جمهوری اسلامی ایران

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور

راهنمای طراحی، ساخت و بهره‌برداری از سدهای پسماند

ضابطه شماره ۶۸۲

معاونت فنی و توسعه امور زیربنایی

امور نظام فنی و اجرایی کشور

nezamfanni.ir

وزارت نیرو

دفتر استانداردهای فنی، مهندسی، اجتماعی و زیست‌محیطی آب و آبفا

http://seso.moe.gov.ir

۱۳۹۴

باسمه تعالی

ریاست جمهوری
سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور
رییس سازمان

بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران	**شماره:**	**۹۴/ ۱۴۲۷۵۶**
	تاریخ:	**۱۳۹۴/۰۷/۰۴**

موضوع: راهنمای طراحی، ساخت و بهره‌برداری از سدهای پسماند

به استناد ماده (۲۳) قانون برنامه و بودجه و مواد (۶) و (۷) آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی- مصوب سال ۱۳۵۲ و در چارچوب نظام فنی و اجرایی کشور (موضوع تصویب‌نامه شماره ۴۲۳۳۹/ت۳۳۴۹۷هـ مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیأت محترم وزیران)، به پیوست ضابطه شماره ۶۸۲ امور نظام فنی و اجرایی، با عنوان « راهنمای طراحی، ساخت و بهره‌برداری از سدهای پسماند» از نوع گروه سوم ابلاغ می‌شود.

رعایت مفاد این ضابطه در صورت نداشتن ضوابط بهتر، از تاریخ ۱۳۹۴/۱۰/۰۱ الزامی است.

امور نظام فنی و اجرایی این سازمان دریافت‌کننده نظرات و پیشنهادهای اصلاحی در مورد مفاد این ضابطه بوده و اصلاحات لازم را اعلام خواهد کرد.

محمد باقر نوبخت

ش ش: ۵۰۴۹۶۷

اصلاح مدارک فنی

خواننده گرامی:

امور نظام فنی و اجرایی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، با استفاده از نظر کارشناسان برجسته مبادرت بـه تهیـه این ضابطه نموده و آن را برای استفاده به جامعه مهندسی کشور عرضه نموده است. با وجود تلاش فراوان، این اثـر مصـون از ایراد و اشکال نیست.

از ایـن‌رو، از ***شما خواننده گرامی صمیمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده هرگونه ایراد و اشکال فنی مراتـب را بـه صورت زیر گزارش فرمایید:***

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

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

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

۴- نشانی خود را برای تماس احتمالی ذکر فرمایید.

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

پیشاپیش از همکاری و دقت نظر جنابعالی قدردانی می‌شود.

نشانی برای مکاتبه : تهران، میدان بهارستان، خیابان صفی علی‌شاه - مرکز تلفن

۳۳۲۷۱ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، امور نظام فنی و اجرایی

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

باسمه تعالی

پیشگفتار

سدهای پسماند یکی از بزرگ‌ترین سازه‌های ساخته شده به دست بشر هستند و در چرخه‌ی صنعت و بهره‌برداری از معادن نقشی کلیدی دارند. این سدها علاوه بر مخاطراتی که ساخت سدهای معمول ذخیره آب دارند، بالقوه می‌توانند منشا اثرات زیست‌محیطی زیان‌بار بیش‌تری نیز باشند؛ بروز چند مورد خرابی و ناهنجاری در سدهای پسماند کشور و نبود راهنمایی منسجم و جامع درخصوص طراحی، ساخت و بهره‌برداری از سدهای پسماند و نیاز متخصصان و کارشناسان ذیربط به دستورالعمل‌ها و راهنماهای استاندارد، نشان دهنده‌ی ضرورت تهیه و انتشار مدرکی فنی درخصوص این نوع سدها بود.

با توجه به اهمیت مبحث فوق، امور آب وزارت نیرو در قالب طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور، تهیه ضابطه «راهنمای طراحی، ساخت و بهره‌برداری از سدهای پسماند» را با هماهنگی امور نظام فنی و اجرایی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور در دستور کار قرار داد و پس از تهیه، آن را برای تایید و ابلاغ به عوامل ذینفع نظام فنی و اجرایی کشور به این سازمان ارسال نمود که پس از بررسی، براساس ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه، آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی مصوب هیات محترم وزیران و طبق نظام فنی و اجرایی کشور (مصوب شماره ۴۲۳۳۹/ت۳۳۴۹۷ هـ- مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیات محترم وزیران) تصویب و ابلاغ گردید.

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

بدین وسیله معاونت فنی و توسعه امور زیربنایی از تلاش و جدیت رییس امور نظام فنی و اجرایی کشور جناب آقای مهندس غلامحسین حمزه مصطفوی و کارشناسان محترم امور نظام فنی و اجرایی و نماینده مجری محترم طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور وزارت نیرو، جناب آقای مهندس تقی عبادی و متخصصان همکار در امر تهیه و نهایی نمودن این ضابطه، تشکر و قدردانی می‌نماید و از ایزد منان توفیق روزافزون همه این بزرگواران را آرزومند می‌باشد. امید است متخصصان و کارشناسان با ابراز نظرات خود درخصوص این ضابطه ما را در اصلاحات بعدی یاری فرمایند.

غلامرضا شافعی

معاون فنی و توسعه امور زیربنایی

تابستان ۱۳۹۴

تهیه و کنترل «راهنمای طراحی، ساخت و بهره‌برداری از سدهای پسماند» [ضابطه شماره ۶۸۲]

مجری: شرکت مهندسین مشاور بندآب

مشاور پروژه: مهندس وحید فریدنی

اعضای گروه تهیه‌کننده:

آقایان مهندس محمد احمدی، مهندس رضا باغی، مهندس حمیدرضا تمنائی، مهندس شاهرخ طاحونی، دکتر محمدرضا عسکری، مهندس وفاعلی کمالیان و کمیته‌ی تخصصی سدهای پسماند کمیته ملی سدهای بزرگ ایران.

اعضای گروه نظارت:

هیئت اجرایی کمیته‌ی ملی سدهای بزرگ ایران، دفتر نظارت و بهره‌برداری وزارت صنعت، معدن و تجارت، آقای مهندس محمدحسین دره‌بیدی، آقای مهندس موسی امین‌نژاد، آقای دکتر مجتبی غروی و خانم مهندس نوشین رواندوست.

اعضای گروه تایید کننده (کمیته تخصصی سد و تونل‌های انتقال طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور):

موسی امین‌نژاد	شرکت مدیریت منابع آب ایران	فوق‌لیسانس سازه‌های هیدرولیکی
دالی بندار	حوزه ستادی وزارت نیرو	دکترای مهندسی عمران
مسعود حدیدی مود	شرکت مهندسی مشاور مهاب قدس	فوق لیسانس مهندسی مکانیک
رضا راستی اردکانی	دانشگاه صنعت آب و برق شهید عباسپور	دکترای مهندسی عمران
نوشین رواندوست	طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور- وزارت نیرو	لیسانس مهندسی سازه
محمدطاهر طاهری بهبهانی	شرکت مهندسین مشاور توان‌آب	فوق لیسانس مهندسی منابع آب (هیدرولیک)
محمدرضا عسکری	شرکت مهندسین مشاور بندآب	دکترای مهندسی عمران
علی یوسفی	شرکت مهندسین مشاورزمین آب‌پی	فوق لیسانس مهندسی معدن و زمین‌شناسی مهندسی

اعضای گروه هدایت و راهبری سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور:

علیرضا توتونچی	معاون امور نظام فنی و اجرایی
فرزانه آقا رمضانعلی	رییس گروه امور نظام فنی و اجرایی
سیّد وحیدالدین رضوانی	کارشناس آبیاری و زهکشی، امور نظام فنی و اجرایی

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
مقدمه	۱
فصل اول - کلیات	**۳**
۱-۱- مقدمه	۵
۱-۲- روش‌های انبارش پایدار مواد پسماند	۶
۱-۳- سدهای پسماند و سدهای ذخیره آب	۷
۱-۴- مدارک بررسی شده	۸
۱-۵- ذینفع‌ها	۹
۱-۶- فعالیت‌ها و روال‌های مدیریت سدهای پسماند	۹
فصل دوم- ملاحظات کلیدی در مدیریت	**۱۳**
۲-۱- انتخاب راهبرد مدیریت مواد زاید	۱۵
۲-۱-۱- راهبردهای مدیریتی	۱۵
۲-۱-۲- اصول عمومی مدیریت دفع مواد در سدهای پسماند	۱۸
۲-۲- مدیریت ریسک	۲۰
۲-۲-۱- روال مدیریت ریسک	۲۰
۲-۲-۲- ارزیابی احتمال خطر	۲۲
۲-۳- رده‌بندی سدهای پسماند از نظر پی‌آمد خرابی‌های محتمل	۲۲
۲-۳-۱- رده‌بندی مبتنی بر پی‌آمد خرابی سد	۲۲
۲-۳-۲- رده‌بندی مبتنی برپی‌آمدهای زیست محیطی سرریزی سد	۲۴
۲-۴- برنامه‌ریزی	۲۵
۲-۴-۱- دوره‌ی عمر ـ برنامه‌ریزی معدن	۲۵
۲-۴-۲- اهداف کلیدی در برنامه‌ریزی سامانه‌ی انباشت پسماند **(س ـ ا ـ پ)**	۲۶
۲-۴-۳- اطلاعات مهم مورد نیاز برای برنامه‌ریزی سامانه‌ی انبارش پسماند	۲۷
۲-۵- طرح مدیریت پسماند	۲۹
۲-۵-۱- سطوح برنامه‌ریزی	۲۹
۲-۵-۲- تهیه طرح مدیریت پسماند	۳۰
۲-۵-۳- رویکرد مبتنی بر مشاهده	۳۳

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۲-۶- بازبینی مستقل (شخص ثالث)	۳۴
فصل سوم- روش‌های انبارش و اصول فرونشانی (انباشت) مواد پسماند	**۳۵**
۳-۱- مولفه‌های اصلی طرح و عوامل موثر در جانمایی سامانه‌ی انباشت پسماند	۳۷
۳-۲- اقدام‌های پیش‌گیرانه‌ی لازم برای حفظ محیط‌زیست	۳۸
۳-۲-۱- کلیات	۳۸
۳-۲-۲- حفظ جامعه	۴۰
۳-۲-۳- حفظ آب، هوا و زمین	۴۰
۳-۲-۴- حفظ جانوران	۴۱
۳-۲-۵- حفظ میراث فرهنگی	۴۱
۳-۳- سامانه‌های انتقال پسماند	۴۲
۳-۴- روش‌های ذخیره و نگهداری مواد پسماند	۴۴
۳-۴-۱- سدهای پسماند احداث شده (جمع‌آوری رسوبات در سطح زمین)	۴۵
۳-۴-۲- فضاهای خالی موجود	۵۶
۳-۴-۳- تخلیه در محیط‌زیست	۵۸
۳-۵- روش‌های تخلیه و راهبردهای فرونشانی (انباشت) مواد پسماند	۵۸
۳-۵-۱- روش‌های تخلیه هیدرولیکی	۵۸
۳-۵-۲- انبارش مواد پسماند به‌صورت خشک	۶۱
۳-۵-۳- راهبردهای فرونشانی (انباشت) مواد پسماند	۶۲
۳-۵-۴- جدایش دانه‌ها و شیب ساحل	۶۴
۳-۵-۵- حوضچه‌ی آب رو زده (مازاد)	۶۴
۳-۵-۶- کنترل زه‌آب اسیدی و فلزدار	۶۶
فصل چهارم- رفتار و تعیین خصوصیات مواد پسماند	**۶۷**
۴-۱- مقدمه	۶۹
۴-۲- مشخصات مهندسی و فیزیکی	۷۰
۴-۲-۱- آزمایش‌های آزمایشگاهی	۷۰
۴-۲-۲- آزمایش درجا	۷۴

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۴-۲-۳- آزمایش‌های میدانی	۷۵
۴-۳- خواص شیمیایی و کانی‌شناسی	۷۵
۴-۳-۱- ژئوشیمی اجزای مایع و جامد	۷۵
۴-۳-۲- تاثیر مواد شیمیایی داخل پساب بر رفتار مصالح مختلف بدنه سد پسماند	۷۷
۴-۴- حمل پسماند و رئولوژی	۷۸
۴-۵- سواحل پسماندی	۷۸
فصل پنجم- طراحی ظرفیت انبارش مواد پسماند و مدیریت آب	**۸۱**
۵-۱- معیارهای طراحی	۸۳
۵-۱-۱- تعیین ظرفیت برای انبارش پسماند	۸۳
۵-۱-۲- تعیین حداقل ظرفیت مورد نیاز برای آب رو زده (مازاد پسماند)	۸۴
۵-۱-۳- تعیین حجم مخزن سدهایی که رهاسازی آب از آن‌ها مجاز نیست	۸۴
۵-۱-۴- سرریز	۸۷
۵-۱-۵- سرریز اضطراری در سدهایی که رهاسازی آب از آن‌ها مجاز نیست	۸۹
۵-۲- موازنه‌ی آب	۸۹
۵-۳- مدیریت جریان‌های سطحی	۹۱
۵-۴- بارندگی و رواناب	۹۲
۵-۵- آب رو زده (مازاد پسماند)	۹۲
۵-۶- تبخیر	۹۳
۵-۷- بازیافت آب	۹۴
۵-۷-۱- تخلیه‌ی آب به محیط‌زیست	۹۴
۵-۷-۲- آب برگشتی	۹۵
۵-۸- نشت	۹۸
۵-۸-۱- کلیات	۹۸
۵-۸-۲- پیش‌بینی کمّیت و کیفیت آب نشتی	۹۹
۵-۸-۳- اجزای مدل نشت	۱۰۰
۵-۸-۴- رفتارنگاری، پایش و درستی‌سنجی	۱۰۰

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۵-۸-۵- پیش‌بینی تاثیر بر آب زیرزمینی	۱۰۳
۵-۸-۶- ظرفیت همگون سازی محیط	۱۰۴
۵-۸-۷- تمهیدات طراحی برای کاهش نشت	۱۰۴
۵-۸-۸- پوشش تاسیسات (سامانه‌ی) انباشت پسماند	۱۰۵
۵-۹- زهکش‌ها و فیلترها	۱۰۷
فصل ششم- طراحی خاکریز	**۱۰۹**
۶-۱- آنالیز پایداری	۱۱۱
۶-۱-۱- ارزیابی پایداری	۱۱۱
۶-۱-۲- روش‌های تحلیل پایداری	۱۱۱
۶-۱-۳- وضعیت‌های بارگذاری	۱۱۲
۶-۱-۴- تعیین مقاومت برشی	۱۱۴
۶-۱-۵- پایداری در مقابل بارهای لرزه‌ای	۱۱۵
۶-۱-۶- ضرایب اطمینان و تغییر شکل‌های قابل قبول	۱۲۰
۶-۱-۷- نکاتی در مورد تحلیل پایداری به روش پایداری حدی	۱۲۱
۶-۱-۸- خرابی پیش رونده/تدریجی	۱۲۲
۶-۱-۹- آنالیزهای قابلیت اعتماد و حساسیت	۱۲۲
۶-۲- نشست	۱۲۳
۶-۳- پایایی و دوام مصالح ساخت	۱۲۴
۶-۴- گزارش طراحی	۱۲۴
۶-۵- بازبینی طرح توسط اشخاص ثالث	۱۲۴
فصل هفتم- ساخت	**۱۲۵**
۷-۱- مقدمه	۱۲۷
۷-۲- تهیه‌ی مدارک فنی و نظارت بر اجرا	۱۲۷
۷-۲-۱- کلیات	۱۲۷
۷-۲-۲- مهندس طراح	۱۲۷
۷-۲-۳- دستگاه نظارت	۱۲۸

