاری در میدان آبشکنها – رسوبگذاری در بازه‌های پایین‌دست
پلها	فرسایش موضعی در اطراف پایه‌های پل فرسایش بستر ناشی از کاهش مقطع جریان رسوبگذاری در بالادست پل
سدهای مخزنی و بندهای انحرافی	فرسایش عمومی در پایین‌دست سد و گسترش آن به شاخه‌های فرعی رسوبگذاری فراگیر در بازه‌های بالادست و گسترش آن به شاخه‌های فرعی فرسایش موضعی در پای سد
کف‌بندها، سرریزها و شیب شکنها	رسوبگذاری و تثبیت بستر فرسایش موضعی در پای سازه
دیواره‌های سیل‌بند و پوششهای حفاظتی	احتمال فرسایش عمومی ناشی از کاهش مقطع جریان فرسایش موضعی(پنجه شویی)
خاکریزهای سیل بند یا گوره‌ها	امکان تشدید رسوبگذاری در سیلاب‌دشت و مجرای اصلی تشدید فرسایش در مجرای اصلی و گسترش آن به شاخه‌های فرعی
اقدامات اصلاح مسیر	فرسایش ناشی از ایجاد میانبرها فرسایش ناشی از کانالیزه کردن مجرای اصلی رسوبگذاری در بازه‌های پایین‌دست

omoorepeyman.ir

بدیهی است تأثیرگذاری اقدامات ساماندهی بر روند فرسایش و رسوبگذاری رودخانه فرایندی است که متقابلاً عملکرد سازه‌های حفاظتی و تحقق اهداف ساماندهی از آن تأثیرپذیری مستقیم دارد. وقوع فرسایش همواره تهدیدی جدی بر سلامت و پایداری سازه‌های ساماندهی تلقی می‌شود. به علاوه در مواردی رسوبگذاری مانع از تحقق اهداف مورد نظر می‌گردد..

۷-۳ اهمیت و ضرورت پایش عملکرد اقدامات ساماندهی رودخانه‌ها

پایش و ثبت عملکرد اقدامات ساماندهی و چگونگی عکس‌العمل رودخانه در قبال چنین اقداماتی راهکار مناسبی برای اتخاذ تدابیر مدیریتی و آگاهی از روند فعل و انفعالات ناشی از فرسایش و رسوبگذاری می‌باشد. در شکل ۷-۱ نمونه‌ای از ثبت روند تغییرات تراز بستر و دانه‌بندی مواد بستر در یک دوره ۱۴۰ ساله (۱۸۸۰ تا ۱۹۷۰) بر روی رودخانه لخ[1] در آلمان نشان داده شده است. به‌علاوه در شکل ۷-۵ روند تغییر مقطع عرضی در بخشی از رودخانه لخ در دوره ۹۰ ساله ارائه شده است. این تغییرات ناشی از مجموعه اقدامات ساماندهی شامل مسیرسازی، کاهش عرض رودخانه[2]، ساخت سازه‌های عرضی برای تثبیت بستر در بالادست و همچنین مهار سیلاب‌ها بوده است [۳۲]. مطابق شکل ۷-۲ بستر رودخانه در این دوره کاهش ترازی معادل ۷ متر را تجربه کرده است. نمونه‌ای دیگر از پایش فرایند شکل‌گیری میانبر مصنوعی[3] و تأثیر آن برخصوصیات هیدرولیک جریان و انتقال رسوب در رودخانه یانگ تسه[4] در شکل ۷-۳ نشان داده شده است [۲۸]. مطابق شکل مزبور پیامدهای ناشی از ساخت میانبر را می‌توان به سه مرحله مشخص تقسیم نمود. در مرحله اول با تشدید فرسایش و تعریض بستر شیب مسیر میانبر کاهش یافته و میزان بده جریان عبوری رو به افزایش می‌گذارد، در مرحله دوم میزان بده عبوری باز هم افزایش یافته و در مسیر اصلی رودخانه (بازه پیچانرودی) پدیده رسوبگذاری آغاز می‌گردد.

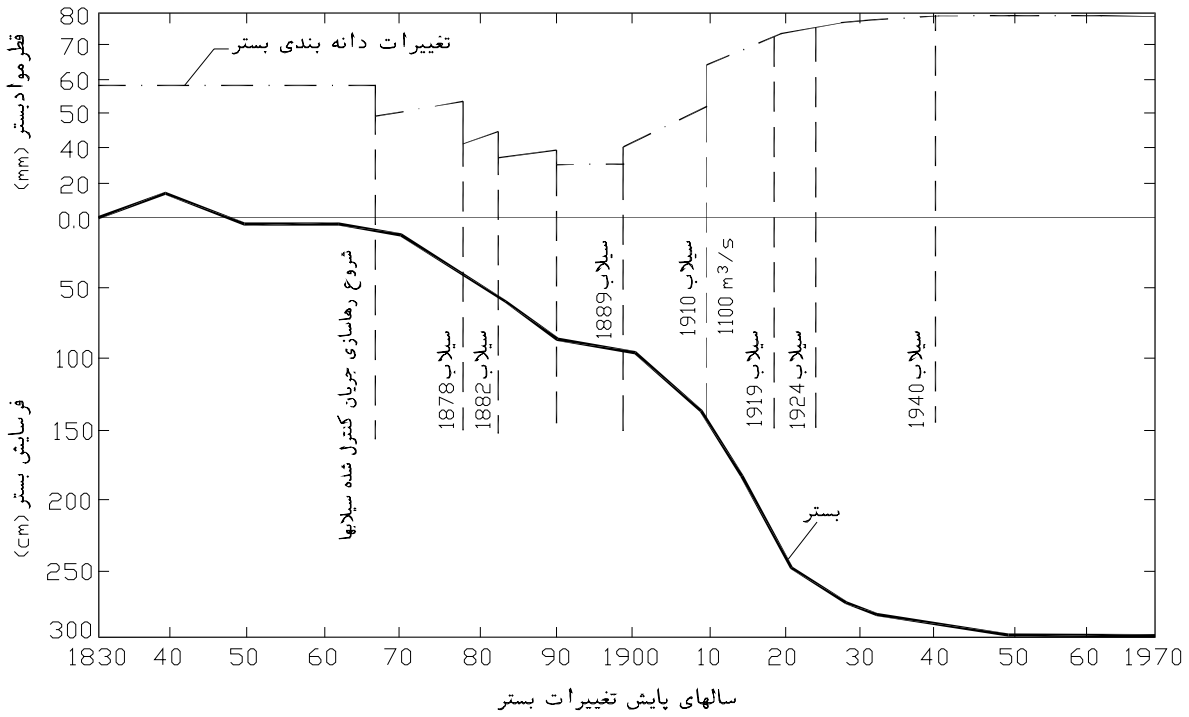
با تداوم رسوبگذاری در مجرای اصلی بخش عمده‌ای از بده جریان رودخانه به میانبر هدایت شده و حالت انسداد کانال در مجرای اصلی پدیدار می‌گردد.

در مرحله سوم پیچاب موجود در مجرای اصلی شکل دریاچه شاخ گاوی[5] بخود گرفته و با جداشدن از سیستم رودخانه‌ای جریان آب به‌طور کامل در مسیر میانبر هدایت می‌شود. اصلاح مسیر و هدایت جریان در مقطع کنترل شده از دیگر اقدامات ساماندهی است که منجر به وقوع فرسایش و بروز کف کنی در رودخانه می‌گردد. در شکل ۷-۴ نمونه‌ای از پایش رفتار رودخانه بعد از انجام دادن اقدامات اصلاح مسیر نشان داده شده است. بر روی شکل روند تغییرات نیمرخ طولی رودخانه در یک دوره ۴۰ ساله بین سالهای ۱۹۲۰ (قبل از ساماندهی) تا ۱۹۶۰ و برای چند سال متوالی نشان داده شده است [۷].

