بسم الله الرحمن الرحیم

# دستورالعمل طراحی و
# اجرای بندهای خاکی کوتاه

**سرشناسه** : کرمی خانیکی، علی
**عنوان و نام پدید آور** : دستورالعمل طراحی و اجرای بندهای خاکی کوتاه/ تهیه کننده علی کرمی خانیکی؛ به سفارش سازمان جنگلها، مراتع و آبخیزداری کشور
**مشخصات نشر** : تهران: پونه، ۱۳۸۸
**مشخصات ظاهری** : ۳۰۰ ص.: مصور، جدول، نمودار
**شابک** : ۹۷۸-۶۰۰-۵۵٤٤-۲۲-۰
**وضعیت فهرست نویسی** : فیپا
**موضوع** : بندها (مهندسی)
**موضوع** : سدهای خاکی - - طرح و ساختمان
**شناسه افزوده** : سازمان جنگلها، مراتع و آبخیزداری کشور
**رده بندی کنگره** : ۱۳۸۸ ٥ د ٤ ک/TC ۳۳۷
**رده بندی دیویی** : ۶۲۷/۱۲۳
**شماره کتابشناسی ملی** : ۱۸۰۰۸۰۶

نشر پونه

خ طالقانی شرقی ـ خ جهان ـ ساختمان پونه ـ شماره ۶ ـ طبقه سوم ـ تلفن ۷۷۶۰۵۷۹۸

---

**نام کتاب** : دستورالعمل طراحی و اجرای بندهای خاکی کوتاه
**نویسنده** : علی کرمی خانیکی
**ویراستار** : محمد عقیقی
**سفارش** : معاونت آبخیزداری سازمان جنگلها، مراتع و آبخیزداری کشور
**ناشر** : پونه
**نوبت چاپ** : اول ۱۳۸۸
**چاپ** : صیادی
**شمارگان** : ۱۰۰۰ جلد
**شابک** : ۹۷۸ – ۶۰۰ – ۵۵۴۴ – ۲۲ – ۰
**رده بندی دیویی** : ۶۲۷/۱۲۳
**قیمت** : ۷۰۰۰۰ ریال

# فهرست مطالب

**عنوان** **صفحه**

**فصل اول - کلیات**


۱-۱- مقدمه .....
۱-۲- طبقه بندی سدها.....
۱-۲-۱- طبقه‌بندی سدها از نظر مصالح مورد استفاده.....
۱-۲-۲- طبقه‌بندی سدها از نظر هدف.....
۱-۲-۳- طبقه بندی سدها از نظر طراحی هیدرولیکی .....
۱-۲-۴- تقسیم بندی سدها از نظر اندازه .....
۱-۲-۵- طبقه‌بندی سدهای خاکی از نظر همگنی.....
۱-۲-۶- تقسیم بندی سدها از نظر کاربری.....
۱-۲-۶-۱- سدهای مخزنی.....
۱-۲-۶-۲- سیل بندها و گوره‌ها .....
۱-۲-۶-۳- مخازن تاخیری .....
۱-۲-۶-۴- سدهای پس زننده سیلاب .....
۱-۲-۶-۵- سد خشک .....
۱-۲-۶-۶- سدهای چند منظوره.....
۱-۳- پایداری سدهای خاکی.....
۱-۳-۱-فاکتورهای مؤثر در پایداری سدهای خاکی.....
۱-۳-۲- علل تخریب سدهای خاکی .....
۱-۳-۲-۱- شکست هیدرولیکی .....
۱-۳-۲-۲- شکست ناشی از نشت سد.....
۱-۳-۲-۳- شکست‌های سازه‌ای یا ساختمانی.....
۱-۳-۳- روشهای جلوگیری از تخریب سدهای خاکی.....
۱-۳-۳-۱- راه‌های جلوگیری از تخریب هیدرولیکی.....
۱-۳-۳-۲- راه‌های جلوگیری از تخریب ناشی از نشت سد .....
۱-۳-۳-۳- راه‌های‌جلوگیری‌ازتخریب ناشی از شکست ساختمانی .....
۱-۳-۳-۴- راه‌های مراقبت از شیب‌ها .....
۱-۴- مبانی طراحی سدهای خاکی.....
۱-۴-۱- برنامه‌ریزی برای ساخت سد.....

۱-۴-۲- انتخاب نوع سد .....
۱-۴-۳- انتخاب محل سد .....
۱-۴-۳-۱- نیاز به سرریز .....
۱-۴-۳-۲- راندمان ذخیره .....
۱-۴-۳-۳- حجم ذخیره .....
۱-۴-۳-۴- مصالح خاکی در دسترس.....
۱-۴-۳-۵- شوری .....
۱-۴-۳-۶- عوامل زیست محیطی.....
۱-۴-۳-۷- سایر عوامل .....
۱-۴-۴- تعیین سیل مبنای طرح .....
۱-۴-۴-۱- عوامل مؤثر در وقوع سیل.....
۱-۴-۴-۲- تعریف سیل .....
۱-۴-۴-۳- سیلابدشت.....
۱-۴-۴-۴- فراوانی سیلاب.....
۱-۴-۴-۵- میزان ریسک قابل قبول.....
۱-۴-۴-۶- تعیین پتانسیل خطر.....
۱-۴-۴-۷- مطالعه نتایج شکست سد.....
۱-۴-۴-۸- معیار انتخاب سیل طرح.....
۱-۴-۵- تخمین حجم رواناب حوزه .....
۱-۴-۶- پارامترهای طراحی سدهای خاکی .....
منابع مورد استفاده این فصل.....
**فصل دوم- طراحی، اجرا و نگهداری بندهای کوتاه آبخیزداری (حداکثر ارتفاع ۲/٦ متر)**
۲-۱- مقدمه .....
۲-۲- محدوده کاربرد.....
۲-۳- ضوابط طراحی و اجرا.....
۲-۴- بازرسی و نگهداری .....
۲-۴-۱- زمان‌ها و برداشت‌ها در بازرسی.....
۲-۴-۲- فرم گزارش بازرسی سدهای خاکی کوچک.....
منابع مورد استفاده این فصل.....

**فصل سوم- طراحی، اجرا و نگهداری بندهای مخزنی (حداکثر ارتفاع ۳ متر)**
۳-۱- مقدمه.....
۳-۲- محدوده کاربرد .....
۳-۳- طراحی .....
۳-۳-۱- محاسبه ارتفاع سد.....
۳-۳-۲- سرریز.....
۳-۴- اجرا .....
۳-۴-۱- انتخاب مصالح خاکی .....
۳-۴-۲- ملاحظات اجرایی .....
۳-۴-۳- نشست .....
۳-۴-۴- نشت و فیلتر .....
۳-۴-۵- آبگیری از سد .....
۳-۵- نگهداری .....
منابع مورد استفاده این فصل .....
**فصل چهارم- طراحی، اجرا و نگهداری بندهای کوتاه زراعتی (حداکثر ارتفاع ۳ متر)**
۴-۱- مقدمه.....
۴-۲- طراحی .....
۴-۲-۱- پی سد .....
۴-۲-۲- خاکریز .....
۴-۲-۳- عمق آزاد .....
۴-۲-۴- طراحی سرریز.....
۴-۲-۴-۱- عرض سرریز.....
۴-۲-۴-۲- تراز سریز.....
۴-۲-۴-۳- شیب سرریز .....
۴-۲-۵- لوله‌های تخلیه .....
۴-۳- اجرا .....
۴-۴- نگهداری .....
۴-۵- تدارکات اضطراری.....
**فصل پنجم- طراحی، اجرا و نگهداری بندهای مخزنی کوتاه (ارتفاع ۲ تا ۵ متر)**
۵-۱- مقدمه.....

۵-۲- برنامه ریزی برای ساخت سد .....
۵-۳- انتخاب محل سد .....
۵-۴- تعیین ظرفیت سد.....
۵-۵- طراحی بدنه سد .....
۵-۶- طراحی سریز .....
۵-۷- ساخت سازه.....
۵-۷-۱- لخت کردن سطح خاک .....
۵-۷-۲- ترانشه .....
۵-۷-۳- پر کردن سازه .....
۵-۸- تعمیر و نگهداری .....
۵-۹- ملاحظات کیفیت آب و مقابله با خشکسالی .....
منابع مورد استفاده در این فصل.....
**فصل ششم - طراحی، اجرا و نگهداری بندهای زراعتی کوتاه (ارتفاع ۳ تا ۷/۵ متر)**
۶-۱- مقدمه .....
۶-۲- طراحی سد .....
۶-۲-۱- اندازه سد .....
۶-۲-۲- محل سد .....
۶-۲-۲-۱- سطح حوزه .....
۶-۲-۲-۲- نوع خاک محل سد.....
۶-۲-۳- مصالح خاکی برای ساخت سد .....
۶-۲-۴- پی سد.....
۶-۲-۵- خاکریز سد .....
۶-۲-۶- عرض تاج .....
۶-۲-۷- هسته رسی.....
۶-۲-۸- نشست خاکریز .....
۶-۲-۹- عمق آزاد.....
۶-۲-۱۰- طراحی سرریز .....
۶-۲-۱۰-۱- عرض سرریز .....
۶-۲-۱۰-۲- تراز سریز .....
۶-۲-۱۰-۳- شیب سرریز .....

۶-۲-۱۱- لوله‌های تخلیه .....
۶-۳- ساخت سد.....
۶-۳-۱- آماده سازی محل سد.....
۶-۳-۲- ترانشه آب‌بند.....
۶-۳-۳- تراکم خاک.....
۶-۳-۴- صخره‌های نمایان .....
۶-۳-۵- سرریز.....
۶-۳-۶- رویه سد.....
۶-۴- نگهداری سد.....
۶-۵- ریسک‌های ایمنی سد .....
۶-۶- آب بندی سد .....
منابع مورد استفاده این فصل .....
**فصل هفتم- طراحی، اجرا و نگهداری بندهای خاکی بزرگ (ارتفاع ۷/۵ تا ۱۵ متر)**
۷-۱- هدف و محدوده این دستورالعمل.....
۷-۲- ضوابط طراحی.....
۷-۲-۱- طراحی شکل.....
۷-۲-۲- طراحی سد خاکی در بستر سنگی.....
۷-۲-۳- طراحی سد خاکی در بستر خاکی.....
۷-۲-۴- سرریز.....
۷-۲-۵- مجاری خروجی .....
۷-۲-۶- نقشه‌های الگویی.....
۷-۳- توصیه های اجرایی .....
منابع مورد استفاده این فصل .....

# فهرست شکل‌ها

**عنوان** **صفحه**


شکل شماره ۱- مقطع معمول سد خاکی .....
شکل شماره ۲- مقطع تیپ سیل بندها.....
شکل شماره۳- جانمایی سیل بندها .....
شکل شماره ۴- روش آب‌بندی گوره‌ها (دیواره‌آببند).....
شکل شماره ۵- زهکش پاشنه گوره‌ها.....
شکل شماره ۶- سد پس زننده سیلاب با شیر کنترل جریان .....
شکل شماره ۷- بند خاکی چند منظوره با سرریز لوله‌ای قائم.....
شکل شماره ۸- مقطع یک سد خاکی.....
شکل شماره ۹- شمایی از یک سیلابدشت.....
شکل شماره ۱۰- نقشه تیپ سدهای کوچک آبخیزداری (سد کنترل سیل) .....
شکل شماره ۱۱- مقطع تیپیک سدهای کوچک آبخیزداری.....
شکل شماره ۱۲- ترک‌های ایجاد شده در بدنه سد ناشی از تفاوت نشست.....
شکل شماره ۱۳- چگونگی شکل کیری لغزش .....
شکل شماره ۱۴- مقطع سد خاکی و مخزن آن.....
شکل شماره ۱۵- ابعاد طراحی مقطع سد خاکی تا ارتفاع ۳ متر.....
شکل شماره ۱۶- پلان سرریز سد خاکی .....
شکل شماره ۱۷- مقطع سرریز سد خاکی .....
شکل شماره ۱۸- پلان و مقطع تیپیک سدهای کوچک زراعتی.....
شکل شماره ۱۹- مقطع عرضی سد کوچک زراعتی و دریاچه آن.....
شکل شماره ۲۰- نمای ارتفاعی یک سد خاکی.....
شکل شماره ۲۱- نقشه سد و دریاچه آن.....
شکل شماره ۲۲- مقطع عرضی سد خاکی.....
شکل شماره ۲۳- مقطع تیپ یک سد زراعتی.....
شکل شماره ۲۴- پلان تیپ یک سد زراعتی.....
شکل شماره ۲۵- نقشه پلان سد خاکی و دریاچه آن و محل نمونه‌برداری.....
شکل شماره ۲۶- چگونگی نمونه برداری با اوگر.....
شکل شماره ۲۷- دانه‌بندی مناسب خاک برای سدهای مزرعه‌ای.....
شکل شماره ۲۸- آزمایش واگرایی خاک.....

شکل شماره ۲۹– شمای هسته رسی مرکزی.....
شکل شماره ۳۰– شمای هسته رسی در بالادست خاکریز .....
شکل شماره ۳۱– شمای  هسته رسی در پایین دست خاکریز.....
شکل شماره ۳۲– اعمال اضافه ارتفاع نظیر نشست خاکریز .....
شکل شماره ۳۳– پلان تیپیک یک سد خاکی.....
شکل شماره ۳۴– انواع خسارات وارده به یک سد کوتاه آبخیزداری.....
شکل شماره ۳۵– روش پیشنهادی پوشش رسی( هم  محل خاکبرداری و هم خاکریز سد قابل نفوذ است).....
شکل شماره ۳۶– پوشش رسی (خاک سطحی زیر خاکریز سد برداشته نشده یا ترانشه آب بند اجرا نشده است).....
شکل شماره ۳۷– پوشش رسی (خاکریز سد روی لایه ای از شن وماسه ساخته شده است.....
شکل شماره ۳۸– نقشه الگویی سد و مخزن .....
شکل شماره ۳۹– نقشه الگویی پلان و مقاطع سد  .....
شکل شماره ۴۰– نقشه الگویی پلان و مقاطع سرریز .....
شکل شماره ۴۱– نقشه الگویی پروفیل و مقاطع مجرای خروجی .....
شکل شماره ۴۲–  نقشه الگویی پلان، پروفیل و مقاطع نوع دیگری از سرریز .....
شکل شماره ۴۳– جزئیات سازه‌ای سرریز .....

# فهرست جداول

**عنوان** **صفحه**


جدول شماره ۱- کاربری‌های مخلف سدهای خاکی و اهداف اصلی هر یک .....
جدول شماره ۲- ضریب رواناب در حوزه های کوچک .....
جدول شماره ۳- خصوصیات مکانیزم فرسایش سطحی .....
جدول شماره ۴- علل و روش‌های جلوگیری از فرسایش سطحی .....
جدول شماره ۵- خصوصیات مکانیزم فرسایش داخلی.....
جدول شماره ۶- علل و روش‌های جلوگیری از فرسایش داخلی.....
جدول شماره ۷- خصوصیات مکانیزم لغزش شیب خاکریز .....
جدول شماره ۸- علل و روش‌های جلوگیری از لغزش شیب خاکریز .....
جدول شماره ۹- زمان‌های پیشنهادی برای بازرسی عادی در نقاط مختلف سد .....
جدول شماره ۱۰- حداقل عرض ورودی سرریز سد خاکی .....
جدول شماره ۱۱- ابعاد تقریبی سرریز سد خاکی .....
جدول شماره ۱۲- میزان تقریبی رواناب تولیدی حوزه.....
جدول شماره ۱۳- ابعاد تقریبی سرریز .....
جدول شماره ۱۴- برنامه پیشنهادی برای نگهداری سد .....
جدول شماره ۱۵- حداقل H و Vt برای تامین ایمنی سد .....
جدول شماره ۱۶- تعداد عبور غلطک با وزن های مختلف برای رسیدن به درصد تراکم کافی.....
جدول شماره ۱۷- دانه بندی استاندارد مصالح برای احداث زهکش سدهای خاکی.....
جدول شماره ۱۸- ترکیب وزنی مواد قابل نفوذ.....
جدول شماره ۱۹- چک لیست بازرسی در سدهای کوتاه.....

# فهرست عکس‌ها

**عنوان** **صفحه**


عکس شماره ۱- نمونه یک سد مخزنی (سد کرخه).....
عکس شماره ۲- عواقب ناشی از تخریب سیل بند.....
عکس شماره ۳- عکس هوایی یک سد پس زننده سیلاب.....
عکس شماره ۴- نمونه‌ای از سد خشک در حالت پر.....
عکس شماره ۵- یک بند چند منظوره با شیر کنترل و آشغالگیر.....
عکس شماره ۶- نمایی از یک سد کوچک آبخیزداری.....
عکس شماره ۷- نمونه ای از یک سد خاکی کوچک.....
عکس شماره ۸- فرسایش شدید روی سد به علت امواج.....
عکس شماره ۹- استفاده از فیکوس و علف قناری در حفاظت سراب سد.....
عکس شماره ۱۰- استفاده از ریپ رپ در حفاظت بالادست سد بخصوص در سدهای با مخازن وسیع در معرض باد .....
عکس شماره ۱۱- استفاده از پوشش گیاهی برای محافظت تاج و دیواره سد.....
عکس شماره ۱۲- رشد درختان و گیاهان خشبی روی سد یا دهانه سرریز (باعث تخریب).....
عکس شماره ۱۳- سوراخ‌های ایجاد شده توسط حیوانات حفار ( باعث شکست سد.....
عکس شماره ۱۴- جمع شدن مواد زائد و شناور و مسدود شدن دهانه سرریز لوله‌ای.....
عکس شماره ۱۵- جلوگیری از ورود حیوانات اهلی به محل احداث سد.....
عکس شماره ۱۶- لگدکوبی سرریزهای محافظت شده بوسیله پوشش گیاهی ، عامل شکست سد

# پیشگفتار

افزایش جمعیت باعث فشار بر محیط بطور عام و بر های خاص شده است در کشور به ویژه در سه دهه اخیر باعث فشار فزاینده‌ای بر منابع موجود شده است. بروز سیلابهای ناگهانی در بسیاری از مناطق کشور ، ضرورت توجه هر چه بیشتر به مباحث کنترل سیلاب را نشان می‌دهد. فعالیتهای آبخیزداری به لحاظ تنوع و تعدد در عرصه اجراء، از مهمترین اقدامات در جهت کاهش خسارات ناشی از سیلاب می باشد احداث بندهای خاکی کوتاه به عنوان یکی از فعالیتها در این راستا می‌باشد. بندهای خاکی علاوه بر نقش کنترل سیلاب ، به عنوان منبعی برای نفوذ و یا ذخیره آب و استفاده های بعدی محسوب می‌شوند. با توجه به اهمیت این سازه ، لازم است تا نسبت به ضابطه مند نمودن آنها اقدام نمود. از طرفی استفاده از ضوابط، معیارها و استانداردها در مراحل تهیه (مطالعات امکان سنجی) مطالعه و طراحی، اجرا، بهره برداری و نگهداری طرح‌های عمرانی به لحاظ توجیه فنی و اقتصادی طرح‌ها، کیفیت طراحی و اجرا (عمر مفید) و هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری، از اهمیتی ویژه ای برخوردارند. در همین ارتباط، نظام فنی و اجرایی کشور (مصوبه شماره ۴۲۳۳۹/ ت ۳۳۴۹۷ ه مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰هیات محترم وزیران) به‌کارگیری معیارها، استانداردها و ضوابط فنی در مراحل تهیه و اجرای طرح و نیز توجه لازم به هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری در قیمت تمام شده طرح‌ها را مورد تاکید جدی قرار داده‌است.

نکته مهم دیگر توجه به بهینه‌سازی اقدامات، اقتصادی کردن فعالیتهاو صرفه‌جویی در هزینه‌ها در راستای اصلاح الگوی مصرف می‌باشد. تدوین ضوابط و معیارهای فنی گامی اساسی در تحقق این مهم است . لذا تهیه **دستورالعمل و ضوابط فنی طراحی و اجرای بندهای خاکی کوتاه** به عنوان یکی از اقدامات مهم آبخیزداری، مدنظر قرار گرفته است. متن اولیه توسط مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری تهیه گردیده و در جلسات کارشناسی توسط کار گروه فنی مورد بررسی قرار گرفته و نهایی شده است که اسامی این افراد به قرار زیر می باشد:

**مدیریت پروژه:**

– آقای مهندس سید علیرضا بنی هاشمی، مدیرکل دفتر طرح ریزی و هماهنگی آبخیزداری و مجری طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی آبخیزداری و منابع طبیعی

– آقای مهندس محمد عقیقی، فوق لیسانس آبخیزداری، معاون دفتر طرح ریزی و هماهنگی و سرپرست گروه ضوابط و استانداردها ، معاونت آبخیزداری

**تهیه کننده :**

– آقای دکتر علی کرمی خانیکی ، دکتری سازه های آبی، عضو هیات علمی مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری

**داور:**

– آقای دکتر ناصر طالب بیدختی ، دکتری مهندسی عمران ، عضو هیات علمی دانشگاه شیراز

در نهایت از کلیه عزیزانی که اسامی ایشان در بالا ذکر شده، و بویژه جناب آقای دکتر **فرود شریفی**، معاون محترم وزیر و رییس سازمان جنگلها، مراتع و آبخیزداری کشور ، که رهنمودها و حمایتهای ایشان راهگشایی ارزنده برای به ثمر رسیدن نشریه حاضر بوده است، سپاسگزاری و قدردانی می نماید. امید است متخصصان و کارشناسان با ابراز نظریات خود در خصوص این نشریه ما را در اصلاحات بعدی یاری فرمایند.

**محمد رضا شجاعی**

**معاون آبخیزداری**

**پاییز ۱۳۸۸**

# فصل اول

# کلیات

## ۱-۱- مقدمه

سد سازه‌ای است که می‌تواند مقادیر زیادی آب را برای مصارف شرب یا کشاورزی ذخیره کند. در مقایسه با سایر مخازن، هزینه ساخت سد به ازای هر متر مکعب آب ذخیره شده بسیار کمتر است. زیرا سد آب را هم در پشت خود و هم در قسمت حفاری شده برای ساخت سازه ذخیره می‌کند، در حالی‌که مخازن فقط در قسمت حفاری شده آب را ذخیره می‌کنند. از طرف دیگر به دلیل زیاد بودن سطح آب در پشت سد، میزان تبخیر از پشت سدها زیادتر از سایر مخازن بوده و کیفیت آب آنها نیز پایین تر است. احداث موفق یک سد مستلزم طی مراحل متعددی از جمله جانمایی، ارزیابی محل، طراحی، ساخت و نگهداری است. عدم توجه کافی به هر یک این مراحل سازه سد را در معرض خطر و آبشستگی قرار می‌دهد. به همین دلیل برای ساخت سد به متخصصین و پیمانکاران با تجربه نیاز است.

سد خاکی معمول‌ترین نوع سدهای کوچک است. برای ساخت این سدها معمولاً می‌توان از مصالح محلی استفاده کرد. برای سدهای خاکی نسبت هزینه مصالح به هزینه کارگر بسیار پایین است و برای ساخت آن می‌توان از تجهیزات سبک و با حداقل هزینه استفاده کرد. بزرگترین عیب سدهای خاکی تخریب آنها در هنگام سرریزی از روی تاج سد می‌باشد. همینطور ممکن است حفره‌های ایجاد شده توسط حیوانات یا ریشه درختان باعث تخریب سد گردد. سدهای خاکی معمولاً تحت اثر رگاب[1] و فرسایش داخلی هستند که در صورت عدم توجه می‌تواند به شکست سد منجر گردد.

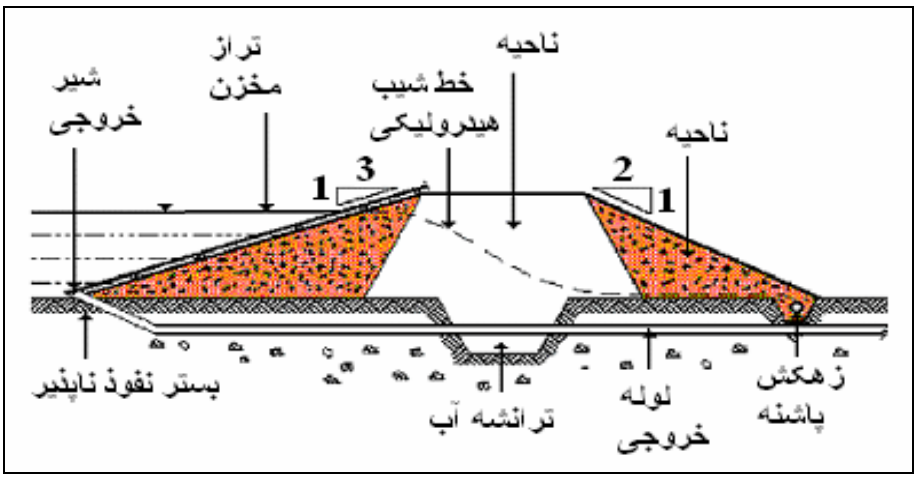
---

1.Piping

## ۱-۲- طبقه بندی سدها

### ۱-۲-۱- طبقه بندی سدها از نظر مصالح مورد استفاده

۱- سدهای خاکی
۲- سدهای سنگی یا سنگریزه‌ای
۳- سدهای بتن غلطکی
۴- سدهای بتنی وزنی
۵- سدهای بتنی قوسی
۶- سدهای بتنی پشت بنددار
۷- سدهای غلطکی (RCC)




**شکل شماره ۱- مقطع معمول سد خاکی**

### ۱-۲-۲- طبقه‌بندی سدها از نظر هدف

۱- تأمین آب آبیاری: میزان آب باید برای کشاورزی کافی و از لحاظ اقتصادی نیز توجیه پذیر باشد، کیفیت آب متناسب با محصول باشد و حتی‌الامکان سعی شود که انتقال آب بصورت ثقلی صورت پذیرد.

۲- تأمین آب شرب: میزان آب باید به حدی باشد که تکافوی نیازهای آبی و افزایش احتمالی آن را بدهد.

۳- تأمین آب صنعتی

۴- ذخیره آب

۵- تولید انرژی

۶- کنترل سیلاب: برای این منظور باید:

- هزینه احداث سد با خسارتهای ناشی از وقوع سیل قابل مقایسه باشد،
- حجم مخزن بایستی به حدی باشد که پیک سیلاب‌های بزرگ را تقلیل دهد،
- روش کنترل بایستی ترجیحاً خودکار باشد،
- امنیت کافی در پایین دست مد نظر قرار گیرد.

۷- استفاده تفرجگاهی: برای این منظور باید:

- ذخیره آب به حدی باشد که ضمن جبران تبخیر، ارتفاع و حجم مناسب آب برای اهداف تفرجگاهی تأمین گردد،
- آب بایستی فاقد آلاینده باشد،
- عمق مناسب آب بسته به نوع تفرجگاه پیش‌بینی شود.

۸- استفاده حیات وحش: در این مقوله متخصصین محیط زیست باید حتماً در جریان کار قرار گیرند، حجم و عمق آب بایستی به حدی باشد که تکافوی نیاز حیات وحش خصوصاً در مناطق خشک را بدهد و سطح آب نبایستی دارای نوسانات شدید باشد، کیفیت آب مناسب باشد و منطقه احداث سد بایستی دارای غذا و پناهگاه مناسب برای حیات وحش باشد.

۹- تنظیم جریان رودخانه: در مکان‌هایی که آب دارای تغییرات زیادی بوده و در عین حال از آن برای مسائل ضروری استفاده می‌گردد، تنظیم آب ضروری است و باید طوری عمل شود که کیفیت آب تغییر نکند.

۱۰- اهداف مختلف مانند اطفای حریق، کشتیرانی، شرب دام و غیره

۱۱- ارتقاء کیفیت آب در پایین دست سد

### ۱-۲-۳- طبقه بندی سدها از نظر طراحی هیدرولیکی

۱- سدهایی که سرریز روی بدنه سد قرار دارد.
۲- سدهایی که سرریز روی بدنه سد قرار ندارد.
۳- ترکیبی از دو نوع بالا

### ۱-۲-٤- تقسیم بندی سدها از نظر اندازه

طبق تعریف کمیته بین المللی سدهای بزرگ (ICOLD)، سدها از نظر اندازه به دو گروه سدهای کوتاه و بزرگ تقسیم می‌شوند.

۱- سد بزرگ: به سدی گفته می‌شود که ارتفاع آن (فاصله قائم تاج سد تا پایین ترین سطح پی عمومی‌آن) بیش از ۱۵ متر باشد یا ارتفاع آن بین ۱۰ تا ۱۵ متر بوده و دارای یکی از شرایط زیر باشد:

الف: طول تاج آن ۵۰۰ متر یا بیشتر باشد.

ب: ظرفیت مخزن سد یک میلیون متر مکعب یا بیشتر باشد.

ج: دبی تخلیه سیلاب آن ۲۰۰۰ متر مکعب در ثانیه یا بیشتر باشد.

د: سد دارای مسائل پیچیده در پی باشد، طوریکه نیاز به مطالعات و راه حل خاص داشته باشد.

ه: در طراحی سد مسائل خاص و غیر معمول وجود داشته باشد.

۲- سد کوچک: بدیهی است هرگاه سدی شرایط فوق را نداشته باشد سد کوچک خواهد بود. بنابراین سد کوچک سدی است که ارتفاع آن کمتر از ۱۰ متر باشد یا ارتفاع آن بین ۱۰ تا ۱۵ متر بوده و تمام شرایط زیر را نیز داشته باشد:

الف: طول تاج آن کمتر از ۵۰۰ متر باشد.

ب: ظرفیت مخزن سد کمتر از یک میلیون متر مکعب باشد.

ج: حداکثر دبی تخلیه سیلاب آن کمتر از ۲۰۰۰ متر مکعب در ثانیه باشد.

د: سد دارای مسائل مشکل یا پیچیده در پی نباشد.

ه: در طراحی سد مسائل خاص و غیر معمول وجود نداشته باشد.

### ۱-۲-۵- طبقه‌بندی سدهای خاکی از نظر همگنی

۱- سدهای خاکی همگن (سد ساده): از یک توده همگن که قسمت عمده آن رس و سیلت است ساخته می‌شوند. خط گرادیان تراوش آب در بالادست در تراز سطح دریاچه و در پایین‌دست به علت وجود افت فشار در تراز بستر رودخانه است. به منظور زهکشی سریع آبهای بدنه سد یک زهکش در پنجه سد تعبیه می‌گردد.

۲- سدهای خاکی غیر همگن: (که به آن مطبق یا مغزه دار هم می‌گویند) معمولی‌ترین نوع سدهای خاکی است که در صورت وجود مصالح مناسب در منطقه اقتصادی‌تر از سایر سدهاست. در این سدها قشر غیر قابل نفوذ در وسط مقطع یا متمایل به طرف بالادست قرار می‌گیرد و نقش آب‌بندی سد را بعهده دارد.

۳- سدهای خاکی با پرده غیرقابل نفوذ: در این نوع سد جلوگیری از حرکت آب در داخل توده خاکی توسط یک پرده غیرقابل نفوذ که نقش یک مانع را بازی می‌کند و می‌تواند از جنس رس، بتن، آسفالت و قیر باشد.

### ۱-۲-٦- تقسیم بندی سدها از نظر کاربری

در جدول ۱ کاربری‌های مختلف بندهای خاکی و اهداف اصلی هر یک ارائه شده‌اند:

### ۱-۲-٦-۱. سدهای مخزنی

بسیاری از قدیمی‌ترین سدهای جهان به منظور کنترل سیلاب احداث گردیده بودند. سدهای مخزنی غالباً چند منظوره بوده و برای اهدافی چون آبیاری، تامین آب شرب، تولید برق، مهار سیلاب و اهداف تفریحی استفاده می‌گردند.

**عکس شماره ۱- نمونه یک سد مخزنی (سد کرخه)**

هدف یک مخزن، مهار سیلاب و ذخیره قسمتی از جریان سیلاب به منظور کاهش حداکثر آن می‌باشد. در صورتی‌که سیلاب‌های رودخانه دارای خصوصیات فصلی باشند، کارایی مخازن چند منظوره برای کاهش پیک سیلاب به نحو قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. در شرایط ایده آل مخزن درست در بالادست منطقه حفاظت شده قرار دارد و بهره برداری از آن به منظور کاهش حداکثر سیلاب به ظرفیت گذردهی ایمن پایین دست صورت می‌گیرد. سیلاب ذخیره شده با توجه به زمان وقوع آن یا به تدریج رها می‌شود و یا در صورتی‌که پایان فصل سیلاب نزدیک باشد، برای مصارف آبیاری و تولید برق ذخیره می‌شود. در صورت وجود حوزه میانی بین سد و منطقه مورد حفاظت، هدف مدیریت مخزن در جریان سیلاب جاری شدن حداقل سیلاب در منطقه حفاظت شده خواهد بود که در اینصورت الزاماً سیلاب در محل سد حداقل نخواهد بود. در صورتی‌که سیلاب‌های رودخانه دارای خصوصیات فصلی باشند، کارایی مخازن چند منظوره برای کاهش پیک سیلاب به نحو قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد.

**جدول شماره ۱ - کاربری‌های مخلف سدهای خاکی و اهداف اصلی هر یک**

| نوع کاربری | هدف |
|---|---|
| سدهای مخزنی | ذخیره سیلاب در مخزن و کاهش پیک سیلاب |
| سیل بندها یا گوره‌ها | محدود کردن سیلاب و حفاظت حاشیه رودخانه |
| مخازن تاخیری | کاهش پیک سیلاب و افزایش زمان تمرکز |
| انحراف سیلاب | کاهش میزان سیلاب در یک بازه از رودخانه |
| سد موقت (فرازبند)[۲] | نگهداشت موقت آب به منظور انجام عملیات در پایین دست |
| بندهای تغذیه ای | نگهداشت آب و تزریق تدریجی به سفره زیرزمینی |
| سدهای پس زننده سیلاب[۳] | انباشت آب در عمق کم و در سطح وسیعی و آزادسازی تدریجی آن جهت افزایش رطوبت خاک و تغذیه آب زیرزمینی و توسعه کشاورزی |
| سد خشک[۴] | کاهش پیک سیل در بارندگی‌های بهاره و عمدتا همراه کارهای راهسازی برای کاهش سیل زیر پلها مورد استفاده قرار می‌گیرند. |
| سدهای چند منظوره[۵] | ذخیره کردن آب برای مصارف مختلف، تنظیم ذخیره فصلی، کنترل جریانهای بهاره و تابستانی، ذخیره آب برای دام، وحوش و یا آبزیان |
| سدهای آبخیزداری | انباشت رسوب و کنترل فرسایش در بستر مسیلهای فصلی |

2. Coffer dam
3. Back flood Dams
4. Dry Dam
5. Multi purpose dam

## ۱-۲-۶-۲. سیل بندها و گوره‌ها[6]

محدود کردن جریان سیلاب در یک عرض معینی از رودخانه به کمک سازه‌هایی نظیر گوره‌ها و دیواره‌های سیل بند انجام می‌گیرد. این سازه‌ها از پخش شدن و گسترش سیلاب در زمین‌های اطراف رودخانه جلوگیری کرده، آن را در یک مسیر و مجرای مشخص و محدود هدایت می‌کند. ساخت گوره‌ها (خاکریزهای سیل بند) قدیمی‌ترین، رایج‌ترین و نیز یکی از مهم‌ترین روش‌های مهار سیلاب از دیرباز تاکنون بوده است. گوره، بند خاکی کوتاهی است که در فواصل مختلف از کناره رودخانه و در امتداد آن ساخته می‌شود تا نقش سواحل مصنوعی را در دوره‌های سیلابی که آب رودخانه از سواحل طبیعی خود بیرون می‌رود را ایفا کند و بخش عمده زمین‌های اطراف رودخانه را از آب گرفتگی محافظت نماید.

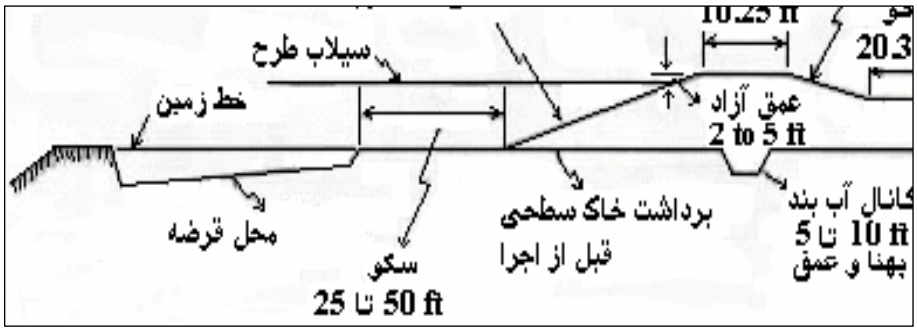
در مناطق شهری و سایر مناطق که ارزش زمین‌ها زیاد می‌باشد، به جای گوره از دیواره‌های سیل بند استفاده می‌گردد. دیواره‌های سیل بند از جنس‌های مختلف بتنی، سنگی، آجری و ... ساخته می‌شوند. در بسیاری از موارد سطوح سیل بندها با پوشش گیاهی (به خصوص علف برمودا) در مقابل فرسایش حفاظت می‌شوند. بطور کلی طراحی سیل بندها و دیواره‌های سیل بند بایستی مشابه سدهای معمول باشد. مزیت اصلی گوره‌ها امکان استفاده از مصالح محلی ارزان قیمت است. گوره‌ها از مصالح معادن قرضه که به موازات گوره می‌باشند احداث می‌شود. این مصالح بایستی در لایه‌ها ریخته و کوبیده شود. نفوذ ناپذیری مصالح در کناره رودخانه بایستی بکار گرفته شود. در کل مصالح مناسب برای هسته به ندرت در دسترس می‌باشد و بیشتر سیل بندها،

خاکریزهای همگن می‌باشند. مقاطع گوره‌ها بایستی با توجه به شرایط محلی و مصالح موجود طراحی شوند. به منظور امکان پذیر شدن عبور ماشین آلات، حداقل عرض سیل بند ۳ متر می‌باشد. برای جلوگیری از فرسایش از مصالح ریپ رپ، چمن، بوته درختان و بتن استفاده می‌شود.

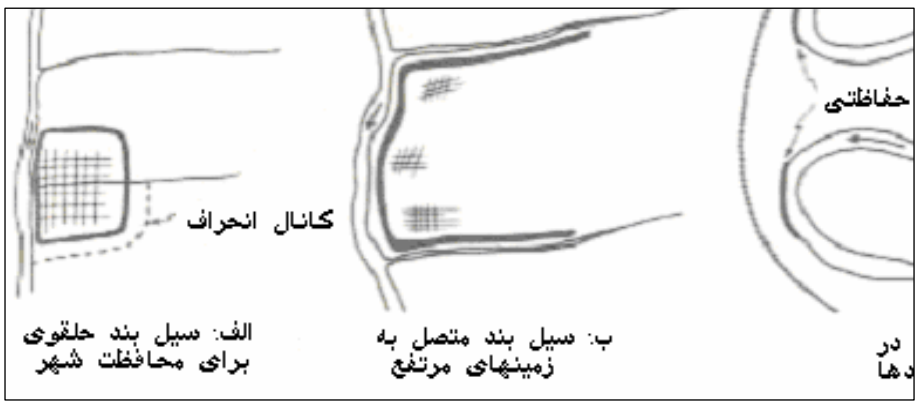
برای زیبایی، شیب گوره را می‌توانند ملایم‌تر از میزان لازم احداث نمایند. در این حالت سیل بند کمتر مشخص بوده و رفت و آمد مردم با سهولت بیشتری انجام می‌شود. زهکش‌های پاشنه‌ای برای حفظ ایمنی گوره‌ها در مقابل آبشستگی و جلوگیری از خروج آب از شیب پایین دست لازم است. به‌علت عرض زیاد گوره در پایین و ارزش بالای زمین‌های شهری، در این مناطق معمولاً از دیواره‌های سیل بند استفاده می‌شود این دیواره‌ها به نحوی طراحی می‌شوند که درمقابل فشار هیدرواستاتیکی (فشار بالا بر آب) مقاومت کنند. در بیشتر موارد گوره‌ها به موازات رودخانه احداث می‌شوند ولی گوره‌های حلقوی، گوره‌هایی که به زمینهای بلند متصل میشوند و گوره‌های در برگیرنده پیچان رود نیز در موارد خاص بکار گرفته می‌شوند.

