جمهوری اسلامی ایران

سازمان برنامه و بودجه کشور

راهنمای مطالعات، طراحی، اجرا و بهره‌برداری سدهای رسوبگیر رودخانه‌ها

نشریه شماره ۸۵۸

آخرین ویرایش: ۰۸-۱۲-۱۴۰۰

معاونت فنی، امور زیربنایی و تولیدی

امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران

nezamfanni.ir

وزارت نیرو

دفتر توسعه نظام‌های فنی، بهره‌برداری و دیسپاچینگ برقآبی

waterstandard.wrm.ir

۱۴۰۰

اصلاح مدارک فنی

خواننده گرامی:

امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران معاونت فنی، امور زیربنایی و تولیدی سازمان برنامه و بودجه کشور، با همکاری دفتر توسعه نظام‌های فنی، بهره‌برداری و دیسپاچینگ برقابی- شرکت مدیریت منابع آب ایران- وزارت نیرو و با استفاده از نظر کارشناسان برجسته در قالب طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور مبادرت به تهیه این نشریه کرده و آن را برای استفاده به جامعه‌ی مهندسی کشور عرضه نموده است.

نظر به تهیه این نشریه به وسیله وزارت نیرو، مسئولیت مطالب تهیه شده، تفسیر و اصلاح آن با مجموعه مرتبط در آن وزارتخانه می‌باشد. دبیرخانه «طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور» مستقر در وزارت نیرو، دریافت کننده نظرات و پیشنهادهای اصلاحی در مورد مفاد این نشریه بوده و اصلاحات لازم را امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران سازمان برنامه و بودجه کشور اعلام خواهد کرد.

با وجود تلاش فراوان، این اثر مصون از ایرادهایی نظیر غلط‌های مفهومی، فنی، ابهام، ایهام و اشکالات موضوعی نیست. از این‌رو، از شما خواننده‌ی گرامی صمیمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده هر گونه ایراد و اشکال فنی، مراتب را منعکس فرمایید. کارشناسان مربوط نظرهای دریافتی را به دقت مطالعه نموده و اقدام مقتضی را معمول خواهند داشت. پیشاپیش از همکاری و دقت نظر جنابعالی قدردانی می‌شود.

نشانی برای مکاتبه:

تهران، میدان بهارستان، خیابان صفی علی‌شاه – مرکز تلفن ۳۳۲۷۱ - سازمان برنامه و بودجه کشور، امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران

Email: nezamfanni @mporg.ir **web: nezamfanni.ir**

طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور

تهران، خیابان فلسطین شمالی، پایین‌تر از زرتشت ، کوچه پرویز روشن، پلاک ۲۷-شرکت مدیریت منابع آب ایران- دفتر توسعه نظام‌های فنی، بهره‌برداری و دیسپاچینگ برقابی- تلفن : ۰۲۱۴۳۶۸۰۲۶۱ و ۰۲۱۴۳۶۸۰۲۸۹

Email: waterstandard@wrm.ir **web: waterstandard.wrm.ir**

باسمه‌تعالی

پیشگفتار

یکی از تمهیداتی که در مهار رسوب رودخانه‌ها از تاثیرگذاری زیادی برخوردار بوده و مورد تاکید مجامع معتبر بین‌المللی است، سدهای رسوب‌گیر می‌باشند. این سدها از جمله سازه‌های حوزه مهندسی رودخانه محسوب شده و با بندهای اصلاحی که در آبخیزداری مطرح هستند، تفاوت مفهومی دارند. در صورت طراحی درست این گونه سازه‌ها، نه تنها کارآیی مخزن سد، بلکه شاخص‌های مالی و اقتصادی طرح‌های سدسازی نیز ارتقا می‌یابد. احداث سدهای رسوبگیر از جمله اقدامات سازه‌ای پیشگیرانه‌ی موثر و کارآمدی است که امروزه در عرصه مدیریت و بهره‌برداری پایدار منابع آب و رسوب رودخانه‌ها و حفاظت و ساماندهی آن‌ها از جایگاه مهمی برخوردار می‌باشد. سدهای رسوبگیر بر روی رودخانه‌ها و آبراهه‌ها احداث می‌شود و به دلیل برقراری جریان پایه (عدم ذخیره‌سازی آب) برخلاف سدهای بلند، عموما سازگاری بهتری را با معیارهای مورفولوژیک و ملاحظات زیست‌محیطی و اکوسیستم رودخانه‌ای از خود نشان می‌دهند. سدهای رسوبگیر با تله‌اندازی بار رسوبی بستر، نقش موثری در کاهش رشد دلتا و حفاظت از ظرفیت مخازن و تداوم بهره‌برداری از نیروگاه‌های برقابی و افزایش کارایی و بهره اقتصادی آن‌ها را بر عهده دارند.

با توجه به اهمیت مبحث فوق‌الذکر، امور آب و آبفای وزارت نیرو در قالب طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور، تهیه «راهنمای مطالعات، طراحی، اجرا و بهره‌برداری سدهای رسوبگیر رودخانه‌ها» را با هماهنگی امور نظام فنی، اجرایی، مشاورین و پیمانکاران سازمان برنامه و بودجه کشور در دستور کار قرارداد که به منظور بهره‌برداری جامعه فنی مهندسی کشور، در دسترس عموم قرار گرفته‌است.

علیرغم تلاش، دقت و وقت زیادی که برای تهیه این مجموعه صرف گردید، این مجموعه مصون از وجود اشکال و ابهام در مطالب آن نیست. لذا در راستای تکمیل و پربار شدن این نشریه از کارشناسان محترم درخواست می‌شود موارد اصلاحی را منعکس فرمایند. نظرات و پیشنهادهای اصلاحی دریافت شده مورد بررسی قرار گرفته و در صورت نیاز به اصلاح در متن نشریه، با همفکری نمایندگان جامعه فنی کشور و کارشناسان مجرب این حوزه، نسبت به تهیه متن اصلاحی، اقدام و از طریق پایگاه اطلاع‌رسانی نظام فنی و اجرایی کشور برای بهره‌برداری عموم، اعلام خواهد شد. به همین منظور و برای تسهیل در پیدا کردن آخرین ضوابط ابلاغی معتبر، در بالای صفحات، تاریخ تدوین مطالب آن صفحه درج شده است که در صورت هرگونه تغییر در مطالب هر یک از صفحات، تاریخ آن نیز اصلاح خواهد شد. از این‌رو همواره مطالب صفحات دارای تاریخ جدیدتر معتبر خواهد بود.

امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران

زمستان ۱۴۰۰

تهیه و کنترل «راهنمای مطالعات، طراحی، اجرا و بهره‌برداری سدهای رسوبگیر رودخانه‌ها»

[نشریه شماره ۸۵۸]

مجری: شرکت مهندسان مشاور آب و عمران فراز اندیش

مشاور پروژه: فیروز بهادری خسروشاهی

اعضای گروه تهیه‌کننده (به ترتیب حروف الفبا):

یوسفعلی احمدی	سازمان حفاظت محیط‌زیست	فوق‌لیسانس مهندسی محیط‌زیست
رضا بهادری خسروشاهی	شرکت مهندسان مشاورآب و عمران فراز اندیش	فوق لیسانس مهندسی سازه
فیروز بهادری خسروشاهی	شرکت مهندسان مشاورآب و عمران فراز اندیش	دکتری مهندسی عمران- آب
داوود جهانده	شرکت آب منطقه‌ای تهران	فوق‌لیسانس مهندسی زمین‌شناسی
اسماعیل طلوعی	کارشناس آزاد	دکترای سازه‌های آبی

اعضای گروه نظارت:

علی‌اکبر عباسی	مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی	دکترای عمران - هیدرولیک
حسام فولادفر	شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران	دکترای مهندسی رودخانه

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

محمود افسوس	شرکت مهندسین مشاور سازه‌پردازی ایران	فوق‌لیسانس مهندسی هیدرولیک
زنده‌یاد محمدابراهیم بنی‌حبیب	دانشگاه تهران	دکترای عمران - مهندسی آب
غزال جعفری	شرکت مدیریت منابع آب ایران	فوق‌لیسانس مهندسی عمران - آب
نرگس دشتی	طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور- وزارت نیرو	لیسانس مهندسی آبیاری
محمد رستمی	پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری	دکترای عمران - مهندسی آب
محمدحسین عابدی	سازمان برنامه و بودجه کشور	فوق‌لیسانس مهندسی تاسیسات آبیاری
حسام فولادفر	شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران	دکترای مهندسی رودخانه
جبار وطن‌فدا	شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران	فوق‌لیسانس مهندسی سازه‌های هیدرولیکی
مهدی یاسی	دانشگاه تهران	دکترای مهندسی رودخانه
محمدحسین یزدانی	سازمان مدیریت بحران کشور	فوق‌لیسانس مدیریت بحران

اعضای گروه هدایت و راهبری (سازمان برنامه و بودجه کشور):

علیرضا توتونچی	معاون امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران
فرزانه آقارمضانعلی	رییس گروه امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران
سید وحیدالدین رضوانی	کارشناس امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
مقدمه	**۱**
فصل اول - اطلاعات پایه‌ای موردنیاز در مطالعات و طراحی سدهای رسوبگیر	**۳**
۱-۱- هیدرولوژی (داده‌های آماری آبدهی، سیلاب، هیدروگراف جریان)	۵
۱-۲- رسوب (داده‌های آماری غلظت، باربستر، دانه‌بندی مواد بستر و معلق)	۶
۱-۲-۱- داده‌های آماری غلظت بار معلق	۶
۱-۲-۲- داده‌های آماری بار بستر	۸
۱-۲-۳- دانه‌بندی مواد بستر و معلق	۹
۱-۳- شبکه هیدرومتری و رسوب‌سنجی و مشخصات فیزیوگرافی	۹
۱-۴- داده‌های زیست‌محیطی	۱۰
۱-۵- بازدید و بررسی‌های میدانی	۱۱
۱-۵-۱- بررسی اولیه موقعیت ساختگاه‌ها و مورفولوژی رودخانه	۱۱
۱-۵-۲- نقشه برداری و تهیه نقشه توپوگرافی کدی مسیر	۱۱
۱-۶- گزارشات و مستندات، نقشه‌ها، تصاویر ماهواره‌ای، عکس‌های هوایی	۱۲
۱-۷- برآورد نیاز توسعه‌ای منطقه‌ای در یک افق مشخص	۱۲
فصل دوم - انواع سدهای رسوبگیر و جایگاه آن‌ها در مدیریت رسوب مخازن	**۱۵**
۲-۱- مروری بر انواع سدهای رسوبگیر و مبانی طراحی آن‌ها	۱۹
۲-۲- جایگاه سدهای رسوبگیر در مدیریت رسوب مخازن	۲۹
فصل سوم - مطالعات پایه و تخصصی موردنیاز در طراحی سدهای رسوبگیر	**۳۷**
۳-۱- زمین‌شناسی، ژئوتکنیک (مکانیک خاک) و منابع قرضه	۳۹
۳-۱-۱- مطالعات زمین‌شناسی	۳۹
۳-۱-۲- مطالعات ژئوتکنیک و مکانیک خاک	۴۱
۳-۱-۳- منابع قرضه	۴۳
۳-۲- مطالعات اقتصادی، اجتماعی، حقوقی و تملک اراضی	۴۴
۳-۲-۱- مطالعات اجتماعی	۴۵
۳-۲-۲- مطالعات اقتصادی	۴۸
۳-۲-۳- بررسی‌های حقوقی و تملیک اراضی	۵۷

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۳-۳- رژیم آبدهی و رسوبدهی	۵۸
۳-۳-۱- هیدرولوژی و سیلاب	۵۹
۳-۳-۲- هیدرولیک رسوب (فرسایش و رسوبگذاری)	۶۳
۳-۴- مطالعات هیدرولیک جریان، هیدرولیک رسوب و رسوبگذاری در مخزن سد رسوبگیر	۶۹
۳-۴-۱- بررسی مدل‌های رایانه‌ای و انتخاب مدل مناسب	۷۲
۳-۴-۲- تعیین مشخصات هیدرولیک جریان در شرایط موجود و شرایط طراحی	۷۴
۳-۵- مطالعات هیدرولیک رسوب و مدل‌سازی رسوبگذاری در مخزن و تعیین پروفیل‌های رسوبگذاری	۷۶
۳-۵-۱- بررسی سناریوهای مختلف و تعیین حجم رسوبگذاری در مخزن	۷۸
۳-۵-۲- بررسی میزان تله‌اندازی (Te) برحسب اندازه‌های مختلف دانه‌بندی و تعیین قطر طراحی (Dd)	۸۵
۳-۶- بررسی اثرات ریخت‌شناسی، اثرات هیدرولیکی و زیست‌محیطی احداث سدهای رسوبگیر	۱۰۰
فصل چهارم - طراحی سدهای رسوبگیر	**۱۰۳**
۴-۱- طراحی هیدرولیکی سدهای رسوبگیر	۱۰۵
۴-۱-۱- مرحله اول- استفاده از معادلات تجربی برای تعیین مشخصات هندسی سازه سد	۱۰۵
۴-۱-۲- مرحله دوم- مدل‌سازی عددی برای تدقیق مشخصات هندسی و تحلیل عملکرد هیدرولیکی و رسوبگذاری	۱۰۵
۴-۱-۳- تعیین ابعاد هندسی و ظرفیت هیدرولیکی سدهای رسوبگیر شکاف‌دار	۱۰۶
۴-۱-۴- تعیین شیب پروفیل رسوبگذاری (Sdep)	۱۱۳
۴-۱-۵- برآورد ظرفیت مخزن یا حجم رسوبگذاری (Vs)	۱۱۴
۴-۱-۶- تعیین ابعاد هندسی و ظرفیت هیدرولیکی سدهای رسوبگیر روزنه‌دار	۱۱۵
۴-۱-۷- تعیین شیب پروفیل رسوبگذاری (Sdep) و برآورد ظرفیت مخزن یا حجم رسوبگذاری (Vs) در سدهای روزنه‌دار	۱۲۱
۴-۱-۸- تعیین ابعاد و ظرفیت هیدرولیکی سدهای رسوبگیر صلب (بدون مجرا)	۱۲۱
۴-۲- طراحی سازه‌ای	۱۲۳
۴-۲-۱- طراحی سازه‌ای سد رسوبگیر (بدنه، سرریز، حوضچه آرامش)	۱۲۵
۴-۲-۲- طراحی سرریز سد رسوبگیر	۱۳۴
۴-۲-۱- طراحی حوضچه آرامش	۱۳۸

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۴-۳- تعیین هزینه و منافع و تهیه نقشه‌های اجرایی	۱۴۷
۴-۳-۱- تعیین هزینه و منافع (درآمدهای) طرح	۱۴۷
۴-۳-۲- تهیه نقشه‌های اجرایی	۱۵۱
۴-۴- ارزیابی اجتماعی (در سطح مردم، کارشناسان و مدیران) برای کاربری مواد نهشته رسوبی در مخزن سدهای رسوبگیر	۱۵۲
۴-۵- ارزیابی کیفیت مواد نهشته رسوبی برای مصارف مختلف (کشاورزی، ساختمانی و راه‌سازی)	۱۵۵
۴-۶- تخلیه دوره‌ای رسوبات مخزن و بهره‌برداری از مصالح برای اهداف عمرانی و زراعی و تغذیه بازه‌های پایین‌دست	۱۵۸
فصل پنجم - ملاحظات ساخت و اجرای سدهای رسوبگیر	**۱۶۳**
۵-۱- برپایی کارگاه، تهیه مصالح وکنترل کیفیت	۱۶۶
۵-۱-۱- برپایی و تجهیز کارگاه	۱۶۶
۵-۱-۲- تهیه مصالح و کنترل کیفیت:	۱۶۶
۵-۲- اجرا و نظارت کارگاهی و کارهای پایانی	۱۶۸
۵-۲-۱- اجرا و ساخت سد رسوبگیر	۱۶۸
۵-۲-۲- نظارت کارگاهی	۱۷۱
۵-۲-۳- کارهای پایانی	۱۷۱
فصل ششم - پایش و سنجش و بهره‌برداری و نگهداری	**۱۷۳**
۶-۱- پایش و سنجش بده جریان و رسوب و موارد کیفیتی	۱۷۵
۶-۲- بازیافت و بهره‌برداری از رسوبات مخزن سد	۱۷۷
۶-۳- بازرسی و رفتارسنجی در شرایط عادی و سیلابی و اضطراری	۱۷۸
۶-۴- نگهداری و تعمیرات ادواری	۱۸۰
۶-۵- سازمان اداری و ماشین‌آلات	۱۸۲

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
پیوست ۱ – واژه‌نامه	**۱۸۵**
پیوست ۲ – چک‌لیست ارزیابی	**۱۹۱**
منابع و مراجع	**۱۹۷**

فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول ۱-۱- روش‌های نوین اندازه‌گیری بار معلق مطابق الگوی سدالپ در شبکه رودخانه‌ای	۷
جدول ۱-۲- روش‌های نوین اندازه‌گیری بار بستر و شیوه‌های موجود مطابق الگوی سدالپ در شبکه رودخانه‌ای	۸
جدول ۲-۱- کاربرد انواع سدهای رسوبگیر مورد استفاده در مهار رسوب رودخانه‌ها	۲۲
جدول ۲-۲- گروه‌بندی سدهای رسوبگیر مورد استفاده در مهار رسوب رودخانه‌ها از نظر مشخصه‌های هندسی و هیدرولیکی	۲۴
جدول ۲-۳- گروه‌بندی سدهای رسوبگیر مورد استفاده در مهار رسوب برای شرایط آب وهوایی و رودخانه‌های کشور	۲۴
جدول ۲-۴- نتایج هیدروگرافی تعدادی از مخازن کشور و متوسط نرخ کاهش سالیانه حجم مخازن ناشی از انباشت رسوب	۳۰
جدول ۳-۱- خسارت ناشی از سیلاب‌ها و متوسط خسارت سالیانه و میزان منافع حاصل از کنترل سیلاب برای یک رودخانه مفروض	۵۱
جدول ۳-۲- توصیف علایم مورد استفاده در معادلات اقتصاد مهندسی	۵۴
جدول ۳-۳- آنالیز هزینه و منافع حاصل از احداث سد رسوبگیر برای یک طرح مفروض	۵۵
جدول ۳-۴- ارزش حال فایده‌های کشاورزی به ازای نرخ‌های مختلف بهره‌برداری در یک طرح مفروض	۵۸
جدول ۳-۵- مقادیر آبدهی و رسوب حمل شده در شرایط ترسالی، متوسط و خشکسالی	۵۹
جدول ۳-۶- مقادیر سیلاب‌های حداکثر لحظه‌ای سالیانه با دوره بازگشت‌های مختلف (مترمکعب در ثانیه)	۶۰
جدول ۳-۷- بعضی مدل‌های حرفه‌ای متداول در تعیین رژیم جریان و سیلاب رودخانه‌های فاقد آمار	۶۱
جدول ۳-۸- مراحل محاسباتی برای تعیین متوسط باررسوب معلق سالیانه رودخانه به روش هیدرومتری	۶۵

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۳-۹- مراحل محاسباتی برای تعیین متوسط بار بسترسالیانه از نمودار تجربی $K - S_R$- رودخانه آزادرود ایستگاه سروآباد ۶۶

جدول ۳-۱۰- معادلات توصیه شده برای تعیین بار بستر در رودخانه‌های کوهستانی، شریانی و بار مواد بستر در رودخانه‌های پیچانرودی ۶۷

جدول ۳-۱۱- تعیین متوسط باربستر سالیانه از معادله MPM به روش هیدرومتری (جدول USBR) ۶۸

جدول ۳-۱۲- توصیف پارامترهای مختلف مورد استفاده در تعیین ابعاد هندسی سدهای رسوبگیر ۷۱

جدول ۳-۱۳- بعضی مشخصات مدل‌های ریاضی مورد استفاده در شبیه‌سازی هیدرولیک جریان، فرسایش و رسوبگذاری در سدهای رسوبگیر ۷۲

جدول ۳-۱۴- بعضی نتایج مدل‌سازی رسوبگذاری در سدهای شکاف‌دار و مقایسه آن با سد صلب ۸۱

جدول ۳-۱۵- بعضی نتایج مدل‌سازی رسوبگذاری در سدهای کالورتی (روزنه‌دار) و مقایسه آن با سد صلب ۸۴

جدول ۳-۱۶- نتایج مدل‌سازی رسوبگذاری متاثر از تغییرات عرض شکاف در سد رسوبگیر باز برای کلاس مختلف دانه‌بندی ۸۸

جدول ۳-۱۷- مقادیر k و Te حاصل از درصدهای مختلف Ted برای کلاس‌های دانه‌بندی مستخرج از گراف‌های شکل (۳-۲۵)۹۱

جدول ۳-۱۸- انتخاب قطر طراحی Dd و تعیین ضریب تله‌اندازی- Te، K و Wo از گراف III و IV ۹۳

جدول ۳-۱۹- نتایج مدل‌سازی رسوبگذاری متاثر از موقعیت کالورت‌ها در سد رسوبگیر برای کلاس مختلف دانه‌بندی ۹۵

جدول ۳-۲۰- مقادیر m و Te حاصل از درصدهای مختلف Ted برای کلاس‌های دانه‌بندی مستخرج از گراف‌های شکل ۳-۲۸ ۹۸

جدول ۳-۲۱- انتخاب قطر طراحی Dd و تعیین ضریب تله‌اندازی- Te، m و Ds از گراف C و D ۹۹

جدول ۴-۱- توصیف پارامترهای مورد استفاده در معادلات ظرفیت هیدرولیکی انواع سدهای رسوبگیر شکاف‌دار ۱۰۷

جدول ۴-۲- نمونه‌ای از مراحل محاسباتی ظرفیت هیدرولیکی و ارتفاع آب در پشت سد رسوبگیر شکاف‌دار ساده و تیرک‌دار ۱۰۹

جدول ۴-۳- تاثیرپذیری پارامتر ضریب انقباض از فاصله و قطر تیرک‌ها در سدهای رسوبگیر شکاف‌دار ۱۰۹

جدول ۴-۴- مراحل محاسباتی افت‌های موضعی و تعیین ارتفاع سد رسوبگیر شکاف‌دار ساده ۱۱۲

جدول ۴-۵- توصیف پارامترهای مورد استفاده در روابط تعیین ارتفاع سد رسوبگیر ۱۱۲

جدول ۴-۶- مراحل محاسباتی ارتفاع سرریز ذوزنقه‌ای سد رسوبگیر شکاف‌دار ساده ۱۱۳

جدول ۴-۷- نحوه تعیین طول و ظرفیت مخزن و تعداد سد رسوبگیر مورد نیاز ۱۱۵

جدول ۴-۸- توصیف پارامترهای مورد استفاده در معادلات ظرفیت هیدرولیکی انواع سدهای رسوبگیر روزنه‌دار ۱۱۷

جدول ۴-۹- نمونه‌ای از مراحل محاسباتی ظرفیت هیدرولیکی و ارتفاع آب در پشت سد رسوبگیر روزنه‌دار با مجرای تحتانی ۱۱۷

جدول ۴-۱۰- نمونه‌ای از مراحل محاسباتی ظرفیت هیدرولیکی و ارتفاع آب در پشت سد رسوبگیر با روزنه مزدوج ۱۱۸

جدول ۴-۱۱- مراحل محاسباتی افت‌های موضعی و تعیین ارتفاع سد رسوبگیر روزنه‌دار ۱۲۰

جدول ۴-۱۲- مراحل محاسباتی ارتفاع سرریز ذوزنقه سد رسوبگیر روزنه‌دار ۱۲۱

جدول ۴-۱۳- توصیف پارامترهای مورد استفاده در ظرفیت هیدرولیکی سدهای رسوبگیر صلب ۱۲۲

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۴-۱۴- محدوده تنش فشاری مجاز برای انواع مصالح شالوده ۱۲۶
جدول ۴-۱۵- ضرایب اطمینان اصطکاک و لغزش برای مصالح مختلف پی ۱۳۲
جدول ۴-۱۶- محدوده ضریب اطمینان خزش و حداکثر شیب هیدرولیکی مجاز برای انواع مصالح پی ۱۳۳
جدول ۴-۱۷- مراحل محاسباتی فاصله محل برخورد جت آب تا پای سازه سد رسوبگیر ۱۳۷
جدول ۴-۱۸- مراحل محاسباتی عمق فرسایش ناشی از برخورد جت آب با بستر رودخانه در پایین‌دست سرریز سد رسوبگیر ۱۳۷
جدول ۴-۱۹- توصیف پارامترهای مورد استفاده در معادلات محاسبه مشخصات حوضچه آرامش در سد رسوبگیر ۱۴۰
جدول ۴-۲۰- مراحل محاسباتی مشخصات حوضچه آرامش پایین‌دست سرریز سد رسوبگیر ۱۴۱
جدول ۴-۲۱- مراحل محاسباتی اندازه قطر شاخص لایه آرمور برای حوضچه آرامش سد رسوبگیر ۱۴۲
جدول ۴-۲۲- بررسی معیارهای سه‌گانه برای آزمون ضرورت استفاده از لایه فیلتر ۱۴۳
جدول ۴-۲۳- آیتم‌های مورد نیاز برای ارزیابی هزینه‌های احداث سد رسوبگیر ۱۴۸
جدول ۴-۲۴- آیتم‌های مورنیاز برای ارزیابی منافع یا درآمد حاصل از احداث سد رسوبگیر ۱۵۰
جدول ۴-۲۵- برآورد هزینه برداشت مصالح و ارزش شن و ماسه استحصالی از سد رسوبگیر مفروض ۱۵۰
جدول ۴-۲۶- نمونه‌ای از ارزیابی خسارت سیلاب و تعیین متوسط خسارت سالیانه در شرایط طبیعی و حالت کنترل سیل و میزان منافع حاصل از کنترل سیلاب برای یک رودخانه مفروض ۱۵۱
جدول ۴-۲۷- فرم نظرسنجی اجتماعی امکان استفاده از رسوب سدهای رسوبگیر ۱۵۴
جدول ۴-۲۸- بعضی نتایج نظرسنجی اجتماعی در خصوص زمینه‌های امکان استفاده از رسوب سدهای رسوبگیر [۳۱] ۱۵۷
جدول ۴-۲۹- نحوه تعیین عمر مفید یا دوره تخلیه مخزن سد رسوبگیر برای یک رودخانه مفروض ۱۵۹

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱- نمونه‌ای از جانمایی اولیه موقعیت سدهای رسوبگیر بر روی نقشه توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ رودخانه زردفهره بالادست مخزن سدرودبار (بازدید میدانی تیرماه ۱۳۹۶) ۱۱
شکل ۲-۱- نمونه‌ای از سدهای رسوبگیر صلب متعلق به قرن نوزدهم با هدف مهار زمین‌لغزه و پایدارسازی کناره‌ها، تثبیت بستر و تعدیل شیب و کاهش تغذیه رسوبی پایین‌دست ۱۷
شکل ۲-۲- انواع سدهای رسوبگیر مورد استفاده در مهار رسوب رودخانه‌ها (سرشاخه‌ها، بازه‌های میانی و خروجی مخروط افکنه)۱۹
شکل ۲-۳- اشکال مختلف سدهای رسوبگیر باز مورد استفاده در مهار رسوب رودخانه‌ها [۶۰، ۶۱] ۲۱
شکل ۲-۴- سدهای رسوبگیر صلب و سدهای رسوبگیر مشبک مورد استفاده در مهار رسوبات واریزه‌ای در سطح حوضه آبریز ۲۱

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۵- سد رسوبگیر باز و عناصر اصلی آن برای تله‌اندازی بار بستر ۲۷
شکل ۲-۶- نمونه‌هایی از انواع سدهای رسوبگیر باز برای تله‌اندازی بار بستر در رودخانه‌ها ۲۸
شکل ۲-۷- نمونه‌هایی از سدهای رسوبگیر مشبک و صلب مورد استفاده در مهار رسوب کانون‌های فرسایشی حوضه‌های آبریز ۲۹
شکل ۲-۸- نمونه‌ای از مدیریت رسوب مخازن با احداث سدهای رسوبگیر و اقدامات علاج‌بخشی، الگوی ژاپن ۳۰
شکل ۲-۹- نمونه‌ای از نقش سدهای رسوبگیر در مهار رسوب ورودی به مخازن سدها، سد میوا - ژاپن ۳۲
شکل ۲-۱۰- نقشه موقعیت سدهای رسوبگیر در بالادست مخازن سدهای ذخیره‌ای در کشور ژاپن ۳۴
شکل ۲-۱۱- نقش سدهای رسوبگیر در مهار رسوب ورودی به مخازن سدها و بیلان رسوب رودخانه‌ها در کشور ژاپن ۳۴
شکل ۳-۱- مواردی از سیلاب‌های گلی و واریزه‌ای که قدرت تخریبی آن‌را نسبت به سیلاب معمولی بـه طـور چشـمگیری افـزایش می‌دهد. ۴۸
شکل ۳-۲- نقش سیل طراحی در تعیین ارتفاع سد رسوبگیر و ارتفاع سرریز و سایر ابعاد هندسی سازه ۴۹
شکل ۳-۳- نمونه‌ای از منحنی خسارت - دوره بازگشت سیلاب‌ها و نحوه کاهش خسارت با تسکین سیلاب ۵۲
شکل ۳-۴- نمونه‌ای از تحلیل اقتصادی گرافیکی احداث سد رسوبگیر و تعیین B/C به ازای سـیل طراحـی و ارتفـاع متنـاظر سـد رسوبگیر ۵۵
شکل ۳-۵- نمونه‌ای از تحلیل اقتصادی گرافیکی برای بهینه‌سازی (حداقل نمودن) هزینه طرح کنترل سیلاب ۵۶
شکل ۳-۶- حالت‌های مختلف استفاده توام از سد رسوبگیر و لایروبی مخزن برای بهینه‌سازی (حداقل نمـودن) هزینـه طـرح مهـار رسوب ۵۷
شکل ۳-۷- نمونه‌ای از هیدروگراف جریان سالیانه - رودخانه آزادرود در ایستگاه سروآباد از شعبات رودخانه سیروان ۵۹
شکل ۳-۸- منحنی دوره بازگشت و رابطه منطقه‌ای برای تعیین سیلاب‌ها - رودخانه یوگیوگنی پنسیلوانیا ۶۲
شکل ۳-۹- هیدروگراف بی‌بعد و هیدروگراف سیلاب‌های استخراج شده - رودخانه زردفهره از شعبات رودبار لرستان ۶۳
شکل ۳-۱۰- نمودار تجربی K-SR، نسبت باربستر به بارمعلق (K) برحسب شیب بستر (SR)، در رودخانه‌های کشور ۶۶
شکل ۳-۱۱- مشخصه‌های هندسی در انواع سدهای رسوبگیر شکاف‌دارو روزنه‌دار ۷۰
شکل ۳-۱۲- تاثیرپذیری رسوبگذاری از بازشدگی نسبی(K) - سدهای رسوبگیر شکاف‌دار ۷۱
شکل ۳-۱۳- شبیه‌سازی فرایند رسوبگذاری در مخزن سد رسوبگیر بر روی رودخانه والیس سویس توسط مدل GESMAT ۷۳
شکل ۳-۱۴- پروفیل‌های جریان در شرایط موجود و وجود سد رسوبگیر و کاهش تنش برشی ۷۵
شکل ۳-۱۵- وقوع جریان زیربحرانی و فوق بحرانی در بالادست سد رسوبگیر ۷۵
شکل ۳-۱۶- مقایسه پروفیل رسوبگذاری حاصل از معادلات انتقال و انتخاب روش مناسب ۷۸
شکل ۳-۱۷- نمونه‌ای از گروه سدهای رسوبگیر روزنه‌دار و شکاف‌دار مورد استفاده در تله‌اندازی باربستر ۷۸
شکل ۳-۱۸- نمونه‌هایی از سدهای شکاف‌دار با اهداف متفاوت برای تله‌اندازی باربستر و سنگ و لاشه سنگ ۷۹

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۳-۱۹- تاثیرپذیری پروفیل رسوبگذاری از میزان بازشدگی در سدهای رسوبگیر شکاف‌دار ۸۰
شکل ۳-۲۰- تاثیرپذیری درصد تله‌اندازی باربستر از ابعاد شکاف در سدهای رسوبگیر باز ۸۲
شکل ۳-۲۱- نمونه‌هایی از سدهای رسوبگیر کالورتی برای تله‌اندازی باربستر ۸۲
شکل ۳-۲۲- تاثیرپذیری پروفیل رسوبگذاری از میزان بازشدگی و موقعیت کالورت‌ها در سدهای رسوبگیر روزنه‌دار ۸۴
شکل ۳-۲۳- تاثیرپذیری درصد تله‌اندازی باربستر از موقعیت کالورت‌ها در سدهای رسوبگیر روزنه‌دار ۸۵
شکل ۳-۲۴- نمودار گرافیکی روند تغییرات زمانی رسوب ورودی و خروجی سد رسوبگیر شکاف‌دار ۸۶
شکل ۳-۲۵- مراحل تعیین Te و K حاصل از نتایج مدل‌سازی سد رسوبگیر شکاف‌دار بازای مقادیر Ted کلاس‌های دانه‌بندی ۹۰
شکل ۳-۲۶- سری نمودارهای مورد استفاده در تعیین قطر طراحی (D_d)، Te و Wo حاصل از نتایج مدل‌سازی سد رسوبگیر شکاف‌دار ۹۲
شکل ۳-۲۷- نمودار گرافیکی تغییرات زمانی رسوب ورودی و خروجی از مخزن سد رسوبگیر روزنه‌دار ۹۴
شکل ۳-۲۸- مراحل تعیین Te و m حاصل از نتایج مدل‌سازی سد رسوبگیر روزنه‌دار بازای مقادیر Ted کلاس‌های دانه‌بندی ۹۷
شکل ۳-۲۹- سری نمودارهای مورد استفاده در تعیین قطر طراحی (D_d)، Te و موقعیت کالورت‌ها حاصل از نتایج مدل‌سازی سد رسوبگیر روزنه‌دار ۹۹
شکل ۴-۱- مشخصات انواع سدهای رسوبگیر شکاف‌دار مورد استفاده در تعیین ظرفیت هیدرولیکی ۱۰۸
شکل ۴-۲- روند تغییرات ارتفاع آب در پشت سد رسوبگیر شکاف‌دار به صورت تابعی از تغییرات عرض مجرا در حالت ساده و تیرک‌دار ۱۱۰
شکل ۴-۳- پروفیل رسوبگذاری و مشخصه‌های هندسی و هیدرولیکی مخزن سد رسوبگیر با مجرای تخلیه کننده ۱۱۱
شکل ۴-۴- ارتفاع سد رسوبگیر، ارتفاع آب، ارتفاع سرریز و سایر مشخصه‌های هندسی سدرسوبگیر شکاف‌دار ۱۱۱
شکل ۴-۵- دامنه تغییرات شیب پروفیل رسوبگذاری در بالادست سد رسوبگیر نسبت به شیب اولیه رودخانه ۱۱۴
شکل ۴-۶- نمایش موقعیت دو سد رسوبگیر متوالی برای مثال مفروض ۱۱۵
شکل ۴-۷- مشخصات انواع سدهای رسوبگیر روزنه‌دار مورداستفاده در تعیین ابعاد هندسی و ظرفیت هیدرولیکی ۱۱۹
شکل ۴-۸- روند تغییرات ارتفاع آب در پشت سد رسوبگیر روزنه‌دار به صورت تابعی از تغییرات عرض و ارتفاع مجرا ۱۱۹
شکل ۴-۹- مولفه نیروهای وارد بر سد رسوبگیر وزنی در شرایط انباشت رسوب و سیل طراحی ۱۲۵
شکل ۴-۱۰- مقاطع قائم و افقی بعرض واحد و دیاگرام نیروهای وارد بر سد رسوبگیر وزنی ۱۲۷
شکل ۴-۱۱- حالت‌های مختلف بارگذاری و ترکیب نیروها در تعیین فشار وارد بر پی ۱۲۹
شکل ۴-۱۲- تناسب عرض پی و تاج نسبت به ارتفاع و نقطه اثر منتجه نیروهای موثر در سدهای رسوبگیر وزنی ۱۳۱
شکل ۴-۱۳- دیاگرام فشاربرکنش در پی سازه با استفاده از روش خزش ۱۳۴
شکل ۴-۱۴- تناسب طول سرریز، عرض بستر و طول پی در سدهای رسوبگیر ۱۳۵

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۴-۱۵- سرریزی سیلاب در سدهای رسوبگیر و فرسایش موضعی حاصله در پای سازه ۱۳۷

شکل ۴-۱۶- سد رسوبگیر و داده‌های مورد استفاده در مثال مفروض و نمودار تغییرات عمق فرسایش بر حسب d_{90} مصالح بستر ۱۳۸

شکل ۴-۱۷- مشخصات حوضچه آرامش و پدیده پرش هیدرولیکی در پایین‌دست سد رسوبگیر ۱۴۰

شکل ۴-۱۸- معیار دانه‌بندی لایه آرمور و توزیع دانه‌بندی آن و مقایسه با دانه‌بندی بستر ۱۴۲

شکل ۴-۱۹- اشکال مختلف پوشش حفاظتی مورد استفاده در حوضچه آرامش سدهای رسوبگیر و پوشش سنگی در پایین‌دست ۱۴۵

شکل ۴-۲۰- نمودار تغییرات مقدار ازت و پتاس در رسوبات مخازن ۱۵۵

شکل ۴-۲۱- نمودار تغییرات مقدار فسفر موجود در رسوبات مخازن ۱۵۶

شکل ۴-۲۲- مواردی از عمل‌آوری رسوب مخازن و استفاده از آن در تولید مصالح مختلف ساختمانی و تقویت اراضی ۱۵۶

شکل ۴-۲۳- وضعیت انباشت رسوب در مخزن سد رسوبگیر و تخلیه آن برای بازیافت مجدد ظرفیت مخزن ۱۵۸

شکل ۴-۲۴- حالت‌های مختلف تغذیه مجدد رودخانه با استفاده از انتقال رسوب از سدهای رسوبگیر ۱۶۱

شکل ۴-۲۵- نمونه‌ای از تخلیه مکانیکی و عمل‌آوری و بهره‌برداری رسوبات در سدهای رسوبگیر ۱۶۱

شکل ۵-۱- راهکارهای انحراف موقت جریان در بسترهای عریض و کم‌عرض ۱۶۹

نمودار ۵-۱- مراحل مطالعات، طراحی، ساخت و اجرا و بهره‌برداری و نگهداری سدهای رسوبگیر ۱۷۲

شکل ۶-۱- نمونه‌ای از سیستم مدرن پایش، سنجش و پردازش هم‌زمان و همسان در شبکه رودخانه‌ای و سیستم سدهای رسوبگیر و سد مخزنی - رودخانه گاماتا، ژاپن ۱۷۶

شکل ۶-۲- نمونه‌ای از انباشته شدن مواد رسوبی باربستر در مخزن سد رسوبگیر باز، رودخانه رویز- فرانسه ۱۷۷

شکل ۶-۳- نمونه‌ای از فرسایش عمومی و اثرات آن در پایین‌دست سد رسوبگیر و پدیده سایش و خوردگی پوشش حفاظتی ۱۸۱

شکل ۶-۴- تجمع الوار و اشجار در سدهای رسوبگیر و راهکارهای مقابله با آن با ایجاد شبکه الوارگیر ۱۸۲

نمودار ۶-۱- فلوچارت سازمان اداری و ماشین‌آلات مورد نیاز بهره‌برداری و نگهداری سد (سدهای) رسوبگیر ۱۸۳

مقدمه

احداث سدهای رسوبگیر[1] از جمله اقدامات سازه‌ای پیشگیرانه‌ی موثر و کارآمدی است که امروزه در عرصه مدیریت و بهره‌برداری پایدار منابع آب و رسوب رودخانه‌ها و حفاظت و ساماندهی آن‌ها از جایگاه مهمی برخوردار می‌باشد. سدهای رسوبگیر بر روی رودخانه‌ها و آبراهه‌ها احداث گردیده و اغلب دارای ارتفاع کم (به طور متعارف بین ۵ تا ۱۵ متر) بوده و در تعریف سدهای بزرگ، طبق مشخصات مندرج در تعاریف ICOLD، نمی‌گنجد. این سدها به دلیل برقراری جریان پایه (عدم ذخیره‌سازی آب) برخلاف سدهای بلند، عموما سازگاری بهتری را با معیارهای مورفولوژیک و ملاحظات زیست‌محیطی و اکوسیستم رودخانه‌ای از خود نشان می‌دهند. با تله‌اندازی بار رسوبی بستر، سدهای رسوبگیر نقش موثری در کاهش رشد دلتا و حفاظت از ظرفیت مخازن و تداوم بهره‌برداری از نیروگاه‌های برقابی و افزایش کارایی و بهره اقتصادی آن‌ها را بر عهده دارند. تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد که سالیانه معادل ۲۰ میلیارد تن مواد رسوبی حاصل از فرسایش سطح قاره‌ها، از طریق شبکه رودخانه‌ها به دریا و اقیانوس‌حمل می‌شود [۳۷، ۳۸]. بدیهی است چنین نرخ بالایی از تولید رسوب، تهدیدی برای مخازن سدها و تاسیسات تنظیم و کنترل جریان و عامل بروز ناهنجاری‌های عدیده مورفولوژیک بوده و در تقابل جدی با اهداف توسعه پایدار قرار دارد [۳۹]. از این‌رو در دیدگاه نوین برنامه مدیریت پایدار رسوب[2] به موازات عملیات جامع آبخیزداری (اعم از بیولوژیک و سازه‌ای) که با هدف مقابله با فرسایش خاک و کاهش بار رسوبی ورودی به شبکه آبراهه‌ها در سطح حوضه انجام می‌گیرد، احداث سدهای رسوبگیر نیز به عنوان مکمل اقدامات پیشگیرانه در راستای مهار آورد رسوبی رودخانه‌ها و حفظ ظرفیت مخازن سدها، الزام‌آور می‌باشد. برخلاف اقدامات آبخیزداری که بر تثبیت خاک و کاهش بارشسته (کنترل رسوب معلق) متمرکز است، هدف اصلی سدهای رسوبگیر عموما تله‌اندازی بار بستر و جلوگیری از ورود رسوبات درشت‌دانه به مخازن سدها و تاسیسات کنترل و بهره‌برداری و تهدید زیرساخت‌ها بوده و در طراحی آن‌ها علاوه بر ملاحظات خاص هیدرولیکی و ساختار سازه‌ای، آگاهی از ظرفیت انتقال و میزان بار بستر حمل شده توسط رودخانه نیز از اهمیت زیادی برخوردار است. با عنایت به چنین واقعیتی، اغلب به سدهای رسوبگیر اصطلاح تله‌انداز بار بستر[3] نیز اطلاق می‌شود. به بیانی از دیدگاه مدیریت توسعه پایدار، سدهای رسوبگیر را می‌توان جایگزین سدهای صلب عنوان نمود که با هدف تله‌اندازی توام بار رسوبی معلق و بستر احداث گردیده و اثرات سوء مورفولوژیک و پیامدهای نامطلوب اکوسیستم رودخانه‌ای از تبعات آن‌ها تلقی می‌شود. در سدهای رسوبگیر، تخلیه دوره‌ای رسوبات انباشته شده[4] از جمله شیوه‌های موثر برداشت مصالح رودخانه‌ای برای اهداف مختلف عمرانی، مد نظر بوده و بخشی از ملزومات تضمین کارآیی مستمر این‌گونه سازه‌ها در برنامه مدیریت و بهره‌برداری پایدار

1- Sediment Retention Dams
2- Comprehensive Sediment Management Program
3- Bed-load Retaining Dams (bed-load filtering dams)
4- Sediment excavation

از مخازن قلمداد می‌شود. بدیهی است تحقق چنین فرایندی به نوبه خود انجام اقدامات پایش، سنجش و نظارت و مدیریت بهره‌برداری سازه سد را طلب می‌کند که در این نشریه به آن پرداخته شده است.

- هدف

هدف از تدوین نشریه «راهنمای مطالعات، طراحی، اجرا و بهره‌برداری سدهای رسوبگیر رودخانه‌ها»، ارائه مطالعات راهبردی مورد نیاز و راهکارهای عملی برای مهار رسوب حمل شده توسط رودخانه‌ها با بهره‌گیری از سدهای رسوبگیر می‌باشد. در این راستا پرداختن به فرایند مطالعات و طراحی و همچنین شیوه‌های ساخت و اجرا و ملزومات بهره‌برداری و نگهداری، به موازات ضرورت‌های پایش و سنجش متناسب با ویژگی‌های رفتاری رودخانه‌ها و اهداف مختلف مهندسی مدنظر قرارگرفته است.

- دامنه کاربرد

در این نشریه، مجموعه‌ای از روش‌ها و راهکارهای احداث سدهای رسوبگیر با هدف تله‌اندازی بار بستر ارائه گردیده و ویژگی‌ها و محدوده کاربرد آن‌ها برای مهار رسوب رودخانه‌ها معرفی شده است. احداث این سدها بر روی رودخانه‌های دائمی، فصلی و مسیل‌ها امکان‌پذیر می‌باشد. در عین‌حال الگوهای ارائه شده برای مواردی نظیر جریان‌های گلی[1]، رخداد جریان واریزه‌ای، زمین‌لغزش[2] و کوه‌ریزش[3] که در حیطه اقدامات آبخیزداری است، معتبر نبوده و تشریح مکانیسم‌های حاکم و شیوه مهار آن‌ها، طبعا ضابطه تخصصی خود را طلب می‌کند. علاوه بر این در سطح حوضه‌های آبریز استفاده فراگیر از بندهای اصلاحی[4] یا سدهای آبخیزداری با هدف مهار فرسایش آبراهه‌ها و سرشاخه‌های پرشیب و همچنین مقابله با توسعه فرسایش‌های خندقی[5] و نظایر آن متداول است که پرداختن به آن با توجه به اهداف و ماهیت عملکرد آن‌ها در حفاظت از خاک، رویکرد سازه‌ای تلقی شده و طبعا متمایز از مباحث رودخانه‌ای می‌باشد. در این راهنما علاوه بر نگرش ویژه به جایگاه سدهای رسوبگیر در کاهش رسوب ورودی به مخازن سدها، به نقش این‌گونه سازه‌ها در تعدیل شیب رودخانه‌ها، تثبیت بستر و کناره‌ها و همچنین تنظیم تغذیه رسوبی بازه‌های پایین‌دست و تسکین سیلاب با هدف برقراری توازن مورفولوژیک و ایجاد تعادل زیست‌محیطی و حفظ اکوسیستم رودخانه‌ای پرداخته شده است. بر این اساس استفاده از این نشریه برای دست‌اندرکاران مطالعات و اجرای طرح‌های مدیریت رسوب و بهره‌برداری از مخازن سدها، کارشناسان طراح در عرصه سازه‌های هیدرولیکی و شبکه‌های آبیاری زهکشی و همچنین متولیان برداشت مصالح رودخانه‌ای و طرح‌های مهندسی رودخانه و ساماندهی و کنترل سیلاب و مهندسی محیط‌زیست، مفید می‌باشد.

1- Mud Flow
2- Debris Avalanche and Land Slide
3- Avalanche
4- Check Dams
5- Gully Erosion

فصل ۱

اطلاعات پایه‌ای موردنیاز در مطالعات و طراحی سدهای رسوبگیر

سدهای رسوبگیر به دلیل قرار گرفتن در مسیر جریان رودخانه‌ای، از عوامل مختلف هیدرولیکی، هیدرولوژیکی، فرایند انتقال رسوب، کمیت سیلاب‌ها و ویژگی‌های حوضه‌ای و زیست‌محیطی و عوامل ریخت‌شناسی تاثیرپذیری مستقیم دارند. از این‌رو مطالعات، طراحی و بهره‌برداری این‌گونه سازه‌ها، مستلزم تدارک داده‌های آماری و انجام اندازه‌گیری‌های میدانی و تهیه اطلاعات پایه‌ای مرتبط با سامانه رودخانه‌ای و حوضه آبریز آن و همچنین بررسی اطلاعات مرتبط با نیازهای توسعه‌ای منطقه (توسعه زیرساخت‌ها، طرح‌های عمرانی و صنعتی که مستلزم تدارک مصالح رودخانه‌ای و ملاحظات ساماندهی و ایمن‌سازی است)، می‌باشد[۴]. امروزه با توسعه مبانی نظری و ضرورت استفاده از روش‌های علمی در طراحی و تعیین مشخصه‌های هندسی و تحقق عملکرد مطلوب سدهای رسوبگیر، استفاده از فن‌آوری‌های نوین در انجام سنجش‌های میدانی و ثبت و پردازش داده‌های آماری به ویژه رژیم آبدهی و رسوبدهی، تغییرات دانه‌بندی، ویژگی سیلاب‌ها و نظایر آن از اهمیت و جایگاه ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. [۴۰]

در این فصل با عنایت به اهمیت داده‌های پایه‌ای در تحلیل عملکرد و مطالعات و طراحی سدهای رسوبگیر، به جنبه‌های مختلف جمع‌آوری و پردازش آمار و اطلاعات مورد نیاز پرداخته می‌شود.

۱-۱- هیدرولوژی (داده‌های آماری آبدهی، سیلاب، هیدروگراف جریان)

در تعیین مبانی طراحی و عملکرد سدهای رسوبگیر، داده‌های هیدرولوژی از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشند. تعیین ارتفاع سد، ابعاد سرریز، ظرفیت مخزن، ساختار سازه‌ای، مدل‌سازی هیدرولیکی و فیزیکی و ملاحظات ساخت و اجرا، مستلزم بهره‌گیری از داده‌های هیدرولوژیکی نظیر بده جریان، سیلاب‌ها، نمودار آبدهی روزانه، منحنی‌دوام جریان و به طورکلی، روند تغییرات زمانی و مکانی آبدهی می‌باشد که ذیلا به جنبه‌های مختلف آن اشاره شده است:

- در سری داده‌های هیدرولوژیکی به ویژه نقش سیلاب‌ها، به دلیل انتقال بخش عمده‌ای از بار رسوبی به مخازن سدها و همچنین ملاحظات طراحی، درخور توجه بیش‌تری است. در شرایط کلیمائی خشک و نیمه خشک کشور، تجارب کارشناسی حاصله موید آن است که بیش از ۷۰٪ بار رسوبی رودخانه‌ها طی چند فقره سیلاب در فصل پرآبی انتقال می‌یابد. [۲۴]
- وقوع سیلاب‌های استثنایی[1] و طغیان شدید رودخانه‌ها در دوره‌های ترسالی، زمینه‌ساز انتقال حجم عظیمی از مواد رسوبی به مخازن و تاسیسات مختلف آبی موجود در مسیر رودخانه‌هاست. چنین واقعیتی ضمن انعکاس اهمیت ثبت داده‌های پایه هیدرولوژی، ضرورت بررسی و عملکرد نظام آبدهی و نقش سیلاب‌ها را در طراحی و بهره‌برداری از سدهای رسوبگیر آشکار می‌نماید.

1- Extreme Events

- وجه مهم دیگر استفاده از داده‌های آماری، ملاحظات ایمنی و پایداری سدهای رسوبگیر در مواجه با سیلاب‌های دوره برگشتی می‌باشد. در این خصوص به تبعیت از طیف گسترده اهداف مهار رسوب و شرایط رودخانه‌ای، تعیین مقادیر سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف توسط متخصصین توصیه شده است. [۴۱، ۴۲]
- علاوه بر مقادیر سیلاب حداکثر لحظه‌ای در سدهای رسوبگیر، تعیین حجم جریان و آورد رسوبی هیدروگراف نظیر سیلاب نیز دارای اهمیت زیادی است. از این‌رو در سال‌های اخیر، نگرش جدیدی برای بررسی تاثیرپذیری سدهای رسوبگیر از آورد رسوبی و حجم هیدروگراف سیلاب‌ها مطرح گردیده است. [۱۰۰]
- در موارد عدیده‌ای، محدوده مطالعاتی فاقد داده‌های آماری پایه بوده و برای تدارک اطلاعات مورد نیاز، استفاده از شیوه‌های مدل‌سازی هیدرولوژیکی و یا بهره‌گیری از روش منطقه‌ای توصیه شده است. [۴۲ و ۴۳]

۱-۲- رسوب (داده‌های آماری غلظت، باربستر، دانه‌بندی مواد بستر و معلق)

در فرایند طراحی و بهره‌برداری از سدهای رسوبگیر، به‌دلیل تاثیر مستقیم آن بر مشخصه‌های هندسی و ظرفیت مخزن سد، آگاهی از میزان رسوب حمل شده ضروری است. بدین منظور بایستی نسبت به تدارک داده‌های موردنیاز، اقدام لازم صورت پذیرد.

۱-۲-۱- داده‌های آماری غلظت بار معلق

نظر به این‌که هدف اصلی سدهای رسوبگیر تله‌اندازی بار بستر می‌باشد، در تعیین ساختار این سدها لازم است به گونه‌ای عمل شود که بار معلق حمل شده توسط سیلاب‌ها، با تداوم جریان‌های خروجی از طریق مجاری موجود در بدنه سازه به پایین‌دست منتقل گردیده و از این طریق ظرفیت لازم برای تله‌اندازی بار بستر مهیا گردد. [۶۰]

در تعیین داده‌های آماری غلظت، دو روش متداول؛ الف- روش مکانیکی یا روش دستی و ب- استفاده از ابزارهای نوین را می‌توان عنوان نمود.

در جدول (۱-۱) مواردی از روش مکانیکی و روش‌های نوین اندازه‌گیری غلظت بارمعلق (مطابق الگوی سدالپ[1]) ارائه شده است. از جمله قابلیت‌های ممتاز ابزارهای نوین، امکان ثبت مستمر و هم‌زمان و همسان داده‌ها و پارامترهای رسوب برای ایستگاه‌های مختلف موجود در تمامی شبکه رودخانه‌ای به خصوص در شرایط وقوع جریان‌های سیلابی است که تحقق این مهم در روش‌های مکانیکی به دلیل محدودیت زمانی و تجهیزاتی و تدارکاتی و عملیاتی، دور از انتظار

1- Sedalp (sediment monitoring of Alpine countries)

می‌باشد. به‌علاوه، وقوع پدیده‌هایی نظیر زمین لغزه‌ها و کوه‌ریزش‌ها[1] و جریان‌های‌گلی[2] که در پی تداوم بارش‌ها و تکرر سیلاب‌ها حادث می‌شود، شکل‌گیری جریان‌های با غلظت بالا[3] و انتقال حجم عظیمی از بار رسوبی به مخازن سدها را به دنبال دارد که پایش و سنجش و مدیریت چنین پدیده‌هایی با روش‌های مکانیکی میسر نبوده و مستلزم استفاده از تجهیزات نوین داده‌سنجی نظیر آنچه که در جدول (۱-۱) مندرج است، می‌باشد. برای توضیحات بیش‌تر در خصوص ادوات و نحوه تعیین غلظت مواد معلق، مراجعه به منابع هیدرولوژی ازجمله مراجع [۶]، [۴۹] و [۵۸] توصیه می‌شود.

جدول ۱-۱- روش‌های نوین اندازه‌گیری بار معلق مطابق الگوی سدالپ در شبکه رودخانه‌ای [۴۹]

	روش‌های مکانیکی		روش‌های اتوماتیک (روش‌های نوین)					
پارامتر بار معلق	بطری نمونه‌برداری	نمونه‌گیری با پمپ	روش بازتابش نور مرئی	روش امواج صوتی	بازتابش ستون لیزری	بازتابش بخشیدگی لیزری	انعکاس اشعه رادیواکتیو (ایکس یا گاما)	ثبت تشعشعات جریان آب با دورکاری (ماهواره‌ای)
دبی وزنی بار معلق (kg/s)	نسبتا مناسب	بسیار مناسب	بسیار مناسب	مناسب	نسبتا مناسب	نسبتا مناسب	نسبتا مناسب	نسبتا مناسب
تجمعی بار معلق در بازه زمانی kg(ton)	نسبتا مناسب	بسیار مناسب	بسیار مناسب	مناسب	نسبتا مناسب	نسبتا مناسب	نسبتا مناسب	نسبتا مناسب
توزیع دانه‌بندی بار معلق	مناسب	مناسب	فاقد کاربرد	بسیار مناسب	فاقد کاربرد	فاقد کاربرد	مناسب	فاقد کاربرد
تغییرات حجمی بار معلق (m^3)	نسبتا مناسب	مناسب	بسیار مناسب	مناسب	نسبتا مناسب	نسبتا مناسب	نسبتا مناسب	نسبتا مناسب
تغییرات زمانی غلظت بار معلق	نسبتا مناسب	نسبتا مناسب	بسیار مناسب	مناسب	نسبتا مناسب	نسبتا مناسب	نسبتا مناسب	مناسب
تنش برشی آستانه حرکت بار معلق kg/m^2	فاقد کاربرد	فاقد کاربرد	بسیار مناسب	مناسب	نسبتا مناسب	نسبتا مناسب	فاقد کاربرد	فاقد کاربرد
تغییرات عرضی و عمقی بار معلق	نسبتا مناسب	فاقد کاربرد	فاقد کاربرد	مناسب	فاقد کاربرد	فاقد کاربرد	فاقد کاربرد	مناسب
معادل انگلیسی	Bottle sampling	Pump sampling	Optical	Acoustic	Focused beam reflectance	Laser diffraction	Nuclear	Remote spectral reflectance

1- Landslide and Avalanche
2- Debris Flow
3- Hypercocentrated Flow

۱-۲-۲- داده‌های آماری بار بستر

نقش مهم بار بستر در بررسی رفتار و عملکرد سدهای رسوبگیر، تاسیسات تنظیم و انحراف جریان، سدهای مخزنی و سازه‌های انتقال آب، ضرورت توجه به اندازه‌گیری و تعیین کمیت بار بستر را الزام‌آور می‌نماید. در تعیین داده‌های آماری بار بستر، مشابه بار معلق دو روش متداول را می‌توان عنوان نمود:

- تعیین باربستر با استفاده از ابزارهای مکانیکی

- تعیین باربستر با استفاده از فن‌آوری‌های نوین

در جدول (۱-۲) نمونه‌ای از شیوه‌های نوین اندازه‌گیری بار بستر به همراه روش‌های مکانیکی موجود، مطابق الگوی سدالپ درج شده است [۴۹]. مطابق جدول (۱-۲) استفاده از ابزارهای الکترونیکی، اندازه‌گیری مستمر بار بستر و تدارک داده‌های پیوسته را امکان‌پذیر نموده و مشکلات و محدودیت‌های روش‌های دستی موجود را به طور موثر مرتفع ساخته است. علاوه بر مراجع [۴۹ ، ۵۳ و ۵۸] روش اندازه‌گیری بار بستر و تجهیزات اندازه‌گیری، در نشریات طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور و ضوابط سازمان برنامه و بودجه کشور قابل دسترسی می‌باشد. [۶، ۷ و ۸]

جدول ۱-۲- روش‌های نوین اندازه‌گیری بار بستر و شیوه‌های موجود مطابق الگوی سدالپ در شبکه رودخانه‌ای [۴۹]

	روش‌های مکانیکی			روش‌های اتوماتیک (روش‌های نوین)			
پارامتر بار بستر	**نمونه‌بردار زنبیلی معمولی**	**تله‌انداز بونته (برای رودخانه‌های کوچک)**	**تله‌انداز شیاری**	**حوضچه‌های ترسیب مجهز به سیستم پایش اتوماتیک**	**دستگاه ژئوفن**	**سنسور لوله‌ای امواج صوتی تصادم دانه‌ای**	**ردیاب‌ها (رنگی، رادیواکتیو ...)**
دبی بار بستر در واحد عرض kg/m-s	مناسب	بسیار مناسب	بسیار مناسب	مناسب	نسبتا مناسب	نسبتا مناسب	فاقد کاربرد
دبی بار بستر در عرض رودخانه kg/s	فاقد کاربرد	بسیار مناسب	نسبتا مناسب	مناسب	نسبتا مناسب	نسبتا مناسب	نسبتا مناسب
تجمعی بار بستر در بازه زمانی kg	فاقد کاربرد	بسیار مناسب	نسبتا مناسب	بسیار مناسب	نسبتا مناسب	نسبتا مناسب	نسبتا مناسب
توزیع دانه‌بندی بار بستر	نسبتا مناسب	نسبتا مناسب	بسیار مناسب	بسیار مناسب	فاقد کاربرد	فاقد کاربرد	نسبتا مناسب
تغییرات مکانی بار بستر	فاقد کاربرد	بسیار مناسب	فاقد کاربرد	نسبتا مناسب	بسیار مناسب	نسبتا مناسب	مناسب
تنش برشی آستانه حرکت بار بستر kg/m^2	مناسب	مناسب	بسیار مناسب	بسیار مناسب	بسیار مناسب	بسیار مناسب	بسیار مناسب
سرعت جریان بار بستر m/s	فاقد کاربرد	فاقد کاربرد	فاقد کاربرد	بسیار مناسب	فاقد کاربرد	فاقد کاربرد	بسیار مناسب
	Basket sampler	Bunte traps (for wadable sterams)	Slot trap	Monitored Retention Basin	Geophones	Acoustic pipe sensor	Tracers

۱-۲-۳- دانه‌بندی مواد بستر و معلق

اندازه دانه‌های موجود در بستر، تاثیر مستقیم بر نرخ انتقال رسوب رودخانه‌ها اعمال می‌کند. با افزایش قطر دانه‌ها شدت انتقال رو به کاهش می‌گذارد. به عبارتی برای یک دبی مشخص، نرخ حمل مواد رسوبی ریزدانه به مراتب بیش‌تر از دانه‌های درشت می‌باشد. اندازه مواد رسوبی به تبعیت از شیب رودخانه و شرایط هیدرولیکی تغییر می‌نماید. در نواحی کوهستانی که رودخانه دارای شیب زیادی است، قطعات درشت سنگ و لاشه سنگ به همراه مصالح خرد شده شن و ماسه منتقل می‌شود. با کاهش شیب رودخانه در مناطق کوه‌پایه‌ای و آستانه ورود به دشت، قطر دانه‌های رسوبی نیز کاهش می‌یابد. در نواحی جلگه‌ای، اندازه دانه‌های رسوب‌کاهش محسوسی یافته و زمینه برای تشکیل تل‌ماسه‌ها[1] فراهم می‌گردد. مواد رسوبی کناره‌ها نیز در اثر تماس مستقیم با جریان آب و یا ریزش توده‌ای ناشی از پنجه‌شویی[2] دستخوش فرسایش گردیده و همراه جریان آب حمل می‌شود. به‌علاوه در بسیاری از موارد، امکان اندازه‌گیری مستقیم بار بستر فراهم نبوده و از این رو، لازم است با بهره‌گیری از معادلات انتقال نرخ بار بستر برای شرایط مختلف، بده جریان محاسبه و تعیین گردد. بدین منظور نمونه‌برداری و انجام تجزیه آزمایشگاهی برای تعیین مشخصات دانه‌بندی مصالح بستر ضروری است [۵۴]. (در خصوص جزییات تعیین دانه‌بندی رسوبات بستر و همچنین بار معلق مراجعه به ضابطه شماره ۲۶۹ سازمان برنامه و بودجه کشور توصیه می‌شود)

۱-۳- شبکه هیدرومتری و رسوب‌سنجی و مشخصات فیزیوگرافی

- ایستگاه‌های آب‌سنجی و رسوب‌سنجی موجود

بررسی موقعیت و وضعیت ایستگاه‌های آب‌سنجی و رسوب‌سنجی موجود در محدوده مطالعاتی برای تعیین ویژگی‌های هیدرولوژیکی و رژیم رسوبی رودخانه ضروری است. در ایستگاه‌های آب‌سنجی (هیدرومتری)، اندازه‌گیری بده جریان و همچنین نمونه‌برداری مواد معلق متداول می‌باشد. در مواردی نیز از ایستگاه‌های رسوب‌سنجی برای اندازه‌گیری بار بستر، بار معلق، نمونه‌برداری از مواد بستر و همچنین تعیین مشخصات دانه‌بندی بار معلق و بار بستر استفاده می‌شود [۵۷]. بررسی در مورد وجود این‌گونه داده‌ها و کیفیت آن‌ها و عملکرد ایستگاه‌های موجود، بخشی از ارزیابی وضعیت داده‌سنجی مورد نیاز برای انجام مطالعات و تعیین مبانی طراحی سدهای رسوبگیر تلقی می‌شود.

1- Dunes
2- Undercutting

- پیشنهاد احداث ایستگاه‌های اندازه‌گیری

در صورت عدم وجود ایستگاه‌های اندازه‌گیری در محدوده مطالعاتی، لازم است با توجه به اهداف طرح، پیشنهاد احداث ایستگاه‌های آب‌سنجی و رسوب‌سنجی جدید در رودخانه اصلی و بالادست سدهای رسوبگیر انجام گیرد. به‌علاوه تجهیز و تکمیل ایستگاه‌های مبنا در راستای تحقق اهداف مورد نظر ضروری می‌باشد.

- خصوصیات فیزیوگرافیک حوضه‌های آبریز

خصوصیات فیزیوگرافیک حوضه‌های آبریز نظیر مساحت، شیب، تراکم شبکه‌آبراهه‌ها، شکل حوضه و نیمرخ طولی رودخانه و ساختار زمین‌شناسی نیز نقش موثری در کمیت رسوب حمل شده توسط رودخانه‌ها به عهده دارند. در حوضه‌های کوهستانی، وقوع پدیده‌های زمین‌لغزش، کوه‌ریزش و رسوبات واریزه‌ای، از جمله منابع مهم تولید بار رسوبی رودخانه‌ها و تهدید جدی برای مخازن سدها بوده و نرخ فرسایش خاک نیز شدیدتر می‌باشد[۵۵، ۵۸]. به‌عنوان یک قاعده کلی، عموما مواد رسوبی از اراضی بالادست حوضه آبریز شسته شده و در بازه‌های پایین‌دست از جمله مخازن سدها، تاسیسات آبی و سیلابدشت ترسیب می‌نماید. از این‌رو در مطالعات سدهای رسوبگیر، لازم است گزارشات مرتبط با ویژگی‌های فیزیوگرافی به عنوان بخشی از اطلاعات پایه‌ای مورد نیاز، جمع‌آوری و مورد بررسی قرارگیرد.

۱-۴- داده‌های زیست‌محیطی

احداث سد رسوبگیر و تله‌اندازی بار رسوبی، شرایط زیست‌محیطی حاکم بر رودخانه را تحت تاثیر خود قرار می‌دهد. از این‌رو پایش و سنجش شاخص‌های کیفیتی و نحوه تاثیرپذیری آن‌ها از عملکرد سدها درخور اهمیت است.

- با تله‌اندازی بار بستر و کاهش تغذیه رسوبی رودخانه، امکان وقوع فرسایش و کف‌کنی بستر در بازه‌های پایین‌دست محتمل می‌باشد. این فرایند شرایط محیط زیست رودخانه‌ای را تحت تاثیر خود قرار می‌دهد.
- تخلیه دوره‌ای نهشته‌های رسوبی و عمل‌آوری و استفاده از رسوبات برای اهداف مختلف صنعتی و عمرانی، احتمال افزایش غلظت مواد معلق و بروز پیامدهای کیفیتی و ناهنجاری‌های زیست‌محیطی را در پی‌دارد [۹۶]. از این‌رو با توجه به تاثیرپذیری مستقیم اکوسیستم رودخانه‌ای و گونه‌های آبزی از تغییرات کیفیتی و همچنین امکان آلودگی مواد رسوبی انباشته شده در مخزن سد رسوبگیر و ملاحظات کاربردهای مختلف شرب و صنعت و کشاورزی، لازم است نسبت به پایش و سنجش پارامترهای کیفی زیست‌محیطی در بالادست و پایین‌دست سد رسوبگیر، اهتمام لازم انجام گیرد.
- در سدهای رسوبگیر، جریان آب به همراه مواد معلق از مجاری موجود در بدنه سازه به طور مستمر به پایین‌دست هدایت شده و فقط رسوبات درشت‌دانه تله‌اندازی می‌گردد. از این‌رو سدهای رسوبگیر باز، سازگاری بهتری را با معیارهای زیست‌محیطی و اکوسیستم رودخانه‌ای از خود نشان می‌دهند و رودخانه از نظر رژیم جریان، تقریبا مشابه شرایط طبیعی است.

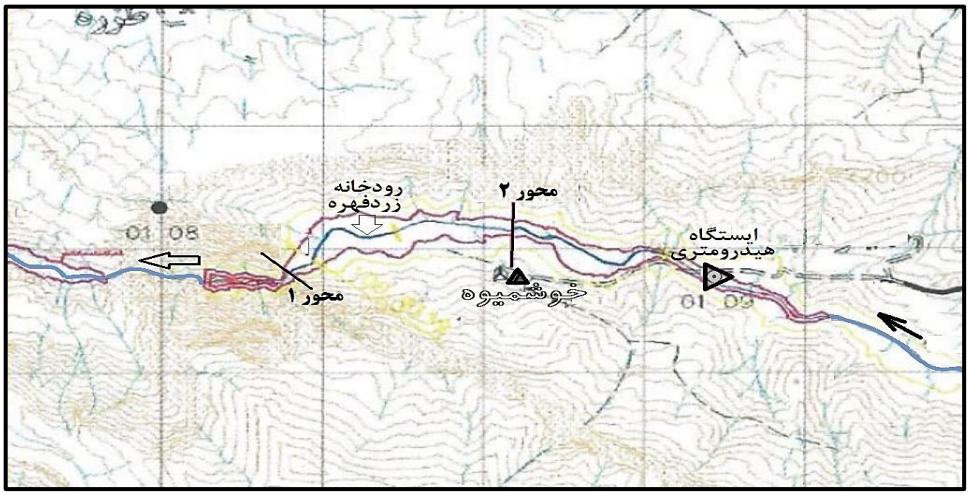
۱-۵- بازدید و بررسی‌های میدانی

در مطالعات سدهای رسوبگیر نظیر بسیاری از پروژه‌های عمرانی، انجام بررسی‌های ذیل ضروری می‌باشد. دو گام متداول در بازدید و بررسی‌های میدانی عبارتند از:

۱-۵-۱- بررسی اولیه موقعیت ساختگاه‌ها و مورفولوژی رودخانه

سدهای رسوبگیر عموما با هدف تله‌اندازی بار رسوبی در بالادست مخازن سدها و بر روی رودخانه اصلی و شاخه‌های پررسوب، به صورت منفرد یا زنجیره‌ای احداث می‌شوند. از این‌رو انجام بررسی‌های میدانی و شناسایی موقعیت ساختگاه‌های مناسب، بخشی از فرایند مطالعات میدانی تلقی می‌شود.

رودخانه‌های منتهی به مخازن سدها عموما به دلیل مورفولوژی کوهستانی و مسیر دره‌ای و شیب طولی زیاد، از ظرفیت حمل رسوب بالایی برخوردار بوده و تهدید جدی برای تداوم بهره‌برداری از مخازن سدها تلقی می‌شوند. از این‌رو در چنین بازه‌هایی، شناسایی و احداث سدهای رسوبگیر از جمله راهکار عملی برای مقابله با تبعات منفی رسوب می‌باشد. به عنوان مثال در نقشه شکل (۱-۱)، جانمایی اولیه سدهای رسوبگیر بر روی نقشه ۱/۵۰۰۰۰ نشان داده شده است. مطابق نقشه شکل (۱-۱) محورهای ۱ و ۲ برای احداث سد رسوبگیر با توجه به وجود مقطع تنگ شده در محل سد و افزایش عرض در محدوده مخزن معرفی شده‌اند.



شکل ۱-۱- نمونه‌ای از جانمایی اولیه موقعیت سدهای رسوبگیر بر روی نقشه توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ رودخانه زردفهره بالادست مخزن سدرودبار (بازدید میدانی تیرماه ۱۳۹۶)

۱-۵-۲- نقشه‌برداری و تهیه نقشه توپوگرافی کدی مسیر

در مطالعات سدهای رسوبگیر، نقشه‌برداری و تهیه نقشه توپوگرافی کدی مسیر، به‌دلایل زیر دارای اهمیت زیادی می‌باشد:

- مشخصات هیدرولیکی جریان، بخشی از مبانی طراحی سدها تلقی می‌شود و تدارک چنین اطلاعاتی مستلزم معرفی ابعاد هندسی محدوده مطالعاتی توسط نقشه کدی به بسته نرم‌افزاری و مدل‌سازی هیدرولیک جریان می‌باشد.
- بررسی فرایند انتقال رسوب و تعیین ظرفیت مخزن سد رسوبگیر و شبیه‌سازی پروفیل رسوبگذاری برای سناریوهای مختلف، مستلزم اجرای مدل هیدرولیک رسوب بوده و نیازمند نقشه کدی است.
- بررسی خسارت مخزن و تاثیرپذیری اراضی و مستحدثات، مستلزم اجرای مدل هیدرولیکی است.
- ملزومات طراحی و ساخت و اجرا، نیازمند نقشه پایه کدی مسیر می‌باشد.

جزییات خدمات نقشه‌برداری مورد نیاز تهیه نقشه توپوگرافی کدی، در ضابطه شماره ۳۰۷ سازمان برنامه و بودجه کشور با عنوان «راهنمای پهنه‌بندی سیل و تعیین حد بستر و حریم رودخانه» ارائه شده است.

۱-۶- گزارشات و مستندات، نقشه‌ها، تصاویر ماهواره‌ای، عکس‌های هوایی

گزارشات و مستندات مرتبط با پروژه‌های انجام شده در محدوده مطالعاتی نظیر اقدامات ساماندهی، برداشت مصالح، احداث تاسیسات ذخیره و تنظیم جریان، طرح‌های کنترل سیلاب و رسوب، هیدروگرافی مخازن و نظایر آن، منبع اطلاعاتی ارزنده‌ای برای ارزیابی مقدماتی خصوصیات رودخانه‌ها از دیدگاه مطالعات و طراحی سدهای رسوبگیر قلمداد می‌شوند. نقشه‌های زمین‌شناسی، تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی، گزارش‌های موجود هواشناسی، هیدرولوژی، کاربری اراضی، ریخت‌شناسی و گزارشات هیدروگرافی مخازن [۹] و نظایر آن، نیز از جمله منابع مهم و بخشی از ملزومات مبانی طراحی سدهای رسوبگیر می‌باشند.

۱-۷- برآورد نیاز توسعه‌ای منطقه‌ای در یک افق مشخص

از جمله ویژگی‌های شاخص سدهای رسوبگیر، علاوه بر ملاحظات مهار رسوب ورودی به مخازن سدها، مدیریت و امکان استحصال و بهره‌برداری از مصالح شن و ماسه و تامین نیازهای متنوع صنعتی و عمرانی بوده و از این‌رو، سدهای رسوبگیر به عنوان منابع ارزنده مصالح رودخانه‌ای، امروزه در طرح‌های توسعه منطقه‌ای از جایگاه مهمی برخوردار می‌باشند. با عنایت به چنین واقعیتی در بررسی اطلاعات پایه‌ای، توجه به طرح‌های توسعه منطقه‌ای ضروری بوده و راهکارهای برآورد نیاز به استفاده از سدهای رسوبگیر و شیوه‌های بهره‌برداری از آن‌ها را می‌توان به صورت زیر عنوان نمود:

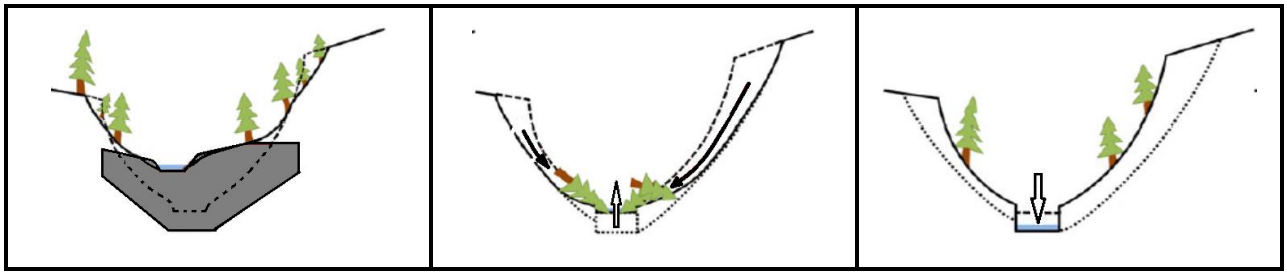
- بررسی اهداف و ابعاد طرح‌های توسعه منطقه‌ای و راهکارهای استفاده از سدهای رسوبگیر با هدف مهار رسوب، تعدیل سیلاب‌ها و برقراری توازن مورفولوژیک و ملاحظات زیست‌محیطی و ایمن‌سازی رودخانه‌ها
- انجام بازدیدهای میدانی و شناسایی و ارزیابی بازه‌ها از دیدگاه مدیریت و بهره‌برداری از منابع رسوب رودخانه‌ها

- انجام بررسی‌های محلی و تنظیم پرسشنامه با هدف ارزیابی پتانسیل‌های موجود و امکان مشارکت بخش خصوصی در احداث و بهره‌برداری از سدهای رسوبگیر با هدف تامین مصالح موردنیاز طرح‌های عمرانی، صنعتی و کشاورزی

فصل ۲

انواع سدهای رسوبگیر و جایگاه آن‌ها در مدیریت رسوب مخازن

سدهای رسوبگیر را می‌توان از جمله سازه‌های مهندسی در مهار فرسایش خاک حوضه‌ها و رسوب رودخانه‌ها قلمداد نمود که هم‌زمان با شکوفایی اقتصادی در اوایل قرن نوزدهم، اولین بار استفاده فراگیر از آن‌ها در شبکه رودخانه‌ای با هدف حفاظت تاسیسات زیربنایی (نظیر جاده‌ها، پل‌ها، سردهنه‌ها، سازه‌های تنظیم و انتقال آب، شبکه راه‌آهن، کشتیرانی، بازه‌های شهری، کانون‌های صنعتی و غیره) در مقابل خطرات حاصل از فرسایش و انتقال انبوه مواد رسوبی از مناطق کوهستانی به نواحی کوه‌پایه‌ای و جلگه‌ای توسط جریان‌های سیلابی در کشورهای حوضه آلپ به ویژه فرانسه مد نظر قرارگرفت[۶۰]. در این مرحله، با استفاده فراگیر از سدهای رسوبگیرصلب در مسیرهای کوهستانی[1] و سرشاخه‌ها مطابق آنچه که در شکل (۲-۱) نشان داده شده است، امکان مهار زمین‌لغزه‌ها و کف‌کنی و تثبیت کناره‌ها و احیای اکوسیستم و تعدیل شیب و کاهش انتقال بار رسوبی سیلاب‌ها به بازه‌های پایین‌دست محقق گردید.



الف- تداوم کف‌کنی ممتد و افت تراز بستر و پدیدار شدن پتانسیل زمین لغزه توده‌ای

ب- لغزش توده‌ای کناره‌ها و تخریب اکوسیستم ناشی از پدیده کف‌کنی و انباشته شدن رسوبات در بستر

ج- احداث سد رسوبگیر، تثبیت بستر و کناره‌ها و تعدیل شیب و احیای مجدد اکوسیستم

شکل ۲-۱- نمونه‌ای از سدهای رسوبگیر صلب متعلق به قرن نوزدهم با هدف مهار زمین‌لغزه و پایدار سازی کناره‌ها، تثبیت بستر و تعدیل شیب و کاهش تغذیه رسوبی پایین‌دست [۶۰]

مطابق بررسی‌های پیتون و همکاران[2] اولین بار در سال ۱۸۵۰ مبانی نظری در خصوص تعامل سدهای رسوبگیر و فرایند فرسایش و انتقال رسوب توسط گراس و همکاران[3] ارائه شد. مهندسین فرانسوی همچنین در بین سال‌های ۱۸۴۸ لغایت ۱۸۷۴ ضمن ارائه نظریه پتانسیل انتقال و نقش آن در تغییر ساختار هندسی و ظرفیت حمل رودخانه‌ها، انواع سدهای رسوبگیر صلب را در سه مقوله مشخص گروه‌بندی نمودند: [۶۰]

- تله‌اندازی رسوب[4]
- پایدارسازی کناره‌ها در مقابل لغزش توده‌ای[5]
- تعدیل تغذیه رسوبی بازه‌های پایین‌دست[6]

1- Torrent Control Works
2- G. Piton et al., 2016
3- S. Gras and et al., 1850
4- Retention Check Dams
5- Hillslope Consolidation (stabilization) Dams (landslide treatments)
6- Sediment Transport Regulation Dams

در سال ۱۸۹۱ ادموند تیری[1] تحلیل نظری در خصوص جنبه‌های پایداری و طراحی هیدرولیکی سدهای رسوبگیر را جایگزین روش‌های سنتی و تجربی موجود مطرح نمود. به‌علاوه استفاده از بتن مسلح در سدها و احداث سدهای رسوبگیر بلند با استفاده از تکنیک سازه‌های بتنی پایه‌دار یا طره‌ای[2] از سال ۱۹۴۰ متداول گردید. [۶۱]

دهه ۱۹۵۰ را می‌توان آغاز تحول بنیادین در شیوه مهار رسوب رودخانه‌ها توسط سدهای رسوبگیر قلمداد نمود. در این دوره با معرفی اولین نسل از سدهای رسوبگیر جریانی یا سدهای باز[3] (سازه‌های دارای مجاری و درزهای هدایت آب و رسوب)، امکان جایگزینی و مقابله با تبعات ناشی از روش سنتی احداث سدهای صلب[4] که در آن تله‌اندازی توام بار بستر و معلق مد نظر می‌باشد، مهیا گردید. سدهای باز با برقراری جریان مستمر، شرایط انتقال بار معلق و بخشی از بار بستر را مطابق اهداف مهندسی میسر نموده و از سازگاری بهتری در تحقق توازن مورفولوژیک و تعادل زیست‌محیطی و حفظ هویت طبیعی رودخانه‌ها و ساختار هندسی آن‌ها برخوردار می‌باشند. امروزه استفاده از سدهای باز، شیوه غالب در مهار رسوب رودخانه‌ها در کشورهای مختلف جهان بوده و در این راهنما نیز عنوان سد رسوبگیر به سدهای رسوبگیر جریانی یا باز اختصاص یافته است. [۶۱]

در یک نگرش کلی کاربرد سدهای رسوبگیر را می‌توان در راستای تحقق پنج هدف عمده زیر خلاصه نمود [۶۱، ۶۴]:

۱- تثبیت بستر و کناره‌ها یا سدهای اصلاحی- (سد صلب و سد باز)

۲- مهار رسوبات حاصل از زمین لغزه - (سد صلب)

۳- تعدیل شیب بستر رودخانه - (سد صلب و سد باز)

۴- تله‌اندازی رسوب - (سد باز)

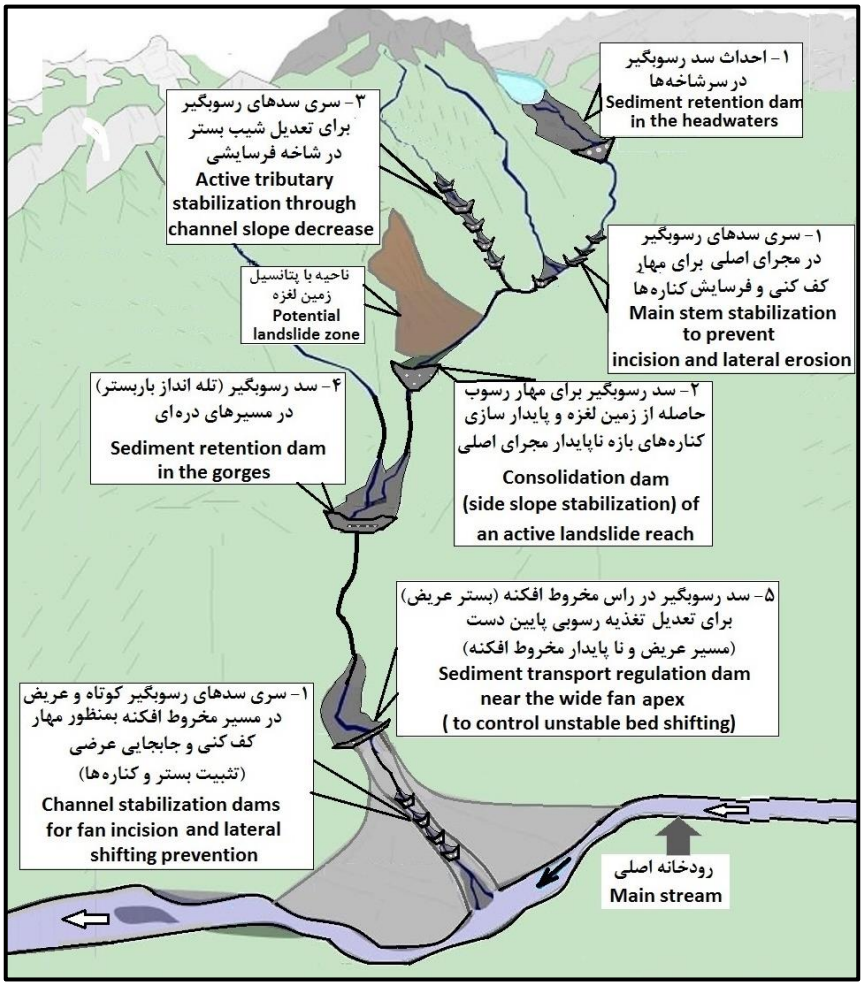
۵- تنظیم تغذیه رسوبی پایین‌دست- (سد باز)

در شکل (۲-۲) چگونگی استفاده از سدهای رسوبگیر برای اهداف پنج‌گانه در بازه‌های مختلف رودخانه (سرشاخه‌ها، آبراهه‌های پرشیب فرسایشی، نواحی مستعد وقوع زمین‌لغزش، مسیرهای دره‌ای با پتانسیل وقوع سیلاب و انتقال رسوب زیاد، بازه‌های عریض و ناپایدار در مخروط افکنه) معرفی شده است.

علاوه بر موارد پنج‌گانه فوق، برای کنترل رسوبات باطله و آلوده، یا پسماند معدنی از سدهای پسماند[5] استفاده می‌شود که مستلزم ملاحظات زیست‌محیطی و عملکرد سازه‌ای خاصی بوده و در این خصوص، مراجعه به ضابطه شماره ۶۸۲ سازمان برنامه و بودجه کشور با عنوان «راهنمای طراحی، ساخت و بهره‌برداری از سدهای پسماند» توصیه می‌شود. [۳۳]

1- Edmond Thiery, 1891
2- Cantilever Dams
3- Open Check Dams
4- Solid Body Dams
5- Tailing Dams

ذیلا جزییات بیش‌تری در خصوص انواع سدهای رسوبگیر و جایگاه آن‌ها در مدیریت رسوب مخازن و عملکرد رودخانه‌ها ارائه شده است. شکل (۲-۲) انواع سدهای رسوبگیر مورد استفاده در مهار رسوب رودخانه‌ها را نشان می‌دهد.