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۷-۲-۴- کنترل کیفیت / تضمین کیفیت	۱۲۸
۷-۲-۵- مدیریت کارگاه ساختمانی	۱۲۹
۷-۳- آماده‌سازی انباشتگاه	۱۳۱
۷-۳-۱- پاکسازی و رویه‌برداری	۱۳۱
۷-۳-۲- چشمه‌ها و زمین‌های نفوذپذیر	۱۳۲
۷-۳-۳- آماده‌سازی بستر برای اجرای لایه‌های پوششی	۱۳۲
۷-۴- آماده‌سازی پی	۱۳۳
۷-۵- ابزاربندی	۱۳۴
۷-۶- تامین مصالح	۱۳۴
۷-۷- استفاد از مواد پسماند در ساخت	۱۳۶
۷-۷-۱- ساخت به روش ریختن مکانیکی	۱۳۶
۷-۷-۲- ساخت با چرخابه (هیدروسیکلون)	۱۳۷
۷-۸- احداث مرحله‌ای با مصالح قرضه‌ای	۱۳۸
۷-۹- تحویل	۱۴۰
۷-۱۰- گزارش ساخت و نقشه‌های چون‌ساخت	۱۴۱
فصل هشتم- بهره‌برداری	**۱۴۳**
۸-۱- مدیریت و آموزش‌های کاری	۱۴۵
۸-۲- برنامه‌ی بهره‌برداری	۱۴۶
۸-۳- کتابچه‌ی راهنمای بهره‌برداری، نگهداری و پایش	۱۴۷
۸-۴- پایش و نظارت	۱۴۷
۸-۵- ترفیع خاکریزی	۱۵۰
۸-۶- لایروبی سد	۱۵۰
۸-۷- برنامه‌ی ایمنی سد در شرایط اضطراری	۱۵۱
۸-۸- نگهداری	۱۵۱
۸-۹- حراست	۱۵۲
فصل نهم- ترک و رهاسازی	**۱۵۳**

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۹-۱- ترک و رهاسازی پایدار	۱۵۵
۹-۲- برنامه‌ی ترک و رهاسازی	۱۵۶
۹-۳- گزینه‌های ترک و رهاسازی	۱۵۶
۹-۴- نکات مهم در مورد ترک و رهاسازی	۱۵۷
۹-۵- ترک و رهاسازی مرحله‌ای	۱۵۸
۹-۶- واگذاری مسوولیت و بیمه	۱۵۸
پیوست ۱- مدیریت ریسک، روش‌ها و الزامات	**۱۵۹**
پیوست ۲- مدیریت سطوح مختلف شدت صدمات و رده‌بندی مبتنی بر پی‌آمد	**۱۶۷**
پیوست ۳- سرفصل‌های نمونه برای تهیه گزارش‌های طراحی	**۱۷۱**
پیوست ۴- سرفصل‌های نمونه برای تهیه گزارش‌های بازرسی	**۱۷۹**
پیوست ۵- سرفصل‌های نمونه برای خلاصه گزارش سالانه‌ی مدیریتی بازرسی سد	**۱۸۵**
پیوست ۶- مقادیر مجاز آلودگی‌ها و عناصر مختلف در مصارف شرب، صنعت و کشاورزی	**۱۹۱**
پیوست ۷- واژه‌نامه	**۱۹۹**
منابع و مراجع	**۲۰۹**

فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول ۳-۱- برخی از پارامترهای موثر بر مکان‌یابی سدهای پسماند	۳۷
جدول ۳-۲- روش‌های مختلف دفع پسماند	۴۵
جدول ۳-۳- مقایسه بین روش‌های مختلف ساخت سدهای پسماند (مرجع:Vick 1990)	۵۲
جدول ۵-۱- حداقل حجم مخزن اضافه برای ذخیره‌ی آورد در دوره‌ی تر	۸۷
جدول ۵-۲- حداقل حجم مخزن اضافه برای ذخیره‌ی سیلاب	۸۷
جدول ۵-۳- ارتفاع آزاد احتیاطی	۸۷
جدول ۵-۴- حداقل سیلاب طراحی برای طرح سرریز و ارتفاع آزاد مورد نیاز برای مقابله با موج	۸۸
جدول ۶-۱- بارگذاری لرزه‌ای سدهای پسماند	۱۱۶
جدول ۶-۲- ضرایب اطمینان قابل قبول	۱۲۰
جدول پ.۱-۱- ریسک محاسبه شده به ازای دوره مفید طرح و دوره بازگشت- رخداد یک‌بار درسال	۱۶۴
جدول پ.۱-۲- ریسک محاسبه شده به ازای دوره‌ی مفید طرح و دوره بازگشت- رخداد دوبار درسال	۱۶۵
جدول پ.۲-۱- ارزیابی شدت صدمات	۱۶۹
جدول پ.۲-۲- رده‌بندی مبتنی بر پی‌آمد	۱۶۹
جدول پ.۲-۳- طبقه‌بندی خطرات مکان‌های انباشت باطله‌های فرآوری	۱۷۰
جدول پ. ۶-۱- حداکثر غلظت توصیه شده برای عناصر کمیاب در آبیاری (FAO, 1985)	۱۹۳
جدول پ.۶-۲- کیفیت آب مورد نیاز برای فرآیندهای صنایع نساجی و چرم‌سازی بر حسب میلی‌گرم بر لیتر	۱۹۴
جدول پ.۶-۳- کیفیت آب مورد نیاز برای سامانه‌های خنک کننده و صنایع فولاد بر حسب میلی‌گرم بر لیتر	۱۹۴
جدول پ.۶-۴- کیفیت آب مورد نیاز برای فرآیندهای صنایع شیمیایی بر حسب میلی‌گرم بر لیتر	۱۹۵
جدول پ.۶-۵- کیفیت آب مورد نیاز برای فرآیندهای صنایع شیمیایی، پتروشیمی و سیمان بر حسب میلی‌گرم بر لیتر	۱۹۵
جدول پ.۶-۶- کیفیت آب مورد نیاز برای فرآیندهای صنایع تولید کاغذ و مقوا بر حسب میلی‌گرم بر لیتر	۱۹۶
جدول پ.۶-۷- کیفیت آب مورد نیاز برای فرآیندهای صنایع غذایی بر حسب میلی‌گرم بر لیتر	۱۹۶
جدول پ.۶-۸- کیفیت آب مورد نیاز برای بویلر بر حسب میلی‌گرم بر لیتر	۱۹۷
جدول پ.۶-۹- حدود مجاز ویژگی‌های فیزیکی آب آشامیدنی	۱۹۷
جدول پ.۶-۱۰- حدود مجاز مواد شیمیایی محلول در آب آشامیدنی	۱۹۷
جدول پ.۶-۱۱- حدود مجاز فلئور در آب آشامیدنی	۱۹۸
جدول پ.۶-۱۲- حداکثر میزان مواد رادیواکتیو در آب آشامیدنی	۱۹۸

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱- روال برنامه‌ریزی، طراحی، ساخت، بهره‌برداری و بستن (رهاسازی) سدهای پسماند ۱۱

شکل ۳-۱- سدهای واقع در داخل دره (واقع در عرض دره) ۴۶

شکل ۳-۲- ساخت مرحله‌ای سدهای پسماند ۴۷

شکل ۳-۳- روش بالارو برای ساخت سدهای پسماند ۴۹

شکل ۳-۴- روش پایین‌رو برای ساخت سدهای پسماند ۵۰

شکل ۳-۵- روش محور ثابت برای ساخت سدهای پسماند ۵۱

شکل ۳-۶- سدهای واقع در دامنه‌ها ۵۴

شکل ۳-۷- سدهای ته‌دره ۵۵

شکل ۳-۸- خاکریزهای حلقه‌ای: سمت چپ (ساده سمت راست) چندبخشی ۵۶

شکل ۳-۹- تخلیه‌ی در امتداد شیب مواد پسماند، به سمت بدنه‌ی خاکریز ۶۵

شکل ۳-۱۰- روش تخلیه در پای سد ۶۵

شکل ۵-۱- روال عمومی تعیین ظرفیت سرریز و همچنین تعیین حجم مخزن مورد نیاز ۸۶

شکل ۶-۱- نمودار روال عمومی تحلیل پایداری سدهای پسماند تحت اثر بارگذاری لرزه‌ای ۱۱۸

شکل ۷-۱- ساختار مدیریتی برای احداث انباشتگاه رسوبات توسط یک پیمانکار ۱۳۰

شکل ۷-۲- ساختار مدیریتی در شرایط احداث انباشتگاه توسط مالک معدن ۱۳۰

شکل پ.۱-۱- منحنی ریسک سیلاب برای دوره‌ی عمر مختلف طرح و دوره بازگشت مشخص- رخداد یک‌بار درسال ۱۶۵

شکل پ.۱-۲- منحنی ریسک سیلاب برای دوره‌ی عمر مختلف طرح و دوره‌ی بازگشت مشخص- رخداد دوبار درسال ۱۶۶

مقدمه

در پی بروز حوادثی چند در سدهایی که برای انبارش مواد پسماند معدنی ساخته می‌شوند، و با توجه به کمبود مدارک فنی در زمینه‌ی این نوع سدها در سطح کشور، مقرر شد که در چهارچوب شرح وظایف وزارت نیرو، نشریه‌ای برای راهنمایی در زمینه‌ی طراحی، ساخت، و بهره‌برداری سدهای پسماند تهیه شود. نظر به این‌که مخاطبان اصلی این راهنما در دو بخش آب (سدسازی) و بخش صنعت طرح‌های معدنی متمرکز هستند، پیش از شروع کار و از مرحله‌ی تدوین شرح خدمات مطالعات، هماهنگی و همکاری مناسبی بین کارشناسان دو وزارتخانه‌ی نیرو و صنعت، معدن و تجارت برقرار گردید. از این‌رو ضروری می‌داند که از تلاش‌هایی که برای ایجاد این هماهنگی به‌خصوص از سوی کارشناسان محترم وزارت صنعت، معدن و تجارت صورت گرفته است قدردانی شود.

- هدف

این ضابطه با هدف ارتقای دانش فنی و توسعه‌ی ساخت ایمن سدهای پسماند، تهیه شده است.

در این راهنما توسعه‌ی پایدار سدهای پسماند از دیدگاه طراحی، ساخت و بهره‌برداری ایمن مورد توجه ویژه قرار گرفته است. مراد از توسعه پایدار، توسعه‌ای است که نیازهای امروز را بدون آن‌که اثری بر توانایی نسل‌های آینده برای تامین نیازهایشان داشته باشد تامین کند. هرچند به‌طور عمده این راهنما با هدف در اختیار قرار دادن توصیه‌های فنی در مورد انبارش سطحی مواد پسماند تدوین شده است، لیکن بسیاری از اصول مطرح، در مورد انواع دیگر انبارش نیز کاربرد دارد.

- دامنه کاربرد

همچنان که اشاره شد در این راهنما به انبارش سطحی مواد پسماند معدنی پرداخته می‌شود، لیکن دامنه‌ی کاربرد آن دربرگیرنده‌ی کلیه‌ی وجوه مرتبط با اجزای سامانه‌های انباشت پسماند، که می‌تواند شامل سازه‌های مرتبط و یا زیرساخت‌ها باشد، نیست. به‌علاوه در این ضابطه به انواع دیگر ضایعات معادن همچون خاک سطحی، روباره‌ی معدنی و کانسنگ کم‌ارزش نیز پرداخته نشده است. این راهنما بر سدهای پسماند، مدیریت پسماند و آب در داخل مخزن آن‌ها تمرکز دارد و به جزییات مربوط به توزیع پسماند و زیرساخت‌های لازم برای مدیریت آب نمی‌پردازد.

فصل ۱

کلیات

سدهای پسماند علاوه بر مخاطراتی که ساخت سدهای معمول ذخیره‌ی آب دارند، بالقوه می‌توانند منشا اثرات زیست‌محیطی زیان‌بار بیش‌تری نیز باشند، از این‌رو در طراحی، ساخت، بهره‌برداری و ترک این سازه‌ها باید به نکات ویژه‌ای توجه داشت. در این راهنما به این نکات پرداخته می‌شود.

۱-۱- مقدمه

پسماند، ذرات نرم و ریز باقی‌مانده و ته‌نشین، ناشی از فرآوری مواد معدنی در صنعت است که برای دفع آن تاسیساتی مانند حوضچه‌های ته‌نشینی، مجاری انتقال گِل‌آب، وبازیافت آب و سامانه‌ی انبارش باید ساخته شوند. مجموعه‌ی این تاسیسات سامانه‌ی دفع پسماند خوانده می‌شود. در این ضابطه از مجموعه اجزای یادشده، به سامانه‌ی انبارش پسماند (با تمرکز به سدهای پسماند) پرداخته می‌شود. واژه‌ی «سد پسماند» به سازه‌ای اتلاق می‌شود که محتوی پسماند بوده و یا برای ذخیره‌سازی پسماند ساخته شده باشد. با نگاهی به عمده‌ترین عوامل شکست تاسیسات انبارش پسماند و حوادث مربوط به آن‌ها به شرح زیر، محورهای اصلی که در این راهنما مورد توجه قرار خواهند گرفت، قابل شناسایی خواهد بود.

- نارسایی در موازنه‌ی آب
- نارسایی در ساخت
- درک عمومی ناکافی از عواملی که بهره‌برداری ایمن را تحت کنترل قرار می‌دهند.
- کمبود احساس مسوولیت در بهره‌برداران و عدم دلسوزی نسبت به طرح

با درنظر گرفتن آموخته‌ها و مشاهدات پیشین، علت شکست سدهای پسماند را به ترتیب فراوانی وقوع، می‌توان به شرح زیر خلاصه کرد:

- کنترل نامناسب و ضعیف آب (لبریزی)
- ناپایداری شیب‌ها
- بارگذاری لرزه‌ای
- پی نامناسب
- نشت آب

شواهد نشان می‌دهد که بروز اتفاقات در مورد سدهای پسماند بالارو عمومیت بیش‌تری دارند و عملکرد سدهای پسماند پایین‌رو،[۱] مشابه سدهای خاکی ذخیره آب است.

۱- در فصل سوم به معرفی انواع سدهای پسماند پرداخته خواهد شد

به طور کلی توفیق در مدیریت و برنامه‌ریزی یک طرح انباشت پسماند را می‌توان ناشی از توجه به عواملی به شرح زیر دانست[۱]:

- مشارکت ذینفعان در تصمیم‌گیری‌ها
- تحقیقات کامل و ارزیابی خطرات (ریسک)
- مستندسازی جامع
- یکپارچه‌سازی مدیریت پسماند با برنامه‌ریزی، بهره‌برداری و بستن معادن

۱-۲- روش‌های انبارش پایدار مواد پسماند

مواد پسماند ناشی از فرآوری مواد معدنی و آب‌های آلوده به آن‌ها به‌صورت بالقوه می‌توانند یکی از عمده‌ترین عوامل منفی تاثیرگذار بر محیط‌زیست باشند. این موضوع نه تنها مربوط به دوره‌ی بهره‌برداری است، که می‌تواند در دوران طولانی پس از بسته شدن معدن و توقف فعالیت‌های فرآوری نیز تداوم داشته باشد.

طی سی سال گذشته، پیشرفت قابل ملاحظه‌ای در درک نیازهای طراحی و روش‌هایی که منجر به تهیه طرحی ایمن برای سازه‌های ذخیره‌سازی مواد پسماند می‌شود، حاصل شده است. در حال حاضر این آگاهی باید دامنه‌ی خود را به ایمن‌سازی انباشتگاه‌ها برای دورانی بسیار طولانی پس از تعطیلی و توقف فعالیت‌های معدنی نیز گسترش دهد.

از این رو توجیه‌پذیری یک سد پسماند سطحی باید با دقت بررسی شود و در آن هزینه‌های بالقوه‌ی بستن سد، و نگهداری درازمدت پس از بسته شدن آن مورد توجه قرار گیرد. باید توجه داشت که برای انبارش مواد پسماند گزینه‌های دیگری نیز قابل طرح هستند که می‌توانند مزایای بسیار زیادی در ارتباط با پایداری درازمدت و کاهش ریسک‌های زیست‌محیطی در برداشته باشند. از جمله این گزینه‌ها به مواردی به شرح زیر می‌توان اشاره کرد.

- پرکردن فضاهای خالی معادن مشتمل بر معادن زیرزمینی
- مصارف جایگزین (به‌طورمثال، به‌عنوان مصالح ساختمانی)
- فرآوری مجدد پسماند برای حذف مواد مساله‌ساز در آن‌ها[۲]

۱- بولتن شماره‌ی ۱۲۱ کمیته‌ی بین المللی سدهای بزرگ (ICOLD)

۲- باید توجه داشت که مواجهه با مواد مساله‌ساز الزاما از طریق حذف آنها صورت نمی‌گیرد، بلکه می‌توان با ایجاد محدودیت از پی‌آمدهای منفی وجود چنین موادی جلوگیری کرد و به طریقی با این مواد همزیستی داشت. بدیهی است که انتخاب بین روش‌های مختلف باید با توجه به کلیه‌ی هزینه‌ها از جمله هزینه‌های مترتب بر هر نوع ریسک صورت گیرد.

- دفع در زیر آب در مناطق غیرحساس[۱] (با توجه به حداقل عمق آب مورد نیاز برای استفاده از این روش و نیز موقعیت عمومی محل معادن در ایران، این روش نمی‌تواند محل مصرفی در کشور داشته باشد. به هر حال پرداختن به جزییات این روش موضوع راهنمای فعلی نبوده و به مطالعات جداگانه‌ای نیاز دارد).