---

6. Levees and flood walls




**شکل شماره ۲- مقطع تیپ سیل‌بندها (اقتباس از سایت رودخانه ها و سواحل ایران)**




**شکل شماره ۳ - جانمایی سیل بندها (اقتباس از سایت رودخانه ها و سواحل ایران)**

از مسائل مهم در طراحی گوره‌ها، زهکشی قسمت‌های داخلی می‌باشد که راه‌حل‌های مختلف، بشرح زیر مورد استفاده قرار می‌گیرند:

- حوضچه جمع‌آوری و ایستگاه پمپاژ
- زهکشی درونی گوره‌ها
- زهکشی انحرافی
- کانال زهکشی
- تخلیه از لوله‌های تحت فشار

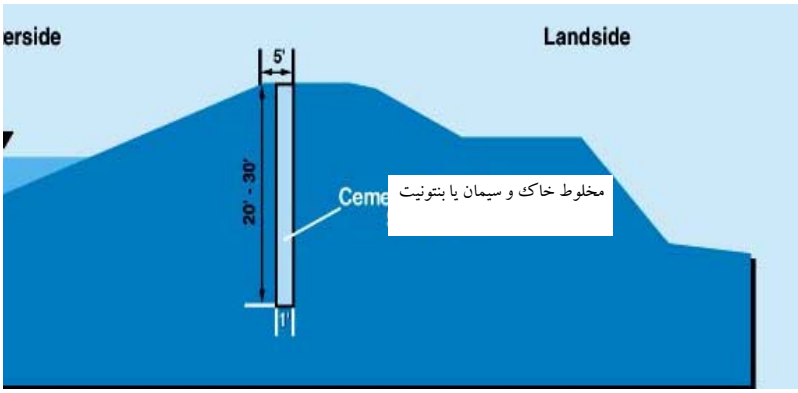
شرایط و مصالح ساختمانی بندرت کاملاً رضایت‌بخش می‌باشد و بنابراین با توجه به عدم قطعیت‌های مهندسی آب حتی با بهترین فنون احداث، خطر تخریب وجود دارد. مکانیزم‌های مختلف تخریب سیل بند بشرح ذیل می‌باشد:

- روگذری سیلاب
- نشت آب و آبشستگی
- فرسایش
- ناپایداری شیبها و لغزش‌های پیاپی (Sloughing)
- ایجاد حفره توسط حیوانات

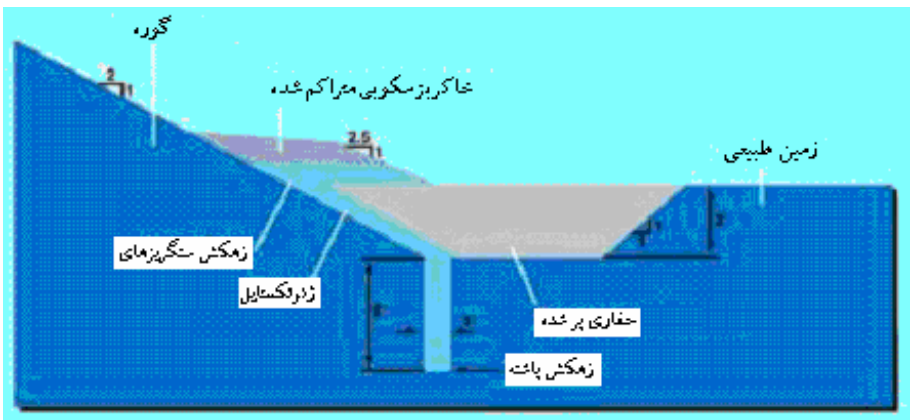
با توجه به موارد فوق گوره‌ها بایستی مرتباً مورد بازرسی قرار گیرند و اصلاحات لازم صورت پذیرد. در بسیاری از رودخانه‌ها افزایش تراز آب در جریان سیلاب به میزان چند سانتیمتر بالاتر از تاج سیل بند می‌تواند موجب تخریب آن شود. بنابراین افزایش اضطراری ارتفاع سیل بندها در جریان سیلاب که در مقابله با سیلاب صورت می‌گیرد، دارای اهمیت فوق العاده می‌باشد. روش‌های مورد استفاده بشرح زیر می‌باشد:

- خاکریز اضطراری بر روی تاج سد
- کیسه‌های شنی
- دیوار حائل چوبی – خاکی
- جعبه خاکی

در صورت تخریب سیل بندها، عواقب آن می‌تواند از شرایطی که اصلاً سیل‌بندی احداث نشده باشد بسیار وخیم تر شود. این مسئله بایستی در انتخاب دوره بازگشت گوره‌ها در نظر گرفته شود و استفاده از فیوز پلاگ نیز در بسیاری از موارد قابل توجیه می‌باشد. دیوارهای سیل بند کمتر از گوره‌ها در معرض خرابی میباشند. ولی امکان روگذری دیواره و یا آبشستگی در پی آن وجود دارد. گوره‌ها با محدود کردن عرض مسیر، موجب افزایش تراز سیلاب می‌شوند. اصلاح مسیر و افزایش ضرایب گذردهی می‌تواند مانع از افزایش تراز در اثر سیل بندها شود. با افزایش تراز سیلابی در ناحیه ای که گوره‌ها احداث شده اند، تراز آب در بالا دست و پایین دست افزایش می‌یابد. این افزایش تراز در مواردی عواقب ناگوار بدنبال داشته است. یک ناحیه که بوسیله گوره‌ها حفاظت شده ممکن است در اثر احداث گوره‌ها در بالادست یا پایین دست، دچار سیل گرفتگی شود. در این راستا لازم است ساماندهی رودخانه‌ها بر اساس یک طرح جامع به انجام برسد و براساس این طرح قسمت مهمی از سیلابدشت به مسیر جریان اختصاص یابد.




**شکل شماره ٤ - یکی از روش‌های آب‌بندی گوره‌ها (دیواره‌آببند)**
**(اقتباس از سایت رودخانه ها و سواحل ایران)**




**شکل شماره ٥- زهکش پاشنه گوره‌ها (اقتباس از سایت رودخانه ها و سواحل ایران)**

**عکس شماره ۲ - عواقب ناشی از تخریب سیل بند**
**(اقتباس از سایت رودخانه ها و سواحل ایران)**

## ۱-۲-٦-۳. مخازن تاخیری

مهار سیلاب با استفاده از مخازن تاخیری تاثیری مستقیم و سریع بـر روی سـیلاب مـی‌گـذارد. چنانچه توپوگرافی امکان ایجاد مخزن تاخیر با حجم مناسب را بدهد و منابع قرضه در فاصله کمـی از محل پروژه موجود باشد، به علت تاثیر سریعتر آن در مقایسه با روش‌های آبخیزداری بر تسکین سیلاب، می‌توان مورد استفاده قرار گیرد.

خروجی یک سد تاخیری، معمولاً یک سرریز بزرگ و یا چند خروجی بدون دریچه می‌باشد. نـوع خروجی که بکار می‌رود بستگی به ماهیت سیلاب و مشخصات جمعی مخزن دارد. عموماً خروجی‌های روزنه‌ای ترجیح داده می‌شوند که با توجه به خروجی روزنه موجب تـاخیر بیـشتر در جریـان و افـزایش ملایم تر جریان خروجی می‌شود. یک سرریز ساده سطحی معمولاً بـرای سـدهای تـاخیری مطلـوب نمی‌باشد. زیرا حجم زیر تاج سرریز برای کاهش سیلاب مورد استفاده قرار نمی‌گیرد. با این وجود برای حفظ ایمنی خود سد یک سرریز بزرگ با ظرفیت چند برابر ظرفیـت خروجـی‌هـا همیـشه لازم اسـت. ظرفیت خروجی یک سد تاخیری با مخزن پر بایستی برابر حداکثر ظرفیتی باشد که می‌تواند از رودخانه در پایین دست عبور کند. با شروع سیلاب، مخزن تاخیری پر می‌شود و خروجی آن قدر افزایش می‌یابد که مساوی سیلاب ورودی می‌شود. از آن به بعد حجم ذخیره شده خود بخود از مخزن خارج می‌شود.

سدهای تاخیری بیشترین کارآیی را در حوزه‌های کوچک و با شیب زیاد دارند. مثال بارز کارایی سدهای تاخیری، سدهای احداث شده در ایالت اوهایو آمریکا است. به علت زمان تمرکز کم سیلاب‌های حوزه‌های کوچک، بهره‌برداری کارآ از مخازن ذخیره‌ای به سختی ممکن می‌شود. به علاوه استفاده از مخازن تاخیری تخلیه خودبخود مخازن بعد از سیلاب را تضمین نموده و مانع از فدا شدن منافع کنترل سیلاب برای منافع ذخیره سازی می‌شود. بیشتر زمین‌های پایین دست سدهای تاخیری در اوهایو که بندرت دچار آبگرفتگی می‌شوند، برای کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرند. به این زمین‌ها مجوز احداث تاسیسات داده نمی‌شود.

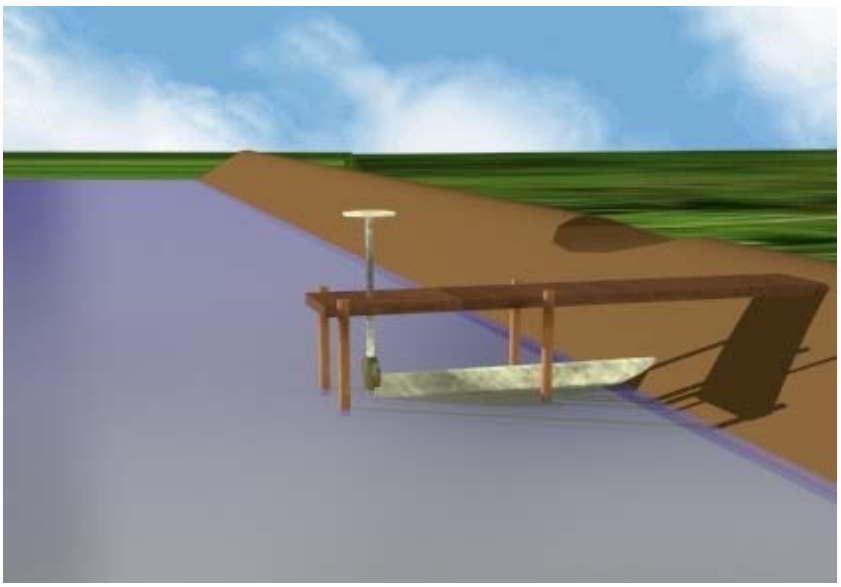
در طراحی سدهای تاخیری بایستی توجه شود که احداث این سدها موجب همزمانی سیلاب شاخه‌های مختلف و افزایش سیلاب در پایین دست نشود. برای حوضه‌های کوچک افزایش سیلاب در اثر سدهای تاخیری بسیار غیر محتمل است ولی در حوضه‌های بزرگ با سرشاخه‌های متفاوت این احتمال افزایش می‌یابد. بنابراین سدهای تاخیری عمدتاً برای حوضه‌های آبریز کوچک و سدهای مخزنی برای حوضه‌های بزرگ مورد استفاده قرار می‌گیرند.

## ۱-۲-٦-٤. سدهای پس زننده سیلاب[7]

این سدها آب را در عمق کم و در سطح وسیعی از اراضی زراعتی برای مدت حداقل دو هفته نگه داشته و پس از آن بتدریج آزاد می‌کند. انباشت آب در این اراضی باعث افزایش رطوبت خاک و تغذیه سفره آب زیرزمینی و نهایتا توسعه کشاورزی و حیات وحش می‌گردد.

شکل شماره ۶ یک سد پس زننده سیلاب با طول ۳۳۰ متر و ارتفاع ۲ تا ۲,۵ متر و عکس شماره ۳ عکس هوایی یک سد پس‌زننده سیلاب را نشان می‌دهد ( سایت هیدرولوژی). از آنجا که ارتفاع سد کم است لذا از نظر فنی بسیار ساده است. در این پروژه آب به مدت ۲ تا ۳ هفته در پشت سد نگهداری می‌شود و پس از آن به تدریج رها می‌شود.

7. Backflood Dams



**شکل شماره ٦ – سد پس زننده سیلاب با شیر کنترل جریان**

**عکس شماره ۳ – عکس هوایی یک سد پس زننده سیلاب**

## ۱-۲-٦-٥. سد خشک[8]

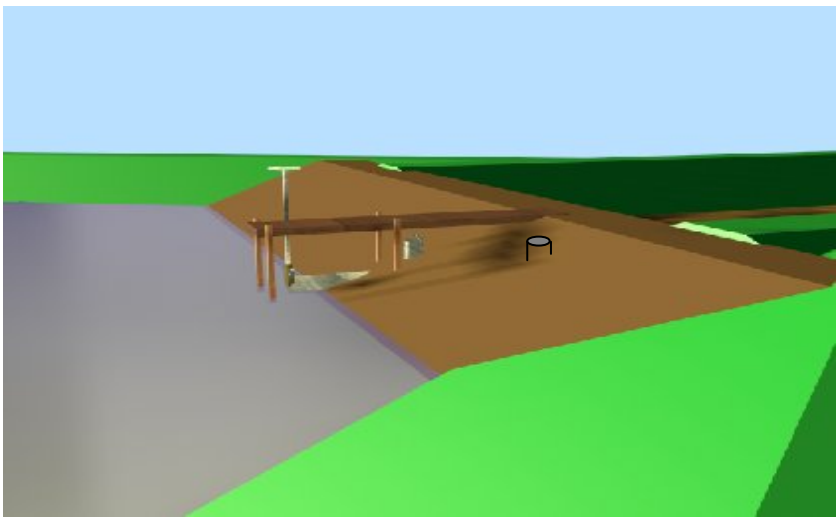
این سدها در اکثر مواقع خشک هستند و فقط در باران‌های سیل‌آسای بهاره پیک سیل را کاهش می‌دهند. این نوع سد مشابه سدهای تاخیری و عمدتاً همراه کارهای راهسازی برای کاهش سیل زیر پل‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. آب ذخیره شده در پشت این سدها به تدریج از طریق کالورت زیر جاده تخلیه می‌شود.

**عکس شماره ٤- نمونه‌ای از سد خشک در حالت پر**

## ۱-۲-٦-٦. سدهای چند منظوره[9]

سدهای چند منظوره آب را برای مصارف فصلی، خانگی و یا کشاورزی ذخیره می‌کنند. این بندها ممکن است برای تنظیم ذخیره فصلی، کنترل جریانهای بهاره و تابستانی، ذخیره آب برای فصل تابستان، آبشخور دام و حیات وحش و یا پرورش ماهی طراحی می‌شوند. این بندها معمولاً در پاییز کاملا خالی می‌شوند تا گنجایش کافی برای سیلابهای بهاره را داشته باشند. شکل شماره ۷ یک بند چند منظوره با سرریز لوله ای قائم را نشان می‌دهد. دهانه این سرریز لوله‌ای طوری قرار می‌گیرد که در هنگام پر شدن نیمی از مخزن، سرریز شروع به کار کند. عکس شماره ۵ نیز یک بند چند منظوره با شیر کنترل و آشغالگیر را نشان می‌دهد.

8. Dry Dam
9. Multi-Purpose Dams



**شکل شماره ۷- یک بند خاکی چند منظوره با سرریز لوله‌ای قائم**

**عکس شماره ۵ - یک بند چند منظوره با شیر کنترل و آشغالگیر (سایت هیدرولوژی)**

## ۱-۳- پایداری سدهای خاکی

### ۱-۳-۱- فاکتورهای مؤثر در پایداری سدهای خاکی

۱-حفاظت سطوح شیب دار بالادست(مرطوب) و پایین دست(خشک): پایین دست سد مراقبت چندانی نیاز ندارد و صرفاً باید در مقابل نیروهای بارش محافظت گردد در حالی‌که شیب بالا دست باید در مقابل نیروی امواج و فعالیت آب در داخل بدنه مقاومت کند.

۲- دیواره آب بند: بایستی تراوش در زیر پی به خوبی کنترل شده و به حداقل رسانده شود که این کار با ایجاد یک دیواره با ضخامت کم و غیر قابل نفوذ که تا لایه غیر قابل نفوذ خاک ادامه دارد، امکان پذیر است.

۳- افت ناگهانی سطح آب[۱۰]

۴- سرریز شدن آب[۱۱]

۵-آب شستگی داخلی

۶- امواج

۷-تنش‌های وارده به پی

۸-پایداری سطوح شیبدار

۹-خط آزاد سطح آب در داخل بدنه۱۲: این خط نبایستی سطح شیب دار پایین دست سد را قطع کند.

۱۰- زلزله: در صورتی که سد از اهمیت بالایی برخوردار باشد یا پایین دست خطر سیل گیری بالایی داشته باشد، باید عامل زلزله در محاسبات در نظر گرفته شود. اغلب شکاف‌های ناشی از زلزله در سد خاکی طولی و موازی بدنه سد می‌باشند و شکاف‌های عمودی خیلی کمتر بوجود می‌آید. برای سدهای خاکی شنی خسارت ناشی از زلزله خیلی جدی‌تر است. مهمترین علت شکست سد خاکی در اثر زلزله، روانگرایی خاک می‌باشد.

۱۱-عدم عبور مستقیم آب از سطوح شیبدار بالادست یا پایین دست

10. Rapid Drawdown
11.Overtopping
12. Phearatic Surface

## ۱-۳-۲- علل تخریب سدهای خاکی

### ۱-۳-۲-۱- شکست هیدرولیکی

۱۲- سرریز شدن آب از روی سد
۱۳- فعالیت موج در قسمت بالادست
۱۴- فرسایش پنجه‌ای
۱۵- خندقی شدن

### ۱-۳-۲-۲- شکست ناشی از نشت سد

این نوع شکست در اثر فعالیت رگاب (Piping) و غرقابی شدن صورت می‌گیرد. نشت آب داخل بدنه سد پیامدهای زیر را به دنبال دارد:

۱۶- آب نشتی یک نیروی فرساینده ایجاد می‌کند که باعث حمل ذرات خاک و انتقال آن به سوراخ‌های فیلتر در پایین دست و گرفتگی ونهایتاً از کار افتادگی سیستم می‌گردد.
۱۷- آب نشتی موجب اختلاف فشار منفذی شده که باعث بالا آمدن توده خاک و برهم ریختگی آن می‌شود که این پدیده که غلیان (جوشش ماسه)[۱۳] نام دارد، یکی از علل شکست سد است.
۱۸- آب نشتی موجب فرسایش داخلی خاک در بدنه سد خاکی می‌شود.
۱۹- فشار منفذی ایجاد شده موجب کاهش مقاومت خاک و ضعیف شدن آن در مقابل تنش برشی می‌شود.

### ۱-۳-۲-۳- شکست‌های سازه‌ای یا ساختمانی

۲۰- لغزش شیب پایین دست یا بالادست در اثر ایجاد اختلاف فشار منفذی زیاد
۲۱- شکست شیب بالادست در اثر افت سریع سطح آب
۲۲- لغزش شیب پایین دست در زمان پر بودن مخزن که می‌تواند موجب لغزش‌های عمیق و یا لغزش‌های سطحی شود.
۲۳- لغزش پی
۲۴- شکست ناشی از واگرایی مصالح
۲۵- شکست ناشی از پدیده زلزله

13.Liquifaction

۲۶- شکست ناشی از عدم محافظت دامنه‌ها
۲۷- شکست ناشی از فعالیت حیوانات حفار
۲۸- شکست ناشی از حمل مواد قابل حمل

## ۱-۳-۳- روش‌های جلوگیری از تخریب سدهای خاکی

### ۱-۳-۳-۱- راه‌های جلوگیری از تخریب هیدرولیکی

۲۹- رعایت طراحی صحیح سرریز
۳۰- رعایت عمق آزاد مناسب
۳۱- رعایت ارتفاع کامل سد پس از نشست
۳۲- رعایت عرض مناسب تاج برای جلوگیری از تخریب ساده آن در اثر عبور موقتی آب
۳۳- محافظت صحیح شیب بالا دست

### ۱-۳-۳-۲- راه‌های جلوگیری از تخریب ناشی از نشت سد

۳۴- محدود کردن میزان نشت به میزان پیش بینی شده
۳۵- رعایت شرایط دانه‌بندی و یکنواختی خاک و تراکم در حد فاصل لایه‌ها
۳۶- دور نگهداشتن خط آزاد آب از دامنه پایین دست

### ۱-۳-۳-۳- راه‌های جلوگیری از تخریب ناشی از شکست ساختمانی

۳۷- رعایت پایداری دامنه‌ها در برابر نیروهای مؤثر
۳۸- محدود کردن حداکثر تنش برشی ایجاد شده در دامنه سد که بایستی از تنش مجاز خاک کمتر باشد.

### ۱-۳-۳-٤- راه‌های مراقبت از شیب‌ها

شیب پایین دست (خشک) در صورتی که در معرض آب باشد عیناً شبیه بالادست عمل می‌کند. در غیر این صورت آن را باید در مقابل فرسایش بارانی و رواناب ناشی از آن از طریق ایجاد پشته‌های مناسب محافظت کرد تا آب را به خوبی جمع کرده و به منطقه امن هدایت کند. شیب بالادست اصولاً باید در مقابل موج مقاوم باشد و تمهیدات زیر در آن صورت گیرد:

۳۹- پوشش سنگ چین۱۴: این روش یک روش اقتصادی می‌باشد. ضخامت آن حداقل ۰/۳ متر است و تا ۱ متر بالاتر از فیلتر شنی ادامه می‌یابد. کنترل مرتب آن پیشنهاد می‌گردد و تلفیق آن با سایر فیلترها توصیه می‌شود. در ۹۵٪ مواردی که ریپ رپ با فیلتر تلفیق شده سد سالم باقی مانده است. ولی در صورتی که فقط از ریپ رپ استفاده شود ۳۰٪ موفقیت آمیز بوده است.

۴۰- لایه‌های سیمان خیلی حساس۱۵ که اگر فیلتر استفاده نشود در اثر حرکت‌ها و جابجایی می‌شکند.

۴۱- ورقه‌های فولادی۱۶

۴۲- پوشش قیری۱۷

۴۳- بلوکهای سیمانی پیش ساخته۱۸

## ۱-٤- مبانی طراحی سدهای خاکی

### ۱-٤-۱- برنامه‌ریزی برای ساخت سد

قبل از شروع به ساخت سد، لازم است برنامه دراز مدت مدیریت آب برای سد مورد نظر تدوین گردد. برای این منظور بایستی به سؤالات زیر پاسخ داده شود:

- چه منابع آبی در دسترس است؟
- هر یک از منابع آبی چه میزان آب را تامین خواهد کرد؟
- سالانه چه میزان آب بایستی توسط سد تامین گردد؟

بسته به نوع کاربری سد ممکن است یک یا چند نوع نیاز آبی شامل شرب، کشاورزی یا صنعت برای پروژه مطرح باشد. که تعیین هر یک از موارد نیاز آبی مطالعات خاص خود را می‌طلبد.

14. Rock Rip Rap
15. Concrete Slap
16.Steeling Fencing
17. Bituminous Pavement
18. Precast Concrete Block

### ۱-٤-۲- انتخاب نوع سد

انتخاب نوع سد با توجه به پارامترهای زیر صورت می گیرد:

۱- خصوصیات فیزیکی محل (توپوگرافی، زمین شناسی و شرایط پی، مواد قابل دسترسی و هزینه حمل و نقل، محل و اندازه سرریز، زمین لرزه، اقلیم)
۲- امنیت
۳- سازگاری نوع سد و هدف
۴- محدودیت‌ها
۵- اقتصاد

### ۱-٤-۳- انتخاب محل سد

انتخاب مناسب محل سد ضامن موفقیت یا شکست یک سد خاکی است. در خیلی از موارد ترمیم یک سد که محل آن درست انتخاب نشده هزینه‌ای به مراتب بیشتر از ساخت یک سد جدید دارد. در مرحله انتخاب محل سد، عوامل متعددی بایستی مورد توجه قرار گیرند که به مهمترین آنها در زیر اشاره می‌شود.

#### ۱-٤-۳-۱- نیاز به سرریز

نکته مهم در انتخاب محل سد، وجود سیستم مناسب برای عبور دادن جریان مازاد است. میزان حداکثر رواناب تعیین‌کننده اندازه سرریز خواهد بود. مکانیابی و طراحی سرریز طوری باید انجام شود که قابلیت عبور دادن حداکثر سیلاب را داشته باشد. همچنین مسیر برگشت آب سرریز به مسیر اولیه باید طوری در نظر گرفته شود که موجب فرسایش نشود.

#### ۱-٤-۳-۲- راندمان ذخیره

راندمان ذخیره یک سد عبارتست از نسبت آب قابل ذخیره در پشت سد به حجم عملیات خاکی برای ساخت آن. برای سدهای درجه یک این نسبت برابر ۱۰ یا بیشتر از آن است. این وضعیت برای دره‌های با شیب کم و عرض زیاد در محدوه مخزن و عرض کم در محل سد برقرار است. در دره‌های باریک و با شیب زیاد (آبکندها) میزان راندمان ذخیره پایین خواهد بود (حدود ۰,۲).

### ۱-٤-۳-۳- حجم ذخیره

میزان ذخیره آب در داخل یک درّه یا آبکند را می‌توان از رابطه زیر بصورت سرانگشتی حساب کرد (Cummings,1999) :

$$V_g = \frac{dWL}{۳۰۰۰} + V_e \qquad (۱)$$

که در آن:

**Vg** = حجم آب ذخیره شده در پشت سد (مگالیتر)
**d** = عمق آب در مجاورت سد شامل عمق‌گودبرداری (فاصله قائم بین سطح آب تا زیر پی) (متر)
**w** = عرض توده آب در تراز سطح آزاد آب و در مجاورت سد (طول تاج سد در تراز سرریز) (متر)
l = طول توده آب در امتداد دره از محل سد تا محل پیوستن رودخانه به مخزن (متر)
Ve = حجم خاکبرداری از زیر بستر طبیعی (مگالیتر)

برای سدهای ساخته شده در دامنه تپه، حجم ذخیره را می‌توان از رابطه تقریبی زیر حساب کـرد (Cummings, 1999):

$$V_h = \frac{dA}{۳۰۰۰} + V_e \qquad (۲)$$

که در آن:

Vg = حجم آب ذخیره شده در پشت سد (مگا لیتر)
d = عمق آب در مجاورت سد بدون احتساب عمق گودبرداری (متر)
A = سطح دریاچه پشت سد در حالت پر (متر مربع)
Ve = حجم خاکبرداری از زیر بستر طبیعی (مگا لیتر)

### ۱-٤-۳-٤- مصالح خاکی در دسترس

در باره هر سایت باید به سوالات زیر پاسخ داد:

آیا مصالح خاکی مناسب که آب بندی سد را فراهم کند در دسترس هست؟
آیا حجم مصالح خاکی در دسترس برای ساخت سد کافی است؟
آیا امکان اتصال سد به یک بستر نفوذناپذیر وجود دارد؟

برای پاسخ به این پرسش‌ها لازم است شناسایی لازم با استفاده از حفر گمانه بوسیله اوگر و یا حفر ترانشه با بیل مکانیکی در محل خاکبرداری و نیز در محور سد انجام گیرد. در این شناسایی به موارد زیر بایستی توجه شود:

- معادن شن و ماسه
- خاک‌های غنی سطحی و یا آلی با ضخامت زیاد
- بافت‌های رسی نفوذ پذیر و یا رسهایی که تراکم آنها مشکل است
- خاک‌هایی که در حین مرطوب کردن برای تراکم حالت قالبی بخود می‌گیرند
- خاک‌های نفوذ ناپذیر در زیر خاکریز سد برای متصل کردن خاکریز به آن

با نمونه‌برداری از مصالح بستر بایستی از وجود مصالح مناسب و به میزان کافی اطمینان پیدا کرد. مصالحی که در آنها پدیده تونلی شدن[19] اتفاق می‌افتد نباید مورد استفاده قرار گیرند. خاک محل بایستی برای تراکم و نیز جلوگیری از نشت آب مناسب باشد. بنابراین اکیداً توصیه می‌شود که آزمایشات مقدماتی بر روی خاک محل انجام شود. بدین منظور حفر پنج یا شش گمانه در محل سد و داخل مخزن ضروری است. هر یک از گمانه‌ها بایستی تا یک متر پایین‌تر از عمیق‌ترین قسمت گودبرداری سد مورد نظر ادامه یابد.

### ۱-٤-۳-۵- شوری

ساخت سدهایی که آب شور را در خود جمع کنند هیچ توجیهی ندارد. بخصوص که با جمع شدن نمک و تبخیر متوالی آب شور، میزان شوری آب مخزن افزایش می‌یابد. برای جلوگیری از شور شدن آب پشت سد بایستی خاک‌های نمکی در طول مسیر و در داخل مخزن مورد شناسایی قرار گیرد. همچنین لازم است کیفیت آب مورد آزمایش قرار گرفته و در صورت بالا بودن هدایت الکتریکی، راه حل‌هایی برای جلوگیری از شوری پیشنهاد گردد. توصیه می‌گردد از ساخت سد بر روی رودخانه‌های شور اجتناب گردد.

### ۱-٤-۳-٦- عوامل زیست محیطی

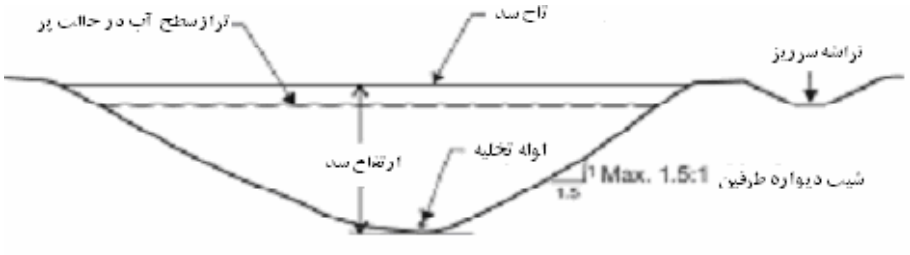
یکی از عوامل مهم در تعیین محل سد، توجه به عوامل زیست محیطی است. گزینه‌های مختلف برای محل سد بایستی مورد ارزیابی زیست محیطی قرار گرفته و برای گزینه نهایی مجوز سازمان محیط زیست اخذ گردد.

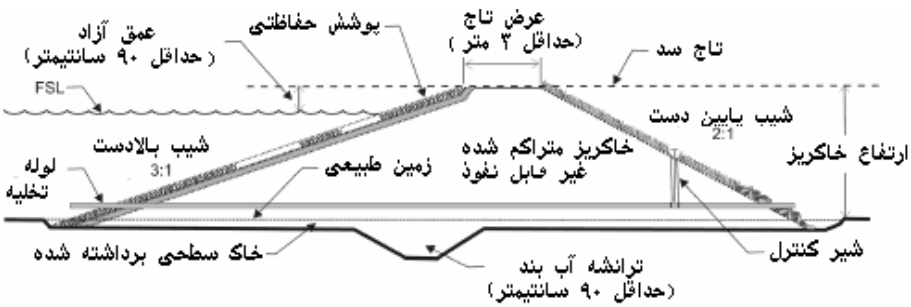
19.Tunneling or Arching

### ۱-٤-۳-۷- سایر عوامل

سایر نکاتی‌که در انتخاب محل سدبایستی به‌آنها توجه نمود عبارتند از(TSD, 2002) :

- معمولاً داخل آبکندها یا دره‌های عمیق بدلیل بالابودن نسبت حجم ذخیره مخزن به حجم عملیات خاکی، مناسب‌ترین محل برای ساخت سد است.
- بطور کلی از ساخت سد در مکان‌های با شیب خیلی تند (شیب بیشتر از ۱۵ درصد) به دلیل کمبود مصالح خاکی مناسب باید پرهیز کرد.
- برای تعیین ظرفیت سد و سرریز آن بایستی به وسعت حوزه آبخیز آن توجه شود. به طور سرانگشتی در مناطق ساحلی هر ۵ هکتار برای پرکردن یک بند خاکی کوچک با گنجایش حدود ۱۰۰۰ متر مکعب کافی خواهد بود. از طرف دیگر در حوزه‌های بزرگ، تامین و نگهداری سرریز کار مشکلی خواهد بود.
- سد بایستی امکان پرشدن با رواناب در هر سال را داشته باشد یا حجم آن به اندازه ای باشد که بتواند رواناب‌های متوالی که برای پرکردن سد لازم است را در خود ذخیره کند. عمق و حجم مخزن بایستی برای گذراندن یک دوره خشکسالی کافی باشد.
- عوارض توپوگرافی نظیر شیب و عرض و ارتفاع سد تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر هزینه‌های اجرای سد دارند. لذا برای تخمین این هزینه‌ها لازم است تا محل سد و مخزن آن با عملیات نقشه برداری برداشت گردد. یک نمونه از مقطع برداشت شده سد در شکل شماره ۸ نشان داده شده است.
- چنانچه حجم سد از ۵۰۰۰ متر مکعب و یا ارتفاع آن از ۴ متر (فاصله قائم بین تاج سد تا تراز سطح زمین در پایین دست سد) تجاوز نماید بایستی برای جانمایی سد از کارشناسان سدسازی استفاده گردد.
- برای سدهایی که روی رودخانه‌ها بسته می‌شوند چه برای مقاصد کشاورزی (با هر ظرفیتی) یا مصارف خانگی (با حداقل ظرفیت ۷۰۰۰ متر مکعب)، اخذ مجوز از مقامات مسئول (وزارت نیرو) الزامی‌است.
- ارزیابی خطرپذیری و میزان خسارات احتمالی در صورت شکست سد برای پروژه انجام گیرد.
- فعالیت‌های آبخیزداری مؤثر در کمیت و کیفیت رواناب مورد توجه قرار گیرد.




**شکل شماره ۸ - مقطع یک سد خاکی (TSD, 2002)**

## ۱-٤-٤- تعیین سیل مبنای طرح

### ۱-٤-٤-۱- عوامل مؤثر در وقوع سیل

بدون شک سیلاب به عنوان یک بلای طبیعی شناخته شده است. ولی در عمل سیلاب هم از نظر تلفات جانی و هم از نظر خسارات مالی مهیب‌ترین بلای طبیعی در جهان محسوب می‌شود. از سال ۱۹۸۸ تا ۱۹۹۷ حدود ۳۹۰۰۰۰ نفر در اثر بلایای طبیعی در جهان کشته شدند که ۵۸ درصد مربوط به سیلاب، ۲۶ درصد در اثر زلزله و ۱۶ درصد در اثر طوفان و بلایای دیگر بوده است. خسارات کل در این ۱۰ سال حدود ۷۰۰ میلیارد دلار بوده است که به ترتیب ۳۳، ۲۹، ۲۸ درصد مربوط به سیلاب، طوفان و زلزله بوده است. در این رابطه نکته نگران کننده، روند افزایشی تلفات و خسارات سیلاب در جهان در دهه‌های اخیر بوده است. افزایش جمعیت و دارایی‌ها در سیلابدشت‌ها تغییرات هیدروسیستم‌ها و اثرات مخرب فعالیت‌های انسانی از دلایل عمده این روند افزایش بوده است.

### ۱-٤-٤-۲- تعریف سیل

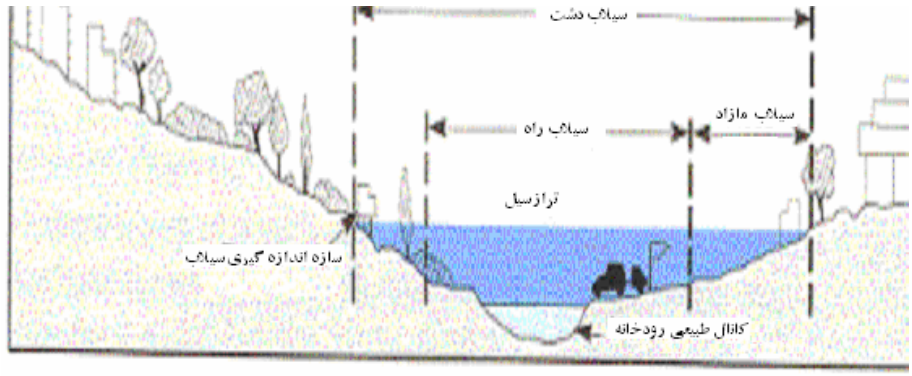
سیل در حقیقت افزایش ارتفاع آب رودخانه و مسیل و بیرون زدن آب از آن و اشغال بخشی از دشت‌های حاشیه رودخانه می‌باشد که می‌تواند با غرقاب نمودن منطقه باعث وارد آمدن خسارات بر ساختمان و تاسیسات عمومی‌شده و تلفات انسانی و دامی‌به همراه داشته باشد در مواردی نیز سیل می‌تواند ناشی از افزایش سطح آب دریاچه و یا دریا باشد که در این موارد جریان بادهای شدید تاثیر زیادی خواهد داشت.

در هنگام بارش باران و برف، مقداری از آب جذب خاک و گیاهان می‌شود، درصدی تبخیر و باقیمانده جاری شده و تولید رواناب می‌کند. سیلاب زمانی روی می‌دهد که خاک و گیاهان نتوانند بارش را جذب نموده و در نتیجه کانال طبیعی رودخانه، کشش گذردهی رواناب ایجاد شده را نداشته باشد. وقوع سیلاب‌ها منطقه‌ای به نام سیلابدشت را در اطراف رودخانه بوجود می‌آورند. سیلاب‌های رودخانه اغلب ناشی از بارش‌های شدید می‌باشد که در برخی موارد همراه با ذوب برف می‌باشد. سیلابی که بدون پیش هشدار یا پیش هشدار کمی در رودخانه جاری شود تند سیل نامیده می‌شود. تلفات جانی این تند سیلاب‌ها که در حوزه‌های کوچک بوقوع می‌پیوندند عموماً بیشتر از تلفات جانی سیلاب‌های رودخانه‌های بزرگ می‌باشند. روش‌های اصلی مهار سیلاب از زمان‌های دور بکار گرفته می‌شوند. این‌ها شامل احیاء جنگل‌ها، احداث سیل بندها، سدها، مخازن و کانال‌های سیلاب بر می‌باشند.

### ۱-٤-٤-۳- سیلابدشت

سیلابدشت‌ها زمین‌های کم ارتفاع در کناره‌های رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و اقیانوس‌ها می‌باشند. سیلابدشت‌ها با دوره برگشت سیلابی که آنها را زیر آب ببرد، از یکدیگر متمایز می‌شوند. برای مثال سیلابدشت ۱۰ ساله در سیلاب با دوره بازگشت ۱۰ سال زیر آب می‌رود.

سازه‌های کنترل جریان مانند سدها، سیل بندها، کانال‌های سیل بنحوی طراحی می‌شوند تا سیلاب با دوره بازگشت معین، حفاظت از مناطق را به انجام برسانند. این سطح ایمنی بر اساس ملاحظات اقتصادی، تمایلات جوامع مربوطه، اثرات زیست محیطی و عوامل دیگر تعیین می‌شود. مهندسین می‌توانند سازه‌ها را به نحوی طراحی کنند که سطح ایمنی بالا را تضمین کند. جوامع معمولاً سطوح ایمنی پایین تری را انتخاب می‌کنند. این امر به علت هزینه اولیه قابل ملاحظه می‌باشد. در آمریکا برنامه ملی بیمه سیلاب حداقل دوره بازگشت را ۱۰۰ ساله انتخاب کرده است. با این دوره بازگشت در یک دوره ۳۰ ساله، ۲۶ درصد شانس وقوع سیلاب طراحی سازه‌ها یا بزرگتر وجود دارد (جدول شماره۲).




**شکل شماره ۹ - شمای یک سیلابدشت**

### ۱-٤-٤-٤- فراوانی سیلاب

روشی مورد اطمینان برای اینکه پیش بینی شود که سیلاب بعدی چه زمانی به وقوع می‌پیوندد و ابعاد آن در چه مقیاسی است وجود ندارد. با این وجود سیلاب‌های گذشته سرنخ‌ها را از آنچه محتمل است بدست می‌دهد. مهندسین با مطالعه سیلاب‌های گذشته و استفاده از علم آمار احتمال وقوع سیلاب‌هایی با ابعاد مختلف را برآورد می‌نمایند. در یک سال پر آب ممکن است چندین سیلاب بزرگتر از سیلاب ۱۰ ساله بوقوع پیوندد. حتی ممکن است دو سیلاب ۱۰۰ ساله یا بزرگتر در فاصله کمی روی دهند. درصد احتمال وقوع یک سیلاب بر اساس متوسط در یک دوره طولانی مدت می‌باشد. در یک سال پر آب ممکن است چندین سیلاب بزرگتر از سیلاب ۱۰ ساله بوقوع پیونداحتمال وقوع دو سیلاب بزرگ بصورت پیاپی مشابه شیر و خط کردن سکه است. چون برای مثال ۵ بار متوالی شیر آمده دلیل نیست که بار ششم هم شیر نیاید. احتمال وقوع همان ۵۰ در ۵۰ است.روشی مورد اطمینان برای اینکه پیش بینی شود که سیلاب بعدی چه زمانی بوقوع می‌پیوندد و ابعاد آن در چه مقیاسی است وجود ندارد.

### ۱-٤-٤-٥- میزان ریسک قابل قبول

احتمال وقوع سیلاب تقریبا در تمامی‌نواحی بسته به شرایط موجود دارد. واضح است که در برخی مناطق احتمال سیلاب بزرگتر از دیگر مناطق است. برای اهداف عملی, ریسک قابل قبول بستگی به مورد خاص دارد. برای مثال آبگرفتگی یک پارک، مزرعه یا زمین گلف هر ۱۰ سال یکبار قابل قبول است ولی در مورد مدارس و بیمارستان‌ها که خطر جانی بیشتری وجود دارد، ریسک ۱ در ۵۰۰ سال انتخاب می‌شود. بقیه موارد در میان این دو حد نهایی (۱ در ۱۰ سال تا ۱ در ۵۰۰ سال) قرار می‌گیرند. ریسک مجاز بسته به سرمایه گذاری‌های انجام شده، ریسک خطرات جانی، دسترسی به مناطق امن در صورت وقوع سیلاب و دیگر عوامل دارد. حتی با در نظر گرفتن کلیه عوامل جواب سر راست و

مشخصی وجود ندارد. جدول زیر احتمال وقوع سیلاب با دوره بازگشت خاص را در یک دوره معین بدست می‌دهد.

### ۱-٤-٤-٦- تعیین پتانسیل خطر

پتانسیل خطرپذیری یک منطقه نشان می‌دهد که در اثر وقوع سیل یا شکست سد (در حالت تراز نرمال دریاچه یا در وضعیت سیلابی) چه خطراتی در پایین دست سد بوجود می‌آید با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی و همچنین نقشه کاربری اراضی و تاسیسات موجود در منطقه و ارزش هر یک از آنها می‌توان پتانسیل خطر سیل خیزی هر منطقه را مشخص کرد.

### ۱-٤-٤-۷- مطالعه نتایج شکست سد

انتخاب سیل طرح برای سد به پارامترهای مختلفی از جمله خصوصیات مخزن (عمق، حجم دریاچه) و خطر سیل‌خیزی پایین دست سد وابسته است برای ارزیابی و بدست آوردن نتایج مناسب از اثرات شکست سد باید مطالعات دقیقی در مورد اراضی پایین دست از قبیل بیمه سیل، بازرسی زمینی، نقشه‌های توپوگرافی جدید و .. استفاده شود با استفاده از این موارد باید اولین تراز ارتفاعی که سازه‌های مسکونی و تجاری اجازه ساخت دارند تعیین گردد. ایجاد شکاف در سد و مکانیسمی‌که باعث شکست آن می‌شود می‌تواند به صورت زیر باشد:

- اندازه و شکل شکاف بوجود آمده در سد
- زمان تشکیل شکاف
- تراز هیدرولیکی
- ذخیره مخزن
- حجم جریان ورودی به مخزن

مساحت مؤثر در اثر موج سیل ناشی از شکست سد بستگی به فاصله منطقه از محل سد، عرض کانال و خصوصیات موج دارد. زمان پیمایش موج سیل، زبری کانال، شیب کانال وخصوصیات هندسی دشت سیلابی از فاکتورهای مهم و اساسی است. امواج ناشی از شکست سد باید در مکان‌های مختلف از پایین دست روندیابی(مسیر یابی)گردد. در محاسبه روند جریان باید جریانات همزمان با در نظر گرفته شود. جریانات همزمان ورودی به پایین دست می‌تواند با استفاده از یکی از دیدگاه‌های زیر تعیین گردد.

- جریانات همزمان می‌تواند بر اساس ثبت وقایع تاریخی پایه گذاری شود. اگر این وقایع جریانات فرعی را نیز در نظر گرفته باشد این جریان باید تعدیل گردد.

- در صورتی که مقادیر جریان مشخص و در دسترس باشد جریانات همزمان می‌تواند از مطالعات سیلاب و بدست آوردن توزیع مناسب جریان بدست آید.
- جریانات همزمان می‌تواند معادل سیلاب متوسط سالانه (حالتی که کل ظرفیت کانال از آب پر است) در کانال و شاخه‌های فرعی در نظر گرفت. متوسط سیلاب سالانه می‌تواند با استفاده از مطالعات فراوانی جریان بدست آید.
- به طور کلی باید طراحی سد به گونه ای باشد که کمترین خسارت جانی و مالی را در پی داشته باشد. در صورتی که موارد زیر رعایت شود می‌توان خسارت را کم کرد.

۱- هیچ سازه مسکونی وجود نداشته باشد و پیش بینی لازم برای توسعه مناطق مختلف دشت سیلابی در آینده صورت گیرد.