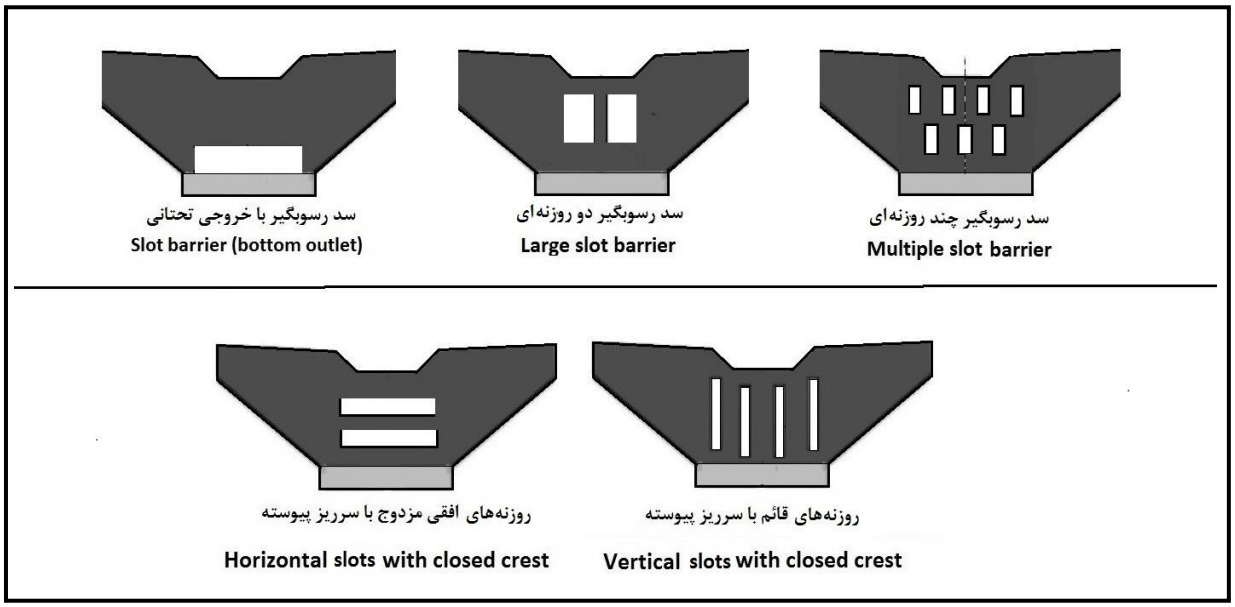
شکل ۲-۲- انواع سدهای رسوبگیر مورد استفاده در مهار رسوب رودخانه‌ها (سرشاخه‌ها، بازه‌های میانی و خروجی مخروط افکنه) [۶۴]

۲-۱- مروری بر انواع سدهای رسوبگیر و مبانی طراحی آن‌ها

سدهای رسوبگیر از کاربردهای مختلفی در عرصه مهندسی رودخانه برخوردار بوده و استفاده از آن‌ها، علاوه بر تله‌اندازی بار رسوبی، برای اقداماتی نظیر تعدیل شیب، تثبیت بستر و کناره‌ها، تنظیم جریان سیلاب‌ها، مدیریت قطعات الوار و اشجار[1]، تنظیم تغذیه رسوبی بازه‌های پایین‌دست، از جمله روش‌های متداول تلقی می‌شود [۶۳، ۶۴]. مطابق نظر پیتون و همکاران[2]، به دلیل تغییرپذیری ویژگی‌های رودخانه‌ای و صور مختلف فرسایش و انتقال بار رسوبی، ساختار

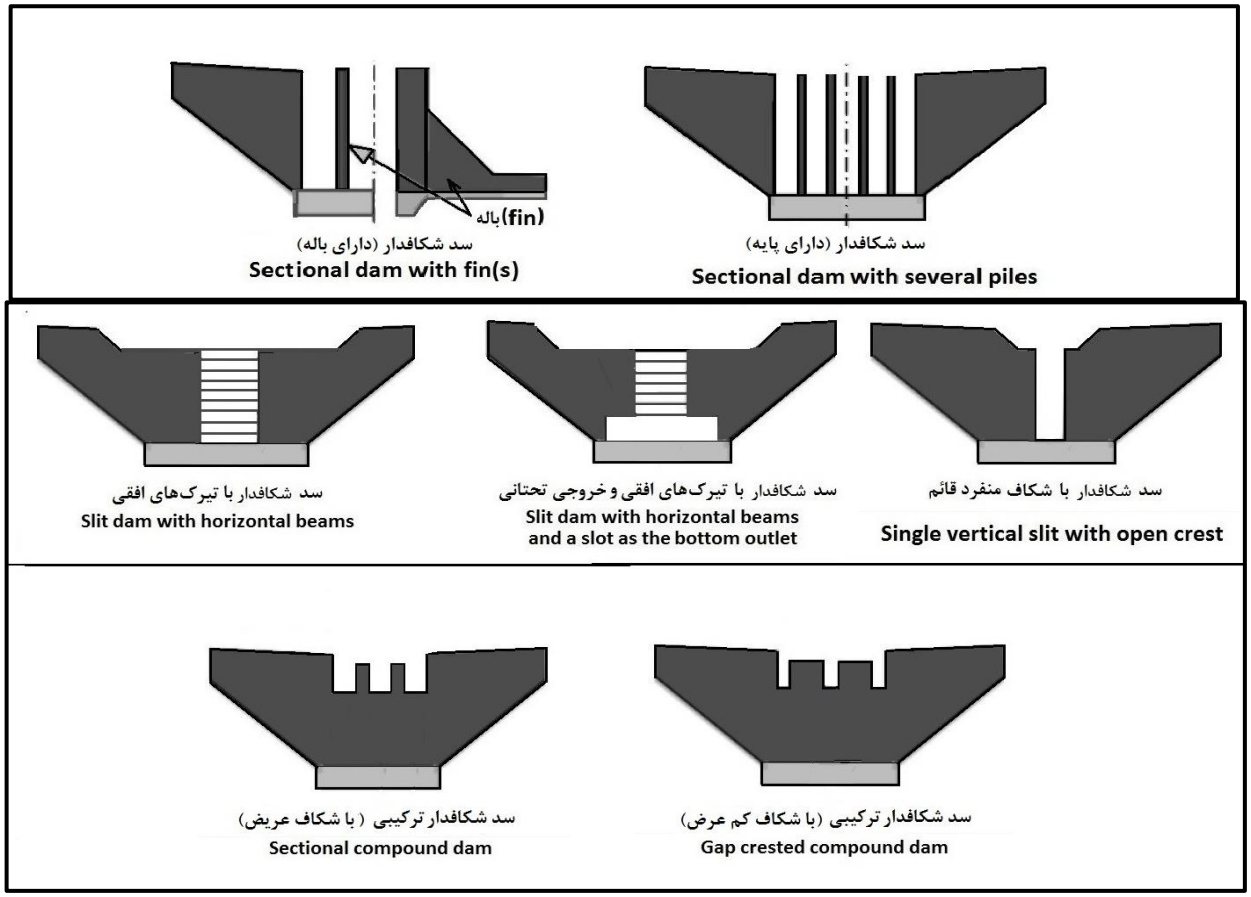
1- Drift Wood
2- G. Piton and et al, 2015

دانه‌بندی و مشخصه سیلاب‌ها، امکان معرفی یک الگوی واحد برای سدهای رسوبگیر میسر نبوده و لازم است بـه تناسـب موقعیت و اهداف مورد نظر و خصوصیات رودخانـه‌ای (هیـدرولوژیک، موفولوژیـک و فیزیـوگرافی)، مشخصـات هندسـی و سازه‌ای هر سد مستقلا تعیین گردد [۶۲]. بر این اساس انواع سدهای رسوبگیر باز در دو گروه اصلی سـدهای روزنـه‌دار[1] و سدهای شکاف‌دار[2] در شکل (۲-۳) نشان داده شده است. سدهای صلب و مشبک نیز بخشی از سازه‌هـای رسـوبگیر بـرای مهار رسوبات واریزه‌ای و زمین‌لغزه و کوه‌ریزش در سطح حوضه آبریز تلقی می‌شوند که انواع مختلـف آن در شـکل (۲-۴) معرفی شده است.



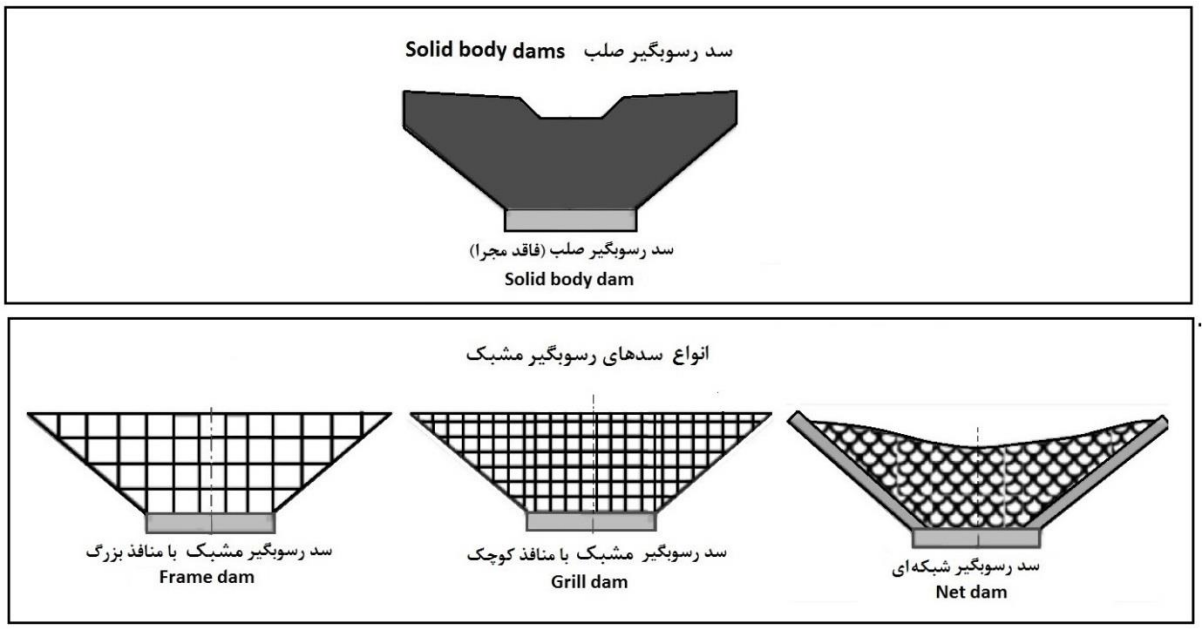
الف- انواع سدهای رسوبگیر روزنه‌دار Slot dams

1- Slot dams
2- Slit dams



ب- انواع سدهای رسوبگیر شکاف‌دار Slit dams

شکل ۲-۳- اشکال مختلف سدهای رسوبگیر باز مورد استفاده در مهار رسوب رودخانه‌ها [۶۰، ۶۱]

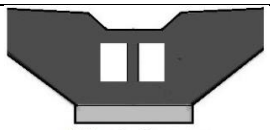
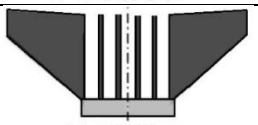
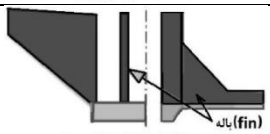
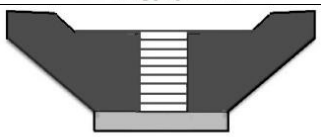
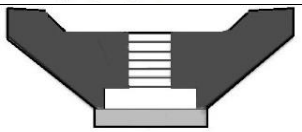


شکل ۲-۴- سدهای رسوبگیر صلب و سدهای رسوبگیر مشبک مورد استفاده در مهار رسوبات واریزه‌ای در سطح حوضه آبریز [۶۱، ۶۲]

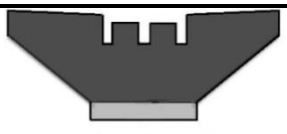
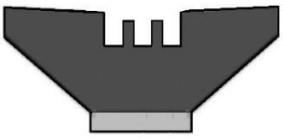
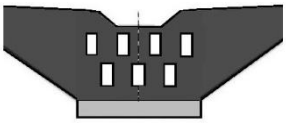
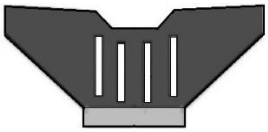
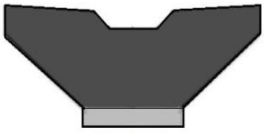
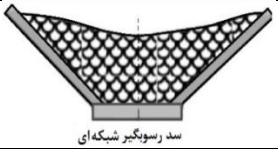
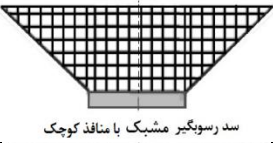
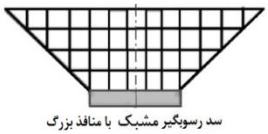
- انواع سدهای روزنه‌ای و شکاف‌دار با هدف تله‌اندازی بار بستر احداث می‌گردند و در سدهای شکاف‌دار ترکیبی نیز با توجه به ساختار هندسی، انباشت توام بار بستر و بار معلق تا تراز تاج سرریز در مخزن، انجام گرفته و بالاتر از آن تله‌اندازی بار بستر آغاز می‌شود.
- سدهای مشبک و شبکه‌ای عموما در گستره حوضه‌های آبریز (آبراهه‌ها و سرشاخه‌های با شیب تند و بازه‌های ناپایدار و مستعد لغزش توده‌ای) با هدف مهار جریان‌های گلی، واریزه‌ای و قطعات سنگ و لاشه‌سنگ و همچنین تله‌اندازی مواد شناور، نظیر الوار و اشجار حمل‌شده توسط سیلاب‌ها به کارگرفته می‌شوند.
- سدهای صلب نیز بخشی از رویکرد سازه‌ای مهار رسوب در طرح‌های آبخیزداری بوده و نقش مهمی در مقابله با پدیده فرسایش‌های آبکندی و مهار انتقال انبوه مواد رسوبی حاصل از پدیده زمین‌لغزش و جریان‌های گلی و واریزه‌ای در مناطق پرشیب و سطوح ناپایدار حوضه آبریز به بازه‌های پایین‌دست ایفا می‌کنند. [۶۱، ۶۲، ۶۵، ۶۶]. به‌علاوه سدهای صلب کوتاه در پایین‌دست سدهای رسوبگیر باز به عنوان سازه تثبیت بستر و تقویت پاشنه نیز به کار گرفته می‌شوند.

در جدول (۲-۱) جزییات بیش‌تر در خصوص کاربرد انواع سدهای رسوبگیر توضیح داده شده است.

جدول ۲-۱- کاربرد انواع سدهای رسوبگیر مورد استفاده در مهار رسوب رودخانه‌ها [۶۱، ۶۲]

نوع سد	موارد کاربرد
روزنه‌های افقی مزدوج با سرریز پیوسته	- در این سازه با افزایش مقطع خروجی، ضمن تسریع در تخلیه سیلاب، پیشروی پروفیل رسوبگذاری و خروج رسوبات ریزدانه و بخشی از بار بستر محقق می‌شود. - اثرات تسکینی سیلاب محدود بوده و در عین حال تخلیه تدریجی بخشی از رسوبات، دارای اثرات مورفولوژیک و هیدرولیکی مناسبی در بازه‌های پایین‌دست می‌باشد.
 سد رسوبگیر دو روزنه‌ای	- با توجه به ابعاد بزرگ مجاری، تخلیه سریع سیلاب و خروج قطعات شناور امکان‌پذیر است. - با تله‌اندازی مصالح درشت‌دانه طی فرایند جورشدگی هیدرولیکی و تخلیه تدریجی بخشی از رسوبات تنظیم تغذیه رسوبی پایین‌دست و برقراری شرایط هیدرولیکی و مورفولوژیکی مناسب امکان‌پذیر می‌باشد.
 سد شکافدار (دارای پایه)	- سدهای رسوبگیر دارای پایه یا باله، مشابه پل عمل نموده و ایجاد پایه‌ها موجب کاهش مقطع جریان و وقوع پدیده پس‌زدگی در شرایط سیلابی می‌شود. شدت پس‌زدگی تابع ابعاد مجاری خروجی می‌باشد. - با وقوع پس‌زدگی، ضمن کاهش دبی اوج سیلاب، بخشی از بار رسوبی (عموما مصالح درشت‌دانه) تله‌اندازی شده و از این طریق بازه‌های پایین‌دست از خطرات و ناهنجاری‌های انباشت رسوب و تشدید خسارت سیلاب‌ها مصون می‌ماند. - در سدهای پایه‌دار همچنین امکان مهار قطعات شناور (الوار و اشجار) وجود دارد و از این طریق با رفع خطر انسداد پل‌ها در بازه‌های پایین‌دست، ظرفیت هیدرولیکی، پایداری و استحکام آنها حفظ می‌شود.
 سد شکافدار (دارای باله)	
 سد شکافدار با تیرک‌های افقی	- سدهای رسوبگیر تیرک‌دار علاوه بر هدف مهار بار رسوبی، اغلب در بالادست پل‌های اصلی نیز احداث می‌شوند. این سازه‌ها مانع انتقال قطعات الوار و اشجار به پایین‌دست می‌گردند. - با تله‌اندازی رسوبات و قطعات شناور، سازه پل از تبعات انباشت رسوب و انسداد دهانه‌ها و تخریب احتمالی پایه‌ها مصون مانده و اطمینان به عملکرد مطلوب هیدرولیکی و استحکام و پایداری آن افزایش می‌یابد.
 سد شکافدار با تیرک‌های افقی و خروجی تحتانی	- در سدهای تیرک‌دار، تجمع قطعات شناور احتمال کاهش ظرفیت تخلیه جریان سیلاب را کاهش می‌دهد. از این‌رو در مواردی با لحاظ کردن مجرای تخلیه تحتانی، ظرفیت تخلیه افزایش یافته و ضمن بهبود عملکرد سازه با تخلیه سریع رسوبات ریزدانه انباشته شده، افزایش کارآیی مخزن را نیز در پی دارد. - علاوه بر مهار بار رسوبی و کنترل قطعات شناور، فرایند تسکین سیلاب در سدهای تیرک‌دار محقق می‌شود.

ادامه جدول ۲-۱- کاربرد انواع سدهای رسوبگیر مورد استفاده در مهار رسوب رودخانه‌ها [۶۱، ۶۲]

نوع سد	موارد کاربرد
 سد شکافدار ترکیبی (با شکاف کم عرض)	- سدهای رسوبگیرترکیبی، تلفیقی از سد صلب و باز تلقی می‌شوند. دارای حالت سرریزی دایمی بوده و تله‌اندازی توام بار بستر و معلق تا تراز تاج سرریز امکان‌پذیر است و برای محدوده شکافدار فرایند مهار بار بستر و هدایت رسوبات ریزدانه به خارج از مخزن، محقق می‌گردد. - از جمله اهداف اصلی این سدها تنظیم تغذیه رسوبی رودخانه در بازه‌های پایین‌دست می‌باشد. در شرایط سیلابی، بار رسوبی موقتا در مخزن انباشته شده و پس از فروکش آن، رسوبات تدریجا به پایین‌دست هدایت می‌شود. - با تنظیم تغذیه رسوبی رودخانه، از ناهنجاری‌های مورفولوژیک و تشدید خطرات سیلاب جلوگیری می‌گردد. - باریک و عریض بودن شکاف‌ها، در تنظیم نرخ تله‌اندازی و سرعت تخلیه سیلاب و همچنین هدایت و کنترل اشیای شناور موثر می‌باشد.
 سد شکافدار ترکیبی (با شکاف عریض)	
سد رسوبگیر با خروجی تحتانی	- امکان تله‌اندازی کامل یا بخشی از بار بستر، متناسب با ابعاد مجرای تحتانی وجود دارد. - دارای عملکرد سد تاخیری بوده و با تاثیرپذیری از هندسه مجرا، میزان تعدیل اوج سیلاب محقق می‌گردد. - مهار بار رسوبی و تسکین سیلاب، ایمنی و عملکرد مطلوب بازه‌های پایین‌دست را در پی دارد.
 سد رسوبگیر چند روزنه‌ای	- به‌دلیل توزیع مجاری در سطح سازه، امکان زهکشی مناسب در شرایط سیلابی فراهم شده و پایداری سد افزایش می‌یابد. - با توجه به زهکشی و پایداری مناسب، این سدها علاوه بر تله‌انداز بار بستر، برای مهار جریان‌های واریزه‌ای نیز مناسب می‌باشند.
 روزنه‌های قائم با سرریز پیوسته	- استفاده از سری مجاری بلند و توزیع آنها در عرض سازه، موجب رسوبگذاری یکنواخت‌تر در مخزن سد و پیشروی سریع جبهه رسوبگذاری و تسریع در فرایند خودشویی مخزن می‌شود. - علاوه بر اثرات تسکینی سیلاب، تخلیه تدریجی بخشی از رسوبات دارای اثرات مورفولوژیک و هیدرولیکی مناسبی در بازه‌های پایین‌دست می‌باشد. - با توجه به برقراری جریان آزاد، رسوبات انباشته شده در مخزن، عمدتا درشت‌دانه می‌باشند.
 سد رسوبگیر صلب (فاقد مجرا)	- تله‌اندازی توام بار بستر و معلق امکان‌پذیر است. - سدهای صلب یا چک‌دم‌ها در قالب اقدامات سازه‌ای در طرح‌های آبخیزداری، به‌صورت فراگیر در سطح حوضه آبریز برای مهار فرسایش، تعدیل شیب، تثبیت بستر و کناره در آبراهه‌ها و سرشاخه‌های پرشیب و کنترل آبکندها و همچنین محدوده‌های مستعد زمین‌لغزه و کوه‌ریزش، کاربرد زیادی دارند. - از سدهای صلب همچنین به‌عنوان سازه مکمل برای تثبیت بستر و تقویت پاشنه سدهای رسوبگیر باز استفاده می‌شود. - از دیگر کاربردهای سدهای صلب، تعدیل شیب و مهار موقت بار رسوبی سیلاب‌ها در بسترهای عریض و تخلیه تدریجی آن به بازه‌های پایین‌دست می‌باشد.
 سد رسوبگیر شبکه‌ای	- انواع سدهای مشبک، از جمله رویکرد سازه‌ای موثر در اقدامات آبخیزداری می‌باشند که برای مهار انبوه رسوب حمل‌شده توسط آبراهه‌ها و سرشاخه‌های پرشیب و ناپایدار به بازه‌های پایین‌دست و حفاظت از زیرساخت‌ها، احداث می‌شوند. - سدهای مشبک به تناسب اهداف مورد نظر، از نوع توری و یا میله‌های فولادی می‌باشند و در مواردی نیز از قطعات الوار استفاده می‌شود. - به‌دلیل دارا بودن منافذ متعدد، قدرت زهکشی بالایی داشته و عملکرد خوبی در پایداری سازه‌ای و استهلاک نیروی هیدرودینامیکی حاصل از موج جریان‌های واریزه‌ای دارند. - علاوه بر مهار اشیای شناور و طیف رسوبات ریز و درشت، در مواردی سدهای مشبک برای توقف حرکت قطعات بزرگ سنگ و لاشه سنگ به بازه‌های پایین‌دست در مناطق کوهستانی با منافذ بزرگ (بعضا تا ابعاد ۲ متر)، احداث می‌گردند.
 سد رسوبگیر مشبک با منافذ کوچک	
 سد رسوبگیر مشبک با منافذ بزرگ	

بر اساس مشخصه‌های هندسی، انواع سدهای رسوبگیر را می‌توان در ۴ گروه به شرح جدول (۲-۲) تقسیم‌بندی نمود. به‌علاوه از نظر عملکرد هیدرولیکی مطابق جدول (۲-۲)، سدها به دو گروه عمده شامل سدهای با جریان تحت فشار و سدهای دارای جریان آزاد تقسیم‌بندی می‌شوند [۶۰، ۶۴]. لازم به ذکر است، برقراری شرایط تحت فشار برای حالت سیلابی صادق بوده و با کاهش دبی، امکان تداوم جریان آزاد محقق می‌گردد.

جدول ۲-۲- گروه‌بندی سدهای رسوبگیر مورد استفاده در مهار رسوب رودخانه‌ها از نظر مشخصه‌های هندسی و هیدرولیکی [۶۱، ۶۲، ۶۴]

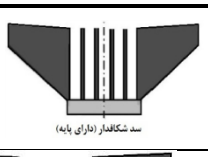
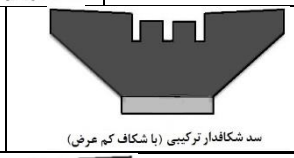
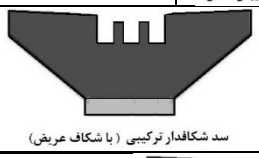
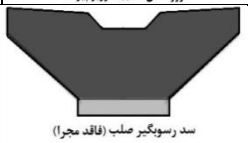
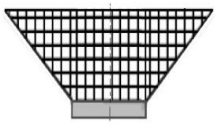
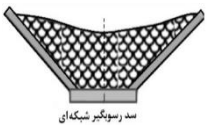
شماره گروه	نوع سد	عنوان فارسی	عنوان انگلیسی	نوع جریان
۱	روزنه‌دار	سدهای رسوبگیر روزنه‌دار	Slit dams with open crest	تحت فشار
۲	شکاف‌دار	سدهای رسوبگیر شکاف‌دار با سرریز باز	Slit dams with open crest	جریان آزاد
		سدهای رسوبگیر تیرکدار	Slit dams with horizontal beams	
		سدهای رسوبگیر پایه‌دار	Sectional dams	
		سدهای رسوبگیر ترکیبی	Compound dams	
۳	مشبک	سدهای رسوبگیر مشبک	Grid dams – Net dams	
۴	صلب (فاقد مجرا)	سدهای رسوبگیر صلب	Solid body dams	

استفاده از انواع سدهای رسوبگیر در رودخانه‌ها، متناسب با اهداف موردنظر و شرایط مختلف آب و هوایی متداول می‌باشد. در انتخاب نوع سد، رژیم آبدهی و رسوبدهی رودخانه نقشه عمده‌ای را ایفا می‌کند. رژیم آبدهی و رسوبدهی رودخانه‌ها برآیند مجموعه عوامل کلیمایی و حوضه‌ای تلقی می‌شود. در شرایط آب و هوایی معتدل، رودخانه‌ها از نوع دایمی بوده و از تغییرات آبدهی و دبی اوج کم‌تری برخوردارند و دارای رژیم رسوبدهی متعادلی می‌باشند. در شرایط آب و هوایی خشک و نیمه خشک، رودخانه‌ها دارای تغییرات آبدهی شدیدی هستند و وقوع سیلاب‌های ناگهانی، افزایش آبدهی و انتقال انبوه مواد رسوبی را سبب می‌گردند. رودخانه‌های فصلی و مسیل‌ها نیز از نظام آبدهی و رسوبدهی نامعینی برخوردارند. در طراحی سدهای رسوبگیر توجه به چنین واقعیت‌هایی ضروری است. در عین حال صرف‌نظر از شرایط آب و هوایی و حوضه‌ای با مشخص شدن رژیم آبدهی و رسوبدهی، انتخاب و طراحی سد رسوبگیر متناسب با شرایط رودخانه‌ای و اهداف موردنظر برای انواع رودخانه‌ها (دایمی، فصلی و مسیل‌ها) عملی می‌باشد. با عنایت به مباحث فوق برای شرایط رودخانه‌های کشور، می‌توان انواع سدها را مطابق جدول (۲-۳) در سه مقوله زیر تقسیم‌بندی نمود:

جدول ۲-۳- گروه‌بندی سدهای رسوبگیر مورد استفاده در مهار رسوب برای شرایط آب وهوایی و رودخانه‌های کشور

شماره گروه	نوع سد	شرایط رودخانه‌ای
۱	روزنه‌های افقی مزدوج با سرریز پیوسته	رودخانه‌های مناطق معتدله (نظیرناحیه شمال کشور) با سیلاب‌های ممتد (حجم زیاد و بده اوج کم) و بار بستر زیاد
	سد رسوبگیر دو روزنه‌ای	رودخانه‌های نواحی کوهستانی در مناطق معتدله دارای پتانسیل حمل مصالح درشت و اشجار و الوار

ادامه جدول ۲-۳- گروه‌بندی سدهای رسوبگیر مورد استفاده در مهار رسوب برای شرایط آب وهوایی و رودخانه‌های کشور

شماره گروه	نوع سد	شرایط رودخانه‌ای
	 سد شکافدار (دارای پایه) سد شکافدار با تیرک‌های افقی و خروجی تحتانی سد شکافدار با تیرک‌های افقی	رودخانه‌های با بار بستر زیاد و قطعات الوار و اشجار حاصل از پوشش جنگلی (رودخانه‌های مناطق معتدله)
	 سد شکافدار ترکیبی (با شکاف کم عرض)  سد شکافدار ترکیبی (با شکاف عریض)	در آبراهه‌ها و رودخانه‌های دارای جریان دایمی و با ربستر زیاد (رودخانه‌های مناطق معتدله)
۲	سد رسوبگیر با خروجی تحتانی	رودخانه‌های مناطق خشک و نیمه خشک با سیلاب‌های تند (Flash floods) و سهم بار معلق زیاد
۳	شکاف منفرد قائم با سرریز باز روزنه‌های قائم با سرریز پیوسته سد رسوبگیر چند روزنه‌ای	آبراهه‌ها و سرشاخه‌های کوهستانی و رودخانه‌های با پتانسیل بار رسوبی بستر و جریان‌های واریزه‌ای (شرایط آب و هوایی مختلف)
	 سد رسوبگیر صلب (فاقد مجرا)	سرشاخه‌ها و آبراهه‌های گستره حوضه آبریز برای مهار زمین لغزه‌ها و تعدیل شیب و تثبیت بستر و کناره‌ها (شرایط آب و هوایی مختلف)
	سد رسوبگیر مشبک با مناقذ بزرگ  سد رسوبگیر مشبک با مناقذ کوچک  سد رسوبگیر شبکه‌ای	سرشاخه‌ها و آبراهه‌ها و کانون‌های با پتانسیل جریان‌های واریزه‌ای و کوه‌ریزش در سطح حوضه آبریز و مهار الوار و اشجار، سنگ و لاشه سنگ (شرایط آب و هوایی مختلف)

- گروه ۱ برای مناطق معتدله (نظیر نواحی شمالی کشور با حوضه‌های آبریز دارای پوشش جنگلی)

از جمله ویژگی‌های مناطق معتدله،کثرت بارش‌های جوی و توزیع متعادل زمانی و مکانی آن در فصول مختلف سال می‌باشد که منجر به استقرار پوشش گیاهی پایدار (عرصه‌های جنگلی و مرتعی) و نظام آبدهی یا رژیم هیدرولوژیکی دایمی (با سیلاب‌های ممتد و بده اوج کم) می‌گردد. در این نوع مناطق، فرسایش خاک کم‌تر بوده و به تبع آن مقدار بار معلق رودخانه‌ها در مقایسه با نواحی خشک و نیمه خشک کم‌تر و در مقابل نرخ بار بستر بیش‌تر می‌باشد. از دیگر ویژگی‌های شاخص این مناطق، وجود انبوه اشجار و الوار و قطعات شناور حمل شده توسط جریان‌های سیلابی و همچنین پدیده‌های زمین‌لغزه و جریان‌های گلی حاصل از اشباع خاک و ناپایداری لایه‌های سطحی است. از این‌رو سدهای معرفی شده در گروه ۱ با هدف مدیریت رسوب، اشجار و الوار و تله‌اندازی منابع رسوب حاصل از پدیده‌های زمین‌لغزه و کوه‌ریزش و نظایر آن احداث می‌گردند. موارد کاربرد هر یک از این سدها در جدول (۲-۱) ارائه شده است.

- گروه ۲ برای مناطق خشک و نیمه خشک

در مناطق خشک و نیمه‌خشک به دلیل قلت پوشش گیاهی، پتانسیل فرسایش خاک زیاد بوده و از طرفی بارش‌های جوی از نوع فصلی (محدود به دوره مشخصی از سال) و دارای شدت بیش‌تر و مدت دوام کم‌تری هستند. این امر بروز سیلاب‌های ناگهانی با دبی اوج بیش‌تر و مدت دوام کم‌تر[1] را سبب می‌گردد که علاوه بر غلظت بالای بار معلق، حامل بار بستر زیادی نیز می‌باشند. با احداث سد (سدهای) رسوبگیر از نوع مجرای تحتانی، علاوه بر تسکین سیلاب، بخش عمده‌ای از بار بستر و بخشی از بار معلق متعلق به کلاس سیلت و ماسه، در اثر پدیده پس‌زدگی ترسیب گردیده و پس از فروکش سیلاب، با برقراری جریان آزاد در مجرای تحتانی رسوبات ریزدانه شسته شده و حجم مخزن برای پذیرش سیلاب‌های بعدی بازیافت می‌شود. در این نوع مخازن برای تداوم بهره‌برداری، فرایند تخلیه دوره‌ای مخزن نیز باید مدنظر قرارگیرد.

- گروه ۳ برای شرایط کلیمایی مختلف (اعم از معتدله و خشک و نیمه خشک)

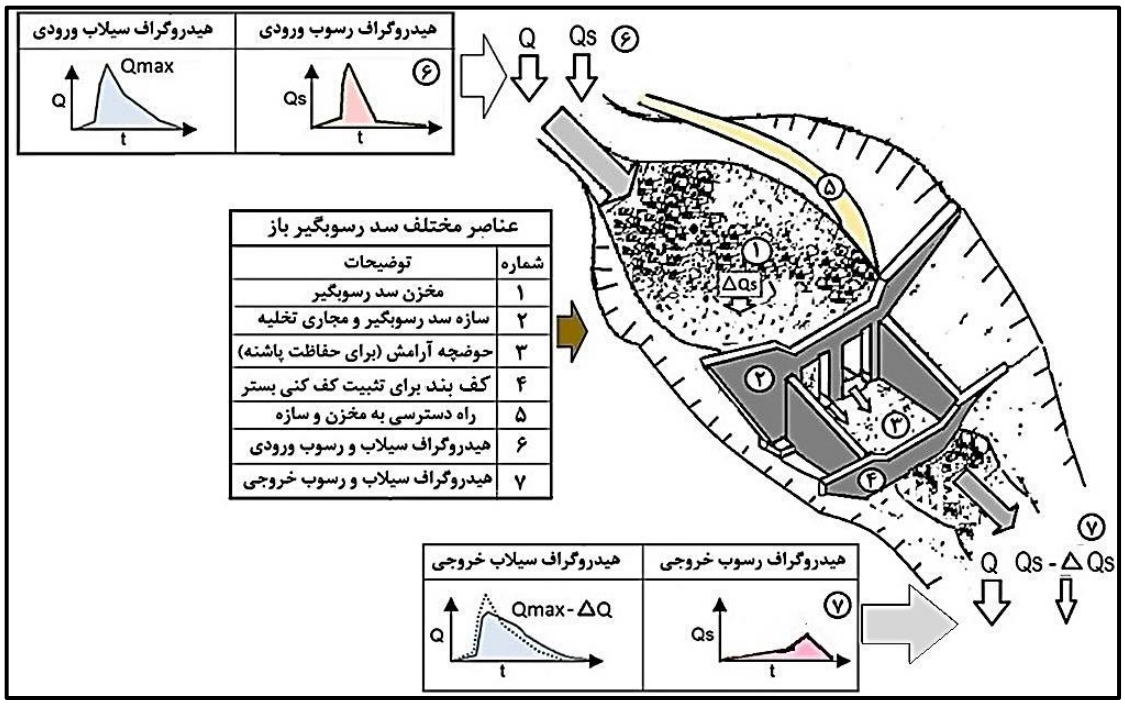
انواع سدهای ارائه شده در این گروه، مناسب برای شرایط آب و هوایی مختلف می‌باشد. سدهای صلب و مشبک عمدتا برای مهار پدیده زمین لغزه و جریان‌های واریزه‌ای و گلی و همچنین مهار سنگ و لاشه‌سنگ در سرشاخه‌ها و آبراهه‌های پرشیب و کوهستانی گستره حوضه آبریز و در قالب اقدامات آبخیزداری با رویکرد سازه‌ای از عمومیت برخوردارند. سدهای شکاف‌دار و روزنه‌دار متعلق به گروه ۳ نیز در شبکه رودخانه‌ای برای مهار بار بستر و در مواردی برای بازه‌های با پتانسیل جریان‌های گلی، به عنوان راهکار مدیریت رسوب استفاده می‌شود. موارد کاربرد هریک از سدهای مزبور در جدول (۲-۱) ارائه شده است.

به منظور معرفی عملکرد سدهای باز، عناصر اصلی آن شامل اجزای سازه‌ای و جریان‌های ورودی و خروجی به صورت شماتیک در شکل (۲-۵) نشان داده شده است. مطابق شکل (۲-۵)، عناصر هفتگانه مندرج در جدول شکل مزبور، بخشی از ملزومات سدهای رسوبگیر باز تلقی می‌شود. همان‌طوری‌که در شکل (۲-۵) مشخص است، به دلیل وجود مجاری تخلیه جریان، حجم هیدروگراف سیلاب ورودی و خروجی از کمیت یکسانی برخوردارند. لیکن مقدار دبی اوج (Qmax) متناسب با اندازه مجاری خروجی تسکین یافته و دستخوش کاهش می‌گردد. در عین‌حال تاثیر سد رسوبگیر بر روی هیدروگراف رسوب ورودی (سدوگراف[2]) با توجه به تله‌اندازی بار بستر کاملا شاخص بوده و مطابق شکل، افت هیدروگراف رسوب خروجی با تاثیرپذیری از فرایند تله‌اندازی در مخزن به خوبی مشهود است. نکته مهم دیگر لحاظ‌کردن سازه، کاهش انرژی فرسایشی سیلاب (حوضچه آرامش) و سد صلب برای مقابله با اثرات احتمالی کف‌کنی بستر و تقویت

1- Flash flood
2- Sedograph

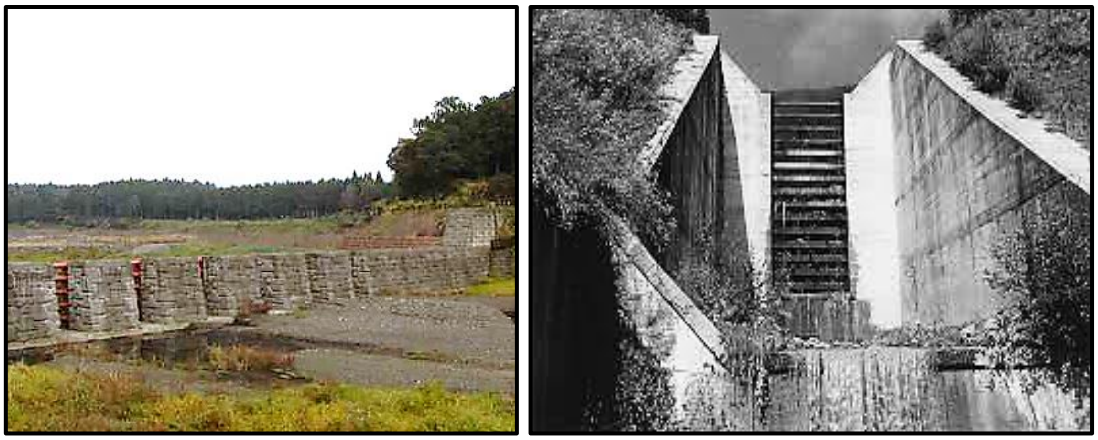
پایداری و استحکام سد رسوبگیر می‌باشد که لازم است مطابق شکل (۲-۵) به عنوان بخشی از ملزومات احداث سدهای رسوبگیر مدنظر قرارگیرد.

در شکل (۲-۶) نمونه‌هایی از انواع مختلف سدهای باز به منظور معرفی کاربرد عملی آن‌ها در مهار بار رسوبی رودخانه‌ها معرفی گردیده است. با استفاده از این سازه‌ها در شبکه رودخانه‌ای، میزان تله‌اندازی بار بستر (مهار طیف مختلف دانه‌بندی و یا درشت‌دانه‌ها) و همچنین دامنه تعدیل سیلاب امکان‌پذیر می‌باشد. در شکل (۲-۷) انواع سدهای مشبک و صلب مورد استفاده برای مهار رسوب واریزه‌ای و زمین لغزه حاصل از کانون‌های فرسایشی در گستره حوضه آبریز ارائه شده است. استفاده از این سدها، بخشی از اقدامات آبخیزداری با رویکرد سازه‌ای در مقابله با پدیده فرسایش خاک حوضه آبریز تلقی می‌شود.



شکل ۲-۵- سد رسوبگیر باز و عناصر اصلی آن برای تله‌اندازی بار بستر [۶۰، ۶۷]

الف- نمونه‌هایی از سدهای رسوبگیر روزنه‌دار (ساده و مجهز به شبکه فلزی برای تله‌اندازی اجسام شناور)- Slot dams



د- نمونه‌هایی از سدهای رسوبگیر شکاف‌دار دارای تیرک (منفرد و مجموعه)- Slit dams with horizontal beams

ه- نمونه‌هایی از سدهای رسوبگیر شکاف‌دار ترکیبی- Compound dams

شکل ۲-۶- نمونه‌هایی از انواع سدهای رسوبگیر باز برای تله‌اندازی بار بستر در رودخانه‌ها [۶۰، ۶۷ و منابع اینترنتی]

الف- نمونه‌هایی از سدهای رسوبگیر صلب مورد استفاده در مهار رسوبات واریزه‌ای، کوه‌ریزش و زمین لغزه و آبراهه‌ها در سطح حوضه آبریز

ب- نمونه‌هایی از سدهای رسوبگیر مشبک برای مهار رسوبات واریزه‌ای و قطعات سنگ و لاشه سنگ و الوار و اشجار در سطح حوضه آبریز

شکل ۲-۷- نمونه‌هایی از سدهای رسوبگیر مشبک و صلب مورد استفاده در مهار رسوب کانون‌های فرسایشی حوضه‌های آبریز [۶۰، ۶۱]

۲-۲- جایگاه سدهای رسوبگیر در مدیریت رسوب مخازن

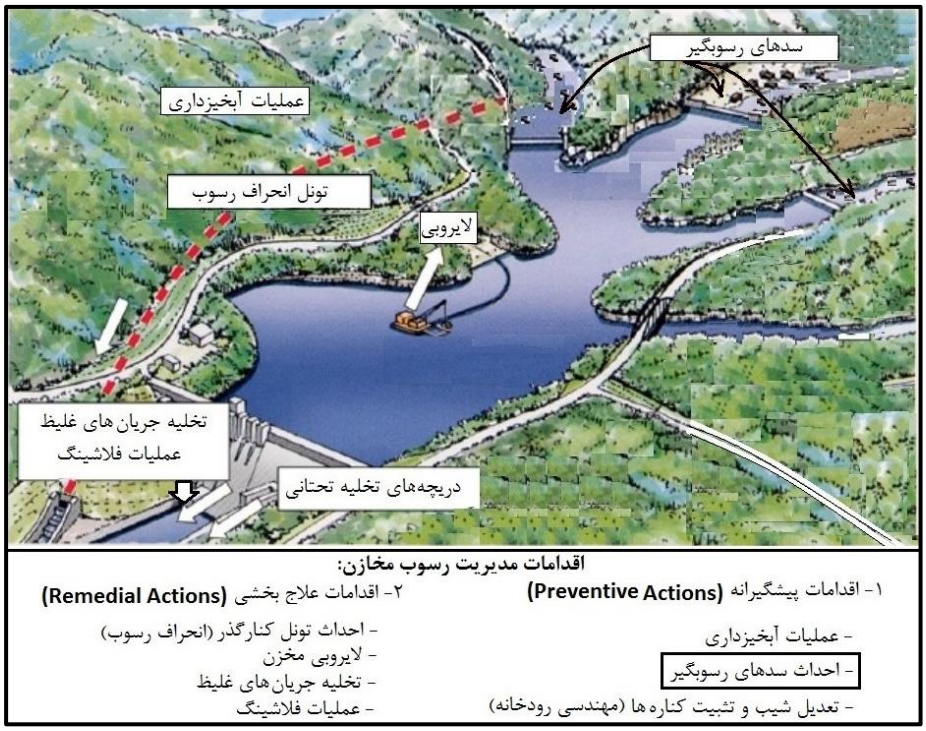
آورد رسوبی رودخانه‌ها، بسیاری از تاسیسات آبی و مخازن سدها را تحت تاثیر خود قرار داده و عملکرد مطلوب آن‌ها را دستخوش ناهنجاری‌های عدیده‌ای می‌نماید. طبق آمارهای موجود، سالیانه قریب به ۳۱ میلیارد مترمکعب از حجم مخازن سدها در اثر انباشت رسوب از چرخه بهره‌برداری خارج می‌شود که متوسط کاهش سالیانه‌ای بالغ بر ۰/۵۲٪ را در پی دارد (حجم مخازن دنیا۶۰۰۰ میلیارد مترمکعب و متوسط رواناب سالیانه جهانی نیز بالغ بر ۸۰۰۰ میلیارد مترمکعب می‌باشد) [۳۹]. مطابق بررسی نتایج حاصل از هیدروگرافی، ۲۵ فقره از مخازن سدهای کشور (مشتمل بر سدهای بزرگ) مندرج در جدول (۲-۴) نیز نرخ کاهش سالیانه‌ای معادل ۰/۶۸٪ را مشخص می‌نماید [۲]. به عبارتی بر اساس مندرجات جدول (۲-۴)، سرعت کاهش ظرفیت مفید مخازن کشور در اثر انباشت رسوب به رقم شاخص ۱۶۵ میلیون مترمکعب در سال بالغ می‌گردد و مبین آن است که برای حفظ ظرفیت موجود، ایجاد ظرفیت جدید معادل ۱۶۵ میلیون‌مترمکعب در

سال ضروری است (برای اطلاعات بیش‌تر در خصوص هیدروگرافی مخازن و نرخ انباشت رسوب به نشریه شماره ۳۰۹- الف طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور مراجعه گردد) [۲]. بدیهی است چنین نرخ بالایی از رسوب، تهدیدی برای مخازن سدها و تاسیسات تنظیم و کنترل جریان بوده و در تقابل جدی با اهداف توسعه پایدار قرار دارد.

جدول ۲-۴- نتایج هیدروگرافی تعدادی از مخازن کشور و متوسط نرخ کاهش سالیانه حجم مخازن ناشی از انباشت رسوب [۲]

تعداد مخازن هیدروگرافی شده	مجموع مساحت حوضه‌های آبریز مخازن	حجم اولیه مخازن	متوسط حجم رسوبات انباشته شده سالیانه کل مخازن	متوسط کاهش سالانه حجم مخازن	حداکثر کاهش سالانه حجم مخازن	متوسط رسوبدهی ویژه حوضه‌های آبریز	حداکثر رسوبدهی ویژه حوضه‌های آبریز
	Km^2	میلیارد مترمکعب	میلیون مترمکعب	درصد	درصد	تن در کیلومترمربع در سال	
۲۵	۲۶۶۶۰۶	۲۴/۱۵۳	۱۶۵	۰.۶۸	۲.۳۸	۸۶۲	۳۲۹۴

ضرورت مقابله با تبعات و پیامدهای ناشی از تله‌اندازی مستمر رسوب، موجب گردیده تا برنامه‌ریزان و متخصصین رودخانه‌ای با توسل به اندیشه بهره‌گیری موثر از سدهای رسوبگیر، به موازات سایر فناوری‌های نوین، راهکارهای عملی در احیا و حفظ ظرفیت مخازن سدها معرفی نمایند[۴۶]. در این خصوص همان‌گونه که در شکل (۲-۸) نشان داده شده است کشور ژاپن را می‌توان از پیشگامان اندیشه استفاده از سدهای رسوبگیر به عنوان بخشی از اقدامات پیشگیرانه[1] در مدیریت منابع آب و رسوب رودخانه‌ها، تلقی نمود.



شکل ۲-۸- نمونه‌ای از مدیریت رسوب مخازن با احداث سدهای رسوبگیر و اقدامات علاج‌بخشی، الگوی ژاپن [۳۹ و ۴۰]

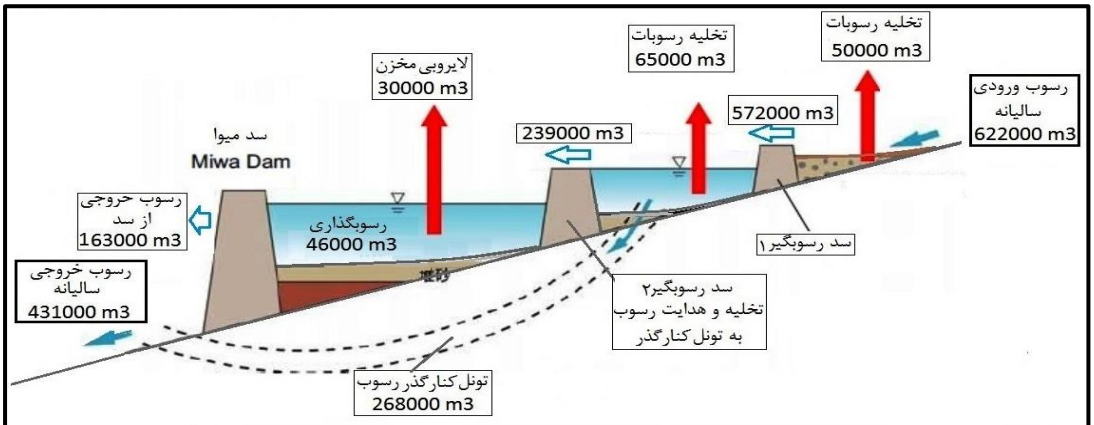
1- Preventive Actions

مجموعه اقدامات مدیریت رسوب مخازن مطابق الگوی ارائه شده، حول دو محور اصلی ذیل می‌باشد:

- اقدامات پیشگیرانه در بالادست مخازن (مهار رسوب قبل از ورود به مخزن) شامل:
  - عملیات آبخیزداری
  - احداث سدهای رسوبگیر
  - اقدامات مهندسی رودخانه (تعدیل شیب و تثبیت بستر و کناره‌ها)
- اقدامات علاج‌بخشی[1] (هدایت رسوب به خارج از مخزن) شامل:
  - عملیات فلاشینگ
  - لایروبی مخزن
  - تخلیه جریان‌های غلیظ
  - احداث تونل کنارگذر (انحراف رسوب)

احداث سدهای رسوبگیر، بخش مهمی از اقدامات پیشگیرانه را به خود اختصاص می‌دهد و در این راهنما به تشریح و توضیح آن پرداخته شده است، ضمن آن‌که عملیات آبخیزداری (با رویکرد بیولوژیک و سازه‌ای در گستره حوضه‌آبریز) و تعدیل شیب و تثبیت بستر و کناره‌ها، به عنوان اقدامات مهندسی رودخانه نیز از جمله تدابیر پیشگیرانه برای کاهش رسوب ورودی به مخازن می‌باشد که بحث و بررسی بیش‌تر در خصوص آنها تدوین راهنمای مستقلی را طلب می‌کند. پرداختن به اقدامات علاج‌بخشی نیز با توجه به تنوع روش‌ها و گستردگی راهکارها، نیازمند تدوین راهنمای مستقلی است و در این خصوص، مراجع [۳۹]، [۴۰] و [۶۹] توصیه می‌شود. نمونه عملی استفاده از سدهای رسوبگیر با هدف مهار رسوب ورودی به مخازن سدها در شکل (۲-۹) برای سد میوا[2] در ژاپن نشان داده شده است. [۶۹]

1- Remedial Actions
2- Miwa Dam, Japan



شماره ردیف	نوع اقدامات	نوع سازه یا عملیات	حجم رسوب برداشتی سالیانه m3	جمع رسوب برداشتی یا خروجی سالیانه m3	نسبت رسوب برداشتی وخروجی به آورد سالیانه (%)	حجم رسوب انباشته شده سالیانه در مخزن m3	حجم رسوب انباشته شده سالیانه در مخزن %
۱	پیشگیرانه	سد رسوبگیر ۱	50000	115000	18.5	46000	7.4
۲		سد رسوبگیر ۲	65000				
۳	علاج بخشی	هدایت رسوب از تونل کنارگذر با استفاده از سد رسوبگیر ۲	268000	461000	74.1		
۴		لایروبی از مخزن	30000				
۵		فلاشینگ رسوبات	163000				
		مجموع رسوب برداشتی و خروجی سالیانه		576000	92.6		
حجم رسوب ورودی سالیانه 622000 m3		حجم رسوب خروجی سالیانه 431000 m3			حجم رسوب برداشتی سالیانه 145000 m3		

شکل ۲-۹- نمونه‌ای از نقش سدهای رسوبگیر در مهار رسوب ورودی به مخازن سدها، سد میوا- ژاپن [۶۹]

مطابق مندرجات شکل (۲-۹)، با استفاده از سدهای رسوبگیر ۱ و ۲، امکان مهار و تخلیه سالیانه معادل ۱۸/۵٪ از رسوب ورودی به مخزن فراهم می‌گردد. همچنین سد رسوبگیر ۲ علاوه بر تله‌اندازی، نقش هدایت بخش مهمی از رسوب (بار بستر و معلق) ورودی به مخزن را از طریق تونل کنارگذر[1] به بازه پایین‌دست به عهده دارد. (معادل m^3 ۲۶۸۰۰۰ یا ۴۳٪ از رسوب ورودی سالیانه)

لازم به ذکر است امروزه از دیدگاه متخصصین، مطابق شکل (۲-۹) افزودن عنصر تونل کنارگذر یا انحراف رسوب به مجموعه روش‌های تخلیه رسوب مخازن، تحولی نوین و کلیدی در تحقق اهداف بهره‌برداری پایدار از منابع آب و رسوب رودخانه‌ها و هم‌زمان حفظ هویت زیست‌محیطی، اکوسیستم و ریخت‌شناسی آن‌ها تلقی می‌شود. با چنین تکنیکی برخلاف روش سنتی، بخش عمده‌ای از بار رسوبی (بار بستر و معلق) قبل از ورود به مخزن به پایین‌دست منتقل و از این طریق، ضمن حفظ ظرفیت مخزن، تامین نیاز طبیعی رودخانه به برقراری شرایط پتانسیل انتقال، ایجاد توازن مورفولوژیک، تحقق اکوسیستم و شرایط زیست‌محیطی مطلوب رودخانه‌ای، محقق می‌گردد. در روش‌های متداول با تله‌اندازی مستمر بار رسوبی در مخزن سد، آب خروجی فاقد بار بستر بوده و اصطلاحا آب صاف[2] به آن اطلاق می‌شود.

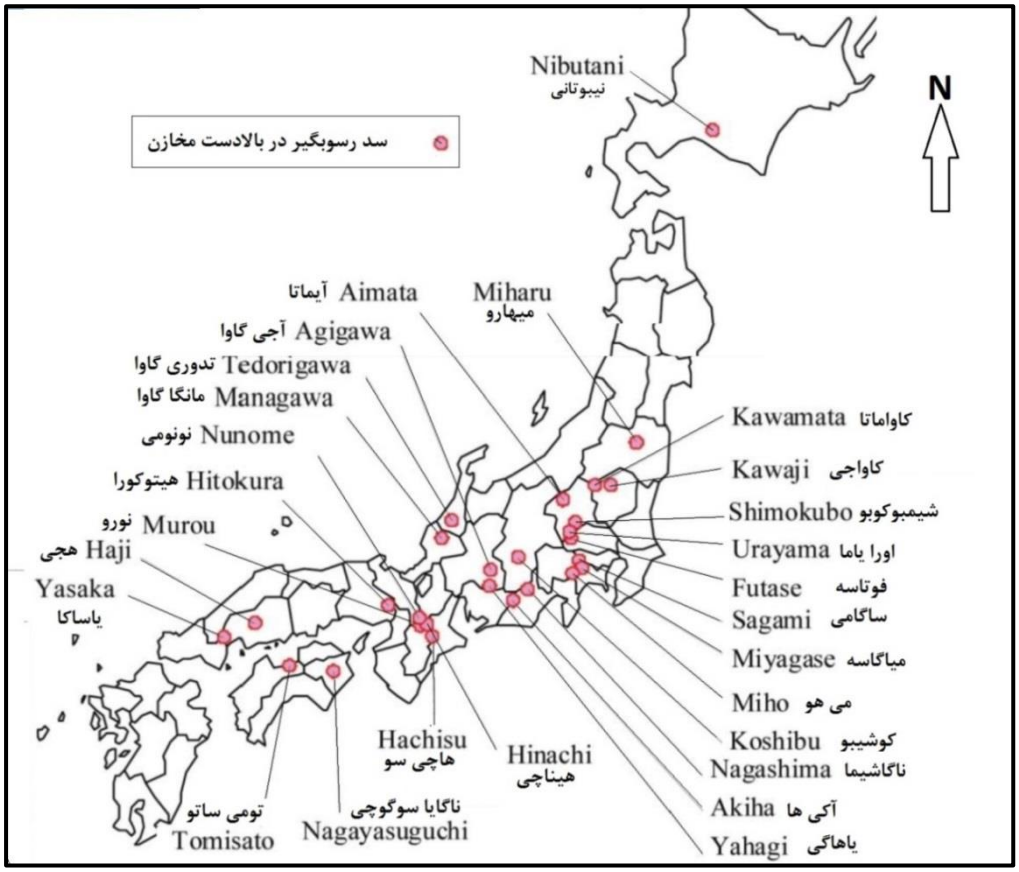
1- Sediment bypass tunnel (SBT)
2- Hungry water

آب صاف خروجی از مخزن، دارای ظرفیت حمل بالایی است و در راستای تحقق ظرفیت انتقال وقوع فرسایش‌های حاد و غیر متعارف را در بازه‌های پایین‌دست سبب می‌گردد که خود منشا بروز ناهنجاری‌های موفولوژیک و تبعات نامطلوب زیست‌محیطی تلقی می‌شود. با استفاده از تونل کنارگذر و انتقال مستقیم رسوب به پایین‌دست، از بروز پدیده آب صاف و پیامدهای نامطلوب آن جلوگیری می‌گردد. (جزییات تفصیلی در خصوص استفاده از تونل کنار گذر در مدیریت مخازن در مرجع [۳۹] و [۶۹] ارائه شده است)

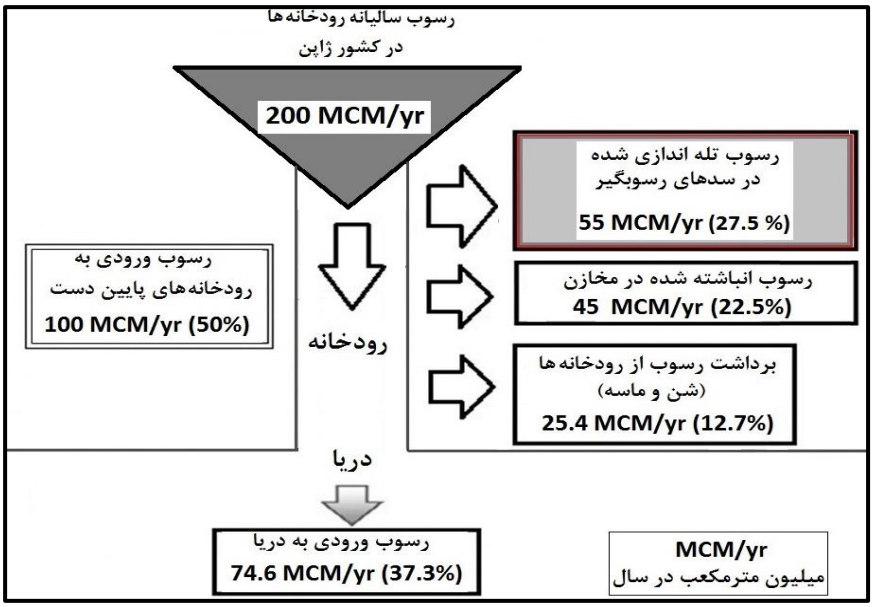
در خصوص سد میوا، با تلفیق روش پیشگیرانه (احداث سدهای رسوبگیر) و اقدامات علاج‌بخشی (نظیر لایروبی و احداث تونل کنارگذر) امکان مهار ۹۲/۶٪ از بار رسوبی ورودی میسر گردیده و فقط ۷/۴٪ آن در مخزن انباشته می‌شود (لازم به ذکر است در روش‌های متداول یا سنتی قریب ۹۵٪ رسوب ورودی به مخزن تله‌اندازی شده و حدود ۵٪ آن از مخزن خارج می‌شود) در نقشه شکل (۲-۱۰)، استفاده گسترده از سدهای رسوبگیر در مدیریت رسوب ورودی به مخازن سدها در کشور ژاپن معرفی شده است. [۳۹]

سدهای رسوبگیر در تنظیم بیلان رسوب رودخانه‌ها با هدف مدیریت بهره‌برداری پایدار از منابع آب و رسوب از جایگاه مهمی برخوردار می‌باشند. مطابق شکل (۲-۱۱) در بیلان رسوب رودخانه‌های کشور ژاپن که در قالب مدیریت جامع رسوب[1] با هدف تغییر بنیادین از شیوه سنتی انباشت مستمر رسوب در مخزن به سیاست تخلیه رسوب و حفظ ظرفیت مفید تدوین گردیده است [۳۹ و ۴۰]، نقش سدهای رسوبگیر در مهار رسوب سالیانه رقم شاخصی معادل ۲۷/۵٪ می‌باشد.

1- Comprehensive Sediment Management Programm



شکل ۲-۱۰- نقشه موقعیت سدهای رسوبگیر در بالادست مخازن سدهای ذخیره‌ای در کشور ژاپن [۳۹]



شکل ۲-۱۱- نقش سدهای رسوبگیر در مهار رسوب ورودی به مخازن سدها و بیلان رسوب رودخانه‌ها در کشور ژاپن [۴۰]

نمونه دیگر از کاربرد سدهای رسوبگیر در سطح جهانی، استفاده از دو سد رسوبگیر بالادست سد مخزنی کولخانی[1] در کشور نپال (با حجم اولیه ۸۵ MCM) می‌باشد که با هدف حفظ ظرفیت مخزن و تداوم تولید نیروی برقابی احداث گردیده و جزییات آن در مرجع [۷۰] ارائه شده است. ارتفاع سدهای احداث شده ۹ و ۱۴ متر و مجموع ظرفیت تله‌اندازی آن‌ها ۱/۸ MCM می‌باشد. با تخلیه دوره‌ای، ظرفیت سدها برای پذیرش بار رسوبی سیلاب‌ها محقق می‌گردد. همچنین احداث سدهای رسوبگیر در بالادست مخزن سد سایگمون[2] در فرانسه، سدهای رسوبگیر در بالادست مخزن کال کانیون[3] در کالیفرنیا، سدهای رسوبگیر متوالی با مجموع ظرفیت ۳۶ MCM در بالادست مخزن شی‌من[4] در تایوان ظرفیت اولیه ۲۹۰ MCM) و سدهای رسوبگیر احداث شده در بالادست مخازن موجود در مسیر رودخانه زرد[5] در چین، از دیگر مواردی است که جزییات آن‌ها در مرجع شماره [۷۱] ارائه شده است.

1- Kulekhani Reservoir - Nepal
2- Saigmon Dam, France
3- Cull Canyon Reservoir, California
4- Shihman Reservoir- Taiwan
5- Yellow River- The Downstream Reservoirs

فصل ۳

مطالعات پایه و تخصصی مورد نیاز در طراحی سدهای رسوبگیر

سدهای رسوبگیر را می‌توان از جمله اقدامات مهندسی رودخانه تلقی نمود که علاوه بر مهار بار رسوبی، بر تسکین سیلاب‌ها نیز موثر بوده و با برقراری شرایط متوازن مورفولوژیک، به عنوان بخشی از سامانه مدیریت و بهره‌برداری از منابع آب و رسوب رودخانه‌ها، احداث می‌گردند. از این‌رو جانمایی و تعیین مبانی طراحی و تضمین عملکرد مطلوب آن‌ها، در گرو انجام مراحل مطالعات پیدایش، مطالعات توجیهی، طراحی پایه و تفصیلی، اجرا، راه‌اندازی، تحویل و بهره‌برداری می‌باشد. جزییات بیش‌تر در این خصوص در این فصل ارائه شده است.

۳-۱- زمین‌شناسی، ژئوتکنیک (مکانیک خاک) و منابع قرضه

در طراحی و جانمایی و ساخت سدهای رسوبگیر، مطالعات زمین‌شناسی عمومی و مهندسی و بررسی‌های ژئوتکنیکی دارای اهمیت زیادی است. سدهای رسوبگیر تحت تاثیر مستمر جریان آب و تهاجم سیلاب‌ها بوده و برای تضمین استحکام و پایداری آن‌ها، علاوه بر بارهای استاتیکی و دینامیکی وارده بر سازه، مقابله با تبعات وقوع پدیده نشت[1]، رگاب[2]، فشار برکنش[3]، بررسی‌های دقیق مشخصه‌های زمین‌شناختی لایه‌های زیرین، عمق آبرفت، خصوصیات مکانیکی خاک و پی، موقعیت و ماهیت سنگ بستر را طلب می‌کند. به‌علاوه در انتخاب محل سد رسوبگیر، لازم است در راستای مطالعات پایه و ارزیابی آورد رسوب رودخانه، پتانسیل وقوع زمین‌لغزه‌ها، کوه‌ریزش‌ها، جریان‌های‌گلی و واریزه‌ای و فرایند روانگرایی که متاثر از خصوصیات زمین‌شناسی محدوده مطالعاتی و سازندهای سطحی حوضه آبریز می‌باشند، مد نظر قرارگیرد.

۳-۱-۱- مطالعات زمین‌شناسی

در مطالعات سدهای رسوبگیر، ضمن جمع‌آوری آمار و اطلاعات زمین‌شناسی منطقه طرح نظیر نقشه‌های زمین‌شناسی، نقشه‌های توپوگرافی و راه‌های دسترسی، نوسانات سطح آب زیرزمینی، زمین‌لرزه‌های تاریخی و چینه‌شناسی عمومی و نظایر آن، بعضی نکات فنی مورد نظر را می‌توان به صورت زیر عنوان نمود: [۱۲، ۷۲]

۳-۱-۱-۱- زمین‌شناسی عمومی

شامل مشخصات و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی عمومی، درجه هوازدگی و خردشدگی توده‌های سنگی، شیستواری و تورق، چینه‌شناسی، توصیف سازندهای موجود، ژئومورفولوژی محدوده، زمین‌ساخت محدوده طرح و سایر مشخصات زمین‌شناسی نظیر سازندها، سنگ‌ها و نهشته‌های قابل فرسایش و رسوب‌زای منطقه (با ارائه نقشه میزان فرسایش‌پذیری

1- Seepage
2- Piping
3- Up Lift Pressure

و رسوب‌زایی مرتبط با شرایط زمین‌شناسی منطقه و استعداد بالقوه ریزش توده‌ای و وقوع فرسایش‌های آبکندی) و نظایرآن

۳-۱-۱-۲- بررسی جنبه‌های زمین‌شناسی مهندسی

وجود گسل‌ها (فعال و غیر فعال)، سطوح برشی، درز و شکاف‌ها، چین‌خوردگی، مطالعه تکتونیک و پتانسیل زمین‌لرزه و زمین‌لرزه‌های ثبت شده، مقاطع زمین‌شناختی مهندسی، بررسی ساختگاه از نظر ویژگی‌های مهندسی سنگ، نفوذپذیری و مشخصات نهشته‌های رسوبی و آبرفت و سایر مشخصات زمین‌شناسی مهندسی محدوده طرح نظیر مناطق برداشت شن و ماسه، معادن و سایر دستکاری‌های مصنوعی زمین

۳-۱-۱-۳- وضعیت آب‌های سطحی

رژیم هیدرولوژیکی رودخانه (جریان‌های روزانه، تغییرات فصلی و کمیت سیلاب‌ها)، وجود چشمه‌ها، مشخص کردن بازه‌های زمانی پرآبی و کم‌آبی و پریود سیلابی با استناد به رژیم هیدرولوژی رودخانه

۳-۱-۱-۴- وضعیت آب زیرزمینی

موقعیت سطح آب زیرزمینی (نقشه ایزوپیز سفره آب زیرزمینی)، وجود لایه‌های تراوا و ناتراوا (سفره‌های آزاد و تحت فشار)، تاثیرگسل‌ها و شکاف‌ها بر جریان آب زیرزمینی، تاثیر آب بر کیفیت مواد و مصالح مورد استفاده در سازه سد و تاثیر سد بر وضعیت آب زیرزمینی

۳-۱-۱-۵- بعضی جنبه‌های خاص زمین‌شناسی

احتمال وقوع پدیده نشست[1] و فرونشست[2] در محدوده مطالعاتی و بررسی موارد حادث شده در منطقه، وجود سازندهای فرسایشی حاد[3] (خاک‌های با بافت رسی) در بالادست سازه، وجود لایه‌های خاک و سنگ با پتانسیل لغزش توده‌ای

۳-۱-۱-۶- موضوعات مرتبط با گودبرداری[4]

خصوصیات فیزیکی و مکانیکی مواد و مصالح گودبردای، انفجارپذیری توده‌های سنگ، ضرورت شیب‌بندی و تعدیل شیب گودبرداری، حفاظت شیب‌ها در مقابل پدیده فرسایش، مدیریت زهاب حاصل از گودبرداری، بررسی ضرورت جابجایی سازه‌ها و مستحدثات موجود در محدوده گودبرداری

1- Settlement
2- Subsidence
3- Badlands
4- Excavation Problems

۳-۱-۱-۷- اقدامات برای عملیات خاکریزی[1] و ترمیم گودال‌ها و فرو چاله

پرکردن و تسطیح گودال (گودال‌ها و فروچاله‌های) موجود، محافظت در برابر پدیده فرسایش، ایجاد راه دسترسی

۳-۱-۱-۸- بازدیدهای میدانی و توصیه‌های لازم برای انجام آزمایش‌های صحرایی و بررسی‌های اکتشافی

موقعیت چاهک‌های شناسایی، گمانه‌ها برای تدارک داده‌های مورد نیاز طراحی پی‌سد[2] و سازه‌های جانبی. در بررسی‌های اکتشافی برای سدهای رسوبگیر با توجه به محدود بودن عمق حفاری، فاصله چاهک‌ها بین ۳۰ تا ۱۵۰ متر توصیه شده است. [۱۲، ۱۳، ۱۴]

۳-۱-۲- مطالعات ژئوتکنیک و مکانیک خاک

تعیین نیازهای طراحی، نوع و روش ساخت سدهای رسوبگیر، مستلزم انجام مطالعات ژئوتکنیک و خصوصیات مکانیک خاک، نمونه‌برداری و انجام آزمایش‌های صحرایی و آزمایشگاهی می‌باشد. در این خصوص، بعضی جنبه‌های فنی مورد نظر از دیدگاه ژئوتکنیک و مکانیک خاک را می‌توان به صورت زیر عنوان نمود: [۱۲، ۷۲]

۳-۱-۲-۱- تهیه دستورالعمل انجام عملیات حفاری و نمونه‌برداری زیر پی و سازه‌های جانبی و محل منابع قرضه

- حفاری‌های اکتشافی در ساختگاه سد به روش دستی (حفر چاهک[3]) در محل‌های مشخص شده (پی سد، تکیه‌گاه‌ها، محل گودبرداری) و محل (محل‌های) منابع قرضه انجام می‌شود.
- فاصله و عمق گمانه‌ها که بسته به ابعاد سازه سد، وضعیت توپوگرافی و شرایط زمین تغییر می‌کند. برای مرحله توجیهی همان‌طوری‌که در بند ۳-۱-۱ نیز اشاره شد، فاصله گمانه‌ها در حالتی که سازند بستر عموما کیفیت ضعیفی دارد، باید کاهش یابد. برای سازندهای سست و ضعیف (اعم از پی سد و تکیه‌گاه‌ها)، عمق حفاری باید تا رسیدن به مصالح متراکم ادامه یابد. (به گونه‌ای که تنش وارده از سازه سد قابل چشم‌پوشی باشد)
- در صورت برخورد به سنگ کف، گمانه‌ها حدود ۱/۵ متر در سنگ سالم و ۳ تا ۵ متر در سنگ هوازده، ادامه می‌یابد.
- به منظور روشن ساختن وضع آب زیرزمینی و کیفیت مصالح مورد استفاده برای خاکریزی و پرکردن فروچاله‌ها و راه دسترسی، تعدادی گمانه نیز در خارج از ساختگاه سد حفر می‌شود.

1- Fill
2- Foundation Engineering
3- Test Pit

- به طور کلی حفر چاه‌های اکتشافی در محل فونداسیون سد، تکیه‌گاه‌ها، سازه کف‌بند یا سد صلب برای تثبیت بستر در پایین‌دست سد اصلی، محل منابع قرضه، مسیر جاده دسترسی و شیب‌زنی برای دسترسی به سد و مخزن ضروری می‌باشد.
- عموما عمق گمانه‌ها برای منابع قرضه و شیب‌زنی در مسیر جاده دسترسی، معادل ۱/۵ متر پایین‌تر از تراز گودبرداری است. درصورت برخورد به آب زیرزمینی، عمق حفاری تا ۳ متر پایین‌تر از تراز کف پی سازه ادامه می‌یابد. [۱۲، ۶۴]

۳-۱-۲-۲- اخذ نمونه‌های خاک، سنگ و آب و همچنین نمونه‌های مناسب از منابع قرضه سنگ و خاک

برداشت نمونه نقطه‌ای رطوبت، برداشت نمونه میانگین، برداشت نمونه دست نخورده، تهیه نمونه آب زیرزمینی و آب سطحی (جریان رودخانه)، تهیه نمونه خاک ریزدانه متراکم (بلوکی یا استوانه‌ای)، تهیه نمونه سنگ (با استفاده از روش‌های انفجاری، ترانشه‌زنی یا حفاری) و درج محل و عمق اخذ هر نمونه و تاریخ نمونه‌برداری، لوگ حفاری چاهک و گمانه‌های اکتشافی (نمونه‌برداری براساس دستورالعمل دفتر فنی عمران آمریکا)

۳-۱-۲-۳- انجام آزمایش‌های صحرایی تعیین شده

دانه‌بندی صحرایی مصالح درشت‌دانه و ارسال نمونه دانه‌های عبور داده شده از الک ۳ اینچ به آزمایشگاه (حدود ۲۰۰ کیلوگرم)، آزمایش ضربه[1] و نفوذ استاندارد[2] (S.P.T./C.P.T.)، طبق ضابطه ۲۲۴ سازمان برنامه و بودجه کشور با عنوان «دستورالعمل آزمایش نفوذ استاندارد (S.P.T) در مطالعات ژئوتکنیک» و نیز ضابطه ۷۳۵ سازمان برنامه و بودجه کشور با عنوان «راهنمای روش انجام آزمایش نفوذ مخروط شبه ایستا (C.P.T)»، آزمایش دانسیته در محل [۱۳، ۱۵]

۳-۱-۲-۴- انجام آزمایش‌های آزمایشگاهی خاک، سنگ و نمونه‌های آب تعیین شده

آزمایش دانه‌بندی، دانسیته خاک (ریزدانه و درشت‌دانه)، رطوبت طبیعی، حدود اتربرگ، تراکم ساده و اصلاح شده، طبقه‌بندی خاک، مقاومت فشاری تک محوری، آزمایش برش مستقیم، آزمایش‌های سه محوری، آزمایش‌تحکیم و نمودار نسبت تخلخل، ضریب نفوذپذیری، ضرایب Φ و c، آزمایشات شیمیایی خاک، نمونه‌های آب (بررسی احتمال وجود عناصر مضر برای بتن، فولاد و سایر مصالح مورد استفاده در سازه سد و تاسیسات مربوطه)، تعیین ارزش ماسه‌ای، آزمایش لس‌آنجلس، مقاومت در مقابل قلیایی‌ها، تحلیل در سولفات، هدایت الکتریکی، تعیین وزن مخصوص و جذب آب (آماده‌سازی نمونه‌ها و انجام آزمون‌های مکانیک خاک و آزمایش‌های شیمیایی بر اساس استاندارد ASTM. [۱۵، ۱۶، ۷۲]

1- Cone Penetration Test
2- Standard Penetration Test

۳-۱-۳- منابع قرضه

ساختار سدهای رسوبگیر که با هدف تله‌اندازی بار بستر احداث می‌گردند، به گونه‌ای است که جریان ورودی با تاثیرپذیری اندکی به پایین‌دست هدایت گردیده و بر خلاف سدهای مخزنی یا انحرافی، ذخیره‌سازی و بهره‌برداری از آب مدنظر نبوده و به دلیل مجاری موجود در بدنه سازه، تخلیه مستمر جریان و زهکشی کامل مصالح انباشته شده در پشت سد محقق می‌گردد (دلیل اطلاق سدهای باز[1]). از این‌رو منابع قرضه مورد استفاده در سدهای رسوبگیر را می‌توان با توجه به نوع سازه سد در سه گروه عمده زیر مورد بررسی قرار داد: [۶۰، ۶۲]

۱- سدهای رسوبگیر از نوع سنگ و سیمان[2]

۲- سدهای رسوبگیر بتنی[3]

۳- سدهای رسوبگیر تلفیقی[4] (بتن و مصالح سنگی)

لازم به ذکر است بر خلاف سدهای ذخیره‌ای یا انحرافی، در احداث سدهای رسوبگیر باز، به منظور تحقق برقراری زهکشی و هدایت کامل جریان آب به پایین‌دست، استفاده از مصالح خاکی در بدنه متداول نبوده و مصالح سنگی که دارای ایستایی و تراوایی بالایی هستند، از کاربرد زیادتری برخوردار می‌باشند. هرچند حسب اهداف و شرایط موجود، استفاده از گزینه سازه‌ای ۱ یا ۲ می‌تواند مطرح شود، اما در اغلب موارد به دلیل ملاحظات اقتصادی و ضرورت استحکام و پایداری، استفاده تلفیقی از بتن مسلح برای مجرای باز و سنگ و سیمان و یا قطعات سنگ برای مابقی بدنه سد، متداول می‌باشد.
نظر به نقش سدهای رسوبگیر در مهار بار رسوبی و تعدیل شیب و کاهش انرژی سیلاب‌ها، سدهای رسوبگیر در زمره سازه‌های پایداری تلقی می‌شوند که شکست و اضمحلال آن‌ها اثرات نامطلوبی را بر شرایط هیدرولیکی و مورفولوژیکی متوازن موجود در پی دارد. از این‌رو تداوم عملکرد مطلوب آن‌ها مستلزم استفاده از مصالح مرغوب و انتخاب منابع قرضه مناسب می‌باشد. در ذیل بعضی جنبه‌های فنی مورد نظر از دیدگاه منابع قرضه را می‌توان به صورت زیر عنوان نمود: [۱۲، ۷۲]

۳-۱-۳-۱- بررسی مشخصات مصالح درشت‌دانه

تعیین موقعیت و کمیت منابع قرضه شن و ماسه مورد استفاده در ساخت بتن، ملات ماسه سیمان، مصالح فیلتر و بررسی آزمایشگاهی و تعیین توزیع دانه‌بندی، لازم است بر اساس طبقه‌بندی متحد (یونیفاید) یا آشتو، صورت پذیرد.

1- Open Sediment Retention Dams
2- Masonery Dams
3- Concrete Dams
4- Dams with Concrete and Rock Material

۳-۱-۳-۲- بررسی مشخصات مصالح سنگی

شناسایی منابع قرضه رودخانه‌ای (قطعات سنگ انتقال‌یافته توسط جریان رودخانه و همچنین منابع کوهی (معادن سنگ موجود در محدوده مطالعاتی و نواحی مجاور) و بررسی کیفیت آن‌ها از نظر اندازه، ویژگی دوام و تاب مکانیکی، بایستی صورت پذیرد. همان‌طوری‌که در بالا اشاره شد، در احداث سدهای رسوبگیر، استفاده از مصالح سنگی بسیار متداول بوده و در این خصوص از جمله ویژگی‌های شاخص سنگ، سازگاری مطلوب آن با محیط‌زیست و اقتصادی بودن آن می‌باشد.

به طور کلی در استفاده از مصالح سنگی در سدهای رسوبگیر، توجه به نکات زیر توصیه می‌شود:

- یکنواختی و همگنی بافت سنگ (عدم وجود شیار، ترک و خلل و فرج)
- پایین بودن درصد جذب آب (بین ۰/۵ تا ۳ درصد)
- مقاوم در مقابل یخ‌زدگی (حداکثر افت وزنی ۵ درصد)
- مقاومت در برابر سایش (افت آزمایش لس آنجلس حداکثر ۱۸ درصد)
- دارای مقاومت فشاری و پایایی و دوام کافی (مقاومت فشاری مساوی یا بیش‌تر از ۵۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع)

۳-۱-۳-۳- آب و سیمان برای ساخت بتن و بتن مسلح

- رعایت مفاد آیین‌نامه بتن ایران (آبا) در تولید بتن یا طرح اختلاط (استفاده از آب منابع رودخانه‌ای یا زیرزمینی، سیمان مصرفی و سنگدانه (شن و ماسه)
- استفاده از بتن مسلح (ترکیب میل‌گرد و بتن) منطبق بر آیین‌نامه بتن ایران و همچنین کیفیت و عمل‌آوری بتن منطبق بر آیین‌نامه بتن ایران

۳-۲- مطالعات اقتصادی، اجتماعی، حقوقی و تملک اراضی

سدهای رسوبگیر دارای کاربردهای مختلفی بوده و از این‌رو، بررسی‌های اقتصادی، اجتماعی و ملاحظات حقوقی و تملیک اراضی، به تبعیت از اهداف پروژه دارای ابعاد متفاوتی است. بعضی جنبه‌های شاخص کاربرد سدهای رسوبگیر را که در تصمیم‌گیری‌های اقتصادی و اجتماعی، تاثیر زیادی دارند، می‌توان به صورت زیر عنوان نمود: [۶۰، ۶۱، ۷۱]:

۱- تله‌اندازی بار بستر ورودی به مخازن سدها
۲- تعدیل سیلاب‌ها (استهلاک بخشی از انرژی سیلاب و کاهش اوج آن) و برقراری شرایط ایمن در پایین‌دست (مناطق زراعی، مسکونی، صنعتی و تفریحی)
۳- تعدیل تغذیه رسوبی رودخانه و جلوگیری از انباشت موضعی و بی‌رویه بار بستر حمل شده توسط سیلاب‌های غیرمترقبه در بازه‌های حساس که موجب تشدید خطر سیلاب و انحراف مسیر رودخانه می‌شود.

۴- تعدیل شیب و مهار قطعات سنگ، لاشه سنگ، الوار و اشجار حاصل از جریان‌های سیلابی که خطر انسداد پل‌ها و تهدید زیرساخت‌ها، تاسیسات، ساختمان‌ها و مستحدثات را در پی دارد.

بدیهی است هریک از موارد چهارگانه فوق صرفنظر از جنبه‌های اقتصادی، از دیدگاه اجتماعی و ملاحظات مدیریتی و تحقق رضایت عامه، از جایگاه بس مهمی برخوردار می‌باشند. به طور کلی سدهای رسوبگیر را می‌توان بخش مهمی از سلسله اقدامات مهندسی رودخانه، با هدف مدیریت رسوب مخازن و ساماندهی و مهار سیلاب‌ها از دیدگاه اقتصادی و اجتماعی و حفاظت از زیر ساخت‌ها، قلمداد نمود که استفاده از آن‌ها برای تضمین عملکرد مطلوب سازه‌های کنترل سیلاب، نظیر دیواره‌های سیل‌بند، آبشکن‌ها و برقراری شرایط متوازن هیدرولیکی و عملکرد مطلوب مورفولوژیک و ملاحظات زیست‌محیطی مورد تاکید متخصصین در راستای تحقق اهداف توسعه پایدار می‌باشد [۶۰، ۶۱، ۷۲]. در ذیل جزییات بیش‌تری در خصوص ملاحظات اقتصادی، اجتماعی، مسائل حقوقی و تملیک اراضی برای احداث سدهای رسوبگیر ارائه شده است.

۳-۲-۱- مطالعات اجتماعی

- با احداث سد رسوبگیر و افزایش تراز آب و انباشت رسوبات و شکل‌گیری مخزن، بخشی از اراضی و زمین‌ها و مستحدثات موجود در حاشیه رودخانه و ناحیه سیلابدشت مستغرق گردیده و بر کانون‌های جمعیتی و عرصه‌های زراعی و اعیانی و سازه‌های متقاطع نظیر پل‌ها و تاسیسات جانبی همانند سردهنه‌ها و کانال‌ها و به طورکلی بخشی از فعالیت‌های اقتصادی و خدمات اجتماعی، از احداث سد تاثیرگذار است. از طرفی حسب ماهیت پروژه، احداث سدهای رسوبگیر به صورت منفرد و در مواردی نیز به طور متوالی، ضروری بوده و از این‌رو ابعاد و اثرات اجتماعی آن‌ها به تبعیت از ویژگی‌های طرح، متفاوت است.
- علاوه بر اثرات مخزن سد، ملاحظات اجتماعی در خصوص احداث راه دسترسی به ساختگاه سد و نقل و انتقال ماشین‌آلات برای تخلیه مصالح و حمل آن به نقاط مصرف، به منظور جلب نظر ذینفعان و مالکین اراضی در مسیر ضروری است. به‌علاوه برخلاف سدهای مخزنی، به دلیل محدودیت ارتفاع، وسعت اراضی تاثیرپذیر از سدهای رسوبگیر کم‌تر بوده و جانمایی و انتخاب مقاطع مناسب برای احداث سد (سدهای) رسوبگیر با هدف کاهش تبعات اجتماعی و خسارت مخزن (تملک و تصرف اراضی)، از انعطاف‌پذیری بیش‌تری برخوردار می‌باشد.
- در مواردی نیز برای کاهش دامنه تبعات اجتماعی، احداث خاکریز در اطراف مخزن با هدف کاهش وسعت اراضی تملیکی توصیه شده است [۶۱]. احداث خاکریز به شرط توجیه اقتصادی، عموما در بازه‌هایی از رودخانه که دارای شیب ملایمی بوده (کم‌تر از ۰.۱٪) و رودخانه دارای سیلابدشت عریض و با کاربری‌های عمرانی و منابع معیشتی می‌باشد، راهکار مناسبی از نظر کاهش خسارت مخزن تلقی می‌شود. (در عین حال احداث خاکریز با توجه به افزایش هزینه‌ها در مواردی می‌تواند طرح را غیر اقتصادی کند)

با عنایت به موارد فوق، بعضی جنبه‌های مورد نظر از دیدگاه مطالعات اجتماعی سدهای رسوبگیر را می‌توان به صورت زیر عنوان نمود:

۳-۲-۱-۱- بررسی وضعیت جمعیتی و معیشتی منطقه

در این مرحله، لازم است اطلاعات و گزارش‌های مربوط به وضعیت اجتماعی، ساختار و کانون‌های جمعیتی، بهره‌برداران حاشیه رودخانه، نقشه موقعیت روستاها و راه‌های دسترسی و زیر ساخت‌ها، نقشه کاداستر، وضعیت معیشتی، مشاغل منطقه (کشاورزی، تولیدی و خدماتی) مد نظر قرارگیرد. [۱۳، ۱۷، ۱۸]

۳-۲-۱-۲- بررسی آثار احداث سد رسوبگیر بر وضعیت اجتماعی محدوده طرح

- امکان استفاده از مصالح مخزن سد رسوبگیر به عنوان منبع تولید شن و ماسه

سدهای رسوبگیر احداثی بر روی رودخانه‌ها، با تله‌اندازی شن و ماسه منابع بسیار ارزشمندی از نظر تامین مصالح مورد نیاز فعالیت‌های مختلف عمرانی بوده و از آن جایی که مواد ریزدانه و عناصر ضعیف این مصالح طی فرایند طبیعی انتقال، شسته شده‌اند، از نظر ترکیب دانه‌بندی و استحکام برای استفاده‌های متنوع نظیر زیرسازی راه‌ها، احداث خاکریزهای سیل‌بند، ساخت سدهای خاکی، تولید فیلترهای ماسه‌ای، احداث آبشکن، تولید مصالح ساختمانی نظیر بتن، بلوک‌های سیمانی، آجر سیمانی، تهیه آسفالت و نظایر آن از جایگاه مهمی در عرصه فعالیت‌های اقتصادی و اجتماعی برخوردار می‌باشند. [۴۰،۳۹]

- در مطالعات اجتماعی، سدهای رسوبگیر جایگزین مناسبی برای برداشت مستقیم شن و ماسه از بستر رودخانه‌ها (که اغلب به دلیل برداشت‌های غیر اصولی ناشی از عدم وجود معیارهای کارشناسی، تهدید استحکام سازه‌ها و بروز ناهنجاری‌های عدیده‌ای را سبب می‌گردد) بوده و درصورت فراهم شدن شرایط بهره‌برداری از مصالح (وجود یا احداث راه‌های دسترسی، کانون‌های مصرف)، امکان مشارکت‌های مردمی، ایجاد اشتغال و درآمد پایدار و بهبود وضعیت اجتماعی را در پی دارند.

۳-۲-۱-۳- نقش سدهای رسوبگیر در تسکین سیلاب‌ها و تعدیل شیب و تغذیه رسوبی رودخانه‌ها و اثرات اجتماعی آن

- فرایند تله‌اندازی بار بستر در سدهای رسوبگیر، بر اصل پدیده پس‌زدگی آب استوار بوده (ناشی از کاهش مقطع طبیعی جریان توسط سازه سد) و بسته به ابعاد مجاری، تمام یا بخشی از بار بستر تله‌اندازی می‌شود. بدیهی است پدیده پس‌زدگی به نوبه خود هیدروگراف جریان ورودی را نیز متاثر نموده و بده حداکثر لحظه‌ای خروجی کاهش می‌یابد. از این دیدگاه، عملکرد سدهای رسوبگیر را می‌توان به‌طور بالنسبه مشابه سدهای

تاخیری[1] عنوان نمود که با کاهش اوج سیلاب، کاهش خطرات سیل را نیز در پی دارد. بدیهی است این ویژگی را می‌توان از نظر اثرات اجتماعی، وجه شاخصی برای عملکرد سدهای رسوبگیر تلقی نمود.

- تعدیل شیب و تنظیم تغذیه رسوبی رودخانه‌ها، از دیگر جنبه‌های کاربردی سدهای رسوبگیر برای اجتناب از تجمع موضعی رسوبات حمل‌شده توسط سیلاب‌ها در مقاطع حساس نظیر گلوگاه‌ها[2]، پل‌ها، تلاقی آبراهه‌ها، بازه‌های عریض و بازه‌های شهری می‌باشد که با افزایش اصطکاک و انحراف جریان، موجبات تشدید خسارت سیلاب و بروز ناهنجاری‌های هندسی و به تبع آن مشکلات عدیده اجتماعی را سبب می‌گردد.
- در پی بارش‌های متمرکز و وقوع سیلاب (به خصوص سیلاب‌های ناگهانی[3]) پتانسیل انتقال در مسیرهای دره‌ای پرشیب مناطق کوهستانی افزایش زیادی یافته و علاوه بر رواناب حاصل از رگبار، انبوه مواد رسوبی با طیف دانه‌بندی مختلف، همراه سیلاب به بازه‌های کوه‌پایه‌ای و مناطق دشتی کم شیب سرازیر گردیده و با تجمع موضعی و ایجاد ناهنجاری در مسیر جریان، موجبات تشدید خطر سیلاب‌ها را فراهم می‌آورند.
- با احداث سد رسوبگیر، این رسوبات تله‌اندازی گردیده و به تدریج همراه جریان‌های عادی به بازه‌های پایین‌دست منتقل و بدین طریق از بروز حوادث ناگوار اجتماعی ناشی از خسارت‌های مالی و جانی و آسیب‌دیدگی‌های فراگیر زیر ساخت‌ها، جلوگیری می‌گردد.
- به بیانی، سدهای رسوبگیر از جمله اقدامات جامع مهار سیلاب با هدف تحقق رفاه اجتماعی و ایمن‌سازی و توسعه پایدار تلقی می‌شود که ضروری است به موازات احداث خاکریزها و دیواره‌های سیل‌بند در بازه‌های مختلف شبکه رودخانه‌ای مد نظر قرارگیرد. [۶۴]
- در مطالعات اجتماعی، توجه به نقش سدهای رسوبگیر در عملکرد مطلوب خاکریزها و دیواره‌های سیل‌بند برای مهار سیلاب (تلفیق سازه‌های موازی و متقاطع) از جایگاه مهمی برخوردار بوده و لازم است علاوه بر کمیت سیلاب، دوره برگشتی مرتبط با طراحی سیل‌بندها (سازه‌های موازی)، شناخت قدرت سیل در انتقال مواد رسوبی و مهار آن توسط سازه سد رسوبگیر مد نظر قرارگیرد. مطابق شکل (۳-۱) تلفیق جریان و مواد رسوبی، قدرت تخریبی سیلاب و خسارات و تبعات اجتماعی آن را به طور چشمگیری افزایش می‌دهد که با احداث سد رسوبگیر، از تبعات مخرب آن می‌توان جلوگیری نمود.