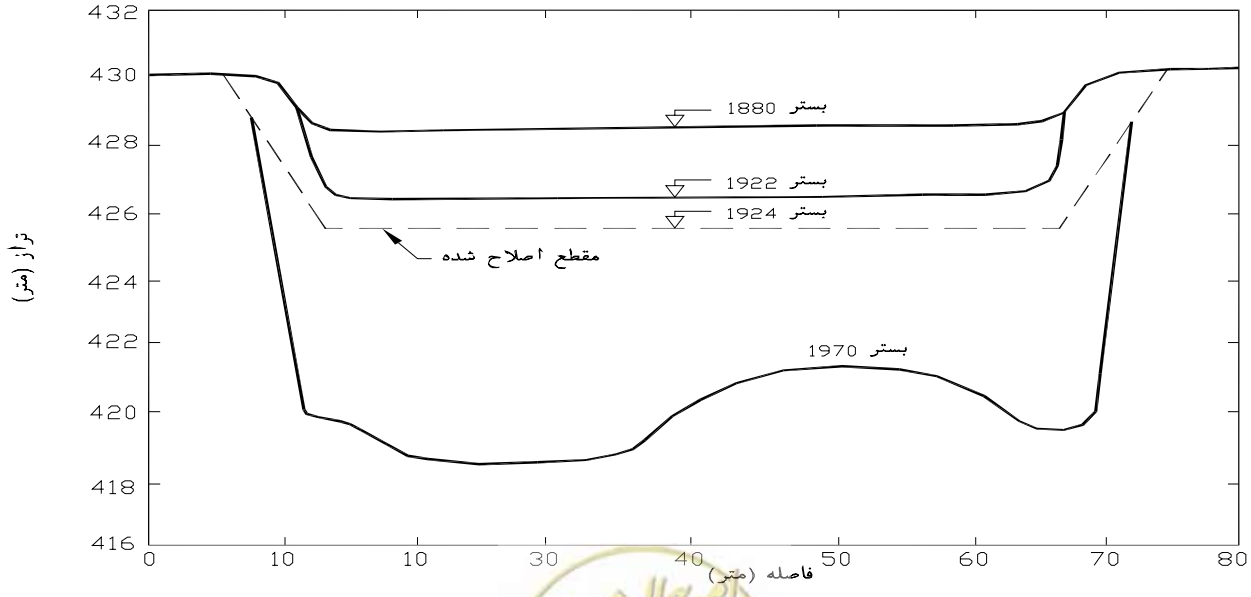
بدیهی است چنین روند پایشی پیامدهای ناشی از تغییرات تراز بستر و تأثیر آن بر عملکرد سازه‌های حفاظتی و تمهیدات مدیریتی را مشخص می‌نماید.

1 - Lech River
2 - Canalization
3 - Artificial Cut-off
4 - Yang-Tse River
5 - Oxbow Lake

omoorepeyman.ir

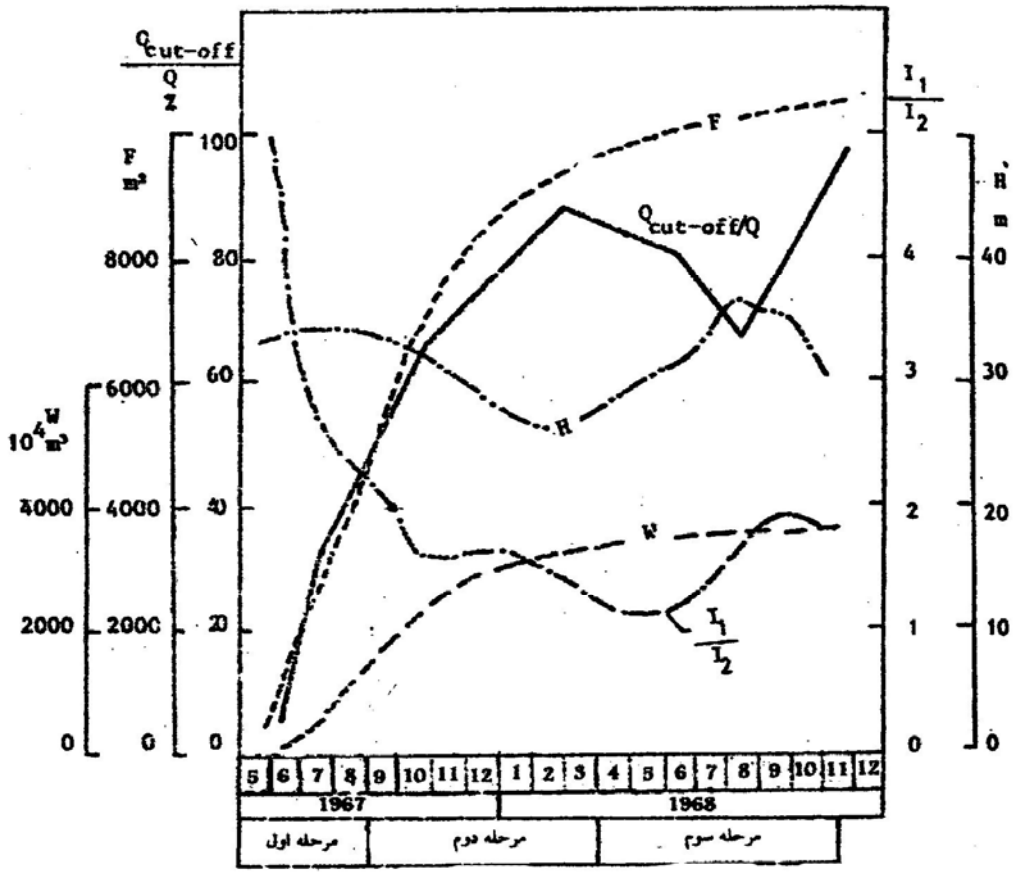


شکل ۷-۱- نمایش روند تغییرات تراز بستر و دانه‌بندی ناشی از اقدامات ساماندهی و کنترل سیلاب در رودخانه لخ در آلمان در یک دوره پایش طولانی مدت (۱۴۰ سال) [۳۲]



شکل ۷-۲- نمایش روندکف کنی بستر رودخانه لخ ناشی از اصلاح مسیر و تنظیم جریان در دوره پایش ۱۸۸۰ تا ۱۹۷۰ [۳۲]

omoorepeyman.ir



شکل ۷-۳- نمونه‌ای از پایش تغییرات ناشی از ساخت میانبر در رودخانه یانگ تسه در یک دوره پایش دو ساله [۲۸]

توضیح علائم:

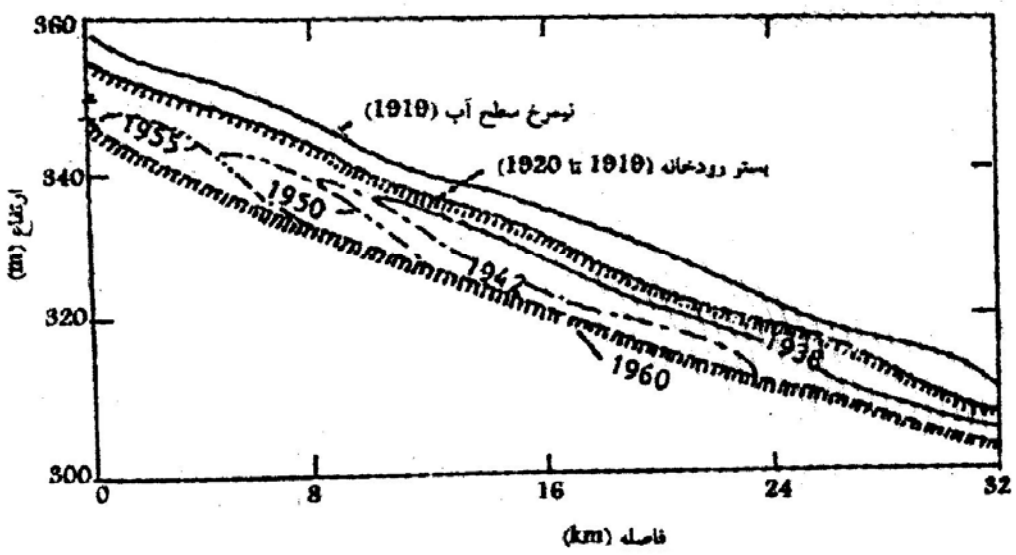
w : حجم مواد رسوبی حمل شده از مسیر میانبر $Q_{cut-off}$: بده عبوری از میانبر