۲- جریان سیلاب به یک مخزن بزرگ در پایین دست ریخته شود.

۳- سیلاب در کانال رودخانه محدود شود.

۴- سیلاب وارد خلیج یا اقیانوس گردد.

در طول شکست سد و ایجاد سیلاب خصوصیات جریان مانند سرعت و عمق افزایش می‌یابد. برای ارزیابی دقیق و کامل خطرات باید پروفیل سطح آب، زمان پیمایش موج سیل و سرعت بالا آمدگی موج در هر وضعیت مشخص گردد. نتایج روندیابی سیل باید به طور واضح نقشه سیلابی، زمان پیمایش، ماکزیمم عمق جریان، ماکزیمم سرعت و نقاط بحرانی در پایین دست را نشان دهد. این نقشه باید با مقیاس مناسب برای مناطق مسکونی و مناطق تحت تاثیر تهیه گردد. برای آنالیز جریانات ناشی از شکست سد، جریان غیر ماندگار در نظر گرفته شود و از روش‌های روندیابی دینامیکی جریان استفاده کرد. اغلب مدل‌های ارائه شده برای تخمین هیدروگراف سیل ناشی از شکست سد از روش‌های فوق استفاده می‌کنند. مدل برای اجرا احتیاج به اندازه، شکل و زمان از شروع شکست سد دارد. آنالیز حساسیت بر پایه وضعیت‌های مختلف جریان ورودی و پارامترهای شکست سد لازم است که انجام گیرد و اقدامات لازم برای طراحی انجام گیرد.

سیلاب ورودی طرح باید بر اساس نتایج ارزیابی خطرات شکست سد صورت گیرد. برای اینکار از شبیه سازی جریان ناشی از شکست سد در حالت‌های جریان نرمال و سیلابی رودخانه استفاده می‌گردد. به منظور روندیابی جریان ناشی از شکست سد در حالتی که مخزن سد از آب پر است باید دو نوع روند انجام گیرد. ابتدا در حالتی که سد پایدار است, جریان ورودی به سد را روند کرده و میزان خروجی آن در سرریز مشخص می‌گردد. در حالت دوم با فرض شکسته شدن سد, جریان عبوری از وسط آن رود می گردد. بر حسب اهمیت می‌توان درصدی از ماکزیمم سیل محتمل[۲۰] را به عنوان سیل

20.probable maximum flood (PMF)

طرح برای سازه در نظر گرفت. مقدار ماکزیمم سیل محتمل را می‌توان بر اساس خصوصیات هیدرولوژیکی، هوا و اقلیم شناسی بدست آورد. به این صورت که ابتدا ماکزیمم بارش محتمل[21] بدست آمده آنگاه با توجه به خصوصیات هیدرولوژیکی حوزه و اثرات آن بر PMP ماکزیمم سیل محتمل بدست می‌آید.

### ۱-٤-٤-۸- معیار انتخاب سیل طرح

در وضعیت ایده‌ال, سد باید جریان را در خود نگه داشته و افزایش جریان خطری برای زندگی و دارایی انسان نداشته باشد که چنین وضعی کمتر بوجود می‌آید. روش‌های مختلفی برای انتخاب سیل طرح وجود دارد که بستگی به اهمیت سد، زمان و سرمایه موجود دارد. برای سازه‌های مختلف سد فقط یک سیل طرح انتخاب می‌گردد. با توجه به آنالیز شکست سد قبل از ساخت چنانچه ارتفاع آب در پایین دست سازه ۶۰ سانتی‌متر یا بیشتر باشد، مهندس باید در تصمیم خود تجدید نظر کند ولی چنانچه ارتفاع آب کمتر از مقدار فوق باشد ریسک خطر مورد پذیرش قرار می‌گیرد. هر چند که معیار فوق می‌تواند در وضعیت‌های مختلف مناطق تغییر کند.

### ۱-٤-۵- تخمین حجم رواناب حوزه

میزان رواناب ایجاد شده توسط یک حوزه آبخیز به پارامترهای متعددی از جمله نوع و ضخامت خاک، پوشش گیاهی و غیره بستگی دارد. یک حوزه با خاک کم عمق و پوشش گیاهی فقیر رواناب بیشتری از یک حوزه با خاک عمیق و پوشش گیاهی متراکم تولید خواهد کرد. برای محاسبه رونا‌ب می‌توان از رابطه (۳) استفاده کرد .

.( Cummings, et al., 1999 ).

$$Runoff = \frac{A.R.Y}{۱۰۰۰۰} \qquad (۳)$$

Runoff = رواناب بر حسب مگالیتر

A = مساحت حوزه بر حسب هکتار

R = بارندگی متوسط بر حسب میلیمتر

Y = ضریب رواناب حوزه که از جدول شماره۲ بدست می‌آید.

21. probable maximum precipitation (PMP)

برای سطح اطمینان ۹۰ درصد، ضریب رواناب را می‌توان دو سوم مقادیر فوق در نظر گرفت. قابل ذکر است که در صورت افزایش پوشش گیاهی و یا ساخت سد دیگری در بالادست سد مورد نظر، ضریب رواناب نیاز به اصلاح خواهد داشت.

**جدول شماره ۲ - ضریب رواناب حوزه (**Cummings, et al., 1999**)**

| رواناب حوزه های کوچک بصورت درصدی از بارندگی (با سطح اطمینان ۸۰ درصد) | | | | |
|---|---|---|---|---|
| شیل و رسهای پلاستیک | رسهای الاستیک | رسهای ماسه‌ای | خاک ماسه‌ای و لومی کم عمق | بارنگی متوسط سالانه (**mm**) |
| ۱۵–۲۵ | ۱۵–۲۰ | ۱۰–۱۵ | ۱۰–۱۵ | ۱۱۰۰ |
| ۱۵–۲۰ | ۱۲,۵–۲۰ | ۱۰–۱۵ | ۱۰–۱۲,۵ | ۹۰۰–۱۱۰۰ |
| ۱۰–۱۵ | ۷,۵–۱۵ | ۷,۵–۱۵ | ۷,۵–۱۰ | ۵۰۰–۹۰۰ |
| ۷,۵–۱۲,۵ | ۲,۵–۵ | ۵–۱۰ | ۲,۵–۵ | ۴۰۰–۵۰۰ |
| ۲,۵–۷,۵ | ۰–۲,۵ | ۰–۵ | ۰–۲,۵ | ۲۵۰–۴۰۰ |

## ۱-٤-٦- پارامترهای طراحی سدهای خاکی

مهم‌ترین اصل در طراحی سد، ساخت یک سازه امن و پایدار در تمام مراحل ساخت و بهره برداری است. برای این منظور شرایط زیر بایستی فراهم باشد:

۱- با تامین سرریز و خروجی با ظرفیت کافی، خاکریز سد در مقابل سرریزی مصون باشد.
۲- شیب خاکریز در تمام شرایط بهره برداری از جمله افت سریع سطح آب پایدار باشد.
۳- خاکریز طوری طراحی شود که تنش زیر پی هیچگاه از حد مجاز تجاوز نکند.
۴- تراوش از بدنه، پی و تکیه گاه‌ها کنترل گردد، طوری‌که فرسایش داخلی و یا لغزش شیب‌ها اتفاق نیفتد.
۵- شیب بالادست خاکریز بایستی در مقابل موج و شیب پایین دست در مقابل باد و باران حفاظت شود.

اکثر سدها به خصوص آنهایی که حجم زیادی از آب را در پشت خود ذخیره می‌کنند یا خطر تخریب آنها بالاست، بایستی توسط مهندسین با تجربه طراحی و اجرا گردند. برای نیل به شرایط فوق

بایستی هر یک از پارامترهای طراحی سد مقادیر معقول و بهینه‌ای انتخاب گردد. این پارامترها عبارتند از (**Cummings, et al., 1999** ):

۱- عرض تاج: به خصوصیات مصالح مورد استفاده، حداقل نفوذ آب به بدنه سد (هرچه نفوذ پذیری بیشتر باشد عرض بالا بیشتر است)، ارتفاع و اهمیت سد، کاربری سد، محافظت در مقابل زلزله و موج بستگی دارد.

۲- ارتفاع آزاد: به فاصله عمودی تاج سد و سطح آب داخل سد گفته می‌شود وبه دو گونه تعریف می‌شود.

الف- عمق آزاد حداقل: به ارتفاع عمودی بین تاج سد و حداکثر ارتفاع آب در مخزن اطلاق می‌شود.

ب- عمق آزاد نرمال: به ارتفاع عمودی بین تاج سد و سطح نرمال آب در مخزن اطلاق می‌شود.

۳- پوشش خارجی: باعث تامین پایداری برای سد و حفاظت برای مغزه اصلی است. این پوشش باید طوری باشد که در برابر عوامل جوی براحتی تحت تاثیر قرار نگیرد.

۴- هسته غیر قابل نفوذ مرکزی: در ساخت هسته باید به مواردی همچون حد قابل قبول افت یا نشت، حداکثر عرض سد که امکان ساخت هسته مرکزی غیر قابل نفوذ را مهیا می‌کند، در دسترس بودن مصالح و طراحی فیلتر توجه داشت.

۵- ترانشه یا پرده آب بند: ترانشه آب‌بند مانع هدر رفت آب شده و از فرسایش زیر سطحی که ناشی از درون شستگی است، ممانعت می‌کند. در طراحی ترانشه آب بند موارد زیر مد نظر قرار می‌گیرد:

- مسیر ترانشه آب بند بایستی به نحوی باشد که محور آن در قسمت بالادست هسته غیر قابل نفوذ قرار گیرد و در داخل سنگ و یا لایه‌های خاکی غیر قابل نفوذ ثابت شود.
- عرض پایین آن بایستی طوری باشد که مکان کافی برای کوبیدگی را مهیا کند و سد را در مقابل آب شستگی محافظت نماید.
- حداقل به عمق ۱ متر داخل لایه غیر قابل نفوذ زیرین امتداد داشته باشد
- ترجیحاً بایستی از هر دو طرف تا کف هسته غیر قابل نفوذ در جناحین ادامه داشته باشد.

۶- سیستم زهکشی پایین دست: نقش این سیستم کاهش فشار آب منفذی در قسمت پایین دست و جلوگیری از مساله آب شستگی از طریق ممانعت از حرکت ذرات ریز دانه می‌باشد.

۷- نشست سد: چون هرگز نمی‌توان با کوبیدگی به تراکم مناسب و ۱۰۰ درصد رسید لذا برای سد خاکی باید ارتفاعی اضافی را برای جبران نشست در نظر گرفت. به طور کلی برای سدهای کوتاه باید ۵ تا ۱۰ درصد ارتفاع سد را به عنوان نشست سد در نظر گرفت.

## ۱-۵- اجرا

در ساخت و نگهداری یک سد خاکی نکات مختلفی نظیر مشخص کردن قسمت‌های مختلف سد با پیکه کوبی، برداشت خاک سطحی و زایدات گیاهی، کوبیدگی مناسب در لایه‌های مساوی و حداکثر ۱۵ سانتیمتری، استفاده از دانه بندی مناسب برای مصالح خاکی، کنترل نفوذ آب و رعایت عمق آزاد بایستی مورد توجه قرار گیرد.

## ۱-٦- نگهداری

نگهداری و بازرسی از سد خاکی یک برنامه عادی و برنامه ریزی شده در سدهای خاکی است به طور مرتب باید قسمت‌های مختلف سازه توسط بازرس مورد بررسی قرار گیرد و اثرات درز و ترک، لغزش، تراوش، وجود یا عدم وجود جانوران حفار، رشد گیاهان و همچنین علل وقوع آنها مورد بررسی قرار گیرد. در بعضی سدها ارتفاع آب باید توسط پیزومترها در داخل بدنه سد اندازه‌گیری گردد و خط نشت آب در داخل بدنه سد مورد بررسی قرار گیرد تا مطمئن شویم که این خط از بدنه سد عبور نخواهد کرد. در صورت بوجود آمدن این حالت به دلیل وجود چشمه در شیب پایاب احتمال تخریب و شکست سد بسیار زیاد خواهد بود این خط همیشه باید در داخل سد به بستر سد برسد.

## منابع مورد استفاده این فصل:

1- Cummings, D. and B. Hill, 1999, Finding a Dam Site, Technical Report No. LC0084, ISSN 1329 833X, Department of Natural Resources and Environment, State of Victoria, Australia, www. nre. vic.gov. au/dpi/ nreninf. nsf/FID/

2- Technical Services Division (TSD), 2002, Small Earth Fill Dams, Agdex 716 (A20) , Alberta Agriculture, Food and Rural Development, Canada, www.agric.gov.ab.ca

# فصل دوم

## طراحی، اجرا و نگهداری بندهای کوتاه آبخیزداری (حداکثر ارتفاع ۲/۶ متر)

### ۲-۱- مقدمه

سدهای کوچک از دیرباز برای کنترل سیل و جلوگیری از فرسایش در آبکندها مورد استفاده بوده‌اند. این سدها که به سدهای کنترل سیل نیز شهرت دارند، از طریق نگهداشت سیلاب از فرسایش بستر آبکندها جلوگیری می‌کنند. سدهای کوچک آبخیزداری باید دارای حوزه‌ای کمتر از ۴۰ هکتار باشند تا بتوانند سیلاب‌های با دوره بازگشت تا ۱۰ سال را تحمل کنند. سرریز این سدها باید قادر باشند این سیلاب‌ها را از خود عبور دهند. عکس شماره ۶ نمایی از یک سد کوچک آبخیزداری را نشان می‌دهد.

**عکس شماره ٦- نمایی از یک سد کوچک آبخیزداری (سد کنترل سیل)**

## ۲-۲- محدوده کاربرد

در صورت تأمین شرایط زیر، این دستورالعمل می‌تواند برای برنامه ریزی، طراحی و اجرای سدهای کوچک آبخیزداری با هدف کنترل سیل و جلوگیری از فرسایش در آبکندها توسط افراد غیرمتخصص مورد استفاده قرار گیرد، هرچند در مواردی که شکست سد می‌تواند باعث خسارات جانی و مالی گردد، بایستی از نظرات متخصصین سدسازی استفاده گردد.

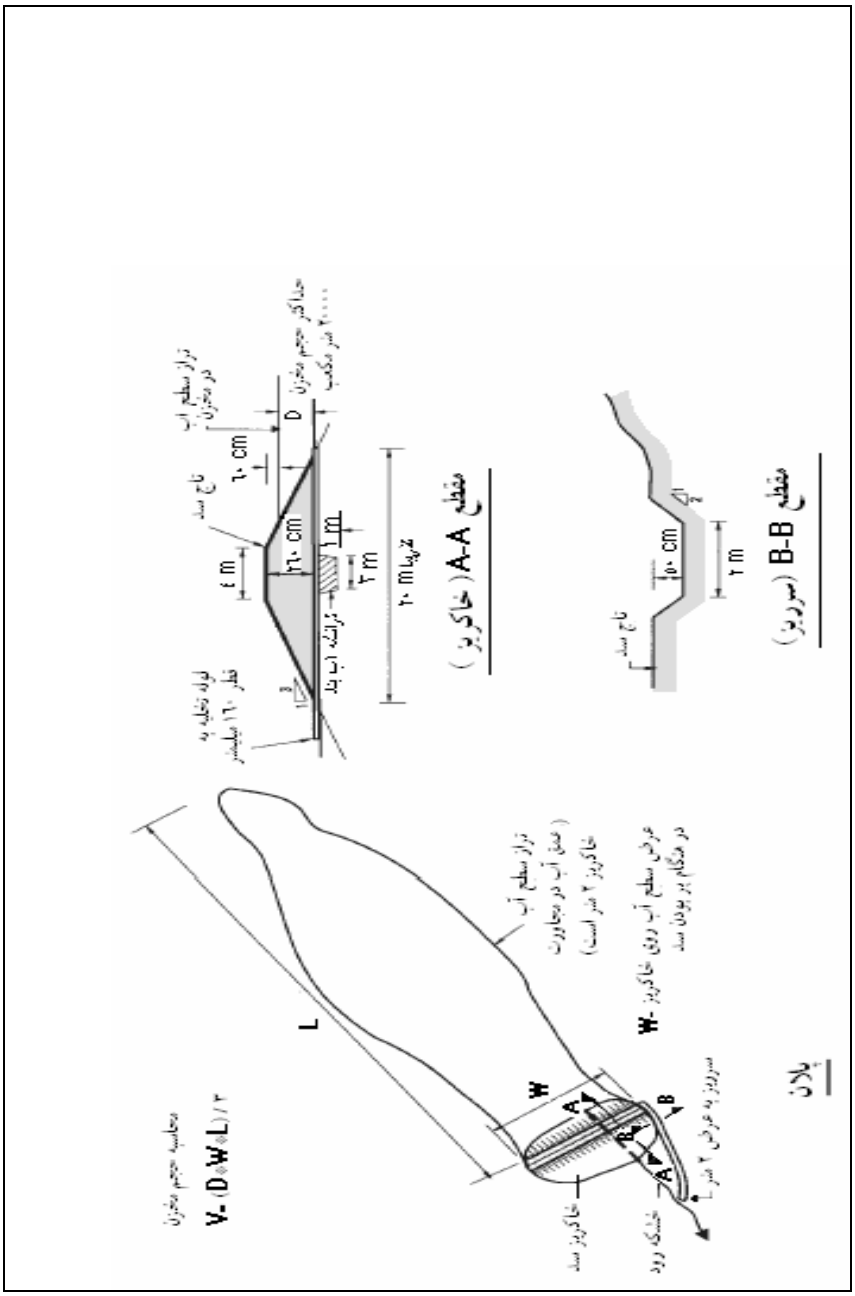
- وسعت حوزه در بالادست سد نباید بیش از ۴۰ هکتار باشد.
- ارتفاع سد با در نظر گرفتن ۶۰ سانتی‌متر عمق آزاد نباید بیش از ۲/۶ متر باشد. (با این ارتفاع هزینه‌های سد حداقل خواهد بود.)
- عمق آب پشت سد همواره کمتر از ۲ متر باشد.
- حجم آب انباشته شده در پشت سد کمتر از ۲۰۰۰۰ متر مکعب باشد.
- برای عبور آب مازاد سرریز در نظر گرفته شده باشد.
- آب پشت سد باعث اشغال اراضی مردم نگردد، مگر با موافقت آنها.

در صورتی‌که همه ضوابط فوق رعایت گردد، معمولا ساخت سد نیاز به اخذ مجوز ندارد. بدیهی است در صورتی‌که هر یک از این شرایط برقرار نباشد بایستی برای ساخت سد از مقامات ذیصلاح مجوز اخذ گردد.

## ۲-۳- ضوابط طراحی و اجرا

- ابعاد سد مطابق نقشه تیپ ارائه شده در شکل شماره ۱۰ انتخاب شود.
- خاک سطحی محل اجرای سد و کف مخزن بایستی قبل از اجرای آن برداشته شود.
- برای سد با ارتفاع ۲/۶ متر، عرض قاعده برابر با ۲۰ متر و شیب طرفین آن ۳ افقی به ۱ قائم منظور شود.
- برای عبور آب مازاد، یک سرریز پوشیده از علف (ترجیحا چمن) و یا سنگچین به عرض حداقل ۲ متر و شیب کناره ۵ افقی به ۱ قائم در نظر گرفته شود. کف سرریز بایستی ۶۰ سانتیمتر پایین تر از تراز تاج باشد. در هنگام عمل کردن سرریز، جریان باید بصورت یکنواخت در سطح سرریز جاری گردد.
- برای تخلیه آب پشت سد لوله تحتانی به قطر ۱۶۰ میلی‌متر در پایین‌ترین قسمت سد تعبیه گردد. دقت شود که لوله تخلیه در پایین‌ترین عمق نصب شود تا امکان تخلیه کامل آب پشت سد فراهم باشد. به این ترتیب امکان رشد پوشش گیاهی در داخل مخزن همیشه وجود خواهد داشت. برای تخلیه کامل آب سد با این لوله به حدود نصف روز وقت نیاز است.

- قبل از احداث سد بایستی خاک سطحی محل سد و قسمتهایی از مخزن که نیاز به تغییرات توپوگرافی دارد، برداشته شود.
- برای ساخت سد و متراکم کردن آن می‌توان از بولدوزر یا اسکریپر استفاده کرد. دقت شود که در موقع متراکم کردن خاک، ضخامت هر لایه از ۲۰ سانتیمتر بیشتر نشود. ساخت سد بسته به محل آن ۳ تا ۵ روز طول می‌کشد. برای ساخت سد با طول متوسط ۴۰ متر حدود ۱۵۰۰ متر مکعب خاک مورد نیاز است.
- تمام سطوح خارجی سد و محل‌های در معرض فرسایش بایستی توسط لایه ای از خاک سطحی پوشیده شده و روی آن مخلوطی از بذر علف‌های مختلف نظیر: ۳۰درصد Lotus Maku، ۲۰ درصد Annual Ryegrass مانند Moata، ۲۰ درصد Yorkshire Fog مانند Massey Basyn، ۱۰ درصد coaksfoot، ۱۰ درصد White Clover، ۵ درصد Subterranean Clover و ۵ درصد Browntop به میزان ۴۵ کیلوگرم در هکتار همراه با مواد حاصلخیز کننده به میزان ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار کاشته شود. در صورت عدم استفاده از پوشش علفی شیب بالادست خاکریز بایستی با پوشش سنگ چین محافظت گردد.
- دقت شود که سد به صورت مناسب اجرا شده تا هزینه نگهداری آن حداقل گردد.
- مراقبت شود که همیشه سطح خارجی سد و نیز سطح سرریز به صورت پوشیده از علف و مجاری ورودی و خروجی آب تمیز باشد.
- مجاری ورودی آب باید به شبکه‌های آشغالگیر مجهز باشد.
- از ورود دام به محل سد تا تکمیل شدن پوشش علفی جلوگیری به عمل آید.
- از لوله‌ها به وسیله بلوک‌های بتنی در مقابل شکستگی حفاظت گردد. انتهای لوله خروجی آب معمولاً در معرض فرسایش قرار دارد و لذا این نقطه به حفاظت بیشتری نیاز دارد.




**شکل شماره ۱۰- نقشه تیپ سدهای کوچک آبخیزداری (سد کنترل سیل)**

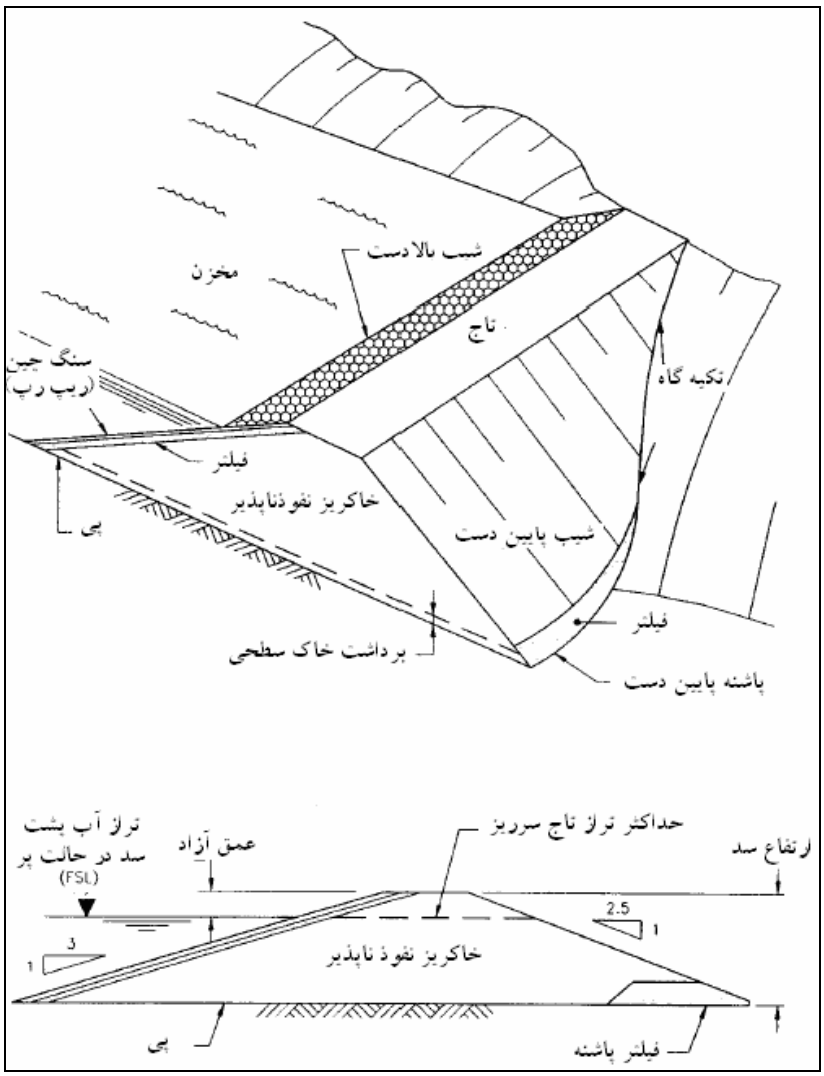
## ۲-٤- بازرسی و نگهداری

این دستورالعمل برای آشنا کردن بهره‌برداران سدهای کوچک کم خطر با نحوه بازدیدهای دوره‌ای از سد تهیه شده است. مخاطبان این راهنما مالکانی هستند که به نیروی متخصص در زمینه سدسازی دسترسی ندارند. انتظار می‌رود با رعایت موارد مطرح شده در این دستورالعمل، خطر تخریب سد به حداقل برسد.

این دستورالعمل نگاهی کلی به نحوه و مراحل بازرسی سدهای کوچک خواهد داشت و اکثر حالت‌های مختلف سد خاکی را پوشش می‌دهد. هر چند در موارد خاصی ممکن است جوابگو نباشد، که در این‌گونه موارد لازم است با متخصصین سدسازی مشورت گردد. این دستورالعمل برای طراحی یا اجرای سد کاربرد ندارد.

بازدیدهای منظم از سد نکته اساسی برای اطمینان از عملکرد مناسب سد است. با انجام این بازدیدها می‌توان از مشکلات احتمالی قبل از وقوع خرابی در سد مطلع شد. حتی اگر سد در شرایط خوبی باشد، بازدیدهای دوره‌ای نباید قطع شود. خرابی ممکن است به تدریج ایجاد شده و گسترش یابد و یا سریع و پس از یک سیلاب شدید یا زلزله به وقوع بپیوندد. به محض مشاهده آثار خرابی بایستی برای تعمیر آن اقدام کرد.

شکل شماره ۱۱ مقطع تیپ یک سد کوچک خاکی را نشان می‌دهد. در این سدها عوامل مؤثر بر پایداری مشتمل بر شرایط پی، تراکم خاکریز، میزان شیب طرفین خاکریز و نفوذ از پاشنه پایین دست سد می‌باشند. مهمترین مکانیزم‌های شکست در سدهای خاکی عبارت از فرسایش سطحی، فرسایش داخلی (مانند پدیده رگاب) و لغزش شیب خاکریز است. در هنگام بازدید بایستی همه عوامل پایداری با توجه ویژه به مکانیزم شکست و عوامل آن پایش گردند و در صورت مشاهده هر گونه آثار خرابی راه حل مناسب برای مقابله با آن را انتخاب کرد. جداول شماره ۳ تا ۸ خصوصیات هر یک از مکانیزم‌های شکست، حالت‌های مختلف آن و راه حل‌های احتمالی آن‌را نشان می‌دهد. در شکل‌های شماره ۱۲ و ۱۳ چگونگی ایجاد ترک در خاکریز و نحوه وقوع لغزش نشان داده شده است.




**شکل شماره ۱۱- مقطع تیپیک سدهای کوچک آبخیزداری**

**جدول شماره ۳- خصوصیات مکانیزم فرسایش سطحی**

| نوع خرابی | خصوصیات |
|---|---|
| فرسایش ناشی از روگذری (Overtopping) | جریان آب از روی بدنه سد و فرسایش خاکریز |
| فرسایش ناشی از موج | فرسایش بالادست خاکریز بوسیله عملکرد امواج |
| فرسایش ناشی از دبی تخلیه | فرسایش پاشنه خاکریز نزدیک سرریز یا خروجی تحتانی |
| فرسایش ناشی از باران | فرسایش شیب پایین دست توسط باران یا جریان سطحی |

**جدول شماره ٤- علل و روش‌های جلوگیری از فرسایش سطحی**

| علل | روشهای احتمالی جلوگیری از فرسایش |
|---|---|
| کافی نبودن ظرفیت سرریز | طراحی سرریز برای سیلاب بزرگتر |
| گرفتگی سرریز بوسیله آشغال و واریزه | نصب آشغالگیر در دهانه سرریز یا تمیز کردن دوره ای آن |
| فرسایش ناشی از دبی تخلیه | فرسایش پاشنه خاکریز نزدیک سرریز یا خروجی تحتانی |
| فرسایش ناشی از باران | فرسایش شیب پایین دست توسط باران یا جریان سطحی |

**جدول شماره ۵- خصوصیات مکانیزم فرسایش داخلی**

| نوع خرابی | خصوصیات |
|---|---|
| رگاب (Piping) و غلیان (Liquifaction) | فرسایش داخلی مصالح خاکی و حرکت آنها از پایین به بالا در پایین دست سد ناشی از گرادیان هیدرولیکی در زیر و بدنه سد |

**جدول شماره ٦- علل و روش‌های جلوگیری از فرسایش داخلی**

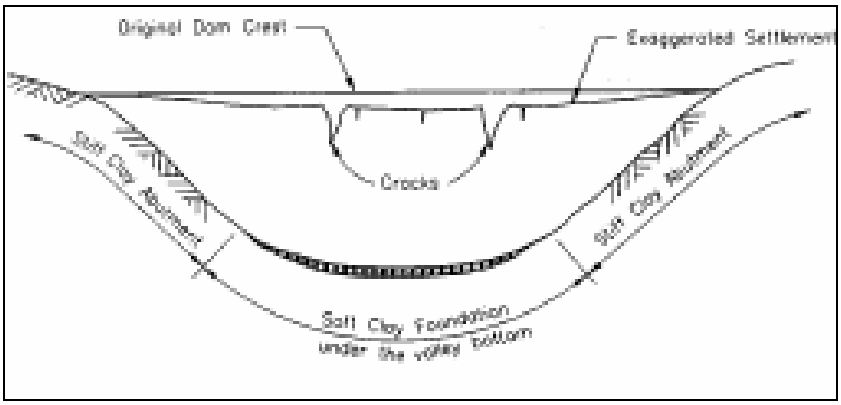
| علل | روش‌های احتمالی جلوگیری از فرسایش |
|---|---|
| نشت آب از شیب پایین دست سد | نصب زهکش یا فیلتر در پاشنه شیب پایین دست سد |
| نشت آب از کناره‌های لوله خروجی تحتانی | تزریق بتن در اطراف لوله خروجی تحتانی برای پر کردن حفره‌ها، نصب زهکش و فیلتر در قست انتهایی لوله، تعوض لوله خروجی و استفاده از تکنیکهای اجرایی مناسب |
| نشت آب از لوله تحتانی | آب بندی لوله |

**جدول شماره ۷ - خصوصیات مکانیزم لغزش شیب خاکریز**

| نوع خرابی | خصوصیات |
|---|---|
| لغزش پی | لغزش پی در جهت بالادست یا پایین دست ناشی از بار قائم وارد بر آن |
| لغزش شیب بالادست | لغزش شیب بالادست سد ناشی از تخلیه سریع آب و یا سایر عوامل |
| لغزش شیب بالادست | لغزش شیب پایین دست سد ناشی از فشار منفذی و یا سایر عوامل |

**جدول شماره۸ - علل و روش‌های جلوگیری از لغزش شیب خاکریز**

| علل | روش‌های احتمالی جلوگیری از فرسایش |
|---|---|
| پی نرم یا ضعیف | کاهش دادن شیب و ایجاد برم یا سکو |
| فشار منفذی زیاد در پی | نصب زهکش و فیلتر برای کاهش فشار منفذی |
| شیب تند | کاهش دادن شیب و ایجاد برم یا سکو |
| کاهش سریع سطح آب در مخزن | اجتناب از تخلیه سریع آب پشت سد |
| اشباع شدن شیب بدلیل نشت آب | نصب زهکش مناسب و فیلتر در پاشنه شیب |




**شکل شماره ۱۲ - ترک‌های ایجاد شده در بدنه سد ناشی از تفاوت نشست**

**شکل شماره ۱۳ - چگونگی شکل کیری لغزش**

## ۲-٤-۱- زمان‌ها و برداشت‌ها در بازرسی

همه سدها در شرایط عادی بایستی بطور منظم و در شرایط غیر عادی نظیر اولین آبگیری، هنگام وقوع سیل، یا زلزله به صورت فوری مورد بازرسی قرار گیرند. زمان‌های پیشنهادی برای بازرسی عادی در نقاط مختلف سد و برای مسائل مختلف آن در جدول شماره ۹ ارائه شده است. در هر بازرسی تمام اطلاعات بایستی بصورت کامل در گزارش بازدید مطابق فرم پیوست آورده شود.

**جدول شماره ۹- زمان‌های پیشنهادی برای بازرسی عادی در نقاط مختلف سد و برای مسائل مختلف آن**

| موقعیت | مشکلات محتمل | زمان بازرسی |
|---|---|---|
| شیب بالادست | لغزش شیب<br>حفاظت شیب | بعد از افت سریع سطح آب مخزن<br>بعد از بادهای شدید |
| تاج سد | نشست<br>رشد بوته‌ها و درختان | بعد از بارانهای شدید<br>سالی یکبار |
| شیب پایین دست | نشت آب<br>لغزش شیب<br>رشد بوته‌ها و درختان | حین و بعد از پر شدن سد<br>حین و بعد از پر شدن سد<br>سالی یکبار |
| پاشنه پایین دست | نشت آب<br>بادکردگی نشاندهنده شکست شیب | حین و بعد از پر شدن سد<br>حین و بعد از پر شدن سد |
| سرریز | بسته شدن سرریز با واریزه و اشغال<br>فرسایش | حین و بعد از پر شدن سد<br>بعد از بارانهای شدید |
| خروجی تحتانی | رگاب | حین و بعد از پر شدن سد |

## ۲-٤-۲- فرم گزارش بازرسی سدهای خاکی کوچک

| | |
|---|---|
| شماره پرونده: | تاریخ ساخت سد: |
| تاریخ: | مهندس ناظر سد: |
| نام سد: | تاریخ بازدید قبلی: |
| مالک: | تاریخ بازدید بعدی: |
| محل سد: | بازرس: |

### ۱- بدنه سد

| | |
|---|---|
| **الف: اندازه سد و مصالح آن** | |
| ارتفاع سد: | حجم مخزن: |
| عرض تاج: | طول تاج: |
| مصالح سد: | |
| **ب: شیب بالادست:** | |
| نوع پوشش گیاهی: | وضعیت: |
| توصیه: | |
| **ج: حفاظت شیب بالادست** | |
| اندازه: | وضعیت: |
| توصیه: | |
| **د: شیب پائین دست** | |
| نوع پوشش گیاهی: | وضعیت |
| نشت آب: | |
| توصیه: | |

## ۲- لوله تحتانی

| | |
|---|---|
| موقعیت: | |
| وضعیت: | |
| نوع: | اندازه: |
| ورودی: | |
| خروجی: | |
| آبگیر: | |
| شیر یا دریچه: | |
| پائین دست: | |
| توصیه: | |

## ۳- سرریز

| | |
|---|---|
| موقعیت: | |
| وضعیت: | |
| نوع: | ظرفیت: |
| کانال ورودی: | |
| عرض کف: | ارتفاع دیواره ها: |
| تاوه کف: | |
| دیواره های شوت: | |
| دیواره های هدایت کننده: | |
| خروجی: | |
| زهکش ها: | |
| پائین دست: | |
| توصیه: | |

## ٤- سرریز اضطراری

| | |
|---|---|
| موقعیت | |
| وضعیت | |
| نوع: | عرض کف: |
| توصیه: | |

## ٥- تکیه گاهها

| | |
|---|---|
| فرسایش: | |
| نشت: | |
| وضعیت: | |
| توصیه: | |

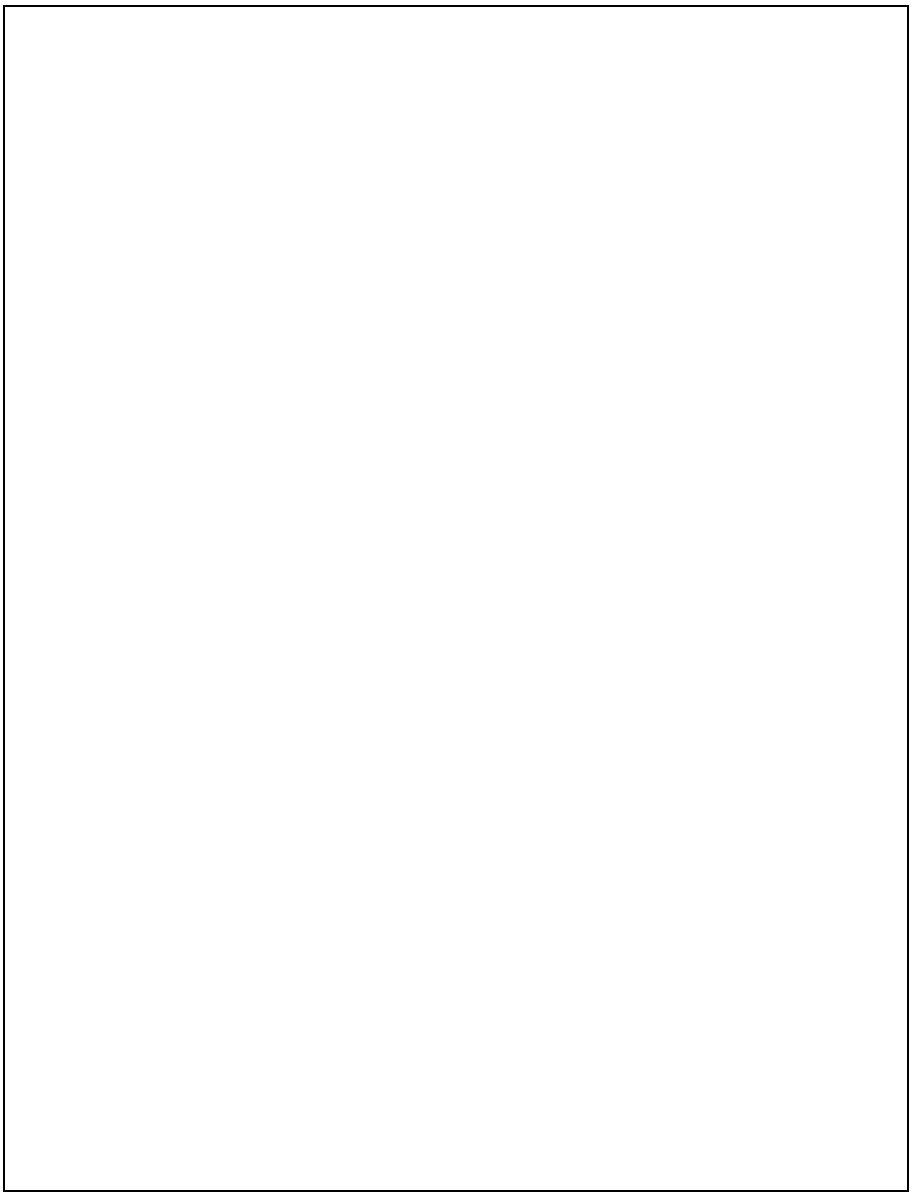
## ٦- مخزن

| | |
|---|---|
| کاربری: | |
| سطح آب: | |
| منبع تامین آب: | |
| زهکشی: | |
| وضعیت: | |

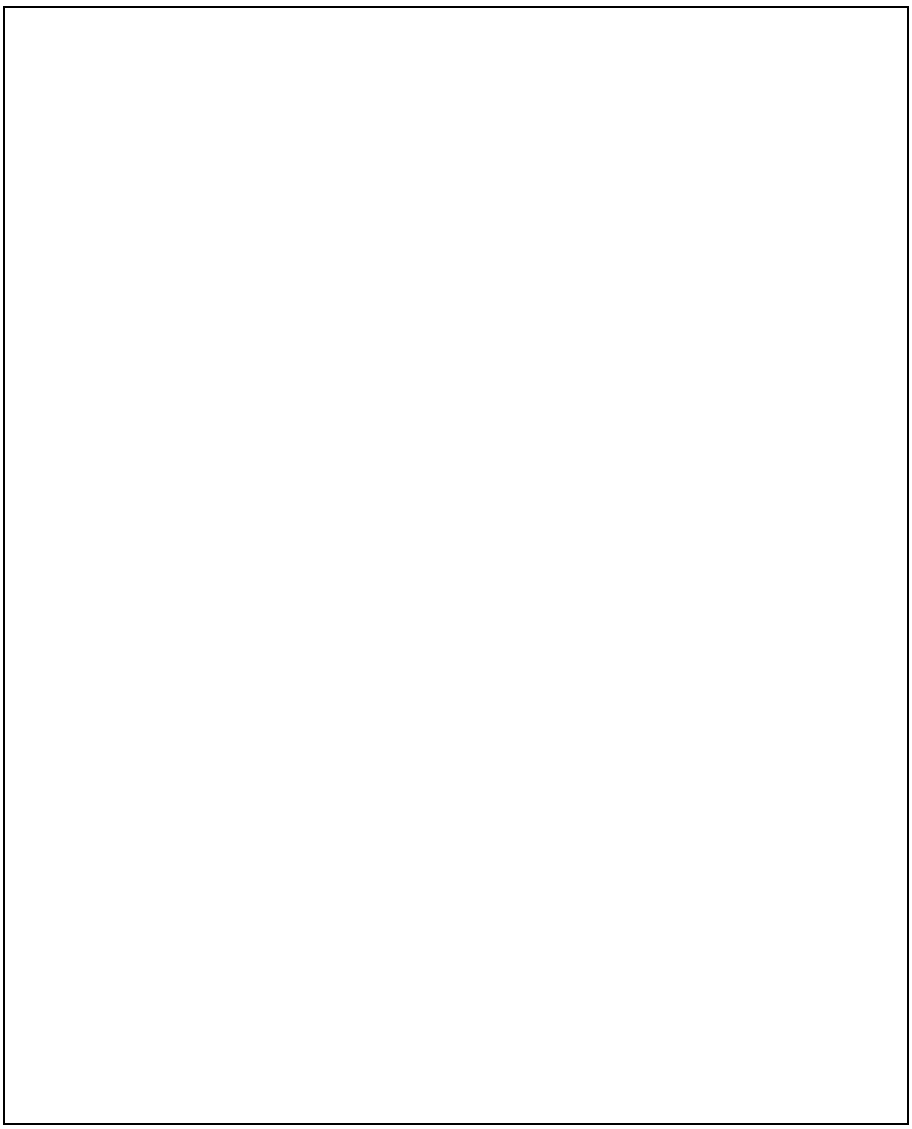
## ۷- پایین دست سد

| | |
|---|---|
| کانال: | |
| پوشش گیاهی: | |
| سکونت: | |
| سازه ها: | |
| توصیه: | |

## ۸- تعمیرات پیشنهادی:



## ۹- تصاویر:



## ۱۰- مجوز دهنده

| | |
|---|---|
| آدرس: | |
| تلفن محل کار: | تلفن منزل: |

## ۱۱- ترسیمات و توصیه‌های اضافی

## منابع مورد استفاده این فصل :

1. Land Management Dept., 2003, Small Flood Detention Dams, Hawke's Bay Regional Council, New Zealand

2. Geoff Gregory, Word Therapy, Paraparaumu, THE NEW ZEALAND SOCIETY ON LARGE DAMS, 1997, GUIDELINES ON INSPECTING SMALL DAMS, ISBN 0-908960-23-9, Graphic Press & Packaging, Levin, New Zealand.