1- Retarding Dams
2- Bottleneck
3- Flash Floods

نمونه‌ای از قدرت تخریبی سیلاب در بازه‌های کوهستانی- فرسایش حاد کناره‌ها و انتقال مواد واریزه‌ای و مصالح درشت- سیلاب فروردین ماه ۹۸- جاده سولقان

نمونه دیگر از توان فرسایشی و حمل مواد رسوبی و ناهنجاری‌های مورفولوژیک توسط سیلاب - سیلاب فروردین ماه ۹۸- تبدیل مسیر جاده به رودخانه در دلفان لرستان

شکل ۳-۱- مواردی از سیلاب‌های گلی و واریزه‌ای که قدرت تخریبی آن‌را نسبت به سیلاب معمولی به طور چشمگیری افزایش می‌دهد.

۳-۲-۲- مطالعات اقتصادی

در مطالعات اقتصادی، بررسی و تعیین ارزش ریالی هزینه‌های احداث سازه سد رسوبگیر، بهره‌برداری و نگهداری و مقایسه آن با منافع و مزایای حاصل از اجرای طرح، مد نظر می‌باشد. بدیهی است در ارزیابی مزایای احداث سدهای رسوبگیر، علاوه بر اثرات مهار رسوب ورودی به مخازن سدها، لازم است جنبه‌های تسکین سیلاب‌ها و کاهش خطرات ناشی از تجمع موضعی رسوبات حمل شده در مسیر رودخانه‌ها، مدنظر قرارگیرد. چنین فرایندی اغلب با در نظرگرفتن منافع محسوس[1] و غیر محسوس[2] حاصل از اجرای طرح، قابل ارزیابی است [۷۴]. بر این اساس، موضوعات مرتبط با مطالعات اقتصادی را می‌توان به صورت زیر عنوان نمود:

۳-۲-۲-۱- بر آورد هزینه‌ها

- هزینه‌های مستقیم (برآورد مقادیر، مصالح خاکی، مصالح سنگی، سیمان، فولاد، آب موردنیاز، هزینه‌های بالاسری، هزینه تجهیز کارگاه و هزینه‌های پیش‌بینی نشده)
- هزینه‌های غیر مستقیم (مشتمل بر خسارت مخزن، خرید اراضی محل احداث طرح و راه‌های دسترسی، هزینه خدمات مهندسی، هزینه‌های تعمیر، نگهداری و بهره‌برداری)

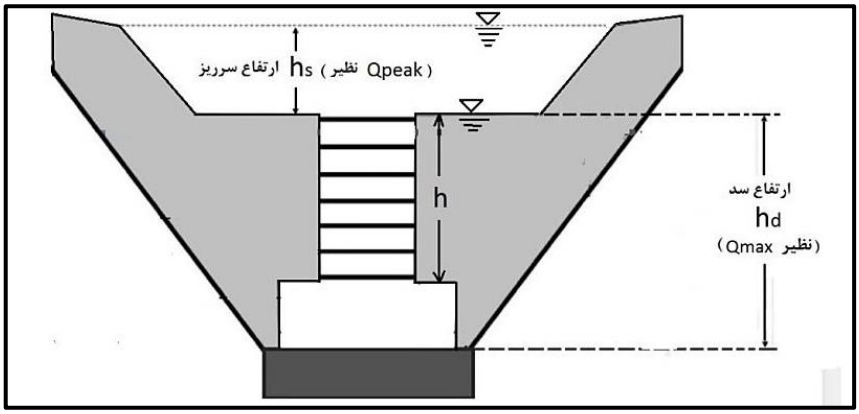
1- Tangible Benefits
2- Intangible Benefits

استفاده از دستورالعمل‌های مرتبط نظیر فهارس‌بهای مرتبط با واحد عملیات سدسازی، واحد عملیات آبیاری و زهکشی و فهارس‌بهای واحد عملیات راه، باند فرودگاه و زیرسازی راه و موارد مشابه، در ارزیابی هزینه‌ها می‌تواند مدنظر قرار گیرد.

تعیین خسارت مخزن از جمله موضوعات مهمی است که به دلیل دارا بودن وجه اجتماعی، از حساسیت بیش‌تری برخوردار می‌باشد. بدین منظور با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی مناسب (۱/۲۰۰۰ یا بزرگ‌تر) وسعت اراضی متاثر از طرح، تعیین گردیده و بر اساس نقشه‌های کاداستر جزییات مربوط به مشخصات هریک از مالکین، موقعیت و مساحت اراضی مشخص می‌گردد. در تعیین خسارت مخزن، ارزش کنونی اراضی و تاسیسات موجود که احتمالا مستغرق می‌گردند و یا در اثر استحصال مصالح مصرفی تخریب خواهند شد، مدنظر قرار می‌گیرد.

- نقش سیل طراحی در برآورد هزینه‌های طرح

هزینه‌های احداث سدهای رسوبگیر اعم از مستقیم یا غیر مستقیم و به خصوص خسارت مخزن، تابعی از ابعاد هندسی و تراز سیل طراحی، می‌باشد. برای تعیین ارتفاع سازه سد و ابعاد سرریز، مطابق شکل (۳-۲) انتخاب دو کمیت سیل متفاوت Qmax (برای تعیین ارتفاع سد یا hd) و Qpeak (برای تعیین ارتفاع سرریز یا hs) باید مدنظر قرارگیرد [۶۱]. در انتخاب سیل طراحی، ملاحظات اقتصادی مطابق آنچه که در مباحث بعد عنوان خواهد شد، مدنظر قرار می‌گیرد. در عین‌حال انتخاب سیل طراحی، تابعی از اهمیت و اهداف و حجم تله‌اندازی و میزان استهلاک سیلاب و همچنین درجه استحکام و ایمنی مورد انتظار و دوره بهره‌برداری سدهای رسوبگیر می‌باشد. در منابع موجود، طبق توصیه متخصصین برای Qmax، سیلاب با دوره بازگشت ۲۰ تا ۱۰۰ سال و برای Qpeak، انتخاب سیل ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ سال پیشنهاد شده است [۴۱، ۶۱، ۶۳، ۶۸]. علاوه بر منابع مزبور، انتخاب سیل طراحی سدها و کارهای مهندسی رودخانه به ترتیب در نشریه شماره ۱۶۷ طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور و همچنین ضابطه شماره ۳۱۶ سازمان برنامه و بودجه تشریح گردیده است. [۳۶،۳۵]



شکل ۳-۲- نقش سیل طراحی در تعیین ارتفاع سد رسوبگیر و ارتفاع سرریز و سایر ابعاد هندسی سازه [۶۱]

۳-۲-۲-۲- برآورد منافع یا سود حاصل از احداث سد رسوبگیر

- منافع محسوس (ملموس)

- از جمله منافع محسوس احداث سد رسوبگیر، کاهش رسوب ورودی به سد مخزنی است که می‌توان ارزش ریالی آن را از مقایسه حجم تله‌اندازی رسوب با هزینه تمام شده هر مترمکعب آب مخزن، تعیین نمود. به‌عبارتی با هر مترمکعب رسوب تله‌اندازی شده در سد رسوبگیر، یک مترمکعب از حجم مخزن در چرخه بهره‌برداری حفظ می‌شود. از طرفی ارزش ریالی هر مترمکعب آب مخزن، تابعی از نوع مصارف تعیین‌شده نظیر تامین آب شرب، نیاز کشاورزی، صنعت، تولید انرژی برقابی و کنترل سیلاب می‌باشد که اهمیت و اولویت آن‌ها می‌تواند متفاوت باشد. به عنوان مثال در اغلب موارد، تله‌اندازی مستمر بار بستر در سد مخزنی، موجب رشد دلتا و پیشروی رسوبات درشت‌دانه به سمت تاسیسات هیدروالکتریک و ایجاد اختلال و بعضا توقف در تولید انرژی الکتریکی می‌گردد. بدیهی است احداث سد رسوبگیر در بالادست مخزن و تله‌اندازی بار بستر، از وقوع چنین فرایندی جلوگیری نموده و لازم است ارزش ریالی تداوم بهره‌برداری از تاسیسات هیدروالکتریک، به عنوان منافع محسوس ناشی از احداث سد رسوبگیر مدنظر قرارگیرد. در مواردی نیز ضرورت تضمین تامین مستمر آب شرب و صنعت توسط سد مخزنی با احداث سد رسوبگیر در مقایسه با گزینه استفاده از منابع محدود آب زیرزمینی، می‌تواند به عنوان منافع محسوس مدنظر قرارگیرد.
- نوع دیگری از منافع محسوس را می‌توان تخلیه دوره‌ای رسوبات سد رسوبگیر و عمل‌آوری و عرضه آن به عنوان منابع شن و ماسه برای مصارف عمرانی، ساختمانی و صنعتی و توسعه اراضی زراعی، عنوان نمود. با فراهم شدن زمینه استحصال شن و ماسه از مخزن سد رسوبگیر با توجه به آورد طبیعی و مستمر آن توسط جریان رودخانه‌ای، منبع درآمد پایداری در منطقه طرح شکل می‌گیرد.
- وجه دیگر منافع محسوس حاصل از احداث سدهای رسوبگیر را می‌توان کاهش خسارت ناشی از استهلاک اوج سیلاب و تعدیل تغذیه رسوبی رودخانه‌ها عنوان نمود. همان‌طوری‌که در مطالعات اجتماعی عنوان گردید، اختلاط جریان سیل و رسوب (به خصوص مصالح درشت‌دانه و سنگ و لاشه‌سنگ)، تشدید خسارات و افزایش خطرات آن را در مناطق شهری و صنعتی در پی‌دارد. با کاهش بده حداکثر لحظه‌ای یا اوج (Qmax) مطابق شکل (۳-۳)، میزان خسارت سیلاب نیز کاهش می‌یابد که به عنوان منافع محسوس تلقی می‌شود [۶۷]. راهکارهای سازه‌ای کاهش اوج سیلاب، استفاده از مخازن سدها و احداث سدهای تاخیری است و عملکرد سدهای رسوبگیر در کاهش سیلاب را می‌توان تا حدودی مشابه سدهای تاخیری عنوان نمود.
- مطابق مندرجات جدول (۳-۱)، چنانچه با استفاده از روش تسکین سیلاب، کمیت اوج سیل ۲۵ سال به دو سال تقلیل یابد، متوسط خسارت وارده سالیانه از ۱۲۷۷۱ دلار به ۸۵۰۲ دلار کاهش یافته و منافع حاصله سالیانه معادل ۴۲۶۹ دلار خواهد بود.

معادلات حاکم در تعیین خسارت و منافع عبارتند از: [۷۴]

$$\overline{D_i} = \sum_{i=1}^{n} \Delta P_i \Delta D_i \qquad (۱-۳)$$

$$\Delta P_i = (P_i - P_{i+1}) / 100 \qquad (۲-۳)$$

$$\Delta D_i = (D_i + D_{i+1}) / 2 \qquad (۳-۳)$$

$$\overline{D_{ic}} = \sum_{i=1}^{n} \Delta P_i \Delta D_{ic} \qquad (۴-۳)$$

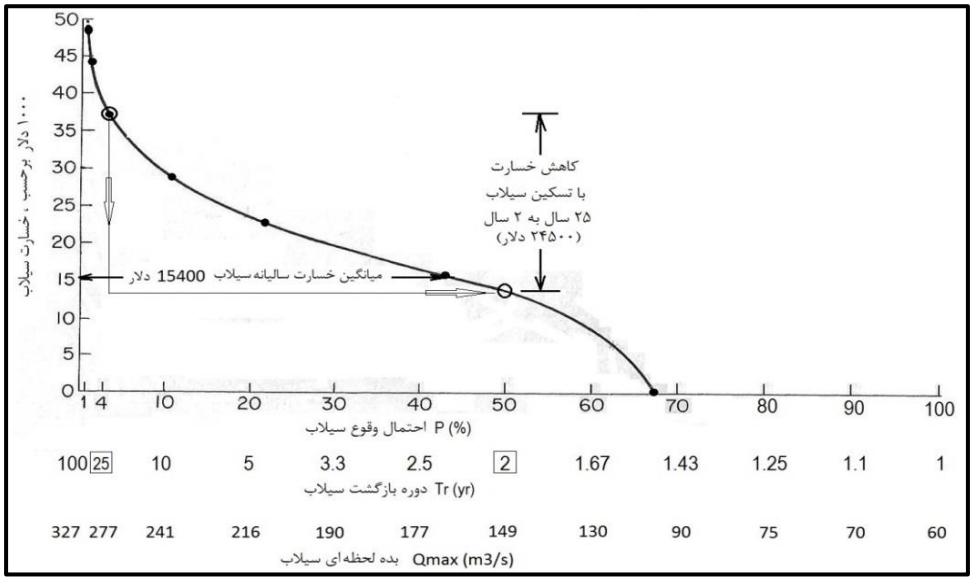
$$\Delta D_{ic} = (D_{ic} + D_{(i+1)c}) / 2 \qquad (۵-۳)$$

$$B = \overline{D_i} - \overline{D_{ic}} \qquad (۶-۳)$$

در روابط فوق $\overline{D_i}$: معرف متوسط خسارت سالیانه در شرایط طبیعی، P_i و P_{i+1}: احتمال وقوع سیلاب در کلاس i و $i+1$ (درصد)، D_i و D_{i+1}: خسارت وقوع سیلاب در شرایط طبیعی برای کلاس i و $i+1$، $\overline{D_{ic}}$: معرف متوسط خسارت سالیانه در شرایط انجام اقدامات کنترل سیلاب، D_{ic} و $D_{(i+1)c}$: خسارت وقوع سیلاب در شرایط اجرای طرح کنترل برای کلاس i و $i+1$، B: منافع حاصل از اجرای طرح کنترل و n: تعداد سیلاب‌ها با دوره بازگشت مختلف می‌باشد.

جدول ۳-۱- خسارت ناشی از سیلاب‌ها و متوسط خسارت سالیانه و میزان منافع حاصل از کنترل سیلاب برای یک رودخانه مفروض [۷۴]

(٪) احتمال وقوع سیلاب	Pi	۶۷/۵	۵۰	۴۳	۲۰	۱۰	۴	۱	۰/۵
(سال) خسارت سیلاب در حالت طبیعی	Tr	۱/۴۸	۲	۲.۳	۵	۱۰	۲۵	۱۰۰	۲۰۰
(دلار) خسارت سیلاب در حالت طبیعی	Di	۰	۱۴۰۰۰	۱۵۷۰۰	۲۳۴۰۰	۲۹۳۰۰	۲۵۳۰۰	۴۴۹۰۰	۴۸۵۰۰
(دلار) میانگین خسارت سالیانه در حالت طبیعی	$\bar{D}_i = \sum_{i=1}^{n} \Delta P_i \Delta D_i$	۱۲۷۷۱							
(دلار) خسارت سیلاب در حالت کنترل	Dic	۰	۱۴۰۰۰	۱۴۰۰۰	۱۴۰۰۰	۱۴۰۰۰	۱۴۰۰۰	۱۴۰۰۰	۱۴۰۰۰
(دلار) میانگین خسارت سالیانه در حالت کنترل	$\bar{D}_{ic} = \sum_{i=1}^{n} \Delta P_i \Delta D_{ic}$	۸۵۰۲							
(دلار) منافع سالیانه کنترل سیلاب	B	۴۲۶۹							



شکل ۳-۳- نمونه‌ای از منحنی خسارت - دوره بازگشت سیلاب‌ها و نحوه کاهش خسارت با تسکین سیلاب [۷۴]

- منافع غیرمحسوس (غیرملموس)

ارزیابی منافع غیرمحسوس با واحد پولی میسر نبوده و غالبا به منظور توجیه اجتماعی پروژه بررسی می‌شود. در این خصوص، از جمله منافع غیرمحسوس سد رسوبگیر را می‌توان به صورت زیر عنوان نمود: [۱۹]

- جایگزینی منابع شن و ماسه حاصل از تخلیه دوره‌ای با برداشت مستقیم مصالح از بستر رودخانه‌ها

این واقعیت محرز است که استخراج شن و ماسه از بستر رودخانه‌ها اغلب به دلیل برداشت‌های بی‌رویه، موجب وقوع فرسایش و گودافتادگی بستر در بالادست و پایین‌دست محل برداشت گردیده و این امر بروز ناهنجاری‌های زیان‌بار مورفولوژیک، افزایش خطر سیلاب‌ها، تهدید سلامت سازه‌های آبی، مستحدثات و زیرساخت‌ها و همچنین اختلال در تعادل زیست‌محیطی و اکوسیستم رودخانه‌ای را در پی دارد. گودافتادگی تراز بستر، ناپایداری و ریزش کناره‌ها، از دست رفتن خاک با ارزش زراعی و اضمحلال تدریجی مراتع و پوشش‌های گیاهی موجود در سیلابدشت و حواشی رودخانه، از دیگر تبعات برداشت غیراصولی مصالح از رودخانه‌ها می‌باشد[۲۰]. بدیهی است ارزیابی ریالی بسیاری از عوارض و تبعات نامطلوب مذکور، میسر نبوده و در عین حال از دیدگاه اجتماعی و الزامات حفظ هویت طبیعی رودخانه، ضرورت مقابله با آن‌ها محرز می‌باشد. از این‌رو جایگزینی مصالح سدهای رسوبگیر با برداشت مستقیم رودخانه‌ای،گزینه مناسبی تلقی می‌گردد که علاوه بر منافع ملموس حاصل از عرضه مصالح حاصله، مانع از بروز خسارت‌های برشمرده به سامانه رودخانه و جوامع انسانی گردیده و منافع غیرمحسوس شاخصی را در پی دارد.

- کاهش انرژی سیلاب و تعدیل تغذیه رسوبی رودخانه، از جمله اهداف سدهای رسوبگیر می‌باشد که بعضی جزییات آن در مباحث پیشین مطرح گردید. بدیهی است چنین فرایندی، اثرات تخریبی سیلاب‌ها و ایجاد ناهنجاری‌های هندسی ناشی از انباشت موضعی رسوبات و تمرکز و تفرق جریان را کاهش داده و به نوبه خود با

برقراری شرایط هیدرولیکی مناسب و ساختار مورفولوژیک پایدار، دامنه خسارت بر سازه‌های موازی و متقاطع و پیامدهای زیست‌محیطی را که بخشی از خسارات غیر ملموس می‌باشد، به طور محسوسی کاهش می‌دهد.

۳-۲-۲-۳- بررسی توجیه اقتصادی و انتخاب گزینه مناسب

الف – روش نسبت سود به هزینه

یکی از روش‌های متداول در تعیین گزینه مناسب و تعیین ابعاد بهینه سازه‌های آبی از جمله سدهای رسوبگیر، استفاده از نسبت منافع به هزینه‌ها[1] (B/C) می‌باشد. در این نسبت B، معرف مجموع منافع محسوس با ارزش حال[2] حاصل از احداث سد رسوبگیر و C، مجموعه هزینه‌های با ارزش حال (مستقیم و غیرمستقیم) موردنیاز طرح می‌باشد. [۱۳، ۱۹، ۷۵]

مطابق معیارهای اقتصاد مهندسی، معادلات اصلی حاکم برای تعیین ارزش حال هزینه‌ها و منافع طرح، ذیلا معرفی شده است: [۷۴]

۱- معادله تبدیل هزینه‌های اولیه احداث پروژه به ارزش حال در دوره اجرا:

$$(\frac{A}{P},i\%,n)=\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n-1}=\frac{A}{P} \qquad (۳-۷)$$

۲- معادله تبدیل هزینه‌های نگهداری یا منافع سالیانه پروژه به ارزش حال:

الف- درحالتی‌که هزینه‌ها یا منافع سالیانه متغیر باشد (با گرادیان مشخص):

$$(\frac{P}{G},i\%,n)=\frac{(1+i)^{n+1}-(1+ni+i)}{i^2(1+i)^n}=\frac{P}{G} \qquad (۳-۸)$$

ب- درحالتی‌که هزینه‌ها یا منافع سالیانه ثابت باشد، معادله مشابه ردیف ۱ خواهد بود.

۳- معادله تبدیل هزینه‌ها یا منافع در مقطع زمانی مشخص به ارزش حال:

$$(\frac{F}{P},i\%,n)=\frac{1}{(1+i)^n}=\frac{F}{P} \qquad (۳-۹)$$

۴- معادله تبدیل هزینه‌های مقطعی (تعمیرات و تعویض قطعات) به ارزش حال:

$$\sum_{k=1}^{m}(\frac{F}{P},i\%,n)_k=\sum_{k=1}^{m}[\frac{1}{(1+i)^n}]_k=\sum_{k}^{m}(\frac{F}{P})_k \qquad (۳-۱۰)$$

در جدول (۳-۲) علائم مورد استفاده در معادلات فوق معرفی شده است.

---

1 - Benefit-Cost ratio

2 - Present value

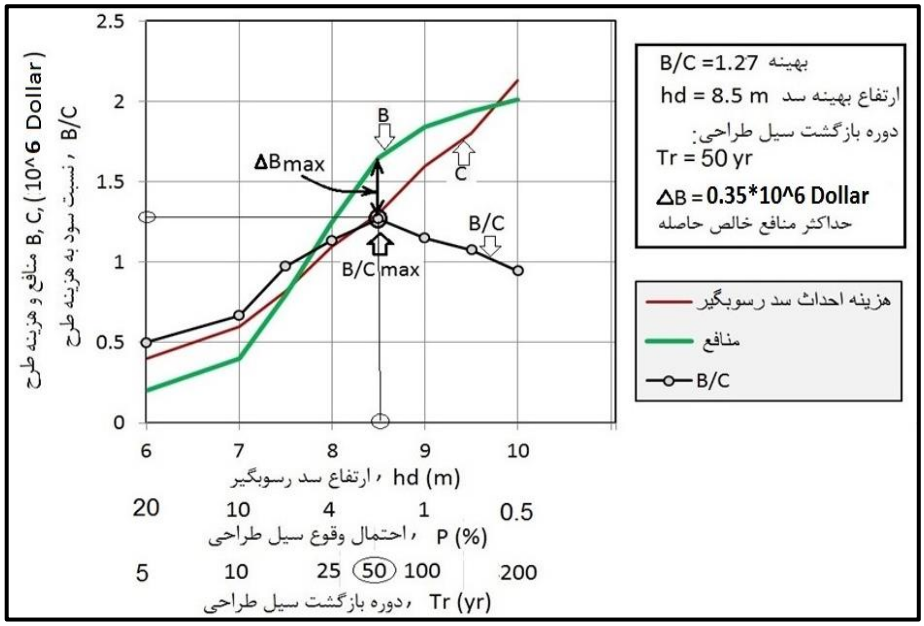
جدول ۳-۲- توصیف علایم مورد استفاده در معادلات اقتصاد مهندسی [۷۴، ۷۵]

P	F	G	A	k	n	I
ارزش حال هزینه یا منافع برای n سال	ارزش تجمعی هزینه یا منافع در n سال آینده	گرادیان هزینه یا منافع سالیانه برای n سال	ارزش هزینه یا منافع سالیانه	مقطع زمانی مشخص نسبت به زمان حال یا شروع پروژه	تعداد سال نسبت به زمان حال	نرخ بهره
Present worth of Benefit or cost	Future worth of Benefit or cost	Gradient series of Benefit or cost	Annual series of Benefit/cost	years	years	Discount rate
توضیح: در پروژه‌ها کمیت P برای هزینه‌ها معرف C یا Cost می‌باشد. برای منافع نیز P معرف B یا Benefit است که کمیت B/C از آن تعیین می‌شود.						

در سدهای رسوبگیر، ابعاد سازه و درجه ایمنی، تابعی از انتخاب سیل طراحی[1] با دوره بازگشت معین می‌باشد. بدیهی است با افزایش دوره بازگشت، کمیت سیلاب افزایش یافته و متناسبا ابعاد سازه و هزینه اجرای طرح و به موازات آن، درجه ایمنی و منافع حاصله نیز رو به افزایش می‌گذارد. در عین حال مطابق معیارهای اقتصاد مهندسی، فقط طرحی دارای توجیه اقتصادی است که شرط $B/C \geq 1$ برقرار باشد و برای مقادیر کم‌تر از یک ($B/C < 1$) طرح فاقد توجیه اقتصادی است.

- در نمودارهای شکل (۳-۴)، تحلیل اقتصادی برای یک طرح مفروض، به صورت گرافیکی ارائه شده است [۷۵]. به‌علاوه در جدول (۳-۳) جزییات مربوط به کمیت دوره بازگشت سیلاب‌ها، ارتفاع سد و مقادیر هزینه و منافع حاصل شده و نسبت آن‌ها مندرج است. مطابق شکل (۳-۴)، کمیت B/C = ۱/۲۷ که دارای بیش‌ترین مقدار در منحنی B/C می‌باشد (B/C_{max})، نقطه بهینه برای انتخاب ارتفاع سد و دوره بازگشت سیلاب طراحی تلقی می‌شود. بر این اساس، لازم است ارتفاع مناسب برای سد رسوبگیر در مثال مفروض، معادل hd = ۸/۵ m و دوره بازگشت سیل طراحی نظیر نیز برابر با Tr = ۵۰yr منظور شود. در چنین حالتی، منافع خالص حاصله (منافع کل منهای هزینه کل) از اجرای طرح یا بیش‌ترین فاصله بین منحنی‌های B و C، منطبق بر نقطه بهینه B/C_{max} خواهد بود که در این مثال به خصوص، رقمی معادل $\Delta B = 0.35 \times 10^6$ دلار می‌باشد.
- هرچند مطابق معیارهای اقتصادی، ارتفاع سد ۸/۵ متر و سیل طراحی دارای دوره برگشت ۵۰ سال است، لیکن ملاحظات مدیریتی و جنبه‌های اجتماعی می‌تواند در این تصمیم‌گیری دخیل باشد. به عبارتی، به‌دلایل مدیریتی یا اجتماعی، ممکن است ارتفاع سد بزرگ‌تر یا کوچک‌تر از شرط بهینه انتخاب شود. در عین‌حال صرفنظر از ملاحظات مدیریتی و اجتماعی، تعیین منحنی‌های B، C و B/C به عنوان مبنای آنالیز اقتصادی و سیاست‌گذاری اجرای طرح مورد نیاز است. [۷۴، ۷۵]

1 - Design Flood



شکل ۳-۴- نمونه‌ای از تحلیل اقتصادی گرافیکی احداث سد رسوبگیر و تعیین B/C به ازای سیل طراحی و ارتفاع متناظر سد رسوبگیر [۷۵]

ب- روش حداقل هزینه[1]

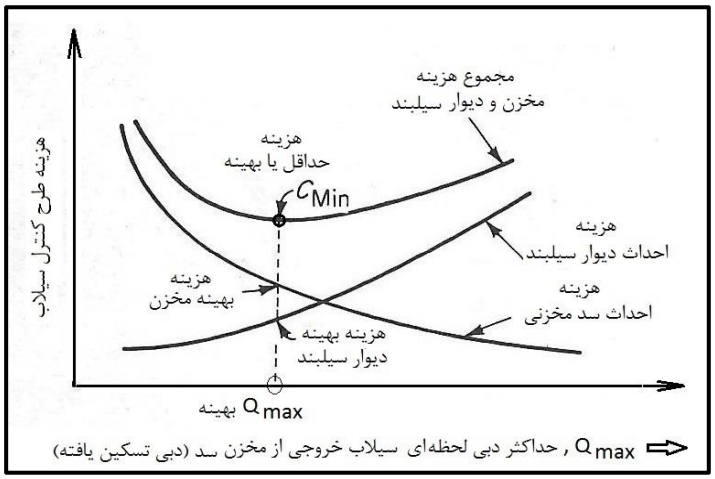
در مواردی که برای مقابله با خطرات سیلاب، بهبود شرایط هیدرولیکی و مورفولوژیکی رودخانه‌ها، برقراری شرایط ایمنی و حفظ عملکرد زیرساخت‌ها و تداوم بهره‌برداری از مخازن، اجرای پروژه الزام‌آور می‌باشد، استفاده از روش حداقل هزینه، راهکار مناسبی برای ارزیابی اقتصادی طرح تلقی می‌شود. در چنین طرح‌هایی، منافع ملموس، عموما کم‌تر از هزینه‌ها بوده و لذا نسبت B/C کم‌تر از ۱ می‌باشد، لیکن ملاحظات اجتماعی (منافع غیر ملموس نظیر اجتناب از تلفات انسانی و ایجاد رضایت عامه) اجرای طرح را توجیه‌پذیر می‌نماید.

جدول ۳-۳- آنالیز هزینه و منافع حاصل از احداث سد رسوبگیر برای یک طرح مفروض [۷۵]

نسبت سود به هزینه	منافع احداث سد رسوبگیر	هزینه احداث سد رسوبگیر	ارتفاع سد رسوبگیر	دوره بازگشت سیلاب
B/C	B	C	hd	Tr
	دلار (۱۰^۶)	دلار (۱۰^۶)	(متر)	(سال)
۰/۵	۰/۲	۰/۴	۶	۵
۰/۶۷	۰/۴	۰/۶	۷	۱۰
۰/۹۸	۰/۸	۰/۸۲	۷/۵	۱۵
۱/۱۴	۱/۲۵	۱/۱	۸	۲۲
۱/۲۷	۱/۶۵	۱/۲	۸/۵	۵۰
۱/۱۵	۱/۸۴	۱/۶	۹	۱۰۰
۱/۰۸	۱/۹۴	۱/۸	۹/۵	۱۵۰
۰/۹۴	۲/۰۱	۲/۱۲	۱۰	۲۰۰

1- Minimum Cost Method

روش حداقل هزینه مستلزم استفاده ترکیبی از گزینه‌های مختلف با هدف کاهش یا بهینه کردن[1] هزینه‌کل طرح می‌باشد. به عنوان مثال برای کاهش خسارت سیل، استفاده صرف از سازه سیل‌بند پاسخگو نبوده بلکه به کارگیری روش‌های ترکیبی، نظیر استفاده توام از سد تاخیری (برای تسکین بخشی از اوج سیلاب و هم‌زمان تله‌اندازی رسوب) و احداث دیوار سیل‌بند (برای مقابله با خطرات سرریزی سیلاب تسکین‌یافته)، مطابق نمودارهای شکل (۳-۵) مدنظر قرار می‌گیرد [۱۹، ۷۴]. در شکل (۳-۵) نقطه C_{Min}، معرف حداقل هزینه طرح مهار سیلاب استفاده توام از سد تاخیری و دیوار سیل‌بند می‌باشد.

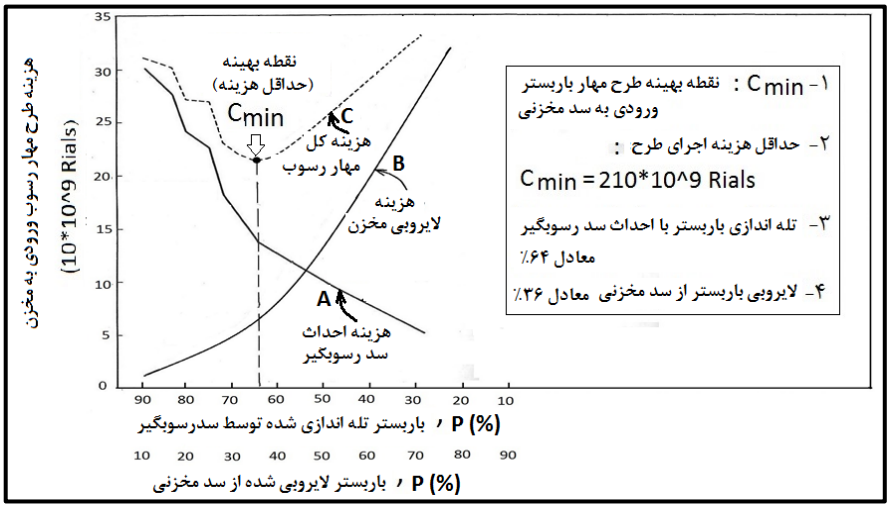


شکل ۳-۵- نمونه‌ای از تحلیل اقتصادی گرافیکی برای بهینه‌سازی (حداقل نمودن) هزینه طرح کنترل سیلاب [۷۴]

- در استفاده از سدهای رسوبگیر با هدف مهار آورد رسوبی رودخانه مشابه طرح مهار سیلاب، استفاده توام از گزینه‌های مختلف مطرح می‌باشد. در نمودارهای شکل (۳-۶) حالت‌های مختلف استفاده هم‌زمان از سد رسوبگیر و لایروبی مخزن برای مهار آورد بار رسوبی ورودی به سد مخزنی مفروض، نشان داده شده است [۷۵]. مطابق شکل (۳-۶) در این مثال مفروض، مقرر است بار بستر ورودی به مخزن سد، با استفاده از گزینه سد رسوبگیر و لایروبی مستقیم از سد مخزنی، مهار شود. بر این اساس، از تلفیق منحنی‌های A و B (به ترتیب هزینه احداث سد رسوبگیر و لایروبی مخزن)، منحنی C معرف هزینه کل مهار رسوب حاصل می‌شود. نقطه C_{Min} یا بهینه، کم‌ترین هزینه طرح را معادل ۲۱۰ میلیارد ریال، تله‌اندازی بار بستر توسط سد رسوبگیر معادل ۶۴٪ و لایروبی از سد مخزنی را برابر با ۳۶٪ مشخص می‌کند. بدیهی است همان‌گونه که در مباحث پیشین عنوان گردید، نقطه بهینه، حاصل تحلیل اقتصادی بوده و ملاحظات مدیریتی و اجتماعی می‌تواند انتخاب گزینه‌های دیگر را مطرح نماید. لازم به ذکر است امروزه استفاده از سدهای رسوبگیر به همراه اقدامات

1- Optimization

لایروبی مخزن و همچنین گزینه تونل کنارگذر، عناصر اصلی در تحلیل اقتصادی مدیریت رسوب مخازن و انتخاب ترکیب بهینه تلقی می‌شوند. [۳۹، ۴۰]



شکل ۳-۶- حالت‌های مختلف استفاده توام از سد رسوبگیر و لایروبی مخزن برای بهینه‌سازی (حداقل نمودن) هزینه طرح مهار رسوب [۷۵]

۳-۲-۳- بررسی‌های حقوقی و تملیک اراضی

در مطالعات حقوقی و تملیک اراضی مورد نیاز طرح، ضمن بررسی شاخص‌های جمعیتی، موقعیت روستاها و مستحدثات، الگوهای اقتصادی و بررسی ابعاد حقوقی مطالعات محدوده طرح و سازمان‌های ذی‌ربط، بعضی جنبه‌های مورد نظر از دیدگاه حقوقی و تملیک اراضی را می‌توان به صورت زیر عنوان نمود [۲۱، ۷۴،۲۲]:

۳-۲-۳-۱- بررسی جنبه‌های حقوقی طرح

- بررسی مشکلات حقوقی احتمالی آزادسازی اراضی موجود در حریم و بستر قانونی رودخانه و مورد نیاز طرح
- بررسی چگونگی مالکیت املاک و اراضی موجود در محدوده طرح از طریق سازمان‌های ثبت اسناد و املاک
- بررسی احتمال وجود مناطق حفاظت شده و آثار باستانی موجود در محدوده مطالعاتی
- بررسی قوانین، مقررات، آیین‌نامه‌ها و بخشنامه‌های موجود، بررسی سوابق دعاوی و شکایات مرتبط با مالکیت اراضی محدوده طرح، سازه‌های موازی و متقاطع موجود در ساختگاه و حواشی طرح

۳-۲-۳-۲- بررسی‌های مربوط به تملیک اراضی

هدف از بررسی‌های مربوط به تملیک اراضی، تعیین وسعت و ارزیابی و برآورد ارزش مستحدثات (مناطق مسکونی، تولیدی و خدماتی) و اراضی زراعی واقع در محدوده مخزن سد رسوبگیر و حاشیه متاثر از احداث سد و خسارت وارده به آن می‌باشد. علاوه بر این، زیر آب رفتن نواحی مذکور، تداوم فعالیت‌های اقتصادی این نواحی را با اختلال مواجه ساخته و لازم است تا میزان درآمد سالیانه افراد و روستاییانی که در این نواحی زندگی کرده و به کسب و کار مشغولند نیز در این بررسی به عنوان ارزش از دست رفته، برآورد گردد. لذا در این بررسی، توجه به ارزش حال مستحدثات در داخل مخزن

سد رسوبگیر و حاشیه مخزن (نظیر واحدهای مسکونی، تاسیسات خدماتی، راه‌های روستایی، مراکز آموزشی و فرهنگی) و همچنین ارزش حال فواید سالیانه کشاورزی، ضروری است. برای تعیین ارزش حال موارد مذکور، از معادلات معرفی شده در بند ۳-۲-۲-۳ استفاده می‌شود. به عنوان نمونه، برای محاسبه ارزش حال فایده‌های سالیانه کشاورزی از رابطه زیر می‌توان استفاده کرد: [۷۴،۲۳]

$$\frac{P}{A}=\frac{(1+i)^n-1}{i(1+i)^n} \qquad (۱۱-۳)$$

در این رابطه؛ P: ارزش حال فایده‌های سالیانه کشاورزی، A: فایده‌های سالیانه کشاورزی، i: نرخ بهره و n: دوره بهره‌برداری از پروژه برحسب سال می‌باشد.

مطابق جدول (۳-۴)، چنانچه دوره بهره‌برداری معادل ۵۰ سال فرض شود، ارزش حال فایده سالیانه یک هکتار زمین کشاورزی با فایده سالیانه ۸۰ میلیون ریال (به صورت فرضی) برحسب نرخ بهره ۶ تا ۱۲٪ به ترتیب ۱/۲۶ و ۰/۶۶۴ میلیارد ریال خواهد بود که لازم است به عنوان بخشی از هزینه‌های تملیک اراضی (خسارت مخزن) مد نظر قرارگیرد. در طرح‌های مهندسی آب، ملاک تعیین ارزش حال مستحدثات و درآمدهای زراعی، نرخ بهره حدود ۷٪ می‌باشد. [۲۳]

جدول ۳-۴- ارزش حال فایده‌های کشاورزی به ازای نرخ‌های مختلف بهره‌برداری در یک طرح مفروض

فایده سالیانه کشاورزی به ازای یک هکتار	نرخ بهره (درصد)				
	۶	۷	۸	۱۰	۱۲
	ارزش حال فایده‌های کشاورزی به ازای یک هکتار				
A (10^6 Rials)	P (10^6 Rials)				
۸۰	۱۲۶۰/۹	۱۱۰۴/۱	۹۷۸/۷	۷۹۳/۲	۶۶۴/۴

۳-۳- رژیم آبدهی و رسوبدهی

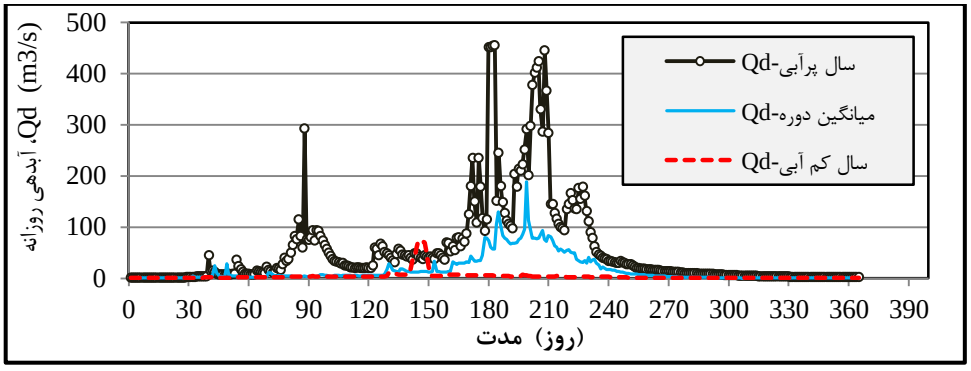
در طراحی سدهای رسوبگیر، لازم است رژیم آبدهی و رسوبدهی رودخانه که معرف تغییرات زمانی و مکانی و آورد سالیانه می‌باشد، پیشاپیش مشخص گردد. در رودخانه‌ها روند تغییرات رسوبدهی از تغییرات آبدهی سالیانه تبعیت می‌نماید. علاوه بر تغییرات سالیانه، میزان انتقال رسوب، تابعی از شرایط سیلابی رودخانه نیز می‌باشد. جریان‌های سیلابی به خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک نظیر ایران که به دنبال بارندگی‌های شدید و وقوع رگبارها حادث می‌شود، دارای توان حمل رسوب بالایی بوده و موجبات انتقال مواد رسوبی از بازه‌های کوهستانی پرشیب به مناطق کم‌شیب پایین‌دست و مخازن سدها می‌گردد. توضیحات بیش‌تر در خصوص ویژگی سیلاب‌ها و رژیم آبدهی و رسوبدهی رودخانه‌ها ذیلا ارائه شده است.

۳-۳-۱- هیدرولوژی و سیلاب

در تعیین مبانی طراحی سدهای رسوبگیر، نظیر سایر سازه‌های آبی، بررسی خصوصیات هیدرولوژیکی و به ویژه مشخصات سیلاب‌ها متناسب با اهداف مورد نظر، از اهمیت زیادی برخوردار است. آگاهی از مشخصات هیدرولوژیکی جریان رودخانه‌ای و روند تغییرات زمانی و مکانی سیلاب‌ها، امکان ارزیابی پتانسیل انتقال و تعیین کم و کیف بار رسوبی و راهکارهای مقابله با آن‌ها را با استفاده از سدهای رسوبگیر فراهم می‌نماید. ذیلا بعضی جنبه‌های اصلی موضوع عنوان شده و برای جزییات بیش‌تر مراجعه به منابع مختلف هیدرولوژی توصیه می‌شود.

۳-۳-۱-۱- تعیین آبدهی روزانه، ماهانه و سالانه و هیدروگراف جریان

در مطالعات سدهای رسوبگیر، پیش‌بینی آورد رسوبی به عنوان اصلی‌ترین کمیت تاثیرگذار و همچنین تدوین برنامه اجرا، نگهداری و بهره‌برداری، مستلزم آگاهی از خصوصیات آبدهی رودخانه می‌باشد. به‌علاوه در بسیاری از موارد، طراحی و تعیین مشخصه‌های هندسی سازه سد و همچنین عملکرد هیدرولیکی و فرایند رسوبگذاری مخزن، مستلزم استفاده از مدل‌های رایانه‌ای و اجرای مدل فیزیکی بوده و بدین منظور، ضروری است تغییرات آبدهی در بازه‌های زمانی روزانه، ماهانه و سالانه یا هیدروگراف جریان سالیانه به مدل معرفی گردد. در ایستگاه‌های هیدرومتری، آمار آبدهی روزانه ثبت می‌شود که مبنای تعیین رژیم آبدهی رودخانه‌هاست. در مناطق خشک و نیمه‌خشک نظیر ایران به دلیل وقوع دوره‌های ترسالی و خشک‌سالی، روند آبدهی رودخانه‌ها دارای تغییرات زیادی بوده و این امر به نوبه خود، بر آورد رسوبی رودخانه تاثیر مستقیم دارد. در شکل (۳-۷) نمونه‌ای از هیدروگراف جریان سالیانه (سال کم آبی ، متوسط و پرآبی) و در جدول (۳-۵)، تاثیر سال‌های پرآبی، متوسط و کم‌آبی بر تغییرات رسوبدهی سالیانه آورده شده است. [۲۴، ۲۶]



شکل ۳-۷- نمونه‌ای از هیدروگراف جریان سالیانه - رودخانه آزادرود در ایستگاه سروآباد از شعبات رودخانه سیروان [۲۴]

جدول ۳-۵- مقادیر آبدهی و رسوب حمل شده در شرایط ترسالی، متوسط و خشکسالی (آزادرود از شعبات رودخانه سیروان، [۲۴])

ردیف	Q متوسط آبدهی سالیانه (میلیون‌مترمکعب)	Qsb بار بستر* (میلیون تن)	Qss بار معلق (میلیون تن)	Qst بار کل (میلیون تن)	k نسبت بار بستر به بار معلق	ملاحظات
۱	۱۶۸۱	۳۰۴۸	۱۰/۸	۱۴/۳	۰/۳۲	سال پرآبی ۴۸-۴۷
۲	۵۰۶	۰/۵۳	۱/۵۵	۲/۱	۰/۳۴	سال متوسط ۶۹-۶۰
۳	۱۱۸	۰/۰۵	۰/۱۸	۰/۱۲	۰/۲۹	سال کم آبی ۹۲-۹۱
* مقادیر بار بستر از معادله MPM تعیین گردیده و حدود ۳۲٪ بار معلق می‌باشد						

۳-۳-۱-۲- تعیین مقادیر سیلاب‌های دوره برگشتی و هیدروگراف سیلاب‌ها و سیل طراحی

ابعاد سازه و ظرفیت سرریز سدهای رسوبگیر، با استناد به سیلاب‌های دوره برگشتی تعیین می‌گردد. به‌علاوه برای بررسی میزان انباشت رسوب و تاثیرپذیری هیدروگراف سیلاب‌ها از عملکرد مخزن سد، آگاهی از مشخصه‌های هیدروگراف ورودی به مخزن ضروری است. از این‌رو در تعیین عملکرد سدهای رسوبگیر، علاوه بر کمیت دبی اوج هیدروگراف سیل (Qmax)، حجم جریان و تغییرات زمانی آن به همراه نرخ تغییرات بار رسوبی (هیدروگراف رسوب) ورودی، مدنظر قرار می‌گیرد. با استناد به منابع هیدرولوژی، راهکارهای تعیین کمیت سیلاب‌ها را می‌توان به صورت زیر عنوان نمود:

۳-۳-۱-۳- استفاده از داده‌های آماری در تعیین مقادیر سیلاب‌های دوره برگشتی

از جمله روش‌های متداول در تعیین کمیت سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف، استفاده از سری داده‌های مشاهده‌ای و تعیین توزیع آماری مناسب با استفاده از توابع احتمالاتی[1] می‌باشد. از جمله روش‌های استاندارد متداول در تعیین کمیت سیلاب‌های با دوره بازگشت مختلف، استفاده از روش توزیع نرمال ، لوگ نرمال[2]، پیرسون و لوگ‌پیرسون تیپ III[3] و گامبل[4] (یا روش توزیع حدی) می‌باشد [۴۵، ۷۷ و ۷۸]. جزییات روش‌های آماری مذکور در منابع هیدرولوژی قابل دسترسی است. در جدول (۳-۶) نمونه‌ای از نتایج تحلیل آماری بر اساس توزیع لوگ‌پیرسون با دوره بازگشت‌های مختلف ارائه شده است.

جدول ۳-۶- مقادیر سیلاب‌های حداکثر لحظه‌ای سالیانه با دوره بازگشت‌های مختلف (مترمکعب در ثانیه) - رودخانه شاهرود [۲۵]

نام رودخانه	ایستگاه هیدرومتری	مساحت حوضه آبریز	دوره بازگشت سیلاب (سال)									بهترین برازش
		(کیلومتر مربع)	۲	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰	۲۰۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰۰
شاهرود (سمنان)	خروجی شاهرود	۶۰۵	۷/۷	۱۷/۲	۲۵/۱	۳۶/۵	۴۵/۸	۵۵/۵	۶۵/۷	۷۹/۸	۹۰/۸	۱۲۰/۲	لوگ پیرسون تیپ ۳

۳-۳-۱-۴- تعیین سیلاب در شرایط عدم وجود داده‌های آماری

در شرایط عدم وجود داده‌های آماری، استفاده از روش‌های نرم‌افزاری و منطقه‌ای برای تعیین دبی اوج و هیدروگراف سیلاب متداول می‌باشد. در زیر به معرفی آن‌ها پرداخته شده است:

1- Probability Distribution Functions
2- Normal and Log-Normal Distribution
3- Pearson and Log-Pearson Type III Distribution
4- Gumbel Distribution (Extreme Value Ditribution)

الف- استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی در تولید سیلاب و هیدروگراف جریان

برای محدوده‌های مطالعاتی فاقد آمار، مدل‌های هیدرولوژیکی از کاربرد زیادی در شبیه‌سازی رواناب حاصل از بارش‌ها در حالت پیوسته[1] (جریان رودخانه‌ای حاصل از بارش‌های فصلی یا داده‌های آماری طولانی مدت) و منفرد[2] (سیلاب حاصل از رگبارها اعم از مشاهداتی و طراحی[3] با دوره بازگشت مشخص) برخوردارند[۴۷]. در جدول (۳-۷) بعضی مدل‌های حرفه‌ای متداول در شبیه‌سازی رژیم جریان و هیدروگراف سیلاب معرفی شده است.

جدول ۳-۷- بعضی مدل‌های حرفه‌ای متداول در تعیین رژیم جریان و سیلاب رودخانه‌های فاقد آمار [۵۰، ۹۷، ۹۸، ۹۹]

ردیف	نام مدل	ورودی‌های مدل	خروجی‌های مدل			ملاحظات
			رژیم جریان	سیلاب	فرسایش و رسوب	
۱	HEC-HMS	بارش‌ها، پارامترهای اقلیمی معرفی حوضه آبریز، کاربری‌ها خصوصیات خاک حوضه	هیدروگراف جریان روزانه، ماهانه، سالانه	هیدروگراف سیل دبی اوج	فرسایش خاک سطح حوضه (واشلود)	در دسترس عموم
۲	SWAT	بارش‌ها، پارامترهای اقلیمی معرفی حوضه آبریز، کاربری‌ها خصوصیات خاک حوضه	هیدروگراف جریان روزانه، ماهانه، سالانه		فرسایش خاک سطح حوضه (واشلود)	در دسترس عموم
۳	MIKE-SHE	بارش‌ها، پارامترهای اقلیمی معرفی حوضه آبریز، کاربری‌ها	هیدروگراف جریان روزانه، ماهانه، سالانه	هیدروگراف سیل دبی اوج		تجاری
۴	WASA-SED	بارش‌ها، پارامترهای اقلیمی معرفی حوضه آبریز، کاربری‌ها خصوصیات خاک حوضه	هیدروگراف جریان روزانه، ماهانه، سالانه		فرسایش خاک سطح حوضه (واشلود)	تجاری

مطابق جدول (۳-۷) مدل MIKE-SHE خاص فرایندهای هیدرولوژیک بوده و مدل‌های HEC-HMS ، SWAT و WASA-SED علاوه بر ویژگی‌های هیدرولوژیکی، توانایی شبیه‌سازی فرسایش حوضه‌ای را نیز دارا می‌باشند.

ب- استفاده از روش منطقه‌ای در تعیین سیلاب‌ها

از جمله روش‌های متداول در شرایط عدم وجود داده‌های آماری، استفاده از روش منطقه‌ای[4] در تعیین مقادیر سیلاب‌های با دوره بازگشت مختلف برای محدوده مطالعاتی می‌باشد. بدین منظور از روابط همبستگی[5] و روش سیلاب شاخص[6] می‌توان بهره جست [۴۰، ۷۵]. در روش سیلاب شاخص، مطابق نمودار شکل (۳-۸- الف)، لازم است نخست با استفاده از آمار، چند ایستگاه هیدرومتری مجاور که دارای همگنی هیدرولوژیکی و آمار مناسب می‌باشند، منحنی دوره

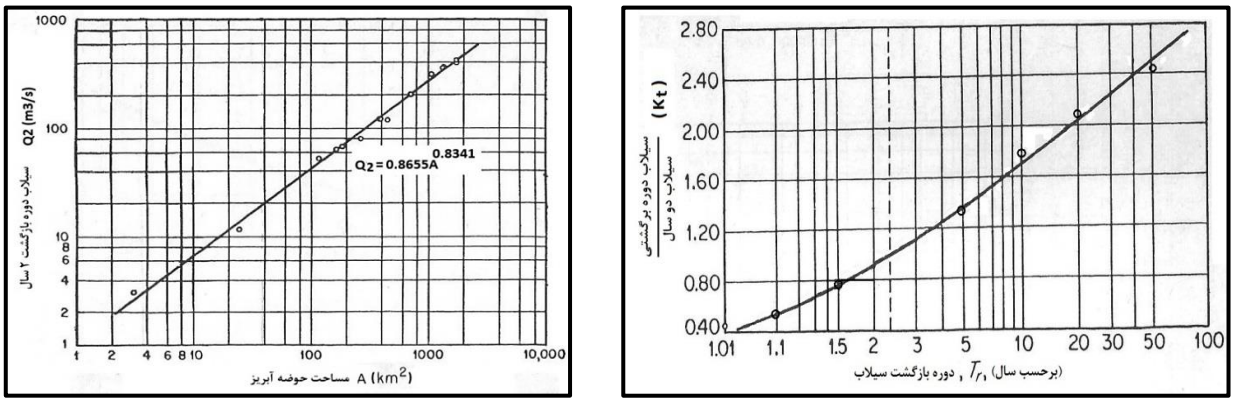
1- Continuous Event
2- Single Event
3- Design Storm
4- Regional Analysis
5- Direct Regression
6- Index-Flood Method

بازگشت منطقه‌ای[1] ترسیم گردد. بدین منظور پس از تعیین سیلاب‌های دوره برگشتی در هر یک از ایستگاه‌ها ($Q_{t,i}$)، نسبت سیلاب به دبی سیل با دوره بازگشت ۲ سال ($Q_{2,i}$) در ایستگاه مشخص و کمیت K_t از روابط زیر تعیین می‌گردد:

$$k_{t,i} = \frac{Q_{t,i}}{Q_{2,i}} \qquad (۱۲-۳)$$

$$K_t = \frac{\sum_i^N k_{t,i}}{N} \qquad (۱۳-۳)$$

در روابط فوق؛ $k_{t,i}$: نسبت سیلاب با دوره برگشت t در ایستگاه i، به سیلاب با دوره بازگشت ۲ سال همان ایستگاه، K_t: فاکتور منطقه‌ای نظیر دوره برگشت t و N: تعداد ایستگاه‌های هیدرومتری در منطقه می‌باشد.



الف- منحنی دوره بازگشت منطقه‌ای برای تعیین سیلاب‌ها **ب- رابطه همبستگی منطقه‌ای سیلاب ۲ سال برحسب مساحت**

شکل ۳-۸- منحنی دوره بازگشت و رابطه منطقه‌ای برای تعیین سیلاب‌ها - رودخانه یوگیوگنی[2] پنسیلوانیا [۷۵]

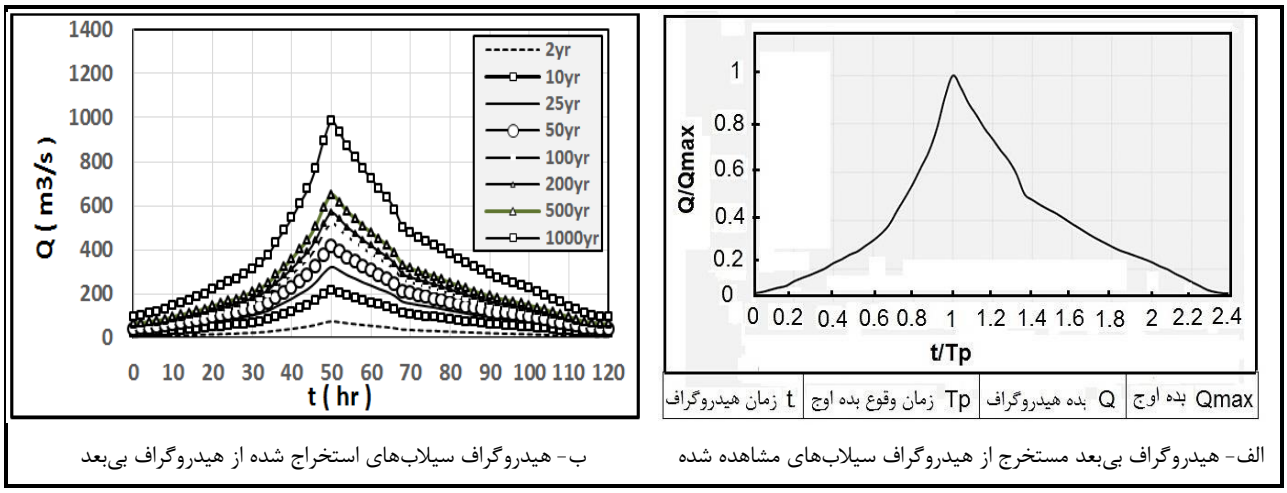
با مشخص شدن منحنی منطقه‌ای، لازم است نمودار همبستگی سیل با دوره بازگشت دو سال ایستگاه‌ها ($Q_{2,i}$) بر حسب مساحت حوضه آبریز (A_i) نیز ترسیم و رابطه همبستگی آن مطابق نمودار شکل (۳-۸- ب) تعیین گردد. بر اساس $Q_{2,i}$ از رابطه همبستگی، تعیین مقادیر سیلاب‌های دوره برگشتی برای حوضه فاقد آمار امکان‌پذیر می‌باشد. (جزییات روش در منابع هیدرولوژی از جمله مراجع ۷۵ و ۷۸ ارائه شده است)

ب- استفاده از روش هیدروگراف بی‌بعد در تعیین سیلاب‌ها و مقادیر آبدهی

در مطالعات سدهای رسوبگیر، علاوه بر کمیت دبی حداکثر دوره برگشتی، تعیین ابعاد هیدروگراف و حجم جریان سیلاب نیز ضروری می‌باشد. هیدروگراف جریان، شاخص پتانسیل انتقال و میزان آورد رسوبی در شرایط سیلابی است. از جمله راهکارهای تعیین هیدروگراف جریان، استفاده از روش هیدروگراف بی‌بعد حاصل از سیلاب‌های مشاهده‌ای است

1- Reginol Flood Frequency Curve
2- Youghiogheny River, Penssylvania

[۸۰، ۸۱]. در شکل (۳-۹) نمونه‌ای از هیدروگراف بی‌بعد حاصل از هیدروگراف سیلاب‌های مشاهده شده و هیدروگراف سیلاب‌های استخراج شده از آن برای دوره بازگشت‌های مختلف نشان داده شده است [۱]. (جزییات استفاده از هیدروگراف بی‌بعد در منابع مختلف از جمله مراجع ۸۰ و ۸۱ ارائه شده است)



الف- هیدروگراف بی‌بعد مستخرج از هیدروگراف سیلاب‌های مشاهده شده

ب- هیدروگراف سیلاب‌های استخراج شده از هیدروگراف بی‌بعد

شکل ۳-۹- هیدروگراف بی‌بعد و هیدروگراف سیلاب‌های استخراج شده - رودخانه زردفهره از شعبات رودبار لرستان [۱]

ج- استفاده از روش هیدروگراف واحد مصنوعی در تعیین سیلاب‌ها و مقادیر آبدهی

در مواردی که به دلیل قلت داده‌های آماری، استفاده از روش منطقه‌ای و یا هیدروگراف بی‌بعد میسر نباشد، برای تعیین کمیت سیلاب در حوضه‌های فاقد آمار، استفاده از روش هیدروگراف واحد مصنوعی، راهکار مناسبی تلقی می‌شود. در این خصوص می‌توان به استفاده از هیدروگراف واحد مصنوعی نظیر SCS[1] و روش اشنایدر[2] اشاره نمود. (در خصوص هیدروگراف واحد مصنوعی مرجع ۴۵، ۷۷ و ۸۰ توصیه می‌شود)

۳-۳-۲- هیدرولیک رسوب (فرسایش و رسوبگذاری)

به دلیل نقش شاخص سدهای رسوبگیر در تله‌اندازی بار رسوبی، لازم است در بررسی فرایند انتقال رسوب سهم بار معلق و بار بستر مشخص شود تا از این طریق امکان ارزیابی حجم مخزن سد رسوبگیر منفرد و یا ضرورت احداث سدهای متوالی و ارزیابی عملکرد آن‌ها، محقق گردد. در مباحث زیر به راهکارهای تعیین بار معلق، بار بستر و حجم آورد رسوبی رودخانه مرتبط با اهداف سدهای رسوبگیر پرداخته شده است.

1- Soil Conservation Method
2- Snyder, s Method

۳-۳-۲-۱- تعیین بار معلق، بار بستر و حجم آورد رسوبی رودخانه

- تعیین بار معلق

در سدهای رسوبگیر هرچند هدف تله‌اندازی، بار بستر بوده و بخش عمده بار معلق همراه جریان آب، از مخزن تخلیه می‌شود، لیکن برآورد بار معلق در ایستگاه‌های مجاور و تعمیم آن برای محل سد رسوبگیر به عنوان مبنایی برای ارزیابی بار بستر دارای اهمیت است. از جمله کاربردهای مهم بار معلق، تعیین سهم بار بستر بر اساس پارامتر K (نسبت بار بستر به بار معلق) می‌باشد که اغلب به صورت درصدی بین ۱۵ تا ۳۰٪ در نظر گرفته می‌شود [۱۱، ۲۴ ، ۲۶]. راهکار دیگر برای تعیین پارامتر K، استفاده از نمودار تجربی $K\text{-}S_R$ (نمودار شکل ۳-۱۰) می‌باشد که در مبحث بعد معرفی شده است. در شرایط وجود داده‌های آماری، تعیین بار معلق با استفاده از روش هیدرومتری (روش USBR) متداول است. سه گام اصلی روش هیدرومتری عبارتند از:

گام اول- تعیین منحنی سنجه رسوب[1] و معادله نمایی دبی- رسوب ($Q_s = aQ_d^b$) بر اساس آمار آبدهی و بار معلق، Q_s بار معلق بر حسب تن در روز و Q_d آبدهی روزانه بر حسب مترمکعب برثانیه

گام دوم- تعیین منحنی داوم جریان روزانه بر اساس آمار آبدهی بلندمدت

گام سوم- تعیین بار رسوبی معلق رودخانه (متوسط سالیانه) در محل ایستگاه هیدرومتری با استفاده از منحنی سنجه رسوب و منحنی دوام جریان و تشکیل جدول محاسباتی دبی‌های مرتب شده. (جدول USBR)

در جدول (۳-۸) به طور نمونه، فرایند تعیین متوسط بار معلق سالیانه به روش هیدرومتری نشان داده شده است. مطابق جدول (۳-۸) متوسط بار معلق سالیانه رودخانه موردنظر (آزادرود متعلق به حوضه‌آبریز سیروان در این مثال موردی) معادل ۱/۵ میلیون‌تن می‌باشد. (شرح تفصیلی روش در مرجع ۳ قابل دسترسی است)

- تعیین بار بستر

الف - تعیین بار بستر با استفاده از نمودار تجربی $K\text{-}S_R$

در مطالعات سدهای رسوبگیر، از جمله راهکارهای تعیین کمیت بار بستر سالیانه، استفاده از نمودار تجربی $K-S_R$ (شکل ۳-۱۰) می‌باشد. پس از مشخص شدن بار معلق از روش هیدرومتری، مقدار K با در نظر گرفتن شیب رودخانه (S_R) از نمودار تجربی استخراج و کمیت بار بستر، از رابطه زیر محاسبه می‌شود: [۲۰]

$$K = \frac{Q_{sb}}{Q_{ss}}, \quad Q_{sb} = KQ_{ss}/100 \qquad (۱۴-۳)$$

1- Sediment Rating Curve (SRC)

در این رابطه، Q_{sb}: مقدار بار بستر سالیانه، Q_{ss}: مقدار بار معلق سالیانه (از روش هیدرومتری) و K: نسبت بار بستر به بار معلق برحسب درصد می‌باشد. در جدول (۳-۹) نمونه‌ای از مراحل تعیین Q_{sb} (مثال موردی رودخانه آزادرود در محل ایستگاه هیدرومتری سروآباد متعلق به حوضه سیروان) ارائه شده است.

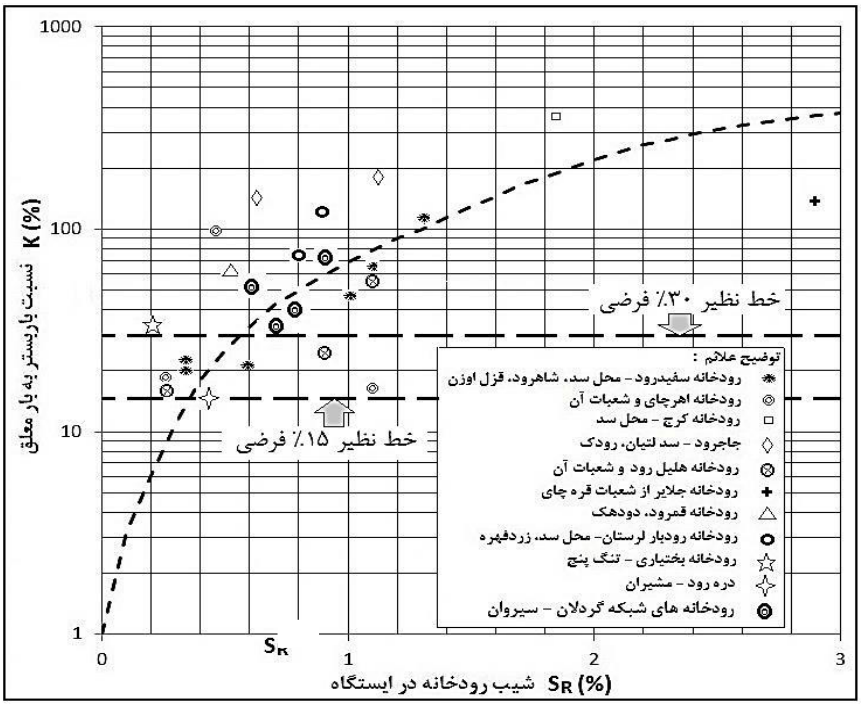
جدول ۳-۸- مراحل محاسباتی برای تعیین متوسط بار رسوب معلق سالیانه رودخانه به روش هیدرومتری [۳۴، ۵۲، ۵۶]

تعیین متوسط بارمعلق سالیانه (ایستگاه سروآباد - آزادرود) - روش هیدرومتری (جدول USBR)							
معادله دبی - رسوب حاصل از منحنی سنجه رسوب معلق							
Qs<=7 m3/s				Qs=3.972Qd^1.433			
Qs>7 m3/s				Qs=0.225Qd^2. 43			
۱	۲		۳	۴	۵	۶	۷
شماره دسته‌جات	حدود دسته‌جات		ΔP احتمال در هر دسته	Qd دبی در هر دسته	Qdr دبی تعدیل‌شده در هر دسته (3*4)/100	Qs رسوب متناظر هر کلاس از منحنی سنجه	Qsr رسوب تعدیل‌شده در هر کلاس (3*6)/100
	%		%	m3/s	m3/s	ton/day	ton
۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۰۰۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰
۲	۰/۰۲	۰/۱	۰/۰۸	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰۰۰۱۶	۰/۰۰	۰/۰۰
۳	۰/۱	۰/۵	۰/۴	۰/۰۳	۰/۰۰۰۱۲	۰/۰۳	۰/۰۰
۴	۰/۵	۱/۵	۱	۰/۰۴	۰/۰۰۰۴	۰/۰۴	۰/۰۰
۵	۱/۵	۵	۳/۵	۰/۰۵	۰/۰۰۱۷۵	۰/۰۵	۰/۰۰
۶	۵	۱۵	۱۰	۰/۳	۰/۰۳	۰/۷۰	۰/۰۷
۷	۱۵	۲۵	۱۰	۰/۸	۰/۰۸	۲/۸۶	۰/۲۹
۸	۲۵	۳۵	۱۰	۱/۶	۰/۱۶	۷/۷۳	۰/۷۷
۹	۳۵	۴۵	۱۰	۲/۸	۰/۲۸	۱۷/۲۴	۱/۷۲
۱۰	۴۵	۵۵	۱۰	۴/۵	۰/۴۵	۳۴/۰۲	۳/۴
۱۱	۵۵	۶۵	۱۰	۷	۰/۷	۶۴/۰۸	۶/۴۱
۱۲	۶۵	۷۵	۱۰	۱۳	۱/۳	۱۱۴/۵۷	۱۱/۴۶
۱۳	۷۵	۸۵	۱۰	۲۶	۲/۶	۶۱۷/۴۰	۶۱/۷۴
۱۴	۸۵	۹۵	۱۰	۴۴	۴/۴	۲۲۱۷/۰۳	۲۲۱/۷۰
۱۵	۹۵	۹۸/۵	۳/۵	۸۰	۲/۸	۹۴۷۷/۴۴	۳۳۱/۷۱
۱۶	۹۸/۵	۹۹/۵	۱	۱۲۵	۱/۲۸	۲۸۰۳۳/۲۸	۲۸۰/۳۳
۱۷	۹۹/۵	۹۹/۹	۰/۴	۱۷۰	۰/۶۸	۵۵۱۷۸/۷۹	۲۳۵/۷۲
۱۸	۹۹/۹	۹۹/۹۸	۰/۰۸	۵۹۰	۰/۴۷۲	۱۲۱۷۱۷۴/۶۷	۹۷۳/۷۴
۱۹	۹۹/۹۸	۹۹/۹۹	۰/۰۱	۱۹۱۰	۰/۱۹۱	۲۱۱۳۹۴۴۵/۹۵	۲۱۱۳/۹۴
۱	متوسط آبدهی		Qyr=ΣQdr			m^3/s	۱۵/۴
۲						MCM/yr	۴۸۵/۶۵
۳	متوسط بار معلق روزانه		ΣQsr			ton/day	۴۲۴۴/۰۱
۴	متوسط بار معلق سالیانه		Qsy =(ΣQsr)*365			(ton/yr)	۱/۵*۱۰^۶
۵	مساحت حوضه آبریز		A			(km2)	۱۹۱۲
۶	متوسط رسوبدهی ویژه سالیانه (بارمعلق)		qsy=Qsy/A			(ton/yr-km2)	۸۱۰/۲
۷	متوسط غلظت بار معلق		C= (2)/(4) = (Qsy/Qyr)			C(mg/lit)	۳۱۹۰

جدول ۳-۹- مراحل محاسباتی برای تعیین متوسط بار بسترسالیانه از نمودار تجربی S_R - K- رودخانه آزادرود ایستگاه سروآباد [۳، ۲۴]

۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
نام حوضه آبریز	نام رودخانه	نام ایستگاه	A	SR	K	Qss	Qsb		Qst=Qss+Qsb
			مساحت حوضه آبریز	شیب رودخانه	از منحنی تجربی (شکل ۴-۳۲)	بار معلق سالیانه (روش هیدرومتری)	بار بستر سالیانه (۶)*(۷)/۱۰۰		بار کل سالیانه (۷)+(۸)
			km2	(%)	(%)	MT	MT	MCM*	MT
گردلان - سیروان	آزادرود	سروآباد	۱۹۱۲	۰/۷	۴۵	۱/۵	۰/۶۷۵	۰/۵۱۹	۲/۱۷۵

MT: میلیون تن MCM: میلیون مترمکعب، * وزن مخصوص خشک رسوبات معادل ۱/۳ تن در مترمکعب فرض شده است.



شکل ۳-۱۰- نمودار تجربی K-SR ، نسبت بار بستر به بار معلق (K) برحسب شیب بستر (SR)، در رودخانه‌های کشور [۲۰]

مطابق جدول (۳-۹)، برای شیب معادل ۰/۷٪ $S_{R=}$ مقدار K از گراف تجربی برابر ۴۵٪ و مطابق رابطه (۳-۲۵) نیز کمیت بار بستر برابر با: $Q_{sb} = 45 \times 1.5 / 100 = 0.675\ MT$ (۰/۶۷۵ میلیون تن در سال یا ۰/۵۱۹ میلیون مترمکعب) خواهد بود. به عبارتی، متوسط آورد بار بستر سالیانه رودخانه برابر با ۰/۵۱۹ میلیون مترمکعب می‌باشد که شاخصی برای تعیین حجم سد رسوبگیر تلقی می‌شود. بار کل رسوب ورودی سالیانه (مجموع بار بستر و معلق) مطابق جدول (۳-۹) برابر با ۲/۱۷۵ میلیون تن می‌باشد.

ب- تعیین بار بستر با استفاده از معادلات انتقال رسوب

تعیین بار بستر با استفاده از معادلات انتقال، از جنبه‌های مختلف دارای اهمیت است. بررسی تغییرات زمانی و مکانی آورد رسوبی رودخانه یا رژیم رسوبدهی (تغییرات رسوبدهی در سال‌ها و ماه‌های مختلف) با استفاده از معادلات انتقال امکان‌پذیر می‌گردد. به‌علاوه تحلیل عملکرد سدهای رسوبگیر با استفاده از مدل‌های ریاضی و فیزیکی علاوه بر تغییرات بلندمدت رسوبدهی، مستلزم تعیین بار رسوبی در شرایط سیلابی از جمله سیلاب‌های دوره برگشتی می‌باشد.

معادلات انتقال رسوب برای تعیین بار بستر دارای طیف وسیعی بوده و به دلیل تنوع عوامل حوضه‌ای و تعدد پارامترهای هیدرولوژیکی، هیدرولیکی و خصوصیات دانه‌بندی، تاکنون امکان معرفی یک معادله واحد جهانی میسر نبوده است. در جدول (۳-۱۰) معادلات مناسب برای رودخانه‌های کوهستانی، شریانی و پیچانرودی متداول در ارزیابی رسوب رودخانه‌ها معرفی شده است. با توجه به اهداف سدهای رسوبگیر که تله‌اندازی بار بستر می‌باشد، استفاده از معادلات مایر- پیتر- مولر، شاکلیچ، اسمارت و یانگ که مناسب برای رودخانه‌های کوهستانی و شریانی هستند، توصیه می‌شود. [۳، ۵، ۶۲، ۶۴] (شرح تفصیلی معادلات انتقال رسوب در منابع مختلف از جمله مراجع ۳، ۵۲، ۵۴ ، ۵۵ و ۵۷ ارائه شده است)

جدول ۳-۱۰- معادلات توصیه شده برای تعیین بار بستر در رودخانه‌های کوهستانی، شریانی و بار مواد بستر در رودخانه‌های پیچانرودی [۳]

شماره گزینه	نوع معادله	ملاحظات
	معادلات مناسب توصیه شده برای تعیین بار بستر در رودخانه‌های کوهستانی	در صورت وجود داده‌های اندازه‌گیری شده بار بستر یا بار مواد بستر، بهتر است نتایج حاصل از معادلات مختلف با مقادیر اندازه‌گیری شده مقایسه و معادله مناسب انتخاب شود.
I	مایر - پیتر- مولر، شاکلیچ، اسمارت	
	معادلات مناسب توصیه شده برای تعیین بار بستر در رودخانه‌های شریانی	
II	مایر - پیتر- مولر، شاکلیچ ، اسمارت، یانگ (انتقال شن) (درصورتی‌که درصد ماسه در مقایسه با شن کم‌تر باشد)	
III	روتنر،کالینسک، انشتین‌براون، یانگ (انتقال ماسه) (درصورتی‌که درصد ماسه در مقایسه با شن بیش‌تر باشد)	
	معادلات مناسب توصیه شده برای تعیین بار مواد بستر در رودخانه‌های پیچانرودی	در صورت عدم وجود داده‌های اندازگیری شده، بهتر است از میانگین نتایج حاصل از معادلات مختلف استفاده شود.
IV	انگلند - هانسن، لارسن، انشتین، باگنولد (برای بسترهای با دانه‌بندی ماسه و سیلت)	
V	روش اصلاح شده انشتین، تافلتی (برای بسترهای با دانه‌بندی ماسه‌ریز و سیلت و رس)	

با توجه به توضیح کامل گام‌های محاسباتی برای تعیین بار بستر با استفاده از معادلات انتقال در مرجع ۳، استفاده از این ضابطه برای کاربرد عملی توصیه می‌شود:

در جدول (۳-۱۱) نمونه‌ای از مراحل محاسباتی بار بستر ارائه گردیده است. مطابق جدول (۳-۱۱)، متوسط بار بستر سالیانه برای رودخانه موردنظر (آزادرود - سیروان در محل ایستگاه سروآباد) از روش MPM، معادل ۷۲۷۹۱۵ تن (۰/۷۲۸ میلیون تن) ارزیابی شده است.

در عمل برای تعیین بار بستر با استفاده از معادلات انتقال، بهتر است چند روش بررسی و میانگین آن به عنوان شاخص بار بستر رودخانه منظور گردد.

جدول ۳-۱۱- تعیین متوسط بار بستر سالیانه از معادله MPM به روش هیدرومتری (جدول USBR) - [۳۴، ۷۹]

تعیین متوسط بار بستر سالیانه (ایستگاه سروآباد - آزادرود) - روش هیدرومتری (جدول USBR)						
معادله MPM						
معادله دبی - رسوب حاصل از منحنی سنجه رسوب بستر						
Qsb=66.51Qd^1. 1735						
۱	۲		۳	۴	۵	۶	۷
شماره دسته‌جات	حدود دسته‌جات		ΔP احتمال در هر دسته	Qd دبی در هر دسته	Qdr دبی تعدیل شده در هر دسته (3*4)/100	Qs بار بستر هر کلاس از معادله سنجه رسوب	Qsr بار بستر تعدیل شده در هر کلاس (3*6)/100
	%		%	m3/s	m3/s	ton/day	ton
۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۰۰۰۱	۲/۹۴	۰/۰۰
۲	۰/۰۲	۰/۱	۰/۰۸	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰۰۰۱۶	۶۶/۵۱	۰/۰۵
۳	۰/۱	۰/۵	۰/۴	۰/۰۳	۰/۰۰۰۱۲	۱۰/۰۶	۰/۰۴
۴	۰/۵	۱/۵	۱	۰/۰۴	۰/۰۰۰۴	۲۰/۷۱	۰/۲۱
۵	۱/۵	۵	۳/۵	۰/۰۵	۰/۰۰۱۷۵	۲۹/۴۹	۱/۰۳
۶	۵	۱۵	۱۰	۰/۳	۰/۰۳	۳۶/۵۲	۳/۶۵
۷	۱۵	۲۵	۱۰	۰/۸	۰/۰۸	۵۱/۱۹	۵/۱۲
۸	۲۵	۳۵	۱۰	۱/۶	۰/۱۶	۱۱۵/۴۶	۱۱/۵۵
۹	۳۵	۴۵	۱۰	۲/۸	۰/۲۸	۲۲۲/۶۵	۲۲/۲۷
۱۰	۴۵	۵۵	۱۰	۴/۵	۰/۴۵	۳۸۸/۵۴	۳۸/۸۵
۱۱	۵۵	۶۵	۱۰	۷	۰/۷	۶۵۲/۵۴	۶۵/۲۵
۱۲	۶۵	۷۵	۱۰	۱۳	۱/۳	۱۳۴۵/۲۷	۱۳۴/۹۳
۱۳	۷۵	۸۵	۱۰	۲۶	۲/۶	۳۰۴۳/۳۹	۳۰۴/۳۴
۱۴	۸۵	۹۵	۱۰	۴۴	۴/۴	۵۶۴۲/۵۹	۵۶۴/۲۶
۱۵	۹۵	۹۸/۵	۳/۵	۸۰	۲/۸	۱۱۳۸۰/۵۴	۳۹۸/۳۲
۱۶	۹۸/۵	۹۹/۵	۱	۱۲۵	۱/۲۸	۱۹۲۱۳/۶۹	۱۹۲/۲۵
۱۷	۹۹/۵	۹۹/۹	۰/۴	۱۷۰	۰/۶۸	۲۷۵۶۲/۵۱	۱۱۰/۲۵
۱۸	۹۹/۹	۹۹/۹۸	۰/۰۸	۵۹۰	۰/۴۷۲	۱۱۸۷۰۸/۴۹	۹۴/۹۷
۱۹	۹۹/۹۸	۹۹/۹۹	۰/۰۱	۱۹۱۰	۰/۱۹۱	۴۷۱۱۷۲/۱۴	۴۷/۱۲
۱	متوسط آبدهی		Qyr=ΣQdr			m^3/s	۱۵/۴
۲						MCM/yr	۴۸۵/۶۵
۳	متوسط بار بستر روزانه		ΣQsr			ton/day	۱۹۹۴/۳۴
۴	متوسط بار بستر سالیانه		Qsy =(ΣQsr)*365			(ton/yr)	۷۲۷۹۳۴
۵	مساحت حوضه آبریز		A			(km2)	۱۹۱۲

۳-۳-۲-۲- تعیین حجم آورد رسوبی رودخانه

در سدهای رسوبگیر به منظور تعیین ظرفیت مخزن و مدت زمان پر شدن آن، لازم است آورد وزنی رسوب رودخانه به صورت حجمی معرفی گردد. برای تبدیل بار رسوب وزنی به حجمی، از رابطه زیر می‌توان بهره جست:

$$Q_{SV} = \frac{Q_{sb}}{\gamma_d} \qquad (۱۵-۳)$$

در این رابطه؛ Q_{SV}: بار بستر حجمی، Q_{sb}: بار بستر وزنی و γ_d: وزن مخصوص خشک رسوبات می‌باشد. در ارزیابی حجم مخازن، مقدار γ_d برای مصالح شن و ماسه معادل ۱/۳ تن در مترمکعب فرض می‌شود. [۲۴، ۵۹، ۸۴]

در مواردی که حجم آورد رسوبی زیاد بوده و یا محدودیت انتخاب حجم مخزن مطرح باشد، لازم است از تعداد بیش‌تری سد رسوبگیر به صورت متوالی استفاده شود.

۳-۴- مطالعات هیدرولیک جریان، هیدرولیک رسوب و رسوبگذاری در مخزن سد رسوبگیر

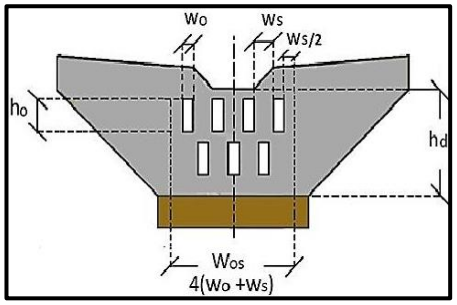
تعیین عملکرد سدهای رسوبگیر از دیدگاه مهار بار رسوبی رودخانه‌ها، مستلزم بررسی و تحلیل رفتار هیدرولیکی جریان در شرایط عادی و سیلابی بوده و بدین منظور لازم است نخست، مشخصه‌های هندسی سازه سد مدنظر قرارگیرد. پیتون و همکاران، نتایج بررسی‌های انجام شده توسط متخصصین مختلف برای مشخصه‌های هندسی انواع سدهای رسوبگیر مورد استفاده در رودخانه‌ها را مطابق شکل (۳-۱۱) ارائه نموده‌اند[۶۱]. در جدول (۳-۱۲) نیز توصیف پارامترهای مورد استفاده در تعیین ابعاد هندسی سدهای رسوبگیر درج شده است.

از جمله ویژگی‌های شاخص سدهای رسوبگیر، پارامتر k یا بازشدگی نسبی می‌باشد که به دو صورت زیر تعریف می‌شود:

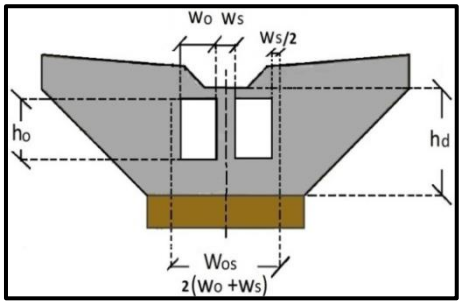
$$k = \frac{Ato}{Aos}, \qquad k = \frac{W_o}{W_d} \qquad (۱۶-۳)$$

که در آن؛ Ato: مساحت مجرای خروجی، Aos: سطح مقطع سازه سد (مجموع مساحت مجرای خروجی و سطح صلب در سدهای روزنه‌دار) و W_o و W_d: به ترتیب عرض شکاف و عرض سد (در سدهای رسوبگیر شکاف‌دار) می‌باشد.

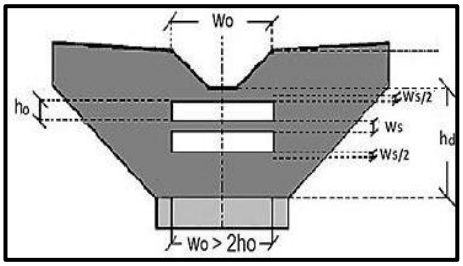
- میزان انباشت رسوب (بار بستر) در مخازن سدهای رسوبگیر، مطابق بررسی‌های آرمنینی و لارچر (Armanini and Larcher, 2001) در فلوم آزمایشگاهی، تابعی از پارامتر k بوده و برای شرایط عدم وجود سد، همان‌طوری‌که در نمودار شکل (۳-۱۲) نشان داده شده است، مقدار k برابر ۱ یا ۱۰۰٪ (عبور کامل بار رسوبی بستر) و برای حالت سد صلب (انسداد مجرا و تله‌اندازی کامل رسوب) معادل صفر می‌باشد [۴۱]. در این نمودار dz_o ارتفاع رسوبگذاری در مخزن و hu عمق جریان ورودی به مخزن است.
- از دیگر مشخصه‌های مهم سدهای رسوبگیر، رعایت تناسب هندسی در انتخاب ابعاد مجاری تخلیه جریان مطابق آنچه که در شکل (۳-۱۱- الف و ب) درج شده است، می‌باشد.



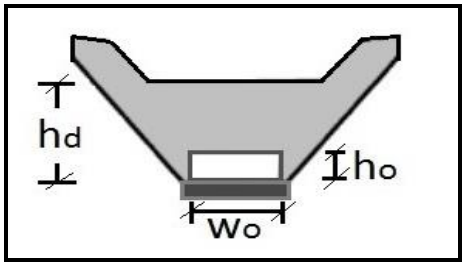
ho>2wo



ho<2wo

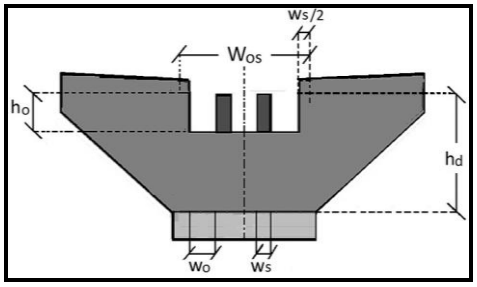


(Σws < Σwo)

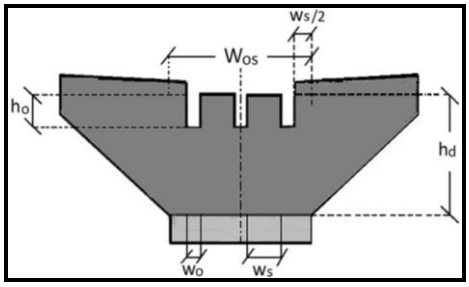


Wo>2ho

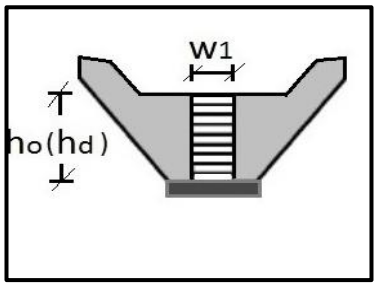
الف- ابعاد هندسی در انواع سدهای رسوبگیر روزنه‌دار (Slit dams)



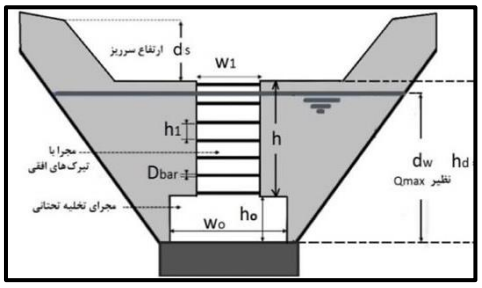
ho<h_d/2 ،(Σws < Σwo)



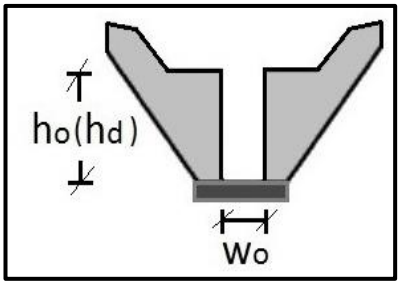
ho<h_d/2 ،(Σws > Σwo)

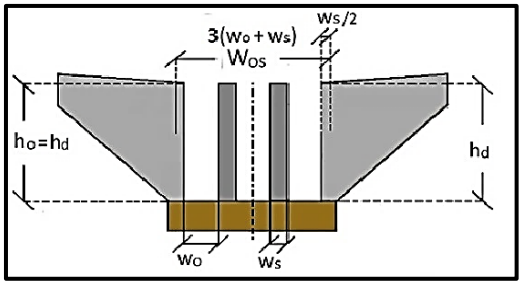


W1<h_d/2



W1<h/2 ،Wo>2ho





ho>2wo

ب- ابعاد هندسی در انواع سدهای رسوبگیر شکاف‌دار (Slot dams)

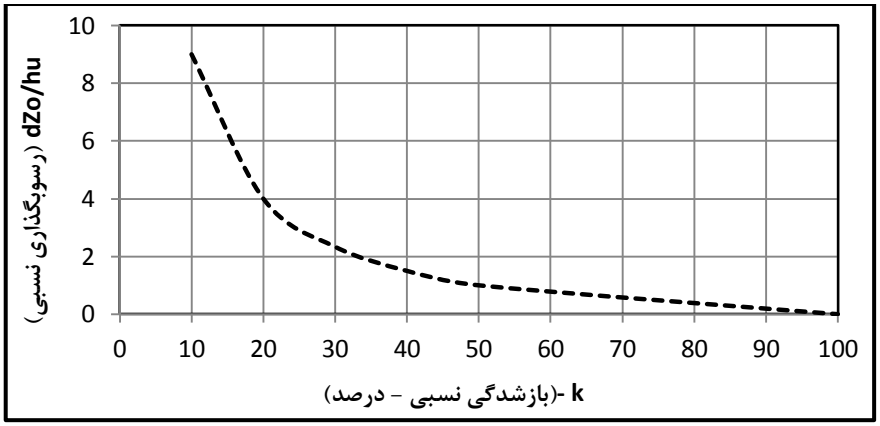
شکل ۳-۱۱- مشخصه‌های هندسی در انواع سدهای رسوبگیر شکاف‌دارو روزنه‌دار [۶۱]

مطابق شکل (۳-۱۱- الف)، در طراحی سدهای رسوبگیر روزنه‌دار (کالورتی) حسب نوع سد، رعایت شرایط ho>2wo یا ho<2wo و همچنین (Σws < Σwo) و ho<2wo ضروری است.