Q : بده عبوری از مجرای اصلی F : سطح مقطع جریان در میانبر

I_1: شیب میان بر I_2: شیب رودخانه در بازه پایین دست H : عمق آب در میانبر

اکنون اهمیت و نقش پایش رفتار رودخانه از دیدگاه فرسایش و رسوب بعد از اقدامات ساماندهی مشخص می‌شود. از این طریق می‌توان ارزیابی عملکرد کارهای مهندسی رودخانه و پیش‌بینیهای لازم برای حفاظت و بهره‌برداری و اعمال تدابیر مدیریتی را محقق کرد. به‌علاوه سنجشهای میدانی و ثبت رفتار رودخانه امکان تعیین کمی میزان فرسایش و رسوبگذاری و ارزیابی پتانسیل حمل رسوب و روند تغییرات دانه‌بندی و سایر عوامل مرتبط با خصوصیات هیدرولیک جریان، ریخت‌شناسی و انتقال رسوب را فراهم می‌کند.

omoorepeyman.ir



شکل ۷-۴- نمایش روند تغییرات تراز بستر رودخانه ویلو[1] واقع در آمریکا ناشی از کاهش مقطع جریان در دوره پایش ۴۱ سال (۱۹۶۰-۱۹۱۹)

۷-۴ ارزیابی پیامدهای اقدامات ساماندهی رودخانه‌ها از جنبه فرسایش و رسوب

از دیدگاه مهندسی برای ارزیابی پیامدهای ساماندهی از جنبه فرسایش و رسوب، لازم است فرایند پایش از بعد زمانی درکوتاه مدت و بلند مدت انجام گیرد. پایش کوتاه مدت عموماً مرتبط با حالت بحرانی در مواقع وقوع سیلابها می‌باشد. وقوع سیلابها اقدامات ساماندهی را به طرق مختلف تحت تأثیر خود قرار می‌دهد که اهم آنها عبارتند از:

- فرسایش پای خاکریزها (گوره‌های سیلبند) که زمینه گسیختگی شیب دیواره‌ها و لغزش توده‌ای را فراهم می‌آورد.
- فرسایش درپای دیواره‌های سیل‌بند که موجب فروریزی سازه و یا نشست آن می‌شود.
- فرسایش در پای پوششهای حفاظتی که به لغزش و تخریب آن می‌انجامد.
- حمل رسوبات فرسایش یافته به بازه‌های پایین دست که موجب کاهش ظرفیت انتقال جریان و بر هم خوردن ساختار هندسی و رفتار رودخانه می‌شود.
- انباشته شدن رسوبات حمل شده توسط جریان سیلاب در محدوده پلها و افزایش خطر ناپایداری پل و سرریزی سیلاب
- فرسایش در دماغه و بدنه آبشکنها که زمینه تخریب سازه را فراهم نماید.

با بررسیهای میدانی و شناخت پیامدهای ناشی از فرسایش و رسوبگذاری ناشی از وقوع سیلابها می‌توان اثرهای اقدامات ساماندهی را در تشدید و یا تسکین پدیده فرسایش و رسوبگذاری ارزیابی نموده و راهکارهای مناسبی را برای مقابله با آن ارائه کرد.

omoorepeyman.ir

1 - Willow River

اقدامات ساماندهی علاوه بر اثرهای کوتاه مدت، پیامدهای بلند مدتی را از دیدگاه فرسایش و رسوبگذاری به دنبال دارد. در این خصوص می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- فرسایش عمومی و گودافتادگی بستر در پایین دست سدها
- رسوبگذاری عمومی و افزایش تراز بستر در بالادست سدها
- فرسایش عمومی ناشی از کاهش مقطع جریان
- فرسایش موضعی در اطراف پایه‌های پل، دماغه آبشکنها، پای سرریزها، شیب‌شکن، کف بندها
- فرسایش عمومی ناشی از برداشت مصالح رودخانه‌ای
- فرسایش و رسوب گذاری ناشی از ایجاد میان بر و اصلاح مسیر

برای ارزیابی اثرهای اقدامات ساماندهی، پایش بلندمدت و ثبت وضعیت فرسایش و رسوبگذاری ضروری است. نمونه‌هایی از پایش بلند مدت در شکلهای ۷-۴ الی ۷-۷ نشان داده شده است. بر اساس مندرجات شکلهای یاد شده دوره‌های پایش بلند مدت ۴۰،۹۰ و گاهی ۱۴۰ سال گویای اهمیت و نقش اطلاعات میدانی در ارزیابی عملکرد اقدامات ساماندهی از دیدگاه فرسایش و رسوبگذاری می‌باشد. چنین اطلاعاتی بینش کارشناسی را در خصوص پیش‌بینی رفتار رودخانه‌ها افزایش داده و ارائه راه حلهای کارآمد و بهینه را در طرحهای مهندسی رودخانه امکان‌پذیر می‌سازد. با توجه به موارد بالا پیشنهادهای زیردر خصوص پایش و ارزیابی پیامدهای ساماندهی ارائه می‌شود:

الف- ایجاد ایستگاههای پایش فرسایش و رسوبگذاری

در این ایستگاهها ضروری است تا اطلاعات زیر ثبت گردد :

- بده جریان
- تراز آب
- ویژگی سیلابها
- بده رسوب
- دانه‌بندی مواد رسوبی
- تغییرات تراز بستر
- ویژگیهای ریخت‌شناسی (شیب بستر، پهنای رودخانه، انباشته‌های رسوبی، دانه‌بندی بستر، جابجایی پیچابها)

ب- ثبت عملکرد سازه‌ها از دیدگاه فرسایش و رسوبگذاری

- فرسایش بدنه سازه
- فرسایش در پای سازه
- رسوبگذاری در محدوده سازه
- فرسایشهای عمومی و موضعی
- ریزشهای توده‌ای

omoorepeyman.ir

ج- پردازش اطلاعات و ارزیابی عملکرد اقدامات ساماندهی

- تعیین روند فرسایش و رسوبگذاری
- تعیین تغییرات طولی (نیمرخ طولی) و تغییرات عرضی
- تعیین تغییرات دانه‌بندی
- تعیین بازه‌های بحرانی از نظر فرسایش و رسوبگذاری
- ارزیابی اقدامات ساماندهی و ارائه توصیه‌های لازم برای مقابله با پیآمدهای نامطلوب

در انجام دادن مطالعات فرسایش و رسوب رودخانه‌ها دستیابی به اطلاعاتی که موارد بالا را در بر داشته، باید مورد توجه باشد و از هر گونه داده‌هایی که بتواند به طور مستقیم و یا غیر مستقیم پاسخگوی برخی از این اطلاعات باشد، استفاده کرد. با توجه به اینکه موضوع پایش و ارزیابی عملکرد اقدامات طی عملیات ساماندهی رودخانه ممکن است در کشور مورد توجه قرار نگرفته باشد، لذا برای بررسی پیامدهای بعد از ساماندهی استفاده از شیوه‌های علمی و فنی غیر مستقیم در کسب چنین اطلاعاتی می‌تواند به گروه مطالعه کننده کمک کند.

omoorepeyman.ir

واژه نامه

۱- آبشار Overfall

- تغییر ارتفاع ناگهانی در بستر یک آبراهه با وسعت کافی به نحوی که کل جریانی که از این نقطه می‌گذرد قبل از تعقیب مسیر عادی خود به طور ناگهانی به پایین ریزش کند.
- اختلاف ارتفاع سطح آب بین دو نقطه یک آبراهه.
- اختلاف ارتفاع سطح آب بین بالادست و پایین دست سازه هیدرولیکی.
- افت ارتفاع سطح آب در یک آبراهه در یک مدت معین. [۷۳]

۲- آبشستگی Scour

جداشدن و جابجایی مواد کف و کناره رودخانه و آبراه بوسیله جریان آب یا امواج را گویند. [۶۷]

۳- آبشستگی عمومی General Scour

فرسایش عمومی رودخانه یا آبراه که در نتیجه روند طبیعی عملکرد آن و بدون توجه به وجود سازه‌ای در مسیر آن اتفاق می‌افتد. معمولاً تغییرات رودخانه در اثر این نوع فرسایش نسبت به سایر انواع فرسایشها کم و کند بوده، مگر در رودخانه‌های جوان که ممکن است قابل توجه باشد. [۶۷]