# فصل سوم

# طراحی، اجرا و نگهداری بندهای مخزنی (حداکثر ارتفاع ۳ متر)

## ۳-۱- مقدمه

برای ذخیره کردن آب در فصل پر آبی و استفاده از آن در فصول خشک از روش‌های متعددی نظیر احداث سدهای معمولی، سد زیرزمینی و یا چاه استفاده می‌گردد. اگر چه استفاده از سد زیرزمینی و چاه بدلایل زیست محیطی و کیفیت آب بر سدهای معمولی ارجح است ولی دلایل اقتصادی ممکن است ما را به سمت استفاده از سدهای معمولی هدایت کند. سدهای مخزنی روزمینی را معمولاً در مکان‌هایی احداث می‌کنند که بستر نفوذ ناپذیر مانند بستر سنگی بدون درزه یا بستر رسی وجود داشته باشد و مسیل در قسمت بالادست سد دارای شیب ملایم باشد تا بیشترین حجم مخزن را بازای یک ارتفاع مشخص داشته باشد. بهترین مقطع رودخانه محل تنگ شدگی دره می‌باشد. در شکل شماره ۱۴ مقطع یک سد خاکی مخزنی و پارامترهای آن نشان داده شده است.

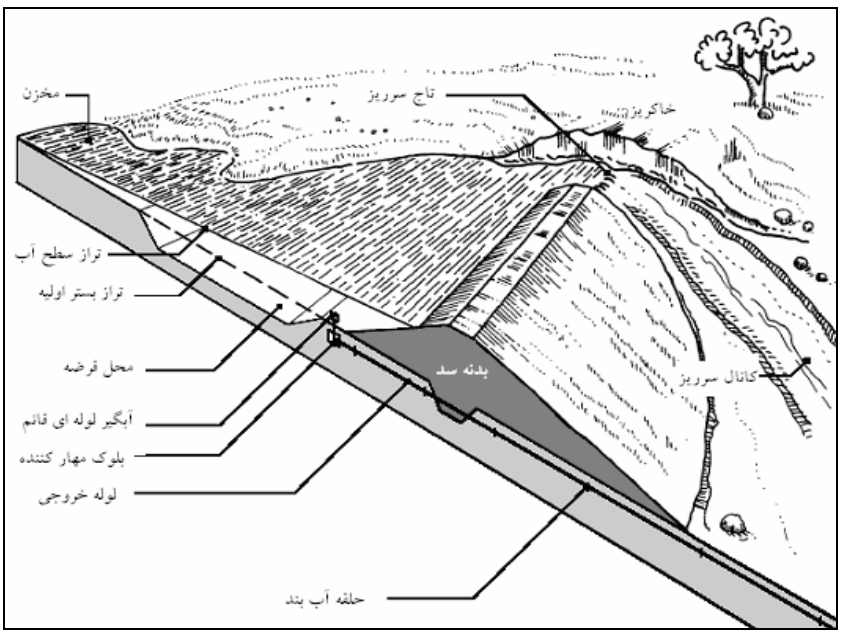
## ۳-۲- محدوده کاربرد

این دستورالعمل فنی سدهای خاکی کوچک (تا ارتفاع ۳ متر) را که در مسیر جریان برای ایجاد مخزن ساخته می‌شوند، پوشش می‌دهد. این دستورالعمل می‌تواند برای برنامه‌ریزی، طراحی و اجرای این نوع سدها توسط افراد غیر متخصص مورد استفاده قرار گیرد، هرچند در مواردی‌که شکست سد می‌تواند باعث خسارات جانی و مالی گردد، بایستی از نظرات متخصصین سد سازی استفاده گردد. در جلوگیری از آلودگی آب مخزن و رعایت حقوق استفاده کنندگان از آب و زمین در پایین دست نیز بایستی دقت کافی مبذول گردد.

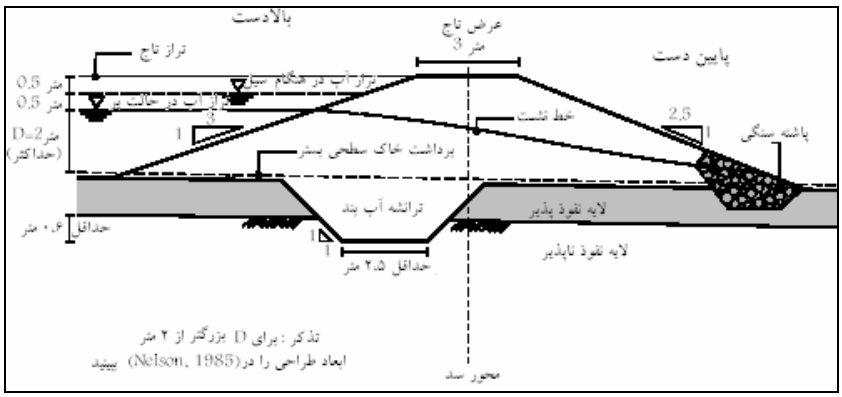
## ۳-۳- طراحی

طرح تیپ سدهای خاکی مخزنی کوچک در شکل شماره ۱۵ ارائه شده است. این طرح برای سدهای خاکی تا ارتفاع ۳ متر مناسب است. در این طرح سد خاکی از یک خاکریز هموژن و یکنواخت از خاکهای رسی لومی‌نظیر لوم رسی ماسه ای، لوم رسی، یا خاکهای با درصد رس بیشتر (رس ماسه ای، رس، رس سیلتی) ساخته می‌شود. استفاده از این خاک‌ها ار ایجاد ترک در سد جلوگیری می‌کند. یک پرده آب بند نیز بایستی ساخته شود تا از نشت آب از طریق خاک زیر سد جلوگیری کند.

در یک سد خاکی با ارتفاع ۳ متر، حداکثر ارتفاع آب داخل مخزن عموماً ۲ متر و در مواقع سیلابی ۲/۵ متر با ارتفاع آب روی سرریز معادل ۰/۵ متر در نظر گرفته می‌شود. برای اطمینان از عدم سرریزی آب از روی تاج سد بدلیل افزایش سطح آب ناشی از باد و موج، مقدار عمق آزاد معادل ۰/۵ متر منظور می‌گردد. همچنین به منظور جبران نشست سد، در هنگام اجرا به ارتفاع طراحی سد بایستی حداقل ۱۰ درصد اضافه شود.




**شکل شماره ١٤ - مقطع سد خاکی و مخزن آن**




**شکل شماره ۱۵ - ابعاد طراحی مقطع سد خاکی تا ارتفاع ۳ متر ( Nielson, 1985)**

## ۳-۳-۱- محاسبه ارتفاع سد

ارتفاع سد به حجم مخزن مورد نیاز بستگی دارد. تعیین ارتفاع سد مستلزم طی مراحل زیر است:

- تعیین نیاز آبی در روز ( R لیتر در روز)
- تخمین سطح مخزن (A متر مربع)، میزان تبخیر و نفوذ در روز (E میلی‌متر در روز)، و حجم تلفات آب در روز (A×E لیتر در روز)
- تخمین طول دوره کم آبی (T روز) که در آن جریان ورودی به پشت سد از مجموع مصرف و تلفات کمتر بوده و زیادی مصرف بایستی از طریق برداشت از مخزن تامین شود.
- تخمین متوسط جریان در طول دوره کم آبی(Q لیتر در روز)
- تعیین حجم مخزن مورد نیاز (S لیتر) از معادله $S = (R + A\times E - Q) \times T$ . ارتفاع سد بایستی به حدی باشد که این حجم مخزن را تامین نماید. بهترین راه محاسبه ظرفیت ذخیره مخزن (C لیتر) استفاده از نقشه توپوگرافی دره است. اگر چه می‌توان از رابطه $C=330A\times D$ برای تخمین حجم ذخیره مخزن استفاده نمود. سطح مخزن بایستی با توجه به نقشه توپوگرافی و برای عمقهای مختلف سد محاسبه شود و نهایتاً با استفاده از سعی و خطا عمق آب پشت سد طوری در نظر گرفته شود که حجم ذخیره مخزن با حجم مورد نیاز برابر شود. نهایتا ارتفاع سد از رابطه $H=D+1$ محاسبه خواهد شد.

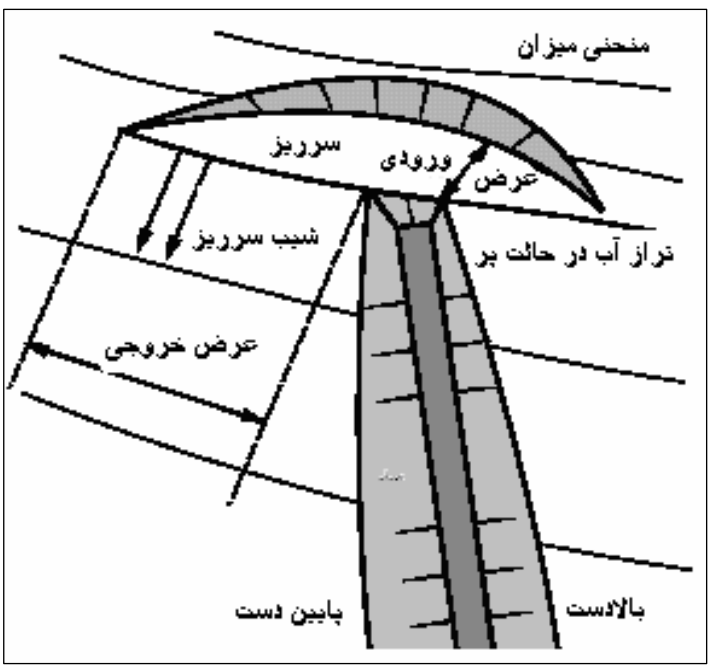
## ۳-۳-۲- سرریز

نقش سرریز جلوگیری از لبریز شدن سد بخصوص در زمان سیلاب و انتقال آب مازاد به پایین دست سد طوریکه باعث فرسایش نگردد، می‌باشد. سرریز می‌تواند از مصالح سنگی و یا بتن ساخته شود.

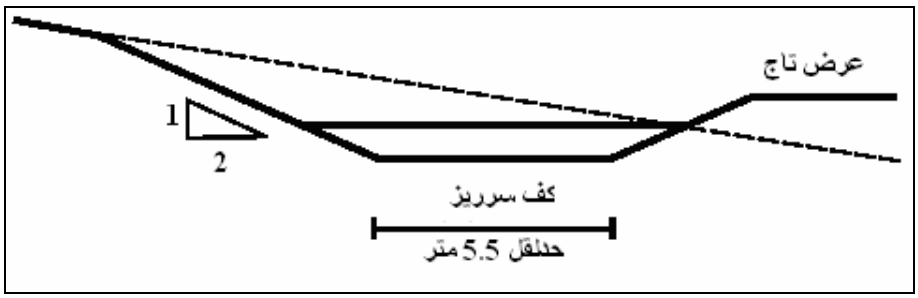
هر چند در سدهای کوچک در صورتیکه سرعت جریان از ۲/۵ متر در ثانیه بیشتر نباشد، از سرریزهای علفی متراکم می‌توان استفاده کرد.

**جدول شماره ۱۰ - حداقل عرض ورودی سرریز**

| جریان (متر مکعب بر ثانیه) | عرض ورودی سرریز (متر) |
|---|---|
| تا ۳ | ۵,۵ |
| ۴ | ۷,۵ |
| ۵ | ۹,۰ |
| ۶ | ۱۱,۰ |
| ۷ | ۱۲,۵ |
| ۸ | ۱۴,۵ |
| ۹ | ۱۶,۵ |
| ۱۰ | ۱۸,۵ |
| ۱۱ | ۲۰,۰ |
| ۱۲ | ۲۲,۰ |
| ۱۳ | ۲۳,۵ |
| ۱۴ | ۲۵,۵ |
| ۱۵ | ۲۷,۵ |




**شکل شماره ١٦- پلان سرریز سد خاکی (Nelson, 1985)**




**شکل شماره ۱۷ - مقطع سرریز سد خاکی (Nelson, 1985)**

## ۳-٤- اجرا

### ۳-٤-۱- انتخاب مصالح خاکی

مصالح مورد نیاز سد ترجیحاً بایستی از داخل مخزن سد تامین گردد. برای این منظور مصالح قسمت‌های مختلف مخزن بایستی مورد آزمایش قرار گیرد تا مناسب‌ترین آنها انتخاب گردد. از استفاده کردن خاک‌هایی نظیر خاکهای آلی شامل خاک سطحی و خاک‌های تجزیه شده، خاک‌های با درصد میکای بالا، رس‌های کلسیتی، سیلت ریز، شیست و شیل، رس‌های ترک خورده، خاک‌های سدیمی‌و خاک‌های مخلوط با سنگ و ریشه درختان بایستی اجتناب کرد.

### ۳-٤-۲- ملاحظات اجرایی

علاوه بر انتخاب مصالح مناسب، توجه به نکات زیر در هنگام اجرا ضروری است:

- انجام عملیات اجرایی در فصل خشک
- انحراف جریان، نگهداشت آب بوسیله یک سد کوتاه موقتی، یا عبور جریان از طریق کالورت (که بعداً می‌تواند به عنوان لوله تخلیه مورد استفاده قرار گیرد.)
- برداشت خاک سطحی بدلیل دارا بودن مواد آلی و ریشه گیاهان که مانع تراکم خاک شده و پس از پوسیده شدن باعث افزایش نفوذ آب می‌گردد.
- توجه به امنیت مردم، اجتناب از عملیات و تجهیزات خطرناک
- قرار دادن مصالح خاکی در سد:
  - در لایه‌هایی با ضخامت ۱۰۰ تا ۲۰۰ میلیمتر
  - با درصد رطوبت بهینه (تقریبا درصد رطوبتی است که فتیله درست شده از خاک را بتوان بدون ترک خوردن به اندازه قطر یک مداد نازک کرد.)

- و تراکم با یک غلطک سنگین، با عبور وسایط نقلیه یا عبور دادن حیوانات
- پوشش دادن تمام سطح خارجی سد با یک پوشش مناسب همچون:
  - کاشت گیاهان با استقامت نظیر (Khkuyu grass, Star grass or Bermuda grass)
  - نگهداری از گیاهان با آبیاری در فصول خشک و محافظت در مقابل حیوانات

- حفاظت شیب بالادست با استفاده از:
  - پوشش سنگچین
  - الوارهای چوبی

### ۳-٤-۳- نشست

حتی در صورت استفاده از تراکم، بدنه سد تحت وزن سازه و به دلیل پدیده تحکیم نشست خواهد کرد که در مرحله طراحی بایستی به آن توجه نمود. برای سدهای کوچک با تراکم خوب این میزان حدود ۵ تا ۱۰ درصد ارتفاع سد خواهد بود.

### ۳-٤-٤- نشت و فیلتر

حتی در صورت استفاده از مصالح مناسب و تراکم بالا مقداری از آب پشت سد از طریق بدنه سد نشت خواهد کرد. نشت آب باعث کاهش مقاومت سازه سد می‌گردد. مطابق توصیه نلسون در صورتی‌که برای یک سد ۳ متری عرض تاج و شیب بالادست و پایین دست سد طبق شکل شماره ۱۵ انتخاب گردد، تمهیدات اضافی برای کنترل تراوش مورد نیاز نخواهد بود. روش فنی‌تر اما مشکل‌تر استفاده از یک پاشنه سنگی در پایین دست سد برای جمع آوری آب نشتی می‌باشد (شکل شماره ۱۵). این پاشنه سنگی تا یک سوم ارتفاع سد ادامه می‌یابد و برای جلوگیری از خارج شدن ذرات ریزدانه بایستی لایه‌ای از شن و ماسه دانه‌بندی شده به‌عنوان فیلتر در حد فاصل پاشنه و خاکریز سد تعبیه گردد. دانه بندی مصالح فیلتر بایستی با توجه به دانه‌بندی مصالح خاکی سد و پاشنه انتخاب گردد.

### ۳-٤-۵- آبگیری از سد

همانطور که در شکل شماره ۱۴ نشان داده شده است، برای تخلیه آب پشت سد می‌توان از یک آبگیر لوله‌ای ثقلی با یک ورودی مشبک به عنوان آشغالگیر استفاده نمود. مشکل استفاده از این لوله‌های آبگیر در داخل بدنه سد، نشت آب از این لوله‌ها و مشکل بودن تعمیر آنهاست که با نصب حلقه‌های آب بندی در محل اتصالات لوله‌ها می‌توان میزان نشت را تا ۲۵ درصد کاهش داد. علاوه بر

این، از روش‌های دیگری نظیر آبگیرهای شناور یا پمپ‌های نصب شده روی خاکریز سد نیز می‌توان استفاده نمود.

## ۳-۵- نگهداری

مقررات ملی و محلی سدهای کوچک در مرحله طراحی، ساخت و نگهداری بایستی رعایت شود. در تمام این مراحل بایستی یک نفر متخصص (مهندس یا تکنسین) مسئولیت طراحی و نظارت بر اجرا را بعهده داشته باشد. میزان تخصص مورد نیاز به میزان خطر شکست سد بستگی دارد. توجه فنی خاصی باید به انتخاب مصالح و طراحی فیلتر و سرریز معطوف گردد. برای بازدید و تعمیرات دوره ای لازم است یک نفر تکنسین آموزش لازم را دیده و به صورت متناوب (به عنوان مثال قبل از هر فصل بارانی) از سد و تاسیسات مربوطه بازدید نماید. سد بایستی بطور منظم برای شناسایی عوامل مخرب نظیر ترکها، آبکندها، خراب توسط جانوران، نفوذ، و خرابی وارده به تاسیسات بخصوص سرریز مورد بازرسی قرار گیرد. برای این منظور برنامه بازدیدها مطابق بند (۲-۴) فصل قبل عمل شود.

## منابع مورد استفاده این فصل


1. Ian Smout and Rod Shaw, Small Earth Dams, www.lboro.ac.uk/departments/cv/wedc/, WEDC Loughborough University Leicestershire LE11 3TU, UK, 2004
2. Fowler, John P., 'The design and construction of small earth dams', Appropriate Technology, Vol.3, No.4 reprinted in Community Water Development, IT Publications, London, 1989).
3. Nelson, K. D., Design and Construction of Small Earth Dams, Inkata, Melbourne, 1985.
4. Pickford, John (ed.), The Worth of Water: Technical Briefs on health, water and sanitation, IT Publications, London, 1991.
5. Schwab, G.O., Fangmeier, D.D., Elliot, W.J. and Frevert, R.K., Soil and Water Conservation Engineering, Wiley, London, 1993.
6. Stephens, Tim, Handbook on Small Earth Dams and Weirs, Cranfield Press, Bedford, 1991.

# فصل چهارم

# طراحی، اجرا و نگهداری بندهای کوتاه زراعتی (حداکثر ارتفاع ۳ متر)

## ٤-١- مقدمه

سدهای خاکی معمولترین نوع سدهای کوچک است. برای ساخت این سدها معمولا می‌توان از مصالح محلی استفاده کرد. برای سدهای خاکی نسبت هزینه مصالح به هزینه کارگر بسیار پایین است و برای ساخت آن می‌توان از تجهیزات سبک و با حداقل هزینه استفاده کرد. بزرگترین عیب سدهای خاکی تخریب آنها در هنگام سرریزی از روی تاج سد می‌باشد. همینطور ممکن است حفره‌های ایجاد شده توسط حیوانات یا ریشه درختان باعث تخریب سد گردد. سدهای خاکی معمولا تحت اثر رگاب و فرسایش داخلی هستند که در صورت عدم توجه می‌تواند به شکست سد منجر گردد.

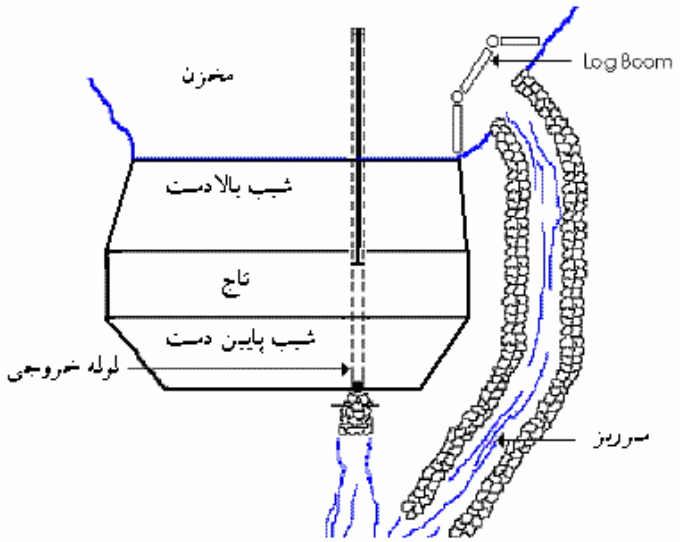
## ٤-٢- طراحی

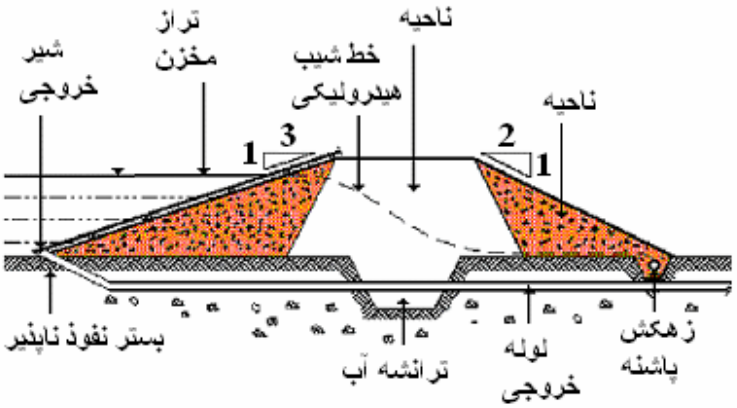
مهم‌ترین اصل در طراحی سد، ساخت یک سازه امن و پایدار در تمام مراحل ساخت و بهره‌برداری است. برای این منظور شرایط زیر بایستی فراهم باشد:

- با تامین سرریز و خروجی با ظرفیت کافی، خاکریز سد در مقابل سرریزی مصون باشد.
- شیب خاکریز در تمام شرایط بهره برداری از جمله افت سریع سطح آب پایدار باشد.
- خااکریز طوری طراحی شود که تنش زیر پی هیچگاه از حد مجاز تجاوز نکند.

- تراوش از بدنه، پی و تکیه گاهها کنترل گردد طوریکه فرسایش داخلی و یـا لغـزش شـیبها اتفاق نیفتد.
- شیب بالادست خاکریز بایستی در مقابل موج و شیب پـایین دسـت در مقابـل بـاد و بـاران حفاظت شود.

اکثر سدها بخصوص آنهایی که حجم زیادی از آب را در پشت خود ذخیره می‌کنند یا خطر تخریب آنها بالاست، بایستی توسط مهندسین با تجربه طراحی و اجرا گردند.




**شکل شماره ۱۸ - پلان و مقطع تیپیک سدهای کوچک زراعتی**

### ٤-۲-۱- پی سد

مهم‌ترین نقش پی در سد خاکی فراهم آوردن یک تکیه‌گاه پایدار و غیر قابل نفوذ برای خاکریز سد در شرایط اشباع و تحت اثر بارهای مختلف می‌باشد. پی ممکن است از مصالح سنگی، مصالح درشت‌دانه نظیر شن و ماسه، مصالح ریزدانه مانند رس و سیلت و یا مخلوطی از هر سه تشکیل شده باشد. پی‌های سنگی بایستی برای نشت، فشار برخاستی و هدر رفت آب از طریق درزها، شکاف‌ها و گسل‌ها مورد بررسی قرار گیرند و در صورت نیاز با تزریق سیمان درزه و شکاف‌ها پر شوند.

در مورد پی‌های شنی و ماسه‌ای بایستی میزان دست‌خوردگی کنترل شود و دقت شود که دانسیته نسبی از ۵۰ درصد بیشتر باشد. در دانسیته کمتر از ۵۰ درصد احتمال غلیان وجود خواهد داشت. برای جلوگیری از نشت آب ممکن است به پرده یا ترانشه آب‌بند یا پتوی آب‌بند نیاز باشد. همچنین برای مستهلک کردن فشار منفذی و تخلیه آب از داخل خاکریز می‌توان از لوله‌های زهکش و یا پتوهای زهکش در پایین دست خاکریز سد استفاده نمود. در پی‌های سیلتی و رسی بایستی دقت شود که این مصالح مقاومت برشی و ظرفیت باربری کافی برای تحمل بار سد را داشته باشند.

### ٤-۲-۲- خاکریز

آب حتی در حجم کم هم فشار زیادی به سد وارد می کند. بنابراین خاکریز سد باید از فونداسیون قوی و محکمی برخوردار باشد. به طور کلی بایستی در ساخت سدهای کوچک زراعتی پارامترهای زیر را مد نظر قرار داد.

۱- حداقل عرض تاج سد ۳ متر
۲- حداکثر ارتفاع سد ۳ متر
۳- حداقل عرض سد در بستر برابر با ۴ برابر ارتفاع سد بعلاوه عرض تاج
۴- ماکزیمم شیب سراب ۱:۳
۵- ماکزیمم شیب پایاب ۱:۲
۶- ضخامت لایه خاک در حین کوبیدگی مساوی ۱۵ سانتیمتر
۷- کوبیدگی در رطوبت مناسب انجام گیرد.
۸- در صورتی که از سریز لوله ای در بدنه سد استفاده می شود بایستی تدابیر لازم برای آب‌بندی اطراف سرریز انجام گیرد.
۹- هرگز روی بدنه سد درخت یا درختچه کشت نگردد چون ریشه این گیاهان باعث ایجادخطوط جریان در بدنه سد و شکست آن می گردد.

۱۰- سطح بالادست خاکریز بایستی در مقابل عمل امواج محافظت شود . معمولترین نوع حفاظت استفاده از ریپ رپ یا سنگهای شکسته می باشد اعم از این که به صورت ماشینی یا با دست قرار داده شود .

۱۱- سطح تاج و سطح پایین دست خاکریز بایستی در مقابل فرسایش ناشی از باد و باران حفاظت شوند . این کار معمولا با استفاده از سنگها , صخره‌ها و پوشاندن چمن انجام می‌شود.

۱۲- چون هرگز نمی توان با کوبیدگی به تراکم مناسب و ۱۰۰ درصد رسید لذا برای سد خاکی باید ارتفاعی اضافی را برای جبران نشست در نظر گرفت. به طور کلی برای سدهای کوتاه باید ۵ تا ۱۰ درصد ارتفاع سد را به عنوان نشست سد در نظر گرفت.

### ٤-۲-۳- عمق آزاد

ارتفاع آزاد بایستی حداقل ۱ متر باشد (به صورت عمودی بالاتر از سطح حداکثر آب یا کف سریز) بایستی نشست توده سد نیز مد نظر قرار گیرد و با توجه به کوبیدگی ارتفاع ناشی از نشست نیز به ارتفاع آزاد اضافه گردد و همچنین برای اطمینان کامل ۱۰ درصد ارتفاع سد به ارتفاع آن اضافه گردد.

### ٤-۲-٤- طراحی سرریز

به طور کلی پارامترهای زیر در تعیین ابعاد این نوع از سدها مؤثر می‌باشند.

۱- مساحت حوزه آبخیز سد و شکل حوزه
۲- خصوصیات بارش
۳- شکل سایت سد و خصوصیات خاک و گیاه

از پارامترهای مهم در طراحی سرریز می‌توان به ابعاد سرریز(عرض و ارتفاع) شکل سرریز و حفاظت سرریز اشاره کرد.

#### ٤-۲-٤-۱- عرض سرریز

در خاکهای پایدار در صورتی که سد از اهمیت بالایی برخوردار نباشد و مجری نخواسته باشد محاسبات و فاکتورهای مختلف را مد نظر قرار دهد برای تخمین ابعاد سرریز می‌توان از جدول زیر یا رابطه $W = \sqrt{A}$ استفاده کرد که در آن W عرض سریز به متر و A مساحت حوزه بالادست سد به هکتار است.

**جدول شماره ۱۱- ابعاد تقریبی سرریز**

| عرض سرریز(متر) | عرض کانال (متر) | مساحت حوزه(هکتار) |
|---|---|---|
| ۷ | ۳ | <۲۰ |
| ۱۲ | ۶ | ۲۰-۴۰ |
| فاکتورهای طراحی | فاکتورهای طراحی | >۴۰ |

### ٤-۲- ٤-۲- تراز سریز

تراز سریز با توجه به ارتفاع آب در طول سیلاب تعیین می‌گردد. ارتفاع کف سریز باید طوری انتخاب گردد که پایین‌تر از تاج سد قرار گیرد به گونه ای که آب از روی تاج سد سرریز نکند. در حوزه‌های کوچکتر از ۵۰ هکتار حداقل عرض سرریز ۳ متر و حداقل عمق آن ۰/۵ متر توصیه می‌شود و همچنین بایستی تاج سد حداقل ۰/۸ متر بالاتر از کف سرریز قرار گیرد.

### ٤-۲- ٤-۳- شیب سرریز

بایستی شیب کناره‌های سرریز ۲:۱ باشد و در صورتی که دره شیب زیادی نداشته باشد معمولا شیب کف سریز را منطبق با شیب کف بستر دره می‌گیرند.

### ٤-۲-۵- لوله‌های تخلیه

در صورتی که رودخانه دائمی باشد برای استفاده از دبی معمولی رودخانه باید از سرریز لوله‌ای کوچک استفاده کرد. این سرریز در داخل بدنه سد در یک ارتفاع مشخص نصب می‌گردد. این ارتفاع با توجه به دبی حداقل رودخانه و ارتفاع حداقل تراز آب دریاچه سد و همچنین میزان نیاز آبی تعیین می‌گردد. ولی باید حداقل ۰/۵ متر پایین تر از سرریز قرار گیرد. شیب لوله در طول مسیر نبایستی بیش از ۱:۱۰ باشد و تدابیر لازم برای آب بندی اطراف لوله انجام گیرد تا مسیرهای تراوش آب بوجود نیاید.

## ٤-۳- اجرا

در اجرای سدهای خاکی تعیین دانه‌بندی خاک، درصد رطوبت و تراکم خاک و توجه به روش خاکریزی حائز اهمیت می‌باشد. خاک‌ها را با توجه به خصوصیات مهندسی آن‌ها می‌توان به دو گروه

درشت‌دانه و ریزدانه تقسیم کرد. خاک‌های درشت‌دانه که اندازه آنها بزرگتر از الک نمره ۲۰۰ است، عمدتاً برای قسمت‌های خارجی سد استفاده می‌شوند. خاک‌های ریزدانه که از الک ۲۰۰ عبور می‌کنند شامل رس و سیلت هستند و برای ساخت هسته سد از آنها استفاده می‌شود. دانه‌بندی خاک را می‌توان با آزمایش الک تعیین نمود. در ساخت یک سد خاکی نکات زیر بایستی مورد توجه قرار گیرد.

۱- کوبیدگی در لایه‌های مساوی و حداکثر ۱۵ سانتی‌متری (ضخامت لایه متراکم شده) انجام گیرد. خاک بایستی همگن بوده و عاری از خاکهای آلی یا غیر یکنواخت باشد. قبل از تراکم بایستی رطوبت آن در حد رطوبت بهینه باشد. برای تعیین درصد رطوبت بهینه می‌توان از آزمایش تراکم استاندارد استفاده کرد. برای تراکم خاک می‌توان از غلطک‌های پاچه‌بزی، غلطک‌های چرخ لاستیکی و غلطک‌های دستی استفاده کرد. در هر صورت وزن مخصوص خشک خاک متراکم شده نباید از ۹۵ درصد آن در آزمایش تراکم کمتر باشد.

۲- با پیکه کوبی قسمت‌های مختلف سد شامل مکان‌های حفاری تاج سد و سرریز و تراز آب مشخص گردد.

۳- گیاهان و مواد زائد بایستی از سطح خاک برداشت گردد و مطمئن شویم که گیاهان توسط ادوات کشاورزی یا حیوانات به منطقه سد منتقل نشده باشد.

۴- خاک سطحی را برداشته و در یک منطقه خاص دپو می کنیم تا بعد از اتمام سد دوباره به عنوان خاک رویی مورد استفاده قرار گیرد

۵- عموماً یک بولدزر و یک غلطک ماشین‌های مناسبی برای ساخت سدهای با ظرفیت بیش از ۲۵۰ متر مکعب می‌باشند

۶- پرده آب بند بایستی حداقل ۳۰ سانتی‌متر در عمق لایه غیر قابل نفوذ امتداد یابد.

۷- هرگز از سنگ‌های بزرگتر از ۷۵ میلیمتر یا کنده درختان در ساخت سد استفاده نگردد.

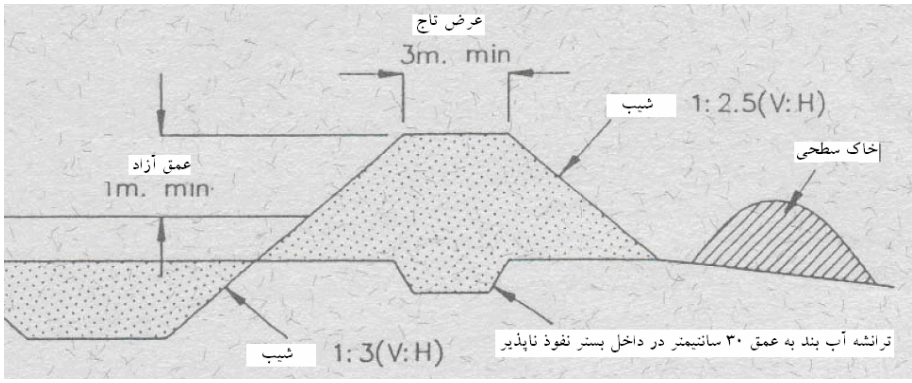
۸- برای کنترل نفوذ آب از کف دریاچه سد در صورت ظاهر شدن سنگ در دریاچه سد حتماً باید با رس‌های غیر قابل نفوذ به ضخامت حداقل ۳۰ سانتی‌متر آب‌بندی گردد.

۹- حتی الامکان حفاری به صورتی باشد که فضا و مخزن سد افزایش یابد.

۱۰-سازه سرریز در سد خاکی از اهمیت خاصی برخوردار می باشد. این سازه بایستی قادر باشد تا آب اضافی ناشی ار سیلاب را به صورت مطمئن از سد خارج سازد.

۱۱-حداقل ۱ متر عمق آزاد (اختلاف ارتفاع بین سطح ماکزیمم آب در دریاچه یا کف سریز تا تاج سد) لازم است.

۱۲-خاک سطحی باید پس از پایان سد روی سد پخش گردد و بلافاصله با چمن بذر پاشی گردد تا گیاهان خاک سطحی زیرین را محافظت کند. در شکل شماره ۱۹ مقطع عرضی دیواره سو و دریاچه سد و مشخصات هر کدام از قسمتهای سد نشان داده شده است.




**شکل شماره ۱۹ - مقطع عرضی سد کوچک زراعتی و دریاچه آن**

## ٤-٤- نگهداری

برای اینکه از تمام ظرفیت سد به خوبی استفاده شود، بایستی از آن به دقت نگهداری شود. برای این منظور اقدامات زیر بایستی انجام پذیرد:

- مطمئن‌شویم که‌ضخامت‌رویه (خاک سطحی) حداقل حدود ۱۵ سانتیمتر باشد.
- ایجاد پوشش گیاهی در کمترین زمان ممکن بعد از احداث سد بر روی بدنه سد. گراس‌های متراکم و انبوه نظیر چمن بر سایر گراس‌ها ارجحیت دارد.
- اجازه ندهیم که درختان و بوته‌ها روی بدنه سد یا سرریز رشد کنند. ریشه درختان و بوته‌ها ممکن است باعث برهم‌زدن کوبیدگی خاک و ایجاد مسیر آب و تراوش آب از بدنه سد گردد، رشد بوته‌ها و درختان در سرریز سد باعث کاهش ظرفیت سرریز شده و ممکن است سرریز شدن آب از روی دیوار سد را بدنبال داشته باشد.
- اجازه داده نشود وسایل نقلیه و ادوات مختلف از داخل سرریز و شیب خروجی سرریز عبور کند.
- پوشش گیاهی بکار رفته زاد آوری طبیعی و مناسب را داشته باشد. یک لایه تا عمق حداکثر ۱۵۰ میلی‌متر برای رشد گیاهان موجود باشد. فقط گیاهان کوتاه قد باید کاشته شود و اجازه داه شود که رشد کنند. گیاهان بزرگ و ناخواسته ممکن است ریشه دوانی در داخل هسته و دیواره سد گردند و موجبات تراوش را ایجاد کند. در صورتی که خاک فقیر باشد می‌توان یک لایه خاک اضافه گردد و سپس دانه یا چمن کاری گردد. ایجاد یک چمنزار مناسب و پوشش گیاهی خوب و متراکم در شیب بالادست یک هدف ایده‌ال است.

## ٤-٥- تدارکات اضطراری

وجود برنامه تدارکاتی فوری با توانایی پاسخ مؤثر در ارتباط باحوادث، از جمله موارد ضروری می باشد. در مواقع شکست سد یا بالا آمادگی ناگهانی سطح آب در داخل سرریز ، مجری سد باید قادر باشد که وضعیت‌های ناگهانی را دفع سازد یا به وضعیت آرام و عادی برگرداند. دسترسی پرسنل به سازه برای کاربست تجهیزات فنی از قبیل دریچه ها و سرریزها باید مورد توجه واقع شود.تجهیزات و مواد سازه باید حتی در شرایط آب و هوایی نامساعد در دسترس باشد.و پیش‌بینی (احتیاط‌های) مناسب برای کاهش حجم آب در پایین دست مد نظر قرار بگیرد.روش‌ها و دستور العمل‌های کهنه، گمراه کننده یا ناقص که می‌تواند منجر به یک راه حل نا مناسب برای وضعیت اصطراری شود. برنامه کاری باید گسترش پیدا کند و اعمال شود قبل از وقوع وضعیت اضطراری یک سد خاکی با طراحی و ساخت مناسب همراه با برنامه های نظارتی و نگهداری باید یک منجر به طولانی شدن عمر سد و حفظ و میزان بالایی از امنیت عمومی گردد.

# فصل پنجم

# طراحی، اجرا و نگهداری بندهای مخزنی کوتاه (ارتفاع ۲ تا ۵ متر)

## ۵- ۱- مقدمه

سدهای مخزنی مقادیر زیادی آب را برای مصارف شرب یا کشاورزی ذخیره می کنند. در مقایسه با سایر مخازن، هزینه ساخت سد بازای هر متر مکعب آب ذخیره شده بسیار کمتر است. زیرا سد آب را هم در پشت خود و هم در قسمت حفاری شده برای ساخت سازه ذخیره می‌کند، در حالیکه مخازن فقط در قسمت حفاری شده آب را ذخیره می‌کنند. از طرف دیگر بدلیل زیاد بودن سطح آب در پشت سد، میزان تبخیر از دریاچه سدها زیادتر از سایر مخازن بوده و کیفیت آب آنها نیز پایین تر است. احداث موفق یک سد مزنی مستلزم طی مراحل متعددی از جمله جانمایی، ارزیابی محل، طراحی، ساخت و نگهداری است. عدم توجه کافی به هر یک از مراحل سازه سد را در معرض خطر و آبشستگی قرار می‌دهد.

## ۵-۲- برنامه‌ریزی برای ساخت سد

قبل از شروع به ساخت سد، لازم است برنامه دراز مدت مدیریت آب برای سد مورد نظر تدوین گردد. برای این منظور بایستی به سوالات زیر پاسخ داده شود:

- چه منابع آبی در دسترس است؟
- هر یک از منابع آبی چه میزان آب را تامین خواهد کرد؟
- سالانه چه میزان آب بایستی توسط سد تامین گردد؟

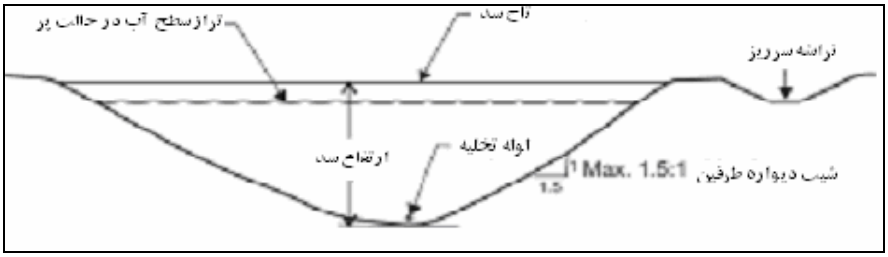
بسته به نوع کاربری سد ممکن است یک یا چند نوع نیاز آبی شامل شرب، کشاورزی یا صنعت برای پروژه مطرح باشد. که تعیین هر یک از موارد نیاز آبی مطالعات خاص خود را می‌طلبد.

**عکس شماره ۷ - نمونه ای از یک سد خاکی کوچک**

## ۵-۳- انتخاب محل سد

- موقعیت مکانی سد بایستی طوری انتخاب گردد که آبدهی رودخانه یا سیلاب‌های رودخانه آنقدر باشد که از نظر اقتصادی با توجه به هدف پروژه اقتصادی باشد از طرفی عمق و حجم دریاچه بایستی طوری باشد که امکان نگهداری آب را برای گذراندن یک دوره خشکسالی فراهم کند.
- عوارض توپوگرافی نظیر شیب و عرض و ارتفاع سد تاثیر قابل ملاحظه ای بر هزینه‌های اجرای سد دارند. لذا برای تخمین این هزینه‌ها لازم است تا محل سد و مخزن آن با عملیات نقشه برداری برداشت گردد. شکل شماره ۲۰ نمای ارتفاعی یک سد برداشت شده توسط عملیات نقشه برداری را نشان داده شده است.
- چنانچه حجم بیش سد از ۵۰۰۰ متر مکعب و یا ارتفاع آن بیش از ۴ متر (فاصله قائم بین تاج سد تا تراز سطح زمین در پایین دست سد) بایستی به جانمایی سد توجه ویژه ای شود و حتماً از کارشناسان سدسازی استفاده گردد.
- اخذ مجوز از وزارت مربوطه باری احداث سد به منظور اهداف کشاورزی با هر ظرفیتی و مصارف خانگی با حداقل ظرفیت ۷۰۰۰ متر مکعب لازم است.
- ارزیابی خطرپذیری و میزان خسارات احتمالی در صورت شکست سد برای پروژه انجام گیرد.