برای طراحی سدهای شکاف‌دار نیز درنظرگرفتن شرایط (Σws < Σwo)، ho<hd/2، (Σws > Σwo)، ho<hd/2، W1<hd/2، Wo>2ho، W1<h/2 و ho>2wo با توجه به نوع سد و مطابق شکل (۳-۱۱- ب) ضرورت دارد.

جدول ۳-۱۲- توصیف پارامترهای مختلف مورد استفاده در تعیین ابعاد هندسی سدهای رسوبگیر [۶۱]

ردیف	پارامترهای سد رسوبگیر	توصیف پارامتر	معادل انگلیسی
۱	Wo	عرض مجرای باز	Opening width
۲	Ws	عرض قسمت صلب مجرا	Solid part width
۳	Wo+Ws	مجموع عرض مجرا (باز و صلب)	Open structure total width
۴	W1	طول تیرک	Beam length(slit width)
۵	h1	فاصله تیرک‌ها	Height between beams
۶	Dbar	قطر تیرک	Beam diameter
۷	ho	ارتفاع مجرای باز	Opening height
۸	hd	ارتفاع سد	Dam height
۹	h	ارتفاع سد از لبه بالای تخلیه‌کننده تحتانی	Dam height above buttom outlet
۱۰	ds	ارتفاع سرریز سد رسوبگیر	Height of dam spillway
۱۱	ΔH	افت انرژی در خروجی سد رسوبگیر	Head loss through dam outlet
۱۲	Qmax	دبی سیل طراحی متناظر با ارتفاع سد رسوبگیر	Design flood affiliated with dam height
۱۳	Qpeak	دبی سیل طراحی متناظر با ارتفاع سرریز	Design flood affiliated with spillway height



شکل ۳-۱۲- تاثیرپذیری رسوبگذاری از بازشدگی نسبی(K) - سدهای رسوبگیر شکاف‌دار [۴۱]

همان‌طوری‌که در فوق اشاره شد، در نمودار شکل (۳-۱۲) پارامتر dzo/hu، معرف نسبت عمق رسوبگذاری در مخزن به عمق نرمال جریان ورودی در رودخانه (عمق نرمال در بازه بالادست مخزن که متاثر از اثرات بالاآمدگی آب مخزن نمی‌باشد) است.

۳-۴-۱- بررسی مدل‌های رایانه‌ای و انتخاب مدل مناسب

در بررسی عملکرد سدهای رسوبگیر، آگاهی از خصوصیات هیدرولیک جریان و انتقال رسوب ضروری بوده و لازم است رفتار هیدرولیکی رودخانه و فرایند فرسایش و رسوبگذاری در وضعیت موجود و در شرایط اجرای طرح، تعیین شود. استفاده از مدل‌های رایانه‌ای برای تحلیل هیدرولیک جریان و شبیه‌سازی رسوبگذاری در مخزن، از موثرترین ابزارهایی تلقی می‌شود که در دهه‌های اخیر به خصوص به منظور بررسی عملکرد سدهای رسوبگیر و تدقیق مشخصه‌های هندسی آن‌ها به موازات مدل‌های فیزیکی، از اقبال فراگیری برخوردارگردیده است. در این راستا، بعضی ویژگی نرم‌افزارهای متداول مورد استفاده در مدل‌سازی آورد رسوبی رودخانه و پیش‌بینی نحوه انباشت رسوب در مخزن سد رسوبگیر، مطابق جدول (۳-۱۳) ارائه شده است.

جدول ۳-۱۳- بعضی مشخصات مدل‌های ریاضی مورد استفاده در شبیه‌سازی هیدرولیک جریان، فرسایش و رسوبگذاری در سدهای رسوبگیر

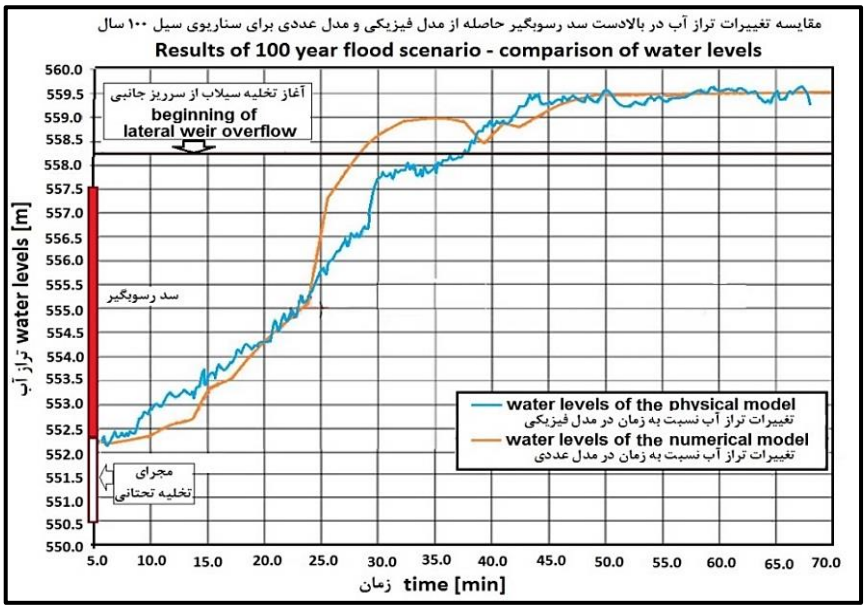
ردیف	نام مدل	مدل‌سازی هیدرولیک رسوب				مدل‌سازی		قابلیت مدل‌سازی مواد رسوبی		ملاحظات
		1-D	S-2D	QSF	USF	فرسایش و رسوبگذاری				
						رودخانه	مخزن	غیرچسبنده	چسبنده	
۱	HEC-RAS	*		*	*	*	*	*	*	در دسترس عموم
۲	GSTARS	*	*	*	*	*	*	*	*	"
۳	FLUVIAL	*		*		*		*		"
۴	STM	*		*		*		*	*	"
۵	WASASED	*		*		*	*	*	*	تجاری
۶	GESMAT	*		*	*	*	*	*		تجاری
1-D یکبعدی		S-2D شبه دو بعدی				QSF جریان شبه ماندگار		USF جریان غیرماندگار		

در شکل (۳-۱۳) نمونه‌ای از نتایج کاربرد مدل GESMAT [۶۷] برای شبیه‌سازی پروفیل رسوبگذاری در مخزن سد رسوبگیر (منطقه والیس در کشور سویس[1]) برای سیل با دوره بازگشت ۱۰۰ سال ارائه شده است [۶۸]. مطابق نمودارهای ارائه شده برای شبیه‌سازی فرایند رسوبگذاری، لازم است در وهله اول عملکرد هیدرولیکی جریان و تغییرات زمانی تراز آب در بالادست سد رسوبگیر برای سیلاب طراحی مورد بررسی قرار گرفته و به استناد آن مدل‌سازی هیدرولیک رسوب و پیش‌بینی پروفیل رسوبگذاری انجام گیرد.

بدیهی است همان‌طوری‌که در نمودارهای شکل (۳-۱۳) نشان داده شده است از جمله راهکارهای اصولی انتخاب مدل رایانه‌ای مناسب، مقایسه نتایج تجربی (نظیر پروفیل‌های حاصل از مدل فیزیکی) با خروجی مدل عددی است. به عبارتی در سدهای رسوبگیر اغلب به دلیل نبود و یا کمبود داده‌های میدانی (نظیر تغییرات زمانی و مکانی تراز آب و

1- Valais region-Sewitzerland

پروفیل رسوبگذاری)، صحت‌سنجی[1] مدل و تطبیق آن با شرایط رودخانه‌ای با استفاده از بررسی‌های مدل فیزیکی محقق می‌گردد [۴۱، ۶۸، ۷۳]. با عنایت به مباحث فوق، بعضی نکات اصلی در انتخاب مدل مناسب را می‌توان به صورت زیر عنوان نمود:



الف- شبیه‌سازی تغییرات تراز آب در مخزن (بالادست سد رسوبگیر) بر حسب زمان

شکل ۳-۱۳- شبیه‌سازی فرایند رسوبگذاری در مخزن سد رسوبگیر بر روی رودخانه والیس سویس توسط مدل GESMAT [۶۸]

- تجربه استفاده کاربردی از مدل برای شرایط متنوع رودخانه‌ای (جریان‌های فوق بحرانی، زیربحرانی و مختلط) و رسوبگذاری مخزن
- قابلیت مدل در پردازش نقشه مسیر رودخانه و آماده‌سازی فایل هندسی موردنیاز الگوریتم هیدرولیک رسوب و ارائه گرافیکی خروجی‌ها
- دارا بودن گزینه‌های مختلف تعیین بار رسوبی متناسب با طیف دانه‌بندی (چسبنده و غیر چسبنده) و هیدرولیک جریان برای تطبیق با داده‌های مدل فیزیکی و یا میدانی و مقایسه برای انتخاب معادله یا معادلات مناسب
- قابلیت مدل در شبیه‌سازی فرایند انتقال در شرایط پایدار و ناپایدار

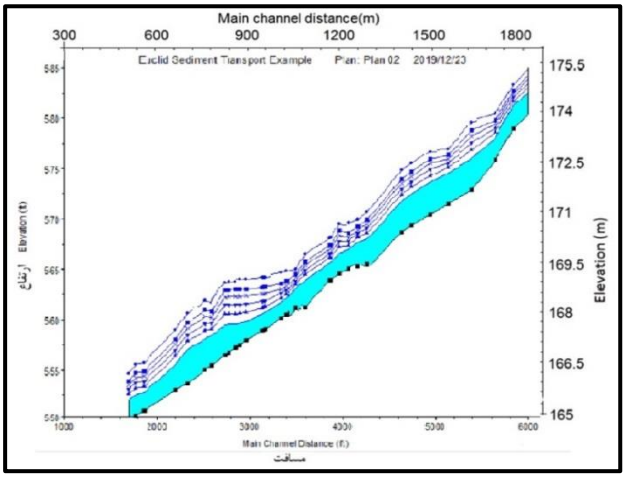
اغلب مدل‌های ارائه شده در جدول (۳-۱۳) عموما از قابلیت‌های مذکور برخوردار می‌باشند. در عین‌حال مدل GESMAT و WASASED [۵۰] از نوع تجاری بوده و از این‌رو دارای محدودیت کاربردی است. از بین مدل‌های

1- Calibration

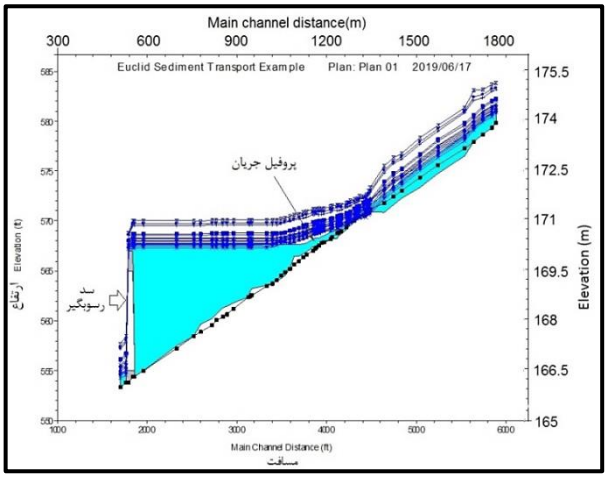
چهارگانه HEC-RAS [۸۷]، GSTARS [۸۲]، FLUVIAL [۸۸] و STM [۵]، مدل HEC-RAS از قابلیت گرافیکی و پردازش هندسی و تنوع سازه‌های عرضی و طولی بیش‌تری برخوردار بوده و از جمله مدل‌های ریاضی معتبری است که در پروژه‌های مختلف مهندسی رودخانه و شبیه‌سازی رسوبگذاری مخازن سدها، توسط متخصصین و مهندسان مشاور به کارگرفته می‌شود. به ویژه در نسخه جدید HEC-RAS-5 شبیه‌سازی خصوصیات هیدرولیکی در حالت یک بعدی و دوبعدی برای شرایط ماندگار و غیرماندگار میسر بوده و مدل‌سازی فرایند فرسایش و رسوبگذاری در حالت شبه ماندگار و غیرماندگار توسط این نرم‌افزار محقق گردیده است. در این راهنما از نتایج مدل HEC-RAS استفاده شده است.

۳-۴-۲- تعیین مشخصات هیدرولیک جریان در شرایط موجود و شرایط طراحی

در بررسی عملکرد سدهای رسوبگیر، مدل‌سازی مشخصات هیدرولیک جریان در دو حالت شرایط موجود و شرایط طراحی (احداث سد رسوبگیر) ضروری است. هیدرولیک جریان در شرایط طبیعی، شاخصی از پتانسیل انتقال رسوب تلقی می‌شود. در این خصوص نقش سیلاب‌ها درآورد رسوبی رودخانه حائز اهمیت زیادی است. با احداث سد رسوبگیر مطابق شکل (۳-۱۴)، رفتار هیدرولیک جریان رودخانه دستخوش تغییرات عمده‌ای می‌گردد که از نمودهای بارز آن، بروز پدیده پس‌زدگی[1] و افت محسوس تنش برشی یا شاخص پتانسیل انتقال می‌باشد که موجب انباشت رسوب در مخزن می‌گردد.

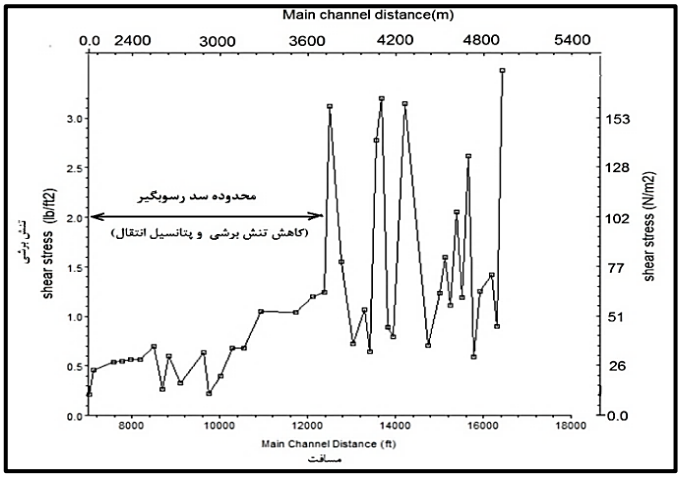


الف- پروفیل‌های جریان در شرایط طبیعی



ب- پروفیل‌های جریان در شرایط وجود سد رسوبگیر

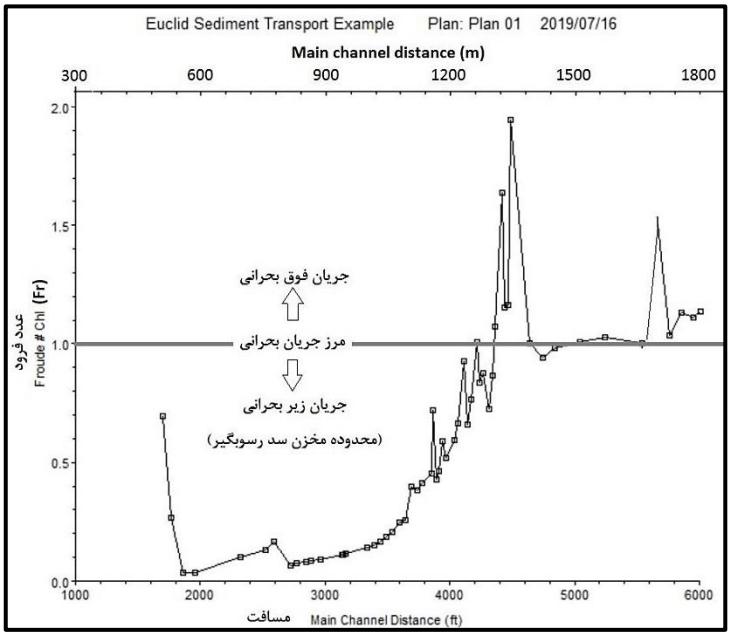
1- Backwater



ج- کاهش تنش برشی (شاخص پتانسیل انتقال) در مخزن سد رسوبگیر

شکل ۳-۱۴- پروفیل‌های جریان در شرایط موجود و وجود سد رسوبگیر و کاهش تنش برشی (مدل HEC-RAS، رودخانه اوکلید[1]- [۸۷])

سدهای رسوبگیر، اغلب در آبراهه‌های کوهستانی (در بالادست مخازن اصلی و شاخه‌های پررسوب) احداث می‌گردند که رژیم جریان فوق‌بحرانی وجه غالبی دارد. از طرفی مطابق شکل (۳-۱۵)، جریان زیربحرانی در محدوده مخزن حاکم می‌باشد. از این‌رو در بررسی مشخصات هیدرولیکی سدهای رسوبگیر، استفاده از گزینه جریان مختلط[2] متداول بوده و از جمله ملزومات شاخص در انتخاب مدل ریاضی برای شبیه‌سازی هیدرولیک جریان تلقی می‌شود.



شکل ۳-۱۵- وقوع جریان زیربحرانی و فوق بحرانی در بالادست سد رسوبگیر (مدل HEC-RAS، رودخانه اوکلید-[۸۷])

1- Uclid river, USA
2- Mixed flow

۳-۵- مطالعات هیدرولیک رسوب و مدل‌سازی رسوبگذاری در مخزن و تعیین پروفیل‌های رسوبگذاری

بار رسوبی حمل شده توسط رودخانه‌ها، حاصل تعامل هیدرولیک جریان و ساختار دانه‌بندی مواد رسوبی موجود در بستر می‌باشد. هیدرولیک رسوب، فرایندی است که طی آن با استناد به مشخصه‌های جریان و معادلات انتقال، امکان تعیین کمیت بار رسوبی حمل شده و بررسی پدیده فرسایش و رسوبگذاری فراهم می‌گردد. به دلیل تنوع منابع تغذیه رسوبی، ساختار دانه‌بندی بستر، تغییرات مستمر زمانی و مکانی جریان رودخانه‌ای و نقش سازه‌های هیدرولیکی و اثرات ساماندهی، اغلب در بررسی عملکرد سدهای رسوبگیر، استفاده از مدل‌های ریاضی بخش مهمی از مطالعات هیدرولیک رسوب را به خود اختصاص می‌دهد. در مدل‌سازی رسوبگذاری، پس از انتخاب مدل و انجام آزمون‌های اولیه و آماده‌سازی، شش گام اصلی زیر مدنظر قرار می‌گیرد:

گام اول- معرفی هیدروگراف جریان (رژیم آبدهی) برای بازه زمانی موردنظر

گام دوم- معرفی ساختار دانه‌بندی بستر

گام سوم- معرفی بار رسوبی ورودی از بالادست و شاخه‌های جانبی

گام چهارم- معرفی معادلات انتقال رسوب

گام پنجم- تعیین مشخصات هیدرولیکی و برآورد بار رسوبی ورودی به مخزن

گام ششم- تعیین پروفیل‌های رسوبگذاری

جزییات کامل برای هریک از گام‌های مذکور در راهنمای مدل‌های رایانه‌ای متداول از جمله مدل‌های مندرج در جدول (۳-۱۳) در دسترس می‌باشد.

- نکته مهم در مدل‌سازی رسوبگذاری در مخزن سد رسوبگیر، امکان انجام صحت‌سنجی و اعتبارسنجی[1] مدل انتخابی است.

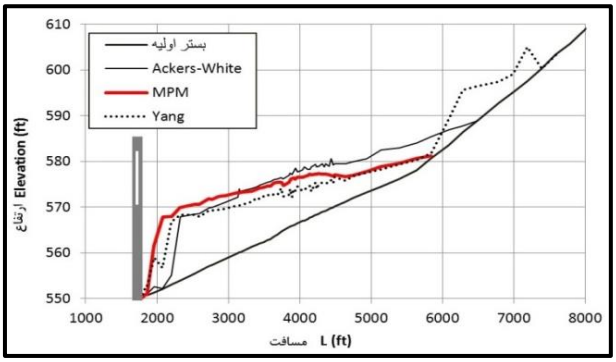
  این فرایند مستلزم تدارک سنجش‌های میدانی از جمله هیدروگراف جریان، پروفیل‌های رسوبگذاری و دانه‌بندی نهشته‌های رسوبی می‌باشد. با استفاده از چنین اطلاعاتی در صورت وجود تشابه منطقه‌ای، امکان انجام فرایند کالیبراسیون و تدقیق نتایج حاصله برای مدل انتخابی فراهم می‌گردد.[۸۹]

- در بسیاری موارد، تدارک اطلاعات لازم با محدودیت مواجه بوده و استفاده از نتایج مدل فیزیکی راهکار مناسبی تلقی می‌شود. [۵۸]

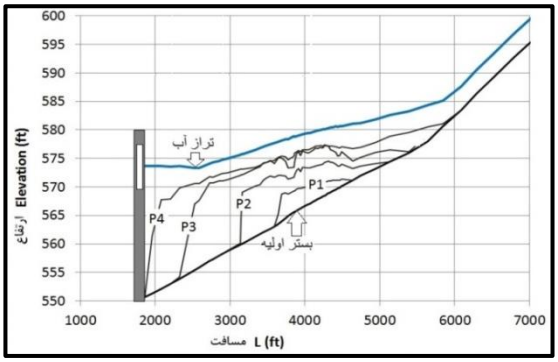
1- Verification and Validation

- هرچند امروزه، لزوم استفاده از مدل‌های فیزیکی به عنوان پیش‌نیاز طراحی سدهای رسوبگیر مطرح گردیده [۶۴، ۷۳، ۸۵]، اما در صورت استفاده از معادلات انتقال مناسب، نتایج حاصله از مدل ریاضی نیز می‌تواند در شرایط نبود داده‌های میدانی و یا آزمایشگاهی، برای اهداف طراحی مورد استفاده قرارگیرد.
- مدل‌های رایانه‌ای متداول در شبیه‌سازی فرایند رسوبگذاری، اغلب دارای گزینه‌های مختلفی برای معادلات انتقال بوده (به عنوان مثال ۸ معادله انتقال در مدل HEC-RAS و ۱۲ معادله تعیین بار رسوبی در مدل GSTARS معرفی شده است) و به تبعیت از ساختار دانه‌بندی و شرایط رودخانه‌ای (بسترهای ماسه‌ای، درشت‌دانه و یا ریزدانه)، امکان انتخاب معادلات مناسب برای تعیین نرخ انتقال و بررسی نحوه رسوبگذاری و رشد دلتا در مخزن سد رسوبگیر فراهم می‌باشد. در شکل (۳-۱۶) نمونه‌ای از نتایج حاصل از مدل‌سازی رسوبگذاری در سد رسوبگیر روزنه‌دار مفروض، توسط نرم‌افزار HEC-RAS بر روی رودخانه اکلید که دارای بستر شنی می‌باشد، با استفاده از معادلات انتقال ترسیم گردیده است. [۸۷]
- با بررسی پروفیل‌ها، روند رسوبگذاری حاصل از معادلات مایر- پیتر مولر (MPM) و ایکرز- وایت[1] را که در مقایسه با روش یانگ[2] از فرایند رشد و گسترش متوازن دلتا برخوردار می‌باشند، می‌توان مناسب‌تر قلمداد نمود (شکل ۳-۱۶- الف). همچنین شبیه‌سازی رشد دلتا و پیشروی آن در مخزن سد رسوبگیر برای دوره زمانی یک ساله (۱۹۸۶-۱۹۸۵ با استفاده از روش مایر- پیتر- مولر) به عنوان قابلیت مدل رایانه‌ای در شکل (۳-۱۶- ب) نشان داده شده است.
- در مدل‌های رایانه‌ای، هیدروگراف جریان به صورت پلکانی (آبدهی ثابت در گام زمانی) معرفی می‌گردد. به چنین الگویی جریان شبه ناپایدار یا (QUF)[3] اطلاق می‌شود. با توجه به نقش سیلاب‌ها در انتقال بار رسوبی، لازم است گام زمانی انتخابی برای پریود سیلابی، کوتاه‌تر از دوره جریان‌های عادی باشد.
- از جمله نکات مهم در برررسی هیدرولیک رسوب سدهای رسوبگیر، تاثیرپذیری فرایند رسوبگذاری، از نوع مجاری خروجی جریان و درصد بازشدگی آن‌هاست. در شکل (۳-۱۷) حالت‌های مختلف شامل سدهای روزنه‌دار با موقعیت‌های متفاوت مجاری خروجی و سدهای شکاف‌دار کم‌عرض و عریض، به عنوان نمونه‌ای از انواع سدهای رسوبگیر باز نشان داده شده است. بر اساس انتخاب ابعاد و موقعیت مجاری باز، امکان تله‌اندازی کامل بار بستر و یا بخشی از آن که دارای دانه‌بندی درشت‌تری می‌باشد[4] و همچنین تله‌اندازی قطعات سنگ و لاشه سنگ و اشجار و الوار، محقق می‌گردد.

1- Ackers-White
2- Yang
3- Quasi-Unsteady Flow
4- Bed Load Filtering Dams

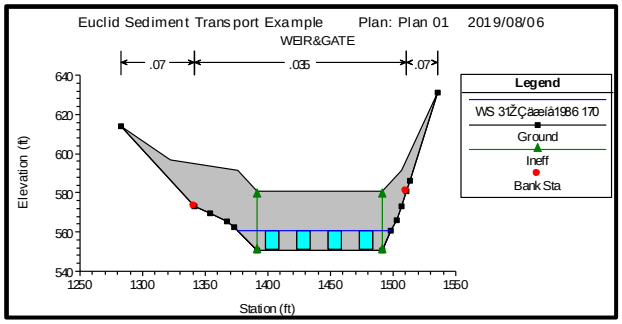


الف- مقایسه پروفیل‌های رسوبگذاری حاصل از معادلات مختلف

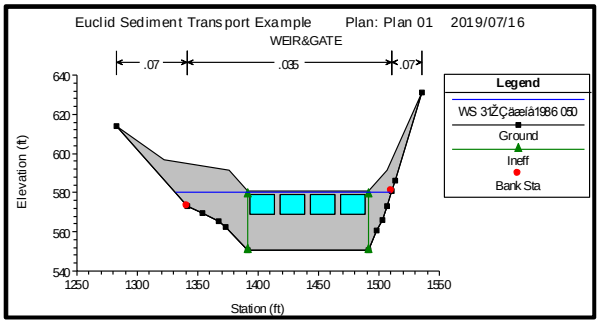


ب- انتخاب معادله مناسب (MPM) و پروفیل‌های متوالی حاصله

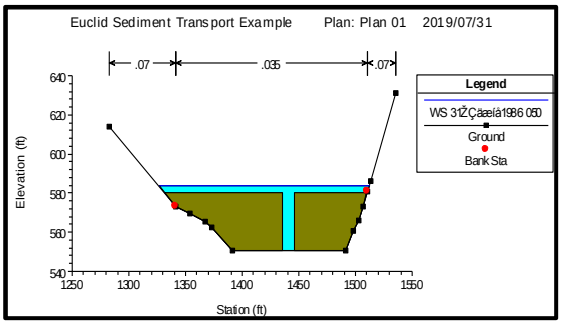
شکل ۳-۱۶- مقایسه پروفیل رسوبگذاری حاصل از معادلات انتقال و انتخاب روش مناسب (مثال کاربردی مدل HEC-RAS [۸۷])



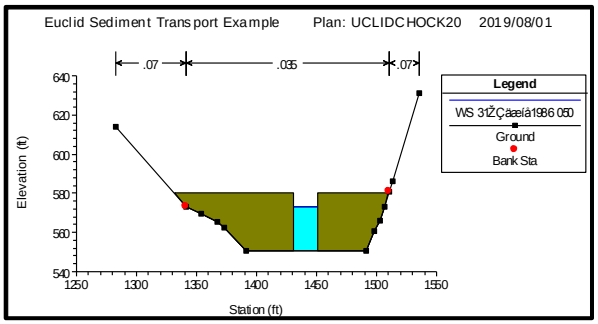
الف- سد رسوبگیر روزنه‌دار با مجاری تخلیه جریان در کف



ب- سد رسوبگیر روزنه‌دار با مجاری تخلیه جریان در تاج



ج- سد رسوبگیر شکاف‌دار کم‌عرض



د- سد رسوبگیر شکاف‌دار عریض

شکل ۳-۱۷- نمونه‌ای از گروه سدهای رسوبگیر روزنه‌دار و شکاف‌دار مورد استفاده در تله‌اندازی بار بستر [۸۷]

۳-۵-۱- بررسی سناریوهای مختلف و تعیین حجم رسوبگذاری در مخزن

حجم رسوبگذاری در سدهای رسوبگیر تابعی از ارتفاع سد، نوع و اندازه مجاری تخلیه جریان و اهداف مورد نظر می‌باشد. در مباحث زیر به برررسی انواع سدهای باز و تعیین حجم رسوبگذاری در مخزن پرداخته شده است.

۳-۵-۱-۱- بررسی سناریوهای مختلف و تعیین حجم رسوبگذاری در سدهای رسوبگیر شکاف‌دار

در سدهای رسوبگیر شکاف‌دار با ایجاد مجرای خروجی و برقراری جریان آزاد، شرایط هیدرودینامیکی مناسبی برای وقوع پدیده جورشدگی هیدرولیکی[1] فراهم می‌گردد تا مواد رسوبی به تبعیت از دانه‌بندی و شدت جریان (اعم از عادی و سیلابی)، در طول مخزن توزیع شده و پیشروی جبهه رسوبگذاری تا بدنه سد محقق گردد. در این سازه‌ها، مطابق شکل (۳-۱۸) با انتخاب عرض شکاف، امکان مدیریت و تله‌اندازی کامل بار بستر و یا بخشی از آن (مصالح درشت‌دانه بستر) و همچنین مهار قطعات سنگ و لاشه‌سنگ وجود دارد.

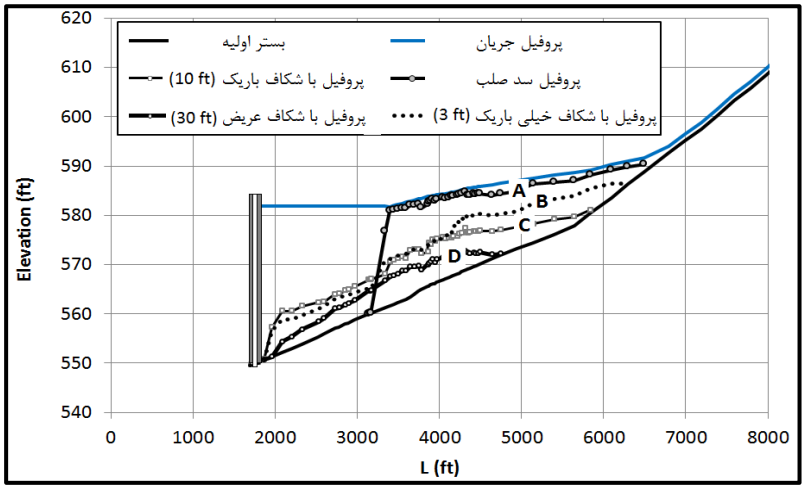
الف- سد رسوبگیر با شکاف منفرد برای تله‌اندازی بار بستر

ب- سد رسوبگیر با شکاف منفرد با هدف مهار لاشه سنگ و صخره سنگ

شکل ۳-۱۸- نمونه‌هایی از سدهای شکاف‌دار با اهداف متفاوت برای تله‌اندازی بار بستر و سنگ و لاشه سنگ [۶۴]

- به منظور بررسی عملکرد سدهای شکاف‌دار، نتایج مدل‌سازی پروفیل رسوبگذاری با استفاده از نرم‌افزار HEC-RAS برای سناریوهای مختلف در یک‌دوره یک ساله در شکل (۳-۱۹) ترسیم گردیده و با پروفیل رسوبگذاری حاصل از سد صلب، مقایسه شده است. (رودخانه اکلید [۸۷])
- بررسی پروفیل‌ها موید آن است که در گزینه سد صلب (پروفیل A) به دلیل کاهش محسوس سرعت جریان و افت ظرفیت انتقال، پدیده انباشت توده‌ای و متمرکز رسوب، منجر به شکل‌گیری و رشد سریع دلتا در بازه ورودی و پیشروی تدریجی آن به داخل مخزن می‌گردد. به این‌نوع تله‌اندازی در سدهای صلب اصطلاحا کنترل مکانیکی رسوبگذاری[2] اطلاق می‌شود [۵۴]. بدیهی است با تداوم جریان رودخانه‌ای، دامنه رسوبگذاری تا پای سازه سد ادامه یافته و با پرشدن کامل مخزن و فرارسیدن حالت تعادلی رسوب ورودی، عینا به پایین‌دست منتقل می‌گردد.

1- Hydraulic Sorting
2- Machanically Controled Sedimentation



شکل ۳-۱۹- تاثیرپذیری پروفیل رسوبگذاری از میزان بازشدگی در سدهای رسوبگیر شکاف‌دار (رودخانه اکلید [۸۷])

- در سدهای شکاف‌دار با ایجاد مجرای خروجی، ضمن تخلیه بار معلق، مواد رسوبی بستر به تبعیت از دانه‌بندی و شدت جریان در طول مخزن توزیع شده و پروفیل حاصله در مقایسه با سد صلب، دارای گستره بیش‌تر و ضخامت کم‌تری بوده و پیشروی جبهه رسوبگذاری برخلاف سد صلب تا بدنه سد، محقق می‌گردد. بررسی پروفیل‌های شکل (۳-۱۹) در سه سناریوی مختلف زیر، موید آن است که با انتخاب عرض شکاف، امکان مدیریت و تله‌اندازی کامل یا بخشی از بار بستر برای گزینه‌های مختلف وجود دارد.
  - شکاف خیلی باریک (پروفیل B)
  - شکاف باریک (پروفیل C)
  - شکاف عریض (پروفیل D)
- مطابق شکل (۳-۱۹) درحالی‌که برای شکاف عریض (پروفیل D) فقط آن بخش از رسوبات درشت‌دانه که متعلق به جریان‌های سیلابی است، در مخزن انباشته شده و پروفیل رسوبگذاری دارای ضخامت کم و دامنه محدودی است، برای شکاف خیلی باریک (پروفیل B) با افزایش ارتفاع پس‌زدگی و افت سرعت، تله‌اندازی بخش عمده‌ای از بار بستر محقق گردیده و تراز رسوبگذاری افزایش می‌یابد. به‌علاوه به دلیل شرایط هیدرودینامیکی حاکم در مخزن توزیع رسوبات، پروفیل رسوبگذاری حاصله دارای دامنه فراگیری بوده و متفاوت از پروفیل کم‌دامنه سد صلب می‌باشد. ترسیم پروفیل رسوبگذاری برای شکاف باریک (پروفیل C)، واقعیت اثرگذاری عرض شکاف در کنترل پروفیل رسوبگذاری و کمیت آن را بیش از پیش محرز می‌نماید.

- شیوه مدیریت رسوبگذاری در سدهای رسوبگیر شکاف‌دار که حاصل فشردگی جریان[1] و ایجاد پدیده پس‌زدگی و تله‌اندازی مواد رسوبی ناشی از کاهش سرعت متناسب با اهداف موردنظر می‌باشد، از امتیازات شاخص سدهای رسوبگیر باز تلقی شده و در ادبیات مهندسی رسوب از آن با عنوان کنترل هیدرولیکی رسوبگذاری[2] نام برده می‌شود که ماهیتا با کنترل مکانیکی رسوبگذاری در سدهای صلب دارای تفاوت‌های اساسی است. [۴۱، ۶۱]
- به منظور بررسی تاثیر عرض شکاف در میزان تله‌اندازی بار بستر، نتایج مدل‌سازی در سناریوهای مختلف (سد صلب تا سد با شکاف عریض) به صورت مثال موردی در جدول (۳-۱۴) ارائه شده است. مطابق جدول (۳-۱۴) برای رودخانه اکلید درحالی‌که تله‌اندازی کامل رسوب برای سد صلب محقق می‌گردد، در سدهای شکاف‌دار برای مثال موردی دامنه درصد تله‌اندازی بین ۳ تا ۹۷٪ به تبعیت از عرض شکاف، متغیر است. به عبارتی برای تله‌اندازی مصالح درشت‌دانه (شن درشت و سنگ و قلوه‌سنگ)، شکاف عریض مناسب بوده و با انتخاب شکاف کم‌عرض، امکان مهار رسوبات کلاس ماسه نیز محقق می‌گردد. با استناد به نتایج جدول (۳-۱۴) تاثیر عرض شکاف در میزان تله‌اندازی رسوب به صورت نمودار در شکل (۳-۲۰) نشان داده شده است. در این نمودار نسبت بازشدگی به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$K = (\frac{W_o}{W_d}) * 100 \qquad (۳-۱۷)$$

که در آن؛ K: نسبت بازشدگی برحسب درصد و W_O و W_d: به ترتیب عرض شکاف و پهنای سد می‌باشد.

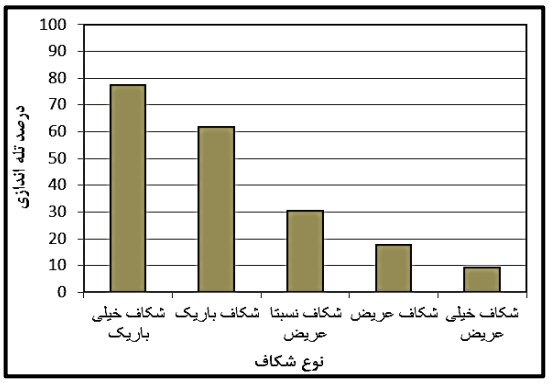
جدول ۳-۱۴- بعضی نتایج مدل‌سازی رسوبگذاری در سدهای شکاف‌دار و مقایسه آن با سد صلب (رودخانه اکلید، [۸۷])

شماره سناریو	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
	Wd	hd	N	Wo	ho	Ao	As	K
	عرض سد	ارتفاع سد	تعداد شکاف	عرض شکاف	ارتفاع شکاف	مساحت مجرای باز	مقطع سد	(Wo/hd)/100 نسبت بازشدگی
	m	m		m	m	m2	m2	%
۱	۲۷	۹	۰	۰	۰	۰	۲۷۰	۰
۲	۲۷	۹	۱	۱/۵	۹	۱۳/۵	۲۷۰	۵/۶
۳	۲۷	۹	۱	۳	۹	۲۷	۲۷۰	۱۱
۴	۲۷	۹	۱	۶	۹	۵۴	۲۷۰	۲۲
۵	۲۷	۹	۱	۹	۹	۸۱	۲۷۰	۳۸
۶	۲۷	۹	۱	۱۵	۹	۱۳۵	۲۷۰	۵۶

1- Choke Effects
2- Hydraulically Controled Bedload Sedimentation

ادامه جدول ۳-۱۴- بعضی نتایج مدل‌سازی رسوبگذاری در سدهای شکاف‌دار و مقایسه آن با سد صلب (رودخانه اکلید، [۸۷])

۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶
Tf	Vol-Q	Qmax	hmax	Vol-sed	Te		Vol-out
مدت	حجم جریان	حداکثر جریان	حداکثر عمق	وزن رسوب	وزن رسوب		رسوب
دوام جریان	ورودی	ورودی	در مخزن	ورودی	تله‌اندازی شده		خروجی
day	MCM	MCM	m	m	ton	%	%
۳۶۵	۲۱۶/۴	۳۴۰	۱۲/۶۳	۳۴۳۴۴۳	۳۴۳۴۴۳	۱۰۰	۰
۳۶۵	۲۱۶/۴	۳۴۰	۱۰/۱۴	۳۴۳۴۴۳	۲۷۱۳۲۰	۷۹	۳
۳۶۵	۲۱۶/۴	۳۴۰	۱۰	۳۴۳۴۴۳	۲۱۸۷۷۳	۶۳/۷	۵
۳۶۵	۲۱۶/۴	۳۴۰	۶/۸	۳۴۳۴۴۳	۱۰۴۴۰۷	۳۰/۴	۳۰
۳۶۵	۲۱۶/۴	۳۴۰	۵/۲	۳۴۳۴۴۳	۵۴۹۴۱	۱۹/۲	۷۰
۳۶۵	۲۱۶/۴	۳۴۰	۵/۲	۳۴۳۴۴۳	۳۷۷۷۹	۱۱	۷۰



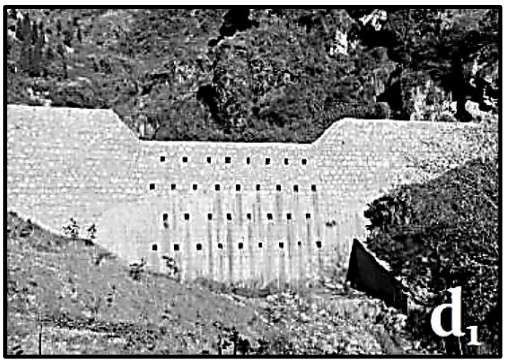
الف- تاثیر عرض شکاف در تله‌اندازی بار رسوبی

ب- درصد تله‌اندازی تابعی از نسبت بازشدگی

شکل ۳-۲۰- تاثیرپذیری درصد تله‌اندازی بار بستر از ابعاد شکاف در سدهای رسوبگیر باز (مثال موردی - رودخانه اکلید، [۸۷])

۳-۵-۱-۲- بررسی سناریوهای مختلف و تعیین حجم رسوبگذاری در سدهای رسوبگیر روزنه‌دار

استفاده از انواع سدهای رسوبگیر روزنه‌دار که اغلب به دلیل برقراری جریان تحت فشار و تعدد مجاری تخلیه، عنوان سدهای کالورتی نیز می‌توان به آن‌ها اطلاق نمود، از جمله روش‌های متداول در مهار رسوب رودخانه‌ها تلقی می‌شود. مدیریت رسوبگذاری و میزان تله‌اندازی در سدهای کالورتی یا روزنه‌دار نیز تابعی از موقعیت و ابعاد مجاری خروجی می‌باشد. در شکل (۳-۲۱) نمونه‌هایی از سدهای رسوبگیر مجهز به سری کالورت‌ها نشان داده شده است.



الف- سد رسوبگیر با سری کالورت‌ها در ترازهای مختلف (سازه سنگ و سیمان)

ب- سد رسوبگیر با ردیف کالورت‌ها (سازه بتنی)

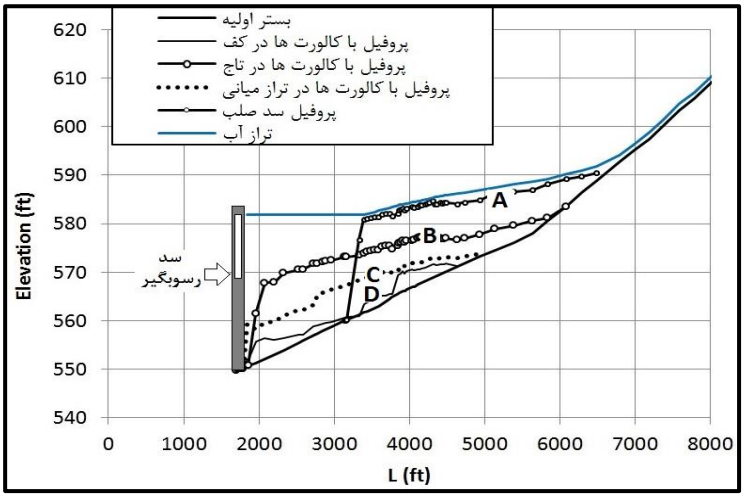
شکل ۳-۲۱- نمونه‌هایی از سدهای رسوبگیر کالورتی برای تله‌اندازی بار بستر [۹۰ و بررسی‌های اینترنتی]

در سدهای کالورتی، مشابه سدهای شکاف‌دار، با قراردادن مجاری در ترازهای مختلف و تغییر ابعاد و تعداد آن، الگوی رسوبگذاری را می‌توان مدیریت نمود. نمونه‌ای از نتایج بررسی بر روی عملکرد سدهای کالورتی در شکل (۳-۲۲) برای چهار سناریوی زیر معرفی شده است:

- سد فاقد مجرای خروجی یا کالورت یا سد صلب (پروفیل A)
- کالورت‌ها در تاج یا پایین‌تر از تراز سرریز (پروفیل B)
- کالورت‌ها در تراز میانی (پروفیل C)
- کالورت‌ها در کف (پروفیل D)

- مطابق شکل (۳-۲۲) در مدل‌سازی سناریوهای مختلف رسوبگذاری برای بازه زمانی یک ساله در شرایط نبود کالورت، الگوی رسوبگذاری از سناریوی سد صلب تبعیت می‌کند که به دلیل افت شدید سرعت جریان و تمرکز انباشت در ورودی مخزن، ضخامت دلتا بیش‌تر و دامنه آن کم‌تر می‌باشد. (پروفیل A)
- با قراردادن کالورت‌ها، شرایط هیدرودینامیکی برای جابجایی بار رسوبی در طول مخزن فراهم گردیده و با پیشروی جبهه رسوب برخلاف سد صلب، دامنه رسوبگذاری برای سناریوهای مختلف مطابق شکل (۳-۲۲) تا پای سازه سد، گسترش می‌یابد.
- قرارگرفتن کالورت‌ها در تراز فوقانی، نرخ تله‌اندازی را افزایش داده و پروفیل حاصله (پروفیل B) از ضخامت بیش‌تری برخوردار می‌باشد. در این حالت آن بخش از بدنه سد که پایین‌تر از کف کالورت قرار دارد، دارای عملکرد مشابه سد صلب بوده و اثر خود را بر الگوی رسوبگذاری اعمال می‌کند.
- با قرار گرفتن کالورت‌ها در تراز میانی و برقراری جریان فعال، پیشروی جبهه رسوبی افزایش یافته و خروج بخشی از بار بستر که دارای دانه‌بندی ریزتری است، فراهم می‌گردد. از این‌رو پروفیل رسوبگذاری (پروفیل C) به طور شاخص دارای ضخامت کم‌تری بوده و تمرکز انباشت مصالح رسوبی در مجاورت سازه سد بیش‌تر است.
- قراردادن دریچه‌ها در کف، موید آن است که فرایند انتقال و جابجایی مواد رسوبی در مقایسه با سناریوهای دیگر، از شدت بیش‌تری برخوردار می‌باشد. در این حالت مطابق پروفیل D، ضخامت رسوبگذاری به طور محسوس کم‌تر از گزینه‌های دیگر بوده و موید آن است که تله‌اندازی مصالح درشت بخش عمده حجم رسوبگذاری را در این سناریو به خود اختصاص می‌دهد.

به منظور بررسی کمی تاثیر موقعیت کالورت‌ها در میزان تله‌اندازی بار بستر، نتایج مدل‌سازی در سناریوهای مختلف در جدول (۳-۱۵) ارائه شده است. مطابق جدول (۳-۱۵) درحالی‌که برای سد صلب تله‌اندازی کامل رسوب محقق می‌گردد، در سدهای کالورتی دامنه درصد تله‌اندازی حاصل از مدل‌سازی رودخانه اکلید بین ۱۵ تا ۹۵٪ به تبعیت از موقعیت کالورت‌ها متغیر است. به عبارتی برای مهار و تله‌اندازی مصالح درشت‌دانه (نظیر شن درشت و سنگ و قلوه‌سنگ) که اغلب درصد کم‌تری از بار رسوبی بستر را به خود اختصاص می‌دهد، استقرار کالورت در کف مناسب می‌باشد.



شکل ۳-۲۲- تاثیرپذیری پروفیل رسوبگذاری از میزان بازشدگی و موقعیت کالورت‌ها در سدهای رسوبگیر روزنه‌دار (رودخانه اکلید،[۸۷])

درحالتی‌که هدف از احداث سد رسوبگیر تله‌اندازی بخش عمده‌ای از بار بستر باشد، نظیر احداث سد در بالادست مخازن ذخیره‌ای و یا تامین مصالح شن و ماسه، طبعا استقرار کالورت در تراز میانی و بالاتر راهکار مناسبی است. با انتخاب تراز بالاتر، علاوه بر رسوبات درشت، امکان مهار رسوبات دانه ریز (نظیر شن ریز و ماسه) نیز محقق می‌گردد. با استناد به نتایج جدول (۳-۱۵) تاثیر موقعیت کالورت‌ها در میزان تله‌اندازی رسوب به صورت نمودار نیز در شکل (۳-۲۳) نشان داده شده است. در این نمودار تراز نسبی به صورت زیر تعریف می‌شود:

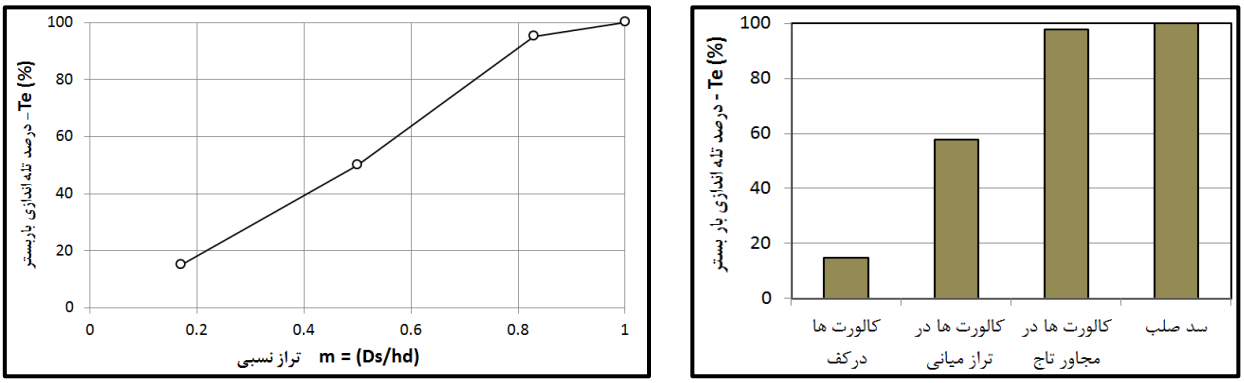
$$m = \frac{D_s}{h_d} \qquad (۳-۱۸)$$

که در آن؛ m: تراز نسبی و D_s: فاصله ارتفاع لبه پایین کالورت از کف سازه سد می‌باشد.

جدول ۳-۱۵- بعضی نتایج مدل‌سازی رسوبگذاری در سدهای کالورتی (روزنه‌دار) و مقایسه آن با سد صلب (رودخانه اکلید، [۸۷])

شماره سناریو	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
	Wd	hd	N	Wo	ho	Hc	Ao	As	K
	عرض سد	ارتفاع سد	تعداد کالورت	عرض کالورت	ارتفاع کالورت	فاصله محور کالورت از تاج سرریز	مساحت مجرای باز	مقطع سد	نسبت بازشدگی
	m	m		m	m	m	m2	m2	%
۱	۳۰	۹	۰	۰	۰	۰	۰	۲۷۰	۰
۲	۳۰	۹	۴	۶	۹	۱.۵	۷۲	۲۷۰	۵.۶
۳	۳۰	۹	۴	۶	۹	۴.۵	۷۲	۲۷۰	۱۱
۴	۳۰	۹	۴	۶	۹	۷.۵	۷۲	۲۷۰	۲۲

ملاحظات	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۳	۱۴		۱۵
	Tf	Vol-Q	Qmax	hmax	Vol-sed	Te		Vol-out
	مدت دوام جریان	حجم جریان ورودی	حداکثر جریان ورودی	حداکثر عمق در مخزن	وزن رسوب ورودی	وزن رسوب تله‌اندازی شده		رسوب خروجی
	day	MCM	MCM	m	m	ton	%	%
سد صلب	۳۶۵	۲۱۶/۴	۳۴۰	۱۲/۶۳	۳۴۳۴۴۳	۳۴۳۴۴۳	۱۰۰	۰
کالورت‌ها در تاج	۳۶۵	۲۱۶/۴	۳۴۰	۹	۳۴۳۴۴۳	۳۲۶۲۷۱	۹۵	۵
کالورت‌ها در تراز میانی	۳۶۵	۲۱۶/۴	۳۴۰	۵/۶۳	۳۴۳۴۴۳	۱۷۱۷۲۲	۵۰	۵۰
کالورت‌ها در کف	۳۶۵	۲۱۶/۴	۳۴۰	۴/۳	۳۴۳۴۴۳	۵۱۵۱۶	۱۵	۸۵



شکل ۳-۲۳- تاثیرپذیری درصد تله‌اندازی بار بستر از موقعیت کالورت‌ها در سدهای رسوبگیر روزنه‌دار (رودخانه اکلید، [۸۷])

۳-۵-۲- بررسی میزان تله‌اندازی (Te) برحسب اندازه‌های مختلف دانه‌بندی و تعیین قطر طراحی (Dd)

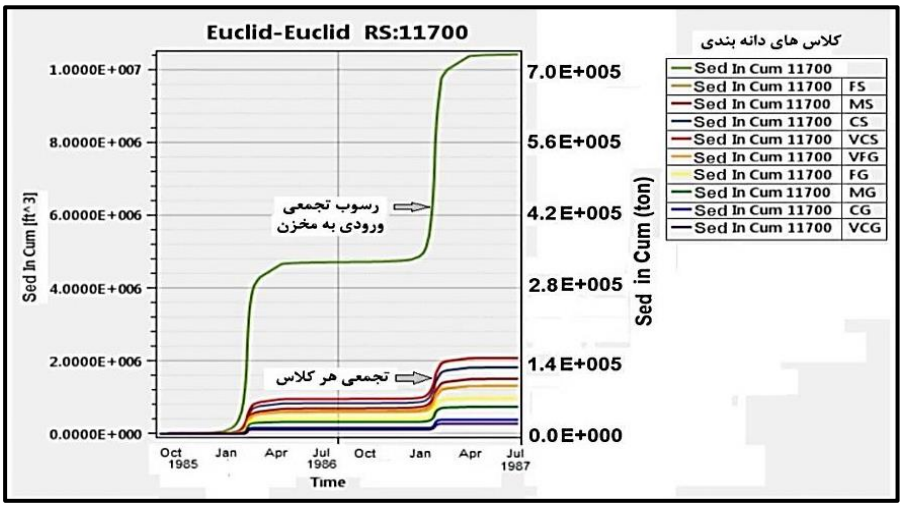
در مباحث پیشین با استناد به راهکارهای ارائه شده توسط متخصصین مختلف [۴۱، ۶۱، ۶۲]، میزان تله‌اندازی رسوب یا Te به صورت تابعی از ابعاد شکاف و مجاری موجود در بدنه سد معرفی گردید. در عین‌حال، اغلب در طراحی سدهای رسوبگیر، تعیین کمیت Te برحسب اندازه دانه رسوب که به عنوان قطر آستانه رسوبگذاری یا قطر طراحی (Dd) می‌توان عنوان نمود (قطر آستانه رسوبگذاری یا قطر طراحی بیانگر اندازه دانه رسوبی می‌باشد که ذرات مساوی یا بزرگ‌تر از آن ترسیب گردیده و دانه‌های کوچک‌تر همراه جریان از مخزن خارج می‌شود)، دارای اهمیت است. در حال حاضر، رابطه تجربی مشخصی که بتواند به طور مستقیم مقدار Te را به صورت تابعی از Dd معرفی نماید، در دسترس نبوده و ارزیابی Te برای سدهای مخزنی در قالب گراف تجربی (نظیر منحنی‌های برون Brune [۷۸،۷۵]) و در مورد سدهای رسوبگیر با استناد به نمودارهای معرفی شده در بند ۳-۵-۱ حاصل از نتایج مدل‌سازی، میسر می‌گردد.

در شرایط نبود روابط تجربی با توسل به مدل‌سازی رایانه‌ای، امکان تعیین درصد تله‌اندازی رسوب بر حسب اندازه‌های مختلف دانه‌بندی و چگونگی تاثیرپذیری آن از سناریوهای مختلف فراهم می‌گردد. به عبارتی با استفاده از توانمندی‌های مدل‌سازی عددی، علاوه بر امکان تعیین حجم کل رسوبگذاری، تعیین درصد تله‌اندازی مخزن (Te) برای اندازه مشخص دانه‌بندی در گزینه موردنظر، امکان‌پذیر می‌باشد. از این رو امروزه مدل‌سازی عددی بخش مهمی از فرایند رفتارسنجی و بررسی عملکرد سدهای رسوبگیر و تدقیق مشخصات هندسی موردنیاز در فرایند طراحی بوده و به منظور معرفی چنین قابلیتی، جزییات نتایج اجرای مدل HEC-RAS برای سدهای شکاف‌دار و روزنه‌دار، ذیلا ارائه شده است.

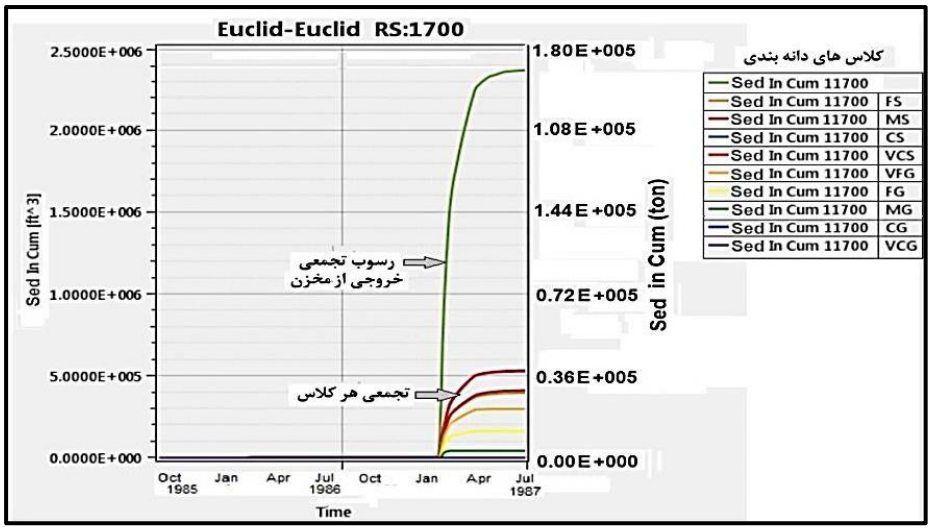
۳-۵-۲-۱- بررسی میزان تله‌اندازی (Te) برحسب اندازه‌های مختلف دانه‌بندی و تعیین قطر طراحی در سدهای شکاف‌دار

به منظور بررسی چگونگی عملکرد رسوبگذاری سدهای شکاف‌دار برحسب اندازه‌های مختلف دانه‌بندی و تعیین قطر طراحی، همان‌طوری‌که در بالا اشاره شد، توسل به مدل رایانه‌ای و بررسی نتایج حاصله ضروری می‌باشد. در این خصوص نتایج حاصل از اجرای مدل HEC-RAS برای مثال موردی بر روی رودخانه اکلید مورد استناد قرار گرفته است [۸۷].

لازم به ذکر است در فایل خروجی مدل HEC-RAS، جزییات مربوط به تغییرات زمانی رسوب ورودی و خروجی از مخزن برای کلاس‌های مختلف دانه‌بندی به صورت جداول و نمودار تجمعی قابل دسترسی است که نمونه‌ای از آن برای رودخانه اکلید در سری گراف‌های شکل (۳-۲۴) ارائه شده است. مطابق گراف‌های شکل (۳-۲۴) علاوه بر تجمعی زمانی رسوب ورودی و خروجی، روند تغییرات زمانی رسوب متعلق به کلاس‌های مختلف دانه‌بندی (ماسه ریز یا FS معرف قطر ۰/۱۲۵ میلی‌متر مطابق کلاسه‌بندی مدل تا شن خیلی درشت (VCG) معرف قطر ۶۴ میلی‌متر) نیز بخشی از خروجی مدل تلقی می‌شود.



الف- تغییرات زمانی رسوب ورودی به مخزن سد رسوبگیر شکاف‌دار برای محدوده‌های مختلف دانه‌بندی



ب- تغییرات زمانی رسوب خروجی از مخزن سد رسوبگیر شکاف‌دار برای محدوده‌های مختلف دانه‌بندی

شکل ۳-۲۴- نمودار گرافیکی روند تغییرات زمانی رسوب ورودی و خروجی سد رسوبگیر شکاف‌دار (نتایج مدل‌سازی رودخانه اکلید، [۸۷])

در گراف‌های ارائه شده عنوان Sed in Cum معرف رسوب تجمعی است که در دو واحد حجمی ft^3 (فوت مکعب) و وزنی (تن) معرفی شده است.

با استناد به نتایج اجرای مدل HEC-RAS برای رودخانه اکلید، در جدول (۳-۱۶) میزان رسوب ورودی و خروجی و درصد تله‌اندازی به ازای محدوده‌های مختلف دانه‌بندی متعلق به کلاس ماسه ریز تا شن خیلی درشت و در پنج سناریوی مختلف (عرض شکاف ۵ تا ۵۰ فوت) برای دوره یک ساله (سال آبی ۱۹۸۶-۱۹۸۵) به عنوان نمونه ارائه شده است.

مطابق جدول (۳-۱۶) در این مثال موردی، برای شکاف باریک (۵ فوت)، امکان تله‌اندازی ۲۷۱۴۱۵ تن (۷۹٪ از کل رسوب ورودی) فراهم می‌گردد که دلیل آن انباشت بخش عمده‌ای از رسوبات ریزدانه کلاس ماسه (۱۶۵۷۹۳ تن) در مخزن می‌باشد. در مقابل با افزایش عرض به ۵۰ فوت و شسته شدن رسوبات کلاس ریزدانه (ماسه) و بخشی از کلاس شن، نرخ انباشت رسوب به طور محسوسی کاهش یافته و به ۳۷۶۱۴ تن (۱۱٪ کل رسوب ورودی) محدود می‌گردد که بخش عمده آن (۲۴۲۶۸ تن) به درشت‌دانه‌ها اختصاص دارد.

با استناد به نتایج جدول (۳-۱۶) می‌توان در خصوص تعیین عرض شکاف سد رسوبگیری که بتواند برای اندازه مشخص دانه رسوب (قطر طراحی یا D_d) و با درصد تله‌اندازی موردنظر (Te) عمل نماید، اتخاذ تصمیم نمود. بدین‌منظور انجام مراحل زیر مورد نیاز است:

گام اول - با ترسیم تغییرات Ted (تله‌اندازی هرکلاس دانه‌بندی مندرج در جدول ۳-۱۶) برحسب K نظیر (از ستون با عنوان سناریوها) سری نمودارها برای محدوده‌های مختلف دانه‌بندی (ماسه ریز تا شن خیلی درشت) مطابق شکل (۳-۲۵ – الف) (گراف I) محقق می‌گردد که می‌تواند در انتخاب D_d و Te مورد نظر طراحی به کار گرفته شود.

گام دوم - با استفاده از مقادیر Te یا ضریب تله‌اندازی مخزن برای سناریوهای مختلف برحسب K نظیر (مندرج در جدول ۳-۱۶) نمودار Te-K (شکل ۳-۲۵- ب) حاصل می‌شود. (گراف II)

گام سوم- با انتخاب کمیت‌های مشخص برای Ted (در این مثال موردی مقادیر ۹۰، ۷۰، ۵۰، ۴۰ و ۲۰٪) و تعیین محل تلاقی آن با منحنی‌های هرکلاس که نمونه آن برای Ted نظیر ۷۰٪ (Ted-۷۰٪) بر روی شکل (۳-۲۵- الف) گراف شماره I نشان داده شده است، مقدار K هرکلاس تعیین و سپس از گراف شماره II برای مقادیر K حاصله کمیت Te استخراج می‌گردد (نقاط قرمز مشخص شده بر روی گراف شماره II نحوه قرائت Te برحسب K را برای Ted-۷۰٪ نشان می‌دهد). در جدول (۳-۱۷) نتایج استخراج K و Te برای مقادیر مختلف Ted و محدوده دانه‌بندی کلاس‌های مختلف درج شده است. مندرجات جدول (۳-۱۷) مبنای تعیین قطر طراحی (Dd) و Te نظیر می‌باشد که توضیحات آن در گام بعدی ارائه شده است.

جدول ۳-۱۶- نتایج مدل‌سازی رسوبگذاری متاثر از تغییرات عرض شکاف در سد رسوبگیر باز برای کلاس مختلف دانه‌بندی [۸۷]

عنوان کلاس	ماسه				شن					کل	سناریوها
	ماسه ریز	ماسه متوسط	ماسه درشت	ماسه خیلی درشت	شن خیلی ریز	شن ریز	شن متوسط	شن درشت	شن خیلی درشت	بار بستر در پریود مدل‌سازی	
	FS	MS	CS	VCS	VFG	FG	MG	CG	VCG		
محدوده قطر دانه‌ها (mm)	۰/۱۲۵	۰/۲۵	۰/۵	۱	۲	۴	۸	۱۶	۳۲		
	۰/۲۵	۰/۵	۱	۲	۴	۸	۱۶	۳۲	۶۴		
وزن رسوب	ton	ton	ton	ton	ton	ton	ton	ton	ton	ton	
رسوب ورودی	۴۴۳۴۵	۵۰۲۱۲	۶۰۰۶۲	۶۹۹۱۲	۴۲۹۷۸	۳۱۵۴۷	۲۳۹۷۵	۱۱۸۴۱	۸۵۶۸	۳۴۳۲۴۴۳	۱
رسوب خروجی	۱۲۷۴۵	۱۳۲۴۴	۱۵۳۳۰	۱۷۴۱۷	۹۲۶۷	۳۷۰۲	۳۲۱	۰	۰	۷۲۰۳۸	
رسوبگذاری در هر کلاس	۳۱۵۹۹	۳۶۹۶۸	۴۴۷۳۲	۵۲۴۹۵	۳۳۷۱۱	۲۷۸۴۵	۲۳۶۳۸	۱۱۸۴۱	۸۵۶۸	۲۷۱۴۱۵	Wo ۱/۵ m
تجمعی کلاس‌ها	۱۶۵۷۹۴				۱۰۵۶۲۳						
تله‌اندازی هر کلاس Tet(%)	۷۱/۲	۷۳/۶	۷۴/۵	۷۵/۱	۷۸/۴	۸۸/۳	۹۸/۷	۱۰۰	۱۰۰		K (%) ۵/۵
تله‌اندازی مخزن Te (%)	۷۹										
رسوب ورودی	۴۴۳۴۵	۵۰۲۱۲	۶۰۰۶۲	۶۹۹۱۲	۴۲۹۷۸	۳۱۵۴۷	۲۳۹۷۵	۱۱۸۴۱	۸۵۶۸	۳۴۳۲۴۴۳	۲
رسوب خروجی	۲۱۹۲۲	۲۲۳۵۰	۲۵۸۴۹	۲۹۳۴۷	۱۴۲۸۰	۸۴۱۸	۲۶۲۰	۰	۰	۱۲۴۷۸۶	
رسوبگذاری در هر کلاس	۲۲۴۲۳	۲۷۸۶۲	۳۴۲۱۳	۴۰۵۶۵	۲۸۶۹۸	۲۳۱۲۹	۲۱۳۵۹	۱۱۸۴۱	۸۵۶۸	۲۱۸۶۵۷	Wo ۳ m
تجمعی کلاس‌ها	۱۲۵۰۶۳				۹۳۵۹۵						
تله‌اندازی هر کلاس Tet(%)	۵۰/۶	۵۵/۵	۵۷/۰	۵۸/۰	۶۶/۸	۷۳/۳	۸۹/۱	۱۰۰	۱۰۰		K (%) ۱۱
تله‌اندازی مخزن Te (%)	۶۲/۷										
رسوب ورودی	۴۴۳۴۵	۵۰۲۱۲	۶۰۰۶۲	۶۹۹۱۲	۴۲۹۷۸	۳۱۵۴۷	۲۳۹۷۵	۱۱۸۴۱	۸۵۶۸	۳۴۳۲۴۴۳	۳
رسوب خروجی	۳۵۹۳۲	۳۸۳۳۸	۴۵۲۹۶	۵۲۲۵۸	۳۰۳۲۱	۲۰۵۴۹	۹۲۲۲	۷۰۶	۰	۲۳۲۶۲	
رسوبگذاری در هر کلاس	۸۴۱۸	۱۱۸۷۴	۱۴۷۶۶	۱۷۶۵۴	۱۲۶۵۷	۱۰۹۹۸	۱۴۷۵۷	۱۱۱۳۵	۸۵۶۸	۱۱۰۸۲۱	Wo ۶ m
تجمعی کلاس‌ها	۵۲۷۰۷				۵۸۱۱۵						
تله‌اندازی هر کلاس Tet(%)	۱۹	۲۳/۶	۲۴/۶	۲۵/۳	۲۹/۴	۳۴/۹	۶۱/۵	۹۴	۱۰۰		K (%) ۲۲
تله‌اندازی مخزن Te (%)	۲۳/۳										
رسوب ورودی	۴۴۳۴۵	۵۰۲۱۲	۶۰۰۶۲	۶۹۹۱۲	۴۲۹۷۸	۳۱۵۴۷	۲۳۹۷۵	۱۱۸۴۱	۸۵۶۸	۳۴۳۲۴۴۳	۴
رسوب خروجی	۴۰۳۱۸	۴۴۲۲۹	۵۲۶۴۹	۶۱۰۷۰	۳۶۳۹۶	۲۵۲۵۸	۱۳۹۶۲	۳۵۸۴	۰	۲۷۷۳۷۶	
رسوبگذاری در هر کلاس	۴۰۲۷	۵۹۸۳	۷۴۱۳	۸۸۴۲	۶۶۷۲	۶۲۸۹	۱۰۰۱۷	۸۲۵۷	۸۵۸۶	۶۶۰۶۷	Wo ۹ m
تجمعی کلاس‌ها	۲۶۲۶۵				۳۹۸۰۲						
تله‌اندازی هر کلاس Tet(%)	۹/۱	۱۱/۹	۱۲/۳	۱۲/۶	۱۵/۵	۱۹/۹	۴۱/۸	۶۹/۷	۱۰۰		K (%) ۳۳
تله‌اندازی مخزن Te (%)	۱۹/۲										

ادامه جدول ۳-۱۶- نتایج مدل‌سازی رسوبگذاری متاثر از تغییرات عرض شکاف در سد رسوبگیر باز برای کلاس مختلف دانه‌بندی [۸۷]

عنوان کلاس	ماسه				شن					کل	سناریوها
	ماسه ریز	ماسه متوسط	ماسه درشت	ماسه خیلی درشت	شن خیلی ریز	شن ریز	شن متوسط	شن درشت	شن خیلی درشت	بار بستر در پریود مدل‌سازی	
	FS	MS	CS	VCS	VFG	FG	MG	CG	VCG		
محدوده قطر دانه‌ها (mm)	۰/۱۲۵	۰/۲۵	۰/۵	۱	۲	۴	۸	۱۶	۳۲		
	۰/۲۵	۰/۵	۱	۲	۴	۸	۱۶	۳۲	۶۴		
وزن رسوب	ton	ton	ton	ton	ton	ton	ton	ton	ton	ton	
رسوب ورودی	۴۴۳۴۵	۵۰۲۱۲	۶۰۰۶۲	۶۹۹۱۲	۴۲۹۷۸	۳۱۵۴۷	۲۳۹۷۵	۱۱۸۴۱	۸۵۶۸	۳۴۳۲۴۴۳	۵
رسوب خروجی	۴۲۱۳۰	۴۶۹۴۱	۵۶۳۵۱	۶۸۷۶۲	۴۰۰۶۷	۲۸۲۵۹	۱۸۳۹۸	۷۴۲۲	۰	۳۰۳۸۳۰	
رسوبگذاری در هر کلاس	۲۲۱۵	۳۲۷۱	۳۷۱۱	۶۱۵۰	۲۹۱۱	۲۷۸۸	۵۵۸۱	۴۴۱۹	۸۵۸۶	۳۹۶۱۲	Wo ۱۵ m
تجمعی کلاس‌ها	۱۵۳۴۷				۲۴۲۶۷						
تله‌اندازی هر کلاس Tet(%)	۵	۶/۵	۶/۲	۸/۸	۶/۸	۸/۸	۲۳/۳	۳۷/۳	۱۰۰		K (%) ۵۶
تله‌اندازی مخزن Te (%)	۱۱/۵										

مطابق جدول (۳-۱۷)، چنانچه مقرر باشد ۹۰٪ از آورد رسوبی رودخانه اکلید در کلاس ماسه ریز (Dd=۰/۱۲۵mm) توسط سد رسوبگیر تله‌اندازی شود (Ted-۹۰٪ یا آستانه تله‌اندازی کلاس مورد نظر) و به عبارتی تله‌اندازی توام رسوبات ریز و درشت مدنظر قرارگیرد، لازم است مقدار K به ۲٪ محدود گردد و در این‌صورت کمیت Te (ضریب تله‌اندازی مخزن برای مجموع کلاس‌ها) معادل ۹۲٪ خواهد بود. به عبارتی با توجه به انتخاب عرض باریک برابر Wo=۰/۵۴m بخش عمده‌ای از آورد رسوبی رودخانه اکلید تله‌اندازی شده و فقط ۸٪ آن تخلیه می‌شود.

$$K = (W_o / W_d) * 100 = 2\%, \quad W_d = 27m, \quad W_o = 0.54m$$

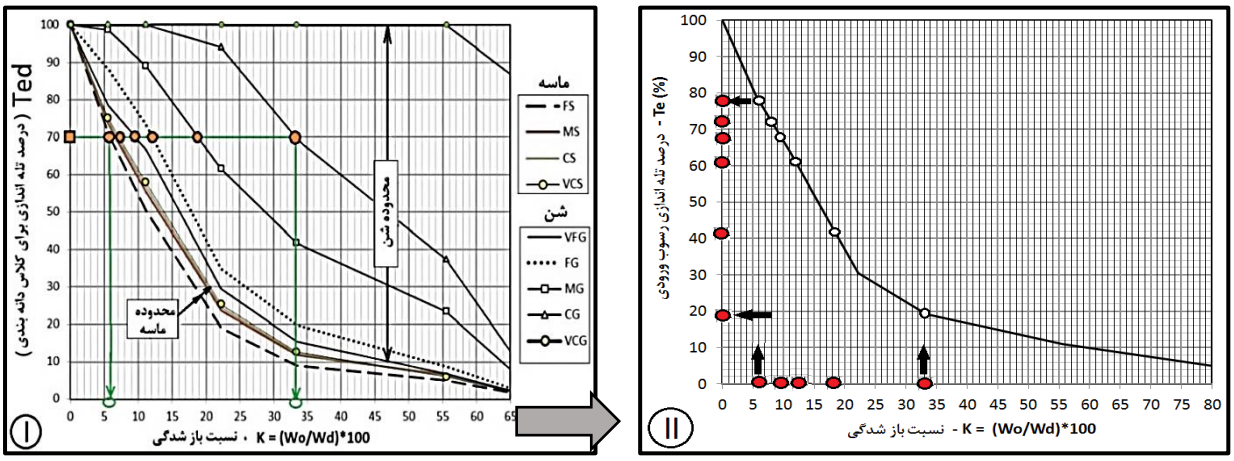
(در مثال رودخانه اکلید Wd=۲۷ m می‌باشد که معرف عرض سد است)

- در مقابل، چنانچه مقرر باشد ۹۰٪ از آورد رسوبی رودخانه اکلید در کلاس شن درشت (Dd=۲۴mm) توسط سد رسوبگیر تله‌اندازی شود (Ted٪۹۰) و به عبارتی هدف مهار رسوبات درشت‌دانه باشد، لازم است مطابق جدول (۳-۱۷) مقدار K به ۲۴٪ افزایش داده شود. در این‌صورت، کمیت Te (ضریب تله‌اندازی مخزن یا مجموع رسوب تله‌اندازی شده) معادل ۲۸٪ خواهد بود و مابقی ۷۲٪ رسوب از مخزن خارج می‌شود. به عبارتی با توجه به انتخاب شیار عریض معادل Wo= ۶/۴۸m برخلاف حالت قبل، بخش عمده‌ای از رسوبات ریزدانه (ماسه و بخشی از کلاس شن) شسته شده و صرفا رسوبات درشت‌دانه برجای می‌ماند.

$$K = (W_o / W_d) * 100 = 24\%, \quad W_d = 27m, \quad W_o = 6.48m$$

برای شن خیلی درشت و آستانه تله‌اندازی ٪۹۰ مطابق جدول (۳-۱۷) مقدار K معادل ٪۶۴ بوده (شکاف خیلی عریض) و فقط ٪۹ ازرسوب ورودی (شن درشت و مصالح سنگی) مهار خواهد شد.

- بررسی مندرجات جدول (۳-۱۷)، مبین آن است که در سدهای رسوبگیر متناسب با انتخاب کمیت آستانه رسوبگذاری برای کلاس موردنظر یا Ted (مطابق جدول (۳-۱۷) ستون‌های ۵، ۸، ۱۱، ۱۴ و ۱۷ معرف مقادیر Ted نظیر کلاس‌های دانه‌بندی می‌باشند)، امکان تله‌اندازی میزان مشخصی از رسوب ورودی (Te) فراهم می‌گردد. در این خصوص برای ارقام آستانه رسوبگذاری نظیر Ted=٪۹۰ مقدار Te به تبعیت از انتخاب اندازه دانه رسوب ریز یا درشت، رقم ٪۹۲ تا ٪۹ را به خود اختصاص می‌دهد و متناسبا مقدار K نیز بین ٪۲ تا ٪۶۴ متغیر است. برای آستانه رسوبگذاری Ted=٪۲۰ (با هدف کاهش محسوس تله‌اندازی و انتقال رسوب به پایین‌دست)، تغییرات انباشت رسوب یا Te از ریز به درشت‌دانه، دارای دامنه ٪۳۱ و ٪۲ است که متناظر با K ٪۲۲ تا ٪۹۳ می‌باشد.



ب- نمودار تعیین ضریب تله‌اندازی Te برحسب مقادیر K **الف- سری منحنی‌های Ted برحسب K برای کلاس‌های مختلف دانه‌بندی**

شکل ۳-۲۵- مراحل تعیین Te و K حاصل از نتایج مدل‌سازی سد رسوبگیر شکاف‌دار به ازای مقادیر Ted کلاس‌های دانه‌بندی (نتایج مدل‌سازی رودخانه اکلید، [۸۷])

گام چهارم - با استناد به مندرجات جدول (۳-۱۷)، برای کمیت مشخص Ted (در این مثال موردی Ted-۲۰ تا Ted-۹۰) نخست سری نمودار تغییرات Te (ضریب تله‌اندازی مخزن) برحسب اندازه قطر دانه‌های رسوب که معرف قطر طراحی (Dd) می‌باشد، مطابق آنچه که در شکل (۳-۲۶) نشان داده شده است، ترسیم می‌گردد (گراف شماره III). با استفاده از گراف III مراحل زیر قابل انجام است:

- برای مقدار معین Dd کمیت Te با انتخاب منحنی Ted تعیین می‌گردد. به عنوان مثال، مطابق گراف III برای اندازه قطر طراحی Dd =۰/۲ mm چنانچه منحنی Ted٪۷۰ مدنظر قرارگیرد، کمیت Te معادل ٪۸۰ خواهد بود و برای همان منحنی با افزایش Dd به ۱۰ mm مقدار Te معادل ٪۴۴ و برای Dd =۲۰ mm رقم Te به ٪۲۳ کاهش می‌یابد. به عبارتی سری منحنی‌های گراف III برای قطر انتخابی Dd مقدار تله‌اندازی رسوب توسط مخزن یا Te را مشخص می‌کند.
- با مشخص شدن Dd و Te، لازم است نخست کمیت K نظیر (نسبت بازشدگی) از گراف IV استخراج و سپس بر اساس رابطه زیر عرض شکاف (Wo) تعیین گردد:

$$K = (\frac{W_o}{W_d}) * 100 \qquad W_o = \frac{KW_o}{100} \qquad (۳-۱۹)$$

در رابطه فوق؛ W_d: عرض سد و W_o: عرض شکاف می‌باشد. بر روی گراف IV نحوه استخراج K به عنوان نمونه برای منحنی Ted٪۷۰ و مقادیر Dd (۰/۲، ۱۰ و ۲۰ میلی‌متر) نشان داده شده است. به‌علاوه برای معرفی کامل روش استفاده از گراف‌های III و IV، مراحل تعیین Dd، Te، K و Wo در سناریوهای مختلف با استناد به نتایج مدل‌سازی در جدول (۳-۱۸) ارائه شده است.

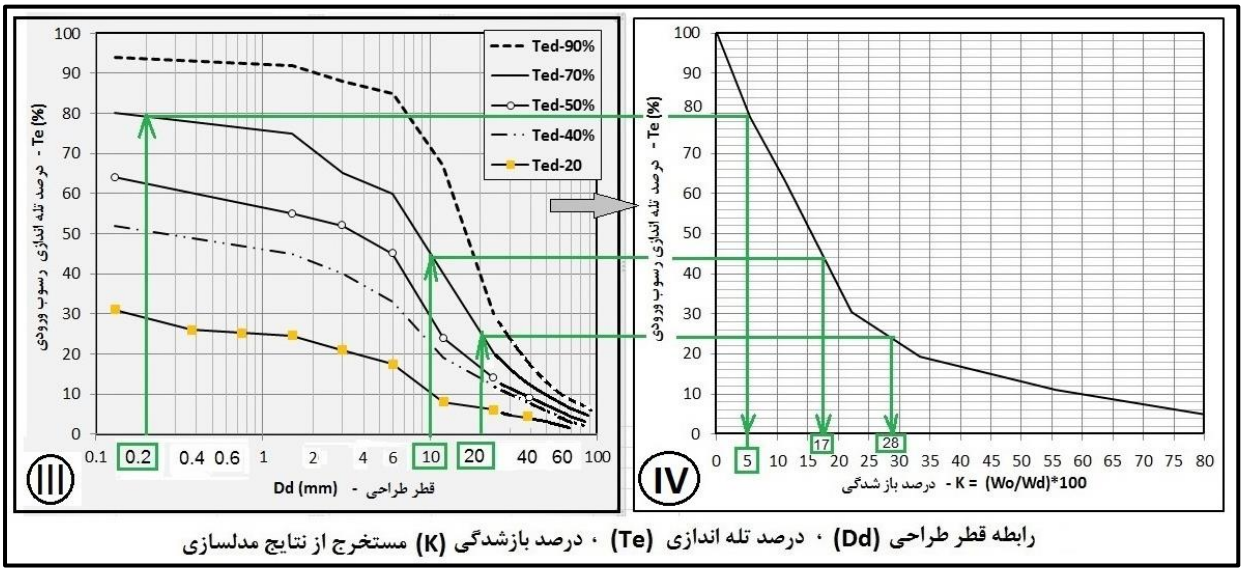
مطابق جدول (۳-۱۸) با افزایش قطر طراحی، مقدار Te رو به کاهش می‌گذارد که دلیل آن افزایش عرض شکاف و شسته شدن دانه‌های کوچک‌تر از Dd و تله‌اندازی درشت‌دانه‌ها می‌باشد. با بررسی مقادیر Te در جدول (۳-۱۸) می‌توان استنباط نمود که انتخاب کلاس ماسه به عنوان قطر طراحی، تله‌اندازی بخش عمده‌ای از بار بستر را محقق می‌کند و با افزایش قطر طراحی، زمینه برای انباشت درشت‌دانه‌ها فراهم می‌شود.

جدول ۳-۱۷- مقادیر k و Te حاصل از درصدهای مختلف Ted برای کلاس‌های دانه‌بندی مستخرج از گراف‌های شکل (۳-۲۵)

۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
کلاس‌های دانه‌بندی		D	Dd	Ted-۹۰	Te	K	Ted-۷۰	Te	K
		دامنه تغییرات	قطر شاخص یا	آستانه تله‌اندازی	تله‌اندازی مخزن	نسبت بازشدگی	آستانه تله‌اندازی	تله‌اندازی مخزن	نسبت بازشدگی
نام کلاس مطابق مدل	عنوان فارسی	قطر هر کلاس mm	قطر طراحی mm	از گراف I %	از گراف II %	از گراف II %	از گراف II %	از گراف II %	از گراف II %
FS	ماسه ریز	۰/۱۲۵ - ۰/۲۵	۰/۱۲۵	۹۰	۹۲	۲	۷۰	۷۸	۶
MS	ماسه متوسط	۰/۲۵ - ۰/۵	۰/۳۷۵		۹۰	۲/۲		۷۵	۶/۵
CS	ماسه درشت	۰/۵ - ۱/۰	۰/۷۵		۸۹	۲/۴		۷۴	۷
VCS	ماسه خیلی درشت	۱ - ۲	۱/۵		۸۸	۲/۶		۷۳	۷/۵
VFG	شن خیلی ریز	۲ - ۴	۳		۸۷	۳		۶۸	۹/۵
FG	شن ریز	۴ - ۸	۶		۸۰	۵		۶۱	۱۲
MG	شن متوسط	۸ - ۱۶	۱۲		۶۳	۱۰/۵		۶۱/۵	۱۸/۵
CG	شن درشت	۱۶ - ۳۲	۲۴		۲۸	۲۴		۱۹	۳۳
VCG	شن خیلی درشت	۳۲ - ۶۴	۶۴		۹	۶۲		۶	۷۵

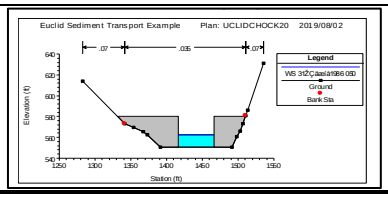
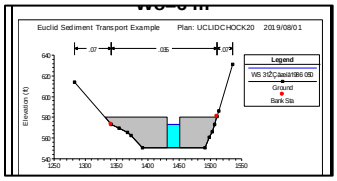
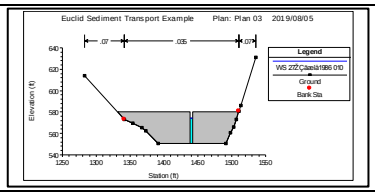
۱	۲	۳	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
Ted-۵۰	Te	K	Ted-40	Te	K	Ted-20	Te	K
آستانه تله‌اندازی	تله‌اندازی مخزن	نسبت بازشدگی	آستانه تله‌اندازی	تله‌اندازی مخزن	نسبت بازشدگی	آستانه تله‌اندازی	تله‌اندازی مخزن	نسبت بازشدگی
از گراف I %	از گراف II %	از گراف II %	از گراف I %	از گراف II %	از گراف II %	از گراف I %	از گراف II %	از گراف II %
۵۰	۶۲	۱۱	۴۰	۵۱	۱۴/۹	۲۰	۳۱	۲۱/۹
	۵۶	۱۳		۴۶	۱۶/۳		۲۶	۲۵/۹
	۵۴	۱۳/۵		۴۵	۱۶/۶		۲۵/۲	۲۶/۴
	۵۳	۱۴		۴۱/۳	۱۷/۱		۲۴/۶	۲۷
	۴۷	۱۶		۳۹	۱۹		۲۱	۳۰
	۴۲	۱۸		۲۳/۵	۲۰/۹		۱۷/۵	۳۴
	۲۳	۲۸/۹		۱۷	۳۵/۲		۸	۵۷/۹
	۱۲/۵	۴۷		۱۰	۵۳/۸		۶	۶۲/۲
	۵	۷۲		۴	۸۷		۲	۹۳

گراف‌های ارائه شده در شکل (۳-۲۵) و شکل (۳-۲۶) حاصل پردازش خروجی‌های مدل مختص مثال موردی (رودخانه اکلید) می‌باشد و لازم است چنین الگویی برای هر مورد مطالعاتی با انجام مدل‌سازی عددی مستقل محقق شود. به عبارتی، رفتار رودخانه‌ها با تاثیرپذیری از رژیم آبدهی، رسوبدهی، ویژگی‌های کلیمایی، مورفولوژی، ریخت‌شناسی و دخالت‌های انسانی، متفاوت بوده و بررسی و تحلیل عملکرد فرایند انتقال و رسوبگذاری برای هر رودخانه و بازه مطالعاتی، مدل‌سازی و تحلیل نتایج خاص خود را می‌طلبد. در عین‌حال، گراف‌های ارائه شده با توجه به بی‌بعد بودن، راهکاری برای ارزیابی کلی فرایند رسوبگذاری و ارتباط آن با مشخصه‌های هندسی (ابعاد شکاف) و نحوه تاثیرپذیری Te و K از اندازه مختلف دانه‌های رسوب (D_d) تلقی می‌شود. در مبحث طراحی (فصل چهارم مبحث ۴-۱- طراحی هیدرولیکی) جایگاه استفاده از نتایج مدل‌سازی معرفی شده است.