۴- آبشکن Groin

یک نوع سازه که در رودخانه‌ها به منظور حفاظت کناره در فرسایش، تله‌اندازی رسوبات حمل شده توسط جریان، هدایت جریان در یک مسیر مشخص و یا افزایش عمق جریان از ساحل رودخانه به سمت داخل آن و با زاویه‌ای نسبت به جهت جریان ساخته می‌شود. آبشکنها با استفاده از مصالح سنگی، شنی و خاکی با پوشش مناسب، شمعهای چوبی، بتنی یا فلزی و همچنین تورسنگ ساخته می‌شوند. آبشکنها بیشتر به دو دسته اصلی آبگذر (باز) و آب ناگذر (بسته) تقسیم می‌شوند. از طرف دیگر می‌توان آبشکنها را به دو گروه مستغرق و غیر مستغرق تقسیم کرد. [۶۷]

۵- آبنمود Hydrograph

نموداری است که تغییرات بده جریان، تراز آب یا دیگر ویژگیهای آب را نسبت به زمان نشان می‌دهد. برای نمونه نموداری که بده جریان رودخانه را نسبت به زمان نشان دهد، بده نگار نامیده می‌شود. [۷۴]

omoorepeyman.ir

۶- زیست بوم فردی Eutecology

علم مطالعه ویژگیهای زیست بوم و ارتباط تک گونه با محیط است که در قالب مطالعه هر گونه بطور جداگانه انجام می‌شود که بعنوان زیست بوم فردی شناخته می‌شود.

۷- استقرار گیاه Plant Stabilzation

مرحله‌ای است که گیاه در خاک مستقر شده و تنشهای اولیه را از سرگذارنده و بطور طبیعی ضمن تحمل شرایط محیطی به رشد خود ادامه می‌دهد.

۸- امواج ماسه‌ای Sand Waves

- برآمدگی در بستر یک رودخانه که ناشی از حرکت مواد بستر است و معمولاً به طور تقریبی، عمود بر جهت جریان است و شکلی شبیه به موج آب دارد.
- حرکت موزون امواج معمولاً در سیلابهای دارای رسوبات زیاد. [۷۵]

۹- بار بستر Bed Load

به آن قسمت از رسوبات درشت‌دانه جریان آبراهه یا رودخانه که در نزدیکی بستر به صورت برش، غلتیدن و یا لغزش روی بستر آبراهه در حرکت می‌باشند، گفته می‌شود. بار بستر همچنین به دو بخش بار تماسی و بار جهشی تقسیم می‌شود. [۶۷]

۱۰- بار رسوبی مواد بستر Bed Material Load

قسمتی از بار رسوبی رودخانه که از مواد بستر آن ناشی شده است.[۶۷]

۱۱- بار شسته Wash Load

آن قسمت از رسوبات رودخانه می‌باشد که از سطح حوضه بوسیله رواناب سطحی یا وزش باد وارد رودخانه می‌گردد. بار شسته شامل مواد ریزدانه‌ای مانند رس یا لای (سیلت) می‌باشد که به صورت معلق در رودخانه حرکت می‌کند.[۶۷]

۱۲- بار کل Total Load

مجموع بار بستر و بار معلق که توسط جریان حمل می‌گردد. [۶۷]

omoorepeyman.ir

۱۳- بار معلق Suspended Load

مواد ریزدانه‌ای که به صورت معلق بوسیله جریان آب در آبراه حمل می‌گردد. اندازه رسوبات معلق با توجه به مشخصات هیدرولیک جریان متفاوت بوده و از موادی مانند رس، لای، ماسه و حتی شن نیز تشکیل می‌گردد.[۶۷]

۱۴- برگشت آب Backwater

افزایش رقوم سطح آب در نتیجه وجود موانعی از قبیل سد یا تنظیم کننده و یا برجستگی بستر رودخانه که به سمت بالادست سرایت کند.[۷۵]

۱۵- پاد تلماسه Anti-Dune

موجهای سینوسی در بستر آبراهه که موازی موجهای سطح آب بوده و معمولاً به سمت بالادست حرکت می‌کنند و بتدریج ناپدید شده و مجدداً موجهای دیگری جانشین آنها می‌شوند. [۶۷]

۱۶- پایدارسازی کانال، تثبیت آبراه Channel Stabilization

به اقداماتی مانند ایجاد پوششهای حفاظتی، آبشکنها، تثبیت کننده‌های بستر، پوششهای گیاهی و غیره در رودخانه‌ها و آبراهه‌ها گفته می‌شود که یک یا تعدادی از اهداف زیر را تأمین می‌نماید :

- ایجاد یک پوشش حفاظتی در مقابل نیروهای آب جاری
- افزایش زبری کناره‌ها و در نتیجه کاهش سرعت در آن قسمت
- انحراف جریان از سواحل فرسایش‌پذیر
- ثابت نگهداشتن شیب خط‌القعر جریان و جلوگیری از کاهش تراز آن که می‌تواند منجر به پدیده زیرکنی ساحل آبراهه گردد
- انتقال آب و رسوب با حداکثر بازدهی و حداقل اقدامات موردنیاز برای نگهداری بلندمدت آبراهه تأمین ظرفیت لازم برای انتقال آب آبراهه و زهکشی اراضی مزروعی مجاور [۶۷]

۱۷- پشته رسوبی Bar

یک پشته آبرفتی و یا تلهایی از ماسه، شن یا مواد تحکیم نیافته دیگر که در دهانه یک آبراهه یا رودخانه و یا در هر نقطه‌ای از مسیر آن بوجود می‌آید و به‌صورت مانعی در مقابل جریان آب یا کشتیرانی عمل می‌کند. در زمان کم آبی، این بارهای رسوبی به‌صورت جزایر کوچک نمایان می‌شود. [۶۷]

omoorepeyman.ir

۱۸- پنجه شویی، زیرشویی، زیرکنی Under Cutting

فرسایش یا شسته شدن سنگها یا خاک پنجه صخره‌ها یا کناره‌های رودخانه بوسیله جریان آب یا عمل موج و فروریزی قسمتها فوقانی که زیر آن شسته شده است. این پدیده باعث ایجاد کناره‌هایی با شیب تند شده و مقطع آبراه یا رودخانه معمولاً به شکل U در می‌آید.[۶۷]

۱۹- پوشش کناره Bank Revetment

سازه‌ای که در مجاورت ساحل رودخانه و به موزات جریان ساخته شده و به منظور حفاظت کناره‌های فرسایش‌پذیر بکار می‌رود و یک کناره با راستای ملایمی را شکل می‌دهد. ضمناً از آن برای حفاظت شیب خاکریزه‌ها، گوره‌ها، آبشکنها و غیره نیز استفاده شود. از انواع آن می‌توان به پوشش سنگی، تورسنگی، بتنی، آسفالتی، نرده‌ای، کیسه‌ای و غیره اشاره کرد. [۶۷]

۲۰- پوشش گیاهی طبیعی Natural Vegetation

به آندسته از پوشش گیاهی که تحت شرایط طبیعی در یک محل شکل گرفته و مستقر می‌گردد گفته می‌شود.

۲۱- پوشش گیاهی مصنوعی (دست کاشت) Artificial Vegetation

به آندسته از پوشش گیاهی اطلاق می‌گردد که توسط انسان بر اثر یک سری فعالیتهای کشاورزی به وجود آمده و مستقر می‌گردد.