- فعالیت‌های آبخیزداری مؤثر در کمیت و کیفیت رواناب مورد توجه قرار گیرد.




**شکل شماره ۲۰ - نمای ارتفاعی یک سد خاکی**

## ۵-٤- تعیین ظرفیت سد

برای تخمین ظرفیت مخازن و دریاچه این نوع سد احتیاجی به محاسبات و نقشه برداری وقت گیر و پر هزنه نیست و براحتی می توان از طریق رابطه زیر ظرفیت سد را محاسبه کرد. این رابطه برای مخازن که دره V شکل دارند از دقت مناسبی برخوردار است ولی برای دره‌های U شکل و دره‌های عریض دقت مناسب را ندارد.

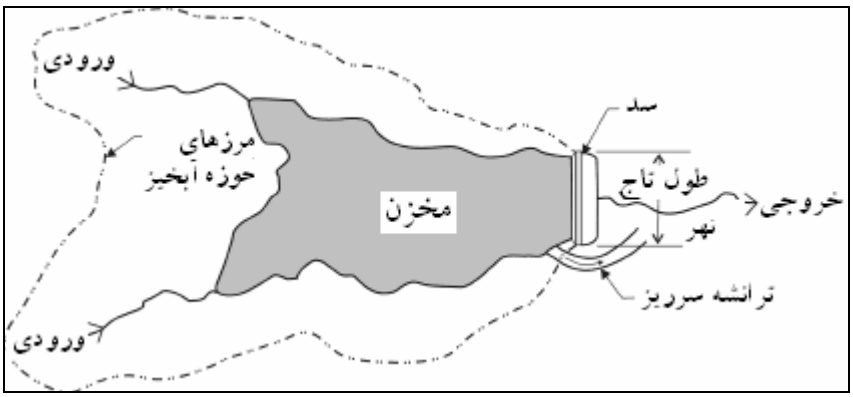
$$\text{Capacity Dam}=L.W.D/3 \qquad (۴)$$

L : طول دریاچه

W : عرض دریاچه سد

D : ماکزیم عمق آب در مخزن

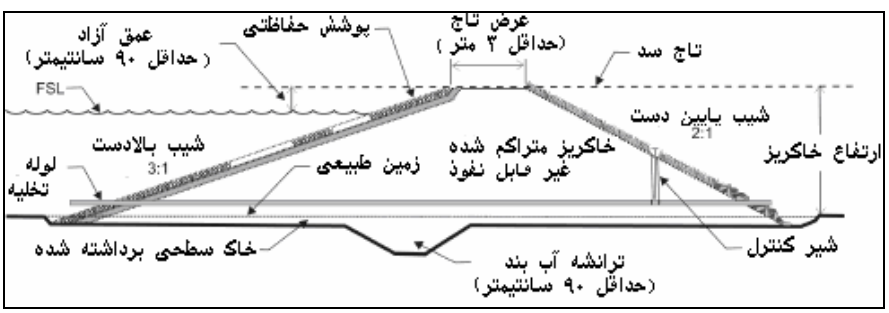
مخزن سد باید طوری باشد که بتواند سیلاب‌ها را در خود نگهدارد و همچنین شکل آن به گونه‌ای باشد که حداقل سطح را داشته باشد تا میزان تبخیر در آن کم باشد و کیفیت آب کم نشود. به طور متوسط عمق مخزن باید حداقل ۶ فوت باشد و ظرفیت ذخیره در مقابل پهنه آب دریاچه سد بیش از ۱ تا ۶ برابر باشد به عبارت دیگر به ازای ۶ ایکر فوت آب ذخیره شده در دریاچه سد پهنه آب دریاچه سد بایستی ۱ ایکر باشد. شکل شماره ۲۱ نقشه سد را نشان می‌دهد.




**شکل شماره ۲۱ - نقشه سد و دریاچه آن**

## ۵-۵- طراحی بدنه سد

شکل شماره ۲۲ طراحی سدهای خاکی کوچک را نشان می‌دهد. برای پایدار بودن شیب سراب باید حداقل شیب ۳:۱ باشد. سراب باید در مقابل فعالیت موج محافظت گردد. برای حفاظت ضربه موج می توان از پوشش سنگچین‌های کوچک و بزرگ (ریپ رپ) یا مواد مناسب دیگر مانند الوارهای شناور استفاده کرد. حداقل شیب پایاب ۲:۱ می‌باشد برای محافظت این قسمت باید از گراس‌های بومی با ریشه سطحی استفاده کرد. حداقل عرض تاج سد باید ۱۰ فوت باشد که بهتر است ۱۵ فوت در نظر گرفته شود تا امکان تردد ماشین آلات وجود داشته باشد. ارتفاع تاج باید حداقل ۳ فوت بیشتر از حداکثر ارتفاع آب داخل مخزن باشد. برای جلوگیری از تردد حیوانات به منظور جلوگیری از تخریب شیب و تاج سد باید با شبکه‌های توری یا هر مانع دیگر مانع ورود حیوانات به این قسمت شویم.




**شکل شماره ۲۲ - مقطع عرضی سد خاکی**

## ۵-٦- طراحی سریز

سریز و طراحی آن در سدسازی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. سرریز باید بر اساس فاکتورهای عرض بستر, شیب بستر و سرعت مناسب و غیره فرساینده طراحی گردد. بستر و دیواره سرریز باید با گراسها پوشیده شود. طراحی دست پایین ابعاد سرریز باعث سر ریز شدن آب از روی تاج سد یا فرسایش جدی سرریز در طول سیلاب‌های شدید می‌گردد. این حالت‌ها باعث هدر رفت آب، خسارت به پایین دست و اضافه شدن هزینه برای تعمییر سد می‌گردد. به علت بالابودن هزینه سرریز توصیه می‌شود که از معابر طبیعی استفاده گردد. برای محافظت سرریز از فرسایش می توان از ریپ رب استفاده کرد در صورت تند بودن شیب باید از مواد ژئوتکستابل استفاده کرد. شیب کناره حداقل ۲:۱ و ترجیحاً ۴:۱ باشد. موقعیعیت سرریز باید طوری باشد که در نزدیکی دیواره سد قرار نگیرد. در صورت دست پایین طراحی کردن کالورت‌ها مورد استفاده در سریز حتما بایستی محاسبات دقیق صورت گیرد و در صورت دست پایین گرفتن ابعاد آن باعث محدود شدن جریان و نهایتا شکست سد خواهد شد.

## ۵-۷- ساخت سازه

### ۵-۷-۱-لخت کردن سطح خاک

قبل از شروع خاکریزی سد باید بستر محل احداث سد از گیاهان و مواد آلی خاک عاری گردد. مواد آلی خاک و خاک سطحی می‌تواند در یک جا انباشته گردد و پس از ساخت سد خاک در شیب پایین دست پخش گردد و روی آن چمن کاری شود. در صورتی‌که شیب دیواره جانبی بیش از 1.5:1 باشد باید این شیب‌ها مسطح گرد د و حداقل به 2:1 برسد.

### ۵-۷-۲- ترانشه

این سازه در بستر سد از مرکز سد به طرف پایاب و به منظور تأمین دو هدف جلوگیری از تراوش آب در بدنه سد و مهار و اتصال سد به بستر مقاوم احداث می‌گردد. ترانشه باید حداقل ۳ فوت عمق برای سد با ارتفاع ۱۰ تا ۱۲ فوت داشته باشد. همچنین باید در تمام طول سد و همچنین $\frac{1}{3}$ تا $\frac{1}{2}$ طول دیواره‌های جانبی امتداد داشته باشد.

### ۵-۷-۳- پر کردن سازه

ساختمان سد باید از مواد غیر قابل نفوذ باشد. برای انتخاب خاک مناسب بدنه سد آزمایش ساده و میدانی زیر پیشنهاد می‌گردد. مقداری از خاک را برداشته و به آن کمی رطوبت اضافه می کنیم سپس سعی می کنیم با کف هر دو دست خاک را بصورت فتیله درآوریم. در صورتی‌که فتیله‌ای به طول ۶ اینچ و به قطر یک خودکار ایجاد و بدون شکستگی خم و به شکل حلقه درآید، مواد بسیار خوبی برای تراکم و ایجاد سد می باشد. برای تعیین رطوبت مناسب برای خاک باید تست‌های مختلف با رطوبت‌های مختلف به صورت ذکر شده انجام داد.

این مواد باید از تپه‌های مجاور یا حفاری در منابع نزدیک تأمین گردد. تراکم خاک باید در لایه‌های ۶ اینچی صورت گیرد حداکثر قطر ذرات ۶ اینچ می‌باشد. در صورتیکه خاک خشک باشد باید رطوبت مناسب جهت تراکم خاک اضافه گردد و با استفاده از غلطک ترجیحاً غلطک پاچه بزی تراکم کافی به خاک داده شود.

جهت ارزیابی تراکم خاک تست ساده زیر توصیه می گردد. در محل لبه سد را با کفش و با تمام وزن به طرف پایین فشار دهیم. اگر فقط اثری به جا گذاشته شد کوبیدگی مناسب است، اگر پاشنه فرو رفت کوبیدگی ضعیف است. سد سازی با پرکردن ترانشه شروع می‌شود که بایستی از کوبیدگی بسیار خوبی برخوردار باشد. کوبیدگی در این قسمت هم بایستی حداکثر در لایه‌های ۶ اینچی انجام گیرد. حدود ۱۰ درصد ارتفاع سد برای نشست در نظر گرفته شود. در موقع احداث سد بایستی یک لوله در بدنه سد احداث شود تا در موقع لزوم بوسیله آن برای کشاورزی یا دام آب برداشته شود. این لوله باید به اندازه کافی در خاک باشد تا یخ نزند.

## ۵-۸ - تعمیر و نگهداری

سدهای خاکی احتیاج به بازرسی و نگهداری منظم دارند. بازرسی قبل از سیلاب‌های بهاری ضروری است تا مطمئن شویم که سرریز توسط برف و یخ یا مواد دیگر مسدود نیست تا از سرریز شدن آب از روی سد جلوگیری کنیم. در طول سیلاب‌ها باید بازرسی ادامه داشته باشد یک بازرسی دقیقتر می‌تواند فرسایش شیب‌های سریز یا سد، جانوران حفار، تراوش یا ریزش خاک را مشخص کند و اقدامات لازم و به موقع صورت گیرد. جانوران حفار مثل موش و لاک پشت باید سریعاً از منطقه دور شوند. برای داشتن محافظت کافی و مناسب باید تمامی مشکلات برطرف گردد. بایستی به طور منظم مانع رشد درختان در شیب کناره‌ها شد.

## ۵-۹- ملاحظات کیفیت آب و مقابله با خشکسالی

برای حفاظت و بهبود کیفیت آب در سد راه‌های مختلفی وجود دارد. که می‌توان بـه مـوارد زیـر اشاره کرد.

در مرحله برنامه ریزی باید سعی گردد که سایت مد نظر در محل‌های نزدیک بـه آلاینـده‌هـا از جمله اراضی کشاورزی یا تمرکز دام یا کودهای دامی نباشد. با توجه به شکل و هندسه مخزن هرچـه عمق دریاچه بیشتر باشد، تبخیر کمتر و کیفیت آب بهتر خواهد بود. همچنین وجود پوشش گیـاهی در حوزه آبخیز سد مانع فرسایش خاک، پر شدن سد و گل آلودگی آب می‌گردد.

## منابع مورد استفاده در این فصل

1-Alberta Agriculture, Food and Rural Development, , Small Earth fill Dams, Pub. No. Agdex 716 (A20) June 2002, Technical Services Division, Canada, July 2003, Last Reviewed/Revised on July 23, 2003, Web site: http://www1.agric.gov.ab.ca/$department/deptdocs.nsf/all/agdex4613/$file/716a20.pdf?OpenElement

2-Agriculture and Agri-Food Canada, 1992, PFRA Small Dam Design and Construction Manual, Alberta Environment, Inspection of Small Dams, Publication No. T/434, Dam and Canal Safety Guidelines, Publication No. T/444

3-BC Ministry of Agriculture and Fisheries
Site Selection for an Earth Fill Dam, 510.100-1 Agdex 754
Maintaining an Earth Fill Dam, 510.100/2 Agdex 754
Construction Guidelines for an Earth Fill Dam, R510.100-3 754

4-Alberta Agriculture, Food and Rural Development
Quality Farm Dugouts, Agdex 716 (B01), April 2002

# فصل ششم

# طراحی، اجرا و نگهداری بندهای زراعتی کوتاه (ارتفاع ۳ تا ۷/۵ متر)

## ٦-١- مقدمه

ساخت سدهای زراعتی[1] فقط ایجاد یک گودال و انتظار برای پر شدن آن نیست. خیلی از این سدها به دلیل طراحی و یا اجرای نامناسب خراب شده اند. سدهای زراعتی عمدتاً سازه‌های از خاک متراکم شده هستند که در داخل خندق‌ها و دره‌ها ساخته می‌شوند. در طراحی و اجرای سدهای زراعتی نکاتی مانند بزرگی سد، جانمایی سد، آماده سازی سایت، ساخت و نگهداری سد بایستی مد نظر قرار گیرد. در زیر مقطع عرضی این گونه سدها نشان داده شده است.شکل شماره ۲۳ و ۲۴ مقطع تیپ یک سد زراعتی را نشان می‌دهد.

## ٦-٢- طراحی سد

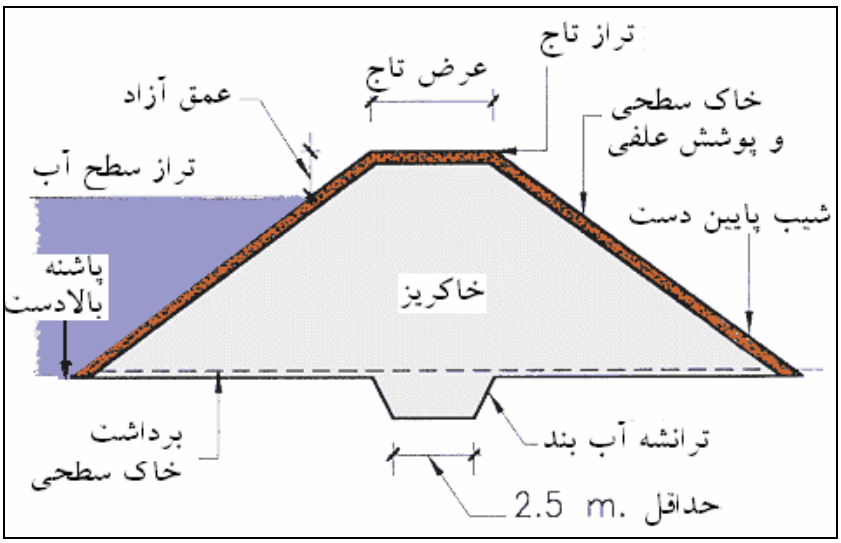
مهم‌ترین اصل در طراحی سد، ساخت یک سازه امن و پایدار در تمام مراحل ساخت و بهره‌برداری است. برای این منظور شرایط زیر بایستی فراهم باشد:

- با تامین سرریز و خروجی با ظرفیت کافی، خاکریز سد در مقابل سرریزی مصون باشد.
- شیب خاکریز در تمام شرایط بهره‌برداری از جمله افت سریع سطح آب پایدار باشد.
- خاکریز طوری طراحی شود که تنش زیر پی هیچگاه از حد مجاز تجاوز نکند.

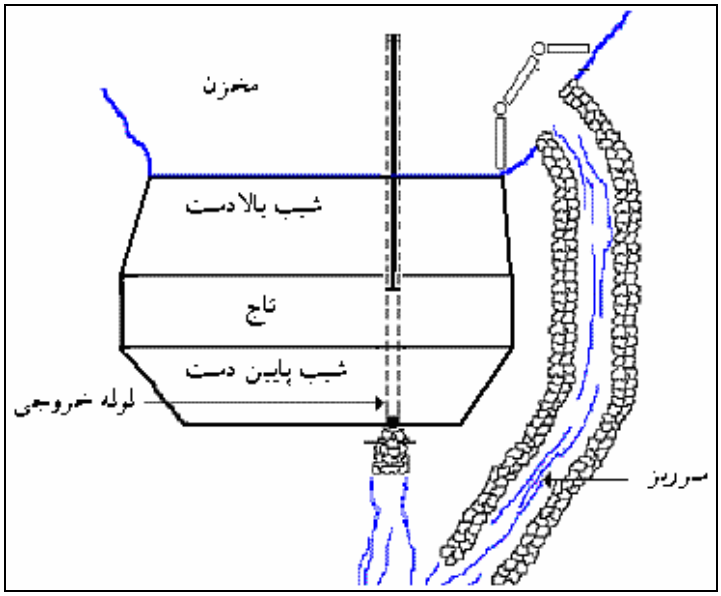
1. Farm Dams

- تراوش از بدنه، پی و تکیه گاه‌ها کنترل گردد طوریکه فرسایش داخلی و یا لغزش شیب‌ها اتفاق نیفتد.
- شیب بالادست خاکریز بایستی در مقابل موج و شیب پایین دست در مقابل باد و باران حفاظت شود.

اکثر سدها بخصوص آنهایی که حجم زیادی از آب را در پشت خود ذخیره می‌کنند یا خطر تخریب آنها بالاست، بایستی توسط مهندسین با تجربه طراحی و اجرا گردند.




**شکل شماره ۲۳- مقطع تیپ یک سد زراعتی**




**شکل شماره ٢٤- پلان تیپ یک سد زراعتی**

## ٦-٢- ١- اندازه سد

بزرگی سدهای زراعتی با توجه به میزان آب مورد نیاز تعیین می‌گردد. در جدول شماره ۱۲ میزان نیاز آبی سالانه تعدادی از گیاهان و دامها آورده شده و می‌تواند برای محاسبه ظرفیت مخزن مورد استفاده قرار گیرد. قابل ذکر است که این جدول فقط به عنوان راهنما ارائه شده و ممکن است برای مناطق مختلف، این اعداد قابل استفاده نباشد.

غلات و مراتع و چراگاه‌ها:

- مراتع: ۴ تا ۶ میلیون لیتر در هکتار در سال
- سبزیجات : ۳ تا ۵ میلیون لیتر در هکتار در سال

دام:

- گوسفند: ۱۰۰۰ لیتر برای هر راس در سال
- اسب : ۱۴۰۰۰ لیتر برای هر راس در سال
- ماکیان : ۱۰۰ لیتر برای هر پرنده در سال

تلفات آب ناشی از تبخیر نیز بایستی در تعیین حجم مخزن لحاظ شود. میزان تبخیر در مناطق مختلف و در ماه‌های مختلف و موقعیتهای مختلف کاملا متفاوت است.

### ٦-۲-۲- محل سد

موفقیت یک پروژه سدسازی تا اندازه زیادی به تعیین مناسب محل آن بستگی دارد. خندق‌ها و دره‌های کم عرض به دلیل کاهش حجم عملیات خاکی مناسب‌ترین محل برای ساخت سدهای زراعتی هستند. هر چند که این موقعیت در تمامی‌موارد فراهم نیست و گاهی مجبور هستیم سد را در دامنه بسازیم. دو نکته مهم که در تعیین محل سد دخالت دارند عبارتند از: سطح حوزه و نوع خاک در محل سد.

#### ٦-۲-۲-۱- سطح حوزه

بجز در مواردی‌که آب سد توسط چشمه و یا از طریق پمپاژ تامین می‌شود، در بقیه موارد آب سد از طریق رواناب ناشی از بارندگی در سطح حوزه تامین می‌گردد. بر حسب نوع کاربری حوزه قسمت‌های مختلف رواناب متفاوتی ایجاد می‌کند. حوزه‌های مصنوعی مانند حوزه‌های شهری رواناب بیشتری را تولید می‌کند. سطح حوزه از پارامترهای اساسی حوزه می باشد و نقش مؤثری در میزان رواناب حوزه ایفا می‌کند و به طور کلی هرچه مساحت حوزه بیشتر باشد رواناب ناشی از بارش بیشتر است. از جمله پارامترهای مهم در میزان رواناب می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

- توپوگرافی منطقه و شیب زمین
- نوع بارش، شدت و مدت بارش
- کاربری اراضی حوزه و نوع پوشش زمین
- زمین شناسی و خاکشناسی منطقه
- نحوه زهکشی موجود

اگر چه میزان رواناب تولیدی هر حوزه تابع پارامترهای متعددی است ولی برای این گونه سدها می توان با تقریب موارد جدول زیر را در نظر گرفت میزان دقیق تر رواناب از مطالعات پارامترهای مؤثر در رواناب محاسبه می‌گردد.

**جدول شماره ۱۲- میزان تقریبی رواناب تولیدی حوزه**

| متوسط رواناب هر هکتار از حوزه آبخیز (میلیون لیتر) | متوسط بارندگی سالانه (میلیمتر) |
|---|---|
| ۰/۳۵ | ۵۰۰ |
| ۰/۷۵ | ۷۵۰ |
| ۱/۴۵ | ۱۰۰۰ |
| ۲/۰۰ | ۱۲۵۰ |

### ٦-٢-٢-٢- نوع خاک محل سد

از آنجا که سد به عنوان یک سازه بایستی پایدار باشد، لذا خاک مورد استفاده در خاکریز سد نیز بایستی پایدار و غیر قابل نفوذ باشد. معمولاً خاک رس هر دو شرط فوق را داراست. ولی همه رس‌ها برای استفاده در خاکریز سد مناسب نیستند. به‌عنوان مثال بعضی از رسها واگرا (رس‌های ۲:۱) هستند و در هنگامی‌که آب به آنها می‌رسد، متورم شده و پدیده تونلی شدن را در پی خواهد داشت. بنابراین خاک بایستی قبل از استفاده مورد آزمایش قرار گیرد.

برای انجام آزمایشات بایستی از محل خاکبرداری نمونه‌گیری شود. برای نمونه گیری می‌توان از چاهای گمانه و یا ترانشه استفاده کرد. نمونه گیری بایستی تا عمقی که قرار است خاکبرداری انجام شود، ادامه یابد.

### ٦-٢-٣- مصالح خاکی برای ساخت سد

برای انتخاب مواد و مصالح ساخت سد باید به پرسش‌های زیر جواب داده شود.

- چگونگی دسترسی به مواد و مصالح
- چگونگی ارزیابی مواد
- میزان تغییرات مقاومت و استحکام

#### کلیات

برای تشخیص مواد و مکانیابی سایت برای تأمین خاک باید به موارد زیر توجه کرد:

- اندازه ذرات و محدوده مناسب مصالح چگونه است؟
- آیا مصالح مناسب وجود دارد؟
- آیا مواد به اندازه کافی برای اتمام کار وجود دارد؟
- آیا سایت انتخاب شده دارای رگه‌هایی از خاک با فنداسیون ضعیف دارد؟

#### چه موادی برای سدسازی مناسب می‌باشد؟

- خاک بکار رفته در ساخت سد باید از استاندارد زیر تبعیت کند:
  ۱. رس بیش از ده درصد
  ۲. مخلوط رس و سیلت بیش از ۲۰ درصد
  ۳. درصد شن و گراول بسته به مقاومت سازه مورد نظر دارد

- رس با دیسپرس شدگی متوسط: مقداری دیسپرس و پراکنش در ذرات رس لازم است تا نفوذ پذیری را کاهش دهد
- خاصیت انقباض و انبساط پذیری کم: سد خاکی مرتبا تحت رطوبت و خشکی قرار دارد لذا نبایستی براثر رطوبت یا خشکی خاک متورق یا ترک بردارد.
- مقدار مواد آلی کم باشد.

## چه مصالح و موادی مشکل زا هستند؟

در صورتی‌که موارد زیر در ساخت سد انجام شود سد با مشکل روبرو خواهد بود:

- خاک دارای مقدار رس کم باشد،
- خاک دارای مقدار گراول زیاد باشد،
- خاک حساس به فرسایش تونلی(رس با سدیم بالا مانند رسهای ۲:۱) باشد،
- رس خاک خاصیت فولکولگی زیادی داشته باشد. بعلت ساختمان مناسب این رس‌ها در برابر آب مثل گراول عمل می کند و آب را از خود عبور می دهد.
- انبساط پذیری خطی خاک بیش از ۱۵ درصد
- مواد آلی خاک بیش از ۰/۵ درصد

## پیمایش زمینی و نمونه‌برداری

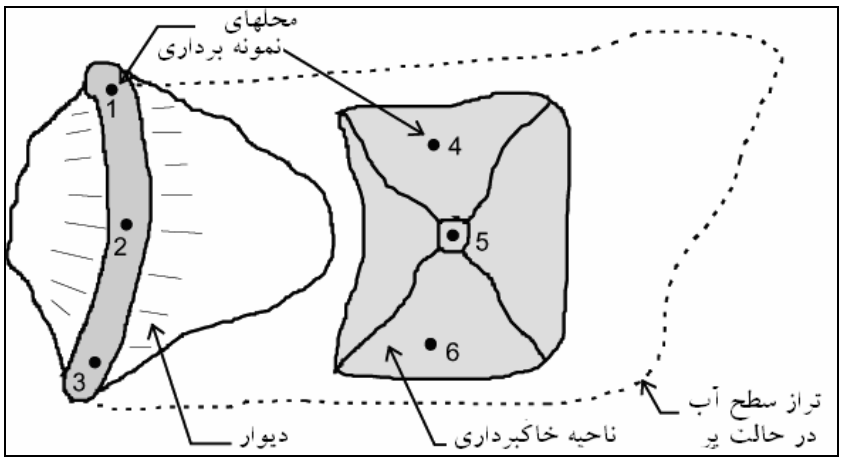
به منظور یافتن مواد و مصالح مناسب پیمایش زمینی انجام می‌گیرد که باید به موارد زیر توجه کرد:

- ابعاد و دانه بندی خاک
- کیفیت خاک
- مقدار خاک

پیمایش میدانی در سه بعد (سطح و عمق) انجام می شود و اهداف زیر را دنبال می کند.

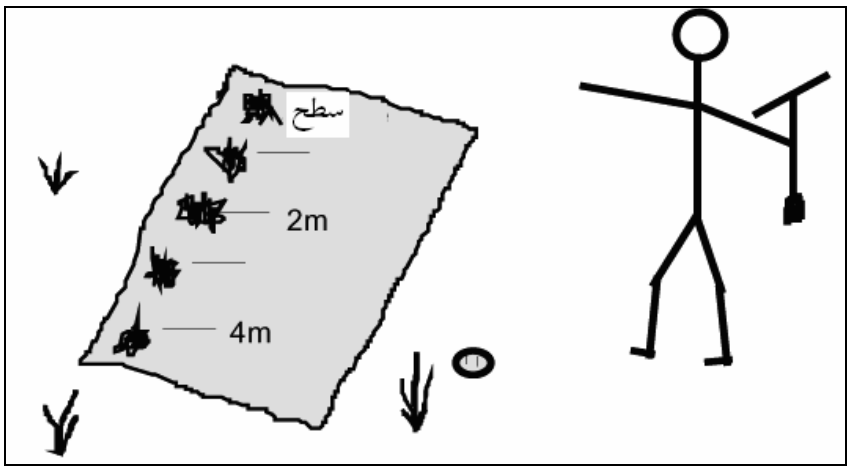
محل و منبع برداشت مصالح، خصوصیات محل برداشت در عمق به چه شکل است و آیا بستر سد در محل دریاچه آن قادر است آب را در خود ذخیره کند. برای این منظور مطابق شکل شماره ۲۵ شش موقعیت در نقشه تعیین می گردد و با استفاده از اوگر از عمق خاک نمونه‌برداری می‌شود لازم است در نقاط ۱ و ۲ و ۳ (بستر محل احداث سد) حتماً نمونه‌برداری انجام شود. نمونه‌برداری باید تا عمق لایه غیر قابل نفوذ یا حداقل ۶۰ سانتی‌متر انجام شود. در صورتی‌که سد فقط به عنوان یک مخزن عمل می‌کند لازم نیست که در سایر نقاط نشان داده شده در شکل نمونه برداری انجام گیرد. باید

نمونه‌برداری از عمق طوری انجام گیرد که بتوانیم لوگ خاک را در عمق برای خصوصیات مـورد نظـر بدست آوریم.




**شکل شماره ۲۵ - نقشه پلان سد خاکی و دریاچه آن و محل نمونه برداری**

مطابق شکل زیر باید هر عمق خاک به صورت جدا جدا مشخص گردد و در هر عمق رنج و دامنه ذرات مشخص گردد و این خصوصیات با هم مقایسه گردد و به سوالات زیر پاسخ داده شود.




**شکل شماره ۲٦ - چگونگی نمونه برداری با اوگر**

State o, Department of Natural Resources and Environment 2002 Pag

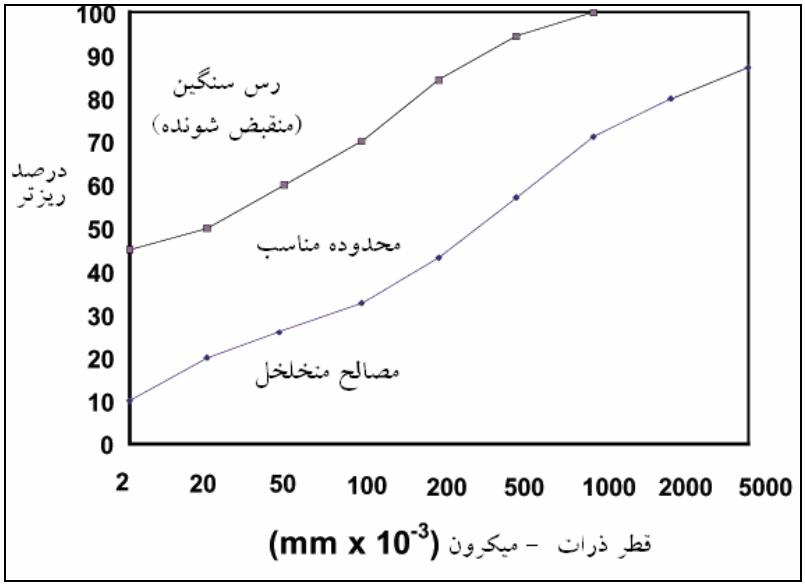
- عمق هر لایه از خاک چقدر است؟
- آیا مواد و مصالح مناسب به اندازه کافی وجود دارد؟
- آیا رگه‌های شن یاگراول در عمق خاک دیده می شود؟
- در صورت مثبت بودن مورد بالا به طور تقریبی چه مقدار وجود دارد؟
- آیا مواد پی سد برای استفاده در هسته سد و ترانشه مناسب است؟
- آیا رگه‌های گراول یا شن در زیر سایت سد وجود دارد؟

## تعیین و تشخیص خصوصیات خاک

در بسیاری از موارد استفاده از تجربه و اطلاعات محلی باعث می‌شود که ارزیابی سریع از خصوصیات خاک حاصل شود. در صورتی‌که هنوز به خصوصیات مناسب خاک مشکوک بودیم مواد را به آزمایشگاه انتقال می‌دهیم تا آزمایشات خاک انجام گیرد. موارد مورد بررسی برای خاک به صورت زیر است.

## ۱- توزیع اندازه ذرات

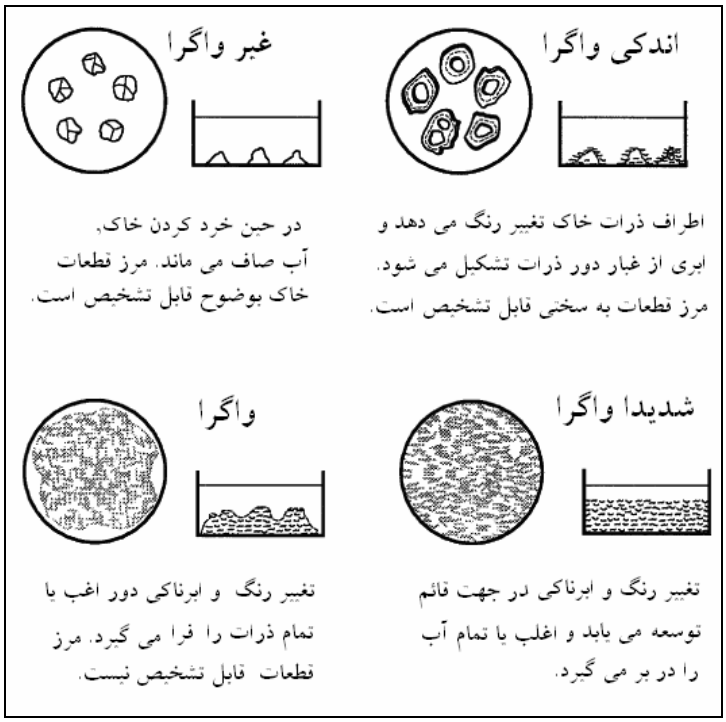
خاک ترکیبی از ذارت با اندازه‌های مختلف می‌باشد. ترکیبی از دانه‌بندی مختلف باری ساختمان سد مناسب است که این مواد بتوانند در دل همدیگر قرار بگیرند و مواد ریز دانه فضای خالی مواد درشتر را پر کند. برای بدست آوردن دامنه مناسب ذرات بدون آنالیزهای آزمایشگاهی استفاده از الک‌ها مثل الک آشپزخانه مناسب می‌باشد. برای بدست آوردن حد پلاستیسیته و رطوبت لازم برای کوبیدگی خاک مقداری خاک را در کف دست ریخته و با اسپری کم کم با آن آب اضافه می‌کنیم در صورتی که به توان یک نوار متوسط بین شست و انگشتان ایجاد کرد مشخص کننده این است که ذرات خاک از دامنه مناسبی برای کوبیدگی و تراکم خاک برخوردار می‌باشد. شکل شماره ۲۷ حدود مناسب خاک برای سدهای مزرعه‌ای را نشان می‌دهد.




**شکل شماره ۲۷- دانه بندی مناسب خاک برای سدهای مزرعه‌ای**

## ۲-آزمایش واگرایی خاک

در ساختمان سد خاکی نبایستی از خاک‌های با واگرایی بالا یا خیلی کم استفاده کرد. خاک‌های واگرا بسیار مستعد فرسایش تونلی می‌باشد که از مهم‌ترین دلایل شکست سد می‌باشد. آزمایش ساده زیر می‌تواند به راحتی حد واگرایی خاک را تعیین کند. یک لیوان را حدود ۱۰۰ سی سی آب ریخته و خاک را به آن اضافه می‌کنیم و اجازه می‌دهیم که حداقل یک ساعت ساکن بماند. حال اگر خاک به حالت گلوله‌ای در کف لیوان بماند خاک فاقد واگرایی می‌باشد و در صورتی‌که خاک در تمام ارتفاع آب پراکنده باشد نشان دهنده واگرایی شدید خاک است. حالات بینابینی نیز شدت و ضعف این پدیده را نشان می‌دهد. در شکل (۲۸) به طور روشن تر حد واگرایی نشان داده شده است.




**شکل شماره ۲۸ - آزمایش واگرایی خاک**

## ۳- انقباض خطی

برای تعیین انقباض پذیری می توان آزمایش میدانی زیر را انجام داد. مقداری رطوبت به خاک اضافه می‌کنیم تا خاک حالت پلاستیکی به خود بگیرد. از خاک بدست آمده نوار باریکی به طول تقریبی ۲۰ سانتی‌متر و قطر ۱/۲ سانتی‌متر بدست می‌آوریم و سپس اجازه می‌دهیم که به آهستگی خشک گردد و سپس با استفاده از رابطه زیر انقباض خطی خاک بدست می‌آید.

$$LS = \frac{L_w - L_d\ x}{L_w}\ 100 \qquad (۵)$$

Lw : طول نوار در حالت مرطوب

Ld : طول نوار در حالت خشک

LS برابر ۱۲-۰ درصد نشان دهنده انقباض خطی کم می‌باشد.

LS برابر ۲۲-۱۲ درصد نشان دهنده انقباض خطی متوسط می‌باشد.

LS بیش از ۲۲ درصد نشان دهنده انقباض خطی زیاد می‌باشد.

### ٤- کلاس‌بندی خاک

از نظر مهندسی بر اساس اندازه ذرات و خاصیت پلاستیسیته خاک برای سدهای خاکی کشاورزی سه کلاس زیر تعیین شده است.

CL رس‌های معدنی با خاصیت پلاستیسیته کم تا متوسط، گراولی رسی، شنی رسی، سیلتی رسی و رس‌های ضعیف

SC رسی شنی، مخلوطی از شن و رس با شن کم

GC رسی گراولی، ترکیبی از شن و رس با گراول کم

## توصیه‌های سازه‌ای

سرویس حفاظت خاک برای ارزیابی سدهای کشاورزی بر اساس کلاس خاک مورد استفاده، تعیین سطح دیسپرس شدگی خاک و میزان انقباض خطی خاک ۴ گروه مختلف خاک به صورت زیر معرفی می‌کند.

- خاک نامناسب: در صورتی که مقدار رس کمتر از ۱۰ یا ۲۰ درصد باشد. این گونه خاکها برای احداث سد توصیه نمی‌گردد، مگر اینکه از مواد حمایتی استفاده گردد.
- خاک مناسب: خاک‌هایی که در صورت داشتن رطوبت کافی از قابلیت کوبیدگی بالایی برخوردار می‌باشند.
- خاک‌هایی که استعداد تونلی شدن دارند: در صورتی که خاک، رس با درجه بالای دیسپرس شدگی داشته باشد نبایستی مورد استفاده قرار گیرد و در صورت استفاده باید از روش‌های مناسب جهت مقاوم سازی سد استفاده گردد. (کوبیدگی در رطوبت مناسب و در تمام لایه‌ها از شروع تا پایان). استفاده از رس‌های با نفوذپذیری کم در سراب و اضافه کردن ارتفاع آزاد در این موارد ضروری است.
- مواد غیرفرسایشی (با فولکوله خوب) در صورتی‌که رس‌ها از نظر ساختمانی خوب باشند و به خوبی فولکوله شده باشند از نظر نفوذپذیری مشکل دارند و در این حالت به علت باز بودن روزنه‌ها، خاک تراوش بالایی دارد و شبیه حالتی است که خاک در رطوبت مناسب کوبیده نشده است. بهتر است در این موارد برای کاهش نفوذپذیری از رس‌های دیسپرس شده استفاده شود.

## دلیل واگرا شدن خاک

در صورتی که رس‌ها دارای درصد بالایی از سدیم باشد به علت بالا بودن شعاع یونی این کاتیون باعث دور شدن لایه دوگانه در ذرات رس می گردد و این باعث پراکنش رسها می‌شود. این رسها به

شدت در برابر فرسایش تونلی حساس می باشد و براحتی در صورت استفاده در سد باعث شکست سد می گردد در صورتی که مجبور به استفاده از این خاکها در ساخت سد باشیم باید کوبیدگی در رطوبت مناسب و تراکم بالا انجام گیرد و همچنین از تکنیک‌های ویژه مهندسی در ساخت آن استفاده کرد.

## تجهیزات تراکم

انواع و اقسام تجهیزات برای کوبیدگی خاک وجود دارد که بسته به نوع سد و همچنین نوع خاک در موارد مختلف مورد استفاده قرار می گیرد.غلطکهای پاچه بزی برای کوبیدگی سدهای مزرعه‌ای مناسب می‌باشد. حداقل فشار وارده به خاک باید ۱۷۵۰ کیلو پاسکال باشد.

## رطوبت مناسب

در صورتی که بتوان یک نوار به ضخامت خودکار با خاک ایجادکرد بدون اینکه شکسته شود نشان دهنده این است که خاک از رطوبت مناسبی برخوردار است در صورتی که نوار خاک ترک بردارد میزان رطوبت کافی نیست. برای ایجاد کوبیدگی مناسب باید ۸ تا ۱۰ بار غلطک از روی خاک عبور کند.

### ٦-۲-٤- پی سد

مهمترین نقش پی در سد خاکی فراهم آوردن یک تکیه‌گاه پایدار و غیر قابل نفوذ برای خاکریز سد در شرایط اشباع و تحت اثر بارهای مختلف می‌باشد. پی ممکن است است از مصالح سنگی، مصالح درشت‌دانه نضیر شن و ماسه، مصالح ریزدانه مانند رس و سیلت و یا مخلوطی از هر سه تشکیل شده باشد. پی‌های سنگی بایستی برای نشت، فشار برخاستی و هدر رفت آب از طریق درزها، شکافها و گسل‌ها مورد بررسی قرار گیرند و در صورت نیاز با تزریق سیمان درزه و شکافها پر شوند.

در مورد پی‌های شنی و ماسه‌ای بایستی میزان دست‌خوردگی کنترل شود و دقت شود که دانسیته نسبی از ۵۰ درصد بیشتر باشد. در دانسیته کمتر از ۵۰ درصد احتمال غلیان وجود خواهد داشت. برای جلوگیری از نشت آب ممکن است به پرده یا ترانشه آب‌بند یا پتوی آب‌بند نیاز باشد. همچنین برای مستهلک کردن فشار منفذی و تخلیه آب از داخل خاکریز می‌توان از لوله های زهکش و یا پتوهای زهکش در پایین دست خاکریز سد استفاده نمود. در پی‌های سیلتی و رسی بایستی دقت شود که این مصالح مقاومت برشی و ظرفیت باربری کافی برای تحمل بار سد را داشته باشند.

## ٦-٢-٥- خاکریز سد

شیب‌های خاکریز بایستی تحت همه شرایط ساخت و بهره برداری پایدار باشد. این امر می‌تواند با انتخاب مناسب مصالح خاکی و سنگی و اجرای صحیح خاکریزی محقق گردد. از آنجا که برای طراحی سدهای کوچک خاکی انجام کلیه تحقیقات میدانی و آزمایشگاهی بدلایل اقتصادی میسر نیست لذا در اکثر اوقات ترجیح داده می شود که ابعاد طراحی از حد معمول بزرگتر در نظر گفته شده تا از این طریق ضعف اطلاعات جبران گردد.

شیب خاکریز به پارامترهای مختلفی مانند نوع خاک، ارتفاع سد و عمق آب پشت سد بستگی دارد. شیب بالادست خاکریز سد می‌تواند از ۱:۲ تا ۱:۴ تغییر یابد که متداول‌ترین آن ۱:۳ است. اگر ارتفاع سد کمتر از ۴ متر بوده و سد روی بستر سنگی قرار گرفته باشد، شیب بالادست ۱:۳ و شیب پایین دست ۱:۲ برای اکثر خاک‌ها مناسب خواهد بود. برای ارتفاع بیشتر از ۴ متر، شیب مناسب با استفاده از تحلیل پایداری شیب بدست می‌آید. به منظور زهکشی آب در هنگام افت سریع سطح آب مخزن، معمولاً شیب بالادست بایستی از مصالح نفوذ پذیر ساخته شود. شیب پایین دست سد نیز همرا با ایجاد یک لایه نفوذپذیر برای زهکشی معادل ۱:۲ در نظر گرفته می‌شود. سطح بالادست خاکریز بایستی در مقابل عمل امواج محافظت شود. معمول‌ترین نوع حفاظت استفاده از ریپ رپ یا سنگ‌های شکسته می‌باشد اعم از این که به صورت ماشینی یا با دست قرار داده شود. سطح تاج و سطح پایین دست خاکریز بایستی در مقابل فرسایش ناشی از باد و باران حفاظت شوند. این کار معمولاً با استفاده از سنگ‌ها، صخره‌ها و پوشاندن چمن انجام می‌شود.