شکل ۳-۲۶- سری نمودارهای مورد استفاده در تعیین قطر طراحی (D_d)، Te و Wo حاصل از نتایج مدل‌سازی سد رسوبگیر شکاف‌دار (مثال موردی - رودخانه اکلید، [۸۷])

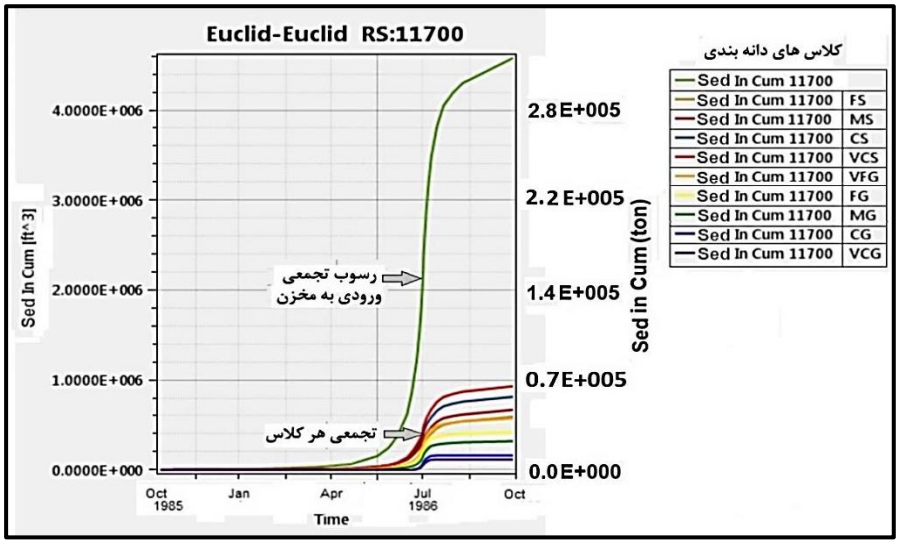
جدول ۳-۱۸- انتخاب قطر طراحی Dd و تعیین ضریب تله‌اندازی- Te، K و Wo از گراف III و IV

شماره سناریو	hd	Wd	Dd	کلاس دانه‌بندی		Ted	Te	K	Wo
	ارتفاع سد رسوبگیر	عرض سد	قطر طراحی دانه رسوب از گراف III	قطر طراحی		تله‌اندازی قطر طراحی گراف III	رسوب تله‌اندازی شده از گراف IV	نسبت بازشدگی از گراف IV	عرض موردنیاز برای سد شکاف‌دار
				عنوان فارسی	مطابق مدل				
	m	m	mm			%	%	m	m
۱	۹	۲۷	۰/۲	ماسه ریز	FS	۹۰	۹۳	۱/۵	۰/۴
۲			۰/۲			۷۰	۸۰	۵	۱/۶
۳			۰/۲			۴۰	۵۱	۱۵	¼
۴	۹	۲۷	۱۰	شن متوسط	MG	۹۰	۷۱	۸	۲/۲
۵			۱۰			۷۰	۴۴	۱۷	۴/۶
۶			۱۰			۴۰	۲۲	۲۹	۷/۹
۷	۹	۲۷	۲۰	شن درشت	CG	۹۰	۴۰	۱۸	۴/۹
۸			۲۰			۷۰	۲۳	۲۸	۷/۶
۹			۲۰			۴۰	۱۳	۴۵	۱۲/۲
	Wo=15m			Wo=6m			Wo=1.5m		
									

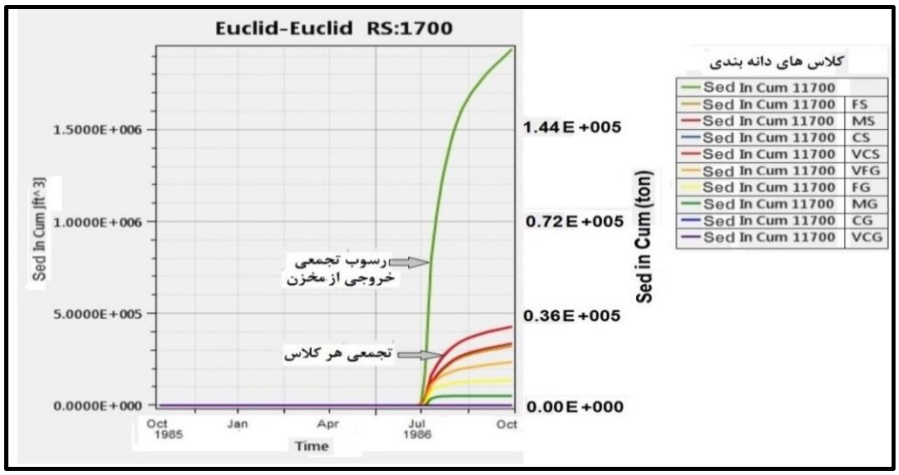
۳-۵-۲-۲- بررسی میزان تله‌اندازی (Te) برحسب اندازه‌های مختلف دانه‌بندی و تعیین قطر طراحی در سدهای روزنه‌دار

به منظور بررسی چگونگی عملکرد رسوبگذاری سدهای روزنه‌دار برحسب اندازه‌های مختلف دانه‌بندی و تعیین قطر طراحی، مطابق مباحث پیشین، توسل به مدل رایانه‌ای و بررسی نتایج حاصله ضروری است. در این خصوص نتایج حاصل از اجرای مدل HEC-RAS برای مثال موردی بر روی رودخانه اکلید مورد استناد قرار گرفته است [۸۷]. بر اساس داده‌های فایل خروجی مدل HEC-RAS، نمودار تغییرات زمانی رسوب ورودی و خروجی از مخزن، برای کلاس‌های مختلف دانه‌بندی به صورت نمودار تجمعی در شکل (۳-۲۷) ارائه شده است. مطابق شکل (۳-۲۷) علاوه بر رسوب تجمعی ورودی و خروجی، روند تغییرات زمانی رسوب برای کلاس‌های مختلف دانه‌بندی (ماسه ریز تا شن خیلی درشت) نیز بخشی از خروجی مدل تلقی می‌شود. در گراف‌های ارائه شده، عنوان Sed in Cum معرف رسوب تجمعی است که در دو واحد حجمی ft^3 (فوت مکعب) و وزنی (تن) معرفی شده است.

با استناد به نتایج اجرای مدل HEC-RAS برای رودخانه اکلید، در جدول (۳-۱۹) میزان رسوب ورودی و خروجی و درصد تله‌اندازی به ازای محدوده‌های مختلف دانه‌بندی (۰/۱۲۵ تا ۶۴ میلی‌متر)، متعلق به کلاس ماسه ریز تا شن خیلی درشت و در سه سناریوی مختلف (کالورت‌ها در کف، تراز میانی و تراز بالا) برای دوره یک ساله (سال آبی ۱۹۸۶-۱۹۸۵) به عنوان نمونه، ارائه شده است.



الف- تغییرات زمانی رسوب ورودی به مخزن سد رسوبگیر روزنه‌دار برای محدوده‌های مختلف دانه‌بندی



ب- تغییرات زمانی رسوب خروجی از مخزن سد رسوبگیر روزنه‌دار برای محدوده‌های مختلف دانه‌بندی

شکل ۳-۲۷- نمودار گرافیکی تغییرات زمانی رسوب ورودی و خروجی از مخزن سد رسوبگیر روزنه‌دار (نتایج مدل‌سازی رودخانه اکلید، [۸۷])

مطابق جدول (۳-۱۹)، در این مثال موردی برای موقعیت کالورت‌ها در تراز بالاتر (محدوده تاج سرریز) امکان تله‌اندازی ۳۲۶۲۷۱ تن (Te=٪۹۵) فراهم می‌گردد و مبین آن است که با افزایش فاصله کالورت‌ها از کف، علاوه بر رسوبات درشت‌دانه، تله‌اندازی بخش عمده‌ای از رسوبات دانه ریز (ماسه) نیز محقق می‌گردد. با قرارگرفتن کالورت‌ها در تراز میانی، شرایط هیدرولیکی برای شسته شدن ماسه و بخشی از کلاس شن از مخزن، فراهم گردیده و نرخ انباشت رسوب به ۱۹۸۰۷۶ تن (Te=٪۵۷/۷) کاهش می‌یابد. استقرار کالورت‌ها در کف و برقراری شرایط هیدرولیکی فعال‌تر مطابق جدول (۳-۱۹) زمینه را برای خروج سهم عمده رسوبات ریزدانه (ماسه) و بخشی از کلاس شن فراهم می‌نماید و نرخ انباشت رسوب با کاهش محسوس به ۵۰۳۳۷ تن (۱۴/۷٪ رسوب ورودی) تقلیل می‌یابد. قراردادن دریچه‌ها در کف، موید آن است که تله‌اندازی مصالح درشت، بخش عمده حجم رسوبگذاری را در این سناریو به خود اختصاص می‌دهد.

با استناد به نتایج جدول (۳-۱۹) می‌توان در خصوص تعیین موقعیت و ابعاد کالورت‌های سد رسوبگیری که بتواند برای اندازه مشخص دانه رسوب (قطر طراحی یا D_d) و با درصد تله‌اندازی موردنظر (Te) عمل نماید، اتخاذ تصمیم نمود. بدین‌منظور انجام مراحل زیر مطابق آنچه که در خصوص سدهای شکاف‌دار تصریح گردید، مورد نیاز است:

گام اول - با ترسیم تغییرات Ted (تله‌اندازی هرکلاس دانه‌بندی مندرج در جدول (۳-۱۹) برحسب m نظیر یا ارتفاع نسبی (از ستون با عنوان سناریوها)، سری نمودارها برای محدوده‌های مختلف دانه‌بندی (ماسه ریز تا شن خیلی درشت) مطابق شکل (۳-۲۸- الف) (گراف A) محقق می‌گردد که می‌تواند در انتخاب Dd و Te موردنظر طراحی، به کار گرفته شود.

گام دوم - با استفاده از مقادیر Te یا ضریب تله‌اندازی مخزن برای سناریوهای مختلف برحسب m نظیر مندرج در جدول (۳-۱۹)، نمودار Te-m شکل (۳-۲۸- ب) حاصل می‌شود. (گراف B)

جدول ۳-۱۹- نتایج مدل‌سازی رسوبگذاری متاثر از موقعیت کالورت‌ها در سد رسوبگیر برای کلاس مختلف دانه‌بندی [رودخانه اکلید-۸۷]

عنوان کلاس	ماسه				شن					کل	سناریوها
	ماسه ریز	ماسه متوسط	ماسه درشت	ماسه خیلی درشت	شن خیلی ریز	شن ریز	شن متوسط	شن درشت	شن خیلی درشت	بار بستر در پریود مدل‌سازی	
	FS	MS	CS	VCS	VFG	FG	MG	CG	VCG		
محدوده قطر دانه‌ها (mm)	۰/۱۲۵	۰/۲۵	۰/۵	۱	۲	۴	۸	۱۶	۳۲		
	۰/۲۵	۰/۵	۱	۲	۴	۸	۱۶	۳۲	۶۴		
وزن رسوب	ton	ton	ton	ton	ton	ton	ton	ton	ton	ton	
رسوب ورودی	۴۴۳۴۵	۵۰۲۱۲	۶۰۰۶۲	۶۹۹۱۲	۴۲۹۷۸	۳۱۵۴۷	۲۳۹۷۵	۱۱۸۴۱	۸۵۶۸	۳۴۳۲۴۴۳	۱
رسوب خروجی	۴۷۹۶	۴۱۲۰	۳۳۹۰	۲۴۰۰	۱۷۶۰	۷۵۶	۱۵۰	۴۰	۰	۱۷۲۶۲	
رسوبگذاری در هر کلاس	۳۹۶۳۹	۴۶۰۹۲	۵۶۶۷۲	۶۷۵۴۲	۴۱۲۷۸	۳۰۷۹۱	۲۳۸۲۹	۱۱۸۰۱	۸۵۶۸	۳۲۶۱۸۱	کالورت‌ها در تراز بالا m=۰/۶۶
تجمعی کلاس‌ها	۲۰۹۹۱۵				۱۱۶۲۶۷						
تله‌اندازی هر کلاس Tet(%)	۸۹/۴	۹۱/۸	۹۴/۴	۹۶/۶	۹۶	۹۷/۶	۹۹/۴	۹۹/۷	۱۰۰		
تله‌اندازی مخزن Te (%)	۹۵										
رسوب ورودی	۴۴۳۴۵	۵۰۲۱۲	۶۰۰۶۲	۶۹۹۱۲	۴۲۹۷۸	۳۱۵۴۷	۲۳۹۷۵	۱۱۸۴۱	۸۵۶۸	۳۴۳۲۴۴۳	۲
رسوب خروجی	۲۴۱۳۱	۲۵۲۳۲	۳۲۱۶۴	۳۲۰۹۸	۱۷۶۸۷	۱۰۲۳۶	۳۷۹۹	۱۱۰۰	۰	۱۴۶۴۴۷	
رسوبگذاری در هر کلاس	۲۰۲۱۴	۲۴۹۸۰	۲۷۸۹۸	۳۷۸۱۴	۲۵۲۹۱	۲۱۳۱۱	۲۰۱۸۰	۱۰۷۴۱	۸۵۸۶	۱۹۶۹۹۶	کالورت‌ها در تراز میانی m=۰/۳۳
تجمعی کلاس‌ها	۱۱۰۹۰۶				۸۶۰۹۱						
تله‌اندازی هر کلاس Tet(%)	۴۵/۶	۴۹/۷	۶۴/۴	۵۴/۱	۵۸/۸	۶۷/۶	۸۴/۲	۹۰/۷	۱۰۰		
تله‌اندازی مخزن Te (%)	۵۷/۴										
رسوب ورودی	۴۴۳۴۵	۵۰۲۱۲	۶۰۰۶۲	۶۹۹۱۲	۴۲۹۷۸	۳۱۵۴۷	۲۳۹۷۵	۱۱۸۴۱	۸۵۶۸	۳۴۳۲۴۴۳	۳
رسوب خروجی	۴۰۹۸۴	۴۵۱۴۹	۵۶۳۷۵	۶۳۳۴۳	۳۸۶۰۴	۲۶۶۱۱	۱۶۳۹۳	۶۰۴۷	۰	۲۹۳۵۰۶	
رسوبگذاری در هر کلاس	۳۳۶۱	۵۰۶۳	۳۶۸۷	۶۵۶۹	۴۳۷۴	۴۹۳۶	۷۵۸۵	۵۷۹۴	۸۵۶۸	۴۹۹۳۷	کالورت‌ها در مجاورت کف سد m=۰/۱۶
تجمعی کلاس‌ها	۱۸۶۸۰				۳۱۲۵۸						
تله‌اندازی هر کلاس Tet(%)	۷/۶	۱۰/۱	۶/۱	۹/۴	۱۰/۲	۱۵/۶	۳۱/۶	۴۸/۹	۱۰۰		
تله‌اندازی مخزن Te (%)	۱۴/۵										
توضیحات: تعداد کالورت‌ها ۴ عدد ابعاد کالورت‌ها 10*10 ft											

گام سوم - با انتخاب کمیت‌های مشخص برای Ted (در این مثال موردی، مقادیر ۹۰، ۸۰، ۷۰، ۵۰، ۴۰ و ۲۰٪) و تعیین محل تلاقی آن با منحنی‌های هر کلاس که نمونه آن برای Ted نظیر ۷۰٪ (Ted-۷۰٪) بر روی شکل (۳-۲۸- الف) گراف A نشان داده شده است، مقدار m هرکلاس تعیین و سپس از گراف B برای مقادیر m حاصله کمیت Te استخراج می‌گردد (نقاط قرمز مشخص شده بر روی گراف A نحوه قرائت Te برحسب m را برای Ted-۷۰٪ نشان می‌دهد). در جدول (۳-۲۰) نتایج استخراج m و Te برای مقادیر مختلف Ted و محدوده دانه‌بندی کلاس‌های مختلف درج شده است. مندرجات جدول (۳-۲۰) مبنای تعیین قطر طراحی (Dd) و Te نظیر در سدهای روزنه‌دار می‌باشد که توضیحات آن در گام بعدی ارائه شده است.

- مطابق جدول (۳-۲۰)، چنانچه مقرر باشد ۹۰٪ از آورد رسوبی رودخانه اکلید در کلاس ماسه ریز Dd=۰/۱۲۵mm توسط سد رسوبگیر کالورتی تله‌اندازی شود (Ted-۹۰٪ یا آستانه تله‌اندازی کلاس موردنظر) و به عبارتی تله‌اندازی توام رسوبات ریز و درشت مدنظر قرارگیرد، لازم است مقدار m برابر با ۰/۶۴ که معرف استقرار کالورت در تراز بالاست، منظور گردد و در این‌صورت کمیت Te (ضریب تله‌اندازی مخزن برای مجموع کلاس‌ها) معادل ۹۵٪ خواهد بود. به عبارتی با توجه به انتخاب تراز بالا برابر Ds=5.76 m، بخش عمده‌ای از آورد رسوبی رودخانه اکلید تله‌اندازی شده و فقط ۵٪ آن تخلیه می‌شود.

$$m = (Ds / hd) = 0.64,\ hd = 9\ m,\ Ds = 5.76\ m$$

(در مثال رودخانه اکلید $hd = 9\ m$ می‌باشد که معرف ارتفاع سد است)

- در مقابل چنانچه مقرر باشد ۹۰٪ از آورد رسوبی رودخانه اکلید در کلاس شن درشت ($Dd = 24\ mm$) توسط سد رسوبگیرکالورتی تله‌اندازی شود (Ted-۹۰٪) و به عبارتی هدف، مهار رسوبات درشت‌دانه باشد، لازم است مطابق جدول (۳-۲۰) مقدار m به ۰/۳۱ کاهش داده شود (استقرار کالورت‌ها در تراز پایین‌تر). در این‌صورت کمیت Te (ضریب تله‌اندازی مخزن) معادل ۵۲٪ خواهد بود. مابقی ۴۸٪ رسوب از مخزن خارج می‌شود. به عبارتی با توجه به انتخاب تراز معادل Ds=2.79m برخلاف حالت قبل، بخش موثری از رسوبات ریزدانه (ماسه و بخشی از کلاس شن) شسته شده و رسوبات درشت‌تر برجای می‌ماند.

$$m = (Ds / hd) = 0.31,\ hd = 9\ m,\ Ds = 2.79\ m$$

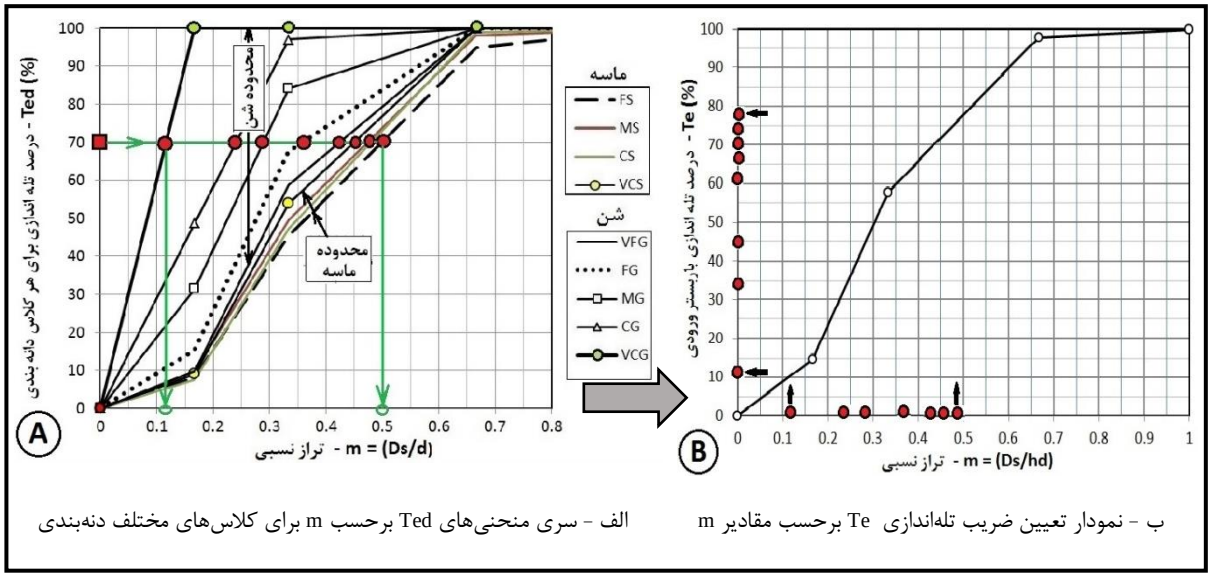
برای شن خیلی درشت و آستانه تله‌اندازی ۹۰٪ مطابق جدول (۳-۲۰) مقدار m معادل ۰/۱۵ بوده (تراز خیلی پایین) و فقط ۱۴٪ از رسوب ورودی (شن درشت و مصالح سنگی) مهار خواهد شد.

- بررسی مندرجات جدول (۳-۲۰) مبین آن است که در سدهای رسوبگیر روزنه‌دار، مشابه سدهای شیاردار، متناسب با انتخاب کمیت آستانه رسوبگذاری برای کلاس موردنظر یا Ted (مطابق جدول (۳-۲۰) ستون‌های ۵، ۸، ۱۴، ۱۷ و ۲۰ معرف مقادیر Ted نظیر کلاس‌های دانه‌بندی می‌باشند)، امکان تله‌اندازی میزان مشخصی از رسوب ورودی (Te) فراهم می‌گردد. در این خصوص برای ارقام آستانه رسوبگذاری نظیر Ted=۹۰٪، مقدار Te به تبعیت از انتخاب اندازه دانه رسوب ریز یا درشت رقم ۹۵٪ تا ۱۴٪ را به خود اختصاص می‌دهد و

متناسبا دامنه m نیز بین ۰/۶۴ تا ۰/۱۵ متغیر است. برای آستانه رسوبگذاری Ted=٪۲۰ (با هدف کاهش محسوس تله‌اندازی و انتقال رسوب به پایین‌دست) تغییرات انباشت رسوب یا Te از ریز به درشت‌دانه دارای دامنه ۲۹٪ و ۳٪ است.

گام چهارم - با استناد به مندرجات جدول (۳-۲۰) برای کمیت مشخص Ted (در این مثال موردی Ted-۲۰ تا Ted-۹۰) نخست سری نمودار تغییرات Te (ضریب تله‌اندازی مخزن) برحسب اندازه قطر دانه‌های رسوب که معرف قطر طراحی (Dd) می‌باشد، مطابق آنچه که در شکل (۳-۲۹) نشان داده شده است ترسیم می‌گردد (گراف شماره C). با استفاده از گراف C مراحل زیر قابل انجام است:

برای مقدار معین Dd کمیت Te با انتخاب منحنی Ted تعیین می‌گردد. به عنوان مثال، مطابق گراف C برای اندازه قطر طراحی Dd=۰/۲mm، چنانچه منحنی Ted-٪۷۰ مدنظر قرارگیرد، کمیت Te معادل ۷۸٪ خواهد بود و برای همان منحنی با افزایش Dd به ۱۰ mm، مقدار Te معادل ۴۹٪ و برای Dd=۲۰mm، رقم Te به ۳۷٪ کاهش می‌یابد. به عبارتی سری منحنی‌های گراف C برای قطر انتخابی Dd مقدار تله‌اندازی رسوب توسط مخزن یا Te را مشخص می‌کند.



الف - سری منحنی‌های Ted برحسب m برای کلاس‌های مختلف دنه‌بندی

ب - نمودار تعیین ضریب تله‌اندازی Te برحسب مقادیر m

شکل ۳-۲۸- مراحل تعیین Te و m حاصل از نتایج مدل‌سازی سد رسوبگیر روزنه‌دار به ازای مقادیر Ted کلاس‌های دانه‌بندی (نتایج مدل‌سازی رودخانه اکلید، [۸۷])

جدول ۳-۲۰- مقادیر m و Te حاصل از درصدهای مختلف Ted برای کلاس‌های دانه‌بندی مستخرج از گراف‌های شکل ۳-۲۸

۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
کلاس‌های دانه‌بندی		D	Dd	Ted-۹۰	Te	m	Ted-۸۰	Te	m
		دامنه تغییرات	قطر شاخص یا	آستانه تله‌اندازی	تله‌اندازی مخزن	تراز نسبی	آستانه تله‌اندازی	تله‌اندازی مخزن	تراز نسبی
نام کلاس مطابق مدل	عنوان فارسی	قطر هر کلاس	قطر طراحی	از گراف A	از گراف B	از گراف B	از گراف A	از گراف B	از گراف B
		mm	mm	%	%		%	%	
FS	ماسه ریز	۰/۱۲۵-۰/۲۵	۰/۱۲۵		۹۵	۰/۶۴		۸۷	۰/۵۶
MS	ماسه متوسط	۰/۲۵ - ۰/۵	۰/۳۷۵		۹۱	۰/۶۱		۸۳	۰/۵۴
CS	ماسه درشت	۰/۵ — ۱/۰	۰/۷۵		۹۰	۰/۵۹		۸۱/۵	۰/۵۳
VCS	ماسه خیلی درشت	۱ - ۲	۱/۵		۸۹	۰/۵۸		۸۰	۰/۵۲
VFG	شن خیلی ریز	۲ - ۴	۳	۹۰	۸۷	۰/۵۷	۸۰	۷۷	۰/۵
FG	شن ریز	۴ - ۸	۶		۸۵	۰/۵۶		۷۴	۰/۴۶
MG	شن متوسط	۸ - ۱۶	۱۲		۷۳	۰/۴۵		۵۵	۰/۳۲
CG	شن درشت	۱۶ - ۳۲	۲۴		۵۲	۰/۳۱		۴۳	۰/۲۶
VCG	شن خیلی درشت	۳۲ - ۶۴	۶۴		۱۴	۰/۱۵		۱۲	۰/۱۳

۱	۲	۳	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
Ted-۵۰	Te	m	Ted-۴۰	Te	m	Ted-۲۰	Te	m
آستانه تله‌اندازی	تله‌اندازی مخزن	تراز نسبی	آستانه تله‌اندازی	تله‌اندازی مخزن	تراز نسبی	آستانه تله‌اندازی	تله‌اندازی مخزن	تراز نسبی
از گراف A	از گراف B	از گراف B	از گراف A	از گراف B	از گراف B	از گراف A	از گراف II	از گراف B
%	%		%	%		%	%	
	۶۱/۵	۰/۳۶		۱۴/۹	۰/۳۱		۲۹	۰/۲۳
	۵۷/۵	۰/۳۴		۱۶/۳	۰/۲۹		۲۶	۰/۲۲
	۵۶/۳	۰/۳۳		۱۶/۶	۰/۲۸		۲۵/۵	۰/۲۱
	۵۵	۰/۳۲		۱۷/۱	۰/۲۷		۲۵	۰/۲
۵۰	۵۰	۰/۳	۴۰	۱۹	۰/۲۶	۲۰	۲۳	۰/۱۹
	۴۵	۰/۲۷		۲۰/۹	۰/۲۴		۲۰	۰/۱۸
	۳۰	۰/۲۲		۳۵/۲	۰/۱۹		۱۰	۰/۱۱
	۱۵	۰/۱۷		۵۳/۸	۰/۱۴		۶	۰/۰۷
	۷	۰/۰۸		۸۷	۰/۰۶		۳	۰/۰۳

- با مشخص شدن Dd و Te، لازم است نخست کمیت m نظیر (تراز نسبی) از گراف D استخراج و سپس بر اساس رابطه زیر موقعیت کالورت (Ds) تعیین گردد:

$$m = (\frac{D_s}{h_d}) \qquad D_s = mh_d \qquad (۲۰-۳)$$

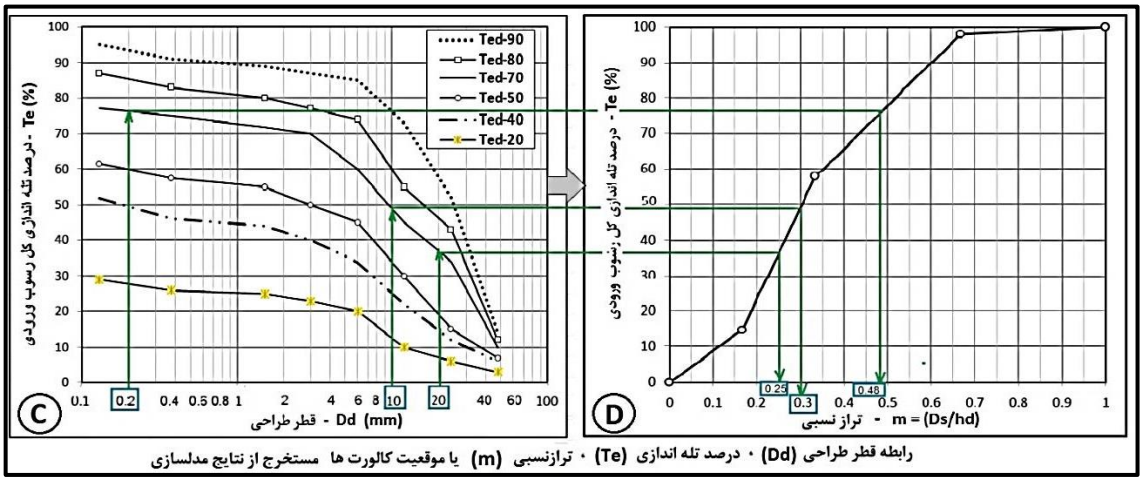
در رابطه فوق؛ h_d ارتفاع سد و D_s ارتفاع لبه پایینی کالورت یا روزنه از کف سد می‌باشد.

بر روی گراف D، نحوه استخراج m به عنوان نمونه برای منحنی Ted-٪۷۰ و مقادیر Dd (۰/۲، ۱۰ و ۲۰ میلی‌متر) نشان داده شده است. به علاوه برای معرفی کامل روش استفاده از گراف‌های C و D، مراحل تعیین Dd، Te، m و Ds در سناریوهای مختلف با استناد به نتایج مدل‌سازی در جدول (۳-۲۱) ارائه شده است.

- مطابق جدول (۳-۲۱) با افزایش قطر طراحی مقدار Te رو به کاهش می‌گذارد که دلیل آن افزایش عرض مجرا و شسته شدن دانه‌های کوچکتر از Dd و تله‌اندازی درشت‌دانه‌ها می‌باشد. با بررسی مقادیر Te در جدول

(۳-۲۱) می‌توان استنباط نمود که انتخاب کلاس ماسه به عنوان قطر طراحی تله‌اندازی، بخش عمده‌ای از بار بستر را محقق می‌کند و با افزایش قطر طراحی، زمینه برای انباشت درشت‌دانه‌ها فراهم می‌شود.

در فصل چهارم مبحث طراحی هیدرولیکی، راهکارهای انتخاب نوع و ابعاد و ارتفاع شکاف و کالورت و نظایر آن با جزییات بیش‌تری با استفاده از معادلات تجربی و جایگاه مدل‌سازی ارائه شده است. برای جزییات بیش‌تر مراجعه به منابع [۴۱، ۶۴، ۶۸] نیز توصیه می‌شود.



شکل ۳-۲۹- سری نمودارهای مورد استفاده در تعیین قطر طراحی (D_d)، Te و موقعیت کالورت‌ها حاصل از نتایج مدل‌سازی سد رسوبگیر روزنه‌دار (مثال موردی - رودخانه اکلید، [۸۷])

جدول ۳-۲۱- انتخاب قطر طراحی Dd و تعیین ضریب تله‌اندازی- Te، m و Ds از گراف C و D

شماره سناریو	hd	Wo*ho	n	Dd	کلاس دانه‌بندی		m	Ds	Te	Ted	موقعیت کالورت‌ها
	ارتفاع سد رسوبگیر	ابعاد کالورت‌ها	تعداد کالورت‌ها	قطر طراحی دانه رسوب گراف III	قطر طراحی		تراز نسبی گراف D	ارتفاع لبه پایین کالورت از کف	رسوب تله‌اندازی شده در مخزن	تله‌اندازی موردنظر قطر طراحی	
					عنوان فارسی	مطابق مدل					
	m	m*m		mm				m	%	%	
۱	۹	۳*۳	۴	۰/۲	ماسه ریز	FS	۰/۴۸	۴/۳	۷۸	۹۰	تاج
۲				۰/۲			۰/۳۵	۳/۲	۶۰	۵۰	تراز میانی
۳				۰/۲			۰/۲۱	۱/۹	۲۸	۲۰	کف
۴	۹	۳*۳	۴	۱۰	شن متوسط	MG	۰/۳	۲/۷	۴۹	۹۰	تاج
۵				۱۰			۰/۲۴	۲/۲	۳۲	۵۰	تراز میانی
۶				۱۰			۰/۱۴	۱/۲	۱۲	۲۰	کف
۷	۹	۳*۳	۴	۲۰	شن درشت	CG	۰/۲۵	۲/۳	۳۷	۹۰	تاج
۸				۲۰			۰/۱۷	۱/۵	۱۹	۵۰	تراز میانی
۹				۲۰			۰/۰۸	۰/۷	۷/۵	۲۰	کف
	کالورت‌ها در مجاورت کف				کالورت‌ها در تراز میانی						کالورت‌ها در مجاورت تاج سرریز

۳-۶- بررسی اثرات ریخت‌شناسی، اثرات هیدرولیکی و زیست‌محیطی احداث سدهای رسوبگیر

سدهای رسوبگیر به انواع مختلف خصوصیات ریخت‌شناسی، هیدرولیکی و ویژگی‌های زیست‌محیطی رودخانه‌ها را تحت تاثیر خود قرار می‌دهند. تاثیرپذیری خصوصیات رفتاری رودخانه‌ها تابعی از نوع و عملکرد سدها و مشخصه‌های هندسی آن‌ها می‌باشد که ذیلا به آن پرداخته شده است:

به منظور مقابله با تبعات مورفولوژیک و پیامدهای زیست‌محیطی نامطلوب ناشی از احداث سدهای صلب و مدیریت و بهره‌برداری موثر از مصالح رودخانه‌ای، استفاده از سدهای باز یا جریانی در رودخانه‌ها از دهه ۱۹۵۰ توجه متخصصین مسائل رودخانه‌ای را به خود جلب نمود. در سدهای باز با برقراری جریان مستمر، تخلیه بار معلق و ضایعات حوضه‌ای (بقایای گیاهی و قطعات اشجار و الوار) میسر بوده و از سازگاری بهتری در تحقق توازن مورفولوژیک و تعادل زیست‌محیطی و حفظ هویت طبیعی رودخانه‌ها برخوردار می‌باشند. از این‌رو، امروزه استفاده از سدهای باز، شیوه غالب در مهار رسوب در کشورهای مختلف جهان شناخته می‌شود [۶۱، ۷۷]. مزایای استفاده از سدهای باز را می‌توان به صورت زیر خلاصه نمود:

۱- افزایش عمر مفید مخزن با تله‌اندازی بار بستر و تخلیه بار معلق (در بسیاری از موارد سهم بار معلق در مقایسه با بار بستر زیاد بوده و تله‌اندازی توام آن، عمر مفید مخزن را شدیدا کاهش می‌دهد.)

۲- قابلیت سدهای باز در تله‌اندازی کامل و یا بخشی از بار بستر (در سدهای باز با انتخاب ابعاد مجاری خروجی تمام و یا بخشی از بار بستر با درنظر گرفتن ملاحظات ریخت‌شناسی و معیارهای زیست‌محیطی و افزایش عمر مفید مخزن، امکان‌پذیر می‌باشد. به‌علاوه در مواردی نیز می‌توان به مهار قطعات سنگ و لاشه سنگ و الوار و اشجار بسنده نمود.)

۳- تسکین سیلاب‌ها و کاهش خطرات سیل در بازه‌های پایین‌دست (عملکرد سدهای رسوبگیر باز مشابه سدهای تاخیری[1] می‌باشد که در آن علاوه بر تله‌اندازی بار بستر، دبی اوج سیل به دلیل اثرات ذخیره‌ای مخزن کاهش یافته و افت ظرفیت هیدرولیکی خطر سیل‌گرفتگی بازه‌های پایین‌دست را کاهش می‌دهد.)

۴- امکان بازیافت مصالح انباشته شده، با توجه به حذف رسوبات چسبنده و ته‌نشینی درشت‌دانه‌ها (در سدهای باز وجود مجاری تخلیه، موجب شستشوی رسوبات معلق شده و استفاده از مصالح غیر چسبنده برای مصارف مختلف عمرانی و صنعتی به عنوان جایگزین منابع رودخانه‌ای، مانع از بروز تبعات نامطلوب برداشت مستقیم شن و ماسه از رودخانه‌ها می‌شود.)

1- Flood Retarding Dams

۵- وجود مجاری خروجی و زهکشی مستمر رسوبات، از بروز عوارض کیفیتی و تبعات زیست‌محیطی در مخزن سد جلوگیری می‌کند. (در سدهای رسوبگیر صلب به دلیل عدم زهکشی، امکان بروز چنین عوارضی وجود دارد.)

۶- با توجه به فرایند زهکشی مستمر ناشی از عملکرد مجاری تخلیه موجود در بدنه سد، نیروهای هیدرواستاتیکی و فشار برکنش وارده برکف سازه به طور محسوسی کم‌تر از سدهای صلب بوده و این امر استحکام و پایداری و عدم آسیب‌پذیری سازه سد را افزایش می‌دهد.

در خصوص اثرات سدهای رسوبگیر باز در تسکین سیلاب، لازم به ذکر است وقوع سیل اغلب با انتقال انبوه مواد رسوبی همراه بوده و در صورت عدم مدیریت مناسب، انباشت مصالح درشت‌دانه حمل شده در بازه‌های پایین‌دست و گلوگاه‌ها منجر به کاهش ظرفیت هیدرولیکی و تشدید خطر سیلاب‌ها و انحراف مسیر جریان و بروز انواع خسارت‌های اقتصادی و اجتماعی و تخریب زیرساخت‌ها می‌گردد. از این‌رو سدهای رسوبگیر در هنگام وقوع سیلاب با مهار بار رسوبی، نقش موثری در حفظ ساختار هندسی رودخانه و برقراری شرایط هیدرولیکی متوازن و کاهش اثرات تخریبی آن‌ها ایفا می‌کنند.

در این خصوص، اشاره به قابلیت سدهای باز در تله‌اندازی کامل و یا بخشی از بار بستر درخور توجه است. اغلب به منظور حفظ تغذیه رسوبی بازه‌های پایین‌دست و مقابله با پدیده کف‌کنی و جابجایی‌های عرضی و افزایش ظرفیت هیدرولیکی، تنظیم ابعاد و موقعیت مجاری تخلیه در راستای تله‌اندازی مصالح درشت‌دانه که عامل افزایش اصطکاک و منشای ناهنجاری‌های مورفولوژیکی است، مدنظر قرار می‌گیرد. بازیافت مصالح از سدهای رسوبگیر، از دیگر عوامل مهم تاثیرگذار در بهبود خصوصیات ریخت‌شناسی، هیدرولیکی و زیست‌محیطی رودخانه‌ها تلقی می‌شود. امروزه در اغلب کشورهای جهان، مصالح انباشته شده در سدهای رسوبگیر باز، جایگزین مناسبی برای برداشت مستقیم شن و ماسه از رودخانه‌ها بوده و از این طریق، اجتناب از تبعات نامطلوب حاصل از شکل‌گیری گودال برداشت، نظیر وقوع فرسایش‌های پیش‌رونده و پس‌رونده و تهدید سازه‌های موازی و متقاطع (پل‌ها، دیواره‌های سیل‌بند، سردهنه‌ها، جاده‌ها و سایر موارد) امکان‌پذیر می‌باشد. [۶۴]

فصل ۴

طراحی سدهای رسوبگیر

با انجام مطالعات پایه و تخصصی، مبانی لازم برای طراحی سد رسوبگیر فراهم گردیده و مجموعه مشخصات هندسی و سازه‌ای طرح، طی دو فرایند زیر تعیین می‌گردد:

الف- طراحی هیدرولیکی

ب- طراحی سازه‌ای

مشخصات هندسی، نظیر ارتفاع سد، ابعاد سرریز، موقعیت و ابعاد مجاری تخلیه و سایر اجزای سازه از جمله اهداف طراحی هیدرولیکی تلقی می‌شوند که جزییات آن ذیلا ارائه شده است.

۴-۱- طراحی هیدرولیکی سدهای رسوبگیر

سدهای رسوبگیر از نظر عملکرد هیدرولیکی همان‌طوری‌که در فصل دو نیز اشاره شد، به دو گروه عمده شامل سدهای با جریان تحت فشار (یا سدهای روزنه‌دار) و سدهای دارای جریان آزاد (یا سدهای شکاف‌دار) تقسیم‌بندی می‌شوند در این مبحث، روش‌های طراحی برای تعیین مشخصات هندسی سازه سد معرفی گردیده است. طراحی هیدرولیکی مستلزم انجام دو مرحله زیر می‌باشد:

۴-۱-۱- مرحله اول- استفاده از معادلات تجربی برای تعیین مشخصات هندسی سازه سد

با استفاده از معادلات تجربی که ذیلا ارائه گردیده، مشخصات هندسی اجزای مختلف سدهای رسوبگیر (ارتفاع سد، ابعاد سرریز، نوع و تعداد مجاری تخلیه و برآورد ظرفیت حجم رسوبگذاری) محقق می‌گردد. چنین اطلاعاتی برای ارزیابی اولیه حجم رسوبگذاری و میزان تاثیرپذیری اراضی حاشیه‌ای موجود در محدوده اثر سد، استفاده از سد منفرد یا سدهای متوالی، بررسی امکان بازیافت رسوبات مخزن و همچنین برآورد اولیه هزینه‌های مالی دارای اهمیت است در عین‌حال، برای تدقیق ابعاد هندسی و اطمینان از عملکرد مطلوب مخزن و تحقق ضریب تله‌اندازی مورد نظر، انجام فرایند مدل‌سازی ضروری می‌باشد.

۴-۱-۲- مرحله دوم – مدل‌سازی عددی برای تدقیق مشخصات هندسی و تحلیل عملکرد هیدرولیکی و رسوبگذاری

همان‌طوری‌که در بالا اشاره شد، اطلاعات حاصل از معادلات تجربی، علاوه بر ترسیم سیمای کلی طرح احداث سد رسوبگیر، مبنایی برای مدل‌سازی عددی تلقی می‌شود. به بیانی، برای تدقیق مشخصات هندسی و آنالیز عملکرد هیدرولیکی و رسوبگذاری مخزن، لازم است با بهره‌گیری از داده‌های حاصل از معادلات تجربی، فرایند مدل‌سازی، مشابه آنچه که در مبحث ۳-۵ با عنوان «مطالعات هیدرولیک رسوب و مدل‌سازی و رسوبگذاری در مخزن و تعیین پروفیل‌های رسوبگذاری» و بند ۳-۵-۲ با عنوان «بررسی میزان تله‌اندازی (Te) برحسب اندازه‌های مختلف دانه‌بندی و تعیین قطر طراحی (Dd)» به تفصیل تشریح گردیده است، برای گروه سدهای شکاف‌دار یا روزنه‌دار محقق شود. با انجام مدل‌سازی،

ضمن تدارک جزییات کامل هیدرولیکی مجاری تخلیه و سرریز سد و همچنین رفتارسنجی عملکرد سازه از نظر رسوبگذاری و نرخ تله‌اندازی و بهینه‌سازی ابعاد هندسی، اطلاعات لازم از نحوه تله‌اندازی رسوبات برای کلاس‌های مختلف دانه‌بندی و اتخاذ تصمیم برای مدیریت مهار رسوبات، فراهم می‌شود.

مراحل تعیین مشخصات هندسی سازه سد با استفاده از معادلات تجربی ذیلا ارائه شده است.

۴-۱-۳- تعیین ابعاد هندسی و ظرفیت هیدرولیکی سدهای رسوبگیر شکاف‌دار

تعیین خصوصیات هندسی، پیش‌نیاز ارزیابی‌های اولیه از نظر عملکرد سازه و برآورد هزینه‌های طرح و همچنین فراهم آوردن ملزومات مدل‌سازی عددی هیدرولیک جریان و انجام مدل‌سازی رسوبگذاری و تحلیل عملکرد سدهای رسوبگیر تلقی می‌شود. از جمله پارامترهای تاثیرگذار در ابعاد هندسی سدهای رسوبگیر شکاف‌دار، انتخاب کمیت عرض شکاف (Wo) به عنوان پارامتر اصلی در کنترل میزان تله‌اندازی رسوب می‌باشد. در این خصوص در بند ۳-۵-۱-۱ «بررسی سناریوهای مختلف و تعیین حجم رسوبگذاری در سدهای رسوبگیر شکاف‌دار» نقش و تاثیرگذاری (Wo) در نحوه کنترل فرایند رسوبگذاری، مورد بررسی قرار گرفت و پیرو آن در بند ۳-۵-۲-۱ نیز«بررسی میزان تله‌اندازی (Te) برحسب اندازه‌های مختلف دانه‌بندی و تعیین قطر طراحی در سدهای شکاف‌دار» دیدگاه کامل‌تری از ارتباط ابعاد هندسی به ویژه کمیت (Wo) با استناد به نتایج سناریوهای مختلف در تعیین جزییات رسوبگذاری و اهداف مدیریتی، ارائه گردید. معادلات ارائه شده در مبحث فعلی متکی به انتخاب (Wo) بوده و از این طریق برای دبی مشخص (Q_{max}) ضمن تعیین خصوصیات هندسی به ویژه ارتفاع سد (h_{dam})، امکان ارزیابی اولیه حجم رسوبگذاری را نیز فراهم می‌کند. در عین‌حال، برای تدقیق ابعاد هندسی سازه از جمله کمیت Wo و h_{dam} و همچنین تحلیل فرایند رسوبگذاری و کم و کیف تله‌اندازی، همان‌گونه‌که در بالا اشاره شد انجام مدل‌سازی عددی، مشابه آنچه که در بندهای ۳-۵-۱ و ۳-۵-۲ تصریح گردیده است، متداول می‌باشد.

در شرایط برقراری جریان آزاد، روابط زیر معروف به Slit Formula جهت تعیین ابعاد و ظرفیت تخلیه مجرای سدهای شکافدار توسط گیلام و رکینگ (Guillaume & Recking, 2015) پیشنهاد شده است. [۴۱، ۶۱]

- تعیین ظرفیت هیدرولیکی در سدهای شکاف‌دار ساده (شکل ۴-۱- الف):

$$Q_{max} = \frac{2}{3}\mu A_o\sqrt{2gd_w} \qquad A_o = w_o d_w \qquad (۱-۴)$$

- تعیین ظرفیت هیدرولیکی در سدهای باز تیرکدار (شکل ۴-۱- ب):

$$Q_{max} = \frac{2}{3}\mu A_o\sqrt{2gd_w} \qquad A_o = w_o d_w \qquad (۲-۴)$$

- تعیین ظرفیت هیدرولیکی در سدهای باز تیرکدار با مجرای تخلیه تحتانی (شکل ۴-۱- ج):

$$Q_{max} = \frac{2}{3}\mu A_t\sqrt{2gd_w} \qquad A_t = w_o h_o + w_1 h \qquad (۳-۴)$$

- تعیین ظرفیت هیدرولیکی در سدهای شکاف‌دار دارای پایه و شکاف‌دار ترکیبی (شکل ۴-۱- د و ۴-۱- ه):

$$Q_{max} = kA_{os}\sqrt{gd_w} \qquad A_{os} = W_{os}d_w \qquad k = (C_o{}^3 \Psi^{3C_1})^{-0.5} \qquad (۴-۴)$$

$$\Psi = \frac{w_o}{w_o + w_s} \qquad W_{os} = \sum_{i=1}^{n}(w_{oi} + w_{si}) \qquad (۴-۵)$$

در جدول (۴-۱) مجموعه پارامترهای مورد استفاده در معادلات (۴-۱) الی (۴-۵) معرفی شده است. در شکل (۴-۱) همچنین مشخصات هندسی سدهای رسوبگیر شکاف‌دار متعلق به معادلات مزبور، نشان داده شده است.

جدول ۴-۱- توصیف پارامترهای مورد استفاده در معادلات ظرفیت هیدرولیکی انواع سدهای رسوبگیر شکاف‌دار

ردیف	علامت پارامتر	توضیح پارامتر	ابعاد پارامتر
۱	Qmax	دبی سیلاب با دوره بازگشت معین	m^3/s
۲	μ	ضریب انقباض	
۳	Ao	سطح مقطع جریان مجرای تخلیه	m^2
۴	Wo	عرض شکاف	m
۵	dw	عمق آب نظیر Qmax	m
۶	g	شتاب ثقل زمین	m/s^2
۷	At	سطح مقطع جریان برای مجرای تخلیه تحتانی	m^2
۸	ho	ارتفاع مجرا	m
۹	W1	عرض شکاف در سد تیرک‌دار	m
۱۰	h	ارتفاع آب از لبه فوقانی تخلیه‌کننده تحتانی	m
۱۱	k	ضریب انقباض سد پایه‌دار و ترکیبی	
۱۲	Aos	مجموع سطح مقطع مجاری تخلیه و بدنه صلب	m^2
۱۳	Ws	عرض قسمت صلب مجرا	m
۱۴	Co	ضریب تجربی معادل ۰/۹۵۷	
۱۵	C1	ضریب تجربی معادل ۰/۹	
۱۶	ψ	نسبت بازشدگی در سد تیرک‌دار ، پایدار و ترکیبی	
۱۷	Wos	مجموع عرض مجرا و قسمت صلب	m
۱۸	n	تعداد مجرا یا شکاف	
۱۹	woi	عرض مجرا متعلق به ردیف مشخص	m

مطابق معادلات (۴-۱) تا (۴-۵) پس از انتخاب کمیت Q_{max} (سیلاب طراحی با دوره بازگشت معین) و با درنظر گرفتن عرض مجرا (w_o) و همچنین نوع سد (ساده یا تیرکدار، پایه‌دار و یا نوع ترکیبی) مقدار d_w (که شاخص ارتفاع سد تلقی می‌شود) با سعی و خطا تعیین می‌گردد. در سدهای رسوبگیر برای هر کمیت Q_{max} امکان تعیین مشخصات هندسی سد از روابط تجربی ارائه شده، وجود دارد و با توجه به ملاحظات اقتصادی و درنظر گرفتن گزینه مناسب، کمیت Q_{max} انتخاب می‌شود. در منابع موجود برای مقدار Q_{max} متخصصین سیلاب ۲۰ تا ۱۰۰ سال پیشنهاد نموده‌اند. [۴۱، ۶۱]

با عنایت به مباحث فوق، مراحل محاسباتی برای تعیین ظرفیت هیدرولیکی سدهای رسوبگیر شکاف‌دار را می‌توان به صورت زیر عنوان نمود:

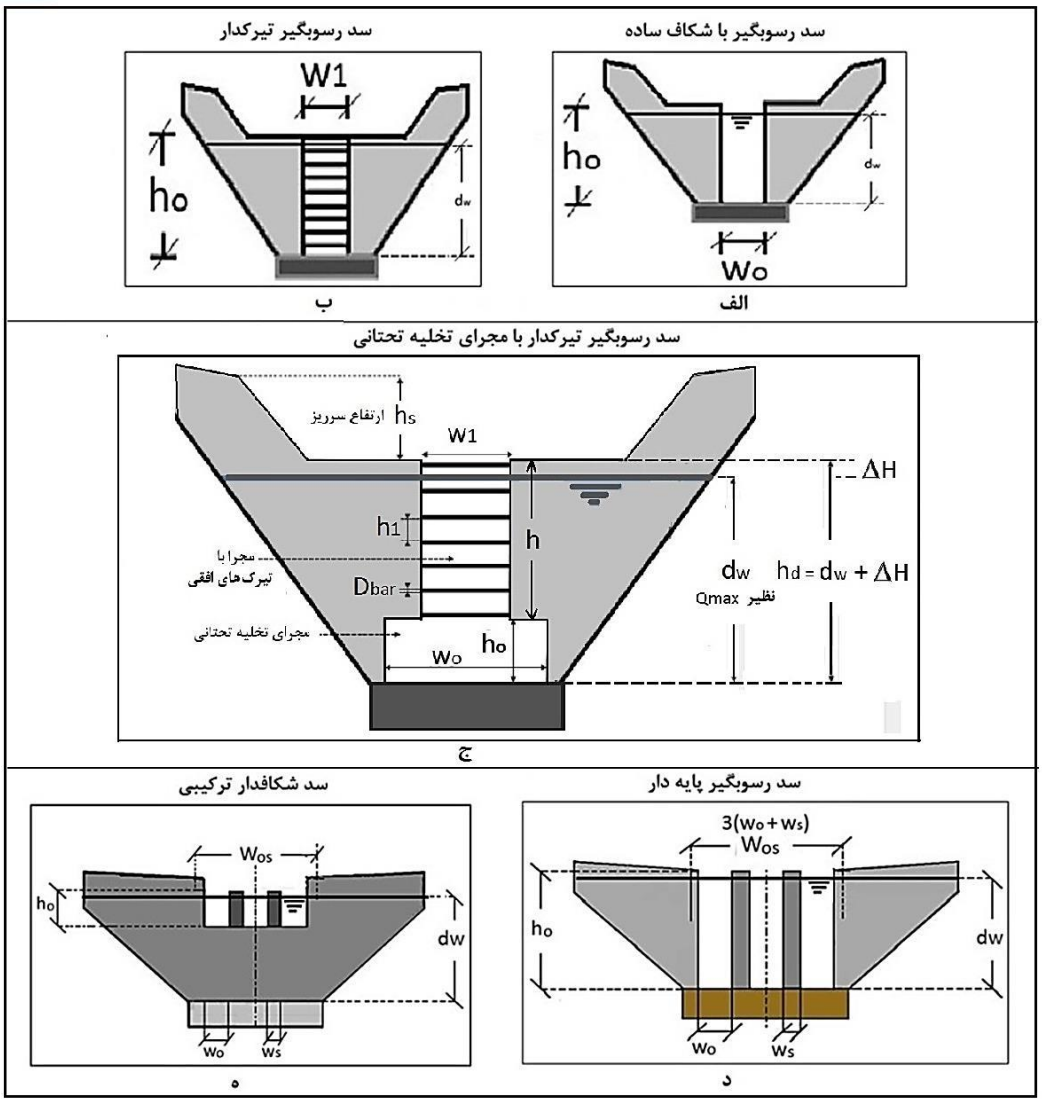
۱- انتخاب سیل با دوره بازگشت معین یا Q_{max}

۲- تعیین نوع سد (الگوهای ارائه شده در شکل ۴-۱)

۳- تعیین مشخصات شکاف یا مجرای تخلیه (جزییات مندرج در شکل ۴-۱)

۴- تعیین ارتفاع آب در پشت سد (d_w) از معادلات مربوطه

در جدول (۴-۲) نمونه‌ای از نحوه تعیین d_w برای دو کمیت متفاوت Q_{max} مفروض و سد شکاف‌دار ساده و تیرک‌دار با استفاده از معادلات (۴-۱) و (۴-۲) معرفی شده است. مطابق جدول (۴-۲)، برای مقادیر سیلاب با دوره بازگشت ۵۰ و ۱۰۰ سال و عرض شکاف معادل ۲ متر، مقدار d_w برای شکاف ساده به ترتیب ۷/۴ و ۸/۷ متر و برای حالت تیرک‌دار معادل ۹/۴ و۱۱ متر می‌باشد.



شکل ۴-۱- مشخصات انواع سدهای رسوبگیر شکاف‌دار مورد استفاده در تعیین ظرفیت هیدرولیکی [۶۱]

نظر به این‌که وجود تیرک‌ها موجب کاهش ضریب انقباض (μ) گردیده و مقدار d_w را افزایش می‌دهد، در سدهای تیرکدار کمیت μ با توجه به فاصله و قطر تیرک‌ها از جدول (۴-۳) تعیین می‌شود. برای مجرای ساده (بدون تیرک) مطابق جدول (۴-۳) مقدار μ_o برابر با ۰/۶۵ می‌باشد.

در شکل (۴-۲) تاثیرپذیری کمیت d_w از تغییرات عرض مجرا w_0 برای حالت ساده و تیرکدار با درنظر گرفتن دامنه تغییرات w_0 معرفی شده است. مطابق شکل (۴-۲) با کاهش عرض مجرا، کمیت d_w افزایش می‌یابد (این امر با ایجاد پس‌زدگی[1] موجبات تله‌اندازی بخش عمده‌ای از بار بستر را سبب می‌گردد). برای شکاف عریض با کاهش کمیت d_w مصالح درشت‌تر تله‌اندازی شده و مابقی بار بستر از مخزن، خارج می‌شود. کنترل ابعاد مصالح و میزان تله‌اندازی با انتخاب عرض مجرا یا فیلترینگ[2] از جمله امتیازات شاخص سدهای رسوبگیر باز تلقی می‌شود. [۶۱]

جدول ۴-۲- نمونه‌ای از مراحل محاسباتی ظرفیت هیدرولیکی و ارتفاع آب در پشت سد رسوبگیر شکاف‌دار ساده و تیرک‌دار

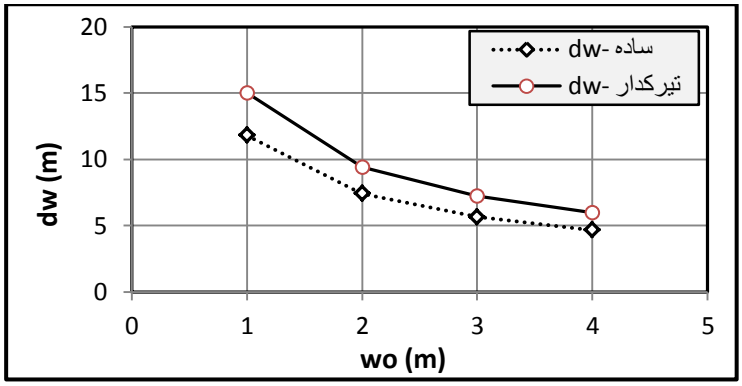
۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
		Tr	Qmax	Wo	μo	μ	h1	Db	g
نوع سد	ردیف	دوره بازگشت سیلاب	دبی سیلاب	عرض شکاف	ضریب انقباض		فاصله تیرک‌ها	قطر تیرک‌ها	شتاب ثقل زمین
					شکاف ساده	شکاف تیرک‌دار			
		yr	m^3/s	m			m	m	m/s^2
	۱	۵۰	۷۷	۲	۰/۶۵				۹/۸۱
	۲	۱۰۰	۹۸	۲	۰/۶۵				۹/۸۱
	۳	۵۰	۷۷	۲		۰/۴۵	۰/۵	۰/۲	۹/۸۱
	۴	۱۰۰	۹۸	۲		۰/۴۵	۰/۵	۰/۲	۹/۸۱

۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷
dw	n	Wo*dw	μWo*dw	(2gdw)^0.5	Qmax-c	نتیجه محاسبات
ارتفاع آب در پشت سد	تعداد تیرک	کنترل محاسبات				
		پارامترهای محاسباتی		دبی محاسباتی		
m	dw/(h1+Db)	m2	m2	m/s	m3/s	
۷/۴		۱۴/۷۶	۹/۵۴	۱۲/۳۳	۷۷	ok
۸/۷		۱۷/۳۴	۱۱/۲۷	۱۳/۴۱	۹۸	ok
۹/۴	۱۳	۱۸/۸۸	۸/۵	۱۳/۶۱	۷۷/۱	ok
۱۱	۱۶	۲۲/۲	۱۰	۱۴/۷۶	۸۹/۲	ok

جدول ۴-۳- تاثیرپذیری پارامتر ضریب انقباض از فاصله و قطر تیرک‌ها در سدهای رسوبگیر شکاف‌دار [۶۱]

فاصله بین تیرک‌ها	نسبت بازشدگی	ضریب انقباض	نسبت ضریب انقباض
$h_1(m)$	$\psi = \frac{h_1}{h_1 + D_{bar}}$	μ	$\beta = \mu / \mu_0$
بدون تیرک	۱	۰/۶۵	۱
۲	۰/۹۱	۰/۶۰	۰/۹۲
۱	۰/۸۳	۰/۵۳	۰/۸۲
۰/۵	۰/۷۱	۰/۴۵	۰/۶۹
۰/۲	۰/۵	۰/۳۱	۰/۴۷

1- Backwater
2- Bed Load Filtering



شکل ۴-۲- روند تغییرات ارتفاع آب در پشت سد رسوبگیر شکاف‌دار به صورت تابعی از تغییرات عرض مجرا در حالت ساده و تیرک‌دار

۴-۱-۳-۱- تعیین ارتفاع سد رسوبگیر (h_{dam})

در تعیین ارتفاع سدهای رسوبگیر یا hdam علاوه بر عمق آب (d_w) در پشت سد، مقادیر افت‌های موضعی سه‌گانه زیر باید مدنظر قرارگیرد: [۵۱]

- افت موضعی ناشی از افزایش ناگهانی مقطع جریان بین راس دلتا (پروفیل رسوبگذاری) و خروجی سد (ΔH_{dep-w}). مطابق شکل (۴-۳) مقدار ΔH_{dep-w} متعلق به ناحیه انتقالی بین مقطع d_w (ارتفاع آب در پشت سد) و d_{dep} (عمق آب در قاعده دلتا) می‌باشد:

$$\Delta H_{dep-w} = \lambda \frac{V_{dep}{}^2}{2g} \qquad \lambda = (1 - \frac{d_{dep}}{d_w}) \qquad V_{dep} = \frac{Q_{max}}{W d_{dep}} \tag{۶-۴}$$

$$d_{dep} = 1.231 (\frac{n Q_{max}}{W S_o{}^{0.5}})^{3/5} \tag{۷-۴}$$

- افت ناشی از عبور جریان حاوی رسوب از مجرا (مجاری) باز (ΔH_{sed})

مطابق تجارب حاصله که از مطالعات بر روی مدل‌های فیزیکی در حالت آب صاف و آب حاوی بار بستر حاصل شده است [۶۴]، کمیت ΔH_{sed} نوعی افت موضعی تلقی می‌شود که در اثر تصادف دانه‌های رسوب در حین خروج و اصطکاک حاصل از برخورد دانه‌ها با سطوح مجاری و روزنه‌های موجود در بدنه سازه می‌باشد. اوچی‌یوجی و فرای[1] رابطه زیر را برای تعیین ΔH_{sed} پیشنهاد نموده‌اند: [۶۴]

$$\Delta H_{sed} = 1.5 D_{max} \tag{۸-۴}$$

- افت ناشی از تجمع الوار و اشیای شناور ($\Delta H_{driftwood}$)

ماهیت $\Delta H_{driftwood}$ نیز افت موضعی است که حاصل افزایش اصطکاک در اثر تجمع ضایعات و الوار و اشجار

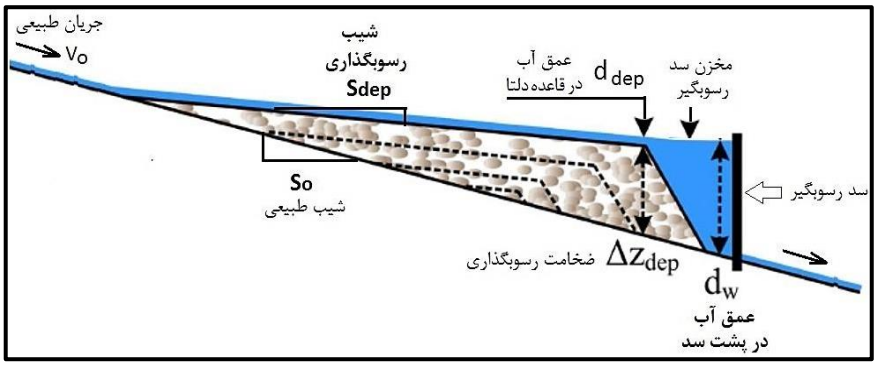
1- Uchiogi & Frey, 1999

در دهانه مجاری تخلیه و در نتیجه کاهش سطح مقطع مفید جریان بوده و در تاسیسات آبی متداول می‌باشد. لانژه و بزولا[1] رابطه زیر را برای تعیین $\Delta H_{driftwood}$ پیشنهاد نموده‌اند: [۶۴]

$$\Delta H_{driftwood} = \Omega \frac{V_o^{\ 2}}{2g} \qquad \Omega(1.5-2.5) \qquad V_o = \frac{Q_{max}}{By_o} \qquad y_o = \left(\frac{nQ_{max}}{BS_o^{\ 0.5}}\right)^{3/5} \tag{۹-۴}$$

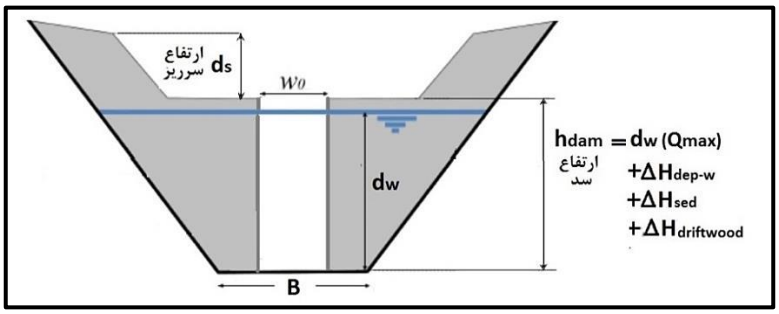
با مشخص شدن افت‌های سه گانه، ارتفاع سد در شرایط لبریزی از رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$h_{dam} = d_w + \Delta H_{dep-w} + \Delta H_{sed} + \Delta H_{driftwood} \tag{۱۰-۴}$$



شکل ۴-۳- پروفیل رسوبگذاری و مشخصه‌های هندسی و هیدرولیکی مخزن سد رسوبگیر با مجرای تخلیه‌کننده (نوع شکاف‌دار، [۶۴])

در شکل (۴-۴)، ارتفاع سد رسوبگیر به همراه سایر مشخصه‌های هیدرولیکی و هندسی نشان داده شده است. به منظور معرفی روند استفاده از معادلات (۴-۶) تا (۴-۱۰) در تعیین ارتفاع سد، جدول (۴-۴) براساس مثال مفروض مندرج در جدول (۴-۳) تنظیم و معرفی شده است. در جدول (۴-۵) همچنین توصیف پارامترهای مورد استفاده در روابط (۴-۶) لغایت (۴-۱۰) مندرج است.



شکل ۴-۴- ارتفاع سد رسوبگیر، ارتفاع آب، ارتفاع سرریز و سایر مشخصه‌های هندسی سدرسوبگیر شکاف‌دار [۶۱]

مطابق جدول (۴-۴) برای سیلاب با دوره بازگشت ۵۰ و ۱۰۰ سال، مقادیر افت‌های سه‌گانه بر اساس روابط حاکم تعیین (ستون‌های شماره ۱۷، ۱۹ و ۲۳) و از جمع حاصله با d_w (ستون شماره ۶) کمیت ارتفاع سد h_{dam} به ترتیب

1- Lange & Bezzola, 2006

برابر با ۹ و ۱۰/۵ متر محاسبه شده است.

جدول ۴-۴- مراحل محاسباتی افت‌های موضعی و تعیین ارتفاع سد رسوبگیر شکاف‌دار ساده (مثال مفروض)

۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
نوع سد رسوبگیر	ردیف	Tr	Qmax	Wo	dw	B	m	W	n
		دوره بازگشت سیلاب	دبی سیلاب	عرض شکاف	ارتفاع آب در پشت سد	عرض کف رودخانه	پارامتر شیب جانبی	عرض سطح آب در مخزن	ضریب مانینگ
		yr	m^3/s	m	m	m		m	m/s^2
	۱	۵۰	۷۷	۲	۷/۴	۳۰	۲	۶۰	۰/۰۳۵
	۲	۱۰۰	۹۸	۲	۸/۷	۳۰	۲	۶۵	۰/۰۳۵

۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰
g	So	ddep	W*ddep	Vdep	λ	ΔHddep-W	Dmax	1.5 Dmax	yo
شتاب ثقل	شیب طبیعی بستر	عمق آب در قاعده دلتا	سطح مقطع جریان در قاعده دلتا	سرعت جریان در قاعده دلتا	پارامتر افت موضعی	افت موضعی بین قاعده دلتا و مقطع خروجی	قطر حداکثر لایه آرمور	افت موضعی ناشی از خروج رسوب	عمق آب در حالت طبیعی
m/s^2	m/m	m	m^2	m/s		m	m	m	m
۹/۸۱	۰/۰۱	۰/۷۷	۴۵/۵۵	۱/۶۹	۰/۹	۰/۱۳	۰/۳	۰/۴۵	۰/۹۴
۹/۸۱	۰/۰۱	۰/۸۴	۵۴/۴۲	۱/۸۰	۰/۹	۰/۱۵	۰/۳	۰/۴۵	۱/۰۸

۲۱	۲۲	۲۳	۲۴
Vo	Ω	ΔHdriftwood	hdam
سرعت جریان در حالت طبیعی	ضریب افت موضعی برای اشیای شناور	افت موضعی ناشی از تجمع اشیای شناور	ارتفاع سد (۶)+(۱۷)+(۱۹)+(۲۳)
m/s		m	m
۲/۷۴	۲	۰/۷۶	۹
۳/۰۱	۲	۰/۹۳	۱۰/۵

جدول ۴-۵- توصیف پارامترهای مورد استفاده در روابط تعیین ارتفاع سد رسوبگیر

ردیف	علامت پارامتر	توضیح پارامتر	ابعاد پارامتر
۱	V_{dep}	سرعت جریان در قاعده دلتا	m/s
۲	λ	ضریب افت جریان موضعی	
۳	d_{dep}	عمق جریان در قاعده دلتا	m
۴	W	عرض مخزن در قاعده دلتا	m
۵	So	شیب طبیعی بستر	m/m
۶	D_{max}	قطر حداکثر مصالح بستر در حالت طبیعی	m
۷	Ω	ضریب افت موضعی ناشی از تجمع اشیای شناور	
۸	Vo	سرعت جریان در حالت طبیعی با فرض جریان نرمال	m/s
۹	yo	عمق نرمال در حالت طبیعی	m
۱۰	B	عرض جریان در حالت طبیعی	m
۱۱	n	ضریب مانینگ	
۱۲	m	پارامتر شیب جانبی	
۱۳	ΔH_{dep-w}	افت موضعی بین قاعده دلتا و مجرای خروجی	m
۱۴	ΔH_{sed}	افت موضعی ناشی از خروج آب حاوی رسوب	m
۱۵	$\Delta H_{driftwood}$	افت موضعی ناشی از تجمع اشیای شناور	m
۱۶	d_{dam}	ارتفاع سد در حالت لبریز نظیر Qmax	m

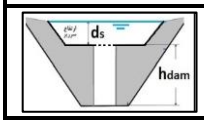
۴-۱-۳-۲- تعیین ابعاد و ارتفاع سرریز در سدهای رسوبگیر شکاف‌دار (ds)

علاوه بر ارتفاع در سدهای رسوبگیر، لازم است ابعاد سازه سرریز برای تخلیه سیلاب‌های نادر[1] تعیین شود. بدین منظور با در نظرگرفتن سیل طراحی[2] (Q_{peak}) و فرض احتمال انسداد کامل مجاری و درنظرگرفتن مقطع ذوزنقه (در سدهای رسوبگیر سرریز سد به صورت مقطع ذوزنقه طراحی می‌شود)، ابعاد هندسی و ظرفیت هیدرولیکی آن تعیین می‌گردد. انتخاب سیل طراحی، تابعی از اهداف و ملاحظات ایمنی و درجه استحکام و دوره بهره‌برداری سد رسوبگیر و معیارهای اقتصادی می‌باشد. در منابع موجود برای Q_{peak} انتخاب سیل با دوره بازگشت ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ سال پیشنهاد شده است [۴۱، ۶۱]. برای مقطع ذوزنقه‌ای با درنظر گرفتن وقوع جریان بحرانی، ابعاد سرریز و ظرفیت هیدرولیکی آن از رابطه زیر تعیین می‌شود: [۴۱، ۱۰۰]

$$Q_{peak} = \frac{d_s(b+md_s)^{3/2}}{(b+2md_{ds})^{0.5}}\sqrt{gd_s} \qquad (۴-۱۱)$$

دررابطه فوق؛ Q_{peak}: دبی طراحی با دوره بازگشت معین (m^3/s)، d_s: ارتفاع سرریز (m)، b: عرض تاج سد (m)، m: پارامتر شیب جانبی سرریز و g: شتاب ثقل زمین (m/s^2) می‌باشد. روند محاسبات ارتفاع سرریز و سایر مشخصات هندسی آن برای دوکمیت Q_{peak} مفروض با دوره بازگشت ۲۰۰ و ۵۰۰ سال به طور نمونه در جدول (۴-۶) ارائه شده است.

جدول ۴-۶- مراحل محاسباتی ارتفاع سرریز ذوزنقه‌ای سد رسوبگیر شکاف‌دار ساده (مثال مفروض)

۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
نوع سد	ردیف	Tr	Qpeak	b	m	g	ds	Qpeak-c	نتیجه محاسبات
		دوره بازگشت سیلاب	دبی سیلاب	عرض تاج سد	پارامتر شیب جانبی	شتاب ثقل	ارتفاع سرریز	دبی محاسباتی	
		yr	m^3/s	m		m/s^2	m	m^3/s	
	۱	۲۰۰	۱۱۵	۳۰	۲	۹/۸۱	۱/۱۲	۱۱۵/۴	Ok
	۲	۵۰۰	۱۲۸	۳۰	۲	۹/۸۱	۱/۲	۱۲۸/۳	ok

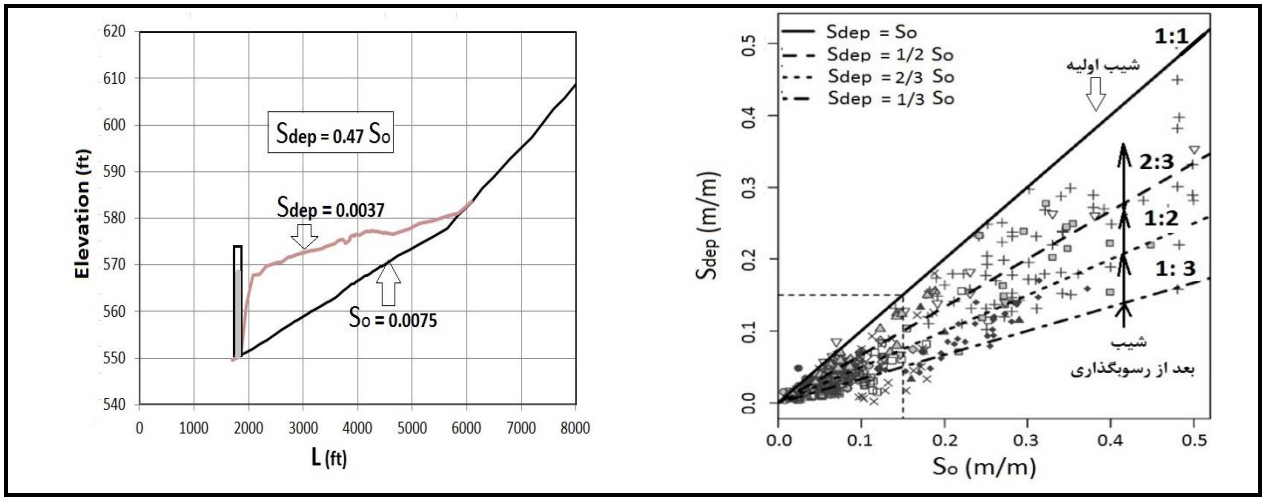
۴-۱-۴- تعیین شیب پروفیل رسوبگذاری (S_{dep})

شیب پروفیل رسوبگذاری از جمله پارامترهای مهم در ارزیابی ظرفیت انباشت رسوب در مخزن سد رسوبگیر تلقی می‌شود. مطابق بررسی‌های اوستی و اگاشیرا[3] مقدار S_{dep} در سدهای رسوبگیر از روابط زیر قابل ارزیابی است: [۶۱]

$$S_{dep} \approx 0.5S_o \qquad S_{dep} \approx 2/3S_o \qquad (۴-۱۲)$$

1- Extreme Events
2- Design Flood
3- Osti & Egashira, 2013

مطابق رابطه (۴-۱۲) با احداث سد رسوبگیر، شیب رودخانه در بالادست سازه به ۵۰ تا ۶۷٪ شیب اولیه (S_o) کاهش می‌یابد. در عین‌حال، به دلیل تاثیر رژیم آبدهی و رسوبدهی دامنه تغییرات شیب، مطابق بررسی‌های گالیا و همکاران[1] بیش‌تر بوده و بر اساس نمودار شکل (۴-۵- الف)، کمیت S_{dep} حسب مورد از $\frac{1}{3}S_o$ تا معادل S_o (شیب رسوبگذاری برابر شیب اولیه) تغییر می‌کند. در شکل (۴-۵- ب) نمونه‌ای از شبیه‌سازی پروفیل رسوبگذاری (رودخانه اکلید - مثال کاربردی مدل HEC-RAS [۸۷]) موید آن است که کمیت S_{dep} معادل $0.47S_o$ یا حدود ۵۰٪ شیب اولیه می‌باشد. با عنایت به نتایج تجربی، اغلب موارد برای ارزیابی حجم رسوبگذاری مقدار S_{dep} برابر با $0.5S_o$ در نظر گرفته می‌شود. [۶۱، ۹۲]



الف- دامنه تغییرات شیب رسوبگذاری مطابق بررسی‌های گالیا و همکاران

ب- مقایسه S_{dep} با شیب اولیه (مثال کاربردی مدل HEC-RAS - رودخانه اکلید)

شکل ۴-۵- دامنه تغییرات شیب پروفیل رسوبگذاری در بالادست سد رسوبگیر نسبت به شیب اولیه رودخانه [۶۴، ۸۷]

۴-۱-۵- برآورد ظرفیت مخزن یا حجم رسوبگذاری (Vs)

در سدهای رسوبگیر، تعیین دقیق ظرفیت مخزن یا حجم رسوبگذاری با استفاده از مدل‌سازی رایانه‌ای امکان‌پذیر می‌باشد. لیکن در اغلب موارد برای ارزیابی اولیه و بررسی ضرورت استفاده از یک یا چند سد متوالی، ارزیابی ظرفیت مخزن با استفاده از معادلات تجربی انجام می‌گیرد. با درنظر گرفتن S_{dep} معادل $0.5S_o$ طول مخزن سد رسوبگیر از رابطه زیر تعیین می‌گردد:

$$L_r = \frac{h_{dam}}{0.5S_o} \qquad (۱۳-۴)$$

برای تعیین ظرفیت مخزن یا حجم رسوبگذاری می‌توان از رابطه زیر بهره‌جست: [۸۶]

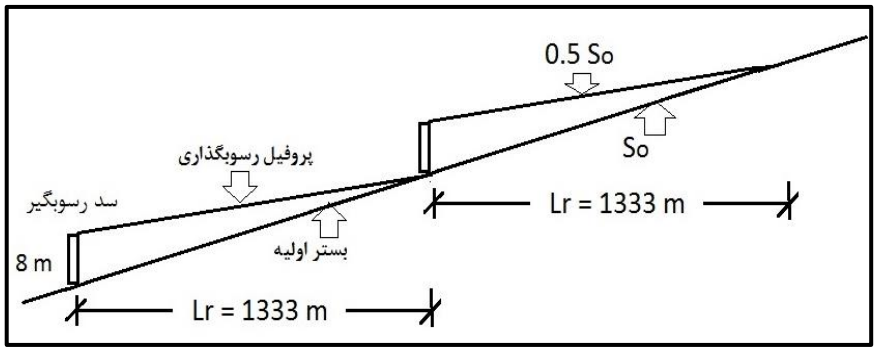
1- Galia et al, 2016

$$V_{sed} = L_r^2 B S_o / 6 \qquad (۱۴-۴)$$

در روابط فوق؛ L_r: طول مخزن (m)، h_{dam}: ارتفاع سد رسوبگیر (m)، S_o: شیب رودخانه (m/m)، B: متوسط عرض مخزن (m) و V_{sed}: ظرفیت یا حجم رسوبگذاری می‌باشد (m^3). در جدول (۴-۷) نحوه تعیین L_r و V_{sed} برای مثال مفروض ارائه شده است. مطابق جدول (۴-۷) با توجه به حجم سالیانه بار بستر ($۲۰۰۰۰۰ m^3/yr$) و فرض نرخ تله‌اندازی ۸۰٪ و در نظرگرفتن دوره تخلیه دو سال، احداث دو سد رسوبگیر متوالی با ظرفیت هرکدام $۱۶۰۰۰۰ m^3$ برای مهار بار بستر ضروری می‌باشد. در شکل (۴-۶) طرح شماتیک دو سد رسوبگیر متوالی مندرج در جدول (۴-۷) نشان داده شده است.

جدول ۴-۷- نحوه تعیین طول و ظرفیت مخزن و تعداد سد رسوبگیر مورد نیاز (مثال مفروض)

۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱
hdam	So	Lr	B	Vr	Qsb	Qsb^2	Te	Qsb-t	td	N
ارتفاع سد	شیب رودخانه	طول مخزن	متوسط عرض مخزن	ظرفیت مخزن (رسوبگذاری)	حجم بار بستر سالیانه	حجم بار بستر در دو سال	نرخ تله‌اندازی بار بستر	حجم رسوب تله‌اندازی شده در دو سال	دوره تخلیه مخزن سد	تعداد سد رسوبگیر مورد نیاز
m	m/m	m	m	m^3	m^3/yr	m3/2yr	%	$m^3/2yr$	yr	(۹)/(۵)
۸	۰/۰۱۲	۱۳۳۸	۴۵	۱۶۰۰۰۰	۲۰۰۰۰۰	۴۰۰۰۰۰	۸۰	۳۲۰۰۰۰	۲	۲



شکل ۴-۶- نمایش موقعیت دو سد رسوبگیر متوالی برای مثال مفروض

۴-۱-۶- تعیین ابعاد هندسی و ظرفیت هیدرولیکی سدهای رسوبگیر روزنه‌دار

همان‌طورکه در بند ۴-۱-۱ عنوان گردید، تعیین خصوصیات هندسی، پیش‌نیاز مدل‌سازی رسوبگذاری و تحلیل عملکرد سدهای رسوبگیر تلقی می‌شود. در سدهای روزنه‌دار از جمله پارامترهای تاثیرگذار، انتخاب موقعیت و ابعاد روزنه ($w_o * h_o$) به عنوان پارامترهای اصلی در کنترل میزان تله‌اندازی رسوب می‌باشد. در این خصوص در بند ۳-۵-۱-۲ «بررسی سناریوهای مختلف و تعیین حجم رسوبگذاری در سدهای رسوبگیر روزنه‌دار» نقش و تاثیرگذاری موقعیت و ابعاد روزنه در نحوه کنترل فرایند رسوبگذاری، مورد بررسی قرار گرفت و پیرو آن در بند ۳-۵-۲-۲ «بررسی میزان تله‌اندازی (Te) برحسب اندازه‌های مختلف دانه‌بندی و تعیین قطر طراحی در سدهای روزنه‌دار» نیز دیدگاه کامل‌تری از ارتباط ابعاد هندسی و به ویژه موقعیت روزنه‌ها، با استناد به نتایج سناریوهای مختلف در تعیین جزییات رسوبگذاری و

اهداف مدیریتی، ارائه گردید. معادلات ارائه شده در مبحث فعلی، متکی به انتخاب ($w_o * h_o$) بوده و از این طریق برای دبی مشخص (Q_{max}) ضمن تعیین خصوصیات هندسی، به ویژه ارتفاع سد (h_{dam})، امکان ارزیابی اولیه حجم رسوبگذاری را نیز فراهم می‌کند. در عین‌حال، برای تدقیق ابعاد هندسی سازه از جمله کمیت ($w_o * h_o$)، (h_{dam})، موقعیت کالورت‌ها و همچنین تحلیل فرایند رسوبگذاری و کم وکیف تله‌اندازی، همان‌طوری‌که در بالا اشاره شد، انجام مدل‌سازی عددی، مشابه آنچه که در بندهای ۳-۵-۱ و ۳-۵-۲ تصریح گردیده است، ضروری می‌باشد.

در سدهای روزنه‌دار روابط زیر معروف به Grand Orifice Formula جهت تعیین ابعاد و ظرفیت تخلیه مجرا توسط گیلام و رکینگ[1] پیشنهاد شده است: [۴۱، ۶۱]

- تعیین ابعاد و ظرفیت هیدرولیکی در سدهای روزنه‌دار با مجرای تخلیه تحتانی یا روزنه منفرد:

$$Q_{max}=\frac{2}{3}\mu_o C_r Z_o A_o\sqrt{2gd_{we}} \quad C_r=\frac{d_{we}}{h_o} \quad (C_r\geq 1) \quad Z_o=(1-(1-\frac{1}{C_r})^{3/2}) \quad A_o=w_o h_o \qquad (۱۵-۴)$$

مطابق رابطه (۴-۱۵)، نکته مهم در سدهای روزنه‌دار برای تعیین Q_{max}، در نظر گرفتن عمق موثر[2] (d_{we}) به جای d_w (در سدهای شکاف‌دار) مطابق رابطه زیر می‌باشد:

$$d_{we}=d_w-D_s \qquad (۱۶-۴)$$

کمیت D_s همان‌طوری‌که در شکل (۴-۷) نشان داده شده است، ارتفاع لبه پایین روزنه از کف سازه سد می‌باشد.

- تعیین ابعاد و ظرفیت هیدرولیکی در سدهای روزنه‌دار با روزنه‌های متعدد

برای سدهای رسوبگیر با روزنه‌های متعدد، مطابق شکل (۴-۷) معادله (۴-۱۵) را می‌توان در هریک از روزنه‌ها صادق دانست. به عبارتی برای کمیت مشخص d_{we} ظرفیت هیدرولیکی یا $Q_{max\,i}$ برای روزنه i محاسبه و از حاصل‌جمع آن، مطابق رابطه زیر مقدار Q_{max} مشخص می‌گردد:

$$Q_{max}=\sum_{i=1}^{n} Q_{max\,i} \qquad (۱۷-۴)$$

بر اساس d_{we} (ارتفاع موثر) مقدار $Q_{max\,i}$ (دبی روزنه) مطابق رابطه (۴-۱۵) به صورت زیر تعیین می‌شود:

$$Q_{max\,i}=\frac{2}{3}\mu_o C_r Z_o A_{oi}\sqrt{2gd_{we}} \quad C_r=\frac{d_{we}}{h_o} \quad Z_o=(1-(1-\frac{1}{C_r})^{3/2} \quad C_r\geq 1 \quad A_{oi}=(w_o h_o)_i \qquad (۱۸-۴)$$

در جدول (۴-۸) مجموعه پارامترهای مورد استفاده در معادلات (۴-۱۶) الی (۴-۱۸) معرفی شده است. در شکل (۴-۷) نیز مشخصات هندسی سدهای رسوبگیر روزنه‌دار متعلق به معادلات مزبور نشان داده شده است.

1- Guillaume & Recking, 2015
2- Effective Reservoir Water Depth

همان‌طورکه عنوان گردید، در عمل، مقدار Q_{max} معرف سیلاب طراحی با دوره بازگشت معین می‌باشد که بر اساس آن، کمیت d_w یا ارتفاع آب و به بیانی، ارتفاع سد با استفاده از معادلات فوق تعیین می‌گردد. بدین منظور پس از انتخاب رقم سیلاب و با درنظر گرفتن مشخصات روزنه (w_o و h_o) و همچنین نوع سد (روزنه منفرد یا متعدد) مقدار d_w با سعی و خطا تعیین می‌شود. معیارهای انتخاب کمیت Q_{max} مشابه سدهای شکاف‌دار می‌باشد.

جدول ۴-۸- توصیف پارامترهای مورد استفاده در معادلات ظرفیت هیدرولیکی انواع سدهای رسوبگیر روزنه‌دار

ردیف	علامت پارامتر	توضیح پارامتر	ابعاد پارامتر
۱	Qmax	جمع ظرفیت تخلیه روزنه‌ها (سیل طراحی)	m3/s
۲	Qmaxi	ظرفیت تخلیه برای روزنه مورد نظر	m3/s
۳	µo	ضریب انقباض روزنه برابر با ۰/۶۵	
۴	Ao	سطح مقطع مجموع روزنه‌ها	m2
۵	Aoi	سطح مقطع روزنه مورد نظر	m2
۶	Wo	عرض روزنه	m
۷	dw	عمق آب نظیر ظرفیت تخلیه روزنه تحتانی	m
۸	dwe	عمق آب نظیر ظرفیت تخلیه روزنه مورد نظر	m
۹	Ds	ارتفاع لبه تحتانی روزنه از کف سازه سد	m
۱۰	ho	ارتفاع روزنه	m
۱۱	Cr	عمق نسبی	
۱۲	Zo	پارامتر بی بعد	

با عنایت به مباحث فوق، مراحل محاسباتی برای تعیین ظرفیت هیدرولیکی سدهای رسوبگیر روزنه‌دار را می‌توان به صورت زیر عنوان نمود:

۱- انتخاب سیل با دوره بازگشت معین یا Q_{max}

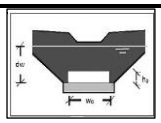
۲- تعیین نوع سد (الگوهای ارائه شده در شکل ۴-۷)

۳- تعیین مشخصات روزنه‌ها یا مجرای تخلیه تحتانی (جزییات مندرج در شکل ۴-۷)

۴- تعیین ارتفاع آب در پشت سد (d_w) از معادلات مربوطه

در جدول (۴-۹)، نمونه‌ای از نحوه تعیین d_w برای دو کمیت متفاوت Q_{max} مفروض و سد روزنه‌دار با مجرای تحتانی با استفاده از معادله (۴-۱۵) معرفی شده است. مطابق جدول (۴-۹) برای مقادیر سیلاب با دوره بازگشت ۵۰ و ۱۰۰ سال و ابعاد روزنه 1.5*7 m مقدار d_w به ترتیب ۷/۳ و ۱۱/۳ متر می‌باشد.