۱-۳- سدهای پسماند و سدهای ذخیره آب

هرچند سدهای پسماند مشابهت‌های متعدد با سدهای معمولیِ ذخیره‌سازی آب دارند، لیکن تفاوت‌های مهم و اساسی بین این دو نوع سد وجود دارد که تدوین و تنظیم راهنمایی خاص برای این‌گونه سدها را موجه می‌سازد.

سدهای پسماند سازه‌هایی هستند که برای انبارش مواد زاید و نامطلوب حاصل از فعالیت‌های مربوط به استحصال و یا فرآیند تولید کانی‌ها و تولید نیرو ساخته می‌شوند که این امر منجر به بروز خصوصیاتی در این نوع سدها می‌شود که با خصوصیات سدهای معمولی تفاوت دارد. برخی از این خصوصیات به شرح زیر هستند:

- تغییر خواص مصالحی که برای ساخت بدنه به کار می‌رود و یا آنچه که در مخزن ذخیره می‌شود در طول عمر معدن محتمل است.
- این سدها علاوه بر سامان‌دهی آب‌های آزاد، باید مواد جامدی را که به صورت گل‌آب به مخزن وارد می‌شود را در خود ذخیره سازند.
- ممکن است مواد جامد و آب ذخیره شده در سدهای پسماند هر دو محتوی موادی زیان‌بار برای محیط‌زیست باشند. باید توجه کرد که حتی اگر در زمان ذخیره‌سازی، این مواد فاقد آلودگی باشند، با گذشت زمان و ناشی از فعل و انفعال‌های شیمیایی، این امکان وجود دارد که عوامل زیان‌رسان به محیط‌زیست در آن‌ها پدید آید.
- هرچند ممکن است عمر عملیاتی آن‌ها کوتاه باشد، ولی، به صورت بالقوه باید از عملکرد ایمن آن‌ها برای یک دوره‌ی بسیار درازمدت، احیانا تا ابد، اطمینان حاصل شود.
- این سازه‌ها عموما در مراحل متعدد و طی چندین سال ساخته می‌شوند.
- ممکن است ساخت و به خصوص افزایش ارتفاع این سدها توسط کارکنان معدن و بدون اعمال کنترل‌ها و دیدگاه‌های مهندسی عمران و آن‌چه که در سدهای معمولی ذخیره آب متداول است،انجام شود.
- مدیریت آب نقش بسیار تعیین‌کننده‌ای دارد، به خصوص اگر مساله‌ی آلودگی مواد نیز مطرح باشد.
- نشت آب و پراکنش گرد و غبار، می‌تواند اثرات عمده‌ای بر محیط‌زیست داشته باشد.

۱- به بند ۳-۴-۳ مراجعه شود.

- فعالیت‌های روزانه، مانند انبارش مواد پسماند و بازیافت آب و نحوه‌ی انجام آن‌ها، نقشی حیاتی در تامین ایمنی مخزن دارد.
- در طی ساخت و بهره‌برداری، پدیده‌هایی مانند تغییر سرعت انبارش، ارتفاع نهایی و حتی شکل‌بندی سامانه‌ی انبارش، روالی غیرقابل پیش‌بینی دارند و وقوع آن‌ها کاملا محتمل هستند.
- در طراحی انباشتگاه باید مرحله‌ی تعطیلی بهره‌برداری از معدن را هم مدنظر داشت؛ به ترتیبی که مخزن ساخته شده بدون نیاز به نگهداری، هیچ‌گونه اثر نامطلوبی به محیط‌زیست نداشته و خطری برای آن ایجاد نکند.
- ممکن است که با گذشت زمان و براثر توسعه‌ی فن‌آوری و افزایش قیمت‌ها، مواد پسماند موجود در انباشتگاه‌ها خود دارای ارزش شده و استحصال مجدد از آن‌ها مورد توجه قرار گیرد.

از این‌رو، هرچند در برخی موارد، انبارش موفق مواد پسماند، با رعایت حداقل الزامات مربوط به سدهای خاکی معمولی نیز محقق شده است، ولی با هدف پررنگ‌تر کردن این تفاوت‌ها بهتر است از عبارت سامانه‌ی انباشت پسماند **(س ـ ا ـ پ)** به جای واژه «سد» استفاده شود

اهداف اولیه‌ی طراحی یک سامانه‌ی انباشت پسماند را به شرح زیر می‌توان برشمرد.

- ایجاد مخزنی ایمن و پایدار برای پسماند
- مدیریت ایمن آب‌های لبریز و رواناب‌های سطحی
- مدیریت آب‌های نشتی
- رسیدن به سامانه‌ای که بتواند در درازمدت به طور موثر تعطیل شده و بسته بماند، بدون آنکه هیچ اثر نامطلوبی از خود بر محیط‌زیست به جای گذارد.
- حصول تمامی اهداف ذکر شده، در چارچوب مالی قابل قبول

۱-۴- مدارک بررسی شده

در تدوین این راهنما مراجع متعددی مورد بررسی و استفاده قرار گرفته است، که فهرست آن‌ها در بخش فهرست منابع و مراجع ارائه شده است. از آن میان، از مراجعی به شرح زیر بهره‌گیری بیش‌تری شده است.

- نشریه شماره ۲۳ کمیته ملی سدهای بزرگ ایران (IRCOLD)
- نشریه‌ی «ضوابط انباشت باطله و مواد زاید در واحدهای کانه‌آرایی» (وزارت صنعت، معدن و تجارت).
- نشریه‌ی شماره‌ی ۱۲۱ کمیته‌ی بین‌المللی سد های بزرگ (ICOLD).
- نشریه‌ی شماره‌ی ۱۰۶ کمیته‌ی بین‌المللی سد های بزرگ (ICOLD).
- نشریه‌ی Guidelines on Tailings Dams از کمیته‌ی ملی سدهای بزرگ استرالیا.

۱-۵- ذینفع‌ها

همچنان‌که اشاره شد از جمله عوامل کلیدی در گسترش و پیشرفت فعالیت‌های واحدهای استخراج معدن، آن است که جامعه بپذیرد این واحدها به صورت پایدار در جهت منافع جامعه و بدون وارد آوردن صدمه به محیط‌زیست، بهره‌برداری می‌شوند و این منافع بر مشکلاتی که از این فعالیت‌ها به جامعه تحمیل می‌شود، به خوبی رجحان دارند. سدهای پسماند، معادن روباز و دپوی سنگ‌های باطله‌ی معادن، عمده‌ترین بازمانده‌ی فعالیت‌های مربوط به استخراج مواد از معادن و فرآوری کانی‌ها هستند، از این‌رو به نظر می‌رسد مشورت و نظرخواهی از ذینفعان در مراحل مختلف پیشرفت طرح‌های سدهای پسماند، یک ضرورت باشد. پیش‌آگاهی ذینفعان از اثرات اجرای یک طرح می‌تواند از مشکلاتی که در پی مشاهده‌ی این اثرات پدید می‌آید، جلوگیری کند. معمولا ذینفعان یک طرح سد پسماند به شرح زیر هستند:

- صاحبان زمین‌ها (کشاورزان و مالکان سنتی)
- مراکز جمعیتی موجود در محدوده‌ی طرح (همسایگان)
- ارگان‌های مختلف دولتی در ارتباط مستقیم (صادرکننده‌ی مجوزها و سازمان‌های مراقبتی و نظارتی)
- ارگان‌های مختلف دولتی با ارتباط غیرمستقیم (وزارت‌خانه‌های مسوول در بخش راه، آب، کشاورزی و نفت)
- ارگان‌های درگیر در برنامه‌ریزی، طراحی، ساخت، بهره‌برداری و بستن سدهای پسماند که باید از الزامات قانونی مربوط به دریافت نظرات سایر مراجع ذینفع، در هر مرحله، آگاهی کافی داشته باشند.

۱-۶- فعالیت‌ها و روال‌های مدیریت سدهای پسماند

در ذخیره‌سازی پسماند الزامات قانونی باید رعایت شوند و به طور کلی طراحی سامانه‌های مربوط به ذخیره‌سازی باید در تطابق با دستورالعمل‌های شناخته شده باشد. قطع نظر از محل اجرای طرح و طبیعت آن، عموما روالی که برای تحقق طرح‌ها دنبال می‌شود، یکسان است. در شکل (۱-۱)، روالی به صورت نمونه معرفی شده است. فعالیت‌ها با توجه به حوزه‌ی مسوولیت‌ها و منافع، بین چهار گروه[۱] به شرح زیر تقسیم شده‌اند.

- گروه معدن: نماینده‌ی مالکیت، مشتمل بر دارنده‌ی منافع مالی، مدیریت طرح، بهره‌بردار، دارنده‌ی مسوولیت در مواردی چون ایمنی و رعایت الزامات و مقررات قانونی و ...
- گروه مهندسی: نماینده‌ی فعالیت‌هایی که عمدتا نیازمند بهره‌گیری از مهارت‌های مهندسی و حرفه‌ای است.
- گروه ضابط مقررات: نماینده‌ی فعالیت‌هایی که بر اساس قوانین موجود باید انجام شوند تا، اجرای یک طرح محقق شود. البته در این راهنما به مسایل حقوقی و قانونی (وظایف ارگان‌های مسوول مختلف، قوانین و اسناد بالادستی،

۱- با هدف اختصار، در جدول، واژه‌ی «گروه» حذف شده است.

ارگان‌های متولی و...) پرداخته نمی‌شود و تنها موارد فنی - اجرایی موضوع آن است. درصورت نیاز می‌توان به قانون اصلاح قانون معادن (قانون اصلاح قانون معادن شماره ۴۴۰/۵۶۷۷۳ مورخ ۱۲/۹/۱۳۹۰- مرجع تصویب: مصوبات هیات وزیران) و یا قانون ضوابط زیست‌محیطی فعالیت‌های معدنی (شماره: ۵۱۳۹ ت ۲۹۳۷۹ ه، تاریخ: ۱۳۸۴/۰۲/۰۳ سازمان حفاظت محیط‌زیست ـ وزارت صنایع و معادن- مرجع تصویب: مصوبات هیات وزیران) مراجعه نمود.

- گروه ذینفع‌ها: جامعه و کلیه ذینفعانی که اجرای طرح بر آن‌ها تاثیرگذار خواهد بود، مانند مالکان زمین‌ها، مقامات محلی، زیرساخت‌ها، محیط‌زیست، میراث‌های فرهنگی و نظایر آن‌ها

انتظار می‌رود که برون‌داد چنین روالی، طرحی ایمن، پایدار و از نظر اقتصادی موجه برای ذخیره‌سازی مواد پسماند، که در عین حال حمایت‌های مردمی را هم با خود دارد، باشد.

شکل ۱-۱- روال برنامه‌ریزی، طراحی، ساخت، بهره‌برداری و بستن (رهاسازی) سدهای پسماند

فصل ۲

ملاحظات کلیدی در مدیریت

انتظار می‌رود در تمام طول دوره‌های مختلف عمر سد پسماند، مشتمل بر دوره‌های طراحی مفهومی، طراحی (پایه و تفصیلی)، ساخت، بهره‌برداری، بستن، نوتوانی و بازسازی، مدیریت طرح ملتزم به حفظ خطرپذیری در سطحی قابل پذیرش، و تعمیم آن به دوران پس از ترک سد پسماند باشد. از این‌رو اهداف اصلی کلیه‌ی برنامه‌ریزی‌هایی که مدیریت طرح‌ها انجام می‌دهند، باید در کلیه‌ی ذینفع‌ها، اطمینان کافی به طی شدن روالی مناسب را به‌وجود آورند.

۲-۱- انتخاب راهبرد مدیریت مواد زاید[1]

۲-۱-۱- راهبردهای مدیریتی

در راهبرد مدیریت مواد پسماند، روش‌های حمل، تخلیه، ذخیره و نگهداری دائمی باطله‌های تولیدی[2] تشریح می‌شود. بدیهی است که این راهبرد باید در هماهنگی با نوع فرآیند، حجم نهایی، مشخصات مواد پسماند و خصوصیات مناطق در دسترس برای انبارش مواد، از جمله شرایط آب و هوایی، الزامات دراز مدت (مشتمل بر پوشش سطحی)، الزامات ایمنی و بهداشت محیط کار، تدوین شده باشد. در راهبرد تعیین شده، باید هزینه‌های مربوط به مرحله‌ی بستن و فعالیت‌های مراحل بعد از آن مورد توجه قرار گیرد و اطمینان حاصل شود که تصمیم‌های درستی در مرحله‌ی طراحی مفهومی اتخاذ می‌شود.

از جمله اقداماتی که در طراحی و اجرای تاسیسات ذخیره پسماند باید در نظر قرار گیرد، پدافند غیرعامل (Passive Defense) است. پدافند غیرعامل مجموعه اقداماتی را گویند که انجام می‌شود تا، خسارات احتمالی ناشی از جنگ و یا خرابکاری عمدی به حداقل میزان خود برسد؛ به بیان دیگر هر اقدام غیرمسلحانه‌ای که موجب کاهش آسیب‌پذیری نیروی‌انسانی، ساختمان‌ها، تاسیسات، تجهیزات، اسناد و شریان‌های کشور در مقابل عملیات خصمانه و مخرب دشمن گردد، پدافند غیرعامل گفته می‌شود.

راهبرد مدیریت مواد پسماند، علاوه بر روش‌های ذخیره‌سازی و دفع، باید روش‌های بستن، پایش پس از بستن[3]، ترک نهایی و یا نگهداری را نیز مورد توجه قرار دهد. برای مرحله‌ی بستن با توجه به اهدافی که در پی آن دنبال می‌شود، گزینه‌های متعددی قابل طرح است؛ اما در مورد ذخیره‌سازی و دفع مواد پسماند، روش‌های مختلف را می‌توان تقریبا محدود به مواردی به شرح زیر دانست:

الف- روش‌های مختلف ذخیره‌سازی (انباشت)

- سد خاکی تک مرحله‌ای[4]

1- Selection of Waste Management Strategies
2- Tailing Waste Products
3- Post Closure Monitoring
4- Single Stage Embankment

- سد با ترفیع مرحله‌ای[1] (احتمالا با استفاده از مواد پسماند به عنوان مصالح ساخت)
- توده‌ی خشک پسماند
- در داخل فضای خالی[2] دپوهای سنگ باطله
- پرکردن معادن روباز
- پرکردن معادن زیرزمینی
- تخلیه در کف دریا

در این راهنما فقط به دو ردیف نخست پرداخته می‌شود.

ب- روش‌های مختلف دفع[3]

- انباشت زیر سطح آب[4]

در این روش در محل‌هایی که آب برسطح مواد انباشته شده وجود دارد مواد پسماند به داخل آب تخلیه می‌شود. ته‌نشینی مواد، حین حرکت در درون آب موجب تشکیل لایه‌هایی با تراکم کم در زیر سطح آب می‌شود. با استفاده از این روش، درصورتی‌که آب حاوی اکسیژن نباشد تا موجب اکسیداسیون سولفیدها شده و تولید اسید سولفوریک نماید، از پی‌آمدهای منفی زیست‌محیطی پسماندهای سولفیدی می‌توان اجتناب نمود، به علاوه در این روش از تولید گرد و غبار در محیط نیز جلوگیری می‌شود.

- انباشت سطحی ساحلی[5]

در این روش جریان حاوی مواد پسماند به ساحل حمل شده و رها می‌شود. این جریان به جریان‌های کوچک با سرعت کم تقسیم می‌شود. سرعت کم این جریان‌ها باعث ته‌نشینی مواد پسماند در ساحل شده و در نتیجه چگالی مواد فرونشسته افزایش می‌یابد و ذرات جامد باقی‌مانده، خشک و متراکم می‌شوند. آب‌های اضافی نیز در گودترین محل مخزن جمع شده و مواد ریزدانه‌ای که همچنان در آن مانده در آن محل ته‌نشین می‌شوند.

1- Multi-Stage Raising
2- Within Void
۳- در نشریه‌ی «ضوابط انباشت باطله و مواد زاید در واحدهای کانه‌آرایی (وزارت صنعت معدن و تجارت). طبقه‌بندی نسبتا مشابهی با برخی توضیحات بیش‌تر ارائه شده است.
4- Subaqueous Deposition
5- Sub aerial Deposition

- انباشت مرکزی گل‌آب غلیظ[1] شده

در این روش مواد پسماند که در گل‌آبی با غلظت زیاد (حدود ۷۰ درصد) منتقل می‌شوند از طریق لوله‌ای که به طور قائم و با خروجی روبه بالا قرار گرفته است، در نقطه‌ای در حدود مرکز یک منطقه‌ی محصور تخلیه می‌شود. این روش دارای مزایایی است، از جمله این‌که هنگام تخلیه، مواد به صورت مخروطی انباشته می‌شوند و محل کم‌تری را نسبت به روش‌های دیگر اشغال می‌کنند. همچنین این روش میزان سطح حوزه‌ی آبگیر انباشتگاه را کاهش داده، بنابراین هزینه ساخت و نگهداری سد کاهش می‌یابد. ضمن این‌که به علت عدم نیاز به افزایش دیواره در زمان‌های متوالی هزینه‌های عملیاتی نیز کاهش می‌یابد.