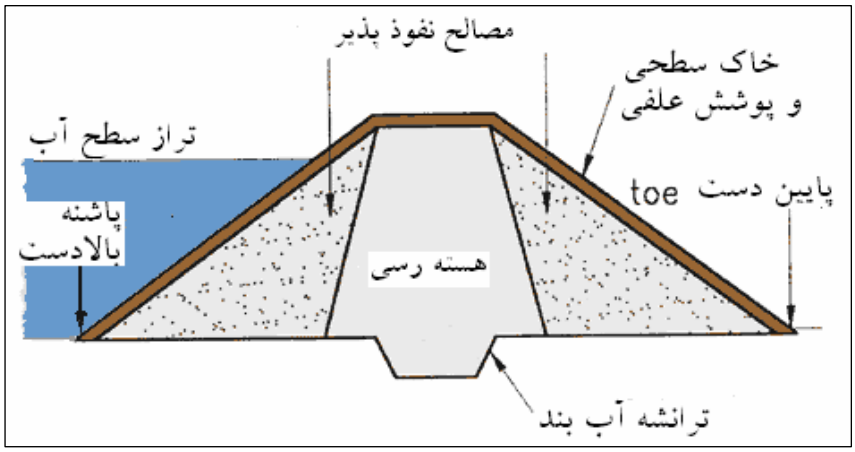
## ٦-٢-٦- عرض تاج

پایداری خاکریز تعیین کننده عرض تاج مورد نیاز است. اگر چه به لحاظ ایمنی عملیات ساخت، عرض تاج نباید از یک مقدار حداقل کمتر باشد. عرض تاج سد معمولا ۲/۵ تا ۵ متر منظور می گردد. در صورت عدم طراحی مهندسی، برای سدهای تا ارتفاع ۵ متر عرض تاج را برابر ۲/۵ متر می‌توان در نظر گرفت. برای سدهای بلندتر از ۵ متر، بازای هر یک متر ارتفاع اضافی معادل ۰/۲ متر به عرض تاج اضافه می‌شود. به عنوان مثال، اگر حداکثر ارتفاع خاکریز سد ۷ متر باشد، عرض تاج آن ۲/۹ متر خواهد بود.

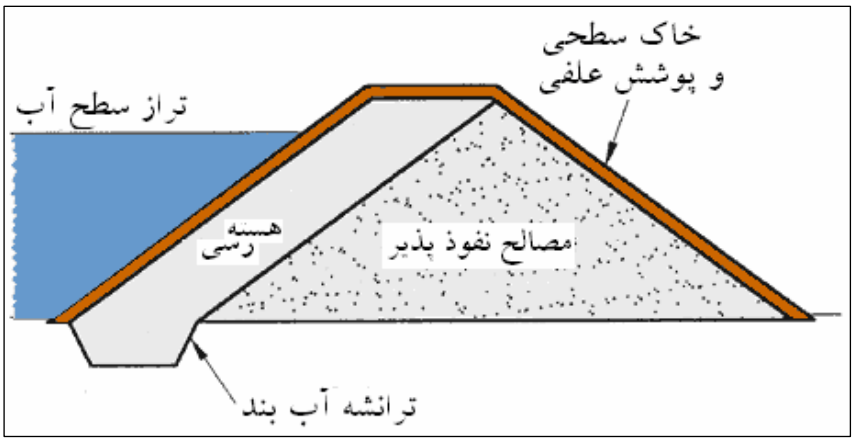
## ٦-٢-٧- هسته رسی

برای جلوگیری از نشت آب از بدنه سد یک لایه نفوذ ناپذیر (هسته) از تاج سد تا فونداسون سد احداث می گردد. در صورتی‌که پی از مصالح نفوذ پذیر ساخته شده باشد، لایه نفوذناپذیر هسته بایستی در پی نیز ادامه پیدا کند.

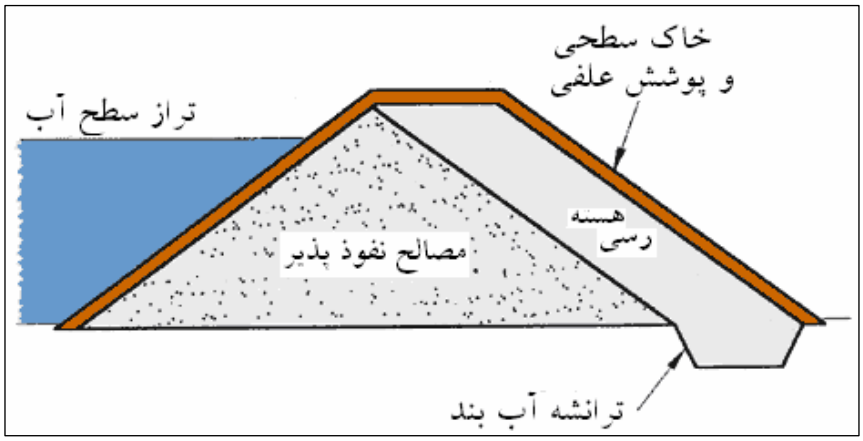
در صورت عدم وجود مصالح خاکی مناسب برای ساخت سد همگن، می‌توان با استفاده از هسته رسی از سدهای غیرهمگن استفاده کرد. نقش اصلی هسته رسی جلوگیری از نشت آب از بدنه سد خاکی است. شکلهای شماره ۲۹ تا ۳۱ موقعیت‌های مختلف هسته رسی در سد خاکی را نشان می‌دهد.




*شکل شماره ۲۹ - شمای هسته رسی مرکزی*



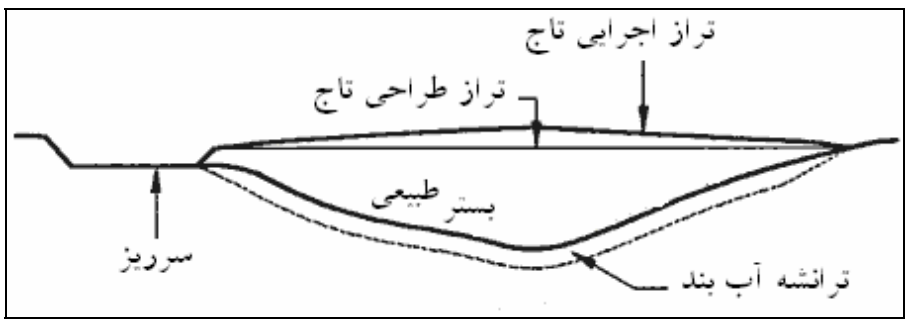

**شکل شماره ۳۰ - شمای هسته رسی در بالادست خاکریز**




**شکل شماره ۳۱ - شمای هسته رسی در پایین دست خاکریز**

## ٦-۲-۸- نشست خاکریز

نشست خاکریز سد یک پدیده طبیعی است. چون هرگز نمی‌توان با کوبیدگی به تراکم مناسب و ۱۰۰ درصد رسید لذا برای سد خاکی باید ارتفاعی اضافی را برای جبران نشست در نظر گرفت و به ارتفاع طراحی سد اضافه کرد. خاک‌های رسی می‌توانند تا ۱۰ درصد نشست داشته باشند، اگر چه در رس‌های خوب متراکم شده میزان نشست بیش از ۵ درصد نخواهد بود. به طور کلی برای سدهای کوتاه باید ۵ تا ۱۰ درصد ارتفاع سد را به عنوان نشست سد در نظر گرفت. در عمل برای جبران این میزان نشست ارتفاع طراحی به میزان ۵ درصد افزایش داده می‌شود. و این افزایش در طول خاکریز اعمال می‌گردد. به عنوان مثال اگر ارتفاع طراحی سد ۵ متر باشد، ارتفاع خاکریز آن باید ۵/۲۵ متر لحاظ شود. شکل شماره ۳۲ چگونگی اعمال ارتفاع نظیر نشست را نشان می‌دهد.




**شکل شماره ۳۲ - اعمال اضافه ارتفاع نظیر نشست خاکریز**

## ٦-۲-۹- عمق آزاد

ارتفاع آزاد عبارتست از مازاد ارتفاع خاکریز نسبت به تراز بالاترین سطح آب (یا تراز سرریز). ارتفاع آزاد باید بحدی باشد که بتواند از عبور آب از روی خاکریز سد در حین کار سرریز و یا هنگام اصابت امواج ناشی از باد جلوگیری کند. حداقل مقدار ارتفاع آزاد ۷۵ سانتیمتر و در بعضی موارد به ۲ متر می‌رسد. ارتفاع آزاد بایستی حداقل ۱ متر باشد (به صورت عمودی بالاتر از سطح حداکثر آب یا کف سریز) بایستی نشست توده سد نیز مد نظر قرار گیرد و با توجه به کوبیدگی ارتفاع ناشی از نشست نیز به ارتفاع آزاد اضافه گردد و همچنین برای اطمینان کامل ۱۰ درصد ارتفاع سد به ارتفاع آن اضافه گردد.

## ٦-۲-۱۰- طراحی سرریز

بطور کلی پارامترهای زیر در تعیین ابعاد سرریز این نوع از سدها مؤثر می‌باشند.

۱- مساحت حوزه آبخیز سد و شکل حوزه
۲- خصوصیات بارش
۳- شکل سایت سد و خصوصیات خاک و گیاه

از پارامترهای مهم در طراحی سرریز می‌توان به ابعاد سرریز(عرض و ارتفاع) شکل سرریز و حفاظت سرریز اشاره کرد. در صورت عدم وجود سایت مناسب سرریز در تکیه گاه سد، می‌توان از سرریزهای لوله‌ای در بدنه سد استفاده نمود.

### ٦-۲-۱۰-۱- عرض سرریز

در خاکهای پایدار در صورتی که سد از اهمیت بالایی برخوردار نباشد و مجری نخواسته باشد محاسبات و فاکتورهای مختلف را مد نظر قرار دهد برای تخمین ابعاد سرریز می‌توان از جدول زیر یا رابطه $W = \sqrt{A}$ استفاده کرد که در آن W عرض سریز به متر و A مساحت حوزه بالادست سد به هکتار است.

**جدول شماره ۱۳ - ابعاد تقریبی سرریز**

| عرض سرریز (متر) | عرض کانال (متر) | مساحت حوزه (هکتار) |
|---|---|---|
| ۷ | ۳ | <۲۰ |
| ۱۲ | ۶ | ۲۰ -۴۰ |
| فاکتورهای طراحی | فاکتورهای طراحی | > ۴۰ |

### ٦-۲-۱۰-۲- تراز سریز

تراز سرریز با توجه به ارتفاع آب در طول سیلاب تعیین می‌گردد. ارتفاع کف سریز باید طوری انتخاب گردد که پایین تر از تاج سد قرار گیرد به گونه‌ای که آب از روی تاج سد سرریز نکند. در حوزه‌های کوچکتر از ۵۰ هکتار حداقل عرض سرریز ۳ متر و حداقل عمق آن ۰/۵ متر توصیه می‌شود و همچنین بایستی تاج سد حداقل ۰/۸ متر بالاتر از کف سرریز قرار گیرد.

### ٦-۲-۱۰-۳- شیب سرریز

بایستی شیب کناره‌های سرریز ۲:۱ باشد و در صورتی که دره شیب زیادی نداشته باشد معمولاً شیب کف سرریز را منطبق با شیب کف بستر دره می‌گیرند.

## ٦-۲-۱۱- لوله‌های تخلیه

در صورتی که رودخانه دائمی باشد برای استفاده از دبی معمولی رودخانه باید از سرریز لوله‌ای کوچک استفاده کرد. این سرریز در داخل بدنه سد در یک ارتفاع مشخص نصب می‌گردد. این ارتفاع با توجه به دبی حداقل رودخانه و ارتفاع حداقل تراز آب دریاچه سد و همچنین میزان نیاز آبی تعیین می‌گردد ولی باید حداقل ۰/۵ متر پایین‌تر از سرریز قرار گیرد. شیب لوله در طول مسیر نبایستی بیش از ۱:۱۰ باشد و تدابیر لازم برای آب‌بندی اطراف لوله انجام گیرد تا مسیرهای تراوش آب بوجود نیاید.

## ٦-۳- ساخت سد

ساخت سد در صورتی موفق است که یک خاکریز با تراکم بالا ایجاد شده باشد. علاوه بر تراکم خاک، ملاحظات اجرایی زیر نیز باید مدنظر قرار گیرد:

- ترانشه آب بند
- صخره‌های نمایان
- سرریز
- هسته رسی
- شیب خاکریز
- عمق آزاد
- نشست خاکریز
- عرض تاج
- خاک سطحی

### ٦-۳- ۱- آماده سازی محل سد

محدوده خاکریز و سرریز بایستی توسط علائمی‌نظیر چوب‌های رنگ شده که به راحتی قابل رویت باشند، مشخص شود. محل‌هایی که باید علامتگذاری شوند عبارتند از:

- پاشنه خاکریز در بالادست
- پاشنه خاکریز در پایین دست
- عرض ورودی و خروجی سرریز
- تراز ماکزیمم سطح آب
- تراز تاج سد
- محور خاکریز
- محدوده حفاری

قبل از شروع به ساخت سد بایستی خاک سطحی، ریشه درختان و علف‌ها در محدوده خاکریز، سرریز و خاکبرداری برداشته شود. خاک سطحی جمع‌آوری شده باید جهت استفاده در مراحل نهایی ساخت خاکریز، ذخیره گردد.

### ٦-۳-۲- ترانشه آب‌بند

تلفات آب سد از دو طریق تبخیر و نفوذ انجام می‌شود. کنترل تلفات تبخیر به آسانی مقدور نیست، ولی با اجرای مناسب می‌توان میزان تلفات از طریق نفوذ را کاهش داد. یکی از راه‌های کنترل نفوذ، استفاده از ترانشه آب بند (یا پرده آب بند) در تمام طول سد است. معمولاً نیازی به ادامه دادن ترانشه آب بند در عرض سرریز نیست. ترانشه آب بند بایستی از رس متراکم ساخته شده و حداقل ۶۰ سانتی‌متر در عمق بستر نفوذ ناپذیر ادامه یابد. در تمام سدهای زراعتی بایستی از ترانشه آب بند استفاده گردد.

### ٦-۳-۳- تراکم خاک

تراکم خاک در رطوبت بهینه باعث افزایش مقاومت خاک و همچنین کاهش نفوذپذیری آن می‌شود. خاک مورد استفاده در ترانشه آب بند و خاکریز سد بایستی بصورت لایه لایه ریخته شده و متراکم گردد. ترجیحاً این کار بایستی با استفاده از غلطک پاچه بزی انجام گردد، اگر چه در بعضی از موارد و با توجه به نوع خاک، تراکم ایجاد شده توسط اسکریپر و یا بولدوزر نیز ممکن است کافی باشد. در تراکم با غلطک پاچه‌بزی حداکثر ضخامت هر لایه خاک متراکم نشده، ۱۵ سانتی‌متر و در صورت استفاده از بولدوزر و یا اسکریپر ضخامت هر لایه ۱۰ سانتیمتر توصیه می‌شود. بطور کلی خاکریزهای

کوتاه‌تر از ۳ متر را می‌توان با استفاده از بولدوزر یا اسکریپر متراکم کرد. تعداد عبور در هر لایه به نوع خاک بستگی دارد ولی در هر صورت از ۴ عبور کمتر نخواهد بودتعداد ۸ تا ۱۰ بار تردد ریسک خطر را بسیار کاهش می‌دهد.

تراکم خاک بایستی در رطوبت بهینه انجام شود. رطوبت بهینه خاک توسط آزمایش تراکم و در آزمایشگاه تعیین می‌گردد ولی بصورت تقریبی نیز می‌توان مقدار آنرا تعیین کرد. بصورت تقریبی، درصد رطوبت بهینه میزان رطوبتی است که فتیله ایجاد شده از خاک مرطوب را بتوان بدون ترک خوردگی به اندازه ضخامت یک مداد نازک کرد. ایجاد فتیله معمولا توسط دست و با غلتاندن آن روی یک سطح صاف انجام می‌شود. در صورتی‌که فتیله قبل از رسیدن به ضخامت یک مداد ترک بخورد، رطوبت آن کمتر از مقدار بهینه و در صورتیکه بتوان آنرا بدن ترک خوردن نازکتر از این ضخامت کرد، رطوبت آن بالاتر از رطوبت بهینه است.

در صورتی‌که خاک محل خاکبرداری خشک تر از رطوبت بهینه باشد، باید قبل از استفاده رطوبت آن‌را اضافه کرد. برای این منظور بهترین راه شخم زدن محل قرضه، نم زدن خاک، رها کردن آن به مدت ۲۴ ساعت، چک کردن رطوبت با روش صحرایی که گفته شد، و نهایتاً حمل آن می‌باشد. حتی‌المقدور از مرطوب کردن خاک روی خاکریز سد اجتناب شود. زیرا این کار باعث ناهمگونی در رطوبت خاک و نهایتاً ناهمگونی در تراکم خاک می‌گردد. در صورتی‌که رطوبت خاک محل قرضه بیشتر از رطوبت بهینه باشد، می‌توان با شخم زدن آن را خشک کرد.

### ٦-٣-٤- صخره‌های نمایان

به دلیل افزایش حجم ذخیره آب سد ترجیحاً کلیه مصالح مورد استفاده در ساخت سد بایستی از داخل مخزن سد برداشت شود. مقداری از این مصالح نیز می‌تواند از محل حفاری سرریز تامین گردد. چنانچه در حین خاکبرداری بستر سنگی رخنمون گردد، بایستی برای جلوگیری از نشت از کناره‌های صخره‌ها روی آنها با حداقل ۳۰ سانتیمتر خاک رس متراکم شده پوشانده شود.

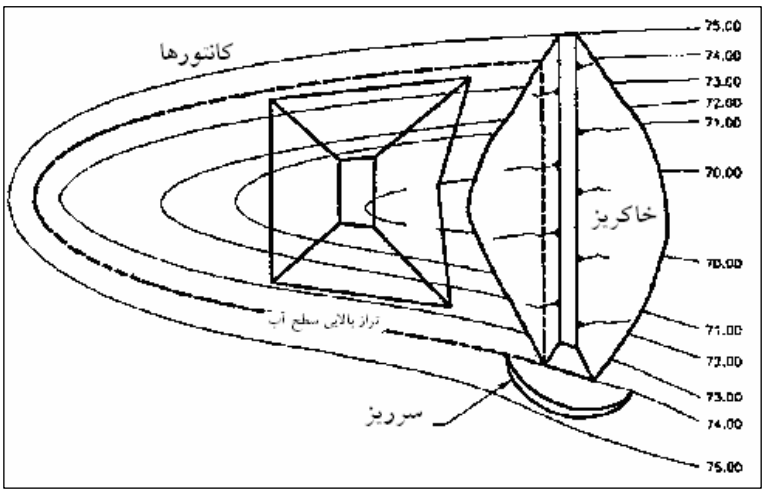
### ٦-٣-٥- سرریز

سرریزها برای عبور دادن آب مازاد پشت سد به پایین دست آن بکار می‌رود. سرریز باید طوری اجرا گردد که موجب فرسایش بستر نگردد. بدین منظور در سدهای زراعتی معمولاً کف سرریز با پوششی از علف‌های متراکم محافظت می‌شود. همینطور می‌توان از پوشش‌های بتنی، گابیونی و یا سنگی برای جلوگیری از فرسایش کف سرریز استفاده شود.

## ٦-٣-٦- رویه سد[1]

پس از ساخت خاکریز سد باید روی آن در تمام قسمت‌ها با لایه‌ای از خاک سطحی متراکم شده به ضخامت ۱۵ سانتی‌متر پوشانده شده و سپس گیاهان علفی مانند چمن[2] روی آن کاشته شود. این لایه خاک بعنوان بستری برای رشد گیاهان عمل می‌کند. این پوشش علفی بر روی سرریز نیز بایستی ایجاد گردد. برای ایجاد لایه خاک سطحی بر روی سرریز، بایستی ابتدا کف آن به ضخامت ۱۰ سانتیمتر خاکبرداری شده و سپس لایه ای از خاک سطحی به ضخامت ۱۰ سانتیمتر روی آن ریخته و متراکم گردد.

در صورتی‌که خاک سطحی برداشت شده از بستر (قبل از عملیات احداث سد) برای کاشت گیاه مناسب نباشد، بایستی خاک مناسب از خارج سایت تهیه گردد.




**شکل شماره ۳۳ - پلان تیپیک یک سد خاکی**

## ٦-٤- نگهداری سد

نگهداری و بازرسی از سد خاکی یک برنامه عادی و برنامه ریزی شده در سدهای خاکی است به طور مرتب باید قسمت‌های مختلف سازه توسط بازرس مورد بررسی قرار گیرد و اثرات درز و ترک، لغزش، تراوش، وجود یا عدم وجود جانوران حفار، رشد گیاهان و ... و همچنین علل وقوع آنها مورد بررسی قرار گیرد. در بعضی سدها ارتفاع آب باید توسط پیزومترها در داخل بدنه سد اندازه گیری گرد و

1 .Topsoil
2 . kikuyu

خط نشت آب در داخل بدنه سد مورد بررسی قرار گیرد تا مطمئن شویم که این خط از بدنه سد عبور نخواهد کرد. در صورت بوجود آمدن این حالت بدلیل وجود چشمه در شیب پایاب احتمال تخریب و شکست سد بسیار زیاد خواهد بود این خط همیشه باید در داخل سد به بستر سد برسد.

## ٦-٤-١- بررسی لایه محافظ در دیواره سد

شرایط و مصالح ساختمانی بندرت کاملاً رضایت بخش می‌باشد. بنابراین با توجه به عدم قطعیت‌های مهندسی آب حتی با بهترین فنون احداث سازه باز هم خطر تخریب سد وجود دارد. یکی از مهمترین عوامل شکست سدها مسدود شدن سرریز سد می‌باشد لذا باید همواره مورد بازرسی قرار گیرد تا عاری از مواد زائد باشد و بطور کلی شبکه دریچه‌ها باید در وضعیت خوب نگهداری شود. در صورت تخریب سیل بندها، عواقب می‌تواند از شرایطی که اصلاً سیل بندی احداث نشده باشد بسیار وخیم تر شود. بازرس بایستی هر نوع رفتار غیرطبیعی را سریعاً گزارش کند و همواره باید از عملکرد سازه‌های مختلف سد اطمینان حاصل کنیم.

## ٦-٤-٢- مشکلات سدهای خاکی

- واگرایی رس
- تراوش
- فرسایش
- نیروی ناشی از موج آب
- مشکلات ناشی از طراحی نامناسب سرریزها

## ٦-٤-٣- مراقبت و ایمنی

مراقبتهای امنیتی در سدها یک برنامه منظم با تکنیک‌های فنی می‌باشد یکی از اهداف اقتصادی و مهم این است که سد در یک دوره طولانی ریسک خطر کمی‌داشته باشد انتخاب دوره بازگشت مناسب برای سد با توجه به سود و هزینه و تحلیل اقتصادی مربوط به پروژه صورت می‌گیرد. معمولا هرچه دوره بازگشت سد را طولانی تر در نظر گرفته شود هزینه احداث آن نیز بالا می‌رود و از طرفی ریسک خطر کم می‌شود برای اینکه یک ارزیابی دقیق و اقتصادی برای تعیین دوره بازگشت سد انجام گیرد بایستی در هر مورد سیل استاندارد پروژه[1] مشخص گردد و بر این اساس دوره بازگشت سد تعیین گردد این سیل از سیلاب ماکزییم در دوره بازگشت مشخص کمتر می‌باشد. البته معمولاً در سدهای

1.Standard Project Flood

خاکی دوره بازگشت به صورت تجربی و با توجه به جداولی که به همین منظور تهیه شده است بدست می‌آید.

## ٦-٤-٤- نگهداری از سد

مجری و سازنده سد باید در نظر داشته باشد که در صورت شکست سد علاوه بر خسارتی که به تاسیسات سد وارد می‌شود کلیه خسارات بوجود آمده در پایین دست نیز باید توسط مجری سد پرداخت گردد. بسیاری از سدهای خاکی بر اثر عدم نگهداری مناسب و عدم وجود یک برنامه منظم برای جلوگیری از پرشدن با شکست روبرو می‌گردد و عمر آن کاهش می‌یابد. برای این منظور بایستی مراقبت‌های لازم طبق یک برنامه زمان‌بندی مناسب اعمال گردد. جدول شماره ۱۴ برنامه پیشنهادی را برای زمانبندی بازدیدها و نگهداری سد ارائه می‌دهد.

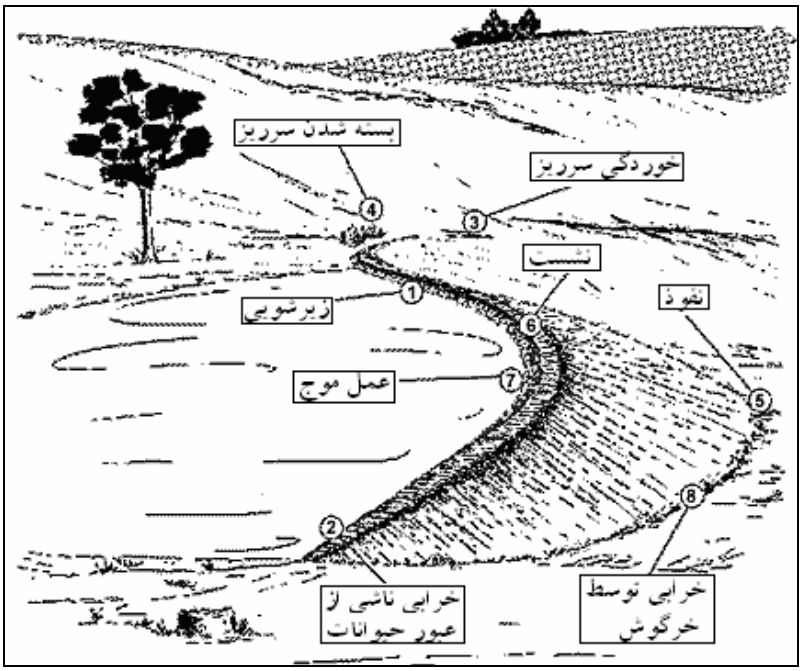
**جدول شماره ١٤ - برنامه پیشنهادی برای نگهداری سد**

| طبقه خطر[1] | بازدید سریع چشمی | | | بازدید جامع همراه با آزمایش | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | اندازه سد | | | اندازه سد | | |
| | نسبتا بزرگ[2] | متوسط | کوچک[3] | نسبتا بزرگ[2] | متوسط | کوچک[3] |
| **زیاد** | روزانه | دو بار در هفته | هفتگی | هفتگی | ماهانه | هر ۳ ماه یکبار |
| **متوسط** | دو بار در هفته | هفتگی | دو هفته یکبار | ماهانه | هر ۳ ماه یکبار | سالی دو بار |
| **کم** | هفتگی | دو هفته یکبار | ماهانه | هر ۳ ماه | سالی دو بار | سالانه |

1. طبقه خطر به میزان خطر ناشی از شکست سد اطلاق می‌شود. سدهای خطرناک به سدهایی گفته می‌شود که شکست آنها خسارات جانی و مالی فراوان بدنبال داشته باشد.

2. سد خاکی نسبتاً بزرگ (notifiable) به سدی اطلاق می‌شود که (ارتفاع آن بزرگتر یا مساوی ۵ متر و حجم مخزن آن ۵۰ هزار متر مکعب یا بیشتر ) یا (ارتفاع آن بزرگتر یا مساوی ۱۰ متر و حجم مخزن آن ۲۰ هزار متر مکعب یا بیشتر ) باشد.

3. سد کوچک در اینجا به سدی گفته می‌شود که حجم مخزن آن کمتر از هزار متر مکعب باشد.




**شکل شماره ۳٤ - انواع خسارات وارده به یک سد کوتاه آبخیزداری**

براساس شکل انواع خسارتی که می‌تواند به یک سد کوتاه آبخیزداری وارد شود را نشان می‌دهد که شامل موارد زیر است:

- خسارت ناشی از حمل و نقل
- خسارت ناشی از نشست
- خسارت ناشی از انسداد سرریز
- خسارت ناشی از فرسایش سرریز
- خسارت ناشی از تراوش
- خسارت ناشی از جانوران حفار
- خسارت ناشی از شیاری شدن سراب
- خسارت ناشی از عمل موج آب
- خسارت ناشی از عمل تونلی شدن
- خسارت ناشی از عمل ریزش

### ٦-٤-٥- موارد مورد بررسی توسط بازرس

خطرات بالقوه برای سدهای خاکی بستگی به مکان سد و اندازه آن دارد. در سدهای بلندتر و با گنجایش بیشتر برنامه‌های جامع نظارتی و قانون مند بودن نگهداری حیاتی تر است. سد خاکی برنامه نظارت و نگهداری مناسب را می‌طلبد و نادیده گرفتن نکات فنی و مدیریتی موجب خواهد شد که در آینده هزینه زیادی بابت تعمیرات صرف شود. بعضی از این نکات عبارتند از:

#### ٦-٤-٥-١. پوشش گیاهی

برای نگهداری گیاهان روی بدنه سد حداقل یک لایه از خاک سطحی به ضخامت ۱۵ سانتیمتر لازم است. فقط باید به گیاهان با ریشه کوچک اجازه رشد داده شود زیرا گیاهان با ریشه عمیق و درختان باعث نفوذ ریشه در داخل بدنه سد و هسته رسی می شوند و موجب تراوش آب از این محلها می گردند. در بازدید از سد در صورت مشاهده مناطق تخریب شده پوشش گیاهی لازم است که این مناطق اصلاح گردد.

#### ٦-٤-٥-٢. خسارت ناشی از تردد و چرای دام

احیا و کاشت گیاهان در بدنه سد به سختی انجام می‌گیرد لذا به هیچ وجه نباید اجازه تردد دام به این مناطق داده شود زیرا علاوه بر آسیب به گیاه باعث خسارت به بدنه سد میگردد لذا توصیه می شود که به وسیله شبکه‌های توری مانع ورود دام به این مناطق شویم.

#### ٦-٤-٥-٣. نشست

خاکریزی در سد باید در لایه‌های کوچک و کمتر از ۳۰ سانتیمتر(به طور اپتیمم ۱۵ سانتیمتر) صورت گیرد تا کوبیدگی مناسب و استاندارد به خاک داده شود در صورتی که تراکم خاک به خوبی صورت نگیرد، امکان دارد که بیش از ده درصد ارتفاع، در سد نشست داشته باشیم. به طور نرمال حدود ۱۰ درصد ارتفاع سد باید به ارتفاع آزاد سد به عنوان ارتفاع ناشی از نشست برای سد در نظر گرفته شود.

#### ٦-٤-٥-٤. ریزش

ترک‌های موجود در دیوار سد ممکن است نقطه شروع یک ریزش خطرناک باشد که علت اصلی آن تراکم ضعیف و فشردگی نامناسب، تراوش بیش از حد آب،شیب تند دیوارها و حیوانات حفار می‌باشد.

### ٦-٤-٥-٥. تراوش

وجود نقاط مرطوب در بدنه یا پایین دست نشانه نشت آب در بدنه سد می‌باشد. در صورت مشاهده نقاط مرطوب در دیوار سد یا پنجه سد ابتدا باید شیب بالادست را مورد بررسی قرار داد و نقاطی که ممکن است محل نفوذ آب باشد پیدا کرد و در صورت لزوم پوشش سراب تقویت شود. حفاری و ترکم مجدد قسمتهایی از بالادست که نشت از طریق آنها صورت می‌گیرد توصیه می‌شود. در هر صورت به هیچ عنوان نباید در پایاب سد چشمه ایجاد گردد. بهتر است که با استفاده از اوگر سطح آب در بدنه سد و خط نشت مورد بررسی قرار گیرد و در صورتی که امکان عبور این خط از پایاب وجود داشته باشد بایستی حتماً تدابیر لازم از جمله کم کردن شیب پایاب یا ایجاد فیلتر در پنجه سد و یا موارد دیگر انجام گیرد.

### ٦-٤-٥-٦. تونل

خط نشت آب در صورتی که مصالح مساعد باشد فوراً باعث ایجاد تونل در داخل بدنه سد می‌گردد. در این مواقع باید فوراً و با دقت خاک را در این نقاط فشرده کرد. استفاده از ترکیب بنتونیت و ماسه به نسبت ۱ به ۲ نیز توصیه شده است. تونل معمولاً نشانه انتخاب نادرست مصالح سد است. در این حالت باید با متخصص سدسازی مشورت شود.

### ٦-٤-٥-٧. خرابی جانوران حفار

همواره باید در سرکشی به سازه موجودات حفار بخصوص لانه خرگوش را مدنظر قرار داد و از عدم فعالیت این جانوران در اطراف سازه اطمینان حاصل کرد.

### ٦-٤-٦- سرریز

سرریز از سازه‌های مهم و اساسی در سد می‌باشد و امنیت سد ارتباط بسیار زیادی با سرریز مناسب و آماده دارد. علاوه بر طراحی مناسب سرریز از نظر ابعاد و شیب بایستی موارد زیر بعد از ساخت سرریز مد نظر قرار گیرد.

### ٦-٤-٦-١. پوشش گیاهی

برای جلوگیری از ایجاد فرسایش در سرریز استفاده از یک پوشش متراکم و یکنواخت حائز اهمیت است. باید مراقب بود که گیاهان زیاد بلند نشده و حالت خشبی به خود نگیرند. بزرگ شدن گیاهان

باعث بالا رفتن ضریب زبری و کاهش سرعت آب در کانال می‌گردد، که خود باعث افزایش ارتفاع آب و سرریز شدن آن از دیواره می‌گردد، که برای پایداری سرریز بسیار خطرناک است.

### ٦-٤-٦-٢. انسداد سرریز

سرریز همواره باید از مواد زائد، برف و یخ و گیاهان بلند تمیز گردد. انسداد سرریز به هر نحو بسیار خطرناک می‌باشد.

### ٦-٤-٦-٣. شیارها

در صورتی که بستر سرریز مصلح نباشد معمولاً بعلت بالا بودن سرعت جریان در داخل آن شیارهای در آن بوجود می‌آید که این شیارها بسرعت گسترش پیدا می‌کند و باعث ایجاد خندق‌های بزرگ در کانال سرریز می‌گردد لذا همواره بایستی این مورد در بازرسی سرریز مورد توجه قرار گیرد و در صورت مشاهده شدن شیارها در داخل کانال سرریز بسرعت تعمییر گردد.

### ٦-٤-٧- حجم آب

کیفیت آب ذخیره شده در دریاچه سد بسیار از نظر کشاورزی، شرب و تاسیسات احتمالی برق و آبیاری بسیار مهم می‌باشد. علاوه بر این تجمع آب در پشت سد علاوه بر ایجاد نیروهای هیدرواستاتیکی که بر دیواره سد وارد می‌کند باعث افزایش طول بادگیر و افزایش ارتفاع موج می‌گردد.

### ٦-٤-٧-١. عملکرد موج

قدرت موج ناشی از باد بستگی به طول دریاچه و سرعت باد دارد . ضربه ناشی از نیروی موج به دیواه سد باعث تخریب این دیواره شده و می‌تواند منجر به تخریب سد گردد. برای جلوگیری از ضربه موج به بدنه سد معمولاً ار ریپ رپ (ابتدا بر روی دیواره سد سنگ‌های بزرگ چیده شده و سپس روی آن سنگ‌های کوچکتر قرار داده می‌شود به طوری‌که فضای خالی بین سنگ‌های بزرگ توسط سنگ‌های کوچک پر گردد) استفاده می‌شود. در سدهای کوچکتر می‌توان از پوشش گیاهی استفاده کرد.

### ٦-٤-٧-٢. گل آلودگی

حتی الامکان باید از ورود رسوبات و آب گل آلود به پشت سد جلوگیری کرد. برای کم کردن گل آلودگی آب مهمترین و اصلی‌ترین کارها استفاده از روش‌های بیولوژیکی در حوزه آبخیز است. جلوگیری از چرای مفرط و بی‌موقع مراتع توسط دام‌ها، جلوگیری از قطع درختان و تغییر کاربری اراضی از

کارهایی است که باعث کاهش فرسایش و کم کردن گل آلودگی آب می‌شود. حتی المقدور باید از دسترسی دام‌ها به پشت سد جلوگیری کرد. برای شرب دام‌ها بهتر است آب به داخل استخرهایی که به همین منظور ساخته می‌شود، پمپ شده و پس از ته نشینی به مصرف دام برسد.

### ٦-٤-٧-٣. رشد جلبک

تجمع مواد مغذی در تابستان و پاییز باعث رشد جلبک‌ها در این فصول می‌شود.برای مبارزه با جلبک‌ها راه حل آنی وجود ندارد. معمولاً در سدهای آبخیزداری ایران این مورد از اولویت بالایی برخوردار نیست.

### ٦-٤-٧-٤. حداقل تراز آب در دریاچه

خشک و تر شدن دیواره سد ممکن است باعث شکست سد شود، لذا مصلحت نیست که اجازه دهیم یک سد خاکی خشک شود. در صورتی که سد چند منظوره باشد و با اهداف دیگری چون پرورش ماهی یا تفرجگاه همراه باشد بایستی با توجه به نوع کاربری حداقل آب دریاچه سد تعیین گردد و اجازه تخلیه آب بیش از مقدار تعیین شده داده نشود.

## ٦-٤-٨- حوزه آبخیز

سد در واقع در خروجی یک حوزه آبخیز قرار دارد و از نظر ظرفیت، کیفیت و غیره کاملاً تحت تاثیر خصوصیات حوزه بالا دست خود قرا دارد. لذا هرگونه تغییری در حوزه از نظر کاربری اراضی و نوع مدیریت باعث می‌گردد که کیفیت و کمیت آب سد تحت تاثیر قرار گیرد. در زیر به تعدای از پارامترها مؤثر اشاره می‌گردد.

### ٦-٤-٨-١. فرسایش

فرسایش حوزه بالادست سد موجب می‌شود که علاوه بر کاهش کیفیت آب به علت بالا بودن دبی رسوبی ورودی به سد به مرور زمان سد از رسوب پر گردد و عملا غیر قابل استفاده گردد. امروزه یکی از مهمترین معضلات سدها مشکل فرسایش می‌باشد با توجه به اینکه محل احداث سد یک موقعیت منحصربفرد است. در صورت پر شدن سد تعیین موقعیت مناسب دیگر در حوزه بسیار مشکل است و علاوه بر آن لایروبی سدها در مورد اکثر سدها غیر اقتصادی می‌باشد. معمولاً سدهای آبخیزداری سرریزهای کنترلی ندارد که بتوان با کارهای مدیریتی در سد رسوبات ته نشین شده در سد را تخلیه کرد لذا همواره باید با انجام مدیریت‌های مناسب در حوزه سد آورد رسوب را پایین آورد، تا بتوان از عمر مفید سد استفاده مطلوب کرد.

### ٦-٤-٨-٢. تغییر کاربری

کاربری اراضی حوزه بالا دست سد تعیین کننده ضریب روان آب هر منطقه می‌باشد. لذا هر نوع تغییر در آن می‌تواند مقدار روان آب و کیفیت رواناب را تغییر دهد.

## ٦- ٥- ریسک‌های ایمنی سد

### ٦-٥-١- آمادگی‌های اضطراری

بایستی آمادگی اضطراری برای مکان‌هایی که تحت تاثیر سیل ناشی از شکست سد قرار می‌گیرد وجود داشته باشد و پایین دست سد از نظر خطر سیل خیزی پهنه‌بندی گردد و تدابیر لازم در این مناطق انجام شود. مجری باید یک برنامه تدارکاتی فوری (پشتیبانی) که توانایی پاسخ مؤثر در ارتباط باحوادث را داشته باشد پیش‌بینی کند. در مواقع شکست سد یا بالا آمادگی ناگهانی سطح آب در داخل سرریز، مجری سد باید قادر باشد که وضعیتهای ناگهانی را دفع سازد یا به وضعیت آرام و عادی برگرداند. دسترسی پرسنل به سازه برای کاربست تجهیزات فنی از قبیل دریچه‌ها و سرریزها باید مورد توجه واقع شود.تجهیزات و مواد سازه باید حتی در شرایط آب و هوایی نامساعد در دسترس باشد.و پیش بینی(احتیاطهای) مناسب برای کاهش حجم آب در پایین دست مد نظر قرار بگیرد. روشها و دستور العمل‌های کهنه، گمراه کننده یا ناقص که می‌تواند منجر به یک راه حل نا مناسب برای وضعیت اصطراری شود.برنامه کاری باید گسترش پیدا کند و اعمال شود قبل از وقوع وضعیت اضطراری یک سد خاکی با طراحی و ساخت مناسب همراه با برنامه‌های نظارتی و نگهداری باید یک منجر به طولانی شدن عمر سد و حفظ و میزان بالایی از امنیت عمومی گردد.

### ٦-٥-٢- تدوین و قانون‌مندی

مشابه سدهای بزرگ برای سدهای کوتاه نیز یک قانون برای برنامه‌ریزی بی‌خطر این‌گونه سدها ارائه شده است. البته یک قانون جامع و کامل نیست و در واقع یک ایده و نظر عمومی‌است که براساس ارتفاع سد، ارتفاع هیدرولیکی و حجم مخزن بیان می‌شود و می‌تواند برای موقعیتهای مختلف و اقتصاد کشورهای مختلف متغیر باشد.

**جدول شماره ۱۵ - حداقل H و $V_t$ برای تامین ایمنی سد**

| مرجع | H (m) | $V_t$ ($m^3/s$) |
|---|---|---|
| ICOLD | ۱۵ | ۱۰۰۰۰۰۰ |
| پرتقال | – | ۱۰۰۰۰۰ |
| سویس | ۱۰ | ۵۰۰۰۰ |
| زیمبابوه | ۸ | – |
| آمریکا | ۷٫۶ | ۶۲۰۰۰ |
| کانادا | ۷٫۶ | ۶۲۰۰۰ |
| آفریقای جنوبی | ۵ | ۵۰۰۰۰ |
| سوئد | ۵ | ۵۰۰۰۰ |
| نروژ | ۴ | ۵۰۰۰۰۰ |
| فنلاند | ۳ | – |
| کانادا | ۲٫۵ | ۳۰۰۰۰ |
| انگلستان | – | ۲۵۰۰۰ |

## ٦-٥-٣- روش کار

پایپینگ و فرسایش تونلی مقدمه اکثر شکست در سدهای خاکی می‌باشد. خسارت‌های وارده به زندگی بشر در اثر شکست سد توسط دو فاکتور سرعت آب و عمق آب اندازه گیری می‌شود. تغییر در خصوصیات هر کدام از این دو فاکتور میزان خسارت وارده را متفاوت می‌سازد. اگر عمق آب ناشی از شکست سد را با h و سرعت محلی آنرا را با U نشان دهیم به عنوان یک دید کلی چنانچه Uh>1m2/sباشد یک حالت خطرناک و Uh<0.5m2/s را غیر خطرناک می‌دانند. دو نوع شکست سد وجود دارد:

۱- شکست کامل که در این حالت عرض شکاف ایجاد شده در بدنه سد برابر عرض کانال در پایین دست سد است.