۲۲- پیچاب، چم Meander

قسمتی از یک رودخانه می‌باشد که از دو خم متوالی و معکوس که بوسیله یک گذرگاه بهم متصل شده‌اند، تشکیل می‌گردد و شکلی مانند حرف لاتین S را بوجود می‌آورد. [۶۷]

۲۳- تلماسه Dune

یک موج ماسه‌ای با مقطع تقریبی مثلثی شکل (در یک سطح قائم موازی جهت جریان آب) که شیب بالادست آن ملایم و شیب پایین دست آن تند می‌باشد. ذرات رسوبی از روی شیب بالادست تلماسه بالارفته و بر روی شیب پایین دست نشست کرده و در نتیجه این عمل، تلماسه به سمت پایین دست رودخانه حرکت می‌کند. تلماسه به عنوان یکی از انواع شکلهای بستر رودخانه شناخته می‌شود. [۶۷]

omoorepeyman.ir

۲۴- جریان غلیظ، جریان ثقلی Density Flow

جریانهایی که در مصب رودخانه‌ها، دریاها، دریاچه‌ها و مخازن، بعلت تغییر در چگالی یا غلظت رسوبات معلق پدید می‌آید. این جریانها معمولاً از بالا، پایین یا وسط مایعات دیگری که وزن مخصوص آنها کمی متفاوت هستند، انجام می‌گیرد. [۶۷]

۲۵- جریان گلی Mud Flow

جریان مواد و ذرات غیر متجانس مانند ذرات خاک، سنگ و غیره که با مقدار زیادی آب مخلوط بوده و معمولاً در مسیر رودخانه جریان می‌یابد. در بعضی از مراجع معادل واژه Debris Flow در نظر گرفته شده است با این تفاوت که مواد محموله در Debris Flow درشت‌تر از مواد Mud Flow می‌باشد. [۶۷]

۲۶- جریان واریزه‌ای Debris Flow

جریانی که با خود مواد مختلفی اعم از مواد سنگی ریزدانه، درشت دانه و نیز قطعات چوب، شاخه‌های درختان، آشغال و غیره را حمل می‌کند. [۶۷]

۲۷- چاله آبشستگی Scour Hole

گودالی که در اثر پدیده آبشستگی موضعی در مجاورت سازه‌های آبی مانند پای پلها، دماغه آبشکنها، پایین دست بندها و غیره بوجود می‌آید. [۶۷]

۲۸- حریم رودخانه Canal Land Width

پهنای قطعه زمینی که تمام قسمتهای عرضی کانال شامل بستر، دیواره‌ها، توده خاک، راه سرویس و غیره را در بر می‌دارد. [۷۵]

۲۹- حفاظت با پوشش گیاهی Biological Revetment

به آن دسته از روشهای حفاظت خاک در مقابل فرسایش و تخریب گفته می‌شود که در آن از پوشش گیاهی زنده برای حفاظت دیواره‌ها استفاده می‌شود.

۳۰- حوضچه آرامش Stilling Basin

سازه‌ای که در پایین دست سرریز تخلیه، تند آب و یا آبشار برای جذب تمام یا قسمتی از انرژی آب و جلوگیری از آبشستگی شدید بستر و دیواره‌های آبراهه ایجاد می‌شود. [۷۵]

omoorepeyman.ir

۳۱- حوضه آبریز Watershed/Basin

- منطقه‌ای که بوسیله یک سیستم رودخانه‌ای، زهکشی می‌شود.
- مکان هندسی نقاطی از زمین که آب ناشی از بارندگی در مجموعه‌ای از آبراهه‌ها جمع‌آوری و از یک نقطه به نام خروجی خارج می‌شود. [۷۵]

۳۲- خاکریز سیلبند (گوره) Levee

بند خاکی کوتاهی که در فواصل مختلف از سواحل دو طرف رودخانه در امتداد آن ساخته می‌شود تا نقش سواحل مصنوعی را در دوره‌های سیلابی که آب رودخانه از سواحل طبیعی خود بیرون می‌رود، ایفاد کند و زمینهای اطراف رودخانه را از آب گرفتگی محافظت کند. [۶۷]

۳۳- خاکهای فرسایش‌پذیر، هزار دره Bad Lands

زمینهای ناهمواری که در حال فرسایش شدید و دارای آب بریدگیهای متعدد و همچنین آبکنده‌ها و آبراهه‌های عمیق باشند. ماده اولیه آنها از سنگهای رسوبی سست ماسه‌ای، مارنی، رسی و یا سنگریزه‌ای است و طبقات مختلف آن از نظر مقاومت، اختلاف فاحشی با یکدیگر دارند. [۷۵]

۳۴- دلتا Delta

به ناحیه آبرفتی گفته می‌شود که در نتیجه ته نشین شدن مواد معلق رودخانه‌ها در محل ورود به دریا، اقیانوس، دریاچه و نیز مخزن سد بوجود می‌آید. شکل عمومی دلتاها به‌صورت سه‌گوش بوده و جریان اصلی رودخانه از طریق مجموعه‌ای از آبراهه‌های کوچک و بزرگ موجود در این ناحیه تخلیه می‌گردد. [۶۷]

۳۵- دیواره طولی (دیواره سامانده) Training Wall

نوعی از سازه‌های سامان‌دهنده به جریان رودخانه می‌باشد که اساساً به صورت دیواری در طول ساحل و یا متصل به کناره رودخانه و به موزات جریان ساخته می‌شود. این نوع سازه برای تأمین اهدافی مانند هدایت جریان در یک مسیر مطلوب، مهار فرسایش کناره و در مواردی به عنوان رسوب برگردان استفاده می‌شود. [۶۷]

۳۶- راستا Alignment

راستا یا مسیری که محور آبراهه، کانال یا رودخانه در امتداد آن قرار گیرد. [۶۷]

omoorepeyman.ir

۳۷- راندمان تله‌اندازی Trap Efficiency

درصد رسوبات به دام افتاده از کل رسوبات وارد شده به یک مخزن آبی. [۷۵]

۳۸- رژیم Regime

یک رودخانه یا آبراهه در حالت رژیم می‌باشد اگر بستر آن در نتیجه مشخصات فرسایشی به یک شرایط پایدار نسبی رسیده باشد. این نوع آبراهه در مواد فرسایش‌پذیر شکل گرفته است. اما هیچ حالت رسوبگذاری یا فرسایش در درازمدت ندارد. سطح مقطع آن ممکن است در کوتاه مدت تغییر کند و آبراهه نیز ممکن است بدلیل روند مستمر فرسایش و نشست رسوبات، حرکت جانبی داشته باشد. [۶۷]

۳۹- رسوبات چسبنده یا ریزدانه Cohesive Sediment

موادی که دارای نیروی چسبندگی کافی بوده و در مقابل تنش برشی که توسط جریان آب وارد می‌آید از جا کنده نمی‌شود.[۷۴]

۴۰- رسوبگذاری Deposition

- فرآیند فرونشست مواد جامدی که به صورت معلق در آب قرار دارند. فرآیند تجمع مواد سنگی و یا دیگر مواد که بر اثر جریان آب، امواج باد، یخچالها و غیره انتقال یافته‌اند و همچنین حرکت توده‌ای مواد به تنهایی در نتیجه کاهش قدرت حمل مواد. دشتهای آبرفتی، مخروط افکنه‌ها، دلتاها، جزایر رسوبی، تلماسه‌ها، رسوبات یخچالی و جریانهای گلی، نتیجه چنین فرآیندی هستند.
- فرآیند جایگذاری مواد رسوبی توسط رواناب در محلی خاص، هنگامی که توان حمل کاهش می‌یابد. این عمل در صورتی اتفاق می‌افتد که شیب و سرعت رواناب بر اثر پوشش گیاهی و یا پوشش سطحی کاهش پیدا کرده، رواناب در گودیها و مخازن متوقف شده و یا مقدار جریان بر اثر نفوذ زیاد کاهش یافته است. [۷۵]

۴۱- رودخانه شریانی Braided River

رودخانه‌ای با بستر بسیار عریض و کم‌عمق که در آن جریان آب از درون نهرهای متعدد متصل به هم که بوسیله پشته‌ها و جزایر رسوبی از یکدیگر جدا می‌شوند، عبور می‌کند. در چنین رودخانه‌ای گرچه نهرهای کوچک ممکن است پیچ و خمهایی پیدا کنند ولی مسیر اصلی اغلب بدون پیچ و خم است. کناره‌های این نوع رودخانه ناپایدار بوده و نمی‌توان آن را به‌صورت دقیق مشخص کرد. چنین رودخانه‌هایی اغلب دارای شیب نسبتاً تند و بار رسوبی زیاد می‌باشند. [۷۵]

omoorepeyman.ir

۴۲- ریزش توده‌ای Mass Failure

ریزش بخشی از سطح زمین به صورت خزش، لغزش، جریان خاکی و یا فرونشستگی که ممکن است یک یا چند فرآیند با هم همراه باشند. [۷۵]

۴۳- زمین لغزه Landslide

حرکت سریع توده‌های خاک یا سنگ یا مجموع آنها به طرف پایین در اثر لیز خوردن. این نوع لیز خوردن معمولاً در طول طبقات یا لایه‌هایی اتفاق می‌افتد که دارای مواد نرم و لیز بوده و در اثر خیس شدن قدرت چسبندگی خود را از دست می‌دهد.[۷۴]