- ساحل‌سازی و جدایش توسط چرخابه[2]

در شرایطی که بخش عمده‌ای از مواد پسماند درشت دانه هستند یا زمانی که جدایش کامل بین این مواد (بر اساس دانه‌بندی) میسر باشد، برای احداث سدهای پسماند می‌توان از روش هیدروسیکلون یا چرخابه استفاده نمود.

- دفع همراه با مواد درشت دانه و یا سنگ‌های باطله معدن[3]

در این روش، انبارش مواد پسماند ریزدانه به‌طور مخلوط با سنگ باطله‌ی درشت‌دانه‌ی معدن انجام می‌شود، این امر موجب کاهش حجم فضای خالی بین درشت‌دانه‌ها شده و به موازات، موجب افزایش مقاومت مکانیکی مجموعه می‌شود.

- خشک‌سازی با استفاده از نور خورشید و یا مکانیکی و انباشت خشک مواد

در این روش، در نزدیکی معدن فضایی برای خشک‌سازی مصالح پسماند درنظر گرفته می‌شود. درصورتی‌که زمین در محل انبارش، شیبدار باشد، احداث خاکریز و یا محصور نمودن محل انبارش مورد توصیه است. با توجه به ماهیت خشک‌سازی (مکانیکی یا طبیعی) و نیاز آن به فضای زیاد و یا امکانات مکانیکی با هزینه‌ی قابل توجه، استفاده از این روش معمولا از نظر اقتصادی به‌صرفه نیست؛ مگر این‌که با درنظر گرفتن شرایط و محدودیت‌ها، متصدیان معدن تصمیم بر استفاده از این روش داشته باشند.

- استفاده‌های اقتصادی در صورت امکان

درصورت رعایت مسایل زیست‌محیطی، می‌توان به غیراز استفاده‌ی از مواد پسماند در ساخت سد، در سایر فعالیت‌ها نیز از این مواد به‌عنوان مصالح ساختمانی استفاده نمود. در این زمینه در سطح بین‌المللی تجربیاتی از استفاده‌ی در روسازی یا بدنه‌ی جاده‌ها مطرح شده است.

1- Central Thickened Discharge (CTD)
2- Hydro-cyclone
3- Co-Disposal

- فرآوری بیش‌تر

درصورتی‌که فرآوری بیش‌تر مواد پسماند اقتصادی دانسته شود، دفع این مواد به‌طور موقت انجام می‌شود. نحوه دفع باید با توجه به فرآیندهای مورد نظر برای فرآوری بیش‌تر تعیین شود.

۲-۱-۲- اصول عمومی مدیریت دفع مواد در سدهای پسماند

اصول کلی پذیرفته شده در مدیریت انبارش مواد پسماند روی سطح زمین در سدها را می‌توان به شرح ذیل برشمرد، البته با توجه به شرایط هر طرح، در ازای اهمیت بیش‌تری که به برخی دیگر از اصول داده می‌شود، ممکن است طراحان ناگزیر از چشم‌پوشی محدود در برخی از اصول شوند.

- در کاربری سدهای پسماند، باید اولویت به انبارش مواد پسماند داده شود؛ بر این مبنا، حجم آب ذخیره شده در سدهای پسماند باید به حدی کم باشد که خشک شدن و تحکیم این مواد به سهولت انجام شود؛ مگر این‌که نتایج حاصل از الزامات طراحی، همچون ضرورت کاستن از امکان وقوع اکسیداسیون و یا دیگر واکنش‌های شیمیایی و یا جلوگیری از پراکنش گرد و غبار، تخلیه در زیر آب، الزامی دانسته شود.
- هرگاه از سد پسماند برای ذخیره آب مورد نیاز در فرآوری معدنی، ایجاد توازن در ذخیره‌سازی، کنترل ایجاد اسید و یا ذخیره‌ی آوردهای قابل استحصال استفاده شود، باید به عامل بالقوه‌ی کاهش وزن مخصوص درجای مواد پسماند[1] و افزایش احتمال نشت و روگذری[2] سد در این شرایط توجه نمود.
- نیاز به استفاده از پوشش مناسب یا لایه‌ی زهکش برای کمینه‌سازی و یا مدیریت آب‌های نشتی، در برنامه‌های کاری اولیه‌ی طرح، باید مورد ارزیابی قرار گیرد. این امر باید مبتنی بر نتایج مطالعات دقیق هیدروژئولوژی، تجزیه و تحلیل سمّیت مواد فروشوینده[3] و اثرات زیست محیطی باشد. در صورت نیاز، آب‌های نشتی از سدهای پسماند باید در سدهایی در پایین‌دست ذخیره و نگهداری شوند.
- متناسب با کیفیت آب‌های نشتی یا سرریزی، پایش کیفیت و نصب یک سامانه‌ی کنترل و تصفیه آب در محلی بین مخزن و محل ورود آب به طبیعت، ممکن است ضروری دانسته شود.
- از انبارش دوغاب در لایه‌های ضخیم باید اجتناب کرد؛ این امر معمولا منجر به انبارش پسماندهایی ضعیف (از نظر مقاومت مکانیکی) و با تحکیم یافتگی کم شده، و حجم مخزن بیش‌تری را برای انبارش نیاز خواهد داشت. به علاوه، پوشاندن روی مخزن و یا اعاده به شرایط قابل قبول با صعوبت همراه خواهد شد.

1- In-Situ Density of Tailings
2- Over Topping
3- Leach Ate

- توصیه می‌شود برای حصول اطمینان از تحکیم سریع، خشک شدن و افزایش مقاومت، در انبارش روزمینی با روش بالارو، مواد پسماند درشت دانه در مجاورت دیواره‌ی خاک‌ریز تخلیه شوند.
- درصورتی‌که، براساس محاسبات، از پایداری ژئوتکنیکی توده‌های خشک پسماند در شرایط مختلف بارگذاری (ازجمله وقوع زلزله) اطمینان حاصل شود، می‌توان مواد پسماند را در ترازهایی بالاتر از تراز تاج سد پسماند نیز ذخیره کرد. این ذخیره‌سازی می‌تواند به‌صورت ساحل‌سازی و یا انبارش مواد خشک انجام شود.
- در تخلیه‌ی مواد، از روش‌هایی که ممکن است همراه با افزایش احتمالِ تولید گرد و غبار، یا فروشویی[1] مواد پسماند و انتقال مواد فروشوینده باشد باید اجتناب کرد
- در طراحی سامانه‌های انبارش، باید اثرات نامطلوب واکنش‌های شیمیایی در توده‌ی مواد پسماند، پی و سازه‌های مربوط مورد توجه قرار گیرند.
- حتی در طراحی مخازن سدهایی که از عبور آب از آن‌ها به پایین‌دست باید جلوگیری کرد، علاوه بر حجمی که باید برای نگهداری سیلاب‌های ورودی منظور شود، ساخت سرریز برای عبور سیلاب‌های بزرگ‌تر نیز باید مدنظر قرار گیرد. باید پیش‌بینی‌هایی برای سرریزی ایمن آب در شرایط وقوع سیلاب‌های بیش از سیلاب طراحی صورت گیرد.
- در جانمایی سدهای پسماند باید خطرات مجاورت سد با حفاری‌های روباز و یا زیرزمینی موجود، و یا دارای احتمال حفاری در آینده و همچنین پی‌آمدهای تخریب احتمالی سد برمحیط‌زیست و مراکز جمعیتی پایین‌دست مورد توجه قرار گیرد.
- تمامی سدهای پسماند باید تحت پایش قرار داشته باشند. با این پایش می‌توان فرضیات طراحی را با عملکرد مشاهده شده مقایسه نمود و در صورت نیاز اصلاحاتی را در آن اعمال کرد.
- هرگاه که ممکن باشد، ساخت مرحله‌ای، با هدف کاستن از میزان سرمایه‌گذاری‌های اولیه و نیز فراهم آوردن امکان اعمال تغییرات ناشی از تغییر در عملکرد، فرآیندها و یا میزان تولید، باید در برنامه کار قرار گیرد.
- در طراحی‌ها باید به الزامات مربوط به دوره‌ی بلندمدت پس از بستن سد توجه کرد. از جمله‌ی این الزامات می‌توان به ضرورت باقی گذاشتن زمینی با شکل[2] پایدار، همچون شرایط طبیعی سطح زمین، و بدون نیاز به نگهداری، اشاره کرد.

1- Leaching
2- Form

۲-۲- مدیریت ریسک

۲-۲-۱- روال مدیریت ریسک

هرچند، ممکن است بروز خرابی عمده در سدهای پسماند به نسبت نادر باشد، ولی در سال‌های گذشته کاهشی در نرخ خرابی‌های این نوع سدها، از نظر تعداد مشاهده نمی‌شود، و هنوز سالانه ۱ یا ۲ خرابی عمده در جهان تجربه می‌شود، که پی‌آمدهای زیان‌بار آن‌ها می‌تواند ابعاد چشم‌گیری داشته باشد. خرابی‌های پیشین منجر به بروز تلفات جانی، خسارات فاجعه‌بار به محیط‌زیست، ناآرامی‌های اجتماعی، دخالت‌های محدود کننده توسط ضابطین قانون و نیز زیان‌های مالی و صرف هزینه برای صاحبان معادن شده است. موفقیت در پیاده کردن سامانه مدیریت پسماند، از طریق مدیریت موثر ریسک مترتب بر سدهای پسماند در طی عمر آن‌ها و پس از آن، منافع مالی، اعتباری و پایداری[1] قابل توجه و قابل اندازه‌گیری در برخواهد داشت.

در صورت نبود عزم اولیه برای کنترل و مدیریت ریسک در هر یک از مراحل طراحی، ساخت و بهره‌برداری سامانه‌های دفع پسماند، قطع‌نظر از جزییات و کیفیت طراحی‌ها و ساخت، بروز خرابی در هر یک از اجزای سامانه (مانند زهکش‌ها و یا فیلترها) و یا اصولا کل سامانه قابل پیش‌بینی است.

در روال‌های پیشروی مدیریت مواد پسماند، محدودیت‌های بالقوه‌ی طراحی و عدم قطعیت‌ها، شناسایی می‌شوند. این شناسایی با استفاده از مدیریت مبتنی بر شناخت ریسک در طول عمر تاسیسات از مرحله‌ی شکل‌گیری طرح تا طراحی و ساخت و بهره‌برداری و بستن صورت می‌گیرد.

شیوه‌های مبتنی بر شناخت ریسک با تمرکز بر مواردی که از مبانی دستیابی به اهداف عملکردی هستند، تبدیل به ابزاری عملی و موثر برای مدیریت طرح‌ها شده‌اند. اقدام به چنین برخوردی در مراحل آغازین پروژه‌ها، اطمینان خاطر بیش‌تری را از نظر طراحی‌ها به صاحبان طرح می‌دهد، به علاوه طراحان را قادر می‌سازد تا طرح مناسب‌تری را در تطابق با ریسک‌های مورد نظر تهیه نمایند.

فرآیند مدیریت ریسک باید در مرحله‌ی شکل‌گیری طرح آغاز شود. در این فرآیند با اعمال مدیریت بر مواد زاید، ابتدا سعی می‌شود تا مواد زاید حذف شوند و یا کمیت آن‌ها کاهش و کیفیت‌شان ارتقا یابد. نمونه‌هایی از تدابیر سودمند در مدیریت ریسک به شرح زیر قابل طرح است.

- اجتناب از مواجه با احتمال خطر، با این رویکرد که فعالیت‌هایی که منجر به افزایش احتمال خطر می‌شوند شروع نشده و یا تداوم نیابند.

1- Sustainability

- پذیرش ریسک با هدف بهره‌گیری از یک فرصت
- حذف منابع موجود ریسک
- تغییر احتمال وقوع
- تغییر پی آمدها
- تسهیم ریسک با دیگران (برد- برد) مانند پرکردن فضاهای خالی در معادن همسایه
- پذیرش ریسک با تصمیم آگاهانه

نخستین قدم در روال‌های مبتنی بر شناخت اثرات ریسک، توجه به گزینه‌های مختلف روش انبارش است. از جمله‌ی این گزینه‌ها، تخلیه پسماند در کاوک[1] و یا، با هم‌گذاری[2] با مواد باطله‌ی معدنی است. در برخی از طرح‌ها این گزینه‌ها می‌تواند موجب کاستن از پیچیدگی‌های مربوط به سازه‌های مورد نیاز برای انبارش شود، به این طریق می‌توان احتمال خرابی آن‌ها و پی‌آمدهای محتمل این خرابی‌ها را کاهش داد.

در ادامه‌ی کار، در مراحل طراحی، ساخت و بهره‌برداری نیز، روال مدیریت ریسک باید تداوم یابد. بخشی از فعالیت‌های بهره‌برداری، باید در برگیرنده‌ی پایش ریسک‌ها، و بازبینی روال‌هایی از برنامه‌ی مدیریت پسماند باشد، که کلیه‌ی وجوه روال‌های مدیریت ریسک را شامل می‌شود. هدف از این امر، که مواردی به شرح زیر را دربر می‌گیرد، کسب اطمینان از وجود کنترلی موثر و کارآمد بر تمامی فعالیت‌های مربوط به طراحی،ساخت و بهره‌برداری است.

- جمع‌آوری اطلاعات بیش‌تر برای ارتقای سطح ارزیابی ریسک‌ها.
- تجزیه و تحلیل رویدادها و کسب تجربه از تغییرات، روند کار، موفقیت‌ها و شکست‌ها.
- ردیابی بروز تغییرات در مفاهیم داخلی و خارجی، از جمله تغییرات در مبانی ریسک، و خود ریسک،که ممکن است منجر به تجدید نظر در نحوه‌ی برخورد با ریسک و اولویت‌بندی‌ها بشود.
- تشخیص بروز ریسک‌های جدید.

سدهای پسماند و بارهای وارده بر آن‌ها، ماهیتا، به طور دائم در حال تغییر هستند، از این‌رو برنامه‌ریزی و مدیریت ریسک در این سدها، باید شرایطی چنین متغیر را مورد توجه قرار دهد. این مدیریت باید در هسته اصلی کلیه فعالیت‌های مربوط به برنامه‌ریزی‌ها، طراحی، ساخت، بستن تاسیسات ذخیره‌ی پسماند و اعاده‌ی وضعیت مناسب قرار داشته باشد. در پیوست شماره ۱، اصول کلی مدیریت ریسک و اجزای کلیدی مورد نیاز در روال‌های این مدیریت ارائه شده است.

1- Pit
2- Co- Location

۲-۲-۲- ارزیابی احتمال خطر

به طور کلی منظور از ارزیابی احتمال خطر، شناخت، تجزیه و تحلیل، و سنجش کمّی پی‌آمدهای بروز خطر است،که در مراجع مختلف می‌توان با تکنیک‌های انجام چنین کاری آشنایی پیدا کرد.

از روش‌های گوناگونی می‌توان برای ارزیابی خطرات در یک طرح پسماند و روش‌های بهره‌برداری از آن استفاده کرد. انتخاب روش بستگی به پیچیدگی خطر، اهمیت جزء تحت بررسی (از نظر ایمنی، سلامتی، محیط‌زیست، تداوم فعالیت اقتصادی)، پی‌آمدهای بالقوه‌ی خرابی، و کمیت و کیفیت اطلاعات پایه‌ی موجود دارد. برای ارزیابی ریسک سدهای پسماند، شاخص‌های عمده در خرابی بالقوه‌ی اجزا، به‌طور منفرد و یا در ترکیب با یکدیگر (درصورتی‌که این ترکیب بتواند منجر به بروز خرابی شود) باید مورد شناسایی قرار گیرند.

برای سنجش قابلیت پذیرش ریسک اجزای ساده و یا مرکب مشخص از یک سد پسماند (مانند ظرفیت سرریز)، که در رده‌ی سدهای با «پی‌آمد نامطلوب زیاد» قرار می‌گیرد، طراح‌ها غالبا ارزیابی ریسک را به صورت کمی انجام می‌دهند.

برای رده‌بندی اولویت‌های کنترل خطر، طرح‌های اقدام در شرایط بروز خطر، و یا نشان دادن ریسک‌های مربوط به بروز حوادث مرکب (بروز خطای متوالی) غالبا از ارزیابی‌های کیفی یا نیمه کمّی استفاده می‌شود.