۲- شکست ناقص که در این حالت عرض شکاف ایجاد شده در بدنه سد کمتر از عرض کانال و معمولاً برابر نصف عرض کانال در پایین دست سد است.

## ٦-٥-٤- تحلیل

معمولاً برای ارزیابی سیل ناشی از شکست سد از مدل‌های ریاضی یا تجربی استفاده می‌گردد. امروزه برنامه‌های نرم‌افزاری مختلفی برای سیل ناشی از شکست سد طراحی شده که قادر است میزان آب گرفتگی در هر نقطه از پایین دست سد را محاسبه کند و با استفاده از نقشه‌های مختلف (توپوگرافی، کاربری و تاسیسات منطقه) پهنه‌های مختلف سیل و هزینه‌های بوجود آمده در اثر آن را مشخص و اقدامات مناسب برای ضد سیل‌خیزی منطقه انجام داد.

از جمله می‌توان به برنامه DAMBRK و BOSS DAMBRK اشاره کرد. مدل‌های ریاضی شکست سد (پیش بینی سیل ناشی از شکست سد) معمولاً بر اساس ارتباط بین بین دبی پیک و ارتفاع سد یا دبی پیک با حجم دریاچه سد یا دبی پیک و فاکتور سد(ارتفاع و حجم) با ثابت بودن عرض کانال در پایین دست سد طراحی شده‌اند. رابطه کلی برای دبی پیک ناشی از شکست سد به صورت $Q=UhB$ می‌باشد که در آن B عرض کانال در هر قسمت از پایین دست سد، U سرعت جریان آب، hارتفاع آب، Q دبی پیک می‌باشد. در تمام محاسبات انجام شده در مورد سد خاکی فرض می‌کند که شکست سد آنی نیست. پنج پارامتر مهم و تاثیر گذار بر سیل ناشی از شکست سد عبارتند از:

۱- ابعاد سد (H ارتفاع، V حجم)
۲- شیب کانال پایین دست سد i
۳- عرض کانال پایین دست سد B
۴- عرض نهایی شکاف بدنه سد b
۵- مدت زمان شکست سدزمان از شروع تا شکست کامل tR

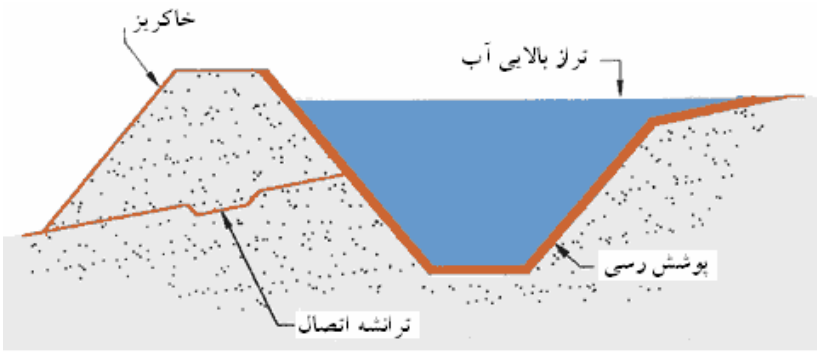
## ٦- ٦- آب بندی سد

روش تعمیر سد معمولا با توجه به منافع کوتاه مدت یا درازمدت تعیین می‌گردد. روشهای آب‌بندی سد عبارتند از:

- ایجاد پوشش رسی با استفاده از مصالح محلی
- استفاده از بنتونیت
- نصب پوششهای مصنوعی مانند پلاستیک و لاستیک
- اصلاح شیمیایی خاک
- استفاده از غشاءهای پاششی

## ٦-٦-١- پوشش رسی

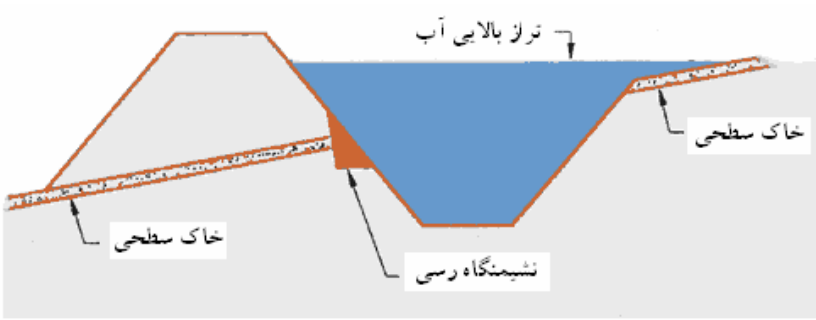
در صورت موجود بودن مصالح رسی مناسب در محل سد، استفاده از پوشش رسی اقتصادی‌ترین روش برای آب بندی سد است. شکل‌های شماره ۳۵ تا ۳۷ روش‌های مختلف ایجاد پوشش رسی را نشان می‌دهد. در همه این روش‌ها ضخامت پوشش رسی حداقل بایستی ۳۰ سانتیمتر بوده و با رطوبت اپتیمم متراکم گردد.



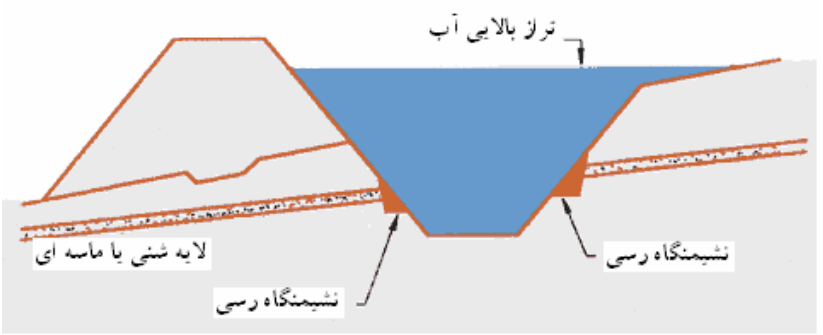

**شکل شماره ۳۵- روش پیشنهادی پوشش رسی**

**( هم محل خاکبرداری و هم خاکریز سد قابل نفوذ است.)**

آب موجود در پشت سد قبل از ایجاد پوشش رسی بایستی تخلیه گردیده و خشک گردد. همینطور بستر بایستی از گیاهان و ریشه درختان پاکسازی گردد. در بعضی موارد مانند آنچه در شکلهای شماره ۳۶ و ۳۷ نشان داده شده است، برای استقرار پوشش رسی بایستی از یک نشیمنگاه رسی (Clay Bench) استفاده گردد.




**شکل شماره ٣٦ - پوشش رسی**
**(خاک سطحی زیر خاکریز سد برداشته نشده یا ترانشه آب بند اجرا نشده است.)**




**شکل شماره ۳۷ - پوشش رسی**
**( خاکریز سد روی لایه ای از شن وماسه ساخته شده است.)**

هزینه پوشش رسی به پارامترهای زیر بستگی دارد:

- هزینه حمل رس
- مقدار رسی که باید جابجا شود
- هزینه تخلیه و خشک کردن مخزن سد
- دسترسی به سایت
- کاهش درآمدها ناشی از تخلیه سد

## ٦-٦-٢- استفاده از بنتونیت

بنتونیت یک رس طبیعی و معدنی است. از آنجا که این رس در هنگام افزودن آب شدیداً متورم شده و حجم آن زیاد می‌شود، از آن می‌توان برای آببندی سد استفاده کرد. بسته به نوع خاک محل سد و عملی بودن تخلیه سد، بنتونیت به صورت‌های مختلف می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

در خاک‌های لومی و سبک، مخلوط خاک و بنتونیت می‌تواند برای آببندی استفاده شود. در خاک‌های سنگین بنتونیت خالص مانند یک پوشش رسی بکار می‌رود. در هر دو حالت فوق، قبل از بکار بردن بنتونیت مخزن سد باید از آب تخلیه و خشک شود. سومین روش استفاده از بنتونیت، پخش کردن آن روی سطح آب مخزن سد است.

در صورت استفاده از مخلوط خاک وبنتونیت، ضخامت لایه خاک مخلوط حداقل بایستی ۱۵ تا ۲۰ سانتی متر باشد. برای اجرای این لایه مخلوط ابتدا بایستی سطح خاک از علوفه و خار و خاشاک و

سنگ تمیز گردد. سپس سطح خاک یک شخم سطحی زده می‌شود و بنتونیت به میزان ۷ کیلوگرم بر متر مربع روی آن پخش می‌شود. سپس دوباره خاک شخم زده شده و توسط غلطک متراکم می‌گردد.

در صورت استفاده از بنتونیت خالص، مانند حالت قبل سطح خاک باید تمیز شود و بنتونیت به میزان ۱۰ کیلو گرم بر متر مربع روی بستر پخش شود. روی بنتونیت بایستی توسط لایه ای از خاک سطحی پوشانده شود تا در هنگام خشک شدن بنتونیت و کاهش حجم آن، در آن ترک ایجاد نشود. در صورت عبور دام، ضخامت خاک سطحی حداقل باید ۴۵ سانتیمتر باشد تا از بیرون زدن بنتونیت از لابلای خاک سطحی جلوگیری گردد. در پایان کار بایستی سطح خاک با غلطک متراکم گردد.

در روش سوم که بنتونیت بر روی سطح آب پخش می‌شود، مقدار بنتونیت ۱۰ کیلو گرم بر متر مربع خواهد بود. بنتونیت پخش شده کم کم بر روی بستر ته نشین شده و باعث آب بندی آن می‌گردد. از آنجا که نحوه توزع بنتونیت بر روی بستر یکنواخت نیست، لذا استفاده از این روش چندان توصیه نمی‌گردد. هر چند در مواردیکه تخلیه آب پشت سد مقدور نیست، چاره دیگری غیر از استفاده از این روش نیست.

## ٦-٦-٣- پوشش‌های مصنوعی

پوششهای مصنوعی متعددی در بازار وجود دارد که از لحاظ مقاومت و دوام با یکدیگر فرق دارند. این پوششهای لاستیکی و پلاستیکی مقاومت سازه ای چندانی ندارند بنابراین بستر آنها را بایستی مترام نمود. بدیهی است بدلیل آسیب دیدگی این پوششها، امکان استفاده از پوشش گیاهی و یا آرمور بر روی آنها وجود ندارد. قبل از نصب کردن پوششهای مصنوعی، زیر آن با لایه ای از خاک نرم پوشانده و مقداری سم علف کش برای جلوگیری از رشد گیاهان برروی خاک پاشیده می‌شود. برای جلوگیری از جابجا شدن پوششهای مصنوعی، کناره‌های آن در داخل ترانشه‌های پر شده از خاک قرار داده می‌شود.

پوششهای مصنوعی موجود در بازار عبارتند از: پلی اتیلن، پلی اتیلن سیاه، وینیل، پلی اتیلن با وزن مخصوص بالا، لاستیک و کامپوزیتهایی از بنتونیت و پلی پروپیلن.

## ٦-٦-٤- اصلاح شیمیایی خاک

گچ و تری پلی فسفات سدیم (STPP) دو ماده‌ای هستند که برای آب‌بندی مخازن بکار می‌روند. استفاده از گچ باعث پایدار کردن خاک‌های پراکنده (Dispersive) و کاهش فرسایش سطحی و کاهش خاصیت تونلی شدن خاک می‌گردد. گچ ریزدانه به دلیل سهولت حل شدن آن مناسب‌تر است. برای این کار گچ به میزان ۲ کیلوگرم در مترمربع با ۱۵ تا ۲۰ سانتی‌متر از خاک سطحی مخلوط شده و سپس در درصد رطوبت بهینه بوسیله غلطک متراکم می‌گردد.

STPP یک ماده شیمیایی است که خاصیت آن بر عکس گچ است. این ماده برای پراکنده کردن دانه‌های رس در خاک‌های رسی پایدار ولی نفوذپذیر بکار می‌رود. متراکم کردن این نوع از خاک‌ها بسیار مشکل است و STPP باعث می‌شود که تراکم راحت‌تر صورت گیرد. همه خاک‌ها قابلیت اصلاح با STPP را ندارند و برای این منظور باید آزمایشاتی روی خاک صورت بگیرد. در صورت مناسب بودن STPP برای اصلاح خاک، نحوه کاربرد آن مانند لایه مخلوط بنتونیت می‌باشد. سد باید زهکشی شده و اجازه داده شود که کاملا خشک شود. گیاهان و شن و رسوبات سست از سطح کار پاکسازی شده و به عمق ۱۵ سانتیمتر شخم زده می‌شود. سپس STPP به صورت پودر و به میزانی که در آزمایش مشخص می‌شود (حدود ۰/۵ کیلوگرم بر متر مربع)، روی خاک پخش شده و پس از مخلوط کردن آن در درصد رطوبت بهینه متراکم می‌گردد. پس از تراکم، روی STPP باید با لایه ای از خاک سطحی به ضخامت ۳۰ سانتیمتر پوشانده شده تا از خشک شدن و ترک خوردن آن جلوگیری گردد. لازم به ذکر است که STPP بر روی خاکهای ماسه ای و خاکهای با کربنات کلسیم بالا، هیچگونه تاثیری ندارد.

### ٦-٦-٥- غشاءهای پاششی

بتن و آسفالت جزو غشاءهای پاششی هستند. این مصالح یک پوشش پیوسته روی خاک تشکیل داده و باعث آب بندی مخزن می‌گردند. بدلیل هزینه بالا، این روش در سدهای خاکی چندان معمول نیست. اجرای بتن پاششی (یا شاتکریت) نیاز به وسایل خاص و افراد متخصص دارد. در این روش مخلوط آب، سیمان، شن و ماسه بوسیله پمپ روی سطح کار پاشیده می‌شود. معمولاً از شبکه‌ای از میلگرد فولادی نیز برای جلوگیری از ترک‌خوردن پوشش بتنی استفاده می‌گردد. اجرای پوشش آسفالتی نیز مانند پوشش بتنی نیاز به تجهیزات خاص دارد. هرچند در این روش به میلگرد فولادی نیازی نیست. در هر دو روش، برای جلوگیری از ترک خوردن و هوازدگی، ضخامت لایه پوشش حداقل باید ۷/۵ سانتیمتر باشد.

## منابع مورد استفاده این فصل

1-Bill Yiasoumi, Irrigation Officer, 1 July 2003, Building a Farm Dam, Report Series: Agfact E5.7, third edition, Department of Primary Industries, NSW, Australia,

2-Bill Yiasoumi, Irrigation Officer, 4 August 2000, Leaking Farm Dams, Report Series: Agfact AC.24, second edition, Department of Primary Industries, NSW, Australia,

# فصل هفتم

# طراحی، اجرا و نگهداری بندهای خاکی بزرگ (ارتفاع ۵/۷ تا ۱۵ متر)

## ۷-۱- هدف و محدوده این دستورالعمل

هدف این راهنما ارائه مراحل طراحی، ساخت و نگهداری سدهای کوتاه با توضیحات کامل اصول حقوقی و مهندسی مربوط به آن است. این دستورالعمل برای سدهایی است که در مناطق روستایی ساخته شده و خطر ناشی از شکست آن حداقل باشد. نقشه‌های ارائه شده در این دستورالعمل برای حالت عمومی سدها تهیه شده و از آنجا که شرایط سایت از محلی به محل دیگر متفاوت است، لذا قبل از اجرا لازم است تغییرات لازم متناسب با محل سد در این نقشه‌ها داده شود. این راهنما اولین بار در مارس ۱۹۷۷ در ایالت کالیفرنیای آمریکا تهیه شده و تاکنون اصلاحات کوچکی در آن لحاظ شده است.

این راهنما حداقل ملزومات و استانداردهای لازم که توسط دپارتمان منابع آب کالیفرنیا (بخش ایمنی سدها) در زمینه طراحی، ساخت و ایمنی سدهای کوتاه خاکی تدوین شده، را تامین می‌کند. دستورالعمل حاضر این امکان را برای سازنده سد فراهم می‌کند تا با کمترین زحمت بتواند سد مورد نظر را ساخته و مدیریت کند. آنچه در این دستورالعمل ارائه می‌گردد تنها به عنوان یک راهنماست و نتایج آن بایستی توسط یک مهندس سدسازی برای سایت مورد نظر کنترل گردد.

به طور کلی این راهنما برای سدهای خاکی کوتاه تا ارتفاع ۱۵ متر که دارای مسائل پیچیده در پی و خاکریز نبوده و در مناطق روستایی که شکست سد خسارات کمی را بر جا می‌گذارد واقع شده باشند، کاربرد دارد. بر طبق مقررات ایالت کالیفرنیای آمریکا، برای سدهای با ارتفاع بیش از ۷/۵ متر (فاصله قائم بین پایین‌ترین نقطه سد در پایین دست آن تا بالاترین تراز آب داخل مخزن) یا ظرفیت ۶۱۶۷۵ متر مکعب (۵۰ اکر- فوت) و بیشتر، نیاز به اخذ مجوز از دپارتمان مهندسی آب ایالت می‌باشد. ولی

بندهای کوتاهتر از ۱/۸ متر یا حجم مخزن کمتر از ۱۸۵۰۲/۵ متر مکعب، عملا سد محسوب نـشده و نیاز به مجوز ندارد و اشخاص می‌توانند بدون مجوز اقدام به اجرای طرح کنند.

## ۷-۲- ضوابط طراحی

سد خاکی در هر اندازه‌ای باید پایدار و امن طراحی گردد. برای طراحی صحیح سـد خـاکی بایـد مراحل زیر انجام گیرد:

- شیبها باید پایدار و مقاوم باشد و نسبت به تغییرات از خود مقاومت نشان دهد،
- تراوش از بدنه سد باید کنترل گردد تا منجر به ایجاد پایپینگ و تونلی شدن نشود،
- سد خاکی باید طوری طراحی گردد که هرگز سرریز نگردد (چه بر اثر موج ناشـی از آب در دریاچه یا ورود آب به دریاچه سد)،
- باید تمهیدات لازم برای مقابله با زلزله و شکست ناشی از آن انجام گیرد،
- شیب‌ها باید در مقابل موج آب یا فرسایش بارانی مقاوم گردد،
- حتی امکان منابع قرضه سد در مجاورت و نزدیکی محل احداث سد باشد،
- مواد قبل از تراکم باید از رطوبت کافی برخوردار باشند. لذا باید در محل که منـابع قرضـه قرار دارد مواد با آب مخلوط و سپس با بولدزر مخلوط شود تا به رطوبت مناسب برسیم.

### ۷-۲-۱- طراحی شکل

برای مقابله با نفوذپذیری و فرسایش، مصالح متنوعی در احداث سدهای خاکی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در صورتی‌که اختلاف نفوذپذیری مواد هسته و پایاب زیاد باشد هیچ احتیاجی به زهکش درونی (فیلتر) نیست، در غیر این صورت در اثر طولانی شدن مدت ذخیره، بدنه سد به حالت اشباع درآمـده و باعث تراوش زیاد در بدنه سد شده و با کاهش پایداری موجب شکست سد می‌شود. علاوه بر آن رشد گیاهان و افزایش تردد جوندگان و... نیز مکمل این موارد خواهد بود. برای از بین بردن این مـشکل در سدها باید در قسمت پنجه سد از یک فیلتر استفاده کرد. این استراتژی با استفاده از مواد با نفوذپـذیری بالا خط نشت آب در بدنه سد را پایین آورده و موجب می‌شود این خـط از بدنـه سـد خـارج نگـردد و پایداری سد را تضمین کند. در صورتی‌که مواد نفوذپذیر مانند شن یا مخلوط شن و ماسـه در دسـترس باشد می‌توان قسمت پایآب سد را با استفاده از این مواد ساخت تا دیگر احتیاجی به فیلتر نباشد. اگر کمتر

از ۵ درصد ذرات مورد استفاده در قسمت پایاب سد از الک شماره ۲۰۰ عبور کند می‌توان مواد را نفوذپذیر فرض کرد که در این موارد احتیاجی به فیلتر در پایاب نخواهد بود. شیب سد خاکی با پی قوی در سرآب ۳ به ۱ و در پایاب ۲ به ۱ است برای رسهای آلی یا پلاستیسیته بالا و سیلتهای خیلی ریز و سایر موارد حساس این شیبها باید کمتر در نظر گرفته شود. عرض پایین پرده آب بند بایستی حداقل ۱۴ فوت یا نصف ارتفاع سد باشد. حداقل عرض تاج سد خاکی ۱۲ فوت و حداقل ارتفاع آزاد ۴ فوت است. تاج سد باید یک شیب ملایم به طرف سرآب (دریاچه سد) داشته باشد این شیب می‌تواند معادل ۳ درصد باشد. سدهای خاکی کوچک متشکل از خاکهای چسبنده معمولاً احتیاجی به حفاظت سراب ندارد. تراکم سد خاکی باید بر اساس آیین نامه ASTMD-698 باشد. متوسط تراکم خاک در مناطق با لرزه‌خیزی کم طبق این آیین‌نامه برابر با ۹۷ درصد و در مناطق زلزله‌خیز ۱۰۰ درصد می‌باشد. برای رسیدن به این درصد از تراکم، درصد رطوبت خاک باید نزدیک به درصد رطوبت بهینه بوده و ضخامت هر لایه ۶ اینچ و تعداد عبور غلطک مطابق جدول ۷-۱ در نظر گرفته شود.

برای تامین مصالح زهکش، معمولاً بایستی مصالح با دانه بندی مناسب از منابع قرضه تهیه گردد. خاک‌های با مواد آلی زیاد همچون پیت‌ها معمولاً به عنوان مصالح خاکی در احداث زهکش مورد استفاده قرار نمی‌گیرند. برای این منظور استفاده از مصالح با اندازه دانه‌های کوچکتر از ۱/۵ اینچ که دانه بندی آن‌ها در جدول شماره ۱۶ آمده است پیشنهاد می گردد (استاندارد ASTMD-698 ).

**جدول شماره ١٦ - تعداد عبور غلطک با وزن های مختلف برای رسیدن به درصد تراکم کافی برای احداث سدهای خاکی**

| مناطق با لرزه‌خیزی زیاد | مناطق با لرزه‌خیزی کم | وزن غلطک (پوند بر فوت برای هر محور) |
|---|---|---|
| ۱۴ | ۱۲ | ۲۵۰۰ |
| ۱۲ | ۱۰ | ۳۰۰۰ |
| ۱۱ | ۹ | ۳۵۰۰ |
| ۱۰ | ۸ | ۴۰۰۰ |

**جدول شماره۱۷- دانه بندی استاندارد مصالح برای احداث زهکش سدهای خاکی**

| درصد عبور | شماره الک |
|---|---|
| ۹۰-۱۰۰ | ۱۱/۲ |
| ۴۵-۷۵ | ۳/۴ |
| ۳۰-۴۵ | ۴ |
| ۴-۱۰ | ۵۰ |
| ۱-۳ | ۱۰۰ |
| ۰-۲ | ۲۰۰ |

علاوه بر دانه بندی فوق مصالح زهکش شرایط زیر را نیز باید دارا باشند.

$$\frac{D_{۱۵}\text{مصالح زهکش}}{D_{۱۵}\text{مصالح مجاور زهکش}} = ۵ \text{ to } ۴۰$$

$$\frac{D_{۱۵}\text{مصالح زهکش}}{D_{۸۵}\text{مصالح مجاور زهکش}} = ۵ \text{ or less}$$

$$\frac{D_{۸۵}\text{مصالح زهکش}}{\text{قطر لوله زهکش}} = ۲ \text{ or more}$$

## ۷-۲-۲- طراحی سد خاکی در بستر سنگی

در مناطق با بستر سنگی، سد از ثبات و پایداری بیشتری نسبت به سایر مناطق برخوردار است. برای جلوگیری از نشت آب از بدنه سد بایستی از پرده آب بند استفاده گردد. عرض پایین پرده آب بند بایستی حداقل ۱۴ فوت یا نصف ارتفاع سد باشد و این پرده باید تا تراز ماکزیمم آب در داخل دریاچه سد در ارتفاع سد امتداد یابد.

## ۷-۲-۳- طراحی سد خاکی در بستر خاکی

بستر خاکی سد باید دارای خصوصیات قوی حداقل برابر با خصوصیات بدنه سد باشد. در این مناطق باید چندین ترانشه و گمانه برداشت گردد و آزمایشات مختلف از قبیل وزن مخصوص و تراکم پذیری خاک مشخص گردد. متوسط تراکم خاک در مناطق با زلزله‌خیزی کم طبق آیین نامه ASTM D-698 برابر با ۹۷ درصد و در مناطق زلزله‌خیز ۱۰۰ درصد می‌باشد. در این مناطق باید در مرکز سد حتماً یک پرده آب بند احداث گردد تا از نفوذ آب جلوگیری کند. شیب بدنه پرده ۱:۱ برای ارتفاع حدود ۱۲ فوت و 1-1/2:1 برای عمق‌های بیشتر می‌باشد. عرض پایین پرده آب‌بند بایستی حداقل ۱۴ فوت یا نصف ارتفاع سد باشد. این پرده معمولاً تا لایه غیر قابل نفوذ زیرین امتداد پیدا می‌کند. در صورتی‌که عمق لایه غیر قابل نفوذ زیاد باشد، این پرده باید تا جایی امتداد یابد که مطمئن باشیم که خط تراوش سد از بدنه سد بیرون نخواهد آمد.

## ۷-۲-٤- سرریز

### ۷-۲-٤-۱. موقعیت

سرریز سد خاکی باید کاملاً جدا از سد باشد تا از فرسایش سد جلوگیری شود. بهترین حالت وجود یک بریدگی جدا در کنار سد می‌باشد و ایجاد سرریز روی بدنه سد خاکی توصیه نمی‌شود.

### ۷-۲-٤-۲. طراحی جریان در سد

در مناطقی که خطر شکست سد زیاد می باشد، باید سرریز برای یک سیل حداقل ۱۰۰۰ ساله طراحی گردد.

### ۷-۲-٤-۲-۱. ارتفاع آزاد

به فاصله عمودی کف سرریز سد تا تاج سد ارتفاع آزاد گفته می‌شود و حداقل باید ۴ فوت در نظر گرفته شود و حداقل ارتفاع آزاد برای ماکزیمم تراز آب در سد (برای سیل طرح سرریز) و تاج سد باید ۱/۵ فوت باشد.

### ۷-۲-٤-۲-۲. هیدرولیک

در طراحی سرریز در صورتی که در مجاورت سد قرار داشته باشد باید یک ارتفاع آزاد مناسب در نظر گرفته شود تا سیلاب‌ها از دیواره سرریز عبور نکند. همچنین رابطه دبی – اشل برای سرریز و سد باید مشخص گردد.

### ۷-۲-٤-۲-۳. ملاحظات طراحی

در مناطق با بستر سنگی که بستر مقاوم به فرسایش است و فرسایش حداقل و نزدیک به صفر است برای احداث سرریز می‌توان با احداث کانال در محل یک سرریز مناسب احداث کرد. در مناطقی که فرسایش کم تا متوسط می‌باشد باید سرریز با استفاده از سیمان مقاوم گردد در صورتی که محل احداث سرریز از خاک یا سنگ‌های هوازده باشد باید تمام طول سرریز مسلح گردد و طبق آیین نامه ASTM D-698 حداقل باید ۹۷ درصد تراکم به خاک داده شود.

### ۷-۲-٤-۲-٤. سازه

طراحی بتن باید مطابق آخرین شماره آیین نامه ACI 318 باشد بتن باید ۲۸ روز نیروی 3,000 psi تحمل کند مصالح و میلگردهای مورد استفاده باید بر اساس آیین نامه ASTM 615 (آخرین چاپ) و ارمتور بر اساس آیین نامهAISC باشد.حداقل ضخامت میلگرد ۶ اینچ باشد و دیواره‌ها هم شکل و لایه‌ها یکسان باشد. دیواره آب بند و سیل ها باید حداقل ۱۲ اینچ ضخامت داشته باشند و حداقل عمق پی ۳ فوت است. همه دیواره‌ها و اسلاَبها باید دو لایه تقویت کننده فولادی و حداقل ۱۰ اینچ ضخامت داشته باشد. حداقل آهن بکار رفته در پرده آب بند و سیل های کنترلی ۰/۰۰۲۵ برابر مساحت افقی و ۰/۰۰۱۵ برابر مساحت عمودی کل دیوار می‌باشد و حداقل آهن بکار رفته در کف، اسلاَب و پایه‌ها باید ۰/۰۰۲ برابر مساحت مقطع باشد. تمای سازه‌ها باید بر اساس سخت ترین شرایط مورد انتظار طراحی گردد. ضرورتی ندارد که نیروی وارد بر سد از طرف زلزله با نیروی موج آب ناشی از سیلاَب همزمان در نظر گرفته شود بارهای خاک در حالت افقی باید مطاَبق رابطه Rankine معادل فشار مایع در خاک غیر چسبنده در نظر گرفته شود. در حالت افقی این نیروها بر اساس ارتفاع و شیب دیوار محاسبه می‌گردد. همه دیواره‌های عمودی باید بر اساس تراز استاتیکی حداکثر آب طراحی گردد پاشنه دیوار باید بتواند نیروی وزن سد را تحمل کند. دیوار باید منقطع باشد تا بتواند نآبرآبری نشست را تحمل کند..فواصل باید بین ۱۰ تا۵۰ فوت باشند.

## ۷-۲-۵- مجاری خروجی

برای خالی نگه داشتن دریاچه سد در یک تراز حداقل از مجاری خروجی استفاده می‌گردد.

### ۷-۲-۵-۱. موقعیت

باید سعی شود مجاری خروجی از نزدیکترین موقعیت مناسب به سد عبور کند و حتی الامکان از بستر سنگی و مواد محلی استفاده گردد. متوسط تراکم برای خاک و مواد هوازده طبق آیین نامه ASTM D-698 برابر با ۹۷ درصد است مصالح به کار رفته در طول مجرا باید هموژن و همگن باشد چنانچه این مورد امکان پذیر نباشد از مصالحی استفاده شود که شکل پذیر بوده و تحت بارهای ناشی از نشست شکافته نشود مسیر نهایی مجاری خروجی بعد از بین بردن مواد زائد و حفاری مشخص می‌گردد. مواد باید از انعطاف پذیری خوبی برخوردار باشد و مجاری باید طوری طراحی گردد که بر اثر نیروی ثقل بتواند حداقل دو–سوم حجم مخزن را تخلیه کند.

### ۷-۲-۵-۲. ظرفیت

مجاری خروجی باید قادر باشد که در مدت یک هفته حداقل نصف مخزن را تخلیه کند و حداقل قطر مجاری ۱۲ اینچ می‌باشد.

### ۷-۲-۵-۳. کنترل

مجاری خروجی باید دارای یک دریچه بوده تا قادر باشد تخلیه سد را کنترل کند و موانعی جهت جلوگیری از ورود مواد زائد و آشغال در جلوی آن تعبیه گردد این موانع باید طوری طراحی گردد تا مسدود نشود. یک لوله در قسمت پایین دست جریان به منظور کنترل دریچه لازم است. این دریچه باید برای فشار ۲۵ درصد تراز آب در مخزن طراحی گردد برای کنترل دریچه باید یک هواگیر نیز تعبیه گردد و یک توزیع کننده جریان در قسمت پنجه سد لازم است.

### ۷-۲-۵-٤. مجرا

دو نوع از مجاری را مجاز هستیم که مسلح کنیم لوله در نظر گرفته شده باید از بتن مسلح بوده و خاکریز نیز با بتن پوشانده شود هر دو نوع مجاری باید در کانال و شکاف ایجاد شده ساخته شود کف کانال باید پایین تر از کف سد بوده مجرا نباید متصل به پرده آب بند باشد. قالب گیری مجرا باید

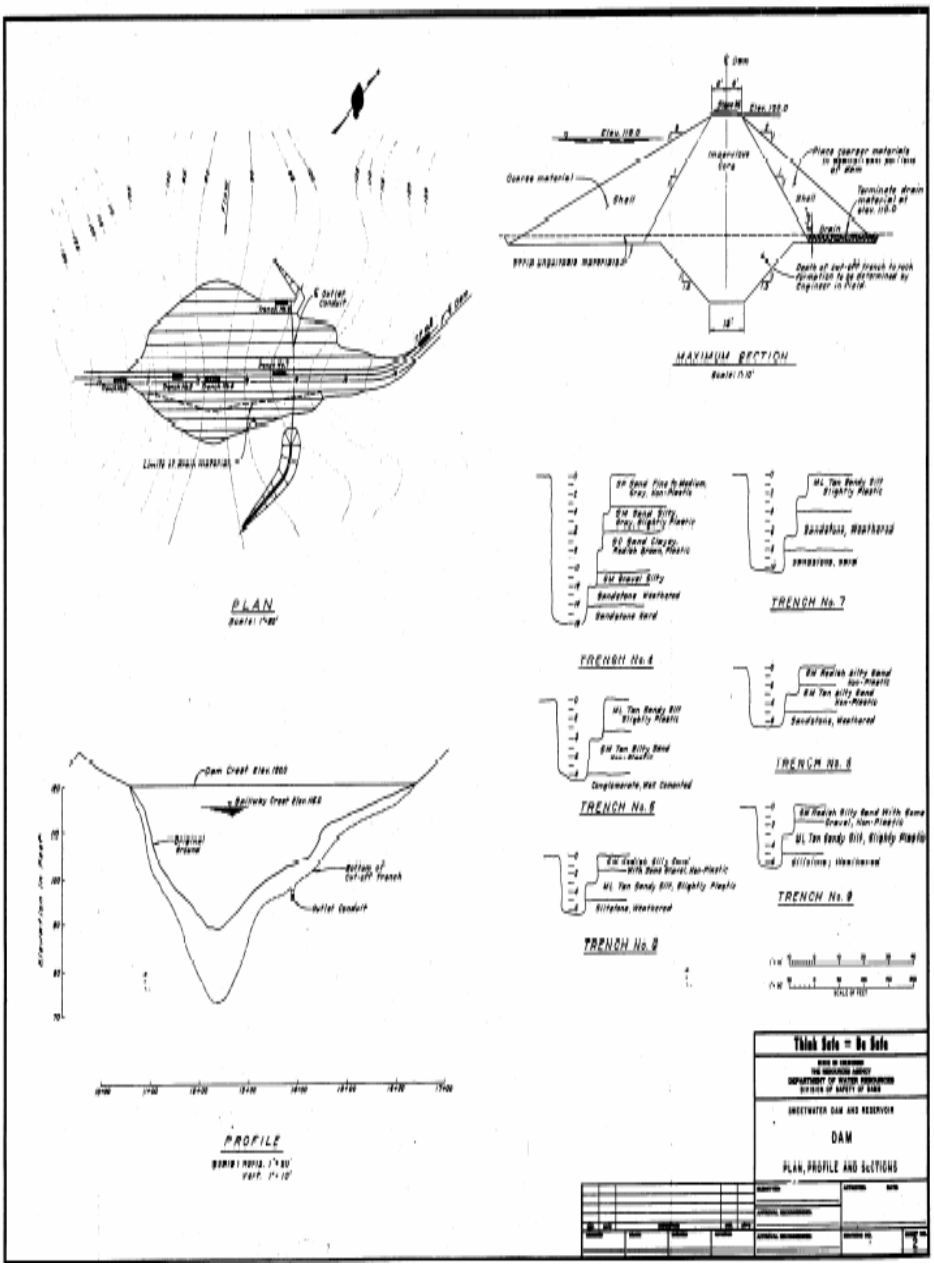
حداقل ۰/۲ درصد میل‌گرد داشته باشد که باید به صورت طولی و مورب طراحی گردد و حداقل ضخامت بتن ۸ اینچ است.

### ۷-۲-۵-۵. طراحی

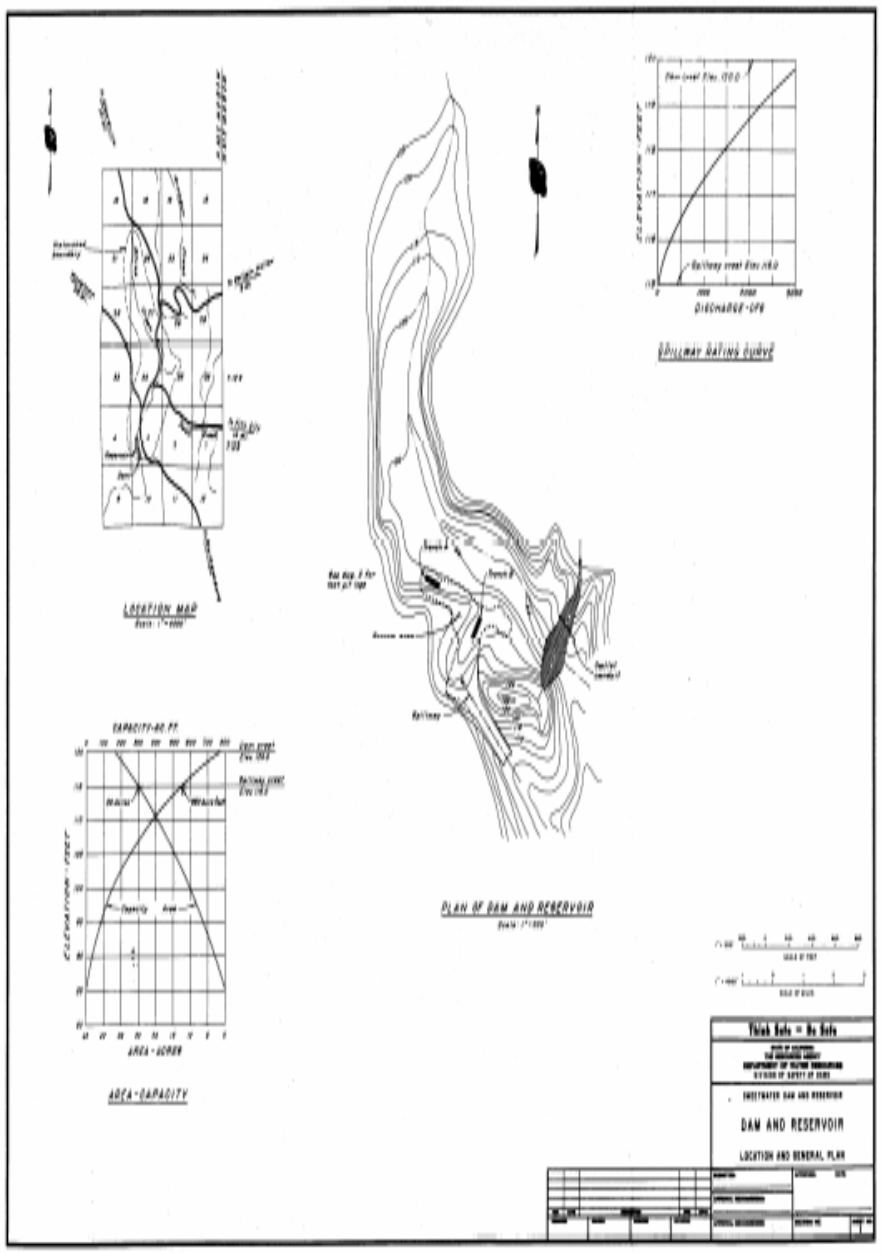
همه مجاری خروجی باید بر اساس فشار هیدرولیکی آب در حالتی که مخزن پر است طراحی گردد و فشار وارد به سد بر اساس تئوری مارتن محاسبه گردد.

## ۷-۲-٦- نقشه‌های الگویی

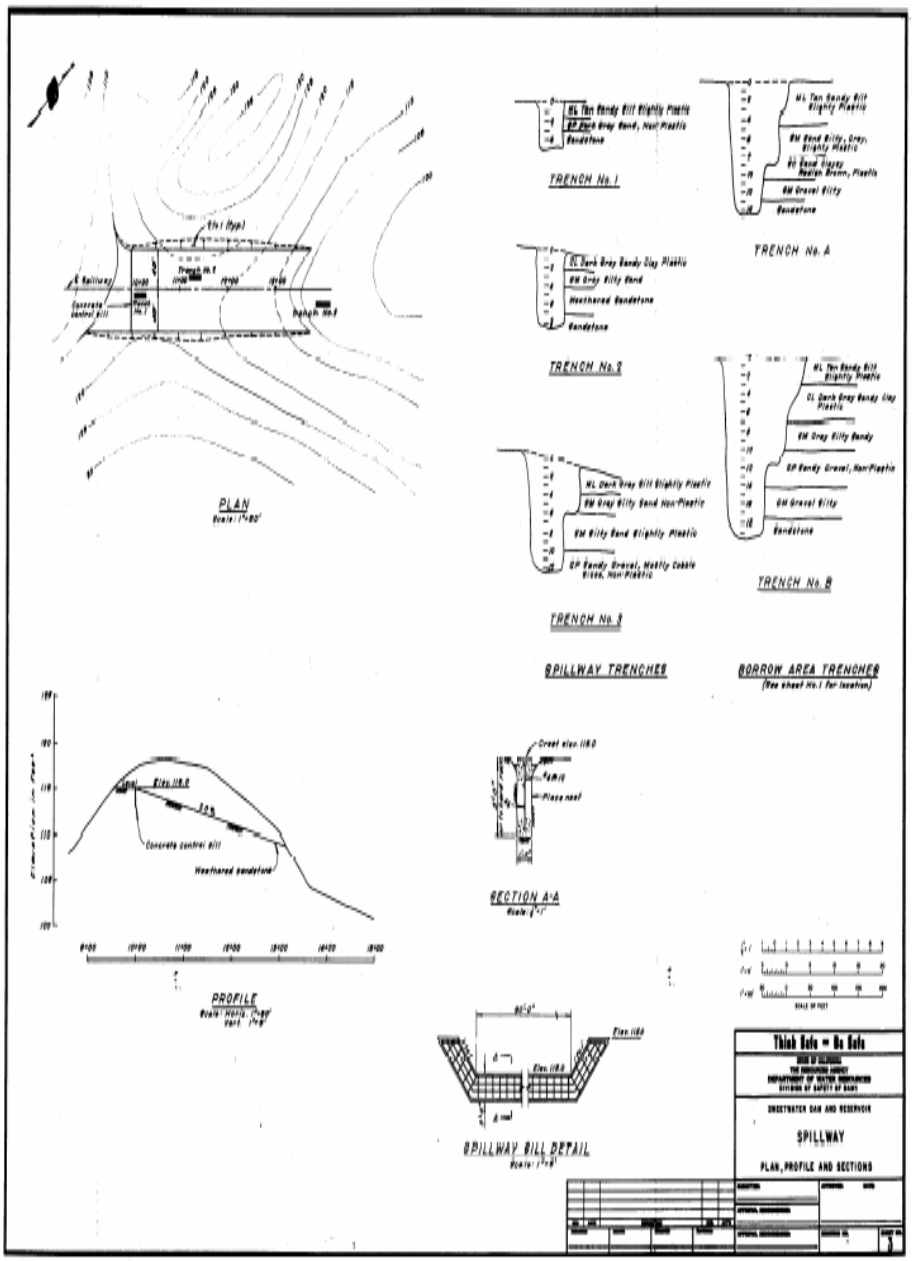
برای طراحی و اجرای این دسته از سدهای خاکی می توان از نقشه‌های الگویی که در شکل‌های شماره ۳۸ تا ۴۳ آمده است استفاده کرد.