جدول ۴-۹- نمونه‌ای از مراحل محاسباتی ظرفیت هیدرولیکی و ارتفاع آب در پشت سد رسوبگیر روزنه‌دار با مجرای تحتانی (مثال مفروض)

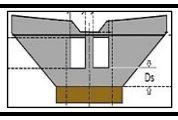
۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
		Tr	Qmax	µo	g	Wo	ho	Ds
نوع سد	ردیف	دوره بازگشت سیلاب	دبی سیلاب	ضریب فشردگی روزنه	شتاب ثقل زمین	عرض شکاف	ارتفاع شکاف	ارتفاع لبه پایین روزنه از بستر
		yr	m3/s		m/s2	m	m	m
	۱	۵۰	۷۷	۰/۶۵	۹/۸۱	۷	۱/۵	۰
	۲	۱۰۰	۹۸	۰/۶۵	۹/۸۱	۷	۱/۵	۰

ادامه جدول ۴-۹- نمونه‌ای از مراحل محاسباتی ظرفیت هیدرولیکی و ارتفاع آب در پشت سد رسوبگیر روزنه‌دار با مجرای تحتانی (مثال مفروض)

۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷
dwe	محاسبه پارامترها				dw	Qmax-c	نتیجه محاسبات
عمق موثر آب	Cr	Zo	Ao	(2gdwe)^0.5	ارتفاع آب در پشت سد	دبی محاسباتی	
m			m2	m/s	m	m3/s	
۷/۳	۴/۸۶۷	۰/۲۹۲	۱۰/۵	۱۱/۹۸۸	۷/۳	۷۷/۳۳	Ok
۱۱/۳	۷/۵۳۳	۰/۱۹۲	۱۰/۵	۱۴/۸۹۰	۱۱/۳	۹۸/۱۷	ok

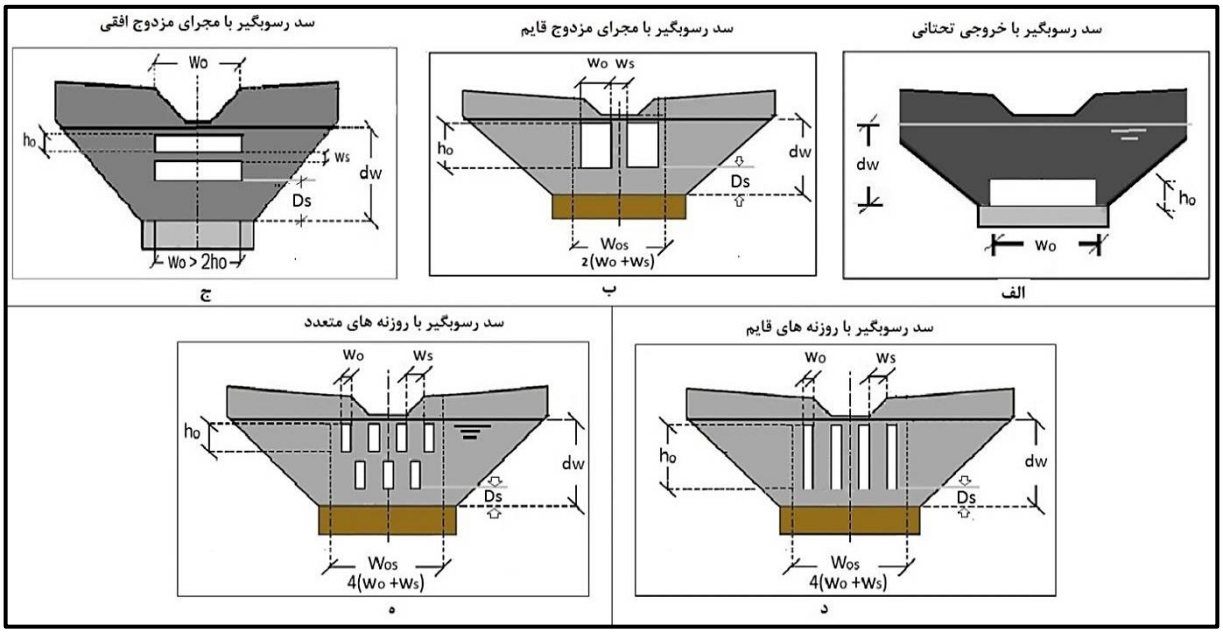
برای سدهای با روزنه‌های متعدد نیز نمونه محاسبات در جدول (۴-۱۰) درج شده است. مطابق جدول (۴-۱۰)، سد رسوبگیر دارای روزنه مزدوج بوده و برای مقادیر سیلاب با دوره بازگشت ۵۰ و ۱۰۰ سال و ابعاد هر روزنه برابر 2*3 m ، مقدار d_w از معادلات (۴-۱۶) الی (۴-۱۸) به ترتیب ۹/۵۵ و ۱۲/۶ متر محاسبه شده است که ارتفاع بیش‌تری را نسبت به حالت مجرای تخلیه تحتانی منفرد مندرج در جدول (۴-۹) سبب می‌شود. (لازم به ذکر است برای هردو مثال مفروض، کمیت سیلاب ۵۰ و ۱۰۰ سال مشابه می‌باشد)

جدول ۴-۱۰- نمونه‌ای از مراحل محاسباتی ظرفیت هیدرولیکی و ارتفاع آب در پشت سد رسوبگیر با روزنه مزدوج (مثال مفروض)

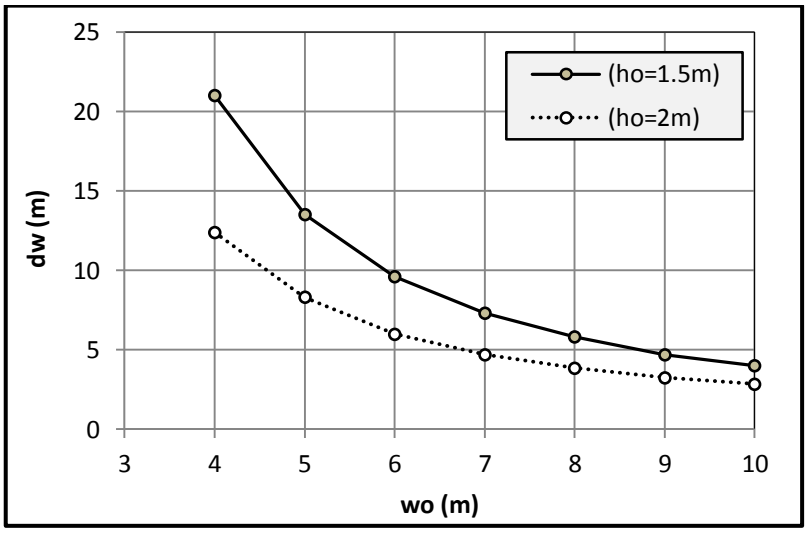
۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
نوع سد	ردیف	Tr	Qmax	µo	g	Wo	ho	N
		دوره بازگشت سیلاب	دبی سیلاب	ضریب فشردگی روزنه	شتاب ثقل زمین	عرض شکاف	ارتفاع شکاف	تعداد شکاف
		yr	m3/s		m/s2	m	m	
	۱	۵۰	۷۷	۰/۶۵	۹/۸۱	۲	۳	۲
	۲	۱۰۰	۹۸	۰/۶۵	۹/۸۱	۲	۳	۲

۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸
Ds	dwe	محاسبه پارامترها				dw	Qmax-c	نتیجه محاسبات
ارتفاع لبه پایین روزنه از بستر	عمق موثر آب	Cr	Zo	Ao	(2gdwe)^0.5	ارتفاع آب در پشت سد	دبی محاسباتی	
m	m			m2	m/s	m	m3/s	
۳	۶/۵۵	۲/۱۸۳	۰/۶۰۱	۱۲	۱۱/۳۳۶	۹/۵۵	۷۷/۳۳	ok
۳	۹/۶	۳/۲	۰/۴۳	۱۲	۱۳/۷۲۴	۱۲/۶	۹۸/۱۷	ok

در نمودار شکل (۴-۸)، تاثیرپذیری کمیت d_w از تغییر ابعاد روزنه‌ها (w_o و h_o) برای سیل با دوره بازگشت ۵۰ سال مفروض و برای دو کمیت متفاوت h_o (۱/۵ و ۲ متر) در حالت ساده (مجرای خروجی درکف، شکل ۴-۷- الف) معرفی شده است. مطابق شکل (۴-۸) با کاهش ابعاد روزنه، کمیت d_w افزایش می‌یابد. این امر همان‌طوری‌که در خصوص سدهای شکاف‌دار نیز مطرح گردید با ایجاد شرایط پس‌زدگی، موجبات تله‌اندازی بخش عمده‌ای از بار بستر را سبب می‌گردد. برای روزنه با ابعاد بزرگ نیز کمیت d_w و دامنه پس‌زدگی کاهش یافته و شرایط برای مهار مصالح درشت‌تر و تخلیه رسوبات ریزتر فراهم می‌شود.



شکل ۴-۷- مشخصات انواع سدهای رسوبگیر روزنه‌دار مورداستفاده در تعیین ابعاد هندسی و ظرفیت هیدرولیکی [۶۱]



شکل ۴-۸- روند تغییرات ارتفاع آب در پشت سد رسوبگیر روزنه‌دار به صورت تابعی از تغییرات عرض و ارتفاع مجرا

۴-۱-۶-۱- تعیین ارتفاع سدهای رسوبگیر روزنه‌دار (h_{dam}) و ارتفاع سرریز (d_s)

تعیین ارتفاع سدهای رسوبگیر روزنه‌دار h_{dam} مشابه سدهای شکاف‌دار از رابطه زیر تبعیت می‌کند [۶۱]:

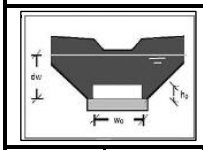
$$h_{dam} = d_w + \Delta H_{dep-w} + \Delta H_{sed} + \Delta H_{driftwood} \qquad (۱۹-۴)$$

مقادیر افت‌های موضعی سه‌گانه ΔH_{dep-w}، ΔH_{sed} و $\Delta H_{driftwood}$ عینا از روابط (۴-۶)، (۴-۸) و (۴-۹) منـدرج در بند ۴-۱-۳-۱ تعیین می‌گردد.

- به منظور معرفی روند تعیین ارتفاع در سدهای روزنه‌دار، با استناد به مثال مفروض منـدرج در جـدول (۴-۱۱) و در نظر گرفتن سیل دوره بازگشت ۵۰ سال، جدول (۴-۱۱) تنظیم و معرفی شده است (توصیف پارامترهـای

مورد استفاده در جدول (۴-۵) مندرج است). مطابق جدول (۴-۱۱) برای یک سیل مشخص، کمیت h_{dam} در سد روزنه‌دار با مجرای تخلیه تحتانی، به تبعیت از ابعاد روزنه مفروض بین ۹ تا ۱۵ متر تغییر می‌کند. تعیین ابعاد و ارتفاع سرریز در سدهای روزنه‌دار عینا مشابه سدهای شکاف‌دار بوده و بدین منظور با درنظرگرفتن سیل طراحی (Q_{peak}) و فرض احتمال انسداد کامل روزنه‌ها، ابعاد هندسی و ظرفیت هیدرولیکی آن از رابطه (۴-۱۱) مندرج در بند ۴-۱-۱ تعیین می‌گردد. برای Q_{peak} در سدهای رسوبگیر روزنه‌دار نیز معیارهای انتخاب، مشابه سدهای شکاف‌دار می‌باشد. روند محاسبات ارتفاع سرریز و سایر مشخصات هندسی سدهای روزنه‌دار برای دو کمیت Q_{peak} مفروض با دوره بازگشت ۲۰۰ و ۵۰۰ سال، به طور نمونه در جدول (۴-۱۲) ارائه شده است.

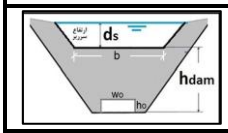
جدول ۴-۱۱- مراحل محاسباتی افت‌های موضعی و تعیین ارتفاع سد رسوبگیر روزنه‌دار (مثال مفروض)

۱	۲	۳	۴	۵	۶	۶	۷	۸	۹	۱۰
نوع سد رسوبگیر	ردیف	Tr	Qmax	Wo	ho	dw	B	m	W	n
		دوره بازگشت	دبی سیلاب	عرض روزنه	ارتفاع روزنه	ارتفاع آب در پشت	عرض کف رودخانه	پارامتر شیب جانبی	عرض سطح آب در مخزن	ضریب مانینگ
		yr	m3/s	m	m	m	m		m	m/s2
	۱	۵۰	۷۷	۵	۱/۵	۱۳/۵	۳۰	۲	۸۴	۰/۰۳۵
	۲	۵۰	۷۷	۶	۱/۵	۹/۶	۳۰	۲	۶۸	۰/۰۳۵
	۳	۵۰	۷۷	۷	۱/۵	۷/۳	۳۰	۲	۵۹	۰/۰۳۵

۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰
g	So	d_{dep}	$W*d_{dep}$	V_{dep}	λ	ΔH_{ddep}-W	Dmax	1.5 Dmax	yo
شتاب ثقل	شیب طبیعی بستر	عمق آب در قاعده دلتا	سطح مقطع جریان در قاعده دلتا	سرعت جریان در قاعده دلتا	پارامتر افت موضعی	افت موضعی بین قاعده دلتا و مقطع خروجی	قطر حداکثر لایه آرمور	افت موضعی ناشی از خروج رسوب	عمق آب در حالت طبیعی
m/s2	m/m	m	m2	m/s		m	m	m	m
۹/۸۱	۰/۰۱	۰/۶۲	۵۲/۲۸	۱/۴۷	۰/۹۵	۰/۱۱	۰/۳	۰/۴۵	۰/۹۴
۹/۸۱	۰/۰۱	۰/۷	۴۸/۱۵	۱/۶	۰/۹۳	۰/۱۲	۰/۳	۰/۴۵	۰/۹۴
۹/۸۱	۰/۰۱	۰/۷۷	۴۵/۴۵	۱/۶۹	۰/۸۹	۰/۱۳	۰/۳	۰/۴۵	۰/۹۴

۲۱	۲۲	۲۳	۲۴
Vo	Ω	ΔHdriftwood	hdam
سرعت جریان در حالت طبیعی	ضریب افت موضعی برای اشیای شناور	افت موضعی ناشی از تجمع اشیای شناور	ارتفاع سد
m/s		m	m
۲/۷۴	۲	۰/۷۶	۱۵
۲/۷۴	۲	۰/۷۶	۱۱
۲/۷۴	۲	۰/۷۶	۹

جدول ۴-۱۲- مراحل محاسباتی ارتفاع سرریز ذوزنقه سد رسوبگیر روزنه‌دار (مثال مفروض)

۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
نوع سد	ردیف	Tr	Qpeak	b	m	g	ds	Qpeak-c	نتیجه محاسبات
		دوره بازگشت سیلاب	دبی سیلاب	عرض تاج سد	پارامتر شیب جانبی	شتاب ثقل	ارتفاع سرریز	دبی محاسباتی	
		yr	m3/s	m		m/s2	m	m3/s	
	۱	۲۰۰	۱۱۵	۳۰	۲	۹/۸۱	۱/۱۲	۱۱۵/۳	Ok
	۲	۵۰۰	۱۲۸	۳۰	۲	۹/۸۱	۱/۲	۱۲۸/۲	ok

۴-۱-۷- تعیین شیب پروفیل رسوبگذاری (S_{dep}) و برآورد ظرفیت مخزن یا حجم رسوبگذاری (Vs) در سدهای روزنه‌دار

شیب پروفیل رسوبگذاری در سدهای روزنه‌دار، مشابه سدهای شکاف‌دار، از روابط ارائه شده توسط اوستی و اگاشیرا (رابطه ۴-۱۲) و نمودارهای شکل (۴-۵) تبعیت می‌کند. اغلب در ارزیابی حجم رسوبگذاری یا ظرفیت مخزن، مقدار S_{dep} برابر با $0.5S_o$ در نظر گرفته می‌شود [۶۱، ۹۲]. در سدهای رسوبگیر روزنه‌دار، تعیین دقیق ظرفیت مخزن یا حجم رسوبگذاری، مستلزم انجام مدل‌سازی عددی می‌باشد، لیکن در اغلب موارد همان‌گونه که در خصوص سدهای شکاف‌دار عنوان گردید، برای ارزیابی اولیه طول مخزن و بررسی ضرورت استفاده از یک یا چند سد متوالی، ارزیابی ظرفیت مخزن با استفاده از معادلات تجربی (۴-۱۳) و (۴-۱۴) امکان‌پذیر می‌باشد.

۴-۱-۸- تعیین ابعاد و ظرفیت هیدرولیکی سدهای رسوبگیر صلب (بدون مجرا)

همان‌طوری‌که اشاره گردید، کاربرد عمده سدهای صلب (لازم به ذکر است سد صلب صرف‌نظر از نوع سازه، به سدهای یکپارچه‌ای اطلاق می‌شود که فاقد مجاری تخلیه نظیر روزنه یا شکاف در بدنه بوده و تخلیه جریان صرفا از سرریز سد انجام می‌گیرد)، در آبراهه‌ها و سرشاخه‌های فرسایشی و پررسوب و کانون‌های مستعد لغزش‌های توده‌ای و ریزش کناره‌ای مناطق کوهستانی بوده و با هدف مهار زمین‌لغزه‌ها و برقراری شیب پایدار و تثبیت بستر و کناره‌ها در گستره حوضه آبریز احداث می‌گردند. [۵۴] در مواردی نیز از سدهای صلب کوتاه، برای تنظیم تغذیه رسوبی رودخانه در بسترهای عریض که مستعد انباشت موضعی رسوبات و عامل بروز ناهنجاری‌های هندسی و تشدید خطرات سیلاب است، استفاده می‌شود. سدهای صلب برخلاف سدهای رسوبگیر باز، با هدف تله‌اندازی توام بار بستر و بار معلق احداث می‌گردند و از این‌رو، در مقایسه با سدهای باز از عمر مفید محدودی برخوردارند. در احداث این سازه‌ها، استفاده از مصالح سنگ و سیمان، بتن و توری سنگی و مصالح چوبی، متداول است. به دلیل نرخ انباشت سریع، استفاده از سدهای صلب، بخشی از اقدامات پیشگیرانه (مهار رسوب در گستره حوضه آبریز قبل از ورود به شبکه رودخانه‌ای) در مدیریت رسوب مخازن سدها تلقی می‌گردد [۹۰]. در سدهای صلب برخلاف سدهای باز که فقط در شرایط سیلابی حالت سرریزی جریان اتفاق

می‌افتد، علاوه بر سیلاب‌ها، جریان عادی و پایه نیز باید از طریق سرریز تخلیه شود. این سرریزی مستمر موجبات فرسایش زودرس پاشنه سد و ناپایداری سازه را به دنبال دارد. از این‌رو ارتفاع سدهای صلب اغلب کم‌تر بوده (معمولا بین ۲ تا ۵ متر) و به منظور افزایش پایداری، استفاده از سازه‌های توری سنگی که دارای انعطاف‌پذیری و قابلیت زهکشی مطلوبی می‌باشند، راهکار مناسبی تلقی می‌شود. به‌علاوه با توجه به محدودیت حجم و ارتفاع، اغلب برای ایجاد شرایط پایدار در آبراهه‌ها، احداث سدهای صلب که به عنوان بندهای اصلاحی یا سدهای آبخیزداری نیز اطلاق می‌شوند، به صورت متوالی ضروری است. روابط زیر برای تعیین فاصله بندهای اصلاحی، تعداد بند و حجم رسوبات پشت بند، پیشنهاد شده است: [۲۷]

$$L = \frac{h_d}{KS_o \cos\theta} \qquad (۲۰-۴)$$

$$N = L_R \frac{S_o - S_e}{h_d} \qquad (۲۱-۴)$$

$$V_s = \frac{1}{2} h_d L B \cos\theta \qquad (۲۲-۴)$$

$$V_s = \frac{{h_d}^2}{2KS_o} B \quad , \quad B = L_B + \frac{L_U - L_B}{2h_D} h_d \qquad (۲۳-۴)$$

در سری روابط فوق، توصیف پارامترها مطابق جدول (۴-۱۳) عبارتند از:

جدول ۴-۱۳- توصیف پارامترهای مورد استفاده در ظرفیت هیدرولیکی سدهای رسوبگیر صلب

ردیف	علامت پارامتر	توضیح پارامتر	ابعاد پارامتر
۱	L	فاصله دو بند متوالی	m
۲	hd	ارتفاع سد یا بند (فاصله قائم تراز تاج سرریز تا بستر)	m
۳	So	شیب اولیه آبراهه	m/m
۴	□	زاویه متناظر با شیب آبراهه	درجه
۵	K	ضریب تجربی	بی بعد
	So ≤0.2	K=0.3	
	So>0.2	K=0.5	
۶	N	تعداد بند رسوبگیر متوالی	
۷	LR	طول آبراهه برای احداث بندهای متوالی	m
۸	Sd	شیب آبراهه پس از رسوبگذاری در پشت سدهای متوالی	m/m
۹	Vs	حجم رسوب پشت سد (ظرفیت رسوب مخزن)	M3
۱۰	B	طول متوسط بند (در راستای عمود بر محور آبراهه)	m
۱۱	LB	پهنای کف آبراهه	m
۱۲	LU	پهنای آبراهه در تراز تاج سد	m
۱۳	hD	ارتفاع بند تا تراز تاج (شامل ارتفاع سرریز و ارتفاع سد)	m

چنانچه در رابطه (۴-۲۲)، مقدار L از رابطه (۴-۲۰) منظور شود، کمیت V_s مطابق رابطه (۴-۲۳) با توان دوم h_d تغییر می‌نماید و موید آن است که با افزایش ارتفاع سد، حجم تله‌اندازی رسوب به طور محسوسی افزایش می‌یابد.

در سدهای صلب، هدایت جریان‌های عادی و سیلابی از طریق سازه سرریز انجام می‌گیرد. سرریز سدهای صلب اغلب دارای مقطع مستطیلی یا ذوزنقه‌ای می‌باشد. ظرفیت تخلیه سرریز از رابطه زیر تعیین می‌گردد [۲۷]:

$$Q_{max} = CL_s d_s^{1.5} \quad (۲۴-۴)$$

در این رابطه؛ Q_{max}: بده حداکثر سیلاب در محل بند با دوره بازگشت مشخص (مترمکعب در ثانیه)، C: ضریب سرریز معادل ۱/۸، L_s: طول سرریز (متر) و d_s: ارتفاع سرریز (متر) می‌باشد.

برای سرریزمستطیلی، b معرف L_s می‌باشد و برای حالت ذوزنقه، مقدار L_s از رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$L_s = (b + md_s)/2 \quad (۲۵-۴)$$

در رابطه فوق؛ b: عرض تاج سرریز (متر) و m: پارمتر شیب جانبی مقطع ذوزنقه (شکل ۴-۱۱) که اغلب معادل ۲ متر منظور می‌شود. برای تعیین مشخصات هندسی سرریز، کمیت Q_{max} باید مشخص شود. برای سدهای صلب یا بندهای اصلاحی، عموما سیل با دوره بازگشت ۲۵ سال، معرف Q_{max} می‌باشد [۲۷]. با مشخص شدن Q_{max} و عرض تاج یا b ارتفاع سرریز d_s با سعی و خطا، تعیین می‌گردد.

بحث جامع و تفصیلی در خصوص انواع سدهای صلب یا بندهای اصلاحی در ضابطه شماره ۴۱۶ سازمان برنامه و بودجه کشور با عنوان «دستورالعمل طراحی، اجرا و نگهداری سازه‌های کنترل سیل و رسوب (بندهای اصلاحی)» ارائه شده است. [۲۷]

۴-۲- طراحی سازه‌ای

سدهای رسوبگیر عموما متعلق به رده سازه‌های وزنی بوده و پایداری در مقابل لغزش[1] و واژگونی[2] توسط نیروی وزن سازه تامین می‌گردد. در مواردی نیز استفاده از بتن مسلح و تکنیک سازه‌های بتنی پایه‌دار یا طره‌ای، برای احداث سد رسوبگیر به کار گرفته می‌شود [۶۱]. در شکل (۴-۹) مولفه نیروهای وارد بر سازه سد رسوبگیر وزنی، نشان داده شده است. در تحلیل پایداری، انواع سازه‌ها صرف‌نظر از جنس مصالح (بتن، سنگ و سیمان، سازه‌های مختلط، گابیون و غیره) ملاک نیروهای مقاوم و محرک می‌باشد که در متن معرفی شده‌اند و عینا برای هر سازه‌ای با اندک تفاوت در شکل هندسی، مصداق دارد. مطابق شکل (۴-۹) سه مولفه نیروی وزن، فشار هیدرواستاتیکی و فشار رانش خاک (رسوب)، منشأ اصلی نیروهای وارده بر سازه تلقی می‌شوند. به‌علاوه در تحلیل پایداری سازه سد، نیروی زلزله یا

1- Sliding
2- Overturning

نیروی ماند نیز تاثیرگذار می‌باشد. از دیدگاه پایداری سازه، مولفه نیروهای موثر در شکل (۴-۹) به دو گروه اصلی زیر تقسیم می‌شوند [۱۴، ۲۷، ۷۵، ۱۰۲]:

الف- نیروهای مقاوم

مولفه نیروهای مقاوم در واحد عرض سازه، عبارتند از:

- وزن سازه - W_d
- وزن تیغه رسوب بر روی وجه بالادست - W_s
- وزن آب موجود بر روی سرریز- W_1 و بالادست تیغه رسوب - W_2
- نیروی فشار هیدرو استاتیک آب وارد بر وجه پایین‌دست یا فشار پایاب - F_{hd}:

$$F_{hd} = \frac{1}{2}\gamma_w (h_3 + h_4)^2 \qquad (۲۶-۴)$$

- نیروی فشار غیرفعال خاک[1] وارد بر وجه پایین‌دست - F_{sd}:

$$F_{sd} = \frac{1}{2}k_p(\gamma_{sat} - \gamma_w)h_4{}^2, \quad k_p = \frac{1+\sin\Phi}{1-\sin\Phi} \qquad (۲۷-۴)$$

در روابط فوق؛ h_3 و h_4: به ترتیب عمق آب و عمق پی در پایین‌دست (m)، γ_w و γ_{sat}: به ترتیب وزن مخصوص آب (یک تن در مترمکعب) و وزن مخصوص خاک اشباع (بین ۱/۸۹ تا ۲/۱ تن در مترمکعب)، k_p: ضریب فشار غیر فعال خاک و Φ: زاویه اصطکاک داخلی خاک (درجه) می‌باشد.

ب- نیروهای محرک

مولفه نیروهای محرک در واحد عرض سازه، عبارتند از:

- نیروی فشار هیدرواستاتیک وارد بر وجه بالادست - F_{hu}:

$$F_{hu} = \frac{1}{2}\gamma_w (2h_1 + h_2)h_2 \qquad (۲۸-۴)$$

- نیروی فشار برکنش[2] وارد بر شالوده - F_u:

$$F_u = \frac{1}{2}\gamma_w (h_1 + h_2 + h_3 + h_4)B \qquad (۲۹-۴)$$

- نیروی فشار فعال خاک[3] یا رسوب وارد بر وجه بالادست - F_{su}:

1- Passive Soil Pressure Force
2- Uplift Pressure
3- Active Soil Pressure Force

$$F_{su} = \frac{1}{2} k_a (\gamma_{sat} - \gamma_w) h_2^2 \qquad k_a = \frac{1-\sin\Phi}{1+\sin\varphi} \tag{۳۰-۴}$$

- نیروی زلزله در بدنه سد رسوبگیر- F_{he} و F_{ve} (مطابق شکل ۴-۹ نیروی زلزله می‌تواند بسته به جهت وقوع در راستای سبک یا سنگین‌تر شدن سازه عمل نماید):
  - مولفه افقی نیروی ماند ناشی از زلزله

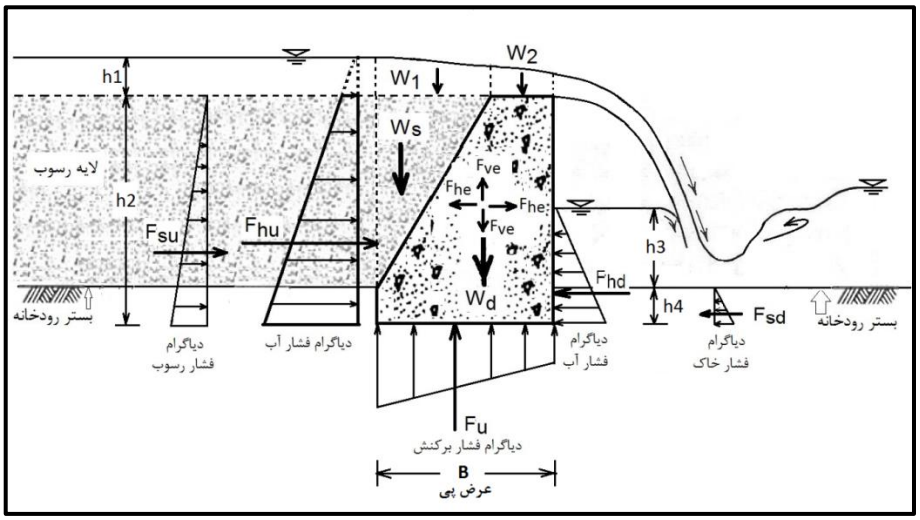
$$F_{ve} = \alpha W_d, \quad \alpha = \frac{ABI}{R} \tag{۳۱-۴}$$

  - مولفه قائم نیروی ماند ناشی از زلزله

$$F_{ve} = \gamma_s (1 \pm \alpha_v) V_d \tag{۳۲-۴}$$

در رابطه (۴-۳۲)، α_v مولفه قائم شتاب زلزله می‌باشد که مقدار آن کسری از شتاب افقی زلزله (۰/۵ تا ۰/۶۷) در نظر گرفته می‌شود. در روابط فوق:

h_1 و h_2: به ترتیب عمق آب و عمق خاک اشباع (رسوب + خاک پی) در بالادست (m)، B عرض پی سازه در معادله ۴-۱۹ (m)، k_a: ضریب فشار فعال خاک، γ_s: وزن مخصوص سازه (بتن یا سنگ و سیمان و غیره)، A: شتاب مبنای طرح طبق پهنه‌بندی آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران، B: ضریب پاسخ در معادله (۴-۳۱) که برای اجسام صلب مساوی ۲ فرض می‌شود، I: ضریب اهمیت (مساوی ۱ یا ۱/۲ بر اساس میزان خسارت وارده) و R: ضریب رفتار که مساوی ۴ می‌باشد



شکل ۴-۹- مولفه نیروهای وارد بر سد رسوبگیر وزنی در شرایط انباشت رسوب و سیل طراحی [۶۱]

۴-۲-۱- طراحی سازه‌ای سد رسوبگیر (بدنه، سرریز، حوضچه آرامش)

در طراحی بدنه سدهای رسوبگیر، مشابه سایر سازه‌های آبی، لازم است معیارهای پایداری زیر مدنظر قرار گیرد:

الف- تعیین تنش وارد بر پی و مقاطع افقی در ترازهای مختلف

ب- کنترل واژگونی

ج- کنترل لغزش[1]

د- کنترل خزش[2] یا آبشستگی در زیر شالوده

هـ- کنترل فشاربرکنش در زیر شالوده

۴-۲-۱-۱- تعیین تنش وارد بر پی و مقاطع افقی در ترازهای مختلف

سدهای رسوبگیر، اغلب بر روی رسوبات آبرفتی احداث می‌شوند. برای پایداری سازه و اجتناب از پدیده گسیختگی و رانش[3]، تنش فشاری وارده در پی شالوده باید متناسب با توان باربری خاک[4] باشد. در جدول (۴-۱۴) محدوده تنش فشاری مجاز برای انواع مصالح شالوده (سنگ و مواد آبرفتی) معرفی شده است. [۷۵]

جدول ۴-۱۴- محدوده تنش فشاری مجاز[5] برای انواع مصالح شالوده [۷۵]

ردیف	نوع مصالح پی	عنوان مصالح		σ			
		فارسی	انگلیسی	محدوده تنش فشاری مجاز		محدوده تنش فشاری مجاز	
				حد بالا	حد پایین	حد بالا	حد پایین
				Kgf/cm^2	Kgf/cm^2	ton/m^2	ton/m^2
۱	بستر سنگی	گرانیت	Granite	۷۱	۴۲/۶	۷۱۰	۴۲۶
۲		سنگ آهک	Limestone	۵۵/۵	۲۸/۴	۵۵۵	۲۸۴
۳		ماسه سنگ	Sandstone	۴۲/۶	۲۸/۴	۴۲۶	۲۸۴
۴	مصالح آبرفتی	شن	Gravel	۵/۶۷	۲/۸۴	۵۶/۷	۲۸/۴
۵		ماسه	Sand	۴/۲۴	۱/۴۲	۴۲/۴	۱۴/۲
۶		رس سفت	Firm clay	۳/۵۵		۳۵/۵	
۷		رس نرم	Soft clay	۱/۰۶		۱۰/۶	

به منظور محاسبه تنش در پی سازه سد رسوبگیر، مفروضات زیر مدنظر قرار می‌گیرد: [۱۴، ۷۵، ۱۱۲]

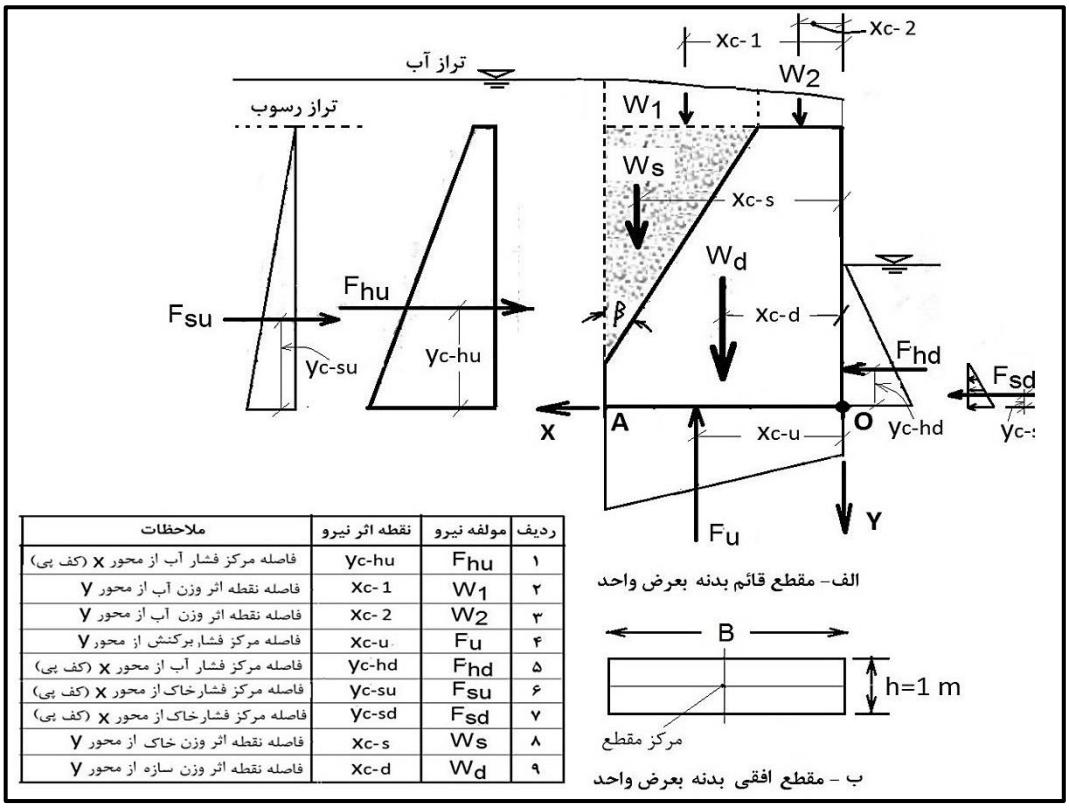
- مصالح پی و بدنه سد رسوبگیر، همگن و همسانگرد[6] می‌باشد. (مصالح پی فاقد لایه‌بندی است)
- تنش‌ها در بدنه سد و پی در محدوده ارتجاعی[7] قرار دارند.

1- Sliding
2- Piping
3- Shear Failure
4- Soil Bearing Capacity
5- Allovable Compressive Stress
6- Homogeneous and Isotropic
7- Elastic Limit

- با انتقال تنش‌ها هیچگونه حرکتی در پی ایجاد نمی‌شود.
- پی و سازه سد به صورت یک واحد یکپارچه عمل می‌کنند.
- مجاری و درزهای موجود، اثر موضعی داشته و در پایداری کلی تاثیری نمی‌گذارند.
- محاسبات تنش و پایداری، برای نوار قائمی از بدنه سد رسوبگیر به عرض واحد (یک متر) انجام می‌شود.

در شکل (۴-۱۰) مقاطع قائم و افقی و دیاگرام نیروهای وارد بر واحد عرض سازه سد و دستگاه مختصات برای محاسبه تنش فشاری و پایداری، نشان داده شده است. با فرض توزیع خطی تنش، فشار وارد بر پی، حاصل بار محوری و تنش ناشی از گشتاور برون محوری[1] یا خروج از مرکزیت است. کمیت برون محوری (e) از رابطه زیر تعیین می‌شود: [۷۵]

$$e = \overline{x_c} - \frac{B}{2} \qquad (۳۳-۴)$$



ردیف	مولفه نیرو	نقطه اثر نیرو	ملاحظات
۱	F_{hu}	y_{c-hu}	فاصله مرکز فشار آب از محور x (کف پی)
۲	W_1	x_{c-1}	فاصله نقطه اثر وزن آب از محور y
۳	W_2	x_{c-2}	فاصله نقطه اثر وزن آب از محور y
۴	F_u	x_{c-u}	فاصله مرکز فشار برکنش از محور y
۵	F_{hd}	y_{c-hd}	فاصله مرکز فشار آب از محور x (کف پی)
۶	F_{su}	y_{c-su}	فاصله مرکز فشارخاک از محور x (کف پی)
۷	F_{sd}	y_{c-sd}	فاصله مرکز فشارخاک از محور x (کف پی)
۸	W_s	x_{c-s}	فاصله نقطه اثر وزن خاک از محور y
۹	W_d	x_{c-d}	فاصله نقطه اثر وزن سازه از محور y

شکل ۴-۱۰- مقاطع قائم و افقی به عرض واحد و دیاگرام نیروهای وارد بر سد رسوبگیر وزنی [۱۴، ۷۵]

با مشخص شدن e، مقادیر تنش فشار حداکثر و حداقل پی از روابط زیر قابل محاسبه است.

- تنش فشاری حداکثر در پی:

1- Eccentricity

$$\sigma_{max} = \frac{F_v}{B}(1+\frac{6e}{B}) \qquad (۳۴-۴)$$

- تنش فشاری حداقل در پی:

$$\sigma_{min} = \frac{F_v}{B}(1-\frac{6e}{B}) \qquad (۳۵-۴)$$

در روابط فوق؛ B: عرض پی ، $\overline{x}_c$: فاصله افقی جمع جبری مولفه نیروهای قائم از مرکز مختصات ، F_v: جمع جبری مولفه نیروهای قایم وارد بر سازه، σ_{max}: تنش فشاری حداکثر وارد بر پی و σ_{min}: تنش فشاری حداقل وارد بر پی می‌باشد.

در سازه‌های وزنی، برقراری تنش فشاری در پی، از جمله ملزومات پایداری تلقی می‌شود. بدین‌منظور لازم است شرط زیر محقق گردد:

$$\frac{1}{3}B < (e+\frac{B}{2}) < \frac{2}{3}B$$

۴-۲-۱-۲- ترکیب‌های مختلف بارگذاری در تعیین کمیت تنش‌های وارد بر پی

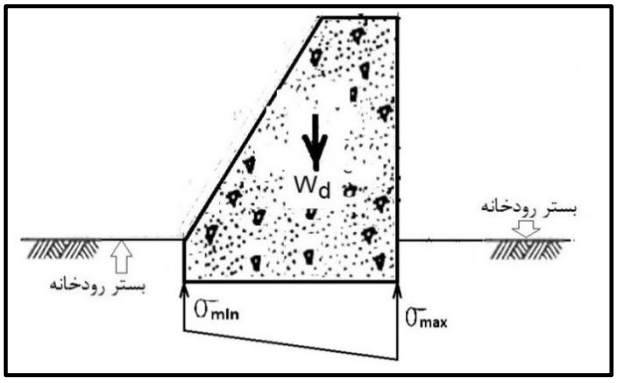
در بررسی پایداری و تعیین کمیت تنش وارد بر پی، لازم است حالت‌های مختلف بارگذاری زیر مدنظر قرارگیرد:

۱- حالت بعد از اجرای سازه؛ در این حالت نظر به این‌که آب رودخانه برای احداث سد انحراف داده شده است، نیروی هیدرواستاتیکی و نیروی فشار برکنش وجود ندارد. همچنین نیروی رانش خاک نیز به دلیل گودبرداری و خالی شدن محل پی و عدم انباشت رسوب، در نظر گرفته نمی‌شود. تنها نیروی موثر مطابق شکل (۴-۱۱- الف) نیروی وزن سد می‌باشد.

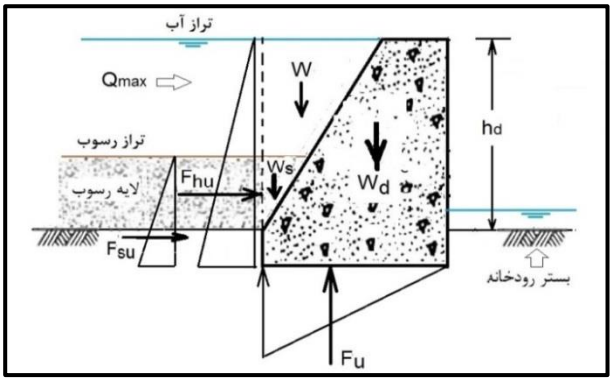
۲- در این حالت، شرایط عادی برقرار بوده و حداکثر سطح آب بالادست به تراز تاج سرریز محدود می‌گردد. دبی جریان خروجی از مجاری موجود در بدنه سد رسوبگیر معرف Q_{peak} (دبی برای تعیین ارتفاع سد یا h_d) می‌باشد. در شکل (۴-۱۱- ب) نیروهای موثر بر سد در حالت لبریز، نشان داده شده است.

۳- در این حالت، مخزن پر و سرریزی در شرایط سیل طراحی یا Q_{peak} (دبی برای تعیین ارتفاع سرریز یا d_s) می‌باشد. در شرایط سیل، طراحی سرریز سد در حد ظرفیت کامل، موجب تخلیه سیلاب می‌گردد. در شکل (۴-۱۱- ج) نیروهای موثر بر سد در حالت سیل طراحی نشان داده شده است.

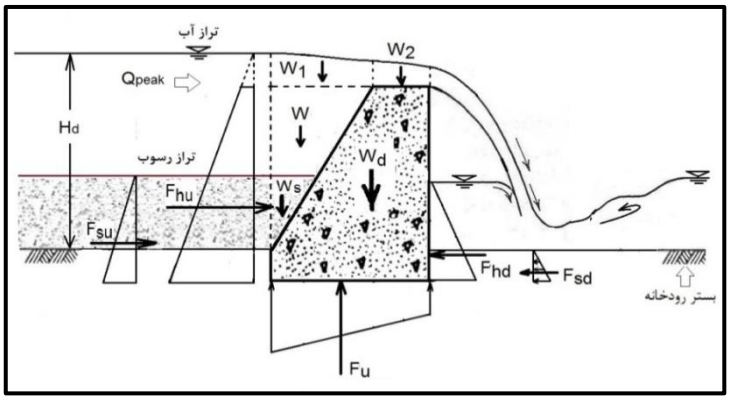
۴- این حالت نهایی یا به عنوان حالت حدی تلقی و تلفیق انباشت کامل رسوب و برقراری سیل طراحی یا Q_{peak} مدنظر قرار می‌گیرد. در شکل (۴-۱۱- د) نیروهای موثر بر سد در حالت ترکیب رسوبگذاری کامل و تخلیه سیل طراحی، نشان داده شده است.



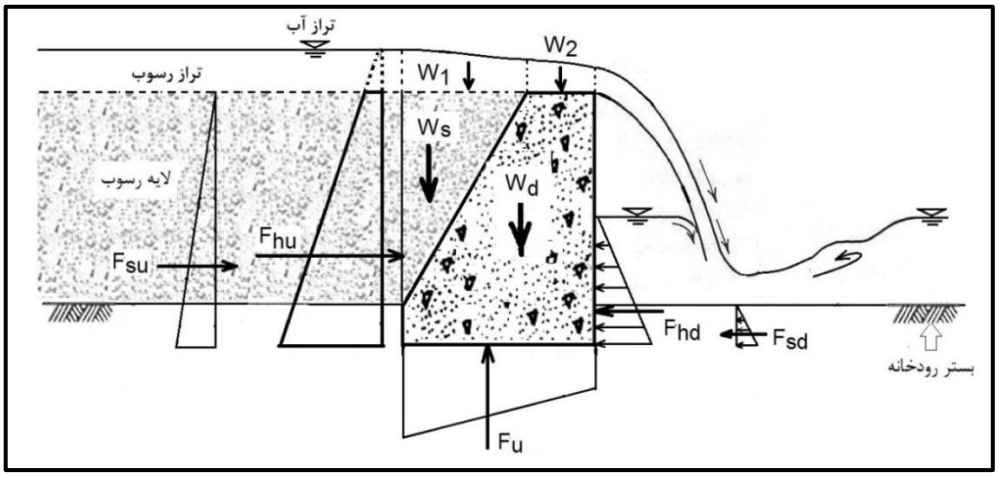
الف- حالت ۱، شرایط بعد از اجرای طرح



ب- حالت ۲، مولفه نیروهای موثر بر سد در حالت لبریزی



ج- حالت ۳، مولفه نیروها در حالت مخزن پر و سرریزی سد با ظرفیت کامل در شرایط سیل طراحی یا Qpeak



د- حالت ۴، آرایش مولفه نیروها در حالت حدی (تلفیق انباشت کامل رسوب و برقراری سیل طراحی یا Q_{peak})

شکل ۴-۱۱- حالت‌های مختلف بارگذاری و ترکیب نیروها در تعیین فشار وارد بر پی

جزییات بیش‌تر در خصوص برآورد تنش‌های فشاری در پی و بررسی پایداری در منابع مختلف از جمله مراجع ۱۴، ۱۵، ۷۵ و ۱۱۲ ارائه شده است.

۴-۲-۱-۳- استفاده از روش‌های کامپیوتری در تحلیل و تعیین تنش در سازه‌ها

با توسعه سریع مدل‌های رایانه‌ای، امروزه امکان جایگزینی روش‌های دستی در تعیین تنش‌های وارده بر پی و بدنه سازه سد و بررسی جنبه‌های مختلف پایداری برای الگوهای مختلف بارگذاری در شرایط استاتیک و دینامیک (با ملحوظ کردن اثر زلزله) و خاک‌های همگن و غیرهمگن شالوده با استفاده از روش اجزای محدود[1] به خوبی فراهم شده است. در این خصوص می‌توان از نرم‌افزارهای کارآمدی نظیر نسخه‌های مختلف مدل کامپیوتری ANSYS APDL [۱۰۴] و همچنین مدل‌هایی نظیر: ADAP (Berkely, California, 1973) و EADAP (Berkely, California, 1993) به طورموثر بهره جست. [۱۴]

۴-۲-۱-۴- کنترل واژگونی در سدهای رسوبگیر

بررسی پدیده واژگونی[2] در سدهای رسوبگیر، مستلزم تعیین نسبت گشتاور نیروهای مقاوم و محرک یا ضریب اطمینان حاصله است. ضریب اطمینان واژگونی[3] (F.S) از رابطه زیر تعیین می‌گردد:

$$F.S = \frac{M_R}{M_O} \geq 1 \qquad (۳۹-۴)$$

در این رابطه؛ M_R: برآیند لنگر نیروهای مقاوم[4] و M_O: برآیند لنگر نیروهای محرک[5] می‌باشد.

بر اساس دیاگرام نیروهای شکل (۴-۱۰) کمیت گشتاور مقاوم و محرک حول نقطه O به صورت زیر مشخص می‌گردد:

$$M_R = \sum_{i=1}^{n} M_{Ri} = (W_d x_{cd}) + (W_s x_{cs}) + (W_1 x_{c1}) + (W_2 x_{c2}) + (F_{hd} y_{chd}) + (F_{sd} y_{csd}) \qquad (۴۰-۴)$$

$$M_O = \sum_{j=1}^{m} M_{Oj} = (F_{hu} y_{chu}) + (F_{su} y_{csu}) + (F_u x_{cu}) \qquad (۴۱-۴)$$

لازم به ذکر است معادلات فوق برای حالت حدی که در برگیرنده مولفه کامل نیروهاست، ارائه شده است (برای بقیه حالت‌ها، بعضی مولفه نیروها حذف می‌شود). مطابق منابع موجود، مقادیر ضریب اطمینان برای پایداری در مقابل واژگونی در بسترهای آبرفتی بین ۱/۷۵ تا ۲/۵ و برای بسترهای سنگی بین ۱ تا ۱/۵ مناسب می‌باشد. [۱۴، ۷۵]

1- Finite Element Method
2- Overturning
3- Factor of Safty
4- Resistance Moment
5- Overturning Moment

در طراحی سازه‌های وزنی، برای تحقق ضریب اطمینان پایداری ابعاد سازه مطابق شکل (۴-۱۱- الف)، تابعی از ارتفاع سد رسوبگیر منظور می‌گردد. بدیهی است برای حصول ضرایب اطمینان پایداری، تطبیق ابعاد سازه باید مدنظر قرارگیرد.

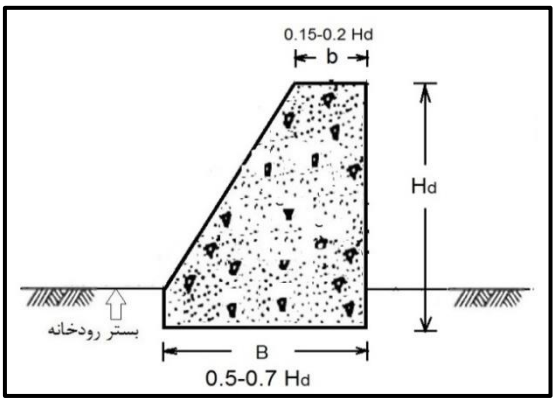
علاوه بر تناسب ابعاد سازه به منظور اجتناب از وقوع تنش کششی[1] در وجه بالادست، لازم است منتجه یا برآیند مولفه نیروهای وارده (R) مطابق شکل (۴-۱۱- ب) از ثلث میانی پی عبور نماید. [۲۷، ۶۸]

در شکل (۴-۱۱- ب) F_h و F_v: به ترتیب منتجه نیروهای افقی و قائم، R: نیروی منتجه وارده بر پی، R'، نیروی عکس‌العمل حاصله، $\bar{x}_c$ و $\bar{y}_c$: مختصات مرکز ثقل نیروی منتجه و F_f: نیروی اصطکاک (نیروی برشی) می‌باشد.

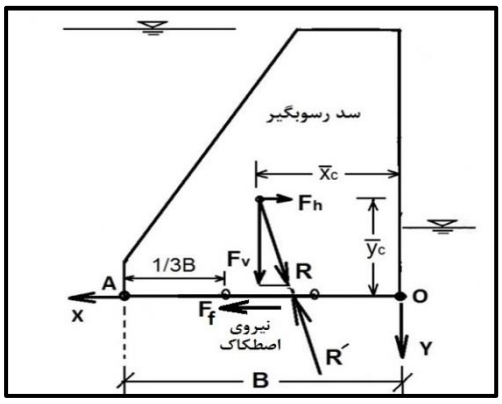
۴-۲-۱-۵- کنترل لغزش سازه

درصورتی‌که منتجه نیروهای افقی[2] در هر ترازی بر نیروی برشی حاصل از اصطکاک[3] و چسبندگی[4] غلبه کند، جابجایی یا لغزش در سازه اتفاق می‌افتد. ضریب اطمینان در مقابل لغزش با رابطه زیر بیان می‌شود: [۱۴، ۷۵]

$$F.S = \frac{\mu F_v}{F_h} = \frac{F_f}{F_h} \geq 1 \qquad (۳۶-۴)$$



الف- تناسب عرض پی و تاج نسبت به ارتفاع در سدهای رسوبگیر وزنی



ب- نقطه اثر منتجه مولفه نیروهای موثر (R) در ثلث میانی پی

شکل ۴-۱۲- تناسب عرض پی و تاج نسبت به ارتفاع و نقطه اثر منتجه نیروهای موثر در سدهای رسوبگیر وزنی [۷۵، ۱۰۲]

در رابطه فوق؛ F_v: برآیند مولفه نیروهای قائم (نیروی برکنش آب و نیروی حاصل از وزن سد، رسوب و غیره)، F_h: برآیند نیروهای افقی (نیروی رانش خاک و نیروی هیدروستاتیک آب)، μ: ضریب اصطکاک بین پی و مصالح بستر و F_f: نیروی اصطکاک بین سازه و خاک پی می‌باشد. مقدار μ برای بسترهای آبرفتی از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\mu = \tan\Delta, \quad \Delta = 2/3\Phi \qquad (۳۷-۴)$$

1- Tensile Stress
2- Net Horizontal Force
3- Shear Resistance or Friction Force
4- Cohesion Force

Φ: معرف زاویه اصطکاک داخلی خاک است. با توجه به تاثیر مستقیم جنس مصالح بستر در کنترل لغزش سازه مقادیر مختلف μ و محدوده ضریب لغزش اطمینان مربوطه برای انواع مصالح فونداسیون در جدول (۴-۱۵) معرفی شده است.

جدول ۴-۱۵- ضرایب اطمینان اصطکاک و لغزش برای مصالح مختلف پی [۱۴]

ردیف	نوع مصالح	μ ضریب اصطکاک	F.S محدوده ضریب اطمینان لغزش
۱	بتن روی بتن	۰/۶۵ تا ۰/۸	۱ تا ۱/۵
۲	بتن روی سطح سنگی سالم، تمیز و نامنظم	۰/۸	۱ تا ۱/۵
۳	بتن روی سنگ با مقداری لایه‌بندی	۰/۷	۱ تا ۱/۵
۴	بتن روی شن و ماسه درشت	۰/۴	۲/۵
۵	بتن روی ماسه	۰/۳	۲/۵
۶	بتن روی سنگ رس (شیل)	۰/۳	۲/۵
۷	بتن روی لای و رس	*	۲/۵ *
* مستلزم انجام آزمایش است			

۴-۲-۱-۶- کنترل خزش در زیر پی سازه

در سدهای رسوبگیر، هرچند نشت آب از زیر پی مجاز می‌باشد، (در بندهای انحرافی و سدهای ذخیره‌ای، علاوه بر ملاحظات پایداری ناشی از خزش مهار پدیده نشت از دیدگاه مدیریت منابع آب، دارای اهمیت زیادی است) لیکن به منظور برقراری شرایط پایداری و عملکرد مطلوب سازه، بررسی خزش[1] و مقابله با تبعات آن باید مدنظر قرارگیرد. ضریب اطمینان در مقابل خزش با رابطه زیر بیان می‌شود: [۱۴، ۷۵]

$$F.S = \frac{i_{cr}}{i} \geq 3 \qquad (۴-۳۸)$$

در رابطه فوق؛ i_{cr}: حداکثر شیب هیدرولیکی برای خنثی کردن وزن موثر دانه‌های خاک و i: شیب هیدرولیکی در مسیر نشت می‌باشد.

علاوه بر روش نظری فوق، روش‌های تجربی مختلفی برای تعیین ضریب اطمینان خزش توسط متخصصین ارائه شده که از جمله روش ساده بلای[2] و روش وزنی لین[3] می‌باشد: [۱۴، ۲۷، ۱۰۳]

- روش بلای

$$F.S = \frac{L}{\Delta h} \qquad (۴-۳۹)$$

1 -Piping
2 - Bligh
3 - Lane

- روش لین

$$F.S=\frac{L_w}{\Delta h},\quad L_w=\frac{\sum L_h}{3}+\sum L_v \qquad (۴۰-۴)$$

در روابط فوق؛ $F.S$: ضریب اطمینان خزش، Δh: اختلاف تراز آب بالادست و پایین‌دست، L و L_w: به ترتیب طول نشت در روش بلای و لین و $\sum L_h$ و $\sum L_v$: به ترتیب مجموع طول خزش افقی و قائم می‌باشد. در روش لین، طول خزش افقی ۱/۳ طول خزش قائم منظور می‌شود. در جدول (۴-۱۶) محدوده شیب هیدرولیکی و همچنین ضرایب اطمینان خزش برای انواع مصالح پی ارائه شده است [۱۴]. در اغلب مواقع، برای تحقق شیب هیدرولیکی مجاز و ضریب اطمینان، افزایش طول خزش ضروری می‌باشد. برای افزایش طول خزش استفاده از پرده آب‌بند[1] و ایجاد پاشنه و یا افزودن طول کف‌بند در بالادست و پایین‌دست پی سازه متداول است.

جدول ۴-۱۶- محدوده ضریب اطمینان خزش و حداکثر شیب هیدرولیکی مجاز برای انواع مصالح پی [۱۴]

ردیف	نوع مصالح پی		i		F.S	
			محدوده حداکثر شیب هیدرولیکی مجاز		محدوده ضریب اطمینان خزش	
			بلای	لین	بلای	لین
۱	رسوبات آبرفتی (غیرچسبنده)	ماسه ریز	۰/۱۴۳ تا ۰/۱۶۷	۰/۱۴۳	۶ تا ۷	۷
۲		ماسه درشت	۰/۱۶۷ تا ۰/۲۰	۰/۲۰	۵ تا ۶	۵
۳		شن	۰/۲۰ تا ۰/۲۵	۰/۲۵ تا ۰/۳۳	۴ تا ۵	۳ تا ۴
۴	رسوبات چسبنده (ریزدانه)	رس نرم		۰/۳۳ تا ۰/۵۰		۲ تا ۳
۵		رس سخت		۰/۵۵		۱/۸
۶	لایه ناتراوا یا سنگ کف			۰/۶۲		۱/۶

۴-۲-۱-۷- کنترل فشار برکنش در زیر پی سازه

فشار برکنش ایجاد شده در زیر پی سازه از جمله عوامل موثر در کاهش پایداری سازه تلقی می‌شود. فشار برکنش، حاصل برقراری جریان نشت ناشی از اختلاف تراز آب بالادست و پایاب سازه می‌باشد. از جمله راهکارهای تعیین فشار برکنش، استفاده از شیب متوسط هیدرولیکی (i) تعیین شده در روش بلای و لین است. براساس شیب هیدرولیکی، ارتفاع فشار در هر نقطه از پی با رابطه زیر مشخص می‌گردد:

$$h_x=h_1-iL_x=h_1-\Delta h\frac{L_x}{L_w} \qquad (۴۱-۴)$$

در این رابطه؛ h_1: ارتفاع فشار آب در کف مخزن (ابتدای مسیر نشت)، h_x: ارتفاع فشار برکنش آب در نقطه موردنظر، L_w: طول کل مسیر نشت، L_x: طول مسیر نشت در نقطه موردنظر و Δh: اختلاف ارتفاع تراز آب بالادست و

1- Cutoff Wall or Sheet Pile

پایین‌دست می‌باشد. براساس رابطه فوق و مطابق شکل (۴-۲۳)، مقادیر فشار برکنش در پی سازه برای نقاط b و c و نیروی فشار حاصله، به صورت زیر تعیین می‌شود:

$$L_w = L_1 + \frac{1}{3}L_2 + L_3 \qquad (۴۲-۴)$$

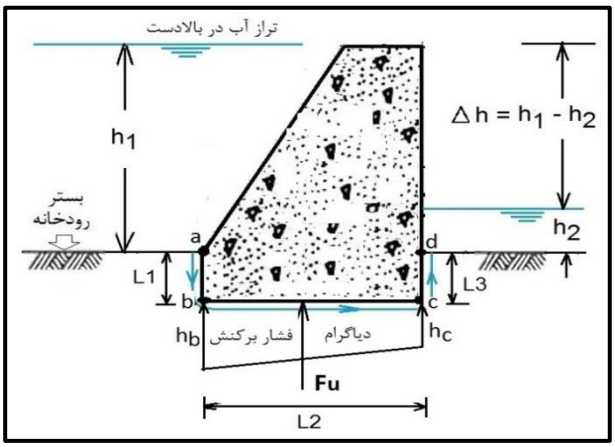
$$h_B = h_1 - \Delta h * \frac{L_b}{L_w}, \quad L_b = L_1 \qquad (۴۳-۴)$$

$$h_C = h_1 - \Delta h * \frac{L_c}{L_w}, \quad L_c = L_1 + L_2/3 \qquad (۴۴-۴)$$

$$F_u = \frac{1}{2}\gamma_w (h_b + h_c) L_2 \qquad (۴۵-۴)$$

در روابط فوق؛ h_b و h_c: به ترتیب فشار برکنش در نقاط b و c (شکل ۴-۱۳)، L_b و L_c: به ترتیب طول مسیر نشت در نقاط b و c فونداسیون، γ_w: وزن مخصوص آب و F_u: نیروی فشار برکنش در واحد عرض سازه می‌باشد.

روش خزش استفاده از شبکه جریان[1] برای تعیین فشاربرکنش در شالوده سازه‌های آبی، از جمله سدهای رسوبگیر متداول می‌باشد و در مواردی نیز برای تعیین دقیق فشار برکنش، استفاده از روش اجزای محدود توصیه شده است. [۱۴، ۷۵، ۹۲، ۱۰۲]



شکل ۴-۱۳- دیاگرام فشاربرکنش در پی سازه با استفاده از روش خزش [۱۴، ۷۵]

۴-۲-۲- طراحی سرریز سد رسوبگیر

همان‌طوری‌که در بندهای ۴-۱-۱ و ۴-۱-۲ عنوان گردید، شکل سرریز در سدهای رسوبگیر عموما ذوزنقه‌ای بوده و با فرض انسداد مجاری تخلیه برای عبور سیل طراحی (Q_{peak}) با دوره بازگشت مشخص، ابعاد آن با استفاده از رابطه زیر تعیین می‌گردد: [۶۱،۱۰۱]

1- Flownet

$$Q_{peak} = \frac{d_s (b + md_s)^{3/2}}{(b + 2md_{ds})^{0.5}} \sqrt{g d_s} \qquad (۴۶-۴)$$

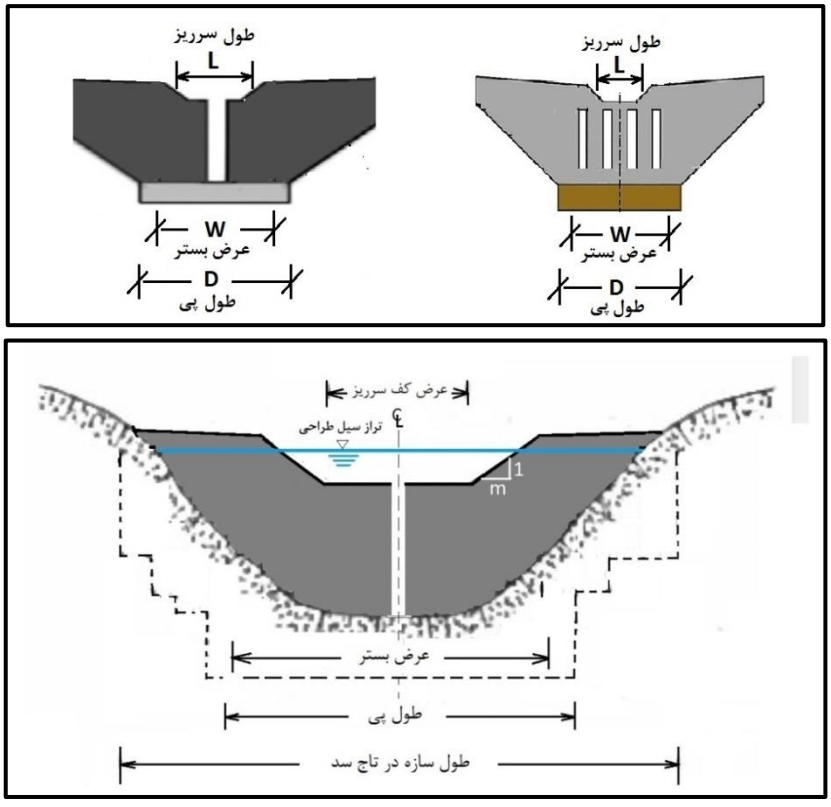
برای سرریزمستطیلی، معادله عمومی به صورت زیر می‌باشد: [۲۷، ۱۰۱]

$$Q_{peak} = 1.8 L d_s^{1.5} \qquad (۴۷-۴)$$

در روابط فوق؛

L: طول سرریز مستطیلی (متر)، d_s: عمق آب یا ارتفاع سرریز (متر) و بقیه پارامترها قبلا تعریف شده‌اند.

- در طراحی سدهای رسوبگیر، همان‌طوری‌که در بالا اشاره شد، استفاده از سرریزهای ذوزنقه‌ای نسبت به سرریز مستطیلی ارجح می‌باشد. عبور الوار و اشجار یا قطعات شناور در سرریزهای ذوزنقه‌ای در مقایسه با مقاطع مستطیلی، با سرعت و سهولت بیش‌تری انجام می‌گیرد.
- مقدار m (یا شیب دیواره‌های جانبی سرریز) عموما بین ۱ تا ۲ تغییر می‌کند.
- از دیدگاه ایمنی و پایداری سازه، مطابق شکل (۴-۱۴) طول سرریز همواره کم‌تر از پهنای رودخانه انتخاب می‌شود. با چنین فرایندی، ضمن تمرکز جریان سیلاب در مجرای اصلی، از تهاجم به کناره‌ها و فرسایش آن‌ها جلوگیری می‌گردد. به‌علاوه برای تضمین عملکرد مناسب سد رسوبگیر، طول پی مطابق شکل (۴-۱۴) بیش‌تر از عرض رودخانه و طول سرریز انتخاب می‌شود. [۲۷، ۴۱]



شکل ۴-۱۴- تناسب طول سرریز، عرض بستر و طول پی در سدهای رسوبگیر [۲۷، ۴۱]

- تاج سرریزهای ذوزنقه یا مستطیلی، تراز بوده و از نظر عملکرد هیدرولیکی به سرریزهای لبه پهن[1] تعلق دارند.
- در طراحی سرریز سدهای رسوبگیر، لازم است اثرات استغراق آستانه سرریز، بررسی و برای اجتناب از کاهش ضریب آبگذری، از برقراری شرایط جریان آزاد سیلاب اطمینان حاصل شود.
- در سدهای رسوبگیر مطابق شکل (۴-۱۵)، سرریزی سیلاب حالت سقوط آزاد[2] داشته و طول پرش حاصل از جت پرتابی و همچنین عمق گودال فرسایشی از روابط تجربی، مطابق آنچه که ذیلا ارائه شده است، تعیین می‌گردد.

مطابق شکل (۴-۱۵) فاصله برخورد جت تا پای سازه، از رابطه زیر محاسبه می‌شود: [۲۷، ۲۸]

$$X = \sqrt{2H * \Delta H}, \quad \Delta H = H_w - y_o \qquad (۴۵-۴)$$

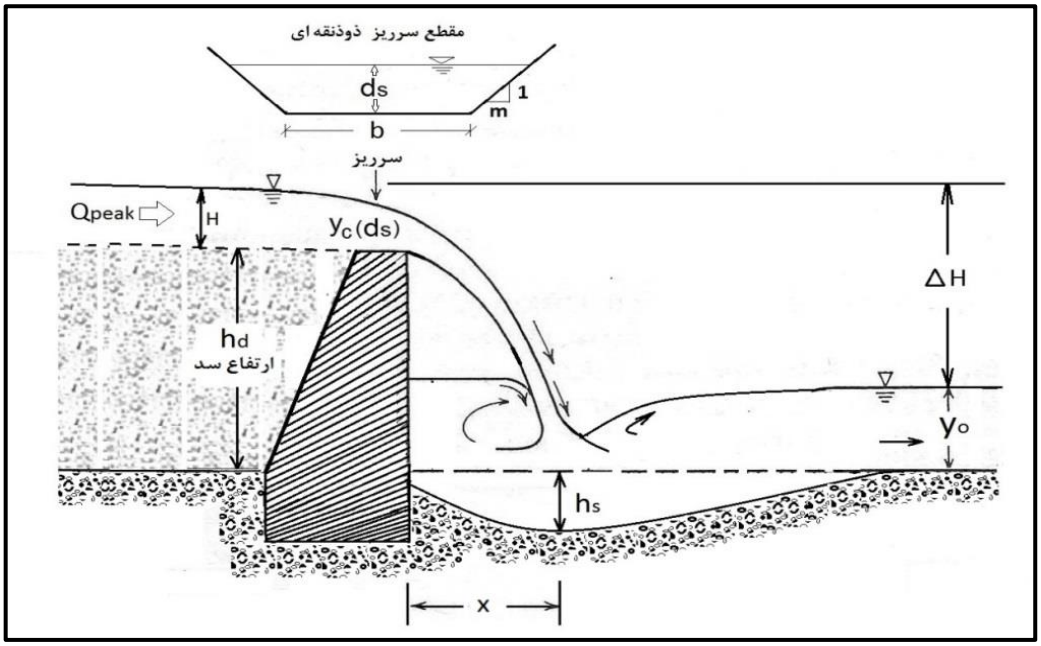
از جمله روابط مورد استفاده در تعیین عمق چاله فرسایشی حاصل از برخورد جت با بستر رودخانه، رابطه شاکلیچ[3] می‌باشد که به صورت زیر معرفی شده است [۲۷، ۲۸]:

$$y_s + y_o = 4.75 \frac{\Delta H^{0.2} q^{0.57}}{d_{90}^{0.32}} \qquad (۴۶-۴)$$

در روابط فوق؛ X: فاصله برخورد جت تا پای سازه سد (m)، H: عمق آب در بالادست سرریز (m)، ΔH: اختلاف تراز سطح آب بالادست و پایین‌دست (m)، H_w: تراز آب بالادست نسبت به بستر رودخانه (m)، q: دبی سیلاب در واحد عرض سرریز ($m^3/s-m$)، d_{90}: قطر ۹۰٪ مصالح بستررودخانه یا ۹۰٪ دانه‌های بستر دارای قطر مساوی یا کم‌تر از آن می‌باشد (mm)، y_o: عمق جریان آب در پایین‌دست یا تراز آب پایین‌دست نسبت به بستر رودخانه (m) و y_s: عمق چاله فرسایشی (m) می‌باشد.

در جدول (۴-۱۷) نحوه تعیین X و در جدول (۴-۱۸) مراحل تعیین y_s در قالب مثال کاربردی ارائه شده است. مطابق مندرجات جدول (۴-۱۸)، عمق فرسایش برای مثال مفروض به ۲/۴۳ متر بالغ می‌گردد و برای پایداری سازه سد، لازم است عمق پی بیش‌تر از کمیت مزبور انتخاب شود. با توجه به اهمیت اندازه دانه‌های بستر در میزان فرسایش حاصله، روند تغییرات y_s برحسب d_{90} با فرض ثابت ماندن سایر مشخصات هندسی و هیدرولیکی و بده سیلاب برای مثال مفروض در شکل (۴-۱۶- ب) ترسیم شده است. مطابق نمودار مزبور با کاهش اندازه دانه‌ها، عمق فرسایش به طور چشمگیری افزایش می‌یابد و برعکس برای بسترهای با دانه‌بندی درشت، مقدار y_s به طور محسوسی کم‌تر است. از این ویژگی برای ایجاد لایه آرمور و حفاظت حوضچه آرامش در مقابل پدیده فرسایش می‌توان بهره‌جست که جزییات بیش‌تر در مبحث بعدی ارائه شده است.

1- Broad Crested Weirs
2- Free Overfall
3- Schoklitsch



شکل ۴-۱۵- سرریزی سیلاب در سدهای رسوبگیر و فرسایش موضعی حاصله در پای سازه [۲۸، ۱۰۱]

جدول ۴-۱۷- مراحل محاسباتی فاصله محل برخورد جت آب تا پای سازه سد رسوبگیر (مثال مفروض)

۱	۲	۳	۴	۴	۵	۷	۸
Tr	Qpeak	H	hd	Hw	yo	ΔH	X
دوره بازگشت سیلاب	دبی سیلاب	ارتفاع آب بالادست سرریز	ارتفاع سد	ارتفاع آب در بالادست سد نسبت به بستر	عمق آب در پایین‌دست	اختلاف تراز سطح آب	فاصله محل برخورد جت آب تا پای سازه
yr	m3/s	m	m	m	m	m	m
۲۰۰	۱۱۵	۱/۶۴	۱۱	۱۲/۵۷	۱/۷۱	۱۰/۸۵	۵/۹۶

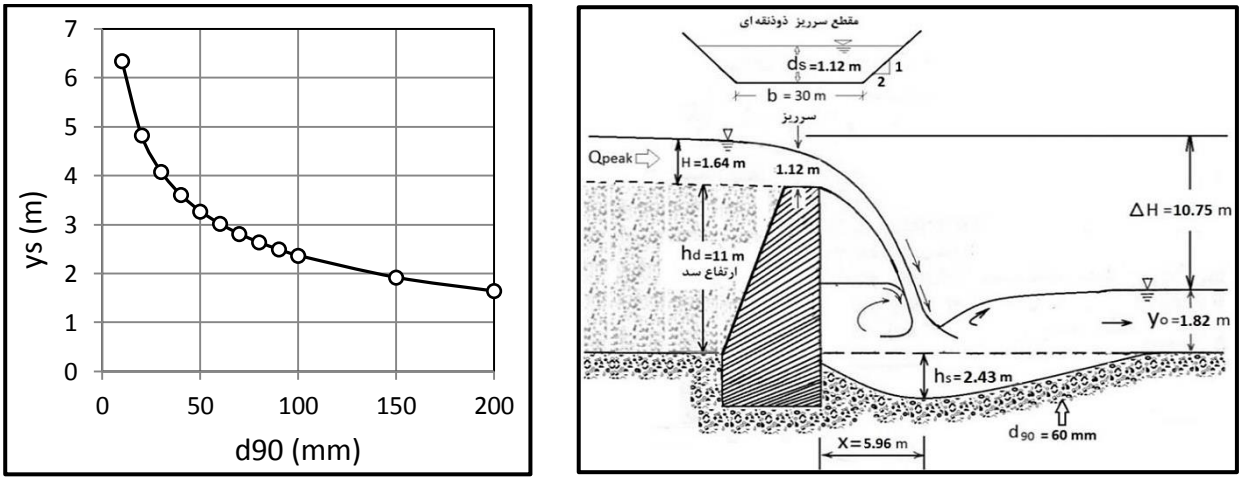
جدول ۴-۱۸- مراحل محاسباتی عمق فرسایش ناشی از برخورد جت آب با بستر رودخانه در پایین‌دست سرریز سد رسوبگیر (مثال مفروض)

۱	۲	۳	۴	۴	۵	۷	۸	۹	۱۰
Tr	Qpeak	b	m	ds	A	W	T	q	H
دوره بازگشت سیلاب	دبی سیلاب	عرض کف سرریز سد	پارامتر شیب جانبی	ارتفاع سرریز	سطح مقطع جریان در سرریز	عرض جریان	متوسط عرض جریان	بده سیلاب در واحد عرض	ارتفاع آب بالادست سرریز
yr	m3/s	m	m	m	m2	m	m	m3/s-m	m
۲۰۰	۱۱۵	۳۰	۲	۱/۱۲	۳۳/۶	۳۴/۴۸	۳۲/۲۴	۳/۵۷	۱/۶۴

۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹
hd	Hw	yo	ΔH	D90	اجزای معادله			ys
ارتفاع سد	تراز آب در بالادست نسبت به بستر	عمق آب در پایین‌دست	اختلاف تراز سطح آب	قطر ۹۰٪ دانه‌های بستر	A	B	A/B	عمق چاله فرسایشی
					ΔH^0.2q^0.57	D90^0.532		
m	m	m	m	mm				m
۱۱	۱۲/۵۷	۱/۸۲	۱۰/۷۵	۶۰	۳/۳۲	۳/۷۱	۰/۹	۲/۴۳

۴-۲-۳- طراحی حوضچه آرامش

انرژی حاصل از سرریزی سیلاب، همان‌طوری‌که در مبحث پیشین عنوان گردید، عموما موجب شکل‌گیری چاله فرسایشی گردیده و استحکام و پایداری سازه را به مخاطره می‌اندازد. از این رو استفاده از حوضچه آرامش برای استهلاک انرژی جت آب در پایین‌دست سدهای رسوبگیر، متداول است. [۶۱، ۱۰۱]



الف- داده‌های مورد استفاده در مثال مفروض (جدول ۴-۲۱ و جدول ۴-۲۲)

ب- تاثیرپذیری عمق فرسایش از اندازه دانه‌های بستر

شکل ۴-۱۶- سد رسوبگیر و داده‌های مورد استفاده در مثال مفروض و نمودار تغییرات عمق فرسایش بر حسب d_{90} مصالح بستر

راند[1] برای تعیین مشخصات حوضچه آرامش با فرض انباشت رسوب تا تراز تاج سد، مطابق شکل (۴-۱۷) روابط زیـر را پیشنهاد نموده است: [۱۰۱، ۱۰۵]

$$\frac{L_d}{h_d} = 4.3(D)^{0.27} \qquad (۴۷-۴)$$

$$L_j = 6.9(y_2 - y_1) \qquad (۴۸-۴)$$

$$L = L_d + L_j \qquad (۴۹-۴)$$

$$\frac{y_1}{h_d} = 0.54(D)^{0.425} \qquad (۵۰-۴)$$

$$\frac{y_2}{h_d} = 1.66(D)^{0.27} \qquad (۵۱-۴)$$

$$\frac{y_p}{h_d} = 1.00(D)^{0.22} \qquad (۵۲-۴)$$

1- Rand

در روابط فوق D: عدد افت[1] (عدد بی‌بعد) می‌باشد که از رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$D = \frac{q^2}{g h_d^3} \quad (۵۳-۴)$$

در جدول (۴-۱۸) پارامترهای مورد استفاده در روابط (۴-۶۴) تا (۴-۷۰) معرفی شده است.

مطابق شکل (۴-۱۷) استهلاک انرژی در حوضچه آرامش، حاصل مجموع افت انرژی ناشی از جهش هیدرولیکی و افت انرژی ناشی از پدیده چرخش می‌باشد که بر اساس روابط زیر تعیین می‌گردد:

- انرژی جریان قبل از برخورد با حوضچه یا انرژی اولیه (مقطع O):

$$E_o = H + h_d \quad (۵۴-۴)$$

- انرژی جریان قبل از جهش (مقطع ۱):

$$E_1 = y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = y_1 + \frac{q^2}{2g y_1^2} = y_1 + \frac{d_s^3}{2 y_1^2} \quad (۵۵-۴)$$

- انرژی جریان بعد از جهش (مقطع ۲):

$$E_2 = y_2 + \frac{V_2^2}{2g}, \quad V_2 = \frac{Q_{peak}}{B y_2} \quad (۵۶-۴)$$

- افت انرژی ناشی از چرخش (در فاصله بین مقطع 1 و پای سازه متعلق به L_d):

$$\Delta E_{Ld} = E_o - E_1 \quad (۵۷-۴)$$

- افت انرژی ناشی از جهش هیدرولیکی (در فاصله بین مقطع ۱ و ۲ متعلق به L_j):

$$\Delta E_j = E_1 - E_2 \quad (۵۸-۴)$$

- مجموع افت انرژی جهشی و چرخشی:

$$\Delta E = \Delta E_{Ld} + \Delta E_j \quad (۵۹-۴)$$

- درصد افت انرژی در حوضچه آرامش:

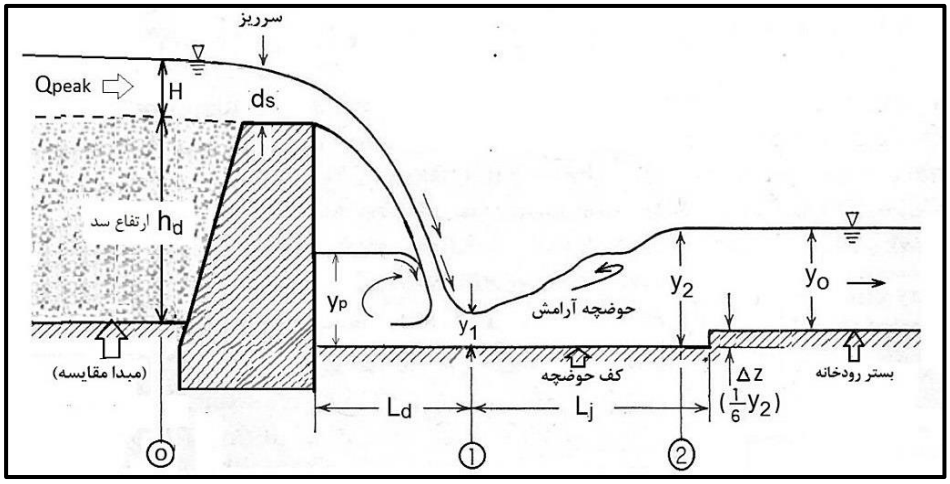
$$P = \frac{\Delta E}{E_o} * 100 \quad (۶۰-۴)$$

در جدول (۴-۱۹)، پارامترهای مورد استفاده در روابط فوق و علائم شکل (۴-۱۷) معرفی شده است.

در جدول (۴-۲۰)، مراحل تعیین مشخصات حوضچه آرامش و همچنین مقدار استهلاک انرژی ناشی از عملکرد چرخش و جهش در قالب مثال کاربردی ارائه شده است. مطابق مندرجات جدول (۴-۱۹) برای سد رسوبگیر به ارتفاع

1- Drop Number

۱۱ متر و بده سیلاب معادل ۱۱۵ مترمکعب برثانیه (با فرض عرض سرریز ذوزنقـه و عـرض حوضـچه آرامـش معـادل ۳۰ متر)، طول حوضچه ۲۴/۵ متر و درصد استهلاک انرژی معادل ۷۷٪ می‌باشد که با توجه به نـرخ بـالای اسـتهلاک انـرژی، لازم است تمهیدات تثبیت بستر حوضچه با ایجاد پوشش حفاظتی مناسب، نظیر ایجاد لایه آرمـور و یـا آسـتر مقـاوم بـه فرسایش فراهم گردد که ذیلا به آن پرداخته می‌شود.



شکل ۴-۱۷- مشخصات حوضچه آرامش و پدیده پرش هیدرولیکی در پایین‌دست سد رسوبگیر [۱۰۱]

جدول ۴-۱۹- توصیف پارامترهای مورد استفاده در معادلات محاسبه مشخصات حوضچه آرامش در سد رسوبگیر

ردیف	علامت پارامتر	توضیح پارامتر	ابعاد پارامتر
۱	hd	ارتفاع سد (از کف بستر رودخانه تا تاج سرریز)	m
۲	Ld	طول قسمت اول حوضچه (ناحیه جریان چرخشی)	m
۳	Lj	طول قسمت دوم حوضچه (ناحیه پرش هیدرولیکی)	m
۴	L	طول حوضچه آرامش	m
۵	y1	عمق جریان قبل از پرش هیدرولیکی	m
۶	y2	عمق جریان بعد از پرش هیدرولیکی	m
۷	yp	عمق جریان در پای سد	m
۸	q	بده جریان در واحد عرض سرریز	m3/s-m
۹	g	شتاب ثقل زمین	m/s2
۱۰	D	عدد افت	
۱۱	ds	ارتفاع سرریز ذوزنقه‌ای	m
۱۲	H	ارتفاع نظیر انرژی آب در بالادست سرریز	m
۱۳	Eo	انرژی جریان قبل از برخورد با حوضچه (انرژی اولیه جریان)	m
۱۴	E1	انرژی جریان قبل از جهش	m
۱۵	E2	انرژی جریان بعد از جهش	m
۱۶	V2	متوسط سرعت جریان در مقطع ۲ (مقطع پرش هیدرولیکی)	m/s
۱۷	B	عرض حوضچه آرامش	m
۱۸	ΔELd	افت انرژی ناشی از جریان چرخشی	m
۱۹	ΔEj	افت انرژی ناشی از جهش هیدرولیکی	m
۲۰	ΔE	مجمع افت انرژی جهشی و چرخشی	m
۲۱	P	درصد افت انرژی جریان نسبت به انرژی اولیه	%
۲۲	ΔZ	ارتفاع آستانه یا کف‌بند	m

جدول ۴-۲۰- مراحل محاسباتی مشخصات حوضچه آرامش پایین‌دست سرریز سد رسوبگیر (مثال مفروض)

۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
Tr	Qpeak	b	m	g	ds	hd	A	V	T	Eo
دوره بازگشت سیلاب	دبی سیلاب	عرض کف سرریز سد	پارامتر شیب جانبی	شتاب ثقل	ارتفاع آب در سرریز	ارتفاع سد	سطح مقطع جریان در سرریز	سرعت جریان	انرژی جریان در بالادست سرریز	انرژی اولیه جریان
yr	m3/s	m	m	m/s2	m	m	m2	m/s	m	m
۲۰۰	۱۱۵	۳۰	۲	۹/۸۱	۱/۱۲	۱۱	۳۶/۱۱	۲/۲	۱/۶۴	۱۲/۶

۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱
Bav	q	D	Y1/hd	y1	Y2/hd	y2	yp/hd	yp	Ld/hd
متوسط عرض جریان	بده جریان در واحد عرض	عدد افت	عمق نسبی آب قبل از جهش	عمق آب قبل از جهش	عمق نسبی آب بعد از جهش	عمق آب بعد از جهش	عمق نسبی آب در پای سد	عمق آب در پای سد	طول نسبی جریان چرخشی
m	m3/s-m			m		m		m	
۳۲/۲	۳/۶	۰/۰۰۱	۰/۰۲۹	۰/۳۱	۰/۲۶	۲/۸۱	۰/۲۲	۲/۴	۰/۶۶

۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹
Ld	Lj	L	ΔZo	تعیین انرژی جریان قبل از جهش هیدرولیکی			ΔELd=Eo-E1
طول قسمت چرخشی حوضچه	طول قسمت جهشی حوضچه	طول حوضچه آرامش	ارتفاع آستانه در انتهای حوضچه	y1 عمق جریان قبل از جهش	ds^3/2y1^2 انرژی جنبشی قبل از جهش	E1 انرژی جریان قبل از جهش	افت انرژی ناشی از چرخش
m	m	m	m	m	m	m	m
۷/۳	۱۷/۲	۲۵	۰/۵	۰/۳۲	۶/۸۶	۷/۱۸	۵/۴۲

۳۰	۳۱	۳۲	۳۳	۳۴	۳۵	۳۶	۳۷
تعیین انررژی جریان بعد از جهش هیدرولیکی					ΔEJ=E1-E2	ΔE	P=(ΔE/E)*100
y2 عمق جریان بعد از جهش	B عرض حوضچه	A2 سطح مقطع جریان بعد از جهش	V2 سرعت جریان بعد از جهش	E2 انرژی جریان بعد از جهش	افت انرژی ناشی از جهش	جمع افت انرژی جهش و چرخش	افت انرژی در حوضچه
m	m	m	m	m	m	m	%
۷/۳	۱۷/۲	۲۵	۰/۵	۲/۹۶	۴/۲۲	۹/۶۴	۷۶/۵

۴-۲-۳-۱- پوشش حفاظتی در حوضچه آرامش سد رسوبگیر

از جمله راهکارهای مهار فرسایش ناشی از برخورد جت آب با بستر حوضچه و پدیده جریان چرخشی و جهش هیدرولیکی، استفاده از لایه آرمور می‌باشد. برای حالت عدم فرسایش ($y_s \approx 0.0$) اندازه d_{90} از رابطه زیر مشخص می‌گردد:

$$y_s + y_o = 4.75 \frac{\Delta H^{0.2} q^{0.57}}{d_{90}^{0.32}} \qquad (۴-۶۱)$$

- رابطه تعیین اندازه ۹۰٪ دانه‌بندی لایه آرمرر در حوضچه آرامش:

$$d_{90a} = 130.22 \frac{\Delta H^{0.625} q^{1.78}}{y_o^{3.125}} \qquad (۶۲-۴)$$

در رابطه فوق؛ d_{90a}: قطر نظیر ۹۰ درصد وزنی اندازه مصالح لایه آرمور بر حسب میلی‌متر و بقیه پارامترها قبلا تعریف شده‌اند. براساس مثال کاربردی مندرج در (بند ۴-۲-۲ مراحل محاسباتی عمق فرسایش) اندازه قطر شاخص لایه آرمور، مطابق مندرجات جدول (۴-۲۱) معادل $d_{90a} = 1040$ mm می‌باشد.