۲-۳- رده‌بندی سدهای پسماند از نظر پی‌آمد خرابی‌های محتمل

به عنوان بخشی از فعالیت‌های مربوط به طراحی سدهای پسماند، دو رده از پی‌آمدها باید مورد ارزیابی قرار گیرند. یکی رده‌ی پی‌آمدهای ناشی از خرابی سد، و دیگری رده‌ی پی‌آمدهای ناشی از سرریزی سد.به این ترتیب الزامات مختلف طراحی و بهره‌برداری نظیر طراحی سرریز و حجم ذخیره‌ی سیلاب مورد نیاز را می‌توان تعیین کرد.

۲-۳-۱- رده‌بندی مبتنی بر پی‌آمد خرابی سد

رده‌بندی سدهای پسماند برمبنای پی‌آمدهای ناشی از خرابی آن‌ها، با ارزش‌گذاری پی‌آمدهای تخلیه‌ی آب و پسماند به پایاب در پی خرابی سد، از طریق تجزیه و تحلیل ریسک انجام شده، و بر این اساس پارامترهای مورد نیاز طراحی برای مواجهه با ریسک انتخاب می‌شود. در این روند، لازم است به احتمال بالقوه‌ی تخریب تاسیسات توجه شود و اثراتی که این تخریب بر وضعیت اجتماعی، اقتصادی، محیط‌زیستی و انسانی دارد، مدنظر قرار گیرد.

باید توجه داشت که در مراحل مختلف عمر سدهای پسماند، تفاوت‌های عمده‌ای در پی‌آمدهای وقوع حوادث نامطلوب مورد انتظار است. به عنوان مثال در مرحله‌ی بهره‌برداری، مشکلات ناشی از بروز آبشستگی را به‌راحتی می‌توان

برطرف نمود، این در حالی است که اگر در مرحله‌ی پس از بسته شدن سد[۱] نگهداری مناسبی از آن صورت نگیرد، این مشکل می‌تواند به مکانیزمی برای خرابی‌های بزرگ‌تر تبدیل شود. به‌طور مشابه، آب‌های آلوده‌ی نشتی در طی دوره‌ی بهره‌برداری می‌توانند به راحتی جمع‌آوری و تصفیه شوند، در حالی که پس از بسته شدن سد، چنین شرایطی می‌تواند منجر به صدمات زیست‌محیطی عمده‌ای شود. به‌طور کلی صدمات ناشی از یک خرابی بزرگ مقیاس در سدهای پسماند، با گذشت زمان برای سازه‌های بزرگ‌تر و مرتفع‌تر افزایش می‌یابد. از این رو لازم است که ارزیابی پی‌آمدها، برای هریک از مراحل عمر سدها، به طور جداگانه و مستقل انجام شود.

طبقه‌بندی مبتنی‌بر پی‌آمد باید با در نظر گرفتن احتمال بالقوه‌ی افزایش خسارت‌ها و کاهش ایمنی مرتبط با پسماندهای معدنی و براساس روال‌هایی که به این منظور تدوین شده‌اند صورت گیرد. معمولا، بخشی از اطلاعات پایه‌ای مورد نیاز برای این طبقه‌بندی را نتایج ارزیابی پی‌آمدهای ناشی‌از خراب شدن سد، تشکیل می‌دهد. از جمله مواردی که در این ارزیابی مورد توجه قرار می‌گیرد، شبیه‌سازی آثار شکست سد[۲] در پایین‌دست است. این شبیه‌سازی باید تحت شرایط مختلف سیلابی مشتمل بر، سیلاب در روزهای آفتابی[۳] و سیلاب بر اثر وقوع بارندگی‌های بزرگ، انجام شود.

برای تحلیل شکست سد می‌توان از روش‌های پیچیده‌ی محاسباتی هیدرولوژی و یا برای موارد ساده از روش‌های تقریبی ساده و کیفی استفاده کرد. در شبیه‌سازی سدهای پسماند، غالبا فرض می‌شود که پسماند با آب جایگزین شود. هرچند که در برخی موارد، از مدل‌های پیچیده‌ی جریان گل[۴] نیز استفاده می‌شود. مدل‌سازی جریان مخلوط مواد پسماند و آب پیچیده است و تدوین سناریوی واقع‌بینانه از آن به میزان قابل توجهی نیازمند قضاوت مهندسی است.

با تلفیق نتایج محاسبات مربوط به جریان آب یا گل‌آب در پایاب سد، با نقشه‌های توپوگراقی منطقه، نقشه‌های نشان دهنده‌ی محدوده آب‌گرفتگی و عمق و سرعت جریان، تهیه می‌شوند، و سپس با توجه به تعداد جمعیت در معرض خطر، ماهیت موادی که رها می‌شود و شدت صدماتی که این مواد بالقوه می‌توانند با توجه به وضعیت موجود به محیط وارد کنند، پی‌آمدهای این آب گرفتگی ارزیابی شده و رده‌بندی می‌شوند. توجه به این نکته ضروری است که واکنش جمعیت‌های در معرض خطر، به شکستگی سدهای پسماند (که منجر به جاری شده گل‌آب و مواد زیان‌بار می‌شود) با واکنش جمعیت‌های ساکن در پایاب سدهای ذخیره‌ی آب به خرابی این نوع سدها متفاوت است، از این‌رو ارزیابی تلفات جانی ناشی از خرابی سدهای پسماند، باید محافظه‌کارانه صورت گیرد. با توجه به ماهیت پسماندها که بالقوه محتوی مواد زیان‌آور هستند، لازم است رویکردی که در برگیرنده‌ی صدمات بهداشتی و محیطزیستی و آثار آن‌ها باشد، مورد نظر

۱- مرحله ترک معدن

2- Dam Break
3- Sunny Day Floods
4- Mud Flow

قرار گیرد. از این‌رو، در ارزیابی پی‌آمدهای خرابی سامانه‌های ذخیره‌ی پسماند، توجه به تفاوت در ماهیت فیزیکی و ژئومکانیکی مخلوط پسماند- آب در مقایسه با آب خالص، ضروری است.

نظر به این که در حال حاضر ضوابط و معیارهایی برای ارزیابی و تعیین رده‌ی سد بر مبنای پی‌آمدهای تخریب، در سطح ملی موجود نیست توصیه می‌شود تا تدوین چنین معیارها و ضوابطی، از یکی از روش‌هایی که در ادامه معرفی می‌شود به این منظور استفاده شود.

- استفاده از ضوابط و معیارهای جاری در یکی از کشورهای صنعتی. باید توجه شود که با انتخاب ضوابط و معیارهای یک کشور به عنوان مبنای رده‌بندی، لازم است دیگر فعالیت‌های طراحی نیز در هماهنگی با معیارهای آن کشور صورت گیرد. در پیوست شماره‌ی دو، به عنوان نمونه، اطلاعاتی در مورد این رده‌بندی در کشور استرالیا ارائه شده است.
- تدوین معیار خاص برای هر طرح و کسب تاییدهای لازم از مراجع ذیربط، پیش از شروع کارهای طراحی اولیه. در تدوین این معیار عوامل اقتصادی، بهداشت عمومی، پی‌آمدهای زیست محیطی و تلفات جانی باید مورد توجه قرار گیرد. با توجه به بررسی‌های انجام شده درخصوص طبقه‌بندی‌های متعارف در برخی از مراجع، توصیه می‌شودکه سدها از نظر پی‌آمد خرابی در پنج رده به شرح زیر قرارداده شوند.[۱]
  - پی‌آمد کم
  - پی‌آمد قابل توجه
  - پی‌آمد عمده
  - پی‌آمد زیاد
  - پی‌آمد بسیار زیاد

۲-۳-۲- رده‌بندی مبتنی برپی‌آمدهای زیست محیطی سرریزی سد

رده‌بندی مبتنی برپی‌آمدهای زیست محیطی سرریزی سد را هم می‌توان مانند رده‌بندی مبتنی برپی‌آمد خرابی سد انجام داد. با این تفاوت که در این رده‌بندی، فقط اثرات سرریزی آب از مخزن سد در شرایط وقوع سیلاب در فصول با بارش زیاد مورد توجه قرار می‌گیرد، که معمولا این اثرات محدود به خسارت‌های زیست محیطی می‌شود. هرچند به این ترتیب می‌توان انتظار داشت که رده‌بندی مبتنی برپی‌آمدهای زیست محیطی سرریزی سد، به خصوص در طرح‌هایی که

۱- در این راهنما هر جا که نیازی به رده‌بندی وجود داشته است از این پنج رده استفاده شده است.

احتمال بروز تلفات جانی در آن‌ها وجود ندارد، در رده‌ای پایین‌تر از رده‌بندی مبتنی برپی‌آمد خرابی سد باشد،ولی پی‌آمدهای زیست محیطی بسیار زیاد می‌تواند منجر به قرارگیری سد در رده‌ی سدهای با پی‌آمد زیاد شود.

۲-۴- برنامه‌ریزی

۲-۴-۱- دوره‌ی عمر ـ برنامه‌ریزی معدن

تاسیسات انبارش مواد پسماند باید برای ذخیره ایمن آب و مواد پسماند در محیطی پویا طراحی شوند. عمر این تاسیسات محدود به عمر بهره‌برداری از معدن نیست و سال‌های متمادی پس از بسته شدن معدن را نیز در برمی‌گیرد. در حال حاضر دامنه‌ی گسترده‌ای برای دوره‌ی عمر طراحی سدهای پسماند، از یک هزار سال در ایالات متحده آمریکا و یک هزار تا دو هزار سال در کشورهای عضو اتحادیه اروپا، در نظر گرفته می‌شود. برای تعیین طول دوره‌ی بستن سامانه‌ی دفع پسماند باید مقیاس‌های زمانی پدیده‌های زمین‌شناسی مدنظر قرار گیرد. با توجه به این‌که در حال حاضر در اروپا انباشتگاه‌های پسماند با عمری بیش از هشتصد سال وجود دارند که همچنان مورد پایش قرار می‌گیرند، لذا دوره‌ی عمر یک هزار ساله معقول به‌نظر می‌رسد.

برای دستیابی به یک سامانه‌ی دفع پسماند اقتصادی و ایمن، تمامی فرآیندها، سامانه‌ها، روال‌ها و فعالیت‌ها باید در برنامه‌ریزی به طور جامع مورد توجه قرار گیرند. موارد اثرگذار بر طراحی و مدیریت سامانه‌ی دفع پسماند، مشتمل بر موضوع‌هایی به شرح زیر است:

- طراحی مفهومی روش‌های مناسب برای حمل، دفع و انبارش (فصل سوم - روش‌های انبارش مواد پسماند و اصول رسوب‌گذاری).
- مشخصات قابل انتظار مواد پسماند در طی دوره‌ی عمر معدن و چگونگی بروز تغییرات محتمل کمّی و کیفی در آن‌ها (فصل چهارم ـ رفتار و تعیین خصوصیات مواد پسماند).
- مدیریت آب، آنچه که نتیجه‌ی بارش‌های جوی است، یا آب‌های اضافی همراه با گل‌آب برای جابجایی رسوب (فصل پنجم ـ مدیریت آب).
- محاسبات و طراحی تفصیلی اجزای مختلف سامانه، مشتمل بر طرح ترفیع و بستن (فصل ششم ـ محاسبات و طراحی).
- ساخت تاسیسات (فصل هفتم ـ ساخت) مشتمل بر عملیات افزایش ارتفاع سد در چند مرحله
- بهره‌برداری از تاسیسات انبارش (فصل هشتم ـ بهره‌برداری) مشتمل بر انبارش مواد پسماند، برنامه‌ریزی و تامین منابع مالی برای عملیات ترفیع مرحله‌ای، پایش مسایل زیست‌محیطی، و شاخص‌های اصلی پایداری با هدف مقایسه‌ی عملکرد واقعی سامانه در مقابل نتایج طراحی‌های اولیه و برنامه‌های مدیریت در شرایط اضطراری.
- بستن معدن به نحوی که از عملکرد مطابق انتظار ذینفعان و الزامات قانونی کسب اطیمنان شده باشد. (فصل نهم ـ بستن معدن).

در برنامه‌ریزی جامع برای عمر معدن، کلیه‌ی پیش‌آمدهای بالقوه که در عمر سازه ممکن است واقع شوند باید مورد توجه قرار گیرند، احتمال گسترش محدوده‌ی معدن و یا تغییر خواص مواد پسماند، که ممکن است بر طرح اثرگذار باشد، از جمله‌ی این پیش‌آمدها هستند.

باید توجه داشت که تجمیع برنامه‌ریزی انبارش مواد پسماند با برنامه‌ریزی سایر فعالیت‌های معدنی، ممکن است موجب اشتراک مساعی بین کلیه فعالیت‌های معدنی شود. این امر به خصوص از دیدگاه بهره‌برداری از سایر مواد زاید معدنی به عنوان مصالح ساختمانی و نیز اثراتی که مدیریت منابع آب ممکن است بر فرآوری و روش‌های بستن معدن داشته باشد، حایز اهمیت است. به این طریق غالبا منافع مالی و یا زیست‌محیطی قابل توجهی را می‌توان با صرف انرژی و هزینه‌ای اندک کسب کرد. در حال حاضر، ملاحظات مربوط به انبارش بهینه‌ی مواد پسماند، در برنامه‌ی بهره‌برداری و عملیات معدنی کم‌تر مورد توجه قرار می‌گیرد. به عنوان مثال، می‌توان به عدم توجه مکفی به صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای که در دوره‌ی بستن معدن، از جانمایی راهبردی محل دفن سنگ‌های باطله، که با صرف اضافه هزینه‌ای اندک در دوره بهره‌برداری قابل کسب است، اشاره کرد.

۲-۴-۲- اهداف کلیدی در برنامه‌ریزی سامانه‌ی انباشت پسماند (س ـ ا ـ پ)

اهداف کلیدی برنامه‌ریزی جامع، مشتمل بر مواردی به شرح زیر است:

۱- دستیابی به طرح بهینه‌ی (مالی و زیست‌محیطی) سامانه‌ی انبارش پسماند، با توجه به روش‌های انبارش در تمامی طول عمر آن و توجه کامل به کلیه‌ی گزینه‌های بالقوه.

۲- دستیابی به طرحی درخور و مناسب از طریق درک کامل شرایط محیطی و بهره‌برداری، شناخت خطرات بالقوه و همچنین انجام اقدام‌های کاهنده‌ی اثرات نامطلوب.

۳- کمینه‌سازی اثرهای منفی زیست‌محیطی با طراحی مناسب اولیه و همچنین اعمال اصلاحات درخور در آن از طریق پایش و مدیریت مستمر.

۴- تدوین برنامه‌ای منسجم برای مرحله‌ی بستن با در نظر گرفتن مسایل به شرح زیر:
   - شکل محتمل نهایی زمین.
   - به‌کاربری اراضی.
   - سامانه‌های حفاظت محیط‌زیست.
   - احتمال تاثیر منفی زیست‌محیطی در دوران پس از بستن.

۵- ایجاد روالی مدیریتی که ضمن ارتقای کیفیت و بهینه‌سازی روش‌های بهره‌برداری از سامانه‌ی انبارش پسماند، خطرات محتمل را تحت کنترل داشته باشد، به ترتیبی که در طی دوره‌ی بهره‌برداری میزان آن‌ها افزایش نیابد.

۶- ارزش‌گذاری سامانه‌ی انبارش پسماند، در طول عمر آن با در نظر گرفتن تمام مراحل در دوران حیاتش.

برای تحقق این اهداف، مواردی به شرح زیر در تدوین برنامه‌ها باید مدنظر باشد:

- هزینه‌ی کامل دفع پسماند ازهزینه‌های مربوط به مرحله طراحی مفهومی[1] سامانه تا هزینه‌های مرحله‌ی ترک و نوتوانی و بازسازی[2]، مشتمل بر هزینه‌های نگهداری طولانی مدت در دوران پس از بستن، که باید دربرگیرنده‌ی موارد فنی، اجتماعی، محیط‌زیستی، ژئوشیمیایی و اقتصادی، به خصوص اثرات درازمدت آن‌ها، باشد.
- در تصمیم‌های کلیدی باید دقت شود که کلیه عوامل موثر، به خصوص اثرات مالی پی‌آمدهای محتمل درازمدت در زمینه‌هایی چون بهداشت، ایمنی، محیط‌زیست و اجتماع، در نظر گرفته شده باشند.
- تصمیم‌گیری‌ها و اعمال آن‌ها باید دارای حاشیه‌ی ایمنی کافی باشند، احتمال بروز خطر باید در سطحی حفظ شود که صدماتی بی‌مورد به اشخاص ثالث و محیط‌زیست وارد نیاید.
- برنامه باید تمامی مراحل عمر سد پسماند را دربرگیرد و اطمینان حاصل شود که طرح در شرایط تغییر حجم مخزن مورد نیاز ناشی از بستن زودهنگام و یا توسعه‌ی معدن، عملکردی بهینه دارد.
- توسعه‌ی فعالیت‌ها در دوره‌ای فراتر از عمر اقتصادی اولیه معدن. عمر معدن ممکن است فراتر از عمر اولیه‌ی پیش‌بینی شده‌ی آن باشد و معمولا برای چند دهه استمرار یابد، از این‌رو انعطاف‌پذیری برنامه باید در حدی باشد که در آینده با صرف هزینه‌ای اندک منافع مالی و راهبردی قابل توجه‌ای کسب شود.