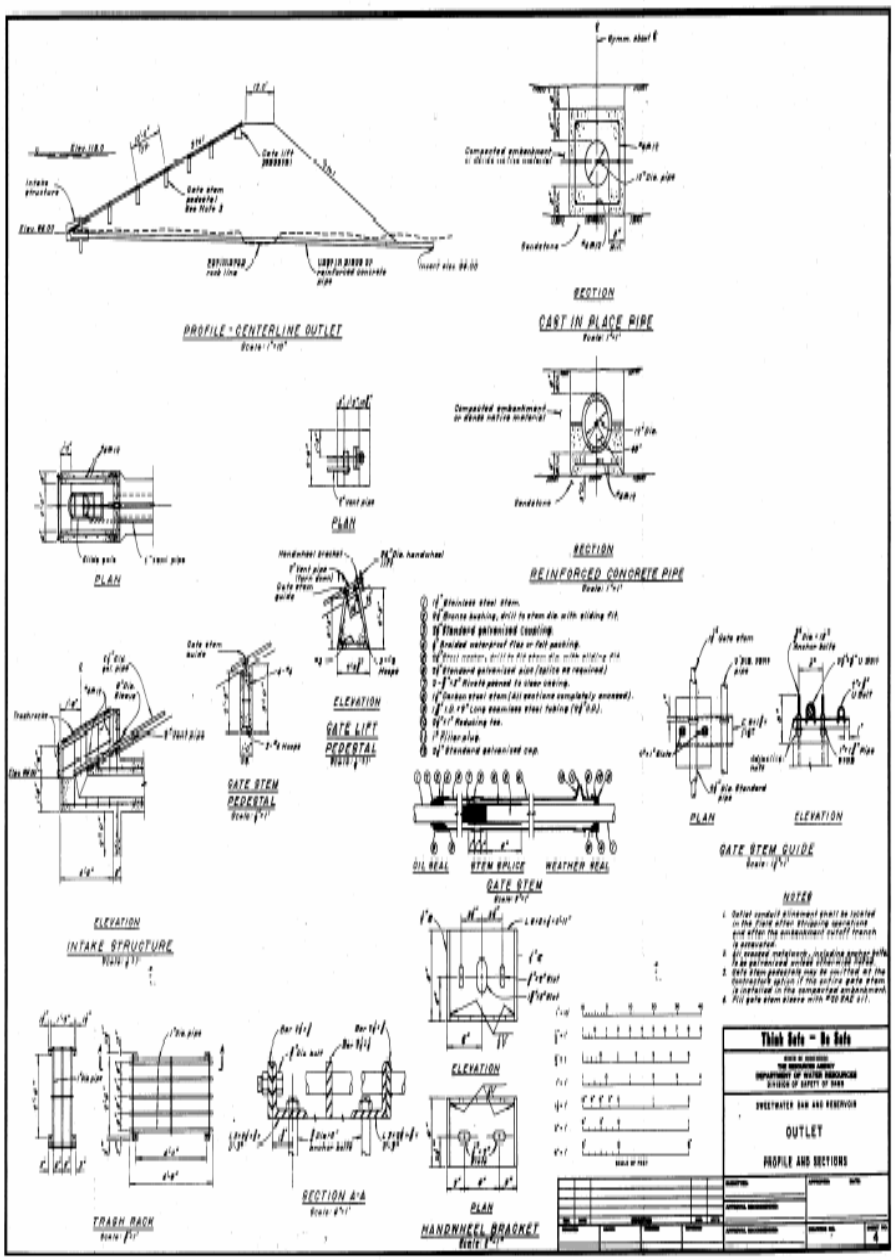

**شکل شماره ۳۸ - نقشه الگویی سد و مخزن**



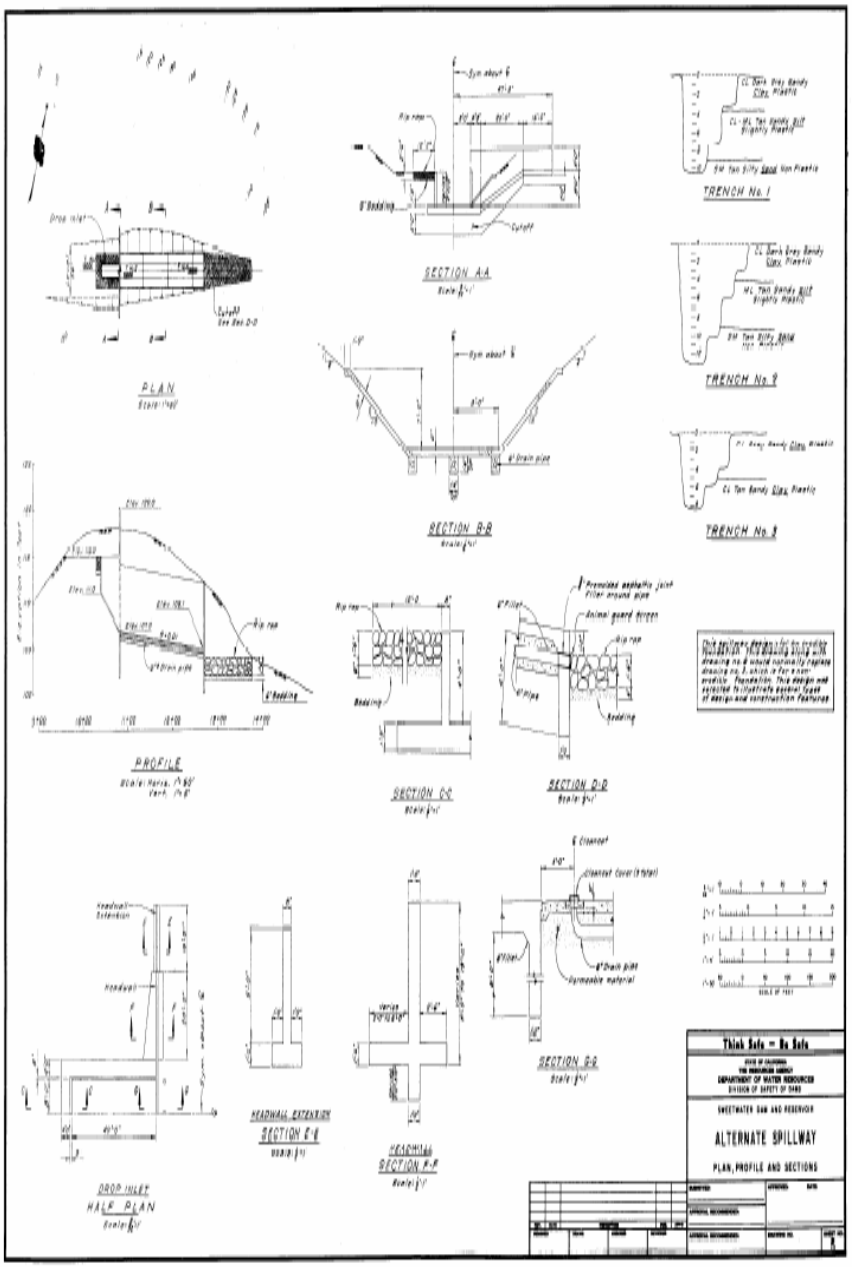

**شکل شماره ۳۹ – نقشه الگویی پلان و مقاطع سد**



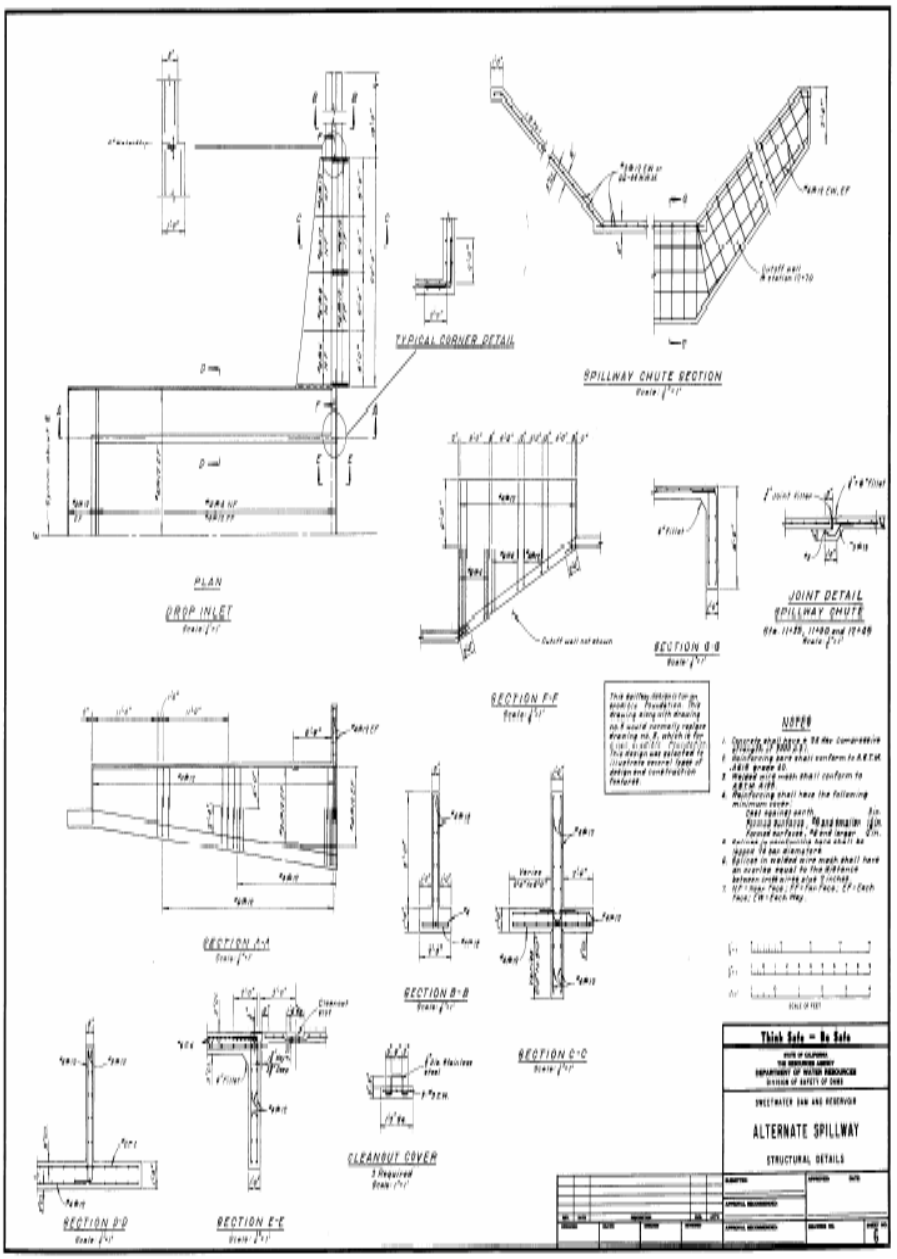

**شکل شماره ٤٠ - نقشه الگویی پلان و مقاطع سرریز**




**شکل شماره ٤١ - نقشه الگویی پروفیل و مقاطع مجرای خروجی**




**شکل شماره ۴۲ – نقشه الگویی پلان، پروفیل و مقاطع نوع دیگری از سرریز**




**شکل شماره ۴۳ – جزئیات سازه ای سرریز**

## ۷-۳- توصیه های اجرایی

به طور کلی فاکتورهایی که در مراحل طراحی و اجرای سد بایستی به آنها توجه نمود را می‌توان در شش مورد زیر خلاصه کرد:

- کنترل و انحراف آب
- تمیز بودن مسیر آب
- از بین بردن ریشه گیاهان
- خاکبرداری
- آماده سازی پی ترانشه آب بند
- خاکریز
- زهکش‌های تحتانی
- ریپ رپ
- سازه‌های بتنی
- لوله‌های خروجی
- دریچه‌ها و ملحقات

در ادامه این مبحث هر یک از این عوامل به اختصار توضیح داده می‌شود. اطلاعات ارائه شده به صورت کلی بوده و باید در موقعیت‌های گوناگون برای مناطق مختلف بررسی گردد.

### ۷-۳-۱- ملاحظات زیست محیطی

اجرا هرگونه سازه‌ای باعث تغییرات در محیط می‌گردد و مجری طرح موظف است که اثرات زیست محیطی سازه را مورد بررسی قرار دهد. باید سعی شود که حداقل تغییرات در طبیعت ایجاد گردد.

### ۷-۳-۲- کنترل و انحراف آب

مجری باید همه امکانات و نیروی انسانی را برای ساخت و نگهداری سد، کانال‌ها، فلوم‌ها و همچنین کنترل و انحراف آب را بر عهده داشته باشد. این تعهد کلیه سازه‌ها و تجهیزاتی که برای

نگهداری و انتقال آب مورد استفاده قرار می‌گیرد از قبیل کانال‌ها، فلوم‌ها و غیره را شامل می‌شود. قبل از شروع به کار مهندسین باید یک برنامه منظم برای کنترل و انحراف آب مسیل و نیز نحوه تخلیه آب پی سد ارائه دهد. ساخت سد خاکی و سرریز آن باید تا قبل از شروع فصل بارندگی باتمام برسد تـا از سرریز شدن آب از سد و شکست آن جلوگیری شود.

## ۷-۳-۳- تمیز کردن مسیر جریان

همیشه باید قسمت‌های مختلف مانند سرریز و مجاری خروجی از مواد زائد مانند درختان و بوته‌ها تمیز گردد.

## ۷-۳-٤- از بین بردن ریشه گیاهان

به طور کلی محل احداث سد باید عاری از ریشه و تنه درختان باشد و هرگز نباید در محل احداث سد ریشه‌های با قطر بیش از ۱-۱/۲ اینچ و عمق بیش از ۳ فوت وجود داشته باشد. عدم توجه به این مساله می‌تواند عواقب ناگواری به همراه داشته باشد.

## ۷-۳-۵- خاکبرداری

خاکبرداری تمام قسمت‌ها باید مطابق نقشه‌های ارائه شده، انجام گیرد. شیب تمام خاکبرداری‌ها بایستی پایدار باشد. قسمت‌هایی که نیاز به حفاری دارد عبارتند از:

### ۷-۳-۵-۱. پی سد خاکی و ترانشه آب بند

برای احداث پی و ترانشه سد باید در محل مورد نظرحفاری صورت گیرد و ترانشه بایستی از مواد مناسب تر و قوی تر ساخته شود. این مواد در مقابل نفوذ آب غیر قابل نفوذ می‌باشند.

### ۷-۳-۵-۲. سرریز

حفاری به منظور ایجاد کانال سرریز شامل خاکبرداری کانال ورودی سرریز، محل سرریز و کانال تخلیه آب می‌باشد.

### ۷-۳-۵-۳. پی سازه‌های بتنی

تمامی‌سازه‌های بتنی باید به بستر سنگی رسیده باشد و برای رسیدن به بستر سنگی باید حفاری انجام گیرد.

### ۷-۳-۵-٤. ترانشه مجاری خروجی

مسیر مجاری و لوله‌های عبور آب بایستی تا تراز مشخص شده در نقشه‌ها به دقت خاکبرداری شود. چنانچه میزان خاکبرداری در طول مسیر متفاوت باشد، طوریکه امکان نشست نامتقارن وجود داشته باشد، بایستی محل‌های سست تر را تا عمق بیشتری خاکبرداری نمود.

### ۷-۳-۵-۵. کاربرد مواد بدست آمده از حفاری

برای استفاده بهینه از مصالح باید مواد بدست آمده از حفاری مورد آزمایش قرار گیرد و در صورتی که این مصالح مناسب برای استفاده در سد باشد، مورد استفاده قرار گیرد در غیر این صورت این مواد باید به خارج از محدوده سد منتقل شود.

### ۷-۳-۵-٦.خاکبرداری محل قرضه

از نظر مهندسی مواد لازم برای احداث سد خاکی باید از داخل مخزن سد یا نزدیکی محل احداث سد تامین گردد. ابتدا باید خاک سطحی و گیاهان مواد زائد، ریشه و شاخ و برگ گیاهان جدا شود و از منطقه دور گردد. خاک باید به گونه‌ای باشد که با کمترین رطوبت به رطوبت مناسب برای تراکم خاک برسیم.

## ۷-۳-٦- آماده کردن پی پرده آب بند

عرض پایین پرده آب بند بایستی حداقل ۱۴ فوت و عمق مناسب آن بستگی به موقعیت منطقه دارد. ابتدا باید محل احداث پرده آب بند از قطعات سنگ، گراول و عیوب دیگر پاک گردد و شکاف‌ها باید توسط بتن پر گردد.

## ۷-۳-۷- خاکریز سد

### ۷-۳-۷-۱. ملزومات

سد یک سازه است که عمود بر جریان رودخانه در مقطع عرضی رودخانه احداث می‌گردد. مجری سد باید نگهداری و اجرای صحیح و مناسب سد را تا پایان کار و پذیرش نهایی بر عهده داشته باشد.

### ۷-۳-۷-۲. مصالح

باید سعی شود مواد مورد استفاده در سد در کمترین فاصله مکانی نسبت به محل احداث سد قرار داشته باشد. این مواد نباید همراه شاخ و برگ گیاهان وسایر مواد زائد باشد. مهندس باید با کاوش و آزمایشات مختلف مناسب‌ترین مواد را از نزدیک‌ترین موقعیت به سد تهیه کند.

### ۷-۳-۷-۳. آماده کردن پی

بعد از تمیز کردن و برداشتن خاک سطحی باید کلیه شکاف‌ها و گودال‌ها صاف گردد. مگر اینکه این مناطق مستقیماً توسط مواد غیرقابل نفوذ پر گردد. پر کردن باید طبق آیین نامه (از نظر تراکم و رطوبت) انجام گیرد. نباید از غلطک‌های استوانه‌ای استفاده گردد چون این غلطکها قادر به ایجاد تراکم مناسب نیستند. ضخامت لایه‌ها ۴ اینچ و هر لایه نیز بلافاصله بعد از پر کردن باید مورد آزمایش قرار گیرد. پرده آب بند باید حداقل ۳ اینچ در داخل بستر سنگی امتداد پیدا کند.

### ۷-۳-۷-٤. خاکریزی

عملیات خاکریزی باید تحت نظارت مهندس ناظر انجام شود. لایه‌های مختلف خاک نبایستی دارای تغییرات زیادی از نظر بافت و دانه بندی باشد (همگن باشد). ضخامت لایه‌ها باید یکسان و ارتفاع آن قبل از تراکم نباید بیش از ۸ اینچ باشد. تراکم هر لایه باید به صورتی باشد تا هر لایه بتواند لایه بعدی را پوشش دهد. غلطک‌ها باید حین عمل تراکم موازی محور سد حرکت کنند. تاج سد باید یک شیب بسیار ملایم به طرف دریاچه سد داشته باشد. عموماً باید مواد از مرکز به طرف سرآب سد (منطقه مرطوب) مناسب‌تر و نفوذ ناپذیرتر باشد و به طرف پایآب (منطقه خشک) باید نفوذپذیری افزایش پیدا کند. مواد مورد استفاده در پرده آب بند و قسمت‌های مرکزی سد باید طوری باشد که کمتر از ۱۵٪ ذرات از الک شماره ۲۰۰ عبور کند. حد اکثر ابعاد ذرات مورد استفاده باید ۶ اینچ باشد.

### ۷-۳-۷-۵. کنترل رطوبت

مواد مورد استفاده برای ساخت سد باید در طول احداث از رطوبت مناسبی برخوردار بوده که این رطوبت توسط آیین نامه شماره ASTM D-698 مشخص می‌گردد. مجری باید با مهارت کامل رطوبت لازم را به خاک اضافه کرده و رطوبت باید در تمام این مواد از توزیع مناسب برخوردار باشد.

### ۷-۳-۷-٦. تراکم

برای بدست آوردن تراکم مناسب برای ساخت سد باید از غلطک‌های پاچه بزی استفاده کرد. حداقل قطر این غلطک‌ها باید ۶۰ اینچ و حداقل طول آن نیز ۶۰ اینچ باشد . وزن آن حداقل ۴۰۰۰ پوند در هر فوت از طول باشد. لایه‌ها قبل از تراکم حداکثر ۸ اینچ و حداقل ۸ بار باید غلطک روی خاک تردد داشته باشد.حداقل تراکم لازم طبق آیین‌نامه ASTM D-698 ۹۵٪ و متوسط تراکم خاک ۹۷٪ می‌باشد.

### ۷-۳-۷-۷. پایان کار

بعد از پایان کار شیب‌ها باید با مواد مناسب پوشیده شود وشیب آنها یکسان و همشکل گردد.

### ۷-۳-۷-۸. سازه‌های تکیه گاه

ضخامت سازه‌های تکیه گاه ۲ فوت و قطر حداکثر ذرات آن ۳ اینچ و لایه‌ها قبل از تراکم حداکثر ۴ اینچ دارند.

## ۷-۳-۸- زهکشی زیرین سد

مجری باید تمام سعی خود را برای مجهز کردن زهکش‌ها ولوله‌های زهکشی داخل سد انجام دهد.

### ۷-۳-۸-۱. لوله‌ها

بر حسب نوع لوله‌ها دستور العمل متفاوتی برای نصب آنها وجود دارد. لوله‌های سیمانی از آیین نامه شماره ASTM C-508, Type II و لوله‌های سفالی از آیین نامه شماره ASTM C-700 لوله‌ها بتنی از آیین نامه شماره ASTM C-444, Type I و ASTM C-14, Class I. استفاده می‌شود.

### ۷-۳-۸-۲. لوله‌های انتهایی

دستور العمل این لوله‌ها نیز مشابه لوله‌های قبلی است.

### ۷-۳-۸-۳. مواد نفوذ پذیر

درصد ترکیب وزنی مود قابل نفوذ در قسمت‌های مختلف بر اساس آیین نامه شماره ASTM D-422 مطابق جدول شماره ۱۸ است:

**جدول شماره ۱۸ ترکیب وزنی مواد قابل نفوذ**

| اندازه و شماره الک | درصد عبور ذرات |
|---|---|
| ۱/۲-۱inch | 90-100 |
| ۳/۴ inch | 45-75 |
| No. ۴ | 30-45 |
| No. 50 | 4-10 |
| No. 100 | 1-3 |
| No. 200 | ۰-۲ |

### ۷-۳-۸-٤. نصب زهکش

نصب و اجرا و حفاری برای زهکش‌ها باید مطابق دستورالعمل طراحی انجام گیرد. روی لوله‌ها نیز مطابق لایه‌بندی سد باید لایه‌ها قبل از تراکم ۸ اینچ ضخامت داشته و حداقل ۳ تکرار و ۲۰۰ پوند وزن غلطک لازم است و میزان ارتعاش غلطک بایستی حداقل ۱۶۰۰ دور در دقیقه باشد. باید دقت شود که لوله‌ها جابجا نگردد و به تراکم خاک آسیب نرسد.

### ۷-۳-۹- ریپ رپ

پس از اتمام سد باید مجری قسمت‌های مختلف سد را محافظت کند.

### ۷-۳-۹-۱. کیفیت

ذرات بکار گرفته شده برای ریپ رپ باید از کیفیت مناسبی برخوردار باشد. این ذرات باید در مقابل سایش، یخ زدگی و ضربه موج آب مقاوم باشد. وزن مخصوص ذرات ۲/۴ و کیفیت قطعات باید مطابق آیین نامه شماره ASTM C-99 باشد.

### ۷-۳-۹-۲. دانه بندی

۷۵ درصد ریپ رپ باید با سنگ‌های به وزن بیش از ۷۵ پوند پر گردد.

### ۷-۳-۹-۳. بستر

مهندس می‌تواند بر اساس شرایط مختلف روشهای مختلفی را برای تراکم خاک اجرا کند. ولی مواد بستری باید در لایه‌های کمتر از ۱۰ اینچ متراکم گردد. حداقل باید سه بار با تراکتور D8 با حداقل وزن ۳۴۵۰۰ پوند تردد صورت گیرد.

### ۷-۳-۹-٤. نصب ریپ رپ

برای احداث ریپ رپ ابتدا قطعات بزرگ سنگ چیده شده و سپس فضای خالی توسط سنگ‌های کوچکتر پر می‌گردد. بهترین نتیجه زمانی بدست می‌آید که ضخامت لایه در طول آن ثابت باشد.

## ۷-۳-۱۰-سازه‌های بتنی

تمامی‌سازه‌های که در مناطق حساس هستند باید بتنی باشد.

### ۷-۳-۱۰-۱. ترکیب بتن

ترکیب بتن باید بر طبق آیین نامه شماره ASTM C-94 باشد.

### ۷-۳-۱۰-۲. سیمان

سیمان مورد استفاده طبق آیین‌نامه شماره ASTM C-150 از نوع هلند ۲ است.

### ۷-۳-۱۰-۳. تراکم

تراکم بتن باید به گونه‌ای باشد که در مقابل نفوذ و واکنش با سولفات‌ها و قلیاها مقاوم باشد. ماکزییم تخلخل بتن ۱/۵ اینچ مربع باشد در هر صورت باید طبق آیین نامه شماره ASTM C-33 عمل شود.

### ۷-۳-۱۰-٤. مقاومت و استحکام بتن

- باید کمتر از ۹۴ پوند در یارد مکعب بتن از سیمان هلندی نوع ۲ باشد.
- بتن مورد استفاده باید حداقل ۳۰۰۰ پوند در اینچ مربع در یک تست ۲۸ روزه را تحمل کند و اسلاپ آن حداکثر ۵ اینچ باشد.

### ۷-۳-۱۰-۵. آرماتور

میله‌ها باید از نوع متوسط بوده و قابلیت تغییر شکل طبق آیین‌نامه ASTM A-615, Grade 40 داشته باشد. میله‌ها باید از هرگونه زنگ زدگی بدور باشد. باید در گوشه‌ها و محل اتصالات با میلگرد ۱۶ بسته شود فاصله بین میله‌ها بر اساس فاصله بین مراکز آنها اندازه‌گیری می‌شود همانطور که در شکل نشان داده شده است.

### ۷-۳-۱۰-٦. آب بندی

با استفاده از لاستیک و یا پلیمرهای دیگر باید محل اتصالات را آب بندی کرد. مجری باید احتیاطات لازم را برای پشتیبانی و نگهداری آب بندی در طول کار انجام دهد و قسمت‌های آسیب دیده را تعمیر کند، آب بندی باید استقرار و ماندگاری آب را عملی کند و واشرهای لاستیکی ترجیحاً در دمای کمتر از ۷۰ درجه فارنهایت نگهداری شود.

### ۷-۳-۱۰-۷. اشکال

فرم و شکل بتن باید منظم بوده و از ملات و استحکام کافی برخوردار باشد تا بتواند بارها را تحمل کند. در صورتی که نیاز به جابجایی قطعات ساخته شده از بتن باشد باید حداقل ۴ روز پس از بتن ریزی این کار انجام گیرد.

### ۷-۳-۱۰-۸. حمل و بتن ریزی

بتن باید در سریع‌ترین حالت ممکن حمل شود تا از تجزیه آن به اجزا جلوگیری شود. بتنهایی که در طول مسیر سفت می‌شود باعث می‌شود کارایی آن کم شود. در هیچ حالتی نباید بیش از ۹۰ دقیقه بتن را نگه داشت. حداقل ۴۵ دقیقه باید بتن در داخل مخلوط کن بطور پیوسته حرکت کند قبل از شروع بتن ریزی باید شکل و آرماتورهای آن مشخص باشد. تمام بتن‌ریزی باید همواره زیر نظر مهندس ناظر باشد. بتن باید در نزدیک‌ترین مکان ممکن به منطقه مورد استفاده درست شود.

### ۷-۳-۱۰-۹. تمیز کردن سطح کار

بلافاصله بعد از اتمام کار باید اشکال بدمنظر و نامناسب بوجود آمده حین بتن ریزی ترمیم گردد.

### ۷-۳-۱۰-۱۰. جاسازی آیتم‌های مختلف

بعد از بتن ریزی بایستی دقت لازم برای تعیین آیتم‌های اضافه شده برای افزایش اطمینان و استواری انجام شود. آیتم‌های اضافه شده باید فاقد زنگ، رنگ و... باشد.

### ۷-۳-۱۰-۱۱. نگهداری و حفاظت

حداقل باید ۱۴ روز پس از بتن ریزی سطح آن‌را با آب مرطوب نگه داشت و بتن‌های تازه باید از عوامل فرساینده محفوظ بماند.

## ۷-۳-۱۱- مجاری خروجی

### ۷-۳-۱۱-۱. کلیات

مجری باید تمامی‌مصالح و نیروی کار لازم را برای استقرار مجاری خروجی بکار برد. مجرای خروجی باید با استفاده از لوله بتنی مسلح یا لوله بتنی cast-in-place reinforced مطابق نظر مجری انجام گیرد. به هر حال در هر سازه فقط مجاز هستیم فقط از یک نوع از این مجاری استفاده کنیم.

### ۷-۳-۱۱-۲. پیش بینی برای لوله‌های بتنی

بر اساس آیین‌نامه شماره ASTM C-76 باید پیش بینی‌ها برای احداث لوله‌های بتن مسلح صورت گیرد. سیمان باید بر اساس آیین نامه شماره ASTM C-150, Type II انتخاب گردد. تقویت

بستر باید همزمان یا بعد از لوله‌گذاری انجام شود. در اتصالات لوله‌ها باید از واشرهای پلاستیکی مطابق آیین‌نامه شماره ASTM C-443 استفاده گردد تا خاصیت ارتجاعی داشته باشد. واشرها نباید در دمای بیش از ۷۰ درجه فارنهایت قرار گیرد و همچنین بیش از ۷۲ ساعت درمقابل آفتاب قرار نگیرد چون خاصیت ارتجاعی خود را از دست خواهد داد.

## ۷-۳-۱۲- دریچه‌ها و متعلقات

### ۷-۳-۱۲-۱. دریچه‌ها

دریچه‌ها باید در جایی که قبلاً مشخص شده نصب گردد. بالابر و متعلقات دریچه نیز باید مطابق با نوع سازه تعیین گردد. این دریچه‌ها و لوازم جانبی آن باید به گونه‌ای باشد که بتواند ارتفاع معادل فشار هیدرولیکی بحرانی (ارتفاع آب بین مرکز دریچه تا بالاترین تراز آب دریاچه) را تحمل کند.

## ۷-۳-۱۳- پی و مصالح

برای احداث سد باید اطلاعات لازم از قبیل زمین‌شناسی، زلزله، وضعیت پی و مواد سازه‌ای بدست آمده و تجزیه و تحلیل گردد. بعد از جمع کردن تمامی این اطلاعات باید گزارش کامل به بخش‌های مربوطه ارسال گردد.

### ۷-۳-۱۳-۱. زمین شناسی

محل احداث سد از نظر زمین شناسی باید کاملاً شناسایی گردد و عوامل مختلف از قبیل زلزله، زمین لغزش و ... مورد بررسی قرار گیرد.

### ۷-۳-۱۳-۲. آزمایشات و کاوش های لازم برای پی سد

در صورتی که بستر سد سنگی باشد و بیرون زدگی‌های سنگی مشهود باشد احتیاجی به ارزیابی خاک بستر سد ضرورتی ندارد در غیر اینصورت باید با استفاده از ترانشه یا گمانه لوگ مربوط به جنس خاک، سرعت حرکت دریل، تراکم پذیری و وزن مخصوص خاک بدست آید و مشخص گردد که عمق مناسب پی برای سازه چقدر خواهد بود.

### ۷-۳-۱۳-۳. پی سد خاکی

برای سد خاکی باید آزمایشات لازم از قبیل حد خمیری و حد روانی مشخص گردد و طبق آیین نامهASTM D-2487 عمل شود. در صورتی که به موارد مشکوک برخورد شود باید از دستور العمل ASTM D-1556 برای چگالی و ASTM D-698 برای تراکم خاک استفاده کرد.

### ۷-۳-۱۳-٤. پی کانالهای خروجی

در صورتی که بستر از مواد توده ای و سنگی باشد احتیاجی به آزمایشات زیاد نیست ولی در غیر این صورت باید کلیه پارامترها مورد بررسی قرار گیرد وحداقل ۲ ترانشه برای تعیین موقعیت و خصوصیات آن لازم است.

### ۷-۳-۱۳-۵. پی سرریز

برای ارزیابی قابلیت فرسایش‌پذیری بستر محل احداث سرریز باید حداقل یک ترانشه در تاج و یک ترانشه در طول کانال احداث گردد .لازم است که کلیه خصوصیات سد مورد بررسی قرار گیرد.

### ۷-۳-۱۳-٦. مصالح سد خاکی

در محل‌های مختلف که قرار است به عنوان مواد قرضه استفاده شود باید چندین ترانشه احداث گردد و کلیه پارامترهای مهندسی خاک و کمیت آن مورد بررسی قرار گیرد.

### ۷-۳-۱۳-۷. آب

لازم است که همیشه یک مقدار حداقل آب در سد وجود داشته باشد و نباید بدنه سد کاملاً خشک گردد. ایدال‌ترین حالت اواخر بهار و اوایل تابستان بعد از اتمام سیلاب‌های بهاره است. هرگونه تغییرات شدید در رطوبت بدنه سد بسیار خطرناک بوده و ممکن است منجر به شکست سد گردد.

### ۷-۳-۱٤- بازرسی سد

- با پرشدن سد در اولین آبگیری، بعد از وقوع رگبارهای شدید و غیرمعمول و همچنین در مواقعی که دبی ورودی به سد آن‌قدر زیاد است که امکان دارد سرریز اضطراری فعال شود، سد بایستی مورد بازرسی قرار گیرد.

- سد بایستی حداقل سالی یکبار مورد بازرسی قرار گیرد و کلیه مشاهدات و عملیات انجام گرفته، به صورت کتبی گزارش شود. برای این منظور می‌توان از چک لیست ارائه شده در جدول ۷-۱ استفاده کرد. بازرس باید مرتباً قسمت‌های مختلف سد را مورد بررسی قرار دهد به عنوان مثال می‌توان به انسداد سرریز سد توسط برف، یخ یا مواد دیگر اشاره کرد که در صورت وقوع این حالت مخصوصاً در فصل بهار و سیلاب‌های بهاره بسیار خطرناک است در صورت انسداد سرریز سد و سرریز شدن آب از روی دیواره سد انهدام و شکست سد حتمی است.

## ۷-۳-۱۵- کنترل فرسایش

پوشش گیاهی خوب فرسایش روی سد و سرریز اظطراری را کنترل می‌کند. در این صورت لازم است پوشش گیاهی کاملاً مراقبت شود و شادابی و حاصلخیزی آنها حفظ گردد (عکسهای شماره ۸ و ۹). باید توجه کرد که به هیچ عنوان نبایستی روی بدنه اصلی سد (سراب و پایاب) گیاهان با ریشه عمیق وجود داشته باشد زیرا ریشه عمیق این گیاهان خود می‌تواند باعث ایجاد چشمه و زهکش آب در دیواره سد شده و موجب انهدام آن گردد (عکس شماره ۱۲). می‌توان در قسمت پایاب برای جلوگیری از فرسایش بارانی از گیاهان متراکم و با ریشه سطحی یا از ذارت شن استفاده کرد. در قسمت سراب نیز می‌توان از گیاهانی مانند علف قناری و فیکوس استفاده کرد. این گیاهان معمولاً می‌توانند اثرات موج آب را کاهش دهند و مانع از تخریب دیواره سد گردد ولی در صورتی‌که پوشش گیاهی مانع از فرسایش نشود، حتماً باید در قسمت سراب از ریپ رپ استفاده گردد (عکس شماره ۱۰)، تا بتواند در مقابل سیلاب‌های شدید و موج ناشی از باد مقاومت کند. در سدهای کم اهمیت می‌توان در قوس‌ها و سرریز نیز از گیاهان مقاوم در مقابل نیروی برشی آب استفاده کرد. نکته قابل توجه در استفاده از گیاهان این است که گیاهان متراکم و بلند می‌تواند محیط خوبی برای جوندگان ایجاد کند لذا باید همواره مراقب این موجودات بود.

**عکس شماره ۸ - فرسایش شدید روی سد به علت امواج**

**عکس شماره ۹ - استفاده از فیکوس و علف قناری در حفاظت سراب سد**

**عکس شماره ۱۰ - اسفاده از ریپ رپ در حفاظت بالادست سد بخصوص در سدهای با مخازن وسیع در معرض باد**

**عکس شماره ۱۱ - استفاده از پوشش گیاهی برای محافظت تاج و دیواره سد**

**عکس شماره ۱۲- رشد درختان و گیاهان خشبی روی سد یا دهانه سرریز (باعث تخریب)**

## ۷-۳-۱۶- حیوانات حفار

سوراخ شدن دیواره سد و بدنه اصلی سد توسط جوندگان مانند موش نیز می‌تواند از عوامل خطرناک و شروع شکست سد باشد. بازرس سد باید به این نکته توجه داشته باشد و سریعا در جهت رفع آن اقدام کند (عکس شماره ۱۳).

**عکس شماره ۱۳ - سوراخ‌های ایجاد شده توسط حیوانات حفار (باعث شکست سد)**

### ۷-۳-۱۷- تراوش آب در پایاب

در سدهای خاکی هرگز نباید در شیب پایاب سد آب جریان پیدا کند. در صورت مشاهده این عمل سریعاً باید به مهندس مربوطه گزارش داد تا از عواقب ناشی از آن جلوگیری شود.

### ۷-۳-۱۸- سرریز لوله ای

در صورتی که سد دارای سرریز لوله‌ای باشد این سرریز باید دارای یک محافظ باشد تا مواد زائد و آشغال‌های شناور روی آب دهانه لوله را مسدود نکند. بازرس همواره باید دهانه این سرریز را مورد بازرسی قرار دهد و از عملکرد آن اطمینان حاصل کند (عکس شماره ۱۴).

**عکس شماره ١٤ - جمع شدن مواد زائد و شناور و مسدود شدن دهانه سرریز لوله ای**

## ۷-۳-۱۹- حصار

به هیچ عنوان نباید اجازه داد که حیوانات اهلی از روی بدنه سد و سرریز آن تـردد داشـته باشـند (عکس شماره ۱۵). در صورتی که دیواره‌ها با استفاده از پوشش گیاهی محافظت شده باشد این امر از اهمیت بیشتری برخوردار است.

**عکس شماره ۱۵ - جلوگیری از ورود حیوانات اهلی به محل احداث سد**

**عکس شماره ١٦- لگد کوبی سرریزهای محافظت شده بوسیله پوشش گیاهی ، عامل شکست سد**

## ۷-۳-۲۰- تجهیزات ایمنی

باید مراقب بود که استفاده‌های تفریحی و تفرجگاهی برای پیکره سد بی‌خطر باشد. در صورتی‌که از مخزن سد برای شنا استفاده می‌شود باید دقت شود که سد به تجهیزات ایمنی مجهز باشد و این تجهیزات سالم باشند.

## ۷-۳-۲۱- بازسازی و تغییرات در سد

سد برای وضعیت مخصوص به خود ساخته شده و به هیچ وجه نمی‌توان در ابعاد و ارتفاع آن دستکاری کرد. در صورت نیاز به این کار حتماً باید با مهندسین طراحی مشورت شود و کار باید کاملاً اصولی و با دقت انجام گیرد.

## ۷-۳-۲۲- تغییرات در پایین دست سد

- هر چند که شکست سدها به ندرت اتفاق می‌افتد ولی طراح سد باید حتماً سیمای پایین دست سد را مورد توجه قرار داده و اثرات شکست سد را بر این مناطق مورد بررسی قرار دهد.

- هرچه خطر جانی و مالی ناشی از شکست سد بیشتر باشد، سد بایستی با ایمنی بیشتر طراحی و ساخته شود. از آنجا که این دستورالعمل برای مناطق روستایی است که اصطلاحاً مناطق با "خطر پایین" نامیده می‌شوند، لذا در صورتی که وضعیت پایین دست توسعه پیدا کند بایستی سد را برای شرایط جدید کنترل کرد.

## ۷-۳-۲۳- تغییرات در حوزه بالادست سد

حجم ذخیره سد و اندازه و ابعاد سد و سرریز بستگی به حوزه بالادست سد دارد. لذا هرگونه تغییر عمده و مهم در حوزه بالا دست باعث خواهد شد حجم و میزان روان آب تغییر کند. به عنوان مثال ایجاد یک شهرک جدید در بالادست رودخانه ضریب روان آب را به شدت بالا می‌برد و باعث افزایش سیلاب می‌گردد. در صورت بوجود آمدن تغییرات عمده، باید مرور مجددی بر روی پارامترهای بحرانی سد نظیر دبی طرح و ابعاد سد و سرریز مربوطه انجام گیرد.

**جدول شماره ۱۹- چک لیست بازرسی در سدهای کوتاه**

| موقعیت سد | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| از هر ستون برای یک تاریخ استفاده گردد | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| تاریخ بازرسی | | | | | | | |
| وضعیت پوشش گیاهی | | | | | | | |
| وضعیت تکثیر پوشش گیاهی | | | | | | | |
| وضعیت درختان و بوته‌ها | | | | | | | |
| تعمیرات فرسایش شیاری و خندقی | | | | | | | |
| وضعیت فرسایش در سراب | | | | | | | |
| مواد زائد و آشغالها اطراف سرریز | | | | | | | |
| حیوانات حفار | | | | | | | |
| تراوش از بدنه سد | | | | | | | |
| وضعیت حصارها | | | | | | | |
| وضعیت مناطق تفریحی و تفرجگاهی | | | | | | | |
| تغییرات در کاربری اراضی در بالدست سد (حوزه سد) | | | | | | | |
| تغییرات و ساختمانهای جدید احداثی در پایین دست | | | | | | | |
| نام بازرس | | | | | | | |

## منابع مورد استفاده این فصل

1- California Division of Safety of Dams, The Resources Agency, Department of Water Resources, Federal Guidelines for Dam Safety, web: http://damsafety.water.ca.gov/guidelines/guidelines.htm, Last modified: June 2000,

2- Donald L. Pfost, Department of Agricultural Engineering, University of Missouri-Columbia, Hugh A. Curry, USDA, Natural Resources Conservation Service , 1999, , Maintaining Small Dams,

3-Technical Report No. G01548, University of Missouri. Published by University Extension, University of Missouri-Columbia, For a copy of the rules and regulations of the Missouri Dam and Reservoir Safety Council or other information, contact: Dam and Reservoir Safety Program, Missouri Department of Natural Resources, P.0. Box 250, Rolla, Mo. 65402-0250, or call (573) 368-2175.