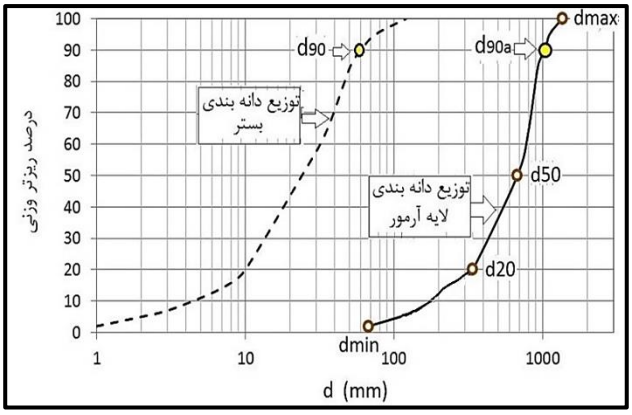
جدول ۴-۲۱- مراحل محاسباتی اندازه قطر شاخص لایه آرمور برای حوضچه آرامش سد رسوبگیر(مثال مفروض)

۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
Tr	Qpeak	H	q	hd	Hw	yo	ΔH	D90a
دوره بازگشت سیلاب	دبی سیلاب	ارتفاع آب بالادست سرریز	بده سیلاب در واحد عرض	ارتفاع سد	تراز آب در بالادست نسبت به بستر	تراز آب در پایین‌دست نسبت به بستر	اختلاف تراز سطح آب	از معادله ۴-۶۲ / قطر شاخص لایه آرمور
yr	m3/s	m	m3/s-m	m	m	m	m	mm
۲۰۰	۱۱۵	۱/۶۴	۳/۵۷	۱۱	۱/۱۲	۱۱	۱۰/۸۶	۱۰۴۰

در لایه آرمور، تضمین پایداری سنگ‌ها، مستلزم رعایت ترکیب دانه‌بندی مطابق معیار مندرج در جدول شکل (۴-۱۸- الف) می‌باشد[۲۹، ۹۲]. با استناد به معیار جدول مذکور، نمونه‌ای از منحنی توزیع دانه‌بندی برای لایه آرمور با درنظر گرفتن اندازه d_{90a} حاصل از مثال مفروض و منحنی دانه‌بندی مصالح بستر در شکل (۴- ۱۸- ب) ارائه شده است. مطابق توصیه منابع موجود، منحنی دانه‌بندی لایه آرمور، عموما موازی منحنی دانه‌بندی بستر در نظر گرفته می‌شود.

ردیف	معیار دانه‌بندی لایه آرمور		اندازه قطر در مثال مفروض
	شاخص قطر	اندازه قطر	mm
۱	dmin	0.1d50	۶۷.۵
۲	d20	0.5d50	۳۳۷.۵
۳	d50	d50	۶۷۵
۴	dmax	2d50	۱۳۵۰

الف- معیار دانه‌بندی لایه آرمور و اندازه قطرهای متناظر



ب - توزیع دانه‌بندی لایه آرمور برای مهار فرسایش حوضچه آرامش

شکل ۴-۱۸- معیار دانه‌بندی لایه آرمور و توزیع دانه‌بندی آن و مقایسه با دانه‌بندی بستر (مثال مفروض) [۹۲، ۱۰۱]

- علاوه بر توزیع دانه‌بندی، لازم است تناسب اندازه دانه‌های بستر با لایه آرمور، کنترل و در صورت نیاز با ایجاد یک یا چند لایه فیلتر از شسته شدن و مهاجرت دانه‌های بستر در اثر فشار منفذی حاصل از پدیده نشت، از طریق خلل و فرج موجود در لایه آرمور که منجر به افت تراز و تخریب و اضمحلال قشر حفاظتی می‌گردد، اجتناب شود.
- با بررسی معیارهای زیر، ضرورت یا عدم ضرورت ایجاد لایه فیلتر مشخص می‌گردد: [۲۹، ۹۲]

الف- معیار پایداری[1] (عدم شسته شدن و مهاجرت دانه‌های ریز مصالح بستر به درون لایه فوقانی):

$$\frac{D_{15}(\text{Filter})}{D_{85}(\text{Base}\cdot\text{soil})} < 5 \qquad (۶۳-۴)$$

ب- معیار نفوذپذیری[2] (دارا بودن نفوذپذیری مناسب و ناچیزبودن گرادیان هیدرولیکی در مقایسه با مصالح بستر):

$$5 < \frac{D_{15}(\text{Filter})}{D_{15}(\text{Base}-\text{soil})} < 40 \qquad (۶۴-۴)$$

ج- معیار یکنواختی[3] (توزیع مناسب دانه‌بندی که براساس آن برای اجتناب از نفوذ دانه‌های ریز، عموما منحنی دانه‌بندی لایه فوقانی موازی لایه تحتانی (مصالح بستر) منظور می‌شود):

$$\frac{D_{50}(\text{Filer})}{D_{50}(\text{Base}-\text{soil})} < 40 \qquad (۶۵-۴)$$

در عمل با استناد به توزیع دانه‌بندی مصالح بستر، نخست معیارهای سه‌گانه فوق برای منحنی دانه‌بندی لایه آرمور با فرض آن‌که به عنوان فیلتر عمل می‌کند، بررسی و بر اساس آن ضرورت استفاده از لایه فیلتر مشخص می‌گردد. در جدول (۴-۲۲) به عنوان نمونه، با استفاده از منحنی‌های توزیع دانه‌بندی شکل (۴-۱۸) مثال مفروض، معیارهای سه‌گانه بررسی و مطابق نتایج حاصله، در این مورد به خصوص نیازی به استفاده از لایه فیلتر نمی‌باشد.

- نکته مهم در خصوص لایه آرمور و فیلتر، استفاده از مصالح مرغوب می‌باشد و لازم است برای پایداری و تداوم عملکرد در مقابل تنش‌های هیدرودینامیکی وارده، بررسی‌های کیفیتی از نظر دوام و مقاومت در برابر سایش و یکنواختی و همگنی بافت سنگ و چگالی (وزن مخصوص)، مدنظر قرارگیرد. حداقل وزن مخصوص سنگ‌ها از ۲/۴ تن در مترمکعب نباید کم‌تر باشد.

جدول ۴-۲۲- بررسی معیارهای سه‌گانه برای آزمون ضرورت استفاده از لایه فیلتر (مثال مفروض)

ردیف	پارامترها	قطرهای شاخص (میلی‌متر)			ملاحظات
		D_{15}	D_{50}	D_{85}	
۱	دانه‌بندی بستر	۷/۵	۲۴	۵۱	
۲	دانه‌بندی لایه آرمور	۲۲۳	۶۷۵	۹۳۰	
۳	معیار پایداری	D15-Filter/D15-base < 5		۴/۳۷	ok
۴	معیار نفوذپذیری	5 < D15-Filter/D15-Base < 40		۲۹/۷۳	ok
۵	معیار یکنواختی	D50-Filter/D50-Base < 40		۲۸	ok
توضیح:	با توجه به تحقق معیارهای سه‌گانه توسط لایه آرمور، نیازی به استفاده از فیلتر نمی‌باشد.				

1- Stability Criterion
2- Prmeability Criterion
3- Uniformity Criterion

- ضخامت لایه آرمور باید به گونه‌ای باشد که اندازه بزرگ‌ترین سنگ (d_{100} یا d_{max}) را در برگیرد و اغلب حدود ۱/۵ برابر بزرگ‌ترین قطر دانه‌بندی (d_{max}) منظور می‌گردد.
- حداقل ضخامت لایه فیلتر نیز برای ماسه و شن، معادل ۱۰ سانتی‌متر و برای سنگریزه ۲ تا ۳ برابر d_{100} فیلتر منظور می‌گردد.

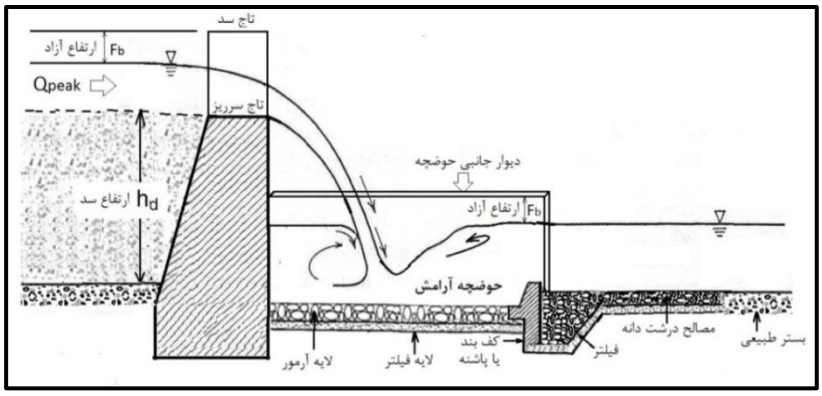
علاوه بر حوضچه آرامش، ایجاد پوشش حفاظتی در پایین‌دست کف‌بند یا پاشنه انتهایی، مطابق شکل (۴-۱۹- الف) ضروری است. جریان خروجی از حوضچه آرامش به دلیل تلاطم شدید و حالت آب صاف (با ترسیب مواد رسوبی در مخزن، جریان خروجی فاقد بار بستر بوده و از پتانسیل انتقال بالایی برخوردار است) ایجاد حفره فرسایشی را در پایین‌دست کف‌بند در پی‌دارد. عمق فرسایش حاصل، از رابطه زیر قابل پیش‌بینی است: [۲۹]

$$y_s = 2.89 \frac{q^{0.82}}{d_{85}^{0.33}} \left(\frac{y_o}{q^{0.66}}\right)^{0.93} - y_o \qquad (۴-۶۶)$$

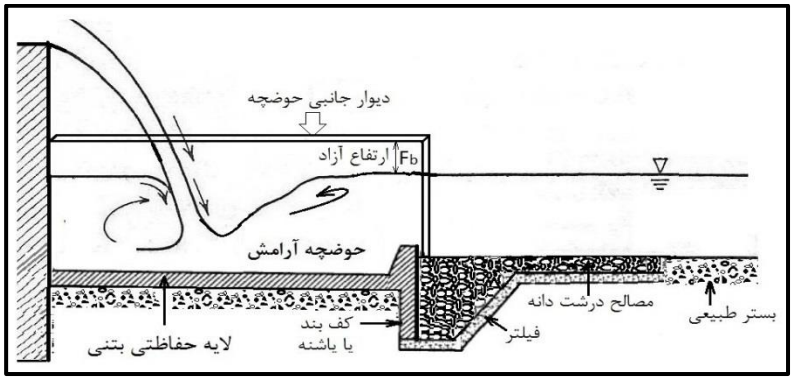
اندازه بزرگ‌ترین سنگ مورد استفاده در لایه سنگچین پایین‌دست حوضچه، از رابطه زیر تعیین می‌شود [۱۴، ۱۰۶]:

$$d\,max = 0.041 \cdot V_O^{\,2} \qquad (۴-۶۷)$$

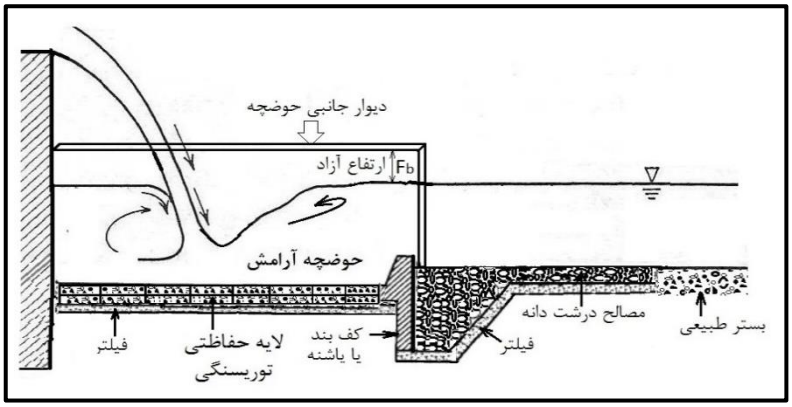
در روابط فوق؛ d_{85}: قطر نظیر ۸۵٪ ریزتر وزنی مصالح بستر (mm)، q: بده سیلاب در واحد عرض مجرا ($m^3/s-m$)، y_o: عمق جریان در پایین‌دست حوضچه (عمق نرمال)، V_O: سرعت جریان در پایین‌دست حوضچه (m/s)، d_{max}: بزرگ‌ترین قطر لایه حفاظتی m و y_s: عمق فرسایش در پایین‌دست حوضچه (m) می‌باشد.



الف- لایه آرمور در حوضچه آرامش و پوشش سنگی در پایین‌دست گف‌بند



ب- پوشش بتنی در حوضچه آرامش و پوشش سنگی در پایین‌دست گف‌بند



ج- پوشش توری سنگی در حوضچه آرامش و پوشش سنگی در پایین‌دست کف‌بند

شکل ۴-۱۹- اشکال مختلف پوشش حفاظتی مورد استفاده در حوضچه آرامش سدهای رسوبگیر و پوشش سنگی در پایین‌دست

- وقوع فرسایش درپایین‌دست کف‌بند، تهدیدی برای عملکرد مطلوب حوضچه آرامش و استحکام و پایداری سازه سد تلقی می‌شود از این‌رو علاوه بر ایجاد پوشش حفاظتی، لازم است شالوده کف‌بند پایین‌تر از عمق فرسایش پیش‌بینی شده، احداث گردد.
- برای تثبیت بستر حوضچه آرامش، مطابق شکل (۴-۱۹- ب)، استفاده از پوشش بتنی مسلح نیز متداول می‌باشد. پوشش‌های بتنی به صورت درجا یا پیش‌ساخته کاربرد دارند. پوشش بتنی درجا دارای نفوذپذیری کم‌تری بوده و از این‌رو برای مقابله با اثرات زیر فشار ایجاد مجاری تراوش[1] ضروری می‌باشد. به‌علاوه برای جلوگیری از خرابی پوشش در اثر نشست‌های نامساوی، در نظر گرفتن درز انقباض ضرورت دارد. برای دال‌های بتنی پیش‌ساخته نیز تعبیه مجرای تراوش و کاهش زیر فشار باید مدنظر قرارگیرد. همچنین جهت کنترل شستشوی مصالح ریزدانه بستر از میان درزها و مجاری تراوش، لایه فیلتر تعبیه می‌شود. ضخامت بتن در واحد سطح با درنظر گرفتن تعادل بین وزن (وزن آب و بتن) و نیروی زیرفشار مشخص می‌گردد [۲۹، ۱۰۷]. برای تخمین اولیه ضخامت بتن با توجه به فرض افقی بودن حوضچه آرامش می‌توان از رابطه زیر بهره جست:

$$\Delta L_C = \frac{\gamma_w (H_u - y_b)}{\gamma_c (1-\theta) + \theta \gamma_w} \qquad (۶۸-۴)$$

در این رابطه؛ ΔL_C: ضخامت لایه بتن (m)، γ_w: وزن مخصوص آب (معادل $1 \cdot ton/m^3$)، γ_c: وزن مخصوص بتن (معادل $2.4 \cdot ton/m^3$ فرض می‌شود)، H_u: ارتفاع نظیر زیرفشار (m)، y_b: عمق آب معادل جهش هیدرولیکی در حوضچه و θ: نسبت فضای باز (درزها و مجاری تراوش) در واحد سطح حوضچه (بین ۰/۱۵ تا ۰/۲ فرض می‌شود) می‌باشد. بدیهی است تعیین دقیق ΔL_C و θ مستلزم انجام مدل فیزیکی است. لازم به

1- Weep Hole

یادآوری است که مواردی چون قالب‌بندی، آرماتوربندی و عمل‌آوری بتن بر مبنای آیین‌نامه بتن ایران (آبا) انجام می‌گیرد.

- علاوه بر لایه آرمور و پوشش بتنی برای تثبیت بستر حوضچه آرامش مطابق شکل (۴-۱۹- ج)، استفاده از سازه توری سنگ[1] متداول است. در این خصوص استقرار حداقل دو لایه توری سنگ به ضخامت ۳۰ تا ۵۰ سانتی‌متر توصیه شده است [۲۷]. در عین حال مطابق آنچه که در خصوص پوشش بتنی عنوان گردید، ضخامت توری سنگ با درنظرگرفتن تعادل بین وزن (وزن آب و توری سنگ) و نیروی زیرفشار مشخص می‌گردد. برای تخمین ضخامت توری سنگ با توجه به فرض افقی بودن حوضچه آرامش، می‌توان از رابطه زیر بهره جست:

$$\Delta L_G = \frac{\gamma_w (H_u - y_b)}{\gamma_G} \qquad (۶۹-۴)$$

در این رابطه؛ ΔL_G: ضخامت لایه توری سنگ (m)، γ_G: وزن مخصوص توری سنگ در حالت اشباع (معادل $2.1.ton/m^3$ فرض می‌شود) و بقیه پارامترها قبلا تعریف شده‌اند. بدیهی است همان‌طوری‌که در بالا اشاره شد، تعیین دقیق ΔL_G مستلزم انجام مدل فیزیکی است. جهت کنترل شستشوی مصالح ریزدانه بستر از خلل و فرج توری سنگ، تعبیه لایه فیلتر مورد نیاز می‌باشد.

۴-۲-۳-۲- دیواره‌های جانبی حوضچه آرامش

به منظور تضمین عملکرد مطلوب حوضچه آرامش و ملاحظات ایمنی، اغلب احداث دیواره جانبی یا دیوار حائل در طرفین حوضچه باید مدنظر قرارگیرد. برای تعیین ارتفاع دیواره، لازم است ارتفاع آزاد[2] نیز منظور شود. مقدار ارتفاع آزاد برای دیواره‌های حفاظتی بین ۰/۶ تا ۱ متر پیشنهاد شده است [۱۳]. علاوه بر حوضچه آرامش، برای سازه سد نیز در نظرگرفتن ارتفاع آزاد نسبت به تراز سیل طراحی ضروری می‌باشد [۱۴، ۷۷]. طراحی و تحلیل دیواره‌های حفاظتی طبق موازین و آیین‌نامه بتن ایران (ابا) انجام می‌گیرد.

1- Gabion Mattress
2- Freeboard

۴-۳- تعیین هزینه و منافع و تهیه نقشه‌های اجرایی

۴-۳-۱- تعیین هزینه و منافع (درآمدهای) طرح

با مشخص شدن ظرفیت و ابعاد هندسی سد رسوبگیر بر اساس طراحی هیدرولیکی و سازه‌ای، امکان ارزیابی و تعیین هزینه و منافع یا درآمد حاصله محقق می‌گردد. در این خصوص گزینه‌های مختلفی از نظر سازه سد و ظرفیت مخزن می‌تواند مطرح باشد. هزینه و منافع حاصل از سدهای رسوبگیر، همان‌طوری‌که در بند ۳-۲-۲ (مطالعات اقتصادی) به تفصیل بیان گردید، به صورت زیر می‌تواند عنوان شود:

هزینه‌ها مشتمل بر موارد زیر است:

- هزینه‌های مستقیم (مشتمل بر برآورد مقادیر، مصالح خاکی، مصالح سنگی، سیمان، فولاد، آب مورد نیاز، هزینه‌های تعمیر، نگهداری و بهره‌برداری، هزینه‌های بالاسری، هزینه تجهیز کارگاه و هزینه‌های پیش‌بینی نشده)
- هزینه‌های غیر مستقیم (مشتمل بر خسارت مخزن، خرید اراضی محل احداث طرح و راه‌های دسترسی و هزینه خدمات مهندسی)

منافع یا سود یا درآمد حاصل از احداث سد رسوبگیر، مشتمل بر موارد زیر است:

- منافع محسوس یا ملموس (کاهش رسوب ورودی به سد مخزنی، تخلیه دوره‌ای رسوبات و عمل‌آوری و عرضه آن به عنوان منابع شن و ماسه، کاهش خسارت ناشی از استهلاک اوج سیلاب و کاهش خسارت سیلاب با تعدیل تغذیه رسوبی رودخانه)
- منافع غیرمحسوس یا غیرملموس (برقراری تعادل زیست‌محیطی و اکوسیستم رودخانه‌ای و حفظ توازن طبیعی با مدیریت رسوب و سیلاب، جلوگیری از بروز ناهنجاری‌های هندسی ناشی از انباشت موضعی انبوه رسوبات، برقراری شرایط هیدرولیکی مناسب و ساختار مورفولوژیک پایدار و تضمین عملکرد مناسب زیرساخت‌ها (پل‌ها، کف‌بندها، بندهای انحراف، دیواره‌های سیل‌بند و غیره)

۴-۳-۱-۱- تعیین هزینه‌های طرح

مبنای تعیین هزینه‌های طرح، استفاده از دستورالعمل‌های مرتبط نظیر فهارس‌بهای واحد عملیات سدسازی، عملیات آبیاری و زهکشی، واحد عملیات راه، باند فرودگاه، زیرسازی راه و موارد مشابه می‌باشد. در جدول (۴-۲۳) مجموعه آیتم‌ها و روش تعیین بهای هریک ارائه شده است. در جدول (۴-۲۳) علامت C معرف جمع کل هزینه‌های طرح می‌باشد. معمولا در طراحی، مقدار C برای گزینه‌های مختلف (ارتفاع سد و نوع سازه نظیر سنگ و سیمان، بتن، بتن مسلح و سایر موارد) تعیین و مطابق روش‌های ارائه شده در بند ۳-۲-۲-۳ «بررسی توجیه اقتصادی و انتخاب گزینه

مناسب»، بهینه‌یابی و گزینه مناسب مشخص می‌گردد. (برای جزییات بیش‌تر در خصوص تحلیل اقتصادی طرح به بند ۳-۲-۳- مطالعات اقتصادی مراجعه شود)

جدول ۴-۲۳- آیتم‌های مورد نیاز برای ارزیابی هزینه‌های احداث سد رسوبگیر

شماره آیتم	شرح	واحد	مقدار	بهای واحد به ریال	بهای کل به ریال
۱	بررسی‌های میدانی	سرجمع			
۲	خدمات مهندسی (طراحی و مشاوره)	سرجمع			
۳	تجهیزات و ماشین‌آلات و اسکان	سرجمع			
۴	خدمات ژئوتکنیک و مکانیک خاک	سرجمع			
۵	خسارت مخزن				
	تملیک اراضی	هکتار			
	تملیک مستحدثات	مترمربع			
۶	پاک‌سازی محدوده طرح				
	پاک‌سازی محدوده سازه سد	هکتار			
	پاک‌سازی محدوده مخزن و اراضی مجاور	هکتار			
۷	گودبرداری و خاکریزی				
	گودبرداری	مترمکعب			
	خاکریزی	مترمکعب			
	پی‌کنی	مترمکعب			
۸	احداث بدنه سد	مترمکعب			
۹	احداث سرریز و حوضچه و کف‌بند	مترمکعب			
۱۰	فیلترگذاری	مترمکعب			
۱۱	احداث خاکریزهای حفاظتی	مترمکعب			
۱۲	تخلیه دوره‌ای رسوبات، عمل‌آوری و انتقال	مترمکعب			
۱۳	تعمیر و نگهداری و بهره‌برداری	سرجمع			
۱۴	احداث راه دسترسی	متر			
۱۵	سایر موارد				
	عملیات انحراف، احداث پل ارتباطی، اقدامات ساماندهی و غیره	سرجمع			
				جمع آیتم‌ها	
				موارد پیش‌بینی نشده (درصد)	
				جمع مبالغ	
				جمع با احتساب ضریب بالاسری	
				جمع با احتساب ضریب منطقه‌ای	
				تجهیز و برچیدن کارگاه (درصد)	
				جمع کل هزینه طرح به ریال (C)	

۴-۳-۱-۲- تعیین منافع یا درآمد طرح

مبنای تعیین منافع طرح در سدهای رسوبگیر، همان‌طوری‌که در مورد هزینه‌ها عنوان گردید، استفاده از دستورالعمل‌های مرتبط نظیر فهارس‌بهای واحد عملیات سدسازی، آبیاری و زهکشی و موارد مشابه می‌باشد. در جدول (۴-۲۳) عناوین آیتم‌های مرتبط با ارزیابی منافع یا درآمد طرح و روش ارزیابی آن‌ها ارائه شده است.

مطابق جدول مزبور، آیتم ۱ معرف آن است که با احداث سد و تله‌اندازی بار رسوبی معادل حجم سد رسوبگیر و حجم ناشی از تخلیه دوره‌ای رسوب[1]، ظرفیت مفید سد مخزنی در چرخه بهره‌برداری قرار می‌گیرد که به عنوان بخشی از منافع حاصله تلقی می‌شود. به عبارتی چنانچه هزینه تمام شده سد مخزنی برای هر واحد حجم مخزن برابر با C_u باشد ($Rial/m^3$)، منافع حاصل از احداث سد رسوبگیر، با رابطه زیر تعیین می‌گردد:

$$B_1 = C_u * V_{dam} / 10^9 \qquad (۴-۷۰)$$

در رابطه فوق؛ B_1: منافع حاصل از کاهش حجم رسوب ورودی به مخزن سد ذخیره‌ای (میلیارد ریال) و V_{dam}: مجموع حجم مخزن و تخلیه دوره‌ای رسوب برجسب (m^3) می‌باشد. در یک گزارش بانک جهانی، هزینه احداث سد مخزنی برای هرمترمکعب حجم مخزن معادل $C_u = 0.2\$/m^3$ گزارش شده است [۱۱۰]. برای سد رسوبگیر فرضی به ظرفیت یک میلیون مترمکعب، منافع حاصل از حفظ ظرفیت مفید مخزن در مقابل انباشت رسوب از رابطه (۴-۷۰) برابر با ۲۰ میلیارد ریال یا ۲ میلیارد تومان می‌باشد:

$$B_1 = 0.2 * 10^6 * 10^5 / 10^9 = 20$$

در این ارزیابی، قیمت ارز 10^5 ریال به ازای هر دلار فرض شده است. بدیهی است با تخلیه دوره‌ای (لازم به ذکر است منظور از تخلیه دوره‌ای، برداشت رسوب از مخزن به روش مکانیکی و انتقال آن به خارج از محدوده سد می‌باشد و شامل آن قسمت از رسوبی که در اثر رهاسازی به پایاب، مجددا وارد مخزن سد ذخیره‌ای می‌شود، نمی‌گردد) و حفظ ظرفیت سد رسوبگیر، حجم بیش‌تری از مخزن سد ذخیره‌ای می‌تواند از خطر انباشت رسوب محفوظ بماند (به عبارتی تخلیه دوره‌ای رسوب تاثیر تجمعی داشته و هر بار تخلیه به‌معنای حفظ مقدار بیش‌تری از حجم مفید مخزن ذخیره‌ای، تلقی می‌شود) که به عنوان منافع حاصل از کنترل رسوب ورودی به مخزن، تلقی و از رابطه زیر قابل ارزیابی است:

$$B_d = C_u * nV_d / 10^9 \qquad (۴-۷۱)$$

در این رابطه؛ B_d: منافع حاصل از تخلیه دوره‌ای رسوبات (میلیارد ریال)، V_d: متوسط حجم رسوب تخلیه شده سالیانه از مخزن سد رسوبگیر (m^3) و n: تعداد سال می‌باشد. مقادیر B_1 و B_d به آیتم شماره ۱ در جدول (۴-۲۳) تعلق دارند.

---

1 - Excavation

بدیهی است تخلیه دوره‌ای رسوبات، علاوه بر منافع ناشی از حفظ ظرفیت مخزن ذخیره‌ای، به دلیل امکان عمل‌آوری و فروش مصالح شن و ماسه، به عنوان بخشی از درآمد طرح قلمداد می‌شود. در جدول (۴-۲۵) نمونه‌ای از برآورد هزینه تخلیه و عمل‌آوری و درآمد حاصل از فروش مصالح شن و ماسه، برای یک سد رسوبگیر مفروض معرفی شده است. مطابق جدول (۴-۲۵) ارزش واحد شن و ماسه استحصالی معادل ۲۰۴۵۰۰ $rial/m^3$ و درآمد سالیانه آن برای این مثال موردی ۶۱/۳۵ میلیارد ریال می‌باشد که به آیتم شماره ۲ در جدول (۴-۲۴) تعلق دارند.

آیتم ۳ جدول (۴-۲۴) را می‌توان از جمله منافع غیرمستقیم احداث سدهای رسوبگیر، قلمداد نمود. سدهای رسوبگیر به‌دلیل افزایش محسوس مقطع جریان در بازه انباشت رسوب، نوعا دارای اثرات تسکینی بر سیلاب می‌باشند. لیکن به‌دلیل حجم نهشته‌های رسوبی، طبعا میزان تاثیر آن در مقایسه با سدهای تاخیری که با هدف اختصاص حجم مشخصی برای تسکین سیلاب احداث می‌گردند، کم‌تر است. به عبارتی، سدهای رسوبگیر علاوه بر تله‌اندازی رسوب، قادر به تسکین نسبی اوج سیلاب بوده و به تبع آن، موجبات کاهش خسارت را فراهم می‌آورند که به عنوان بخشی از منافع غیر مستقیم حاصل از احداث سد تلقی می‌شود. در جدول (۴-۲۶) نمونه برآورد خسارت و منافع حاصل از تسکین سیلاب ارائه شده است.

جدول ۴-۲۴- آیتم‌های موردنیاز برای ارزیابی منافع یا درآمد حاصل از احداث سد رسوبگیر

شماره آیتم	شرح	واحد	مقدار	بهای واحد به ریال	بهای کل به ریال
۱	کاهش حجم رسوب ورودی به مخزن سد ذخیره‌ای یا حفظ ظرفیت مفید مخزن سد	مترمکعب		قیمت تمام شده یک واحد حجم مخزن ذخیره‌ای	
۲	استحصال شن و ماسه و فروش حاصل از تخلیه و عمل‌آوری دوره‌ای رسوبات برای مصارف مختلف عمرانی، ساختمانی و صنعتی (پس از کسر هزینه‌های تخلیه و عمل‌آوری)	مترمکعب			
۳	منافع حاصل از استهلاک نسبی اوج سیلاب و کاهش خسارت سیل (منافع غیر مستقیم)	سرجمع			
				جمع منافع حاصله به ریال	

جدول ۴-۲۵- برآورد هزینه برداشت مصالح و ارزش شن و ماسه استحصالی از سد رسوبگیر مفروض

۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
Vdam	Vo	Vd	UC	(3*4) C	Gs	(3*^) B	(7/5) B/C
حجم مخزن سد رسوبگیر	حجم لایروبی سالیانه	حجم شن و ماسه استحصالی سالیانه	هزینه واحد لایروبی مصالح	هزینه سالیانه لایروبی مصالح	ارزش واحد شن و ماسه استحصالی از سد	ارزش سالیانه شن و ماسه استحصالی از سد	نسبت سود به هزینه
m3	m3/yr	m3/yr	(rial/m3)	(10^9rial/yr)	(rial/m3)	(10^9rial/yr)	
۱۰^۶	۴۵۰۰۰۰	۳۰۰۰۰۰	۷۸۱۰۰	۳۵/۱۵	۲۰۴۵۰۰	۶۱/۳۵	۱/۷۵
توضیحات: هزینه تخلیه مصالح و ارزش شن و ماسه بر اساس فهرست‌بهای آبیاری و زهکشی سال ۱۳۹۷							

مطابق مندرجات جدول (۴-۲۶)، با تسکین سیلاب‌ها، متوسط خسارت وارده سالیانه از ۱۲۷۷/۱ میلیون ریال به ۸۵۰/۲ میلیون ریال کاهش یافته و منافع حاصله سالیانه، معادل ۴۲۶/۹ میلیون ریال خواهد بود که به آیتم شماره ۳ در جدول (۴-۲۴) تعلق دارد.

جدول ۴-۲۶- نمونه‌ای از ارزیابی خسارت سیلاب و تعیین متوسط خسارت سالیانه در شرایط طبیعی و حالت کنترل سیل و میزان منافع حاصل از کنترل سیلاب برای یک رودخانه مفروض [۷۴]

دوره بازگشت سیلاب (سال)	۱/۵	۲	۲/۳	۵	۱۰	۲۵	۱۰۰	۲۰۰
خسارت سیلاب در حالت طبیعی	۰	۱۴۰۰	۱۵۷۰	۲۳۴۰	۲۹۳۰	۳۵۳۰	۴۹۹۰	۴۸۵۰
میانگین خسارت سیلاب در حالت طبیعی	۱۲۷۷۰۱							
خسارت سیلاب در حالت کنترل	۰	۱۴۰۰	۱۴۰۰	۱۴۰۰	۱۴۰۰	۱۴۰۰	۳۰۹۰	۳۴۵۰
میانگین خسارت سالیانه در حالت کنترل	۸۵۰۱۲							
منافع حاصله سالیانه در حالت کنترل	۴۲۶/۹							
توضیح: ارقام به میلیون ریال می‌باشد								

۴-۳-۲- تهیه نقشه‌های اجرایی

با نهایی شدن هزینه طرح و مشخصات هندسی سازه سد، تهیه نقشه‌های اجرایی و مشخصات فنی خصوصی و اجزای مختلف آن محقق می‌گردد. مجموعه آلبوم نقشه‌های اجرایی، شامل موارد زیر می‌باشد:

- تهیه نقشه‌های اجرایی سازه سد، مشتمل بر جزییات فونداسیون، بدنه سازه، موقعیت و ابعاد مجاری تخلیه جریان برای حالت شکاف‌دار یا روزنه‌دار و اجزای سرریز سد
- تهیه نقشه‌های اجرایی حوضچه آرامش، مشتمل بر ابعاد و مشخصات لایه حفاظتی و لایه فیلتر، جزییات سازه‌ای و هندسی دیواره‌های حفاظتی، اجزای سازه کف‌بند یا پاشنه و پوشش حفاظتی پایین‌دست
- تهیه نقشه‌های اجرایی محل‌های مسکونی برای دوره ساخت و دفاتر پیمانکار و کارفرما و مشاور
- تهیه نقشه‌های اجرایی راه‌های دسترسی
- تهیه نقشه‌های اجرایی برای خاکریزهای حفاظتی اطراف مخزن (در صورت نیاز)
- تهیه نقشه فنس‌کشی و جزییات فنی مربوطه برای ایمن‌سازی حریم مخزن و سازه سد
- تهیه نقشه فضای تخلیه و دپوی مصالح حاصل از لایروبی مخزن سد رسوبگیر
- تهیه نقشه محل بازیافت و عمل‌آوری رسوبات استحصالی از مخزن برای مصارف مختلف
- تهیه نقشه‌های اجرایی برای انحراف جریان، شامل فرازبند و نشیب‌بند و کانال یا مجرای انحراف جریان عادی و سیلاب
- سایر موارد نظیر ضرورت احداث پل دسترسی به طرفین رودخانه و محدوده سد و تهیه نقشه‌های اجرایی مربوطه

لازم است نقشه‌های اجرایی و مشخصات فنی خصوصی برای سازه سد و اجزای مختلف آن، مطابق ضوابط موجود (ضابطه شماره ۲۵۶ سازمان برنامه و بودجه کشور با عنوان استانداردهای نقشه‌کشی ساختمانی و ضابطه شماره ۳۹۹ آن سازمان با عنوان مشخصات فنی عمومی سدها) انجام گیرد.

۴-۴- ارزیابی اجتماعی (در سطح مردم، کارشناسان و مدیران) برای کاربری مواد نهشته رسوبی در مخزن سدهای رسوبگیر

مصالح رودخانه‌ای به دلیل داشتن دانه‌بندی مناسب و به عنوان یک منبع طبیعی تجدیدشونده و پایدار، دارای کاربردهای متعددی می‌باشند.کاربرد مصالح رودخانه‌ای در ساخت بلوک‌های سیمانی مورد استفاده در ساختمان‌ها، پوشش سنگفرش، سرامیک کف ساختمان، پانل‌ها و استفاده از مصالح رودخانه‌ای در کارهای مختلف عمرانی (راه‌سازی، احداث خاکریز، تسطیح اراضی و غیره) از اقبال زیادی برخوردار است. به علاوه رسوبات رودخانه‌ای به عنوان سرمنشای شکل‌گیری سیلابدشت‌ها و جلگه‌ها، منابع ارزنده‌ای برای توسعه و تقویت اراضی زراعی و باغی و احیای اراضی کوهپایه‌ای تلقی می‌شود. در عین حال، امروزه ملاحظات زیست‌محیطی و ملزومات حفاظت از توازن مورفولوژیک و اکوسیستم رودخانه‌ها، امکان برداشت مستقیم از مصالح رودخانه‌ای را با محدودیت زیادی مواجه نموده است. از طرفی رشد شتابنده تقاضا برای پاسخ‌گویی به نیازهای متنوع عمرانی، ضرورت مهار رسوب، ممانعت از انتقال آن به مخازن سدهای ذخیره‌ای، کاهش ناهنجاری‌های مورفولوژیک و حفاظت زیرساخت‌ها از خطرات انبوه رسوبات حمل شده توسط سیلاب‌ها، استفاده از مصالح انباشته شده در سدهای رسوبگیر به عنوان بخشی از مدیریت جامع رسوب و جایگزین برداشت مستقیم از رودخانه‌ها را الزام‌آور نموده است. [۴۰]

با عنایت به جایگاه و اهمیت ذخایر رسوبی سدها به عنوان منابع تجدیدشونده و پایدار، انجام نظرسنجی و ارزیابی اجتماعی در سطح مردم، نهادهای دولتی ذی‌ربط، واحدهای تولیدی و کارشناسان و مدیران و به ویژه فراهم آوردن بستر لازم برای بهره‌برداری توسط بخش خصوصی، راهکار مناسبی در راستای مدیریت آورد رسوبی رودخانه‌ها و جلوگیری از انتقال آن به مخازن سدها تلقی می‌شود.

در ارزیابی اجتماعی برای شناسایی انواع کاربری مواد نهشته رسوبی در مخازن سدهای رسوبگیر، موضوعات زیر می‌تواند مد نظر قرارگیرد:

- ارزیابی وضعیت فعلی برداشت مصالح رودخانه‌ای در محدوده مطالعاتی و موارد مصرف، میزان برداشت و محدودیت‌های فنی و زیست‌محیطی
- برداشت مصالح کوهی و جایگاه آن در تامین نیازهای عمرانی منطقه، در مقایسه با مصالح رودخانه‌ای و محاسن و معایب آن

- ارزیابی تمایل ذینفعان به استفاده از رسوب سدهای رسوبگیر، با توجه به آورد رسوب رودخانه‌های منطقه و موقعیت آن از نظر راه‌های دسترسی به مناطق مصرف و طیف مصارف مختلف عمرانی، ساختمانی و صنعتی
- بررسی امکان تشکیل گروه‌های تعاونی مردم نهاد برای مشارکت و همکاری اجتماعی در احداث سد رسوبگیر و بهره‌برداری از رسوبات سد، مطابق مقررات تنظیمی (بخش خصوصی)
- بررسی شعاع گسترش امکان استفاده از مصالح سدهای رسوبگیر در منطقه (حوزه بهره‌برداری) با توجه به ملاحظات اقتصادی و راه‌های دسترسی
- نظرسنجی از نهادهای دولتی (فرمانداری، راه و ترابری، صنعت و معدن، امور آب، محیط‌زیست، منابع طبیعی و آبخیزداری، آزمایشگاه ژئوتکنیک و مصالح ساختمانی و سایر موارد)
- نظرسنجی از واحدهای تولیدی (کارگاه‌های قیر و آسفالت، آجرسازی، بلوک و موزاییک‌سازی، تولید سیمان و بتن آماده، معدن شن و ماسه) و همچنین پیمانکاران و مهندسین مشاور محلی

تحقق موارد فوق را می‌توان در قالب فرم نظرسنجی اجتماعی ارائه شده در جدول (۴-۲۷) عنوان نمود:

جدول ۴-۲۷- فرم نظرسنجی اجتماعی امکان استفاده از رسوب سدهای رسوبگیر

بسمه تعالی

شرکت یا سازمان متولی

فرم پرسشنامه نظرسنجی اجتماعی امکان استفاده از رسوب سدهای رسوبگیر

نام حوضه آبریز:	نام رودخانه:	مختصات مکانی:	عرض جغرافیایی:	طول جغرافیایی:	ارتفاع:

۱	نظرسنجی از نهادهای دولتی، پیمانکاران و مشاورین و کارشناسان
۲	نظرسنجی از اهالی محل، صاحبان کارگاه های تولید شن و ماسه (معادن کوهی و رودخانه ای)، و مصالح ساختمانی و صنعتی

مشخصات مخاطب(پاسخ دهنده):

نام و نام خانوادگی :	نام نهاد دولتی یا خصوصی :	نشانی :
	نام واحد تولیدی :	نشانی :

۱ استفاده از مصالح رودخانه های منطقه در شرایط فعلی

الف - برداشت مصالح از بستر و حواشی رودخانه :

نام رودخانه و محل برداشت : | میزان برداشت سالیانه(تن) :

هزینه تولید بازای هر تن (ریال) :

موارد مصرف :	راهسازی	مصارف ساختمانی	احداث خاکریز	احیای اراضی زراعی	سایر موارد(قید شود)		

قیمت خرید مصالح بازای (یک تن / یک متر مکعب / یک کپرسی) : ریال / تومان : | فاصله تهیه مصالح از محل تولید | کیلومتر :

ب - برداشت مصالح کوهی در منطقه:

نام منطقه و محل برداشت : | میزان برداشت سالیانه(تن) :

هزینه تولید بازای هر تن (ریال) :

موارد مصرف :	راهسازی	مصارف ساختمانی	احداث خاکریز	احیای اراضی زراعی	سایر موارد(قید شود)		

قیمت خرید مصالح بازای (یک تن / یک متر مکعب / یک کپرسی) : ریال / تومان : | فاصله تهیه مصالح از محل تولید | کیلومتر :

۲ موارد استفاده از رسوب سدهای رسوبگیر :

الف - استفاده های عمرانی و کشاورزی

		راهسازی	مصارف ساختمانی	احداث خاکریز	تقویت اراضی زراعی موجود	ایجاد اراضی زراعی جدید		سایر موارد(قید شود)		
						در حاشیه رودخانه	در کوهپایه ها			
میزان تمایل به استفاده از رسوب سدها	زیاد									
	متوسط									
	کم									

ب - استفاده در تولید مصالح ساختمانی

		بلوک سیمانی	سرامیک کف پوش	پانل ها و پوشش های دیواری	بلوک های پوشش سنگفرش	تیرچه ساختمانی	سایر موارد(قید شود)		
میزان تمایل به استفاده از رسوب سدها	زیاد								
	متوسط								
	کم								

۳ درج دلایل تمایل و یا عدم تمایل به استفاده از رسوب سدهای رسوبگیر :

۴ پیشنهادات برای استفاده از روشهای عمل آوری بهینه وتجهیزات مناسب در کارگاه :

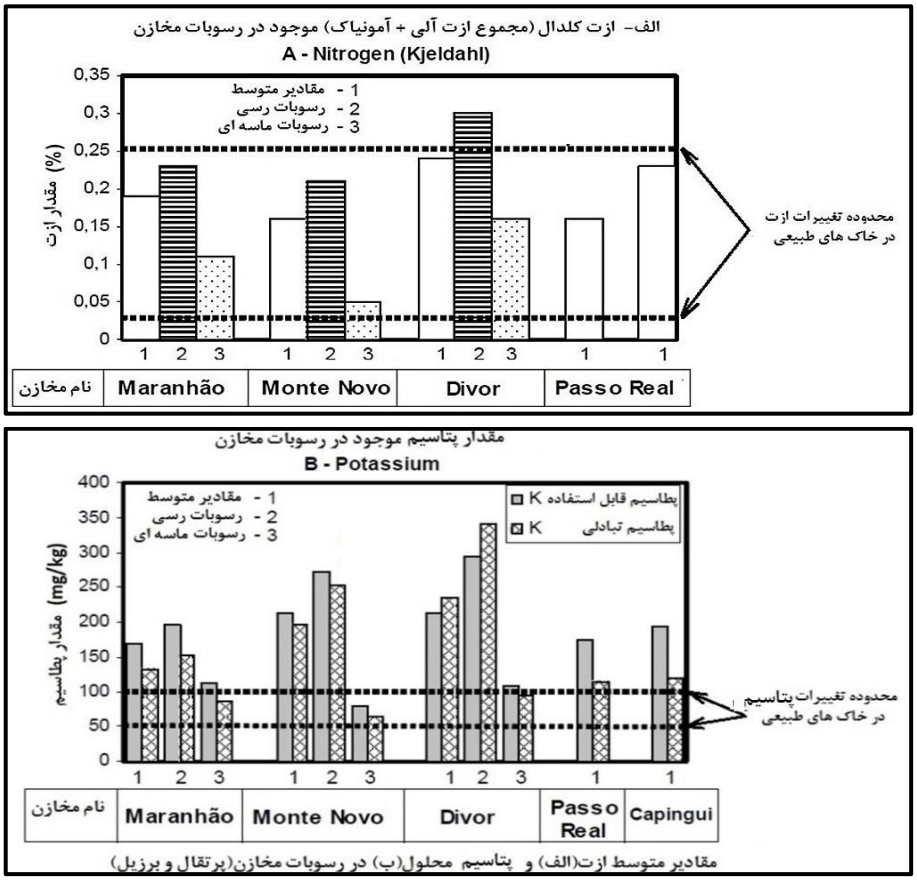
۵ نظرات و پیشنهادات در مورد تشکیل گروه تعاونی مردم نهاد برای تقبل بهره برداری خصوصی از مصالح سد طبق موازین قانونی قید شود:

۶ مشخصات کارشناس تنظیم کننده پرسشنامه :

نام و نام خانوادگی : | سمت : | تاریخ تنظیم :

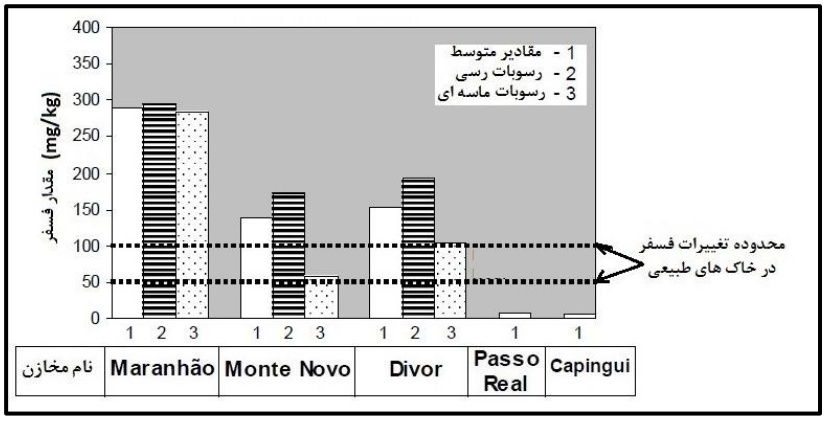
۴-۵- ارزیابی کیفیت مواد نهشته رسوبی برای مصارف مختلف (کشاورزی، ساختمانی و راه‌سازی)

رسوبات مخازن، همان‌طوری‌که در مبحث پیشین عنوان گردید، علاوه بر کاربردهای مختلف عمرانی، صنعتی و ساختمانی، به دلیل دارا بودن عناصر مغذی، در تقویت و توسعه خاک اراضی زراعی نیز کاربرد وسیعی دارند (لازم به ذکر است در مواردی رسوبات می‌تواند حاوی عناصر مضر نظیر فلزات سنگین و سمی باشد). این مواد تمایل شدیدی به چسبیدن به رسوبات ریزدانه داشته و با تغییر PH آب، مجددا وارد جریان آب می‌شوند (از این‌رو در استفاده از مصالح رودخانه‌ای، انجام آنالیز شیمیایی و اطمینان از کیفیت مورد نظر ضروری است). فونسکا و همکاران[1] در یک بررسی میدانی بر روی پنج مخزن متعلق به کشورهای پرتقال و برزیل، کیفیت رسوبات را برای استفاده‌های زراعی مورد ارزیابی قرار داده‌اند[۱۰۸]. مطابق این بررسی‌ها، رسوبات مخازن عموما به دلیل داشتن منشای فرسایش خاک طبیعی سطح حوضه آبریز، دارای عناصر مغذی لازم برای تقویت خاک و توسعه اراضی زراعی می‌باشند. شکل‌های (۴-۲۰) و (۴-۲۱) نتایج آنالیز نمونه‌های رسوب مخازن پنج‌گانه از نظر وجود عناصر مغذی (ازت - پتاسیم - فسفر) را که در اصطلاح صنعت کود شیمیایی به NPK معروف است، نشان می‌دهد.



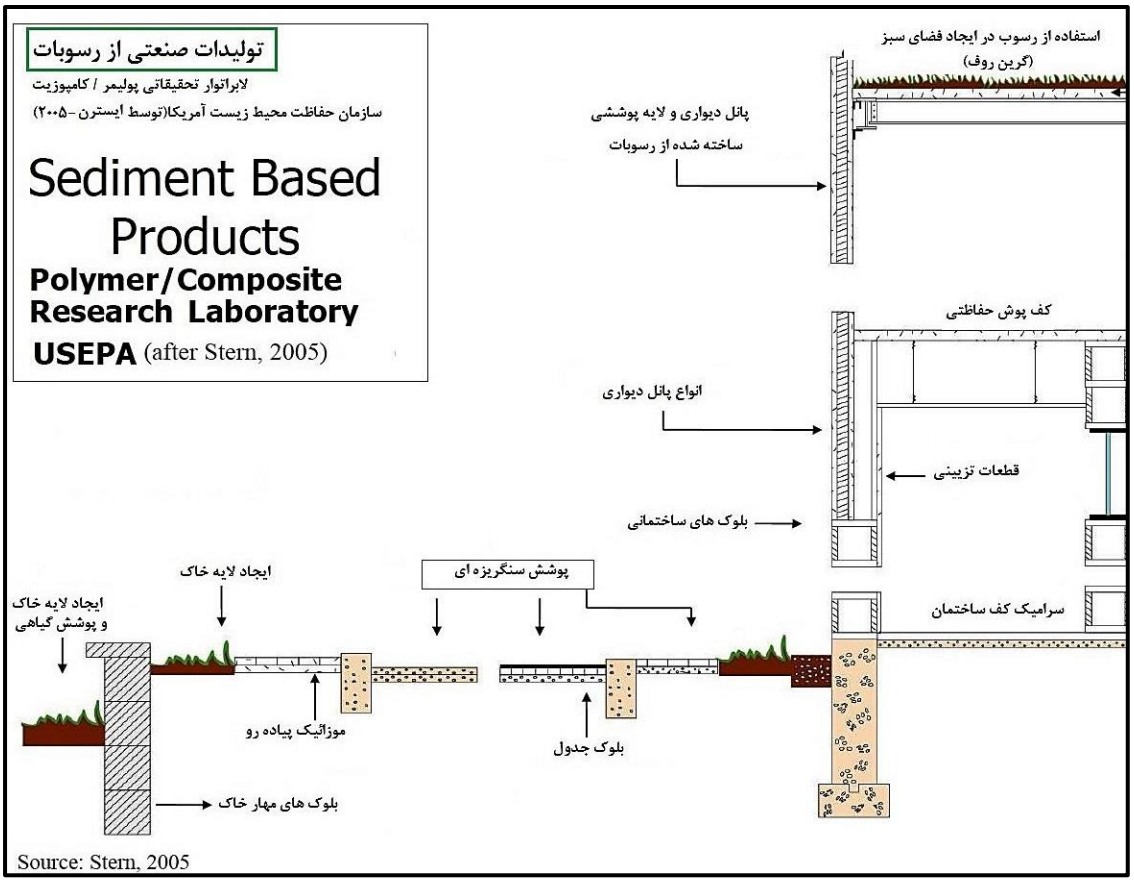
شکل ۴-۲۰- نمودار تغییرات مقدار ازت و پتاس در رسوبات مخازن (مخازن پرتقال و برزیل- [۱۰۸])

1 - Fonseca et al, 2000



شکل ۴-۲۱- نمودار تغییرات مقدار فسفر موجود در رسوبات مخازن (مخازن پرتقال و برزیل- [۱۰۸])

در یک گزارش ارایه شده توسط سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا نیز کاربردهای متنوع مواد رسوبی مخازن در تولید صنعتی مصالح، نظیر سرامیک، بلوک سیمانی، پانل‌ها، پوشش سنگفرش و همچنین خاک زراعی و نظایر آن معرفی گردیده که جزییات آن در شکل (۴-۲۲) نشان داده شده است. [۱۰۹]



شکل ۴-۲۲- مواردی از عمل‌آوری رسوب مخازن و استفاده از آن در تولید مصالح مختلف ساختمانی و تقویت اراضی [۱۰۹]

یک گزارش نظرسنجی اجتماعی در شبکه رودخانه‌ای [۳۱]، دیدگاه‌های مردم و نهادهای مختلف خصوصی و دولتی را در مورد امکان استفاده از نهشته‌های سدهای رسوبگیر، جایگزین برداشت مستقیم از رودخانه‌ها، برای کاربردهای

مختلف بازگو می‌نماید. خلاصه نتایج این نظرسنجی که در جدول (۴-۲۸) مندرج است، بیانگر مقبولیت استفاده از مصالح برای کاربرد در عرصه‌های مختلف کشاورزی، صنعتی و ساختمانی می‌باشد.

جدول ۴-۲۸- بعضی نتایج نظرسنجی اجتماعی در خصوص زمینه‌های امکان استفاده از رسوب سدهای رسوبگیر [۳۱]

سمت	تاریخ تکمیل	نقطه نظرات در مورد کیفیت و استفاده از مصالح رودخانه‌ای استحصالی از سد رسوبگیر	ملاحظات
کارشناس آب و خاک (جهاد کشاورزی)	۱۳۹۶/۰۶/۱۱	رسوبات سدهای رسوبگیر می‌تواند جهت اصلاح و بهسازی خاک‌های با بافت سبک در کشاورزی استفاده شود و این امر سبب بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک می‌شود و ظرفیت نگهداری رطوبت خاک را تقویت می‌نماید.	مصارف کشاورزی
عضو شورای روستا	۱۳۹۶/۰۶/۰۸	رسوبات سد را می‌توان برای اصلاح شیب اراضی کشاورزی استفاده نمود زیرا به طور سنتی مردم محلی زمین‌های خود را در جهت موازی با آب‌های سطحی شخم می‌زنند و مقدار هدررفت مواد معدنی خاک، بالا بوده و زمین‌ها خیلی زود فرسایش می‌یابند.	
رئیس اداره فنی راه و ترابری استان	۱۳۹۶/۰۶/۰۸	در راه‌سازی نیاز به مصالح رودخانه‌ای زیاد می‌باشد با عنایت به جمیع مزایا استفاده از رسوب سدهای رسوبگیر برای استان، لازم می‌باشد.	مصارف راهسازی
مدیر پروژه‌های راهسازی شهرستان سروآباد	۱۳۹۶/۰۶/۱۱	این اداره کل در راستای پروژه‌های راهسازی اعم از روستایی و بین شهری با توجه به فقر مصالح منطقه نیاز به استفاده از مصالح و رسوبات حاصل از سد رسوبگیر را دارد و استفاده از آن در جهت بهبود و ارتقای کیفی عملیات اجرایی موثر می‌باشد.	
سر ناظر راه‌های روستایی مریوان	۱۳۹۶/۰۶/۰۸	به دلیل استفاده آسان از این مصالح و جواب‌دهی قابل قبول این مصالح در آزمایش‌های شیمیایی استفاده از آن‌ها در عملیات راهسازی طرفدار بیش‌تری دارد.	مصارف ساختمانی
کارشناس معدن و مسوول فنی معدن	۱۳۹۶/۰۶/۱۱	مصالح رودخانه‌ای به دلیل دانه‌بندی مناسب و گردشدگی خوب جهت استفاده در پروژه‌های عمرانی خصوصا تولید بتن، مناسب می‌باشند.	
صاحب کارگاه قیر، بلوک و موزاییک‌سازی	۱۳۹۶/۰۶/۱۲	مصالح رودخانه‌ای، چسبندگی بالاتری برای ساختن بتن دارند و تمیزتر هستند.	
مسوول سابق آزمایشگاه خاک و بتن پروژه‌های روستایی شهرستان مریوان	۱۳۹۶/۰۶/۱۲	مصالح رودخانه‌ای به دلیل مقاومت بالا و موفقیت در آزمایش‌های شیمیایی به نسبت بیش‌تر از مصالح کوهی در ساخت بتن کاربرد دارند اما نسبت به مصالح کوهی و شکسته شده، آب بیش‌تری در تولید بتن مصرف می‌کنند.	
صاحب کارگاه موزاییک‌سازی	۱۳۹۶/۰۶/۰۸	به دلیل مقاومت مصالح رودخانه‌ای در برابر یخزدگی و سرمای زمستان برای ساخت موزاییک بسیار مناسب می‌باشند.	مصارف صنعتی
معاون محیط‌زیست	۱۳۹۶/۰۶/۱۰	در صورت عدم استفاده از سدهای رسوب‌گیر در سراب سد پر شده، عمر مفید آن کاهش می‌یابد و در نهایت هزینه تمام شده هر لیتر آب افزایش می‌یابد. لذا لازم و ضروری است با استفاده از عملیات مکانیکی و بیولوژیکی نسبت به تخلیه و لایروبی مخزن سد اقدام شود. روش‌های عمل‌آوری بهینه: بهتر است از وسایل و تجهیزات به روز که کم‌ترین بار آلودگی و تخریب زیست‌محیطی را داشته باشد، استفاده شود.	ملاحظات زیست‌محیطی و سایر موارد
کارشناس آبخیزداری و GIS	۱۳۹۶/۰۶/۰۸	در صورت برداشت رسوبات، عمر سازه افزایش یافته و برای سال‌های متوالی در به دام انداختن رسوبات نفش خواهد داشت. برداشت رسوبات به نحوی انجام شود که در مورفولوژی رودخانه تغییری ایجاد نشود که خللی در اکوسیستم ایجاد نگردد.	
کشاورز	۱۳۹۶/۰۶/۱۰	با توجه به کم شدن رسوبات رودخانه‌ها در سال‌های اخیر و سخت‌گیری‌های محیط زیست و منابع طبیعی در مورد برداشت شن و ماسه از بستر و کنار رودخانه، استفاده از رسوبات یک سد رسوب‌گیر در منطقه در صورت داشتن قیمت مناسب بسیار عالی می‌باشد.	
فوق لیسانس عمران	۱۳۹۶/۰۶/۱۳	با توجه به شیب بیش‌تر از ۳۰ درجه حوضه‌های آبریز سد داریان، نیاز مبرم به سد رسوب‌گیر می‌باشد که رسوب ناشی از آن، جایگزین مناسب برای مصالح کوهی است و در نهایت از تخریب منابع جلوگیری می‌شود.	

۴-۶- تخلیه دوره‌ای رسوبات مخزن و بهره‌برداری از مصالح برای اهداف عمرانی و زراعی و تغذیه بازه‌های پایین‌دست

احداث سدهای رسوبگیر در بالادست مخازن، از جمله اقدامات سازه‌ای پیشگیرانه موثر و کارآمدی است که امروزه در عرصه مدیریت و بهره‌برداری پایدار از منابع آب و رسوب رودخانه‌ها، از جایگاه مهمی برخوردار می‌باشد. با احداث سدهای رسوبگیر، امکان مهار بخش مهمی از بار بستر رودخانه قبل از ورود به مخزن میسر می‌گردد. در عین حال با توجه به ظرفیت محدود این‌گونه سدها، تداوم بهره‌برداری و تله‌اندازی مستمر بار رسوبی، مستلزم تخلیه دوره‌ای رسوبات می‌باشد تا ضمن استفاده از آن‌ها برای اهداف مختلف عمرانی، ساختمانی و صنعتی و کاربردهای زراعی که جزییات آن در مبحث ۴-۴ و ۴-۵ ارائه شد، حجم مخزن سد دوباره احیا و برای تله‌اندازی مجدد رسوبات بازیافت شود. تخلیه رسوبات انباشته شده در سدهای رسوبگیر[1] از جمله شیوه‌های موثر برداشت مصالح رودخانه‌ای با هدف تامین نیازهای مختلف عمرانی بوده و بخشی از ملزومات تضمین کارآیی مستمر این‌گونه سازه‌ها در برنامه مدیریت و بهره‌برداری پایدار از مخازن می‌باشد [۴۰]. در شکل (۴-۲۳) نمونه‌ای از وضعیت انباشت رسوب در یک سد رسوبگیر و انجام عملیات تخلیه برای بازیافت مجدد حجم مخزن نشان داده شده است. [۹۰]

الف- انباشت رسوب در مخزن سد رسوبگیر

ب- مخزن سد رسوبگیر در مرحله تخلیه

شکل ۴-۲۳- وضعیت انباشت رسوب در مخزن سد رسوبگیر و تخلیه آن برای بازیافت مجدد ظرفیت مخزن [۹۰]

تعیین عمر مفید یا دوره تخلیه مخزن، تابعی از نرخ آورد رسوبی رودخانه و ظرفیت تله‌اندازی می‌باشد. در جدول (۴-۲۹) نحوه تعیین مدت پرشدن مخزن سد رسوبگیر یا دوره تخلیه برای یک رودخانه مفروض ارائه شده است. مطابق جدول، آورد رسوبی سالیانه (بار بستر) معادل ۱۵۰۰۰۰ مترمکعب و برای ضریب تله‌اندازی (Te) معادل ۸۰٪ دوره تخلیه معادل ۳ سال می‌باشد.

1- Sediment excavation

جدول ۴-۲۹- نحوه تعیین عمر مفید یا دوره تخلیه مخزن سد رسوبگیر برای یک رودخانه مفروض

۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
hd	So	Lr	Br	C	QSB	Te	VOLa	Ta
ارتفاع سد	شیب رودخانه	طول مخزن	متوسط عرض مخزن	حجم مخزن	حجم بار بستر ورودی سالیانه	ضریب تله‌اندازی سالیانه	حجم بار بستر ترسیبی سالیانه	مدت پرشدن مخزن
m		m	m	m3	m3/yr	%	M3/yr	Ta
۱۰	۰/۰۰۸	۲۵۰۰	۴۵	۳۷۵۲۵۰	۱۵۰۰۰۰	۸۰	۱۲۰۰۰۰	۳/۱

در طراحی سدهای رسوبگیر، لازم است فضای مناسب کارگاه برای انباشت موقت و عمل‌آوری و عرضه رسوبات منظورگردد. نظر به این‌که شستشو و آماده‌سازی مصالح عموما با تولید پساب‌های غلیظ (در اثر جداسازی رسوبات ریزدانه) همراه می‌باشد، لذا برای اجتناب از تبعات زیست‌محیطی نامطلوب ورود پساب به رودخانه، اتخاذ تمهیدات مناسب (در نظرگرفتن حوضچه ترسیب) در مرحله طراحی باید مدنظر قرار گیرد. در عین‌حال، ذکر این نکته ضروری است که بهره‌برداران از مصالح سدهای رسوبگیر عموما به بخش خصوصی تعلق دارند و جزییات مقررات حاکم بر برداشت و عمل‌آوری، مشابه برداشت مصالح رودخانه‌ای است که معیارهای فنی و حقوقی و ملاحظات زیست‌محیطی مرتبط با موضوع در چارچوب ضوابط وزارت نیرو و قانون معادن وزارت صنعت، معدن و تجارت می‌باشد و جزییات آن در مبحث ۶-۵ (سازمان اداری و ماشین‌آلات) تصریح شده است. استحصال و عمل‌آوری و استفاده از رسوب سدهای رسوبگیر عموما محدود به دوره‌های کم آبی و جریان پایه می‌باشد که بسته به ظرفیت مخزن و برنامه تدوینی در بازه زمانی چند ماهه یا چند ساله انجام می‌گیرد. در این خصوص، مطابق ملزومات بازرسی و رفتارسنجی (مبحث ۶-۳) لازم است گزارش دوره‌ای وضعیت مخزن از نظر رسوبگذاری و اقدامات بهره‌برداری، مطابق آیتم ۱۹ فرم بازدید کارشناسی، جدول (۶-۱) محقق شود.

در صورت عدم وجود زمینه استفاده از رسوبات در صنعت و ضرورت تخلیه مخزن، لازم است در مرحله طراحی، مکان‌یابی‌های مناسبی برای دپوی ایمن مصالح در عرصه‌های طبیعی محدوده سد، مد نظر قرارگیرد. در این خصوص ملاحظات ایمنی در انتخاب ابعاد هندسی و ظرفیت انبارش رسوبات و احداث خاکریزهای حفاظتی برای تقویت پایداری مصالح دپو شده و همچنین محفوظ بودن انباشته‌های رسوبی از خطر سیلاب‌ها و رواناب‌های سطحی و نصب علائم احتیاطی، ضروری است. به‌علاوه لازم است جهت اطمینان از کیفیت مصالح و احتراز از اثرات سوء زیست‌محیطی احتمالی، آزمایشات کیفیتی از رسوبات انجام و در صورت لزوم، تمهیدات حفاظتی معمول گردد. بدیهی است با اعمال مدیریت مناسب، استقرار تدریجی پوشش گیاهی و تثبیت مصالح رسوبی را می‌توان انتظار داشت.

جنبه مهم دیگر در استفاده از رسوبات تخلیه‌شده از سدهای رسوبگیر، انتقال آن به بازه‌های پایین‌دست مخازن ذخیره‌ای و تغذیه مجدد رودخانه می‌باشد. احداث سد مخزنی و قطع تغذیه رسوبی، سرآغاز تحولات جدیدی در رفتار مورفولوژیک و ویژگی‌های زیست‌محیطی و اکوسیستم بازه‌های پایین‌دست رودخانه می‌باشد که کف‌کنی و افت بستر و

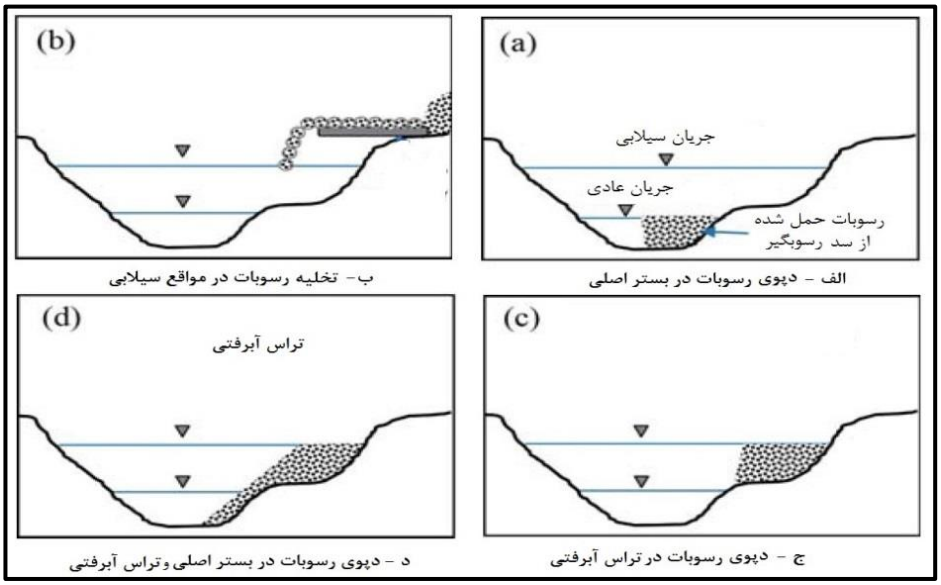
تشدید ناپایداری و فرسایش کناره‌ها و ناهنجاری‌های هندسی و تهدید زیرساخت‌ها (پل‌ها، جاده‌ها، سردهنه‌ها، مستحدثات و غیره)، ناشی از رهاسازی آب صاف[1] از مخازن را که دارای پتانسیل انتقال بالایی است، می‌توان از جمله این‌گونه پیامدها عنوان نمود. از این‌رو در نگرش جدید مدیریتی و توصیه ICOLD، امروزه به منظور حفظ توازن مورفولوژیک و تعادل زیست‌محیطی[2] انتخاب مکانیسمی که بتواند رسوبات تخلیه شده از سدهای رسوبگیر در بالادست مخزن را به پایین‌دست هدایت و رودخانه را تغذیه یا کمبود رسوب آن را ترمیم نماید[3]، از جایگاه مهمی برخوردار گردیده است [۳۹، ۴۰]. انتقال رسوبات از سدهای رسوبگیر که دارای ماهیت بار بستر بوده و عموما در کلاس شن و ماسه می‌باشند، با استفاده از ماشین‌های حمل مصالح (کمپرسی) انجام‌پذیر است. بدیهی است این فرایند، مستلزم صرف هزینه بوده و با توجه به ماهیت حفاظت رودخانه‌ای، عموما متکی به منابع ملی است. در عین‌حال به دلیل اهمیت حفظ هویت طبیعی رودخانه‌ها، لازم است در مرحله طراحی سدهای رسوبگیر برای گزینه بازیافت رسوبات مخزن، علاوه بر مصارف عمرانی و صنعتی، اختصاص بخشی از آن برای تغذیه رودخانه به عنوان راهکار مقابله با تبعات سدهای مخزنی، مدنظر قرارگیرد.

در شکل (۴-۲۴) نمونه‌ای از راهکارهای تغذیه رسوبی رودخانه توسط گیونگ اوک و همکاران[4] که از جمله الگوهای متداول در کشور ژاپن و سایر کشورها می‌باشد، ارائه شده است.[۱۱۱] مطابق شکل (۴-۲۴) دپوی رسوبات در شرایط جریان عادی در بستر اصلی رودخانه (حالت الف) و یا تخلیه مستقیم رسوبات به رودخانه در مواقع سیلابی (حالت ب) و همچنین ذخیره‌سازی در تراس آبرفتی و یا انباشت مصالح در بستر اصلی و تراس آبرفتی، قبل از وقوع سیلاب (حالت‌های ج و د)، از جمله روش‌های متداول برای تغذیه مجدد رودخانه توسط رسوبات تله‌اندازی شده در سدهای رسوبگیر می‌باشد.

از دیدگاه تخلیه و انتقال مصالح در سدهای رسوبگیر، لازم به ذکر است اغلب این سازه‌ها در بالادست مخازن ذخیره‌ای و در مسیرهای دره‌ای و کوهستانی احداث می‌گردند. از این‌رو به دلایل محدودیت راه‌های دسترسی، استفاده از ماشین‌آلات لایروبی[5] برای تخلیه مخزن متداول نبوده و برداشت و انتقال رسوبات به روش مکانیکی و با بهره‌گیری از ماشین‌آلاتی نظیر لودر و بولدزر و ماشین کمپرسی شن و ماسه[6] امکان‌پذیر می‌باشد. زمان مناسب برداشت در سدهای رسوبگیر دوره کم‌آبی (اواخر بهار و تابستان که مصادف با جریان پایه رودخانه است) بوده و در این بازه زمانی، به دلیل کاهش محسوس دبی جریان، مخزن از طریق مجاری تخلیه، زهکشی شده و با افت تراز آب، زمینه برای فعالیت

1- Sediment Starved Water/ Hungry Water
2- The Morphological Changes Mitigation
3- Or Sediment Augmentation
4 - Gyoung ock et al, 2013
5- Dredging Machine
6- Dump Truck

ماشین‌آلات جهت تخلیه و بارگیری مصالح فراهم می‌گردد. به‌علاوه وجه غالب دانه‌بندی مصالح در سدهای رسوبگیر جریانی از نوع غیرچسبنده (شن و ماسه) می‌باشدکه ماهیتا از نرخ زهکشی بالایی برخوردارند.



شکل ۴-۲۴- حالت‌های مختلف تغذیه مجدد رودخانه با استفاده از انتقال رسوب از سدهای رسوبگیر [۱۱۱]

در برنامه بهره‌برداری، برداشت مصالح از راس دلتا که دارای ضخامت کم‌تری است، آغاز گردیده و با رعایت معیارهای ایمنی، به سمت قاعده و بدنه سازه (که ضخامت رسوب بیش‌تری دارد) پیش می‌رود. همان‌طوری‌که در بالا اشاره شد، در دوره برداشت، لازم است جریان آب از مسیر مطمئن و از طریق مجاری تخلیه به خارج از مخزن هدایت شود. در شکل (۴-۲۵) نمونه‌ای از فرایند تخلیه و بازیافت مصالح در سدهای رسوبگیر نشان داده شده است. [۳۹]

شکل ۴-۲۵- نمونه‌ای از تخلیه مکانیکی و عمل‌آوری و بهره‌برداری رسوبات در سدهای رسوبگیر [۳۹]

فصل ۵

ملاحظات ساخت و اجرای سدهای رسوبگیر

نظر به جایگاه سدهای رسوبگیر در مهار بار رسوبی و تعدیل شیب و کاهش انرژی سیلاب‌ها و تضمین عملکرد مطلوب زیرساخت‌ها، در احداث این سازه‌ها ملاحظات پایداری و استحکام و حفظ یکپارچگی سد دارای اهمیت زیادی است. این سازه‌ها در برقراری شرایط مطلوب هیدرولیکی و مورفولوژیکی رودخانه نقش موثری داشته و شکست و اضمحلال آن‌ها موجبات بروز ناهنجاری‌های عدیده‌ای در مشخصه‌های هندسی و اختلال در ساختار سامانه رودخانه‌ای، تلقی می‌شود. از این‌رو اغلب از دیدگاه متخصصین، سدهای رسوبگیر در ردیف سازه‌های دایمی قرار دارند و برای تداوم عملکرد مطلوب آن‌ها، استفاده از مصالح مرغوب و شیوه ساخت مناسب، درخور توجه زیادی است [۶۱]. بدیهی است علی‌رغم یک طراحی دقیق، موفقیت یا شکست طرح سد رسوبگیر، عمیقا به مهارت و تجارب مشاور طرح و تبحر عوامل ساخت و اجرا مرتبط می‌باشد. در این خصوص لازم است ملاحظات زیر مدنظر قرارگیرد:

الف- تهیه مدارک فنی (نقشه‌های اجرایی، اسناد و مشخصات فنی خصوصی اجزای سد رسوبگیر) بخشی از فرایند طراحی است که توسط مشاور طرح (که اصطلاحا مهندس طراح اطلاق می‌گردد) باید محقق شود. بدین‌منظور در طراحی سد رسوبگیر و تهیه مدارک فنی، توجه به تجارب و توانایی‌ها در زمینه مهندسی رودخانه که دارای تجربه مطالعاتی و طراحی در مدیریت و مهار رسوب رودخانه‌ها باشد، دارای اهمیت زیادی است. واقعیت این است که تعیین ابعاد هندسی و عملکرد مطلوب سدهای رسوبگیر در گروی تحلیل کارآمد رفتار رسوب رودخانه بوده و لازم است در تیم مهندس طراح (مشاور طرح)، این قابلیت تخصصی ملحوظ گردد.

ب- با توجه به حساسیت سدهای رسوبگیر از نظر عملکرد مجاری تخلیه و سایر اجزای سازه‌ای لازم است با تدوین راهکار موثری، روابط بین ارگان نظارت و اجرا و مهندس طراح(مشاور طرح) به صراحت تعریف شده و بدین‌طریق امکان تعامل مداوم بین آن‌ها محقق شود تا ضمن حصول اهداف اساسی طراحی، هرگونه تغییر محتمل در الزامات طراحی و یا شرایط ساختگاه، بین آن‌ها مبادله گردد.

ج- دوره کم آبی (پایان فصل پرآبی و آغاز جریان‌های عادی و پایه) زمان مناسبی برای احداث سدهای رسوبگیر می‌باشد. توصیه می‌شود برنامه‌ریزی برای پیاده‌سازی نقشه‌ها و اجرای سد، به گونه‌ای تنظیم شود که از تبعات احتمالی دوره سیلابی در امان باشد. جریان‌های سیلابی عموما حامل مقادیر زیادی بار رسوبی بستر می‌باشند که احتمال تجمع آن‌ها، به خصوص با طولانی شدن دوره ساخت در بالادست فرازبند و خطر انحراف مسیر جریان و تشدید سیلاب و تهاجم انبوه مواد رسوبی به محوطه عملیاتی را در پی‌دارد و لازم است برای اجتناب از چنین مواردی، پیشاپیش تدابیر لازم برای تقویت فرازبند و هدایت جریان از مسیرهای مطمئن انجام گیرد.

با عنایت به موارد فوق، مدیریت ساخت، نظارت فنی، کنترل و تضمین کیفیت در موفقیت ساختمان هر سد رسوبگیر و کارهای جانبی آن، نقشی تعیین‌کننده دارند. در این فصل، خطوط اصلی الزامات مدیریت موفق اجرای یک سد رسوبگیر، همراه با ملاحظات مربوط به کارهای ساخت و نظارت و اجرا ارائه می‌گردد و با توجه به مشترکات آن با کارهای سدسازی، برای جزییات بیش‌تر مراجعه به کتب و نشریات موجود توصیه می‌شود.

۵-۱- برپایی کارگاه، تهیه مصالح وکنترل کیفیت

۵-۱-۱- برپایی و تجهیز کارگاه

به منظور دستیابی به اهداف اصلی تجهیز و برپایی کارگاه، تحقق موارد زیر را ضروری است:

الف- آماده‌سازی کارگاه، احداث راه‌های سرویس، تامین، تصفیه و توزیع آب مصرفی، تامین و توزیع برق، احداث محل‌های مسکونی برای کارکنان دوره ساخت، احداث و تجهیز دفاتر پیمانکار، کارفرما و مشاور، احداث و تجهیز اماکن فنی کارگاه (مثل انبارها، تعمیرگاه‌ها، نجارخانه، آهنگری، کارگاه میل‌گرد و مانند آن‌ها)

ب- مشخص نمودن محدوده رویه‌برداری، نصب تجهیزات تغلیظ یا آماده‌سازی مقدماتی مصالح ساختمانی (مانند درشت‌گیر، سنگ‌شکن اولیه و مانند آن برای منابع مصالح بتن یا عمل‌آوری خاک رس و سایر مصالح مورد نیاز)

ج- تجهیزات تولید شن و ماسه بتن یا مصالح سنگی مورد نیاز سازه سد، تجهیزات حمل بتن و سایر مصالح، تجهیزات عمل‌آوری و کوبیدن بتن یا خاک (شامل عملیات پخش، تسطیح، کوبیدن و نگهداری)، تجهیزات حفاری در زمین‌های نرم یا سنگی، تجهیزات تحکیم زمین (مانند ماشین‌های نصب میل مهار، بتن‌پاشی و نظایر آن)، تجهیزات تولید دوغاب سیمان برای عملیات تزریق، تجهیزات زهکشی

د- تجهیزات پاکسازی شیب‌ها، نصب توری حفاظتی، احداث راه‌های دسترسی، انحراف جریان آب رودخانه، نصب علایم راهنمایی داخل کارگاه و تامین روشنایی محوطه

برخی از مدارک و گواهی‌هایی که در ارتباط با اجرای اجزای مختلف پیمان یا مصالح و تجهیزات خریداری شده برای اجرای پیمان، ضرورتا باید توسط پیمانکار تهیه شده و به دستگاه نظارت یا کارفرما ارائه شوند، در هر یک از فصل‌ها و بندهای مربوط در مشخصات فنی عمومی مندرج در ضابطه شماره ۳۹۹ سازمان برنامه و بودجه کشور ذکر شده‌اند. سایر این قبیل مدارک و گواهی‌ها در مشخصات فنی‌خصوصی یا دستورالعمل‌های دستگاه نظارت، تعیین می‌شود.

۵-۱-۲- تهیه مصالح و کنترل کیفیت:

سدهای رسوبگیر رودخانه‌ها از نظر سازه‌ای در سه گروه عمده زیر قرار می‌گیرند:

- سدهای رسوبگیر از نوع سنگ و سیمان
- سدهای رسوبگیر بتنی (وزنی و مسلح)
- سدهای رسوبگیر تلفیقی (بتن و مصالح سنگی)

علاوه بر گزینه‌های سه‌گانه، استفاده از گابیون در احداث سدهای رسوبگیر متداول می‌باشد لیکن عرصه استفاده از این سازه‌ها به دلایل متعددی از جمله محدودیت ارتفاعی در آبراهه‌ها، حداکثر تا ۵ متر در پروژه‌های آبخیزداری است. به عبارتی در احداث سدهای رسوبگیر جریانی، استفاده از سازه‌های بتنی، سنگ و سیمان و تلفیقی (ترکیب سنگ و سیمان

و بتن) عمومیت دارد که دلیل آن ضمن وجود منابع طبیعی سنگ، ملاحظات معیارهای پایداری و استحکام و عمر مفید طولانی و امکان سهولت تطبیق ساختار هندسی سازه با مجاری و روزنه‌های تخلیه جریان می‌باشد.

۵-۱-۲-۱- کنترل کیفیت مصالح سنگی

مصالح سنگی به ویژه در احداث سدهای رسوبگیر سنگ و سیمان، دارای کاربرد فراوانی بوده و از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد. پارامترهای کنترل کیفی ممکن است برحسب تشخیص دستگاه نظارت تغییرکند. خواصی که مورد کنترل کیفی قرار خواهند گرفت، غالبا شامل:

- یکنواختی و همگنی بافت سنگ (عدم وجود شیار، ترک و خلل و فرج)
- پایین بودن درصد جذب آب (بین ۰/۵ تا ۳ درصد)
- مقاوم در مقابل یخزدگی (حداکثر افت وزنی ۵ درصد)
- مقاومت در برابر سایش (افت آزمایش لس آنجلس حداکثر ۱۸ درصد)
- دارای مقاومت فشاری و پایایی و دوام کافی (سنگ طبیعی ساختمانی باید دارای مقاومت فشاری و دوام کافی باشد (مقاومت فشاری نمونه استوانه‌ای که با روش C170-ASTM آزمایش شود، نباید از ۵۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع کم‌تر باشد)

علاوه بر کنترل کیفی مصالح سنگی، بررسی کیفیت شن و ماسه، آب و سیمان مورد استفاده ضروری است. به‌طورکلی مشخصات مصالح بتن شامل سیمان، آب، سنگ‌دانه (شن و ماسه) و مواد افزودنی و پزولان باید منطبق بر مفاد آیین‌نامه بتن ایران (آبا) و مشخصات آرماتور مصرفی نیز باید منطبق بر آیین‌نامه مزبور و عمل‌آوری بتن تازه باید منطبق بر فصول مرتبط با آیین‌نامه بتن ایران باشد. مشخصات آب مورد مصرف در مخلوط‌های بتن، شستشوی سنگدانه‌ها و عملیات عمل‌آوری و نگهداری بتن، باید مطابق با نشریه‌ها و آیین نامه‌های معتبر (مانند ضابطه شماره ۳۹۹ سازمان برنامه و بودجه کشور با عنوان مشخصات فنی عمومی سدها) باشد.

۵-۱-۲-۲- مصالح فیلتر

مصالح فیلتر اغلب در بستر حوضچه آرامش در سدهای رسوبگیر با هدف جلوگیری از مهاجرت ریزدانه‌ها به درون مجاری موجود در لایه آرمور و یا بلوک‌های بتنی و لایه توری سنگی استفاده می‌شود. کیفیت مصالح فیلتر مشابه سنگدانه‌ها بوده و دانه‌بندی آن نیز همان‌طوری‌که در بند «۴-۲-۳-۱- پوشش حفاظتی در حوضچه آرامش سد رسوبگیر» بیان گردید، باید به گونه‌ای باشد که اولا از شسته شدن خاک بستر به داخل مجاری و منافذ کف حوضچه جلوگیری شده و ثانیا از ایجاد فشار هیدرواستاتیکی اضافی در لایه خاک بستر، اجتناب شود.

۵-۲- اجرا و نظارت کارگاهی و کارهای پایانی

۵-۲-۱- اجرا و ساخت سد رسوبگیر

پیاده‌سازی نقشه‌ها، عملیات انحراف جریان، حفاری پی و تکیه‌گاه سد و تحکیمات، آرماتوربندی و بتن‌ریزی (برای سدهای بتنی) با هدف احداث سازه سد و اجزای آن، بخشی از عملیات اجرایی تلقی می‌شوند که ذیلا ارائه شده است:

۵-۲-۱-۱- پیاده‌سازی نقشه‌ها

نقشه‌های اجرایی و مشخصات فنی خصوصی برای سازه سد و اجزای مختلف آن، مطابق ضوابط موجود نظیر ضابطه شماره ۲۵۶ با عنوان «استانداردهای نقشه‌کشی ساختمانی» و ضابطه شماره ۳۹۹ با عنوان «مشخصات فنی عمومی سدها»، محقق می‌گردد. در مواردی، احتمال تجدید نظر در نقشه‌ها در حین اجرا ضرورت می‌یابد. این تغییرات ممکن است که ناشی از عوامل زیرباشد: [۳۲]

- یافته‌های جدید زمین‌شناسی مهندسی و رویدادهای طبیعی (زمین‌لرزه، زمین‌لغزه، سیل و غیره)
- عدم دسترسی به مصالح پیش‌بینی شده در طرح و تغییرات احتمالی در تجهیزات و نظایر آن

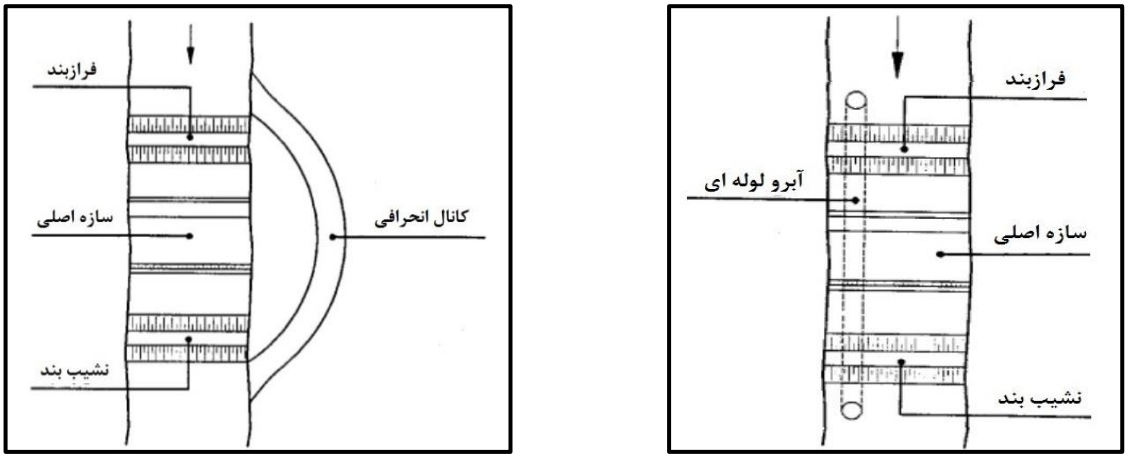
۵-۲-۱-۲- انتخاب ماشین‌آلات موردنیاز طرح

در ساخت سدهای رسوبگیر، استفاده از ماشین‌آلات سنگین نظیر سایر تاسیسات آبی متداول می‌باشد. در بعضی موارد استفاده از تجهیزات و ماشین‌آلات را می‌توان به صورت زیر عنوان نمود:

- تحقق عملیات انحراف جریان با استفاده از ماشین‌های سنگین نظیر بولدزر، بیل مکانیکی و لودر
- آماده‌سازی بستر (پی) با استفاده از بولدزر، لودر یا گریدر
- پی‌کنی و گودبرداری با استفاده از بیل مکانیکی و لودر
- آماده‌سازی منابع قرضه سنگ جهت برداشت مصالح و حمل آن با کامیون
- استفاده از دستگاه سنگ‌شکن و دانه‌بندی در محل کارگاه شن و ماسه برای تدارک دانه‌بندی مناسب طرح اختلاط بتن و تهیه مصالح فیلتر
- تراکم لایه‌های خاک با استفاده از غلطک
- استفاده از بتونیر برای آماده‌سازی مخلوط ماسه - سیمان و ساخت بتن
- استفاده از دستگاه جرثقیل یا تاورکرین جهت جابجایی آرماتورها و انجام عملیات آرماتورگذاری، بتن‌ریزی، قالب‌بندی و درزها، پخش و تسطیح مصالح فیلتر
- استفاده از ماشین‌آلات برای پرکردن و تسطیح گودال‌ها و فروچاله‌های موجود، شیب‌زنی و ایجاد راه‌های دسترسی و خاکریزها

۵-۲-۱-۳- عملیات انحراف جریان

نخستین گام قبل از اجرای سد رسوبگیر، انحراف جریان رودخانه در محل ساخت از مسیر مناسب می‌باشد. سدهای رسوبگیر عموما در بالادست مخازن سدها و در مسیرهای دره‌ای عمیق، احداث می‌شوند. در این مسیرها استفاده از شیوه آبروی لوله‌ای موقت مطابق (شکل ۵-۱- الف) متداول می‌باشد. در بسترهای عریض امکان انحراف جریان با استفاده از کانال انحراف مطابق شکل (۵-۱- ب) راهکار مناسبی است [۱۴]. نظر به این‌که کنترل رودخانه در هنگام انجام عملیات ساخت با هدف ایجاد فضای کاری محافظت شده در مقابل سیلاب‌ها و فراهم آوردن منطقه خشک برای انجام عملیات ساخت می‌باشد، طراحی سازه‌های انحراف باید با حساسیت بیش‌تری به عنوان بخشی از کل مجموعه پروژه درنظر گرفته شود. در این خصوص، لازم است ظرفیت مجرای انتقال آب (کانال یا آبروی لوله‌ای) مناسب انتخاب شود تا در صورت وقوع سیلاب ناگهانی از پر شدن سیستم انحراف و ورود آب اضافی به داخل کارگاه و بروز خسارت و توقف کار، اجتناب گردد. همچنین در برنامه‌ریزی برای عملیات انحراف جریان، توجه به رژیم هیدرولوژی دارای اهمیت است. مشخص کردن بازه‌های زمانی پرآبی و کم‌آبی و همچنین کمیت سیلاب با استناد به رژیم هیدرولوژی رودخانه، میسر می‌گردد. با ارائه برنامه زمان‌بندی مناسب جهت شروع احداث سد رسوبگیر، می‌توان از بازه زمانی که رودخانه دارای آبدهی کم‌تری است، بهره بیش‌تری برد. جزییات بیش‌تر در خصوص ملاحظات عملیات انحراف جریان در مرجع [۱۱۲] مندرج است.