۲-۴-۳- اطلاعات مهم مورد نیاز برای برنامه‌ریزی سامانه‌ی انبارش پسماند

برای برنامه‌ریزی و طراحی یک سامانه‌ی انبارش پسماند اطلاعات به شرح زیر مورد نیاز است:

- برآورد حجم نهایی پسماندی که باید ذخیره شود.
- محدوده‌ی اراضی در دسترس برای انبارش پسماند، پس از کسر اراضی لازم برای ساخت کارخانه، اراضی که در آن‌ها ماده معدنی وجود دارد، و یا زمین‌هایی که از نظر زیست‌محیطی، میراث فرهنگی، و مالی دارای محدودیت هستند.
- محدودیت‌های پایه‌ای زیست‌محیطی، برنامه‌ی دفع پسماند باید به‌عنوان بخشی ازگزارش ارزیابی اثرات زیست محیطی تهیه شود.
- مشخصات پایه‌ی مواد پسماند، از دو دیدگاه ژئوتکنیکی و شیمیایی، مشتمل بر شرایط فرآوری و مواد شیمیایی مضاف و تغییرات مورد انتظار آن در طی زمان.

1- Conceptual Design
2- Rehabilitation

- الزامات مخزن، نرخ تولید پسماند و شرایط تحویل آن به مخزن، و چگونگی تغییرات نرخ تولید و احتمال تغییرات برنامه‌ریزی شده و یا خارج از برنامه‌ی آن‌ها.
- عمر طراحی و حجم کل مورد نیاز با در نظر گرفتن تغییرات احتمالی آتی همچون توسعه‌ی یک معدن جدید.
- نقشه‌های توپوگرافی از ساختگاه‌های دارای پتانسیل.
- نکات مهم در خصوص پی آمد شکست مخزن، که باید در ارزیابی ریسک و انتخاب پارامترهای طراحی موردنیاز مورد توجه قرار گیرند.
- شرایط پی از دیدگاه زمین‌شناسی، هیدروژئولوژی و کیفیت آب‌های زیرزمینی.
- تاثیر مناطق حفاری شده‌ی موجود یا حفاری‌های آتی ناشی از فعالیت‌های معدن‌کاری و اثرات محتمل آن‌ها.
- لرزه‌خیزی منطقه و پارامترهای لرزه‌ای مورد نیاز برای طراحی‌ها.
- مصالح ساختمانی در دسترس و مشخصات مکانیکی آن‌ها.
- اطلاعات و آمار هواشناسی درازمدت منطقه شامل میزان بارش‌ها، تبخیر، باد، طوفان با توجه به احتمال تغییر اقلیم.
- شرایط بارندگی و آورد در مخزن و حوزه‌آبریز. با در نظر گرفتن احتمال تغییر در مصارف آب در بالادست و پایین‌دست محل احداث سد پسماند.
- اطلاعات موجود هیدرولوژیکی، میزان مواد جامد معلق، مواد محلول، و شیمی آب در مورد منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی نزدیک به محل اجرای طرح دفع مواد پسماند.
- الزامات درازمدت برای تثبیت اراضی، که شامل کاربری آتی و نیز بازکاشت آن‌ها است.

تعیین اطلاعات مورد نیاز (آگاهی از اطلاعات موجود و تهیه برنامه برای دستیابی به کمبود اطلاعات) یکی از اجزای اصلی روال برنامه‌ریزی است. با توجه به این‌که تهیه‌ی اطلاعات در برخی موارد، در مرحله‌ی طراحی غیرعملی است و این اطلاعات در این مرحله بر مبنای تجربه و یا تخمینی ساده انتخاب می‌شوند، لازم است برای کسب اطمینان از صحت فرضیات اولیه طراحی، مراحل نخستین فعالیت‌های اجرایی، مورد پایش بیش‌تری قرار گیرد.

۲-۵- طرح مدیریت پسماند

۲-۵-۱- سطوح برنامه‌ریزی

تدوین طرح مدیریت پسماند برای عمر کامل پروژه، مشتمل بر مرحله بستن و دوران پس از بستن، و اقدامات مورد نیاز در این دوران یک ضرورت است. این طرح باید دربرگیرنده‌ی کلیه‌ی فعالیت‌های طراحی، ساخت، بهره‌برداری، بستن و نوتوانی و بازسازی[1] باشد.

در طرح مدیریت پسماند، توسعه‌ی مرحله‌ای باید مورد توجه باشد؛ به عنوان مثال با توجه به زمان پیش‌بینی شده برای پر شدن انباشتگاه موجود، باید فرصت زمانی مناسب برای طراحی و ساخت انباشتگاه جدید، در نظر گرفته شود.

با توجه به این‌که معمولا در طول عمر پروژه تغییراتی در طرح حادث می‌شود، طرح مدیریت پسماند، با انعطاف‌پذیری مناسب، باید قابلیت اعمال اصلاحات را هم داشته باشد. از این‌رو می‌توان طرح مدیریت پسماند را به سه بخش کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت تقسیم نمود.

- طرح بلندمدت

این طرح دربرگیرنده‌ی مواردی به شرح زیر است:

- مبانی برنامه‌ریزی کلی.
- مقاطع کنترل و اهدافی که در طول عمر پروژه باید به آن دست یافت.
- روش‌های کسب اطمینان از وجود حجم ذخیره‌ی کافی برای عمر معدن، با در نظر گرفتن توسعه‌های احتمالی آتی.
- ارتباط با طرح بستن سد.

- طرح میان‌مدت

اهدافی که طرح مدیریت میان‌مدت باید به آن دست یابد در طرح بلندمدت تعیین می‌شود و مشتمل بر مواردی به شرح زیر است:

- اطلاعات مدیریتی.
- جزییات برنامه‌ی ساخت و گردش‌های مالی مورد نیاز برای حفظ و نگهداری منطقه‌ی دفع مواد پسماند برای ۳ تا ۵ سال آتی.

1- Rehabilitation

- طرح کوتاه‌مدت

در این طرح چهارچوب فعالیت‌های انبارش در دوره‌های یک ماهه تعیین می‌شود و برای رسیدن به اهدافی که در طرح‌های بلند مدت درنظر گرفته شده است، می‌توان تغییرات یا اصلاحاتی در این طرح‌های کوتاه مدت اعمال نمود. طرح مدیریت کوتاه مدت پسماند دربرگیرنده‌ی مواردی به شرح زیر است:

- مدیریت سواحل پسماندها
- آوردهای فصل بارانی و سیلاب‌ها

- بازبینی طرح

طرح مدیریت، با توجه به عملکرد کل سامانه و نیز اطلاعات به‌هنگام در مورد نرخ تولید آتی، باید در دوره‌های زمانی حداقل یک ساله مورد بازبینی قرار گیرد. معمولا انبارش پسماند دقیقا از برنامه‌ی تدوین شده پیروی نمی‌کند، از این‌رو بازبینی دوره‌ای برنامه مدیریت و اعمال اصلاحات در آن، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

پی‌آمد استفاده از برنامه‌های قدیمی ممکن است به پرشدن ظرفیت مخزن به‌صورت زودهنگام، منجر شود که این امر می‌تواند منجر به احداث مخزنی جدید شود که پشتوانه مطالعاتی آن، به دلیل تسریع در ساخت و بهره‌برداری، کم باشد. احداث چنین مخزنی تبعات مالی مربوط را به‌دنبال دارد و ممکن است از برخی از استانداردهای طراحی چشم پوشی نماید که این امر می‌تواند به افزایش خطرات زیست‌محیطی منجر گردد.

۲-۵-۲- تهیه طرح مدیریت پسماند

قدم‌های اولیه برای تهیه و تدوین طرح مدیریت پسماند مشتمل بر مواردی به شرح زیر خواهد بود.

۲-۵-۲-۱- برنامه‌ریزی طراحی

برنامه‌ریزی طراحی سامانه دفع پسماند باید بر این فرض مبتنی باشد که در زمان شروع کار و راه‌اندازی پروژه، طراحی‌ها هنوز کامل نشده‌اند و بسیار محتمل است که طی چند سال بعد از شروع بهره‌برداری، طرح متحول شود. از این‌رو طرح مدیریت پسماند باید دربرگیرنده‌ی چهارچوب فعالیت‌های طراحی باشد و طی آن، اطلاعات لازم در مورد مبانی طراحی و نیز روش‌شناسی فرآیند بازبینی طراحی‌ها، ارائه شود. برنامه‌ریزی طراحی باید دربرگیرنده‌ی مواردی به شرح زیر باشد:

- تخمین حجم کل مخزن مورد نیاز در درازمدت.
- شناخت دقیق و گسترده‌ی وضعیت توپوگرافیک و کاربری اراضی در محدوده‌ی طرح و نیز ارزیابی چگونگی هماهنگی میان روش‌های دفع پسماند و گزینه‌های مختلف انبارش،
- تعیین خواص فیزیکی و شیمیایی مواد پسماند،
- تعیین ویژگی‌های مواد پسماند همچون زاویه‌ی قرار، وزن مخصوص ته‌نشین شده و مقاومت مکانیکی آن‌ها، از طریق انجام آزمایش‌های آزمایشگاهی و ساخت واحدهای آزمایشی نمونه،

- تعیین الزامات مربوط به مسایل بهداشتی و ایمنی در ارتباط با روش‌های جابجایی و انبارش پسماند، مشتمل بر الزامات قانونی و اخذ مجوزهای لازم،
- تعیین دوره، نرخ و روش دفع مواد پسماند،
- تعیین حجم مایعات قابل بازیافت و دامنه تغییرات کمّی و کیفی آن‌ها،
- انجام مطالعات هواشناسی (باد، باران، تبخیر) و لرزه‌خیزی منطقه،
- انجام مطالعات مدیریت منابع آب،
- تعیین ارتفاع آزاد، میزان سرریزی و الزامات و محدودیت‌های مخزن،
- تخمین کمیت و کیفیت آب نشتی،
- چاره اندیشی در مورد نیازهای آتی با در نظر گرفتن احتمال ساخت مرحله‌ای و همچنین ضرورت هماهنگی با سایر الزامات.
- اجرای عملیات اکتشافی مقدماتی با هدف ارزیابی پی سد، آب زیرزمینی و منابع قرضه،
- انتخاب نهایی محل (محل‌های) دفع،
- ارزیابی الزامات مربوط به بازگرداندن شرایط به حالت اولیه، و انتخاب طرح مخزن مناسب به ترتیبی که بیش‌ترین تطابق را با این الزامات داشته و بازسازی تدریجی نیز میسر گردد،
- طراحی نهایی و تهیه برنامه‌ی ساخت،
- نصب اولیه تجهیزات پایش ساختگاه.

۲-۵-۲-۲- برنامه‌ریزی ساخت

در برنامه‌ی درازمدت عملیات ساخت، دیرترین زمان‌هایی که اجزای جدید باید برای بهره‌برداری تحویل شوند مشخص می‌شود. در این چهار چوب برنامه‌ریزی عملیات ساخت باید توسط طراح پروژه انجام شود. در این برنامه باید ترتیب و توالی نصب اجزای مختلف انباشتگاه پسماند، و چگونگی ارتباط بین این اجزا مشخص شده باشد. نمونه‌ی فعالیت‌هایی که در برنامه‌ریزی ساخت باید منظور شوند به شرح زیر است:

- دوره‌ی مناقصه، ارجاع کار و تجهیز کارگاه.
- آماده‌سازی پی.
- عملیات خاکی و خاکریزی.
- ساخت سامانه‌ی تخلیه‌ی پسماند (خط لوله، خروجی، سامانه‌های کنترل).
- ساخت سامانه‌های بازیافت و سرریز آب.
- نصب سامانه‌های پایش و ایمنی.

۲-۵-۲-۳- برنامه‌ریزی بهره‌برداری

برنامه‌ریزی‌های کوتاه، میان و بلندمدت با هدف کسب اطمینان از وقوع شرایطی به شرح زیر انجام می‌شود:

- پر شدن بهینه‌ی مخزن از مواد پسماند.
- بازیافت و انتقال هر نوع مایع لبریزی.
- کنترل و ذخیره سیلاب‌ها.
- افزایش دوره‌ای ارتفاع خاکریز.
- نگهداری و پایش.
- در صورت امکان نوتوانی و بازسازی تدریجی.
- هم‌سازی با هر نوع تغییر نسبت به مبانی اولیه‌ی برنامه‌ریزی.

۲-۵-۲-۴- طرح واکنش برای زمان اضطرار/ طرح ایمنی سد برای زمان اضطرار

در طرح واکنش برای زمان اضطرار یا طرح ایمنی سد برای زمان اضطرار، خطوط کلی روال‌های موردنیاز برای تامین اهداف به شرح زیر ترسیم می‌شود:

- محافظت از سد و جوامع وابسته به آن در شرایطی که ممکن است ایمنی سد تهدید شود.
- تشریح مبانی ارتباطات و مسوولیت‌ها
- اطلاع‌رسانی به مسوولین ستادهای بحران در دوره‌ی وجود احتمال خطر شکست سد
- تامین اطلاعات مربوط به مناطق تحت تاثیر پی‌آمدهای شکست سد و رها شدن آب و مواد پسماند از آن، به منظور مساعدت با ستادهای بحران و تهیه طرح شرایط اضطراری برای مناطق یاد شده
- تهیه‌ی دستورالعمل راهنما برای انجام اقداماتی که در صورت بروز مشکلات برای ایمنی سد، بتواند موجب جلوگیری از، و یا کاهش احتمال خرابی سد شود. از جمله‌ی این اقدامات، خاکریزی روی تاج سد (در زمان لبریزی سد) را می‌توان نام برد.
- تعیین وظایف اجرایی مالک و کارکنان معدن زمانی که بروز شرایط اضطرار محتمل است.

۲-۵-۲-۵- برنامه‌ریزی برای بستن، نوتوانی و بازسازی منطقه

برنامه‌ریزی برای بستن، نوتوانی و بازسازی منطقه باید این اطمینان را ایجاد کند که پس از ترک منطقه‌ی دفع مواد پسماند، شرایطی به شرح زیر برقرار است:

- سازه‌ای پایدار برجا مانده است.
- اثرات زیست‌محیطی در حدی قابل قبول، باقی خواهد ماند.
- مجموعه در مقابل خرابی‌های ناشی از فرسایش و یا تجزیه مواد مقاوم است.

- سازگاری مناسبی با عوارض طبیعی زمین دست‌نخورده‌ی اطراف برقرار شده است.
- از نظر کاربری اراضی، پس از عملیات معدن‌کاری، میان موقعیت سد پسماند و اراضی مجاور سازگاری ایجاد شده است.

شرایط یاد شده برای دوره‌ای بسیار طولانی پس از بسته شدن معدن نیز باید برقرار باشد. در نبود قوانین مدون ملی در این زمینه، دوره‌ای هزار ساله که می‌توان آن را دائمی تلقی کرد، انتخابی معقول خواهد بود.

۲-۵-۳- رویکرد مبتنی بر مشاهده

انباشت مواد و ایجاد سد پسماند سال‌های زیادی به طول می‌کشد و در طی آن دگرگونی‌های بسیاری که نیازمند به واکنش‌هایی اجرایی است، تجربه می‌شود. در مرحله‌ی طراحی، پیش‌بینی‌های ژئوتکنیکی، مبتنی بر اطلاعاتی محدود است. رویکرد مبتنی بر مشاهده، فرآیندی است برای تجدیدنظر، ارتقا و بهینه‌سازی طرح از طریق کسب اطمینان از درستی فرضیات طراحی و بهره‌گیری از اطلاعات پایه‌ی بیش‌تر و آگاهی‌ها و آموخته‌های جدید.

بن‌مایه‌ی رویکرد مبتنی بر مشاهده، ابزاربندی و پایش است که طی آن، شاخص‌های عمده‌ی وابسته به طراحی و معیارهای مربوط به کارآیی، نظیر نشت، تراز سطح آب زیرزمینی، وزن مخصوص و پارامترهای مقاومتی، مشاهده و ثبت می‌شوند.