۴۴- سازه‌های کنترل فرسایش، بند اصلاحی، بند تنظیمی Check Dam

بندهایی که از آنها جلوگیری از فرسایش بستر و کناره‌های آبراهه‌ها استفاده می‌شود و موجب تعدیل شیب و نگهداری مواد فرسایش یافته می‌شوند. [۷۵]

۴۵- ساماندهی رودخانه River Training

مجموعه اقداماتی که برای مهار و تثبیت یک رودخانه در یک مسیر مورد نظر و مناسب انجام می‌شود. این اقدامات اهداف مختلفی مانند مهار سیل، تأمین یک آبراه کشتیرانی مناسب و مطمئن، مهار رسوب، حفاظت بستر و کناره‌های رودخانه در مقابل عوامل فرسایش و هدایت جریان رودخانه در یک مسیر مشخص و مطلوب را تأمین می‌کند. [۶۷]

۴۶- سد انحرافی Diversion Dam

نوعی سازه آبی است که به منظور انحراف یا برگرداندن تمام یا قسمتی از آب رودخانه به داخل یک کانال یا آبراهه منشعب از آن در عرض رودخانه ساخته می‌شود. [۶۷]

۴۷- سد تأخیری Retarding Dam

سد ذخیره آب با خروجیهای تخلیه کننده که به منظور ذخیره موقت قسمتی از سیلاب استفاده می‌شود. [۶۷]

۴۸- سطح اساس، سطح پایه Base Level

آخرین یا پایین‌ترین سطحی که جریان آب می‌تواند بستر خود را فرسایش دهد. [۷۵]

omoorepeyman.ir

۴۹- سنجش از راه دور Remote Sensing

جمع‌آوری اطلاعات درباره یک شی و یا پدیده با استفاده از ابزارهای حساس که در تماس نزدیک با شی مورد تحقیق نیست. مباحث ریز در این دانش مطرح می‌شود :

- تابش از سطح خاک
- تابش از سطح پوشش گیاهی پراکنده
- تابش از گیاهان زراعی
- وجود سیستم اطلاعات زمین‌شناسی برای مدیریت اطلاعات ماهواره
- تغییر اطلاعات ماهواره‌ای و تهیه نقش فرسایش خاک. [۷۵]

۵۰- سیل‌بند Flood Wall

نوعی سازه مهار سیل که به‌صورت دیواره‌ای طولی با استفاده از مصالح ساختمانی محکم مانند بتن، سنگ چوب و غیره در مناطق شهری و یا سایر مناطقی که ارزش اقتصادی زیادی دارند ساخته می‌شود. [۶۷]

۵۱- همزیست بومی Synecology

مطالعه دسته جمعی و گروهی گیاهان و ارتباط متقابل آنها با یکدیگر و محیط است که در قالب جامعه‌شناسی گیاهان نیز اسم برده می‌شود.

۵۲- شیب شکن Drop

- سازه‌ای که در یک مجرای روباز و یا کانال، برای انتقال آب به سطح پایین‌تر و با هدف گرفتن انرژی نصب می‌شود. این سازه می‌تواند به‌صورت شوت یا قائم ساخته شود.
- اختلاف تراز سطح آب بالادست و پایین دست یک پل و یا سایر موانع. [۷۵]

۵۳- ظرفیت انتقال، توان حمل Transport Capacity

توانایی رواناب در انتقال رسوب از یک نقطه به نقطه دیگر. بار حمل شده توسط جریان سطحی با این عوامل ارتباط دارد: اندازه، شکل و وزن مخصوص ذره، مقدار سرعت و تلاطم جریان، مقطع عرضی، تندی شیب و زبری هیدرولیکی آبراهه. [۷۵]

۵۴- غار کنی کناره Bank Caving

فرسایش و ریزش ساحل بعلت آبشستگی زیر دیواره و یا در نتیجه تغییر در انحناء پیچ رودخانه که منجر به پسروی ساحل رودخانه می‌گردد. [۶۷]

omoorepeyman.ir

۵۵- فرسایش Erosion

- جداشدگی و انتقال ذرات سطحی خاک بر اثر عوامل مختلف مانند آب، باد، نیروی ثقل، یخچالها و امواج.
- از بین رفتن و فرسایش سطح زمین بر اثر باد، آب، حرکت توده‌ای و سایر عوامل
- از بین رفتن زمینها بر اثر آب جاری، بارندگی، باد، یخ و دیگر عوامل زمین‌شناسی که شامل فرآیندهای ذیل باشد :
- جداشدن ذرات، در بر گرفتن، تعلیق، انتقال و جریان توده‌ای، فرسایش خاک، هوادیدگی را شامل نمی‌شود. [۷۵]

۵۶- فرسایش به سمت بالادست، فرسایش پس رونده Headward Erosion

فرسایش بستر رودخانه توسط آبشستگی زیر یک صخره که آب با شیب تند یا به صورت آبشار بر روی آن جریان داشته و باعث خوردگی زیر صخره شده و محل ریزش آب رفته رفته به سمت سراب پیش می‌رود.. [۷۴]

۵۷- فرسایش خندقی Gully Erosion

کنده شدن خاک بوسیله حجم زیاد آب جاری که باعث تشکیل آبراهه‌های گود در زمینها شده است و نمی‌توان آنها را با عملیات عادی زراعی حذف کرد. عمق این آبکنده‌ها از ۳۰ سانتیمتر تا ۲۰ متر متغیر است. [۷۵]

۵۸- فرسایش شیاری Rill Erosion

نوعی از فرسایش بود و موقعی اتفاق می‌افتد که آبها روی سطح اراضی در مقداری از نهرهای کوچک متمرکز شده باشند که در اثر سرعت و مقدارشان نیروی لازم برای کندن زمین را داشته باشند و نتیجه آن ایجاد باریکه‌های مختلفی از سطح زمین است که در اثر جریان آب بوجود آمده‌اند. [۷۴]

۵۹- فرسایش صفحه‌ای، فرسایش ورقه‌ای Sheet Erosion

نوعی از فرسایش که باعث جابجا کردن مواد سطح خاک به صورت لایه نازک و یکنواخت در تمام سطح زمین می‌گردد. جابجا شدن لایه سطحی زمین یا خاک به یک میزان به صورت ورقه در امتداد راه یا مزارع در اثر تأثیر باد و آب می‌باشد. [۷۴]

۶۰- فرسایش عمومی، آبشستگی عمومی General Scour

عمق فرسایش آب جاری در رودخانه‌ها که باعث کنده شدن و حمل این مواد از بستر و کناره مجاری می‌شود. آب شستگی ممکن است در مواد خاکی و مواد سنگی رخ دهد. [۷۵]

omoorepeyman.ir

۶۱- کف بند Sill

یک سازه کوتاه که در عرض رودخانه ساخته می‌شود و اهدافی مانند مهار فرسایش بستر، ایجاد عمق یا شیب مناسب در رودخانه و مهار آبشستگی در پایین دست تأسیسات آبی را تأمین می‌کند. این سازه معمولاً با استفاده از مصالحی مانند سنگ و سیمان، تورسنگ، بتن، سپر و غیره ساخته می‌شود. [۶۷]

۶۲- کمربند چم، عرض چم Meander Belt

فاصله عرض دو راس خارجی خمهای متوالی یک چم رودخانه را گویند. [۶۷]

۶۳- گیاهان بوته‌ای Bush Plants

گیاهانی هستند خشبی و یا نیمه خشبی که شاخه‌های آن از سطح خاک منشعب می‌شود و ارتفاع آن معمولاً از ۰/۵ تا ۳ متر متغیر است.

۶۴- گیاهان چمنی Grass Plants

گیاهانی هستند از خانواده گندمیان و شبه گندمیان و از گروه تک لپه‌ایها که دارای برگهای باریک که پوشش چمنی شکلی را در سطح خاک ایجاد می‌کنند.

۶۵- گیاهان علفی (چند ساله) Herbaceous Plants

گیاهانی هستند که اندام هوایی آنها (بالای سطح خاک) همه ساله خشک می‌شود در حالیکه ریشه آن در خاک زنده است.