الف- انحراف جریان در مسیرهای دره‌ای و کم‌عرض

ب- انحراف جریان در بسترهای عریض

شکل ۵-۱- راهکارهای انحراف موقت جریان در بسترهای عریض و کم‌عرض [۱۴]

۵-۲-۱-۴- حفاری پی سد و تکیه‌گاه‌های جناحین

۵-۲-۱-۵- آماده‌سازی پی

مراحل و الزامات آماده‌سازی پی برای شروع عملیات سازه‌ای، به طور معمول در مشخصات فنی اجرایی طرح و یا نقشه‌های اجرایی انعکاس می‌یابد. آماده‌سازی بستر (پی)، پیش از شروع عملیات بنایی یا بتن‌ریزی، باید با جدیت و دقت

لازم انجام شود. بستر آماده شده باید توسط فردی خبره با تخصص مهندسی ژئوتکنیک بازرسی شده و مشاهدات ثبت و مستند شود. دستگاه نظارت باید تناسب شرایط ژئوتکنیکی حاصل شده را با فرضیات طراحی، تایید کرده و مجوز شروع عملیات بعدی را صادر نماید. تامین شرایط مفروض در مرحله‌ی طراحی برای مقاومت مصالح پی نیز باید به تایید برسد. در شرایطی که لایه‌های نفوذپذیری از شن و ماسه یا مصالح مخلوط رودخانه‌ای در پی وجود داشته باشند، برای کنترل نشت و زه‌آب و خشکه‌اندازی و ایجاد شرایط کاری مناسب، ممکن است از تمهیداتی نظیر احداث دیواره‌آب‌بند[1] استفاده شود.

۵-۲-۱-۶- حفاری تکیه‌گاه

خاکبرداری و حفاری تکیه‌گاه نیز معمولا تا رسیدن به جنس مناسب مصالح ادامه پیدا می‌کند. در احداث سدها، خاکبرداری تکیه‌گاه با شیب مناسب و مطابق طرح، از مسائل مهم به شمار می‌رود. در زمین‌های خاکی عملیات خاکبرداری با بلدوزر و براساس سرشیب‌های پیاده شده توسط نقشه‌بردار انجام می‌شود تا شیب مناسب در خاکبرداری حاصل آید. در زمین‌های سنگی که حجم سنگ بالا است و نیاز به انفجار دارد، چاله‌های حفر شده توسط دریل واگن‌ها باید زاویه مطلوب را داشته باشد. در جاهایی که حفاری و خاکبرداری بیش‌تر به علت محدودیت‌های توپوگرافی مقدور نباشد یا هزینه بیش‌تری را موجب شود یا به هر دلیل دیگری، نخواهیم حفاری ادامه پیدا کند، با توجه به جنس و نوع مصالح ترانشه باید آن را تحکیم کرد. تحکیمات با توجه به نوع پروژه، جنس مصالح و زمین، موقعیت سنگ‌ها و واریزه‌ها انواع مختلفی دارد که شامل استفاده از بتن‌پاشی در یک یا دو لایه یا بیش‌تر، بستن مش در لایه‌های شاتکریت (بتن پاشی) توسط سیم انتظار، استفاده از راک بولت‌ها و انکرها و تزریق تحکیمی دوغاب سیمان (در صورت نیاز جهت مهار قطعات سنگی ترانشه)، استفاده از دیوار حائل بتنی یا سنگی و غیره می‌باشد.

۵-۲-۱-۷- بتن‌ریزی (سدهای بتنی)

بتن‌ریزی، از جمله مراحل مهم ساخت و اجرای شالوده و بدنه سازه سد رسوبگیر (در سدهای رسوبگیر بتنی وزنی و مسلح) تلقی می‌شود. از این‌رو لازم است دستگاه نظارت توجه ویژه‌ای برای کنترل اجرای بتن‌ریزی و تطبیق آن با معیارهای طراحی و استانداردهای موجود مبذول دارد. قبل از شروع عملیات بتن‌ریزی باید تطبیق مشخصات محل مورد نظر توسط دستگاه نظارت با نقشه‌ها، مشخصات فنی و استانداردها کنترل شود. مهم‌ترین اقدامات جهت بررسی مطابقت یا عدم آن به شرح زیر است.

- کنترل نحوه بستن آرماتورها، قطر، تعداد و فاصله آن‌ها و لقمه‌گذاری زیر و کنار آرماتورها
- تمیزی سطح بتن مگر بستر پی، قالب‌ها و میلگردها

1- Cuttoff Wall

- کنترل ابعاد فونداسیون و فواصل محور تا محور
- کنترل فاصله و قایم بودن پیچ‌های مهاری (انکر بولت‌ها) و تراز روی بتن

درآیین‌نامه بتن ایران- آبا و نشریات مرتبط سازمان برنامه و بودجه کشور به جزییات بتن‌ریزی و کیفیت آن پرداخته شده است.

۵-۲-۱-۸- درزهای ساختمانی و اجرایی

به‌منظورکنترل تغییر شکل‌های حرارتی و همچنین مسائل اجرایی، لازم است درزهای اجرایی[1]، درزهای انقباضی[2] و درزهای انبساطی[3] در بدنه سدهای رسوبگیر بتنی ایجاد گردد [۱۶،۱۴]. در آبا (ضمیمه نشریه شماره ۱۲۰) و مقررات ملی در انتهای فصل نهم (قالب‌بندی)، به موضوع درزهای ساختمانی و اجرایی پرداخته شده است.

۵-۲-۲- نظارت

به طور کلی مسوولیت نظارت بر فعالیت‌های حین اجرا که در بالا به آن‌ها اشاره شد و همچنین صدور تاییدیه‌های مربوط به اجرای عملیات پس از خاتمه کار، به عهده دستگاه نظارت است. دستگاه نظارت نیز همچون شرکت مشاور طراح باید یک شرکت مهندس مشاور تشخیص‌صلاحیت شده از سوی سازمان برنامه و بودجه کشور بوده و شرح وظایف و حدود اختیارات آن در تطابق با ضوابط و دستورالعمل‌های جاری سازمان برنامه و بودجه کشور باشد.

۵-۲-۳- کارهای پایانی

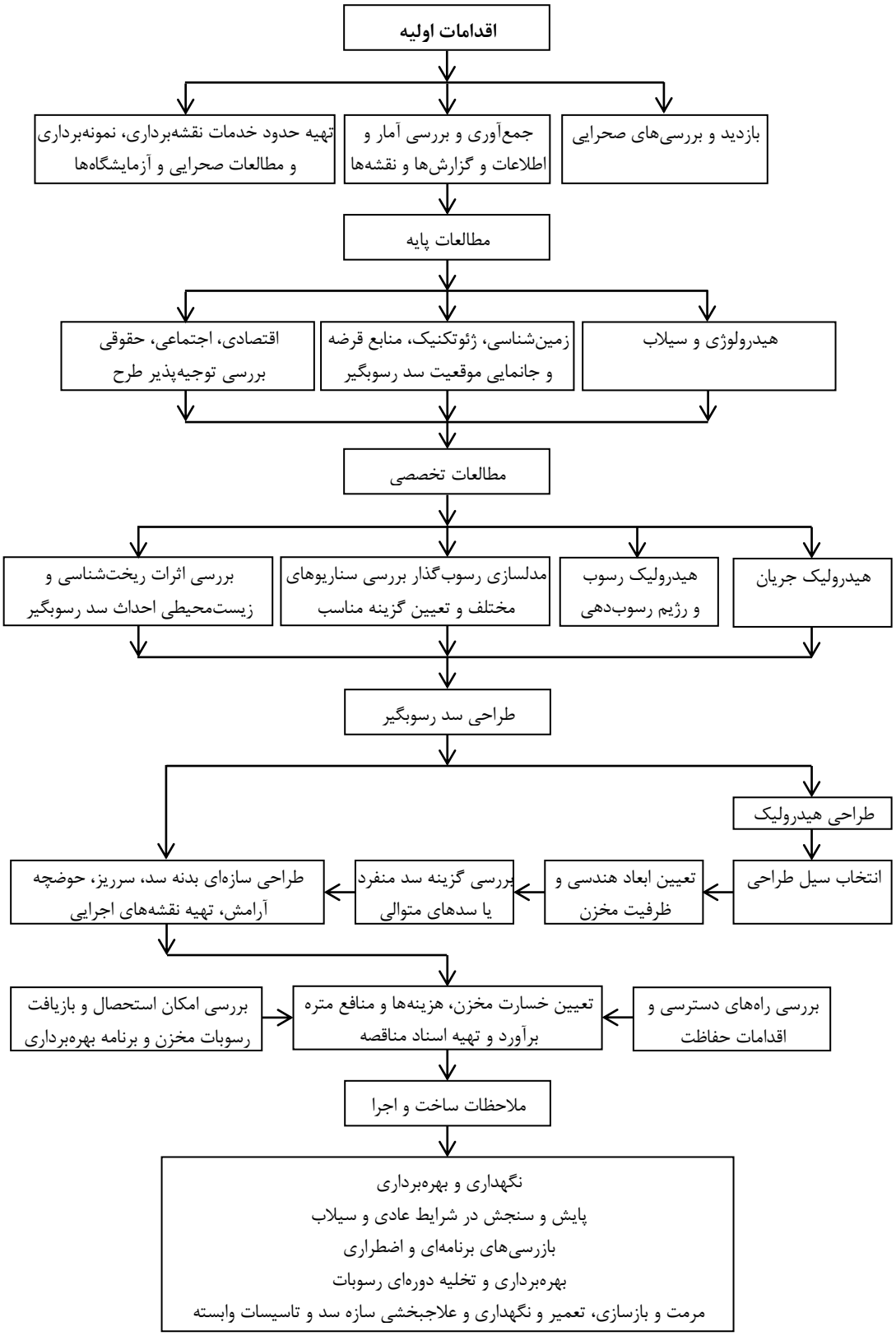
پس از خاتمه کارهای اجرایی احداث سازه سد و اجزای مختلف آن و با آغاز مرحله بهره‌برداری، لازم است اقداماتی با همکاری پیمانکار، دستگاه نظارت و مشاور انجام شود که عناوین آن‌را می‌توان به صورت زیر عنوان نمود:

گزارش ساخت و نقشه‌های چون ساخت، تحویل موقت کار، برچیدن کارگاه، رفع نواقص در دوره تضمین، تحویل قطعی کار و تهیه گزارش نهایی مرحله اجرا و ساخت.

جزییات بیش‌تر در خصوص کارهای پایانی در ضابطه شماره ۲۲۶ سازمان برنامه و بودجه کشور با عنوان «فهرست خدمات مرحله اجرای طرح‌های مهندسی رودخانه» ارائه شده است.

درنمودار ۵-۱ جایگاه ملاحظات ساخت و اجرا و ارتباط آن با مراحل مختلف مطالعات، طراحی ارائه شده است.

1- Construction Joint
2- Contraction Joint
3- Expantion Joint



نمودار ۵-۱- مراحل مطالعات، طراحی، ساخت واجرا و بهره‌برداری و نگهداری سدهای رسوبگیر

فصل ۶

پایش و سنجش و بهره‌برداری و نگهداری

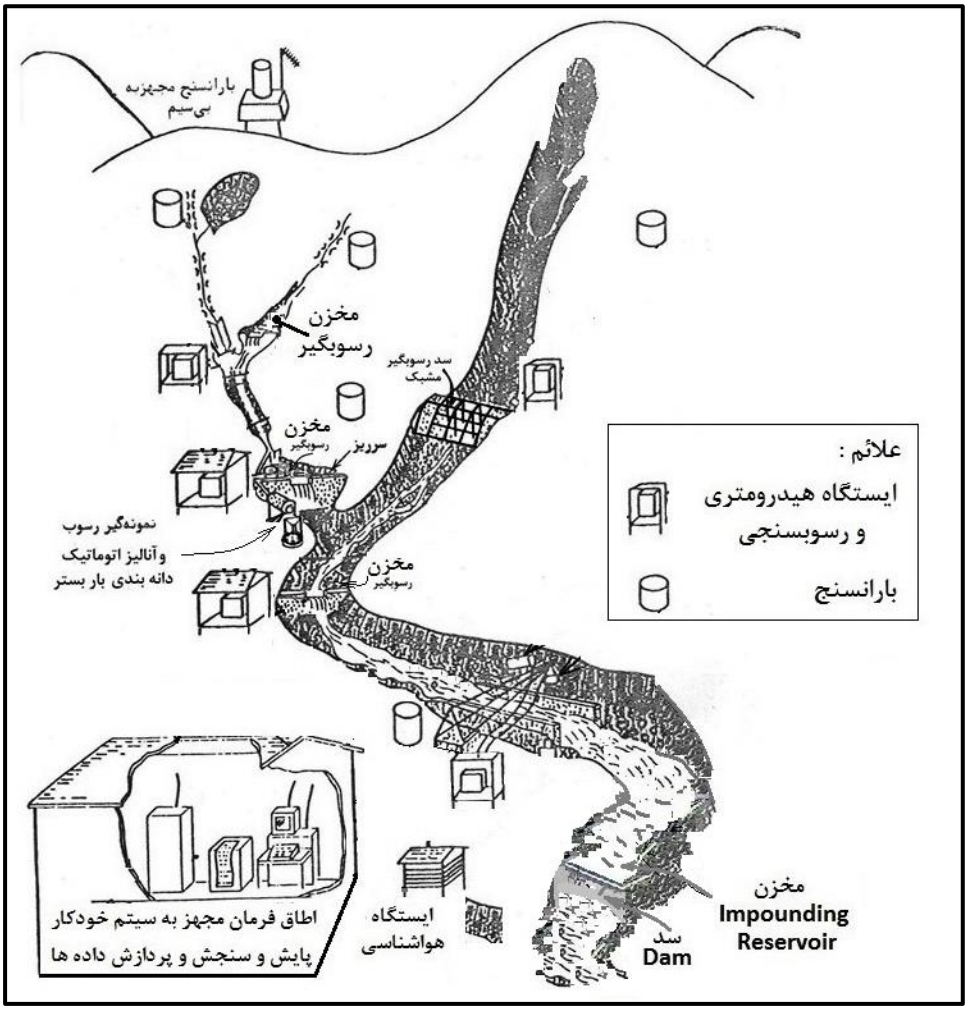
عملکرد مطلوب سدهای رسوبگیر و مدیریت نگهداری و بهره‌برداری از آن‌ها، نظیر بسیاری از سازه‌های آبی (خاکریزها، دیواره‌های سیل‌بند، بندها، سرریزها و غیره) در گروی آگاهی از رژیم هیدرولوژیکی و ویژگی‌های انتقال رسوب در شرایط عادی و سیلابی بوده و مستلزم شناسایی و پایش پدیده‌هایی نظیر زمین‌لغزه، کوه‌ریزش و وقوع جریان‌های گلی در شبکه رودخانه‌ای می‌باشد که مستقیما فرایند تله‌اندازی و رفتار هیدرولیکی سازه سد را تحت تاثیر خود قرار می‌دهد. از این‌رو تدوین برنامه پایش و سنجش داده‌های هیدرومتری و ثبت پارامترهای کلیمایی به ویژه بارش‌های رگباری و پیامدهای احتمالی وقوع سیلاب و انتقال انبوه مواد رسوبی حاصله در اتخاذ تصمیمات مدیریتی و تداوم بهره‌برداری و تضمین استحکام و پایایی سد رسوبگیر، از اهمیت زیادی برخوردار است که ذیلا به جنبه‌های مختلف آن پرداخته شده است.

۶-۱- پایش و سنجش بده جریان و رسوب و موارد کیفیتی

امروزه در راستای الزامات مدیریت پایدار، استفاده از شیوه داده‌سنجی نوین با بهره‌گیری از ابزارهای پایش و سنجش الکترونیکی، امکان ثبت هم‌زمان سه عنصر اصلی چرخه بارش - رواناب - رسوب (هیتوگرام رگبار- هیدروگراف سیلاب - هیدروگراف رسوب) را که از عوامل اصلی تاثیرگذار در عملکرد سازه‌های آبی، از جمله سدهای رسوبگیر می‌باشند، فراهم شده است. [۴۶، ۴۷]

در شکل (۶-۱) نمونه‌ای از سیستم مدرن پایش، سنجش و پردازش داده‌های هیدرومتری و کلیمایی با هدف مدیریت و بهره‌برداری و نگهداری سازه‌های کنترل رسوب و مخزن سد ارائه شده است [۳۴]. سدهای رسوبگیر دارای ظرفیت محدودی هستند و از این‌رو اغلب برای مهار بار رسوبی مطابق شکل (۶-۱)، به صورت مجموعه‌ای از سدها در شبکه رودخانه‌ای احداث می‌گردند. بدیهی است پایش و سنجش مستمر برای مدیریت و بهره‌برداری چنین سامانه‌ای ضروری بوده و تحقق اهداف زیر را امکان‌پذیر می‌نماید:

- پایش و سنجش عوامل کلیمایی به ویژه بارش‌ها، نقش موثری در تولید سیلاب‌ها و فرسایش خاک و وقوع پدیده‌های نظیر زمین‌لغزه‌ها و جریان‌های گلی که منشا بار رسوبی در شبکه رودخانه‌ای تلقی می‌شوند، ایفا می‌کند.
- پایش و سنجش داده‌های هیدرومتری به ویژه سیلاب‌ها که اغلب حامل حجم عظیمی از بار رسوبی بوده و بخش عمده‌ای از ظرفیت مخزن رسوبگیر را به خود اختصاص می‌دهد. لازم به ذکر است برای تعیین حجم مخزن موردنیاز سد (سدهای) رسوبگیر و مدت زمان پر شدن آن (عمر مفید مخزن)، متوسط آورد رسوبی سالیانه رودخانه، ملاک ارزیابی قرار می‌گیرد. این احتمال وجود دارد که طی یک یا چند فقره سیلاب شاخص و متوالی، برخلاف پیش‌بینی‌های انجام شده در مطالعات و طراحی، مخزن سد در مدت کوتاه‌تری از رسوب انباشته شود که برای تداوم بهره‌برداری تخلیه رسوب الزام‌آور خواهد بود. این واقعیت اهمیت پایش و سنجش پارامترهای هیدرومتری را محرز می‌نماید.



شکل ۶-۱- نمونه‌ای از سیستم مدرن پایش، سنجش و پردازش هم‌زمان و همسان در شبکه رودخانه‌ای و سیستم سدهای رسوبگیر و سد مخزنی - رودخانه گاماتا، ژاپن [۳۴]

- داده‌های رسوب‌سنجی نظیر غلظت، بار معلق، بار بستر و خصوصیات دانه‌بندی. آگاهی از خصوصیات دانه‌بندی مواد رسوبی به خصوص برای کاربردهای مختلف (عمرانی، صنعتی و کشاورزی) دارای اهمیت است. به‌علاوه اندازه‌گیری هم‌زمان بار بستر و معلق، ارزیابی آورد واقعی رودخانه و مقایسه آن با رقم حاصل از مرحله مطالعاتی را که عموما با استفاده از ایستگاه‌های مجاور یا روش‌های تجربی انجام می‌گیرد، میسر می‌سازد.
- داده‌های کیفیتی آب و رسوب. خصوصیات کیفیتی آب و رسوب از جمله پارامترهای موثر در بهره‌برداری از سدهای رسوبگیر تلقی می‌شود. به ویژه کیفیت رسوبات اعم از فیزیکی (چگالی، وزن مخصوص، مقاومت و دوام) و کیفی (عدم وجود عناصر مضر برای مصارف مختلف عمرانی، صنعتی و کشاورزی) درخور توجه است. در اغلب مواقع، مواد رسوبی در مخازن سدهای رسوبگیر به‌مثابه معادن شن و ماسه، تلقی و طی فرایند بازیافت و بهره‌برداری که ذیلا به آن پرداخته شده است، برای تامین نیازهای عمرانی و صنعتی استفاده می‌شود و مستلزم تعیین شاخص‌های کیفیتی آب و رسوب می‌باشد.

۶-۲- بازیافت و بهره‌برداری از رسوبات مخزن سد

رسوبات انباشته شده در سدهای رسوبگیر مطابق شکل (۶-۲) طیفی از ماسه، شن و قلوه سنگ می‌باشند که به عنوان جایگزین منابع شن و ماسه رودخانه‌ای،کاربرد زیادی در صنعت ساختمانی و فعالیت‌های عمرانی دارند. علاوه بر کاربردهای عمرانی، جنبه مهم دیگر استفاده از رسوبات تخلیه شده از سدهای رسوبگیر، انتقال آن به بازه‌های پایین‌دست مخازن ذخیره‌ای و تغذیه مجدد رودخانه می‌باشد که در این خصوص نیز توضیحات تفصیلی در مبحث ۴-۶ مندرج است. در مبحث ۴-۶ همچنین شرایط و بازه زمانی مناسب برای تخلیه و بهره‌برداری از رسوبات مخزن، ارائه شده است. بدیهی است با تخلیه دوره‌ای رسوبات، حجم مخزن بازیافت شده و برای مهار رسوب حمل شده توسط سیلاب‌های آتی، آماده می‌گردد.

شکل ۶-۲- نمونه‌ای از انباشته شدن مواد رسوبی بار بستر در مخزن سد رسوبگیر باز، رودخانه رویز- فرانسه [۶۴]

علاوه بر سدهای رسوبگیر باز، در مواردی سدهای صلب برای مهار زمین‌لغزه و جریان‌های واریزه‌ای و کوه‌ریزش در سرشاخه‌ها و آبراهه‌های فرسایشی پر رسوب و در مواردی تعدیل شیب رودخانه، استفاده می‌شود که جزییات آن در بندهای ۲-۲ و ۳-۵-۱ ارائه شده است. در سدهای صلب، ترکیبی از رسوبات ریزدانه (سیلت و رس) و مصالح درشت‌دانه (شن و ماسه و قطعات درشت) تله‌اندازی می‌گردد. این‌گونه مصالح با توجه به وجود رسوبات چسبنده، مطابق آنچه که در مبحث ۴-۵ مطرح گردید، دارای عناصر مغذی بوده و برای تقویت و توسعه عرصه‌های زارعی و اصلاح شیب و تراس‌بندی می‌تواند استفاده شود. در عین‌حال تخلیه رسوب در سدهای صلب برخلاف سدهای باز به دلیل وجود رسوبات چسبنده و مشکلات فرآوری برای اهداف عمرانی و صنعتی متداول نمی‌باشد.

۶-۳- بازرسی و رفتارسنجی در شرایط عادی و سیلابی و اضطراری

در طراحی سدهای رسوبگیر هرچند ملاحظات ایمنی و استحکام و پایداری سازه مدنظر قرار می‌گیرد، لیکن به دلیل ماهیت احتمالاتی و عدم قطعیت در تحلیل رفتار رودخانه‌ها و ارزیابی سیلاب‌ها و وجود خطرات زمین‌لغزه‌ها و نظایر آن، اختلال در عملکرد مطلوب سازه در دوره بهره‌برداری محتمل می‌باشد. از این‌رو انجام بازرسی‌های دوره‌ای و کنترل رفتار سازه در شرایط عادی و سیلابی و موارد اضطراری (نظیر وقوع زمین‌لغزه، جریان‌های‌گلی و یا حدوث زلزله و سیلاب‌های غیر متعارف) و اطمینان از عملکرد مطلوب و استحکام سازه ضروری است.

در شرایط عادی، پدیده‌هایی نظیر نشست تحکیمی، فرسایش و کف‌کنی عمومی در پایین‌دست سازه و وضعیت درزهای انقباض و انبساط، عملکرد اجزای مختلف سازه، نظیر روزنه‌ها و مجاری تخلیه جریان و پاکسازی الوار و اشجار، وضعیت مخزن سد رسوبگیر از نظر انباشت رسوب (مخزن دارای ظرفیت پذیرش رسوب ورودی و یا در شرف پر شدن)، شرایط حوضچه آرامش و دیواره‌های حفاظتی و همچنین راه دسترسی و نظایر آن، مستلزم بررسی و ثبت عوارض احتمالی می‌باشد.

در شرایط وقوع سیلاب و در مدت عبور موج سیل نیز، لازم است بسیج و آمادگی تیم کارشناسی فنی و مدیریتی، واحد تجهیزات و ماشین‌آلات و مشارکت نهادهای اداری ذیربط تا خاتمه عبور موج سیل، محقق گردد. به‌علاوه در پی تداوم بارش‌های رگباری در سطح حوضه و افزایش رطوبت لایه‌های خاک، علاوه بر احتمال وقوع سیلاب، هم‌زمان پتانسیل وقوع پدیده‌هایی نظیر زمین لغزه، کوه‌ریزش و جریان‌های گلی، افزایش یافته و موج دینامیکی حاصله، سازه سد را تحت تاثیر خود قرار می‌دهد. از این‌رو لازم است با اعلام شرایط اضطراری، اقدامات مدیریتی برای مقابله با پیامدهای احتمالی آن صورت گیرد.

در این خصوص برای تحقق اهداف فوق، تکمیل فرم بازدید مطابق جدول (۶-۱) و دستورالعمل اقدامات مهندسی در شرایط عادی و سیلابی و همچنین ثبت و پردازش اطلاعات و گزارشات، مطابق آنچه که در فلوچارت مندرج است، توصیه می‌شود. مطابق مندرجات فرم بازدید و دستورالعمل ارائه شده، فرایند بازرسی و رفتارسنجی سدهای رسوبگیر در سه مقوله زیر متمرکز می‌باشد:

۱- بازدید از سد رسوبگیر و گزارش جزییات در شرایط عادی و سیلابی
۲- دستورالعمل اقدامات مهندسی در شرایط عادی و سیلابی و بعد از فروکش سیل
۳- دستورالعمل ثبت و پردازش اطلاعات و گزارشات

مطابق فرم بازدید ارائه شده، لازم است بر اساس برنامه زمانی تنظیمی، با انجام بازدید دوره‌ای (توالی بازدیدها می‌تواند مطابق نظر کارشناسی تعیین شود) عملکرد سد رسوبگیر و اجزای آن در شرایط عادی مورد بررسی قرار گرفته و موارد فنی و آسیب‌دیدگی‌های احتمالی، گزارش گردد، به‌علاوه پایش عملکرد سازه سد در شرایط سیلابی و همچنین بعد از فروکش سیلاب توسط تیم کارشناسی و ارائه پیشنهادات تخصصی، بخشی از برنامه بازرسی و رفتارسنجی تلقی می‌شود. پیرو بازدیدهای انجام شده، لازم است در چارچوب دستورالعمل اقدامات مهندسی مشتمل بر شرایط عادی و سیلابی و همچنین بعد از فروکش سیل، اقدامات مربوط به مرمت و بازسازی و رفع اثرات تخریبی با همکاری مشاور طرح محقق شود.

جدول ۶-۱- فرم بازدید از سد رسوبگیر و گزارش جزییات عملکرد سد و اجزای آن

فرم بازدید از سد رسوبگیر و گزارش جزییات عملکرد سد و اجزای آن																		
۱	نام رودخانه:			مساحت حوضه آبریز (کیلومتر مربع):				مختصات مکانی سد:										
۲	نام کارشناس:		تاریخ و ساعت بازدید:		شرایط رودخانه:		عادی		سیلابی			بعد از فروکش سیل						
۳	بده جریان (مترمکعب در ثانیه):			نوع جریان:			صاف		کدر			جریان غلیظ						
۴	عارضه نشست تحکیمی:			وجود دارد:				توضیحات:				وجود ندارد						
۵	وضعیت درزها:			سالم				نیاز به ترمیم یا پاکسازی دارد										
۶	پدیده آبشستگی عمومی در پایین‌دست سازه:			مشهود است				آبشتگی عمومی محسوس نیست										
۷	پدیده آبشستگی موضعی در پایین دست سازه:			مشهود است				آبشتگی موضعی محسوس نیست										
۸	عمق تقریبی آبشستگی عمومی نسبت به بستر اولیه (متر):							عمق تقریبی آبشستگی موضعی (متر):										
۹	وضعیت دیواره های حفاظتی حوضچه آرامش:			سالم				نیاز به بازسازی یا ترمیم دارد:										
۱۰	وضعیت لایه حفاظتی حوضچه آرامش:			سالم				نیاز به بازسازی یا ترمیم دارد:										
۱۱	وضعیت کف‌بند یا پاشنه و پیش‌بند حفاظتی:			سالم				نیاز به بازسازی یا ترمیم دارد:										
۱۲	وضعیت مجاری و روزنه‌های تخلیه جریان:			سالم				نیاز به پاکسازی، بازسازی یا ترمیم دارد:										
۱۳	وضعیت سرریز سد رسوبگیر:			سالم				نیاز به بازسازی یا ترمیم دارد:										
۱۴	عارضه خوردگی بتن در بدنه (سد بتنی):			سالم				نیاز به بازسازی یا ترمیم دارد:										
۱۵	وضعیت بدنه در سد سنگ و ملات:			سالم				نیاز به بازسازی یا ترمیم دارد:										
۱۶	وضعیت راه دسترسی:			سالم				نیاز به بازسازی یا ترمیم دارد:										
۱۷	وضعیت توری‌ها (فنس) و خاکریزهای حفاظتی مخزن:			سالم				نیاز به بازسازی یا ترمیم دارد:										
۱۸	تجمع الوار و اشجار در بالادست سد:			وجود ندارد				وجود دارد و نیاز به پاکسازی می‌باشد:										
۱۹	وضعیت مخزن از نظر رسوبگذاری و اقدامات بهره‌برداری:																	
	مخزن دارای ظرفیت پذیرش رسوب می‌باشد:							مخزن در شرف پر شدن است و نیاز به تخلیه دارد:										
۲۰	وجود پتانسیل زمین لغزه، کوه ریزش و جریان گلی در بالادست سد:						وجود دارد				وجود ندارد							
۲۱	سایر موارد مشاهده شده:																	
۲۲	توضیحات درخصوص علل مختلف آسیب‌دیدگی سازه:																	

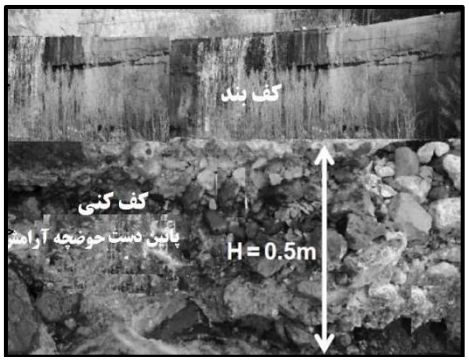
ادامه جدول ۶-۱- فرم بازدید از سد رسوبگیر و گزارش جزییات عملکرد سد و اجزای آن

دستورالعمل اقدامات مهندسی در شرایط عادی و سیلابی								
۱	نام رودخانه:	مساحت حوضه آبریز (کیلومتر مربع):		مختصات مکانی:				
۲	نام کارشناس:	تاریخ و ساعت بازدید:	شرایط رودخانه:	عادی		سیلابی		بعد از فروکش سیل
۳	اقدام فنی مورد نیاز مطابق گزارش بازدید کارشناسی							
الف	اقدام فنی در شرایط عادی: مرمت و بازسازی، استفاده از تجهیزات و ماشین‌آلات							
ب	اقدام فنی در شرایط سیلابی و بعد از فروکش سیل: استقرار واحد کارشناسی و فنی و واحد تجهیزات و ماشین‌آلات در محدوده طرح و انجام خدمات فنی مقتضی و تدوین گزارش اقدامات طراحی و اجرا برای مرمت و بازسازی و رفع اثرات تخریبی احتمالی عبور سیلاب با همکاری مشاور طرح و مستندسازی آن							
دستورالعمل ثبت و پردازش اطلاعات و گزارشات								
۱	نام رودخانه:	نام کارشناس اقدام‌کننده:		تاریخ و ساعت:				
۲	ثبت اطلاعات سد رسوبگیر شامل:							
۳	گزارشات بازدیدهای دوره‌ای							
۴	اقدامات فنی انجام شده در شرایط عادی							
۵	اقدامات انجام شده در شرایط سیلابی شامل:							
*	تشکیل مدیریت فنی و کارشناسی							
*	استقرار واحد کارشناسی و خدمات فنی							
*	استقرار واحد تجهیزات و ماشین‌آلات							
۶	اقدامات انجام شده بعد از فروکش سیل:							
*	ثبت موارد طراحی و اجرا برای مرمت و بازسازی و رفع اثرات تخریبی احتمالی عبور سیلاب							
*	ثبت گزارشات بازدید عملکرد سازه سد بعد از فروکش سیلاب							
*	ثبت اقدامات و خدمات فنی و مشاوره‌های انجام شده با مشاور طرح							

۶-۴- نگهداری و تعمیرات ادواری

نگهداری و تعمیرات ادواری، مجموعه اقداماتی است که طی فرایند بازرسی و رفتارسنجی در قالب فرم بازدید و دستورالعمل‌های تنظیمی، برای ترمیم و رفع آسیب‌های احتمالی وارده و تقویت و استحکام و پایداری سازه و اجزای مختلف آن مشخص می‌گردد. با احداث سد رسوبگیر و تله‌اندازی بار بستر، تغذیه رسوبی در بازه‌های پایین‌دست کاهش

یافته و آثار آن در درازمدت به صورت فرسایش عمومی و افت تراز بستر ظاهر می‌شود. در شکل (۶-۳- الف)، نمونه‌ای از پایش اثرات افت تراز بستر در پاشنه سازه کف‌بند (انتهای حوضچه آرامش) ناشی از فرسایش عمومی برای سد رسوبگیر واقع بر روی رودخانه شنگو- چین[1] نشان داده شده است [۹۰]. بدیهی است تداوم کف‌کنی علاوه بر ناپایداری کناره‌ها، تهدیدی برای پایداری سازه سد نیز تلقی می‌شود و از این‌رو تثبیت بستر و مهار فرسایش با استفاده از راهکارهای مناسب مهندسی رودخانه (نظیر استفاده از سریزهای کوتاه و یا کف‌بندهای متوالی) در بازه فرسایشی به عنوان بخشی از اقدامات نگهداری باید مدنظر قرارگیرد. در مواقعی نیز وقوع سیلاب‌های بیش از سیل طراحی یا سیلاب‌های نادر و یا پدیده زلزله، می‌تواند موجبات بروز خسارت در بدنه سازه و اجزای آن را سبب گردد و برای تداوم عملکرد سد، ترمیم و بازسازی بخش‌های آسیب‌دیده ضروری خواهد بود. علاوه بر اثرات سیلاب‌های غیر متعارف، استمرار سرریز جریان و تاثیر تنش‌های هیدرولیکی متوالی در بلندمدت، موجبات سایش و خوردگی تکیه‌گاه‌ها و تخریب پوشش کف را نیز مطابق شکل (۶-۳-ب) سبب می‌گردد و مستلزم مرمت و بازسازی برای ثبات و پایداری سازه سد می‌باشد.



الف- کف‌کنی در پایین‌دست حوضچه آرامش رودخانه شنگو- چین [۹۰]

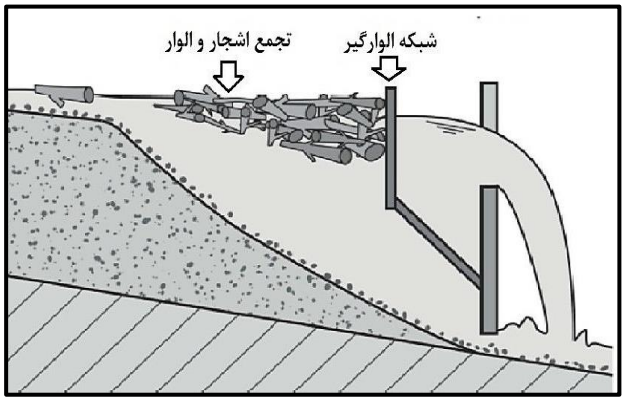
ب- سایش و خوردگی پوشش بتنی و تخریب لایه حفاظتی - منبع اینترنتی

شکل ۶-۳- نمونه‌ای از فرسایش عمومی و اثرات آن در پایین‌دست سد رسوبگیر و پدیده سایش و خوردگی پوشش حفاظتی

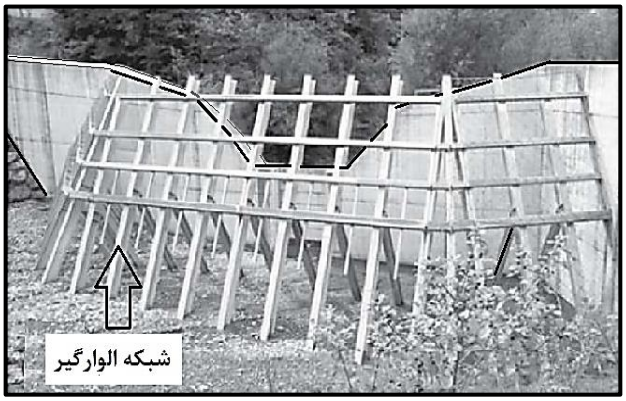
از دیگر جنبه‌های نگهداری و تعمیرات ادواری سدهای رسوبگیر، پاکسازی مجاری و روزنه‌های خروجی از اشجار و الوار حمل شده توسط جریان‌های سیلابی است. در شکل (۶-۴- الف) نحوه تله‌اندازی شاخ و برگ و اشیای شناور در خروجی سد نشان داده شده است. بدیهی است برای حفظ عملکرد مطلوب و جلوگیری از آسیب‌های سازه‌ای وارده به بدنه سد، پاکسازی دوره‌ای و رفع چنین عوارضی ضرورت دارد. این پدیده به خصوص در حوضه‌های آبریز با پوشش جنگلی که دارای پتانسیل بارش بالایی بوده و بروز ناپایداری لایه‌های سطحی و لغزش آن به همراه انتقال الوار و اشجار به مسیر آبراهه‌ها و شبکه رودخانه‌ای و حمل آن توسط جریان‌های سیلابی محتمل است، از نمود بیش‌تری برخوردار می‌باشد. از جمله راهکارهای مقابله با عوارض تجمع اشیای شناور، استفاده از شبکه الوارگیر[2] مطابق شکل (۶-۴- الف و

1- Shengou River- China
2- Driftwood Rack (Trash rack)

ب) می‌باشد. با چنین روشی از تماس مستقیم مواد شناور و صدمه به بدنه سد جلوگیری گردیده و با بازرسی و پاکسازی دوره‌ای شبکه، برقراری مطلوب عملکرد هیدرولیکی و فرایند تله‌اندازی در مخزن سد محقق می‌گردد. [۶۴]



الف- الوارگیر در ورودی سد برای رفع آسیب‌های احتمالی به بدنه



ب- نمونه‌ای از شبکه الوارگیر در بالادست سد رسوبگیر

شکل ۶-۴- تجمع الوار و اشجار در سدهای رسوبگیر و راهکارهای مقابله با آن با ایجاد شبکه الوارگیر [۶۴]

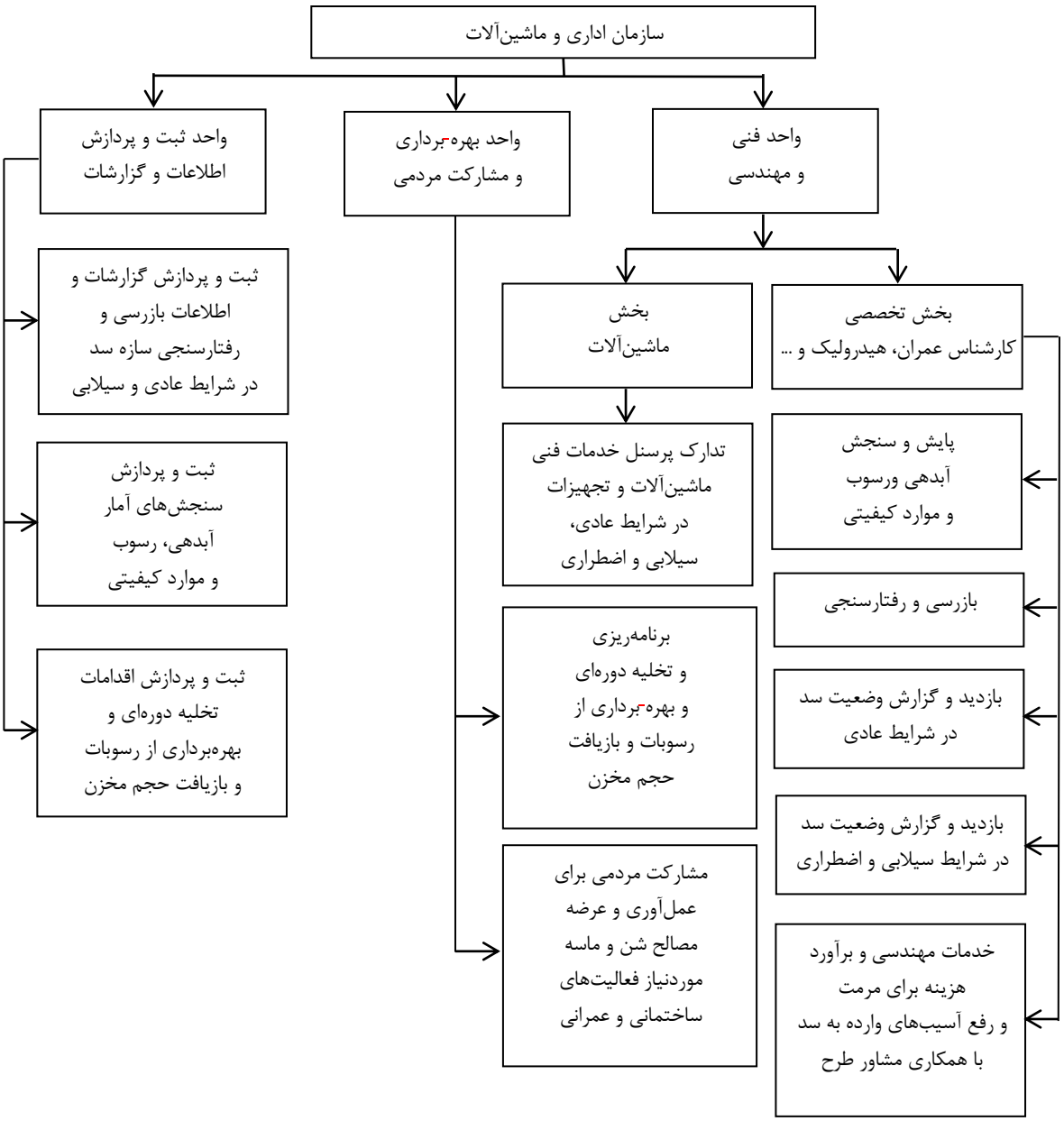
۶-۵- سازمان اداری و ماشین‌آلات

احداث سد (سدهای) رسوبگیر، نیازهای جدیدی را از دیدگاه حفاظت و بهره‌برداری مطرح می‌نماید. بدیهی است تداوم و تضمین عملکرد مطلوب سد رسوبگیر مستلزم ایجاد سازمان اداری و تدارک تجهیزات و ماشین‌الات مورد نیاز می‌باشد. در نمودار (۶-۱) فلوچارت سازمان و تشکیلات مورد نیاز بهره‌برداری و نگهداری سد رسوبگیر نشان داده شده است. مطابق فلوچارت مذکور، سه واحد اصلی، شامل واحد مهندسی، واحد بهره‌برداری و مشارکت مردمی و همچنین واحد ثبت و پردازش اطلاعات و گزارشات فرایند نگهداری و بهره‌برداری از سازه سد و اجزای مختلف، آن را پشتیبانی می‌کند. کارشناسان و پرسنل فنی بخش‌های تخصصی و ماشین‌آلات، وظیفه مربوط به خدمات مهندسی و مدیریت طرح در شرایط عادی و سیلابی (اعم از اقدامات پیش از سیلاب، در حین سیلاب و بعد از خاتمه سیلاب) و موارد خاص (نظیر وقوع زلزله، پدیده‌های زمین‌لغزه و جریان‌های گلی) را به عهده دارند. ارائه خدمات فنی و تجهیزات و ماشین‌آلات برای بهره‌برداری و نگهداری در شرایط عادی و اضطراری، از دیگر وظایف بخش واحد مهندسی می‌باشد.

در این سازمان اداری، واحد بهره‌برداری و مشارکت مردمی وظیفه برنامه‌ریزی برای تخلیه دوره‌ای و بهره‌برداری از رسوبات و بازیافت مجدد حجم مخزن سد را به عهده دارد. به‌علاوه، فراهم آوردن زمینه مشارکت مردمی (همکاری بخش خصوصی) برای تخلیه دوره‌ای و عمل‌آوری و عرضه مصالح شن و ماسه موردنیاز فعالیت‌های عمرانی و ساختمانی، ازدیگر جنبه‌های مهم نگهداری و بهره‌برداری تلقی می‌شود.

واحد ثبت و پردازش اطلاعات و گزارشات، بخش مهم دیگری از سازمان اداری برای بهره‌برداری و نگهداری سد رسوبگیر بوده و با استفاده از خدمات رایانه‌ای، مطابق نمودار (۶-۱)، ذخیره‌سازی و دسترسی برخط (Online) به سه محور اصلی اطلاعات، شامل گزارشات بازرسی و رفتارسنجی در شرایط عادی و سیلابی، سنجش‌های آماری آبدهی،

رسوب و موارد کیفیتی و همچنین سوابق اقدامات تخلیه دوره‌ای و بهره‌برداری از رسوبات و بازیافت حجم مخزن سد را امکان‌پذیر می‌نماید.



نمودار ۶-۱- فلوچارت سازمان اداری و ماشین‌آلات مورد نیاز بهره‌برداری و نگهداری سد (سدهای) رسوبگیر

پیوست ۱

واژه‌نامه

ردیف	عنوان فارسی	عنوان انگلیسی	توضیحات	مرجع
۱	ترازافزایی (بستر)	Aggradation	فرایند مورفولوژیک که طی آن بار رسوبی حمل شده توسط جریان در بستر رودخانه، سیلابدشت و مخازن ترسیب گردیده و افزایش تراز را سبب می‌گردد.	۹۳
۲	لایه محافظ یا لایه جوشنی (لایه آرمور یا مسلح)	Armor layer	پس از فروکش سیلاب‌ها، بخشی از مواد رسوبی موجود در بستر با تداوم جریان رودخانه‌ای فرسایش یافته و دانه‌های درشت به مثابه پوشش سنگفرش یکپارچه در مقابل نیروی فرسایشی آب که اصطلاحا قشر حفاظتی یا لایه آرمور به آن اطلاق می‌شود، ظاهر می‌گردد. قشر حفاظتی، رسوبات موجود در لایه زیرین را که دارای بافت ریزتری است در مقابل فرسایش محافظت می‌کند. در صورت وقوع سیلاب، احتمال شکسته شدن لایه آرمور و آغاز فرسایش فراگیر بستر وجود دارد.	۹۲ ۱۰
۳	کوه‌ریزش	Avalanche	حرکت سریع و ناگهانی توده خاک و سنگ و قطعات اشجار و الوار در امتداد سطوح شیبدار نواحی کوهستانی (غلظت مواد کوه ریزش بین ۸۰ تا ۱۰۰٪ حجم توده مخلوط می‌باشد)	۹۳ ۸۳
۴	لایه بستر یا لایه فعال	Bed layer (Active layer))	لایه‌ای از مخلوط آب و رسوب بر روی بستر به ضخامت معادل چند برابر قطر D50 دانه‌بندی بستر رودخانه (معمولا بین دو تا ده برابر قطر D50) که منشا بار مواد بستر تلقی می‌شود.	۸۳
۵	بار بستر	Bed load (Contact load)	بار رسوبی حمل شده توسط جریان رودخانه‌ای در مجاورت بستر که به صورت خزش، غلتیدن و جهش جابجا می‌شود	۹۲
۶	سد تله‌انداز بار بستر	Bed-load retaining dams (bed-load filtering dams)	سدهای رسوبگیر که با هدف تله‌اندازی بار بستر احداث می‌شوند.	۶۸
۷	بار رسوبی بستر (بار مواد بستر)	Bed material load	بار بستر و معلق حمل شده توسط جریان رودخانه‌ای که دارای دانه‌بندی مشابه مواد رسوبی موجود در بستر رودخانه می‌باشد. (شامل بار شسته نمی‌شود)	۹۲
۸	بار معلق بستری	Bed material suspended load	بار معلق حمل شده توسط جریان رودخانه‌ای. مواد رسوبی موجود در بستر (کلاس ماسه) در اثر فشار برکنش وارد جریان آب شده و تحت تاثیر تلاطم گردابه‌ای به حالت تعلیق منتقل می‌گردد.	۷۶
۹	رودخانه شریانی	Braided river	رودخانه عریض و کم عمق دارای پشته‌ها و جزایر رسوبی و مجاری متعدد مرتبط به هم. ترکیب دانه‌بندی آن‌ها عموما شن و ماسه و قلوه‌سنگ بوده و شیب نسبتا زیاد و پتانسیل انتقال بار بستر بالایی دارند. انحنای رودخانه کم و کناره‌ها ناپایدار و در معرض فرسایش می‌باشد.	۹۳ ۱۰
۱۰	بندهای اصلاحی (سدهای آبخیزداری)	Check dams	سدهای کوتاه که با هدف مهار فرسایش آبراهه‌ها و سرشاخه‌های نواحی کوهستانی و همچنین مقابله با توسعه فرسایش‌های خندقی و تعدیل شیب و تله‌اندازی رسوبات در سطح حوضه آبریز احداث می‌گردند.	۶۴ ۶۶
۱۱	ثبت مستمر و هم‌زمان و همسان داده‌های هیدرولوژیکی	Continuous-Simultaneous- Region wide Hydrologic data collection	ثبت داده‌های هیدرولوژیکی (بارش - رواناب - رسوب) با استفاده از ابزارهای نوین داده‌سنجی به صورت مستمر و هم‌زمان و الگوی یکسان در گستره حوضه آبریز	۴۹
۱۲	جریان واریزه‌ای یا جریان گلی	Debris flow	حرکت سریع و توده‌ای مخلوط خاک، گل، قطعات سنگ و سنگریزه و اشجار و الوار در سطوح پرشیب نواحی کوهستانی و یا مسیر تند رودخانه‌ها (این پدیده در شیب‌های بزرگ‌تر از ۱۰٪ اتفاق می‌افتد. غلظت جریان واریزه‌ای بین ۵۰ تا ۸۰٪ حجم مخلوط می‌باشد)	۹۳ ۸۳
۱۳	ترازکاهی (بستر)	Degradation	فرایند مورفولوژیک که طی آن بستر رودخانه و سیلابدشت دستخوش فرسایش گردیده و تراز آن کاهش می‌یابد.	۹۳

ردیف	عنوان فارسی	عنوان انگلیسی	توضیحات	مرجع
۱۴	جریان غلیظ	Density Current	جریان دارای بار معلق زیاد حاصل از رگبارهای متمرکز که با ورود به مخازن سدها، تحت اثر پدیده ثقلی بدون اختلاط در امتداد بستر حرکت نموده و از مخزن خارج می‌شود. (آستانه غلظت جریان غلیظ ۳۰۰۰ میلی گرم در لیتر می‌باشد)	۴۸
۱۵	مسیل	Flood-channel	مجرایی است طبیعی که سیل حاصل از باران، برف و رگبارها در آن جریان پیدا می‌کند.	*
۱۶	سدهای رسوبگیر مشبک	Grid and net dams	سدهای مشبک از میله‌های آهنی، مصالح چوبی و نوع توری با هدف مهار جریان‌های گلی، واریزه‌ای و تله‌اندازی قطعات سنگ و لاشه‌سنگ و الوار و اشجار حمل شده توسط سیلاب‌ها به کار گرفته می‌شوند. این سازه‌ها عموما در گستره حوضه‌های آبریز احداث گردیده و نقش مهمی در مهار انبوه رسوب حمل شده از آبراهه‌ها و سرشاخه‌های ناپایدار نواحی کوهستانی به بازه‌های پایین‌دست و حفاظت از زیرساخت‌ها به عهده دارند.	۷۱ ۶۲
۱۷	جریان‌های با غلظت بالا	Hyper-concentrated flow	جریان رودخانه‌ای که غلظت مواد معلق آن معادل ۲۰ تا ۵۰٪ حجم جریان می‌باشد.	۸۳
۱۸	زمین لغزش	Landslide	حرکت توده‌ای خاک، سنگ و یا گل و لای در سطح شیبدار (غلظت مصالح زمین لغزه بین ۶۰ تا ۹۰٪ حجم توده می‌باشد)	۹۳
۱۹	رودخانه پیچانرودی	Meandering river	رودخانه با پیچ و خم‌های متناوب دارای شیب کم و سیلابدشت عریض و درجه انحناء (نسبت طول رودخانه به طول دره) بیش از ۱/۵ می‌باشد. مجرای رودخانه ناپایدار بوده و فرسایش خم‌ها منجر به شکل‌گیری بارهای رسوبی متوالی و جابجایی عرضی و طولی و تغییر مستمر پلان رودخانه می‌گردد. با توجه به ساختار دانه‌بندی ریز (ماسه، سیلت و رس) در رودخانه‌های پیچانرودی سهم بار بستر کم‌تر بوده و بار معلق وجه غالب انتقال رسوب تلقی می‌شود.	۹۳ ۱۰
۲۰	سدهای رسوبگیر جریانی یا سدهای باز	Open check dams	سدهایی که با هدف تله‌اندازی بار بستر و تخلیه بار معلق در مسیر رودخانه‌ها و آبراهه‌های اصلی و بالادست مخازن سدها و سازه‌های هیدرولیکی نظیر پل‌ها احداث می‌شوند. با ایجاد مجاری جریان در بدنه سازه، علاوه بر بار معلق امکان تخلیه تدریجی بخشی از مواد بستری و تله‌اندازی مصالح درشت‌دانه وجود دارد. به‌علاوه سدهای جریانی دارای عملکرد سد تاخیری بوده و متناسب با ابعاد مجاری، میزان تعدیل اوج سیلاب محقق می‌گردد.	۶۱
۲۱	چرخه بارش - رواناب - رسوب	Rainfall-Runoff-Sediment transport cycle	فرایند هیدرولوژیکی که طی آن رواناب حاصل از بارندگی ضمن فرسایش خاک حوضه، وارد شبکه رودخانه‌ای شده و موجبات انتقال بار رسوبی (بار بستر و معلق) را توسط جریان سیلاب فراهم می‌آورد.	۹۴
۲۲	سد تاخیری	Retarding dam	سدهای تاخیری با هدف ذخیره‌سازی سیلاب و تخلیه تدریجی آن متناسب با ظرفیت هیدرولیکی بازه‌های پایین‌دست احداث می‌گردند. این سدها دارای مجرای خروجی تحتانی و سازه سرریز بوده و هم‌زمان با ذخیره‌سازی سیلاب، بار بستر و بخشی از بار معلق نیز در مخزن انباشته می‌شود. با تداوم جریان خروجی، رسوبات معلق تخلیه شده و مواد بستر برجای می‌ماند. از این‌رو سدهای تاخیری دارای مکانیسمی مشابه سدهای جریانی بوده و امکان کنترل عملکرد هیدرولیکی آن با ابعاد مجرای تحتانی وجود دارد.	۹۵ ۳۰
۲۳	رودخانه	River or Stream	مجرایی است طبیعی که آب در آن به طور دایم یا فصلی جریان داشته و دارای مجرای واحد یا متعدد است.	۹۲
۲۴	سد رسوبگیر	Sediment retention dams	سازه (سازه‌های) کوتاه که با هدف کاهش سرعت، تعدیل شیب و تله‌اندازی رسوب احداث می‌شوند	۹۱

ردیف	عنوان فارسی	عنوان انگلیسی	توضیحات	مرجع
۲۵	ظرفیت انتقال رسوب	Sediment transport capacity	انتقال رسوب با حداکثر ظرفیت توسط رودخانه یا انتقال تعادلی که در آن نرخ بار مواد بستر در مقطع موردنظر فاقد تغییرات زمانی به ازای دبی مشخص می‌باشد.	۸۶
۲۶	سد صلب	Solid body dam	سد رسوبگیر که با هدف تله‌اندازی توام بار بستر و معلق احداث می‌شود. سدهای صلب به عنوان بندهای اصلاحی در طرح‌های آبخیزداری از کاربرد زیادی برخوردارند. به‌علاوه از سدهای صلب در مهار زمین‌لغزه‌ها و تعدیل شیب و تثبیت بستر در سرشاخه‌ها و مسیرهای دره‌ای استفاده می‌شود.	۶۲
۲۷	رودخانه مستقیم	Straight river	رودخانه‌ها با درجه انحنای حدود یک و اغلب دارای بارهای رسوبی متناوب می‌باشند. رودخانه‌های مستقیم، بخشی از ناحیه انتقالی بین بازه شریانی و پیچانرودی را تشکیل می‌دهند. به دلیل شکل‌گیری بارهای رسوبی دارای کناره‌های ناپایدار بوده و ساختار دانه‌بندی بستر عمدتا متعلق به کلاس ماسه می‌باشد. بار بستر وجه غالب در رودخانه‌های مستقیم است.	۹۳ ۸۳
۲۸	بستر رود	Streambed	آن قسمت از رودخانه، نهر یا مسیل است که در هر محل با توجه به آمار هیدرولوژیک و داغاب و حداکثر طغیان با دوره برگشت ۲۵ ساله به وسیله وزارت نیرو یا شرکت‌های آب منطقه‌ای تعیین می‌شود.	**
۲۹	بار معلق	Suspended load	بار رسوبی حمل شده توسط جریان رودخانه‌ای که در اثر پدیده تلاطم به حالت معلق حرکت می‌کند.	۹۲
۳۰	بار کل	Total load (Total sediment load)	به مجموع بار مواد بستر و بار شسته، بار کل اطلاق می‌شود.	۹۲
۳۱	زیرکنی/ زیرشویی	Undercutting	فرسایش موضعی کناره ساحلی مجاور بستر رودخانه، ناشی از تمرکز جریان آب که طی آن با تداوم فرایند فرسایش پنجه‌ای، زمینه ریزش توده‌ای و شکل‌گیری شیب تند ناپایدار در کناره‌ها فراهم می‌گردد. پنجه‌شویی، تخریب سازه‌های حفاظتی (نظیر دیواره سیل‌بند، خاکریز و غیره) و پوشش بیولوژیک را در پی دارد.	۹۲ ۱۰
۳۲	بار شسته	Wash load	بار رسوبی معلق حمل شده توسط جریان رودخانه که منشای آن فرسایش خاک حوضه آبریز و دارای دانه‌بندی ریزتر از مواد رسوبی موجود در بستر می‌باشد (عمدتا رس و سیلت و مواد کلوئیدی)	۹۲

* مطابق آیین‌نامه تعیین حریم و بستر سال ۱۳۵۳

** (بند ح ماده یک آیین‌نامه مربوط به بستر و حریم مجاری آبی مصوب سال ۱۳۷۹)

پیوست ۲

چک‌لیست ارزیابی

به نام خدا

چک لیست ارزیابی

«راهنمای مطالعات، طراحی، اجرا و بهره‌برداری سدهای رسوبگیر رودخانه‌ها»

۱- آیا با نشریه «راهنمای مطالعات، طراحی، اجرا و بهره‌برداری سدهای رسوبگیر رودخانه‌ها» آشنایی دارید؟

بلی ☐ خیر ☐ تاحدودی ☐

۲- میزان استفاده شما از نشریه حاضر در مهار رسوب ورودی به مخازن سدها و اقدامات مهندسی رودخانه چقدر می‌باشد؟

خیلی زیاد ☐ زیاد ☐ متوسط ☐ کم ☐ خیلی کم ☐

۳- میزان موثر بودن این نشریه در نحوه احداث سدهای رسوبگیر با هدف مهاررسوب رودخانه‌ها چقدر می‌باشد؟

خیلی زیاد ☐ زیاد ☐ متوسط ☐ کم ☐ خیلی کم ☐

۴- میزان جامعیت و کاربردوست بودن استفاده از روش ارائه شده برای طراحی (هیدرولیکی و سازه‌ای) در این نشریه چقدر می‌باشد؟

خیلی زیاد ☐ زیاد ☐ متوسط ☐ کم ☐ خیلی کم ☐

۵- میزان شفافیت در شیوه ارائه شده برای «پایش و سنجش و بهره‌برداری و نگهداری سدهای رسوبگیر» چقدر می‌باشد؟

خیلی زیاد ☐ زیاد ☐ متوسط ☐ کم ☐ خیلی کم ☐

۶- راهکار ارائه شده در این نشریه را برای استفاده از مدل‌های رایانه‌ای در شبیه‌سازی انباشت رسوب مخزن تا چه اندازه مناسب و موثر می‌دانید؟

خیلی زیاد ☐ زیاد ☐ متوسط ☐ کم ☐ خیلی کم ☐

۷- به چه میزان، شیوه گرافیکی پیشنهاد شده در نشریه حاضر را در تعیین قطر طراحی و Te نظیر مناسب ارزیابی می‌کنید؟

خیلی زیاد ☐ زیاد ☐ متوسط ☐ کم ☐ خیلی کم ☐

۸- ارزیابی شما از این نشریه در اهمیت معرفی عملکرد سدهای رسوبگیر شکاف‌دار و روزنه‌دار برای مهار رسوب رودخانه‌ها چقدر می‌باشد؟

خیلی زیاد ☐ زیاد ☐ متوسط ☐ کم ☐ خیلی کم ☐

۹- فهرست پروژه‌ها و فعالیت‌های مرتبط که در آن‌ها از عناوین موضوعی این نشریه استفاده شده است، را نام ببرید.

.....

.....

.....

۱۰- در پروژه‌ها و فعالیت‌های مرتبط، استفاده از این نشریه برای شما (سازمان/ شرکت) چه مزایا و معایبی می‌تواند به همراه داشته باشد؟

.....

.....

.....

۱۱- در استفاده و پیاده‌سازی از کدام بخش این نشریه در امور اجرایی، احتمال دارد با مشکل مواجه شوید؟ به اختصار توضیح دهید.

.....

.....

.....

۱۲-آیا برای استفاده از این نشریه، احتمال وجود موانع قانونی و حقوقی وجود دارد؟ به اختصار توضیح دهید.

.....

.....

.....

۱۳-آیا برگزاری دوره‌های آموزشی و توجیهی را در استفاده موثر از این نشریه لازم می‌دانید؟ (مواردی را که لازم است در برنامه آموزشی بر آن‌ها تاکید شود، نام ببرید)

.....

.....

.....

۱۴-به نظر شما مهم‌ترین نقاط قوت نشریه حاضر چیست؟

.....

.....

.....

۱۵- به نظر شما مهم‌ترین نقاط ضعف و نقایص نشریه حاضر چیست؟

.....

.....

.....

۱۶- پیشنهاد شما برای بهبود و رفع نواقص این نشریه حاضر چه می‌باشد؟

.....

.....

.....

۱۷-ارزیابی و جمع‌بندی شما از کامل بودن مطالب ارائه شده در نشریه حاضر چیست؟ (لطفا مواردی که نیاز به شفاف‌سازی دارد و نیز توصیه‌های خود برای کاربردی‌تر شدن این نشریه را ذکر نمایید)

.....

.....

.....

لطفاً مشخصات خود را در این قسمت بنویسید:

نام و نام خانوادگی:	میزان تحصیلات:	محل خدمت: .....
پست سازمانی:	ایمیل:	شماره تماس: .....

با تشکر

طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور

منابع و مراجع

۱- «طرح سد و نیروگاه رودبارلرستان»، گزارش مطالعات مرحله اول، جلد سوم هیدرولوژی، شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران، مهندسین مشاور قدس نیرو، ۱۳۷۶

۲- «راهنمای کاربرد مدل‌های ریاضی در رسوبگذاری و رسوب‌زدایی مخازن سدها»، ضابطه شماره ۳۰۹- الف طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور- وزارت نیرو، ۱۳۹۶

۳- «راهنمای محاسبه بار رسوب معلق و بستر رودخانه‌ها»، ضابطه شماره ۵۹۰ سازمان برنامه و بودجه کشور، ۱۳۹۱

۴- بهادری،ف.،«نقش اطلاعات پایه در مطالعات منابع آب و مروری بر روند داده‌سنجی در کشور»، سومین سمینار علمی مطالعات منابع آب، تماب، ۱۳۷۴

۵- یاسی،م. و همکاران. «مدل رایانه‌ای ارزیابی بار رسوبی در رودخانه‌ها (مدل انتقال رسوب STM)»، طرح پژوهشی مشترک دانشگاه ارومیه و وزارت نیرو (شرکت سهامی آب منطقه‌ای اردبیل)، ۱۳۹۱

۶- «برنامه‌ریزی آزمایش‌های رسوب»، ضابطه شماره ۲۲۲ سازمان برنامه و بودجه کشور، ۱۳۸۰

۷- «راهنمای ادوات نمونه‌برداری بار رسوبی رودخانه‌ها»، نشریه شماره ۱۴۶ طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور- وزارت نیرو، ۱۳۸۳

۸- «دانه‌بندی رسوبات درشت‌دانه»، نشریه شماره ۲۰ طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور- وزارت‌نیرو، ۱۳۷۶

۹- بهادری،ف.، جنت‌دوست،ن.، «بررسی فرسایش و رسوب در حوضه جاجرود و انباشتگی آن در مخزن سد لتیان»، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، رساله کارشناسی ارشد، ۱۳۷۲

۱۰- مصباحی،ج.، چیتی،م.، « فرهنگ مهندسی رودخانه»، طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور- وزارت نیرو، ۱۳۷۷

۱۱- بهادری،ف.، «بررسی نسبت بار بستر به بار معلق در رودخانه‌ها و تاثیر آن در پیش‌بینی عمر مفید مخازن سدها (مطالعات موردی در رودخانه‌های کشور)»، مجموعه مقالات سمینار ملی فرسایش و رسوب، وزارت جهاد کشاورزی، ۱۳۷۵

۱۲- «راهنمای مطالعات پایه زمین‌شناسی مهندسی در پروژه‌های مهندسی آب»، ضابطه شماره ۱۸۰ سازمان برنامه و بودجه کشور، ۱۳۷۹

۱۳- «راهنمای طراحی، ساخت و نگهداری دیواره‌های سیل‌بند»، ضابطه شماره ۵۱۸ سازمان برنامه و بودجه کشور،۱۳۸۸

۱۴- «ضوابط طراحی سازه‌ای بندهای انحراف»، ضابطه شماره ۱۹۸ سازمان برنامه و بودجه کشور،۱۳۷۹

۱۵- رهایی، ع.، «اصول مهندسی پی»، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، انتشارات شابک،۱۳۷۷

۱۶- براجا ام.داس، «اصول مهندسی ژئوتکنیک»، جلد اول و دوم (مکانیک خاک و مهندسی پی)، ۱۳۷۷
۱۷- «مطالعات بند رسوبگیر سدکانی‌سیب»، شرکت مهندسین مشاور مهاب قدس، ۱۳۹۶
۱۸- آشفته تهرانی، امیر.، «جامعه‌شناسی جمعیت»، انتشارات جهاد دانشگاهی اصفهان، ۱۳۷۲
۱۹- «بررسی خسارت سیلاب»، نشریه شماره ۱۶۴ طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور- وزارت نیرو، ۱۳۸۵
۲۰- بهادری،ف.، «اصول و مبانی برداشت شن و ماسه از رودخانه‌ها»، شرکت مدیریت و منابع آب ایران، دفتر مهندسی رودخانه و سواحل، ۱۳۷۹
۲۱- «مجموعه قوانین، تصویب‌نامه‌ها و آیین‌نامه‌های آب و برق و آب و فاضلاب»، دفتر حقوقی وزارت نیرو، ۱۳۷۸
۲۲- اصلاح آیین‌نامه مربوط به بستر و حریم رودخانه‌ها، انهار، مسیل‌ها، مرداب‌ها، برکه‌های طبیعی و شبکه‌های آبرسانی و آبیاری و زهکشی، ۱۳۸۲
۲۳- «طرح سد مخزنی آزاد و تونل ارتباطی به ژاوه‌رود»، گزارش خسارت مخزن، شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران، شرکت مهندسی مشاور مهاب قدس، ۱۳۸۴
۲۴- اهری،م. ، بهادری،ف.، «بررسی فرسایش و رسوب در رودخانه کرج و انباشتگی آن در مخزن سد»، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، رساله کارشناسی ارشد، ۱۳۷۲
۲۵- «مطالعات ساماندهی و تعیین حریم و بستر رودخانه‌های شاهرود»، شرکت مهندسین مشاور سازآب پردازان، ۱۳۸۷
۲۶- «مطالعات مرحله پیش توجیهی و مطالعات مرحله توجیهی ساختگاه نی‌آباد در بالادست طرح بلبر»،گزارش برنامه‌ریزی منابع آب، مطالعات هیدرولوژی و رسوب، شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران، شرکت مهندسین مشاور آبان پژوه، ۱۳۹۵
۲۷- «دستورالعمل طراحی، اجرا و نگهداری سازه‌های کنترل سیل و رسوب (بندهای اصلاحی)»، ضابطه شماره ۴۱۶ سازمان برنامه و بودجه کشور، ۱۳۸۷
۲۸- احمدی،ح. «محاسبه فرسایش موضعی در رودخانه‌ها»، انجمن هیدرولیک ایران، کارگاه آموزشی- تخصصی کنترل فرسایش در رودخانه‌ها، ۱۳۷۴
۲۹- «راهنمای طراحی، ساخت و نگهداری پوشش‌ها در کارهای مهندسی رودخانه»، ضابطه شماره ۳۳۲ سازمان برنامه و بودجه کشور، ۱۳۸۴
۳۰- «راهنمای مطالعات فرسایش و رسوب در ساماندهی رودخانه‌ها»، ضابطه شماره ۳۸۳ سازمان برنامه و بودجه کشور، ۱۳۸۶
۳۱- «گزارش نظرسنجی اجتماعی امکان استفاده از رسوب سدهای رسوبگیر در شبکه رودخانه گردلان- سیروان»، شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران، طرح سد آزاد، مهندسین مشاور آب و عمران فرازاندیش، ۱۳۹۶

۳۲- «فهرست خدمات مرحله اجرای طرح‌های مهندسی رودخانه»، ضابطه شماره ۲۲۶ سازمان برنامه و بودجه کشور، ۱۳۸۰

۳۳- «راهنمای طراحی، ساخت و بهره‌برداری از سدهای پسماند»، ضابطه شماره ۶۸۲ سازمان برنامه و بودجه کشور، ۱۳۹۴

۳۴- بهادری،ف.،گزارش شرکت در دوره «رسوب در مخازن سدها و رودخانه‌ها»، ژاپن، دانشگاه کیوتو، انستیتو تحقیقاتی پیش‌بینی و مقابله با حوادث طبیعی (DPRI)، انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، ۱۳۶۸

۳۵- «مروری بر ضوابط و استانداردهای انتخاب سیلاب طراحی سدها»، نشریه شماره ۱۶۷ طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور- وزارت نیرو، ۱۳۹۵

۳۶- «راهنمای تعیین دوره بازگشت سیلاب‌های طراحی برای کارهای مهندسی رودخانه»، ضابطه شماره ۳۱۶ سازمان برنامه و بودجه کشور، ۱۳۸۴

37- Global sediment loads, Suspended sediment discharged per region, Sediment control measures in reservoirs, UNEP Report, 2004.

38- J.N. Holeman, 1968, the sediment yield of major rivers of the world, U.S. Department of Agriculture, Hyattsville.

39- T. Sumi, Comprehensive reservoir sedimentation countermeasures in Japan, International workshop on sediment bypass tunnels, Zurich, 2015.

40- S.A. - Kantoush, and T. Sumi, River morphology and sediment management strategies for sustainable reservoir in Japan and European Alps, Annuals of DPRI, Kyoto University, 2010.

41- A. Armanini and M. Larcher, Rational criterion for designing opening of slit-check dam, Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 127, No. 2, February, 2001. ASCE.

42- D. L. Wolfe, Hydrology manual, Los Angeles County Department of Public Works, Water Resources Division, 2006.

43- D. M.Culberston, (1967), "Scour and fill in alluvial channels", U.S Geological Survey.

44- 44- Poyry Energy AG, Iranian Water and Power Resources Development (IWPC), Sepasd Eng. Co., Rudbar Lorestan HPP, Update of Hydrology, 2008.2015.

45- V. T. Chow, (1964), "Handbook of Applied Hydrology", McGraw Hill Book Co., New York.

46- M. M. Alema, Integrated watershed management and sedimentation, Jounal of Environmental protection, 2016, 7, 490-494.

47- M. A. Kabir, D. Dutta, and S. Hironaka, Process based distributed modeling approach for analysis of sediment dynamics in a river basin. Hydrology and Earth System Sciences, Australia, 2011.

48- D. N. Sang, , Interflow dynamics and three dimensional modeling of turbid density currents in Imha Reservoir, South Koria, Colorado State University, USA, 2011.

49- H. Habersak, Sediment transport monitoring, Europian Teritorial Cooperation, Sedalp, Boku, 2014.

50- SWAT: Soil & Water Assessment Tool Created and primarily maintained by Jeff Arnold, USDA-ARS, Temple, TX. 2018.

51- E. N. Mueller, A. Güntner, , T. Francke, , G. Mamede, 2008. Modelling water availability, sediment export and reservoir sedimentation in drylands with the WASA-SED Model, Submitted to Geoscientific Model Development, Potesyam, Germany.

52- 52- D. B. Simons, and F. Senturk, (1994), "Sediment transport technology", Book Crafters Inc., U.S.A.
53- Apparatus and techniques for measuring bedload, Geological Survey Water-Supply Paper, 1964, USA.
54- C. T. Yang, and C. Huang, , (2001), "Applicability of sediment transport formulas, International Journal of Sediment Research", Vol. 16, No. 3,pp. 335-353.
55- Thorne C. R., (1987), "Sediment transport in gravel bed rivers", John Wiley & Sons, England.
56- Yoonhee Kim and Bomchul Kim (2006). Application of a 2-Dimensional Water Quality Model (CE-QUAL-W2) to the Turbidity Interflow in a Deep Reservoir (Lake Soyang, Korea), Kangwon National University Chunchon, Korea.
57- Vanoni, A. V., (1977), "Sedimentation engineering", the ASCE, Task Committee for the Preparation of the Manual on Sedimentation, New York.
58- Van Rijn, L.C., (1986), "Manual of sediment transport measurements", Delft Hydraulics Laboratory, the Netherlands.
59- Shen, H.W., (1972), River Mechanics, Vol. II, Ch. 20, "River and canal morphology", Fort Collins., Colorado, USA.
60- Guillaume Piton, Simon Carladous, Alain Recking, Jean Marc Tacnet, Why do we build check dams in Alpine streams? An historical perspective from the French experience, Earth Surface Processes and Landforms (ESPL), 42, 91-108 (2016).
61- G. Piton and A. Recking, Design of Sediment Traps with Open Check Dams, I: Hydraulic and Deposition Processes, HY.1943-7900.0001048. © 2015, (ASCE).
62- Armanini A, Dellagiacoma F, Ferrari L. 1991. From the check dam to the development of functional check dams. Fluvial Hydraulics of Mountain Regions 37: 331–344.
63- Rudolf-Miklau, Florian & Suda, Jürgen. (2013). Design Criteria for Torrential Barriers. 10.1007/978-94-007-4336-6_26.
64- Guillaume Piton, (2016) Sediment transport control by check dams and open check dams in Alpine torrents, Ph.D. Thesis, University of Grenoble, France.
65- J. Yazdi, M. Sabbaghian Moghaddam, B. Saghafian (2018), Optimal design of check dams in mountainous watersheds for flood mitigation, Water Resources Management, An International Journal - Published for the European Water Resources Association (EWRA), Volume 32, Issue 14, pp 4793–4811.
66- S. A. Asghar Hashemi , H. Kashi (2015), Determination of number of check dams by artificial neural networks in arid regions of Iran, Water Science & Technology , 72(6):952-959.
67- M. Schneuwly-Bollschweiler, M. Stoffel, F. Rudolf-Miklau (2013), Dating torrential processes on fans and cones, methods and their application for hazard and risk assessment, Springer Publishing Company New York.
68- M. Bianco-Riccioz & P. Bianco, G. De Cesare (2014), Design of a bed load and driftwood filtering dam, analysis of the phenomena and hydraulic design, Swiss Competences in River Engineering and Restoration, Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-1-138-02676-6.
69- T. Sakurai, K. Kobayashi (2015), Operations of the sediment bypass tunnel and examination of the auxiliary sedimentation measure facility at Miwa Dam. First International Workshop on Sediment Bypass Tunnels, Zurich
70- HRW-Hydro Review Worldwide (2007), Stopping Sediment Upstream of the Powerhouse, Kulekhani reservoir, Nepal Electricity Authority.

71- G. Mathias Kondolf and et al., (2014), Sustainable sediment management in reservoirs and regulated rivers: Experiences from five continents, sections 3.2 and 3.3 (checkdams and sediment traps), agupubs.onlinelibrary.wiley.com.
72- H. Haile Howard and et al., (1982), Design manual of debris flow and basins, Los Angeles County Flood Control District, California.
73- M. Silva, et al., Experimental and numerical study of slit-check dams, Int. J. Sus. Dev. Plann. Vol. 11, No. 2 (2016) 107–118.
74- L. Douglas James, Robert R. Lee, (1971), Economics of water resources planning, McGraw-Hill Book Co., New York.
75- R. K. Linsley, J. B. Franzini, (1972), Water resources engineering, McGraw-Hill Book Co., New York.
76- F.M. Henderson, Open channel flow, chapter on sediment transport, McMillan Pub. Co. 1966, New York.
77- Varren Viessman Jr. and et al., (1972), Introduction to hydrology, Intext Educational Publishers, New York.
78- Ven Te Chaw, David R. Medment, Lary W. Mays, (1988), Applied hydrology, McGraw-Hill Book Company, New York.
79- J. Van Dam and Toop Kroes, (2013), SWAP (Soil- Water-Atmosphere-Plant), Wageningen University and research center, the Netherlands.
80- V. B. Suer, (1988), Dimensionless hydrograph method of simulating flood hydrograph, USGS and U.S. Department of transportation.
81- Charles. R. Gamble, (1989), Techniques for simulating flood hydrographs and estimating flood volumes for ungagged basins, USGS, Water resourses investigations report 89-4076, Nashville, Tennessee.
82- C.T. Yang & J. Ahn, 2011, GSTARS4, (Generalized Sediment Transport model for Alluvial River Simulation version 4.0), Hydroscience and Training Center Colorado State University, USA.
83- C.R. Thorn & et al., Sediment transport in gravel-bed rivers, John Wiely & Sons Pub. Co., 1987.
84- J. M. Lara, The Altus reservoir sediment survey, Interior Departmen, 1967, USA.
85- Anita Roth, (2017) Experimental Analysis of Bed Load Retention Mechanisms in Permeable Sediment Traps, master's thesis, Laboratory of hydraulic constructions LCH, Technische Universität München (Technical university of Munich), Germany.
86- M. de Vries, P. Ph Jansen., (1983), Principles of river engineering, the nontidal alluvial rivers, Pitman Publishing Company, England.
87- US Army Corps of Engineers, Hydraulic Engineering Center, (2016), HEC-RAS Version 5.0, User,s Manual.
88- H. A. Change, (1996), Generalized computer program, mathematical model for erodabe channels, FLUVIAL-12, User,s manual, USA.
89- F. Maricar, H. Hashimoto, S. Ekematsu, T. Miyushi, (2011), Effect of two succesive check dams on debrisflow deposition, Department of Civil Engineering, Kyushu University, Japan
90- Y. H. Zou and X. Q. Chen (2015), Effectiveness and efficiency of slot-check dam system on debris flow control, Key Laboratory of Mountain Hazards and Earth Surface Processes, Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS, Chengdu, 610041, China.
91- John M. Sharp, Jr. (2007), A Glossary of hydrogeological terms, the University of Texas, Austin, Texas.

92- Glossary, (2001), River engineering for highway encroachments, US Department of Transportation,
93- Neil B. Armantrou, (2001), Glossary of aquatic inventory terminology, American Fisheries Society, Bethesta, Maryland.
94- P. Pramanik, A. Akram, A. K. Misra, D. K. Sharma, S. S. Upadhyaya and R. S. Rawat, (2018), Prediction of rainfall, runoff and sediment yield of Dolgad watershed of Himalayan agro ecosystem, ICAR-Indian Agricultural Research Institute, New Delhi 110 012.
95- Floodwater retarding, (1998), Natural resources conservation service, conservation practice standard, South Dakota Supplements Dam, (no.) Code 402.
96- Sameh A. Kantoush and et al. (2010), Impacts of sediment replenishment below dams on flow and bed morphology of river, First International Conference on, Coastal Zone Management of River Deltas and Low Land Coastlines.
97- US Army Corps of Engineers, Hydraulic Engineering Center, (2018), HEC-HMS Version 4.3, User,s Manual.
98- E. N. Mueller, A. G¨untner, T. Francke, and G. Mamede, (2010), Modelling sediment export, retention and reservoir sedimentation in drylands with the WASA-SED model, 1Institute of Geoecology, University of Potsdam, Potsdam, Germany.
99- Liang Ma, Chunguang He, Hongfeng BianL, Lianxi Sheng, (2016), MIKE SHE modeling of ecohydrological processes: Merits, applications, and challenges, Ecological Engineering Volume 96, November 2016, Pages 137-149, Elsevier.
100- G. Piton, D. Vázquez-Tarrío, A. Recking, Can bed-load help to validate hydrology studies in mountainous catchment? The case study of the Roize (Voreppe, France).3rd European Conference on Flood Risk Management, Oct 2016, Lyon, France.
101- F.M. Henderson, Open channel flow, chapter on the energy principles, McMillan Pub. Co. 1966, New York.
102- U. S. Corps of Engineers, (1989), Retaining and flood walls, Engineering Mannual, Washington.D.C.
103- Das Bioja M.,(1983), Advanced siol mechanics, McGraw-Hill Book Co., USA.
104- K. Dawlatzai, M. Dominic,(2018), Structural stability and 2d finite element analysis of concrete gravity dam, International Journal of Engineering Sciences, Volume1.
105- Ven Te Chaw, (1988), Open-channel hydraulics, McGraw-Hill Book Company, New York
106- A. K. Peterka, (1983), Hydraulic design of stilling basins and energy dissipators, United States, Department of the Interior, Bureau of Reclamation.
107- M. Escarameia, (1998), River and channel revetments, a design manual, Thomas Telford.
108- Rita F.M and Fonseca F., Dam reservoir sediments and fertilizers and artificial soils, Case studies from Potugal and Brazil, 2000, Evara University, Portugal.
109- D. Moore and et al., Sustaiable sediment management, Weston Solutions, Inc, 2010, U.S.A.
110- Reservoir Conservation (RESCON), Reservoir model and user manual, economic and engineering evaluation of alternative strategies for managing sedimentation in storage reservoirs, 2003, Word Bank, Washington D.C.
111- Giyoung Ock, Tetsuya Sumi and Yasuhiro Takemon, (2013), Sediment replenishment to downstream reaches below dams: implementation perspectives, Water Resources Research Center, Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, Japan.
112- C. V. Davis, K. E. Sorencen, (1979), Handbook of applied hydraulics, chapter on cofferdams, McGraw Hill Book Co.,USA.

خواننده گرامی

امور نظام فنی و اجرایی، مشاورین و پیمانکاران سازمان برنامه و بودجه کشور، با گذشت بیش از چهل سال فعالیت تحقیقاتی و مطالعاتی خود، افزون بر هشتصد عنوان نشریه تخصصی- فنی، در قالب آیین‌نامه، ضابطه، معیار، دستورالعمل، مشخصات فنی عمومی و مقاله، به‌صورت تالیف و ترجمه، تهیه و ابلاغ کرده است. نشریه حاضر در راستای موارد یاد شده تهیه شده، تا در راه نیل به توسعه و گسترش علوم در کشور و بهبود فعالیت های عمرانی به کار برده شود. فهرست نشریات منتشر شده در سال‌های اخیر در سایت اینترنتی nezamfanni.ir قابل دستیابی می‌باشد.

Guideline for Study, Design, Construction, Maintenance and Operation of Sediment Retention Dams in Rivers [No. 858]

Executive Body: Ab-o-Omrane Farazandish Co.

Project Adviser: Firooz Bahadori Khosrowshahi

Authors & Contributors Committee:

Yoosefali Ahmadi	Department of Environment	M.Sc. of Environmental Eng.
Reza Bahadori Khosrowshahi	Ab-o-Omrane Farazandish Co.	M.Sc. of Structural Eng.
Firooz Bahadori Khosrowshahi	Ab-o-Omrane Farazandish Co.	Ph.D. of Water Eng.
Dvood Jahandeh	Regional Water Company of Tehran	M.S. of Geology Eng.
Toloee Esmaeel	Free Expert	Ph.D.of Hydraulic Eng.

Supervisory Committee:

Ali Akbar Abbasi	Ab Omran Faraz Andish Co.	Ph.D. of Water Resources Eng.
Hesam Fouladfar	Iran Water & Power Resources Development Company	Ph.D. of River Eng.

Confirmation Committee:

Mahmoud Afsous	Sazepardazi Consulting Engineers Co.	M.Sc. of Hydraulic Eng.
Mohammad Ebrahim Banihabib	University of Tehran	Ph.D. of Water Resources Eng.
Ghazal Jafari	Iran Water Resources Management Co.	M.Sc. of Hydraulic Structures Eng.
Narges Dashti	Ministry of Energy	B.Sc. of Irrigation Eng.
Mohammad Rostami	Soil Conservation and Watershed Management Research Institute	Ph.D. of Water Resources Eng.
Mohammad Hossein Abedi	Plan and Budgest Organization	M.Sc. of Irrigation Structures Eng.
Hesam Fouladfar	Iran Water & Power Resources Development Company	Ph.D. of River Eng.
Jabbar Vatan Fada	Iran Water & Power Resources Development Company	M.Sc. of Hydrolic Structures
Mahdi Yasi	University of Tehran	Ph.D. of River Engineering
Mohammad Hossien Yazdani	National Disaster Management Organization Of Iran	M.Sc. of Crisis Managment

Steering Committee: (Plan and Budgest Organization)

Alireza Toutounchi	Deputy of Technical and Executive Affairs Department
Farzaneh Agharamezanali	Head of Water & Agriculture Group, Technical and Executive Affairs Department
Seyed Vahidedin Rezvani	Expert, Technical and Executive Affairs Department

Abstract:

Sediment retention dams (SRD) are one of major structural measures for implementing sustainable reservoir management policies and establishing suitable morphological conditions within the river system. Because of their mere function in filtering bed load and excluding suspend material, such barriers are commonly known as “bed-load retaining dams”. Furthermore, due to the presence of outlet holes the term “Open Check Dams” is synonymously used in the literature. More importantly, considering their hydraulic characteristics, different types of SRD are collectively classified under two main groups, entitled: Slit Dams (having free flow) and Slot Dams (orifice type or pressurized flow). Generally, SRD are low structures, often 5-15 meter height with limited basin capacity, hence not categorized under ICOLD definition term. Considering such realities, in this manual while basic and fundamental engineering aspects, pertinent to subject matter of study, design and construction criteria, are highlighted thorough chapters 1, 2 , 3, 4 and 5, especial attention is also dedicated to subtle subject of maintenance and operation principles in chapter 6, in which sediment extraction and processing scenario has been specially elaborated as an effective way of dam life extension procedure and indeed a dependable alternative for sand supply of inherently hazardous river sand mining practices. For an effective chain of subject presentation, the various chapters of this manual have been arranged in a way to provide efficient and logically extracted text content from vast spectrum of existing literature. As basic data is a prerequisite for sound project assurances, chapter 1 provides a framework for statistical and technical data collection methodology and reconnaissance field data acquisition. Chapter 2 deals with various forms of open barriers and their potential application in river engineering with emphasizing their crucial role in reservoir sedimentation management strategies. To provide a systematic prescription for basic and specialty study subjects (geological, geotechnical, socio-economic, hydrology and …) chapter 3 is orderly arranged. In this prominent chapter the utmost important sedimentation modeling - simulation techniques under various scenarios and dam types are thoroughly elaborated. Chapter 3 also includes the core elements of flow regime duration, design flood quantifying, appraisal of the entering bed load and its gradation, procedure for software allocation and graphical algorithm to determine sediment accumulation and trap efficiency(Te), based on the specified bed grain size or design diameter. Following the fundamental notions of chapter 3, the design policy for SRD is hinted by elements of chapter 4. This chapter comprises two major issues of hydraulic and structural design of the dams. The importance of using experimental equations along with modeling technics to accurately quantify SRD elements (dam height, sediment volume capacity, delta slope value) are part of chapter 4 identity. Stability criteria against acting forces up on the structure, spillway dimensioning, stilling basin specifications, construction cost and optimization algorithm, encompasses the remaining part of chapter 4. Following essential design steps manipulation, chapter 5 is intended to clarify the important executive aspects of construction phase, required for SRD under varying field conditions. The importance of maintenance and operation services has obliged to pose problems such as data collection, structural behavior monitoring, sediment excavation and setup of operation organization separately in chapter 6. A list of glossary using most common and relevant technical vocabulary is also included as Appendix1 of the manual.

Islamic Republic of Iran
Plan and Budget Organization

Guideline for Study, Design, Construction, Maintenance and Operation of

Sediment Retention Dams in Rivers

No. 858

Last Edition: 02-27-2022

Deputy of Technical, Infrastructure and Production Affairs

Department of Technical & Executive Affairs,Consultants and Contractors

nezamfanni.ir

Ministry of Energy

Bureau of Technical & Operation Systems Development and Hydro-power Dispatching

waterstandard.wrm.ir

2022

این نشریه

با عنوان «**راهنمای مطالعات، طراحی، اجرا و بهره‌برداری سدهای رسوبگیر رودخانه‌ها**» ابتدا به بررسی انواع سدهای رسوبگیر، جایگاه آن‌ها در مدیریت رسوب مخازن و مطالعات پایه و تخصصی مورد نیاز در طراحی سدهای رسوبگیر می‌پردازد. سپس به بررسی مبانی لازم جهت طراحی سدهای رسوبگیر، ملاحظات ساخت و اجرای آن‌ها پرداخته و در نهایت ملزومات پایش و سنجش و بهره‌برداری و نگهداری از سدهای مذکور ارائه می‌گردد.