مقادیر مشاهده شده با پیش‌بینی‌های مرحله‌ی طراحی مقایسه شده و ارزیابی می‌شود که آیا اعمال تغییری در طرح و یا برنامه‌ی بهره‌برداری ضروری است یا خیر. هر چند تشخیص مشکلات پیچیده در سامانه نیازمند بررسی‌های سالانه اطلاعات پایه‌ی دریافتی از شبکه ابزاربندی است، ولی بررسی اولیه و موضعی این اطلاعات، در تشخیص احتمال بروز مسایل قریب‌الوقوع، بسیار کمک‌کننده است. پیش از این که این مشکلات به مسایلی جدی تبدیل شوند عکس‌العملی درخور باید در فرصت زمانی مناسب نشان داده شود. رویکرد مشاهده‌ای را می‌توان زمینه‌ساز عملی‌کردن شعار «پیشگیری بهتر از درمان است»، دانست.

رویکرد مشاهده‌ای، ارزش خود را در ارزیابی پیش‌بینی‌های مربوط به فشارهای منفذی به اثبات رسانده است. این که در طول عمر سامانه‌ی دفع پسماند وضعیت فشار منفذی با دقت مناسب، در این سامانه پیش‌بینی شده باشد، انتظاری دور از واقعیت است. در طی دوره‌ی بهره‌برداری از سامانه‌های دفع پسماند تغییر شرایط از نظر مواردی همچون نحوه‌ی انبارش، کانی‌شناسی، فرآیند تولید، وضعیت اقلیمی، ... که منجر به تغییرات در وضعیت فشار منفذی در انباشتگاه می‌شود، بسیار معمول است. رویکرد مبتنی بر مشاهده، با کنترل و سنجش اعتبار پیش‌بینی‌های مرحله‌ی طراحی در مورد فشار منفذی، می‌تواند مبنایی برای بازبینی و بازنگری مدل‌های محاسباتی فراهم آورد.

از دیگر منافع رویکرد مبتنی بر مشاهده، کاهش میزان سرمایه‌گذاری‌های اولیه‌ی پروژه است. طراحی‌ها بر اساس بهترین تخمینی که از شرایط می‌توان زد، انجام شده و در پی آن از این رویکرد برای وارسی پارامترهای تخمین زده شده، بهره‌گیری می‌شود.

به این ترتیب طراحی مبتنی بر بهترین تخمین‌ها، با شرایط حقیقی مقایسه شده و در صورت لزوم، ارتقا می‌یابد. در پی راه‌اندازی سامانه، با استفاده از رویکرد مبتنی بر مشاهده، می‌توان تصمیم‌گیری کرد که آیا انجام اقدامی اصلاحی ضرورت دارد یا خیر؟ اگر ضرورت دارد مناسب‌ترین زمان برای این اقدام چه زمانی است؟

۲-۶- بازبینی مستقل (شخص ثالث)

در برنامه‌ریزی‌ها، باید برای بازبینی مستقل طرح در مقاطع بحرانی از طول عمر سامانه‌ی دفع پسماند، پیش‌بینی‌های لازم صورت گرفته باشد. این بازبینی می‌تواند در مرحله‌ی مطالعات مفهومی و مقدماتی و یا مرحله‌ی طراحی و ساخت انجام شود. توصیه می‌شود بازبینی مستقل در دوره‌ی بهره‌برداری نیز در برنامه‌ی کار قرار داشته باشد.

فصل ۳

روش‌های انبارش و اصول فرونشانی (انباشت) مواد پسماند

انبارش مواد پسماند هدف رساندن خطرات جاری و آتی ذخیره‌سازی به حداقل میزان ممکن را دنبال می‌کند. این مهم، فقط با کسب اطمینان از پایداری فیزیکی و ژئوشیمیایی نهشته‌های پسماندی در تمامی طول عمر انبارش قابل دستیابی است.

۳-۱- مولفه‌های اصلی طرح و عوامل موثر در جانمایی سامانه‌ی انباشت پسماند

مولفه‌های اصلی موثر بر طرح یک سامانه‌ی (تاسیسات) انباشت پسماند را به شرح زیر می‌توان برشمرد:

- روش انتقال مواد پسماند به محل دفع
- روش پخش، تخلیه، و فرونشانی مواد پسماند در مخزن
- روش محدود نگهداشتن مواد پسماند فرونشسته
- روش مدیریت آب
- اقتصاد طرح
- بهره‌برداری از سد پسماند
- اقدام‌های پیش‌گیرانه‌ی لازم برای حفظ محیط‌زیست

مولفه‌های مذکور از جمله عوامل موثر در مکان‌یابی برای احداث سدهای پسماند نیز هستند. طراحی و اجرای عملیات حمل، تخلیه، فرونشانی مواد پسماند، و همچنین مدیریت آب (بازیابی آب مازاد) ارتباط تنگاتنگی با یکدیگر دارند. طرحی جامع که ترکیب مناسبی از تمامی موارد یاد شده را دربرگیرد، به نوع زمین، مشخصات مواد پسماند، مسایل اقتصادی، موازنه‌ی آب شامل عوامل اقلیمی، روش جمع‌آوری و همچنین میزان اهمیت موارد زیست‌محیطی وابسته است.

در جدول شماره (۳-۱) به عوامل موثر در مکان‌یابی سدهای پسماند اشاره شده است. در این جدول، در مقابل هر عامل شرح مختصری از تاثیرات آن ذکر شده است.

جدول ۳-۱- برخی از پارامترهای موثر بر مکان‌یابی سدهای پسماند

ردیف	عوامل موثر	تاثیر عوامل
۱	حفظ محیط‌زیست	مسایل مربوط به انتقال و ذخیره پساب و پسماند و موارد مرتبط با محیط‌های فیزیکی، اقتصادی- اجتماعی- فرهنگی و بیولوژیکی.
۲	روش انتقال مواد پسماند به محل دفن	انتخاب نحوه انتقال پسماند از محل تولید تا محل ذخیره و انباشت با توجه به فاصله و اختلاف تراز با معدن
۳	توپوگرافی و روش پخش، تخلیه و فرونشانی مواد پسماند در مخزن	ترتیب خاکریزها، مقادیر خاکریزی مورد نیاز، امکانات انحراف آب.
۴	روش محدود نگهداشتن مواد پسماند فرونشسته	پایداری و ایزولاسیون پی، استفاده از تمهیدات لازم در خصوص آببند نمودن مخزن و جناحین، در صورت لزوم احداث تصفیه خانه
۵	مدیریت منابع آب (سطحی و زیرسطحی)	انباشت دراز مدت آب، کنترل سیلاب، پتانسیل آلودگی، میزان رطوبت قرضه‌ها، سرعت و جهت نشت آب،
۶	مباحث فنی	زمین‌شناسی، ژئوتکنیک، هیدرولوژی و هیدروژئولوژی، مشخصات مکانیکی مصالح قرضه و مواد پسماند
۷	اقتصاد طرح	اجرایی و بهره‌برداری
۸	بهره‌برداری از سد پسماند	مسیر انتقال، بهره‌برداری از پمپ ها، ظرفیت ذخیره‌سازی، ریسک آلودگی محیط زیست در طولانی مدت

به‌عنوان یک ایده کلی، مکان‌یابی سد باید در محدوده‌ای به شعاع در حدود ۱۰ کیلومتری اطراف کارخانه تغلیظ شروع شود. ساختگاه‌های انتخابی ترجیحا باید در ترازی پایین‌تر از تراز تغلیظ کننده‌ها قرار گیرند تا انتقال ثقلی مواد پسماند امکان‌پذیر شده و از مشکلات پمپاژ پرهیز شود. این اختلاف رقوم بهتر است درحدی باشد که استفاده از سازه‌های استهلاک انرژی، مثل تندآب، در مسیر کانال انتقال به حداقل برسد. از نقطه نظر توپوگرافی، با هدف انتخاب ساختگاه بهینه (حداقل حجم عملیات ساختمانی مورد نیاز در مقابل حداکثر حجم مخزن)، بهتر است ارتفاع سد حداکثر به ۳۰ تا ۶۰ متر محدود شود تا از مشکلات خاص سدهای خیلی بلند اجتناب شود.

از دیدگاه هیدرولوژیکی،تا حد ممکن ساختگاه انتخابی باید دارای حوزه‌ی آبریز کوچکی در بالارو خود باشد؛ این امر از یک سو باعث حداقل مضرات زیست‌محیطی و آلوده نمودن جریان‌های سطحی شده، واز سوی دیگر مانع عملکرد سدهای پسماند به‌صورت سدهای مخزنی، که دارای مشکلات خاص خود از دیدگاه اجرایی و بهره‌برداری هستند، می‌شود. به‌عنوان قاعده‌ای کلی، بعضی مراجع حداکثر سطح حوزه‌آبریز را به ۵ تا ۱۰ برابر سطح مخزن محدود نموده‌اند. توجه شود که رعایت این محدویت غالبا به مفهوم انتخاب ساختگاه در بالارو حوزه‌های آبریز است، در نتیجه ممکن است رقوم ساختگاه سد بالاتر از رقوم تغلیظ کننده‌ها قرارگیرد. به هر صورت انتخاب باید با توجه به ملاحظات فنی و اقتصادی صورت گیرد.

۳-۲- اقدام‌های پیش‌گیرانه‌ی لازم برای حفظ محیط‌زیست

۳-۲-۱- کلیات

اثرات احداث سامانه‌های انبارش مواد پسماند برمحیط پیرامون، باید به‌طوری مورد توجه قرار گیرد که موجب شود خطرات دوره‌ی بهره‌برداری و خطرات آتی مربوط به ذخیره‌سازی مواد پسماند به حداقل ممکن کاهش یابد. به طور معمول انتظار می‌رود که در طراحی هر معدن، الزامات عملکردی از دیدگاه زیست‌محیطی، در چهارچوب برنامه‌هایی مانند «برنامه‌ی مدیریت محیط‌زیست (EMP)[1]»، تعریف شوند. در این زمینه ارتباط طراحان سد پسماند و متولیان حفاظت محیط‌زیست در طول دوره‌ی توسعه‌ی طرح از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. تنها با برقراری چنین ارتباطی می‌توان اطمینان حاصل کرد که اهدافی واقع‌بینانه تنظیم شده، و روش‌های طراحی، ساخت واجرا، دستیابی به این اهداف را میسر خواهد ساخت.

به‌طور کلی، روش‌های متداول ارزیابی آثار زیست محیطی احداث سدها عبارتند از روش چک لیست، رویهم‌گذاری وزن‌دار، تجزیه و تحلیل سامانه‌ای، و روش ماتریس که جزییات روش‌شناسی و نیز نحوه محاسبات مربوط را می‌توان در مراجع مرتبط از جمله دستورالعمل ارزیابی اثرات طرحهای سد سازی بر محیط‌زیست در مراحل اجمالی و تفصیلی (نشریه‌های شماره الف-۲۸۶ و ۲۵۰- الف وزارت نیرو، طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور)، فصل دوم

1- Environmental Management Plan (EMP)

ضابطه ۵۵۹ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، وزارت صنعت، معدن و تجارت (راهنمای انباشت مواد باطله در واحدهای کانه‌آرایی و فرآوری) و نیز ضابطه شماره ۶۱۱ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، وزارت صنعت، معدن و تجارت (راهنمای ملاحظات زیست‌محیطی در فعالیت‌های استخراجی) یافت. از دیدگاه زیست‌محیطی، ارزش‌های اصلی که باید مورد توجه قرار گیرند را به شرح زیر می‌توان برشمرد:

- جامعه، که شامل ایمنی مردم، زیرساخت‌ها و صنایع آن می‌باشد.
- آب، که شامل نزولات جوی، نهرها، آب‌های زیرزمینی، آب‌های ذخیره شده و منابع تامین آب شرب می‌باشد.
- هوا، که می‌تواند راه انتقال ذرات آلاینده و گازهای فرّار باشد.
- زمین، که شامل اکوسیستم جانوری و گیاهی است.
- میراث فرهنگی

به منظور مدیریت زیست محیطی و کاهش آثار نامناسب در دوره‌ی بهره‌برداری و در دراز مدت، موارد به شرح زیر به عنوان ملزومات سامانه‌های مدیریت زیست‌محیطی باید درنظر گرفته شود[1].

- سامانه مدیریت زیست‌محیطی
- سیاست زیست‌محیطی
- تشکیلات و کارکنان
- تاثیرات زیست‌محیطی:
  - اهداف و مقاصد زیست‌محیطی
  - طرح و برنامه مدیریت زیست‌محیطی
- راهنما و مستندات مدیریت زیست‌محیطی
- کنترل عملیاتی
- بازرسی‌های زیست‌محیطی
- بازنگری مدیریت زیست‌محیطی

منابع بالقوه‌ی ایجاد خطر برای محیط‌زیست که در ارتباط با سدهای پسماند می‌باشند شامل موارد به شرح زیر است:

- انرژی پتانسیل مواد پسماند یا آب ذخیره شده (شکست سد).

۱- در بند ۶ از نشریه منتشر شده توسط وزارت صنعت، معدن و تجارت با عنوان «ضوابط انباشت باطله و مواد زاید در واحدهای کانه‌آرایی»، به عوامل موثر از دیدگاه زیست‌محیطی در انتخاب روش‌های انباشت مواد پسماند و زاید پرداخته شده است. توجه به بند مذکور، جدول (۶) از مجموعه‌ی مذکور و نیز بند شماره ۶-۱ (روش‌های ارزیابی اثرات زیست محیطی) به‌منظور مدیریت زیست محیطی و کاهش آثار نامناسب در دوره‌ی بهره‌برداری و در دراز مدت، مورد توصیه است.

- سمّی بودن مواد ذخیره شده (مواد پسماند، آب یا انتشار مواد فرار از قبیل گاز، فیبرها، ریزگردها و تشعشعات رادیو اکتیو).
- سمّی بودن مواد مورد استفاده در تاسیسات فرآوری و کارهای مرتبط با آن.

مکانیزم‌های بالقوه‌ی ایجاد خطر برای محیط‌زیست که در ارتباط با سدهای پسماند می‌باشند شامل موارد به شرح زیر است:

- پخش کنترل نشده‌ی مقادیر زیادی از مواد سیال (مواد پسماند یا آب) بر اثر فروپاشی یا شکست خاکریزهای محصور کننده (شکست سد)
- پخش کنترل نشده‌ی بخشی از مواد آلوده‌ی سیال به محل‌های حساس از لحاظ زیست‌محیطی (تخلیه از سرریز، نشت به منابع آب)
- خرابی‌های عملیاتی (ترکیدن لوله، خرابی پمپ، غیره)
- انتقال مواد فرار منتشر شده (گاز، ریزگردها) توسط باد به محل‌های حساس از لحاظ زیست‌محیطی

خطرات زیست‌محیطی باید به ترتیب اولویت، با استفاده از اصول به شرح زیر مدیریت شوند:

- اجتناب از بروز خطر از طریق طراحی مناسب
- تفکیک با ایجاد فاصله
- جداسازی با ایجاد موانع
- مدیریت با استفاده از کنترل عملیات در محدوده‌ی مجاز خطرات

۳-۲-۲- حفظ جامعه

حفظ جامعه در رده‌ی نخست اهمیت قرار دارد. اجتناب از ایجاد شرایطی که در آن، انتشار (نشت، تشعشع، ایجاد گرد و غبار و ...) مواد از سد پسماند بر جامعه تاثیر می‌گذارد، به عنوان مناسب‌ترین روش حفظ جامعه محسوب می‌شود. تجربه نشان داده است که باید، در حد امکان از جانمایی مخزن مواد پسماند در بالادست بلافصل مناطق مسکونی، و همچنین ساخت تاسیسات فرآوری و دیگر تاسیسات زیربنایی معادن، در محل‌هایی که می‌تواند بر زندگی انسان اثرگذار باشد اجتناب کرد.

۳-۲-۳- حفظ آب، هوا و زمین

برخی از اصول حفاظت آب به شرح زیر است:

- اجتناب از احداث سد پسماند در مسیر زهکش‌های طبیعی (رودخانه‌ها، نهرها، دریاچه‌ها، سفره‌های آب زیرزمینی، چاه‌های آب و غیره)
- به‌کارگیری تمهیدات لازم در طراحی برای تشخیص، جمع‌آوری و مدیریت نشت، به منظور جلوگیری از انتشار آن در محیط‌زیست.

- به‌کارگیری تمهیدات لازم در کنترل‌های اجرایی برای کاهش خطرات مربوط به تخلیه‌ی غیر قابل کنترل آب از سرریزها.
- مدیریت درصد رطوبت مواد پسماند در ساحل از طریق روش‌های مناسب فرونشانی مواد پسماند و دیگر روش‌ها، به‌گونه‌ای که اکسیداسیون موادی که می‌تواند منجر به زهکش اسیدها و مواد فلزدار شود، به حداقل برسد[۱].