۶۶- لایه سپر، لایه محفاظ Armor Layer

جداسازی یا جورشدگی دانه‌های مخلوط اولیه مواد بستر ممکن است منجر به ایجاد یک پوشش از دانه‌های درشت‌تر روی بستر رودخانه شود. این پوشش محافظ ممکن است باعث کاهش و یا حتی قطع فرسایش بستر گردد. [۶۷]

۶۷- منحنی سنجه رسوب Sediment Rating Curve

منحنی‌ای که ارتباط بین ترازهای یک رودخانه (یا بده جریان) و بده جامد آن را نشان می‌دهد. [۷۵]

omoorepeyman.ir

۶۸- میانبر Cutoff

پدیده‌ای که در روند رخداد آن، جریان در یک رودخانه آبرفتی در طول پیچ و خمها، مسیر یک پیچ خاص را رها کرده و در طول یک آبراه نسبتاً کوتاهتر و مستقیم‌تر حرکت نموده و کانال جدیدی را ایجاد می‌کند و در نتیجه منجر به حذف پیچ مذکور می‌گردد. در مواردی به منظور اصلاح مسیر رودخانه کانال میانبر بطور مصنوعی ایجاد می‌گردد. [۶۷]

۶۹- نسبت رسوبدهی حوضه Sediment Delivery Ratio

نسبت میزان رسوب خارج شده از حوضه به مقدار کل فرسایش آن حوضه. [۷۵]

۷۰- وضعیت تعادل Equilibrium Condition

- حالتی که انرژی حاصل از جریان و شیب فقط به اندازه‌ای است که بتواند رسوبات را حمل کند و شکل یا شیب مسیر را تغییر ندهد. در این صورت تمامی قسمتهای مقطع باید در حالت تعادل باشد که در طبیعت این عمل هرگز به طور کامل وجود ندارد. [۷۵]
- یک حالت ایده‌آل که در آن یک آبراهه هرگز تمایل به تغییر ندارد. یک آبراهه زمانی در تعادل می‌باشد که انرژی حاصل از بده و شیب آن برای حمل رسوب درست به اندازه‌ای است که آبراهه تمایل به حفظ شرایط موجود خود دارد و این مستلزم آن است که هر قسمت از سطح مقطع آبراهه در حالت تعادل باشد. شرایط تعادل در طبیعت هرگز بطور کامل قابل دسترسی نمی‌باشد. [۶۷]

omoorepeyman.ir

مراجع

1- Ashida K., (1987), Mountain torrent erosion in Sediment transport in gravel-bed streams, John Wiley & Sons Ltd U.S.A.

2- Barker,D.H. 1994, vegetation and slopes stabilization protection and Ecology, proceeding of the International conference, university museum , Oxford.

3- Blench,T.,(1969), " Mobile – bed fluviology" , The University ofAlberta, Canada.

4- Brudley, J.B., and Mc Cutcheon, S.C.,(1987) ,"Classification of flow with high Sediment Concentrations, in Sediment transport in gravel-bed river, Ch.21" John Wiley and Sons, New York.

5- Chang, H.H, 1988, "Fluvial processes in River Engineering" John Wiley & sons NewYork, pp. 325-359.

6- Colorado state university, fort Collins,(1973), Highway in the river environment, , VIII-1 to VIII-8

7- Daniels, R.B., (1960), "Entrenchment of the Willow Creek drainage ditch" Iowa, U.S.A, Am.J.Sci, 225.

8- Danish Hydraulic Institute, 2003, "Mike11 version 3.01 user manual",

9- Environmental impact Assessment (EIA) Guidelines for Rivers sand and stone mining". state Environmental conservation Department (ECD), sabah Malaysia, 2000.

10- FAO،1988 watershed management field manual-Coully Control FAO conservation cuide 13/2-

11- Freeman, J.R., (1972), " Flood problems in China " , Tran,. ASCE, 85, Paper 1505, 1405-1460.

12- Garde, R.j, Rang Raju.K.G, (1985), Mechanics of sediment transportation and Alluvial Stream problems. 2 nd Ed. New York. John Wiley

13- Graf, w.it., 1971, "Hydraulics of sediment transport" , Mc Graw-Hill Book Company, New York, pp. 385-399.

14- Hemphill,R.W.and M.E. Bramley,(1989) " Protection of river and canal banks." CIRIA, Butter Worths, London.

15- Henderson, F.M.,(1966)."Open Chennel Flow,Ch. On Sediment transport", Mc Millan Publishing Co, New York.

16- Hey,R.D., (1986), " River response to hydraulic structures" , Paris, UNESCO.

17- Jansen, p.ph., (1983), principles of rivers Engineering , pitman , pub.co.,London.

18- Komura,S., (1971), River-Bed variation at long constrictions. Proc. Of 14 th congress of IAHR,Vol.3m Aug.29-sept.3

19- Krishnappan, B.G., 1981, "programming for MOBED, an unsteady, nonuniform, mobile boundary flow model, ", Canada center for Inland waters, 107p.

20- Lane, E.W., (1955), " The importance of fluvial morphology in hydraulic engineering, In river mechanics, vol.II," Ch. 20, Fort Collins Colorado, U.S.A.

21- Leo C.Van Rijn , (1984) " Handbook of Sediment Transport by Current and Wave ", Report H 461, Delft Hydraulic.

omoorepeyman.ir

22- Linsley, R.K., (1972), " Water resources engineering " , Mc Grow Hill Book Co, New York.

23- Linsley , R.K, (1975) , " Hydrology for engineers " , Mc Graw – Hill Book Co. U.S.A.

24- Michiue, M. (1984). " Formation of low water bed by spur dikes in alluvial channel , " Proc. 4 Th APD IAHR.

25- National water and soil conservation Authoriting C.W.S Van Kraagenoord and R.L. Hathaway , 1986،Plant materials Handbook for soil conserration Volume 1 : Principles and practices.

26- Odgaard,A.J., (1987). " Stream – bank erosion along two rivers in Iowa, In river training techniques ", Water Resources Research 23, No.7, U.S.A.

27- Pacific Southwest Interagency Committee, (1968), " Report on factors affecting sediment yield in the Pacific Southwest Areas., In sediment transport technology " ,Water Management Subcommittee Sediment Task Force, U.S.A.

28- Pau Ching-shen, (1978), "A study of the channel development after the completion of artificial cut-offs in the middle Yang-Tse River, In river response to hydraulic structures", Unesco, Paris.

29- Petersen, M, (1986), River engineering. Prentice – Hall, USA

30- Przedwojski,B.Blazejewski,R. Pilarczyk, k.w,(1995), river training techniques, A.A. Balkema. Rotterdam, Brookfiel

31- Raudkivi, A.j, Breusers,H.N.C, (1991), Scouring. Rotterdem: A.A.Balkema

32- Raynov,S. Pechinov, D., (1986), River response to Hydraulic structures, paris, Unesco

33- Richardson , E.V., (1983), " Highways in the river environment hydraulic and environmental design considerations", Fort Collins, Colorado,U.S.A.

34- Richardson E.V. , and et.al, (1975) , Highways in the river environment training and design manual, U.S. Deportment of transportation,U.S.A.

35- Schiechtl.H.M. and R.stern , 1994, water Bioengineering Techniques, Blackwell Science LTd.

36- Schumm, S.A., (1960),. " River adjustment to altered hydrologic regiment, In river mechanics Vol.II," , Geological Survey Professional Paper 598,Australia.

37- Sharp, JJ., 1 981, "Hydraulic modeling " , Butterworth and co publisher, PP.212-217.

38- Shen, H.W. , (1971) , River mechanics, fort collins,Colorado, U.S.A

39- Simons,D.B., & Senturk,F.,(1992)," Sediment transport technology",Book Crafters Inc.,Chelsea , Michigan,USA.

40- Thorn, C.R., J.C. Bathurst R.D.Hey (1987). "Sediment transport in gravel-bed rivers" , John Wiley sons, New York.

41- Vanoni, V.A. , (1977) , Sedimentation engineering, ASCE, Manuals and Report on engineering practice.

42- Vermont Geological survey Agency of natural Resources Department of Environmental conservation. 1999, "impact Assessment of instream management practices on channel morphology ". U.S.A.

43- Vries.M.e, 1984, Morphological computations, International course in WRE, Beograd, Yugoslavia.

omoorepeyman.ir

44- Water policy team : River Bank Protection , working with nature to prevent and control bank erosion www. Water polir team.org.

45- Wischmeier,W.H. Smith , D.D., (1965), " Predicting rainfall erosion losses from cropland", USDA Agr. Handbook No.282,U.S.A.

46- Yang , C.T., (1996) ," Sediment transport " , M.Graw-Hill Book Co., U.S.A.

47- U.S. Armay corps of Engineera , 1982. "Hec6 Users Manual"

48- U.S. ArmayCorps of Engineers, 1993, " River Hydraulic", code: EM-1110-2-1416, PP.3.1-3.15.

49- U.S. Armay corps of Engineers, 1989, "sedimentation Investigation of Rivers. And Reservoirs, code: EM 1110-2-4000, PP 6.1-6.13.

50- U.S. Department of Interior, 1998, "User manual for GSTARS2.0 ",Colorado.

۵۱- آل یاسین، احمد، ۱۳۷۹، کاربرد مهندسی رودخانه در رودخانه‌های دز و کارون، انتشارات وزارت نیرو – کمیته ملی سدهای بزرگ، نشریه شماره ۳۳.

۵۲- احمدی، حسن و دیگران، ۱۳۸۰،فرهنگ کشاورزی و منابع طبیعی، جلد دوازدهم مرتع و آبخیزداری و فرهنگستان علوم، گروه کشاورزی، شاخه مرتع و آبخیز، انتشارات دانشگاه تهران.

۵۳- بهادری، فیروز و همکاران، ۱۳۸۱، فرسایش و رسوبگذاری در محدوده آبشکنها،نشریه شماره ۲۴۸، سازمان مدیریت و منابع آب، دفتر استاندارد مهندسی آب، وزارت نیرو.

۵۴- بهادری، فیروز و همکاران، ۱۳۸۱، راهنمای تعیین عمق فرسایش و روشهای مقابله با آن در محدوده پایه‌های پل، نشریه شماره ۲۶۰، سازمان مدیریت منابع آب، دفتر استاندارد مهندسی آب، وزارت نیرو.

۵۵- بهادری، فیروز، ۱۳۷۸،اصول و مبانی برداشت شن و ماسه از رودخانه‌ها، دفتر مهندسی رودخانه و سواحل و کنترل سیلاب، انتشارات سازمان مدیریت منابع آب.

۵۶- دفتر استاندارد مهندسی آب،۱۳۸۰،برنامه ریزی آزمایشهای رسوب، نشریه شماره ۲۲۲،سازمان مدیریت برنامه ریزی کشور.

۵۷- رفاهی، حسینعلی، ۱۳۸۲، فرسایش آبی و کنترل آن، حسینعلی رفاهی، انتشارات دانشگاه تهران

۵۸- زراتی، امیر رضا، ۱۳۷۹، نقش عوامل هیدرولیکی در طراحی پلها، انتشارات دانشگاه هرمزگان

۵۹- سازمان برنامه و بودجه، ۱۳۷۸،فهرست خدمات مطالعات مرحله شناسایی طرحهای مهندسی رودخانه، نشریه شماره ۱۹۰.

۶۰- سازمان برنامه و بودجه، ۱۳۷۸،فهرست خدمات مطالعات مرحله توجیهی طرحهای مهندسی رودخانه، نشریه شماره ۱۹۱.

۶۱- سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور- وزارت نیرو، ۱۳۸۰، فرسایش و رسوبگذاری در محدوده آبشکنها، انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، نشریه شماره ۲۴۸.

۶۲- شفاعی بجستان، محمود،هیدرولیک رسوب، ۱۳۷۸،انتشارات دانشگاه شهید چمران.

۶۳- ضیایی، حجت الله، ۱۳۸۰، اصول مهندسی آبخیزداری، انتشارات آستان قدس.

۶۴- علیزاده، امین، ۱۳۶۸، فرسایش و حفاظت خاک،آر. پی.سی مورگان،انتشارات آستان قدس رضوی.

omoorepeyman.ir

۶۵- قدوسی، جمال، ۱۳۶۱، روشهای حفاظت، ایجاد و عمران اراضی و حفاظت کناره‌ها ، جزوه درسی
۶۶- گزارش دفتر حفاظت و بهره‌برداری از سدهای کشور، ۱۳۸۲، وزارت نیرو، معاونت پژوهشی.
۶۷- مصباحی، جمشید و چیتی، محمدحسن، ۱۳۷۷، فرهنگ مهندسی رودخانه، انتشارات دفتر مهندسی رودخانه‌ها و سواحل کشوردفتر استاندارد مهندسی آب (وزارت نیرو) تهران.
۶۸- مصباحی، جمشید و افسوس، محمود، ۱۳۷۳، نگرشی بر برداشت شن و ماسه رودخانه ای، آثار برداشت و توصیه‌های فنی، انتشارات دفتر مهندسی رودخانه‌ها، سواحل و کنترل سیلاب.
۶۹- مهندسین مشاور سازه‌پردازی ایران، ۱۳۸۰، راهنمای طراحی و ساخت دیواره‌های مهار سیلاب (گوره‌ها)، سازمان مدیریت منابع آب، وزارت نیرو، انتشارات آوای روز، تهران.
۷۰- مهندسین مشاور سازه‌پردازی ایران،۱۳۸۲،راهنمای طراحی، ساخت و نگهداری پوششها در کارهای مهندسی رودخانه، سازمان مدیریت منابع آب ایران، دفتر استانداردها و معیارهای فنی.
۷۱- نیک صفت،غلامرضا،۱۳۸۰،تئوری و کاربرد مدلهای هیدرولیک در طراحی سازه‌های آبی، کمیته ملی سدهای بزرگ ایران، نشریه شماره ۴۱، صفحات ۲۴۱ تا ۲۷۹.
۷۲- یاسی، مهدی،۱۳۶۷،اصلاح مسیر و حفاظت دیواره رودخانه‌های سیلابی با روش ساختمانی و بیولوژیکی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز.
۷۳- سازمان جهانی هواشناسی و یونسکو، دی ۱۳۶۹،فرهنگ بین‌المللی هیدرولوژی، ترجمه کمیته واژه‌های آب.
۷۴- کمیته تخصصی فرسایش و رسوب، تابستان ۱۳۸۲، فرهنگ تخصصی فرسایش و رسوب، معاونت آبخیزداری سازمان جنگلها و مراتع کشور.
۷۵- کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، تیر ۱۳۷۶فرهنگ فنی آبیاری و زهکشی.

omoorepeyman.ir

Guide Line for Erosion and Sedimentation Studies in River Training

omoorepeyman.ir

این نشریه

با عنوان «راهنمای مطالعات فرسایش و رسوب در ساماندهی رودخانه‌ها» برای شناخت ساز و کارها و استفاده از دانش مهندسی رسوب در راستای حفاظت و ساماندهی رودخانه‌ها می‌باشد.

در این راهنما طی دو فصل جزئیات رفتاری رودخانه‌ها بحث گردیده و رهنمودهای لازم از دیدگاه کاربردی ارائه شده است. بررسی تعامل بین فرسایش و رسوب و اقدامات ساماندهی در رودخانه‌ها از جمله موضوعات اصلی این راهنما می‌باشد که در آن نقش انواع سازه‌های عرضی و طولی متداول در مهندسی رودخانه و همچنین اثرهای تاسیسات ذخیره و بهره‌برداری از منابع آب رودخانه‌ای، برداشت شن و ماسه و پوشش گیاهی بر عملکرد فرسایش و رسوبگذاری به‌صورت جامع مورد بررسی و کنکاش قرار گرفته است. تدارک آمار و اطلاعات پایه پیش نیاز مطالعات فرسایش و رسوب در ساماندهی رودخانه‌هاست، از این‌رو بخشی از مطالب این راهنما به این مهم اختصاص یافته است. همچنین آشنایی با انواع مدلها فصلی با عنوان کاربرد مدلهای فیزیکی و ریاضی در مطالعات فرسایش و رسوب در راهنما گنجانده شده و مزیتها و ملاحظات کارشناسی در استفاده از آنها ارائه گردیده است.

معاونت امور اداری ، مالی و منابع انسانی
مرکز مدارک علمی ، موزه و انتشارات

ISBN: 978-964-425-952-4
9789644259524

omoorepeyman.ir