برخی از اصول حفاظت هوا به شرح زیراست:

- مدیریت درصد رطوبت سواحل از طریق روش‌های مناسب فرونشانی مواد و دیگر روش‌ها به گونه‌ای که تولید نمک و ریزگردها به حداقل برسد.
- به‌کارگیری موادی که از انتشار ریزگردها جلوگیری کند (پلیمرها و غیره).
- استفاده از موانع در چند لایه (باطله‌های درشت‌دانه یا سنگ باطله با عملکرد مشابه پوشش سنگریز محافظ[۲] و آب) برای جلوگیری از رسیدن باد به مواد پسماند.

برخی از اصول حفاظت زمین به شرح زیراست:

- حداقل‌سازی آثار تاسیسات انبارش پسماند بر سطح زمین.
- کمینه‌سازی بهره‌گیری از محل‌های قرضه‌ی خارج از انباشتگاه با اولویت دادن به استفاده از مصالحی که از داخل مخزن سد قابل استحصال است.
- کمینه‌سازی افزایش تراز سطح آب زیرزمینی. این افزایش تراز می‌تواند بر پوشش گیاهی و یا خاک تاثیرگذار باشد.

۳-۲-۴- حفظ جانوران

سدهای پسماند از طریق آسیب‌رسانی به جانورانی که به آن‌ها دسترسی دارند می‌توانند به زمین‌های پیرامون محل احداث خود هم صدمه بزنند.

برخی از اصول محافظت از جانوران به شرح زیر است:

- جداسازی با استفاده از حصار (قابل استفاده برای حیوانات) با در نظر گرفتن مسیرهای معمول جابجایی حیوانات در منطقه.
- جداسازی با استفاده از تور سیمی (قابل استفاده برای پرندگان)

۳-۲-۵- حفظ میراث فرهنگی

در مرحله‌ی طراحی، باید با اتخاذ تمهیدات مناسب، از آسیب‌رسانی به میراث فرهنگی در حد ممکن جلوگیری کرد.

۱- برای توضیحات بیش‌تر به بندهای ۲-۱-۱ و۳-۵-۳ و ۳-۶-۵ مراجعه شود.

2- Rip Rap

۳-۳- سامانه‌های انتقال پسماند

هر چند ممکن است که عامل نهایی انتخاب سامانه‌ی جابجایی مواد پسماند، ملاحظات طراحی باشد، اساسا این انتخاب بر پایه‌ی ملاحظات اقتصادی مشتمل بر هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه و هزینه‌های بهره‌برداری صورت می‌گیرد.

طراحی سامانه‌های انتقال باید دربرگیرنده‌ی انتخاب و جانمایی ابزار دقیق، روش‌های پایش این ابزار، روش‌های کنترل نشت از خط انتقال، و روش‌های محدود نگاهداشتن اثرات سرریزی ناشی از شکست خط انتقال، و یا بروز نقص‌های فنی باشد.

گزینه‌های مطرح برای انتقال مواد پسماند شامل موارد به شرح زیر است:

- خطوط لوله (ثقلی یا پمپاژ)
- کانال/کانال مستطیلی[1] (هرگاه اختلاف ارتفاع مناسب، میان محل تولید پسماند و محل انباشتگاه، برای انتقال مواد پسماند و مقابله با افت‌های اصطکاکی، وجود داشته باشد، می‌توان از این روش استفاده کرد).
- تخلیه مستقیم (در بالادست مخزن ذخیره یا به یک آبراه طبیعی که به مخزن ذخیره منتهی می‌شود).
- انتقال با استفاده از کامیون یا تسمه نقاله (برای مواد خشک یا موادی که به‌صورت مکانیکی آب‌شان گرفته شده است). هر چند اندک، در برخی موارد، به جای این‌که مواد پسماند تولید شده در کارخانه، به شکل گل‌آب، باشند به صورت خشک هستند، (البته میزان رطوبت این نوع مواد خیلی هم کم‌تر از ۲۵ درصد نیست) که در این شرایط چنانچه گل‌آب کردن مجدد مواد پسماند راه حل بهینه برای انتقال نباشد، می‌توان آن‌ها را به صورت مکانیکی جابه‌جا کرد. انتقال می‌تواند به‌صورت حمل با کامیون و انباشت در محل مشخص و یا حمل با تسمه نقاله انجام شود. در خصوص روش انباشت و ملاحظات زیست محیطی مربوط می‌توان به بولتن شماره ۴۵ کمیته بین‌المللی سدهای بزرگ مراجعه نمود.
- سامانه‌های خاص انتقال یا دفع مواد که شامل موارد به شرح زیر است:
  - بادی- برای مواد خشک مانند خاکستر بادی
  - نقاله‌های حلزونی برای مواد خشک‌تر یا متراکم‌تر در مسیرهای کوتاه

رایج‌ترین روش انتقال مواد پسماند، استفاده از خطوط لوله که انتقال دهنده پساب‌های پمپاژ شده هستند، می‌باشد. ملاحظات طراحی در این زمینه شامل موارد به شرح زیر است:

1- Flume

- در انتقال پساب‌های با غلظت کم، آب بیش‌تری پمپاژ می‌شود، بنابراین هزینه‌های کلی پمپاژ می‌تواند افزایش یابد. در مورد مواد پسماند غلیظ شده با چگالی بالا یا دارای حالت خمیری، حجم مواد انتقالی کاهش می‌یابد، درحالی‌که به‌واسطه گرانروی، افت طولی و موضعی مربوط بیش‌تر است.
- تمامی پساب‌ها، بجز پساب‌های خیلی رقیق، به‌صورت سیال غیر نیوتونی عمل می‌کنند. معمولا، پساب‌های غلیظ‌تر خواص غیرنیوتونی بارزی دارند که می‌تواند با توجه به عواملی نظیر سرعت، روند زمانی اعمال نیروی برشی، و اثرات شیمیایی تغییر یابد. این بحث در زمره‌ی مباحث تخصصی رئولوژی قرار دارد. از این‌رو انجام آزمایش‌ها و طراحی‌های در پی آن، نیازمند اعمال دقت زیاد در شبیه‌سازی دامنه‌ی شرایط محتمل است.
- برای پساب‌هایی که دربردارنده ماسه یا شن درشت‌دانه‌تر هستند، باید مقدار مشخصی به عنوان حداقل سرعت تعیین شود تا از ته‌نشینی ذرات جلوگیری به عمل آید. البته در برخی از سامانه‌ها طراحی‌ها بر این مبنا انجام می‌شود که در آن ذرات درلایه‌های پایینی مجرا و در بستر خط انتقال حرکت کنند، این روش در مواردی کاربرد دارد که تغییرات قابل ملاحظه‌ای در نرخ فرآوری و بنابراین، سرعت جریان وجود داشته باشد.
- انسداد در نقاط خط‌القعر مسیردر زمان توقف.
- شکل‌گیری پسماندهای با رفتار تیکسوتروپیک یا افزایش غلظت پسماندها در زمان توقف انتقال، به هر دلیل (پیش‌بینی یک سامانه‌ی آماده به کار که قادر به شستشوی خطوط لوله، حتی در زمان قطع برق است می‌تواند پاسخ‌گوی نیازها در چنین شرایطی باشد).
- خوردگی، ساییدگی، و فرسایش خطوط لوله انتقال.
- از پمپ‌های از نوع سانتریفیوژ، برای انتقال سیال با گرانروی کم، گل‌آب با مواد جامد درشت‌دانه و در مسافت‌های تا حداکثر ۱۵ کیلومتر با هد پمپاژ کم[1] استفاده شود.
- برای مسافت‌های طولانی پمپاژ و یا زمانی که گرانروی سیال زیاد باشد از پمپ‌های جابه‌جایی مثبت[2] (مانند پمپ‌های پیستونی و پریستالتیک)، استفاده شود.

به طور کلی اطلاعات اولیه‌ی مورد نیاز برای طراحی اجزای مختلف سامانه‌های انتقال مواد پسماند منجمله انتخاب نوع پمپ به شرح زیر است:

۱- بده انتقال مشتمل بر غلظت و میزان مواد جامد موجود و دامنه‌ی تغییرات آن

۲- فشار مورد نیاز برای پمپاژ

1- Low Head
2- Posetive Displacement Pumps

۳- دانه‌بندی مواد جامد و وزن مخصوص سنگ‌دانه‌ها
۴- مشخصات محیط انتقال مواد جامد (آب یا سیالات دیگر)
۵- میزان ساینده‌گی مواد جامد
۶- گرانروی گل‌آب
۷- طول خط انتقال، شیب مسیر و اختلاف ارتفاع استاتیک موجود در مسیر
۸- طبقه‌بندی نوع گل‌آب از دیدگاه همگنی و یک‌نواختی (برای اطلاعات بیش‌تر به بولتن شماره ۱۰۱ کمیته بین‌المللی سدهای بزرگ مراجعه شود.)

۳-۴- روش‌های ذخیره و نگهداری مواد پسماند

تخلیه، ذخیره و نگهداری مواد پسماند حاصل از عملیات معدنکاری به سه روش کلی امکان‌پذیر است:
الف- تخلیه و دفع در مخزن سدهای پسماند احداث شده (جمع‌آوری رسوبات در سطح زمین).
ب- انبارش در فضاهای خالی موجود.
ج- تخلیه به محیط‌زیست.

از نظر موقعیت استقرار، سازه‌های سطحی ذخیره‌ی مواد پسماند را می‌توان به دو رده تقسیم‌بندی کرد، سازه‌های مستقر در داخل دره و سازه‌های خارج از دره (سدهای دامنه‌ای و خاکریز حلقوی). از دیدگاه مصالح به‌کار رفته در ساخت این سازه‌ها نیز، می‌توان آن‌ها را در دو رده قرار داد:

۱- ساخت با مصالح قرضه‌ای (روش کلاسیک، مانند سدهای مخزنی).
۲- ساخت با مواد پسماند، روش خود انباشت یا خاکریز اولیه (به‌صورت سدهای ترفیع شونده).

سدهایی که به‌صورت ترفیع شونده ساخته می‌شوند، مستقل از نوع مصالحی که برای ساختن آن به‌کار می‌رود، به سه صورت بالارو، پایین‌رو یا محورثابت ساخته می‌شوند. روش‌های مختلف دفع مواد پسماند در جدول شماره (۳-۲) نشان داده شده است. اگر ذخیره‌ی مواد پسماند در سطح بدون همراه داشتن مقادیر قابل توجه آب و به‌بیان دیگر به‌صورت خشک باشد، سازه، انباره‌ی پسماند، و درصورتی‌که آب همراه این مواد زیاد باشد، سازه، سد پسماند نامیده می‌شود. بعضی مواقع انباره‌های پسماند در طی دوران ساختمان خود تبدیل به سد پسماند می‌شوند و تمام سدهای پسماند وقتی که پر از رسوبات شدند تبدیل به انباره‌ی پسماند می‌شوند.

جدول ۳-۲- روش‌های مختلف دفع پسماند

روش‌های دفع پسماند	طبقه‌بندی بر اساس موقعیت ساخت		طبقه‌بندی براساس نوع ساخت	
۱- سدهای پسماند احداث شده (جمع‌آوری رسوبات در سطح زمین)	داخل دره		ساخت با مصالح قرضه‌ای	
			خاکریز اولیه (سدهای ترفیع شونده یا خود انباشت)	ساخت بالارو
				ساخت پایین‌رو
				ساخت محور ثابت
	خارج دره	سدهای دامنه‌ای*	ساخت با مصالح قرضه‌ای	
			خاکریز اولیه (سدهای ترفیع شونده یا خود انباشت)	ساخت بالارو
				ساخت پایین‌رو
				ساخت محور ثابت
		خاکریز حلقه ای (محصور)**	ساخت با مصالح قرضه‌ای	
			خاکریز اولیه (سدهای ترفیع شونده یا خود انباشت)	ساخت بالارو
				ساخت پایین‌رو
				ساخت محور ثابت
۲- انبارش در فضاهای خالی موجود	چاله‌های روباز			
	حفرات موجود در محل دپوی مواد باطله			
	دفع مواد در معادن زیرزمینی			
۳- روش تخلیه به محیط‌زیست	جایگذاری مواد پسماند در عمق دریا			

توجه: روش‌های ذکر شده در بالا می‌تواند به دوصورت آب+ مواد جامد و یا صرفا به صورت مواد جامد مورد استفاده قرار گیرد.

* در مواقعی که سطح حوزه‌آبریز برای ساخت سد در عرض دره زیاد و شیب دره‌ها نیز برای احداث سد در دامنه آن‌ها تند باشد، احداث سد در ته دره پیشنهاد می‌شود. از نظر جانمایی، سدهای ته دره، بین سدهای عرض دره و دامنه‌ای می‌باشند. در این نوع جانمایی، دو دیواره خاکریز باید ساخته شود؛ بنابراین حجم عملیات خاکی در این نوع سد بین حالات سد ساخته شده در عرض دره و سد ساخته شده روی دامنه‌ها می‌باشد.

** در نشریه شماره ۲۳ کمیته ملی سدهای بزرگ ایران (سدهای باطله، طرح، محاسبه و اجرا) از واژه‌ی حصیری استفاده شده است.

۳-۴-۱- سدهای پسماند احداث شده (جمع‌آوری مواد پسماند در سطح زمین)

همچنان که اشاره شد این سدها، در داخل یا خارج از دره و به یکی از روش‌های ساخت با مصالح قرضه و یا سدهای ترفیع شونده (خودانباشت) ساخته می‌شوند.

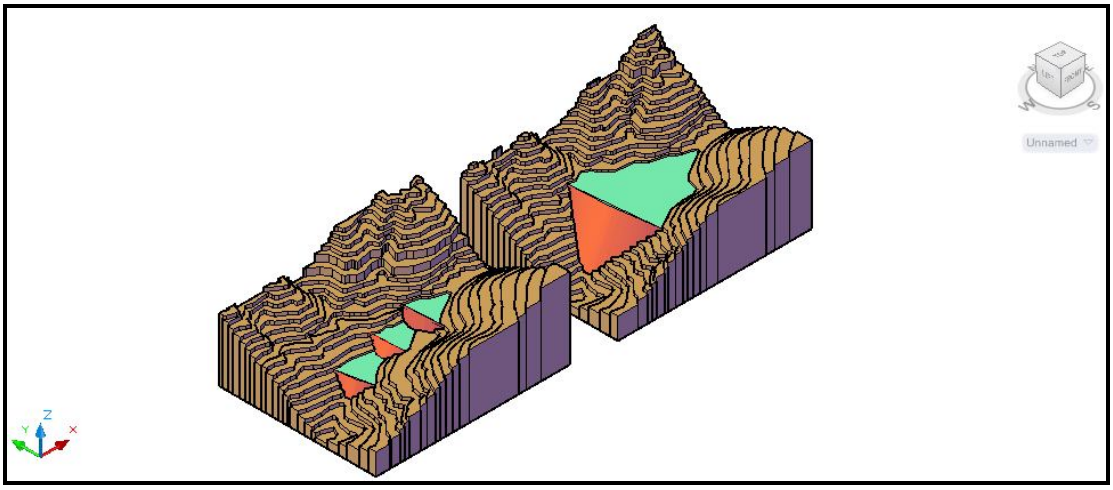
در ادامه به ملاحظات مربوط به هر یک از انواع سازه‌های سطحی ذخیره‌ی مواد پسماند پرداخته می‌شود.

۳-۴-۱-۱- سازه‌های سطحی ذخیره‌ی پسماند (سدهای پسماند احداث شده) در داخل دره

الگوی جانمایی این نوع سدها در شکل شماره (۳-۱) نشان داده شده است. غالبا این نوع سدها در اکثر توپوگرافی‌ها قابل اجرا هستند، همان‌طور که از نام آن‌ها پیداست، با ساخت یک خاکریز در بین دو دیواره‌ی یک دره ساخته می‌شوند و با توجه به نسبت حجم خاکریزی به حجم مخزن ایجاد شده، متداول‌ترین نوع سدهای پسماند می‌باشند. نکته اصلی در این نوع سدها، مساله روان‌آب، کنترل آب اضافی و در صورت امکان انحراف مسیل‌ها می‌باشد. برای کنترل سیلاب‌ها لازم است که سرریز مناسب در ساخت این سدها منظور شود. همان‌طور که پیش‌تر نیز اشاره شد، به‌طور کلی بر اساس نوع ساخت دو روش ذخیره‌ی مواد پسماند وجود دارد:

الف- انباشتگاه‌های احداث شده با مصالح قرضه‌ای (روش ساخت خاکریزها و سدهای خاکی کلاسیک).

ب- انباشتگاه‌های احداث شده به‌روش خاکریز اولیه (سدهای ترفیع شونده یا خود انباشت).



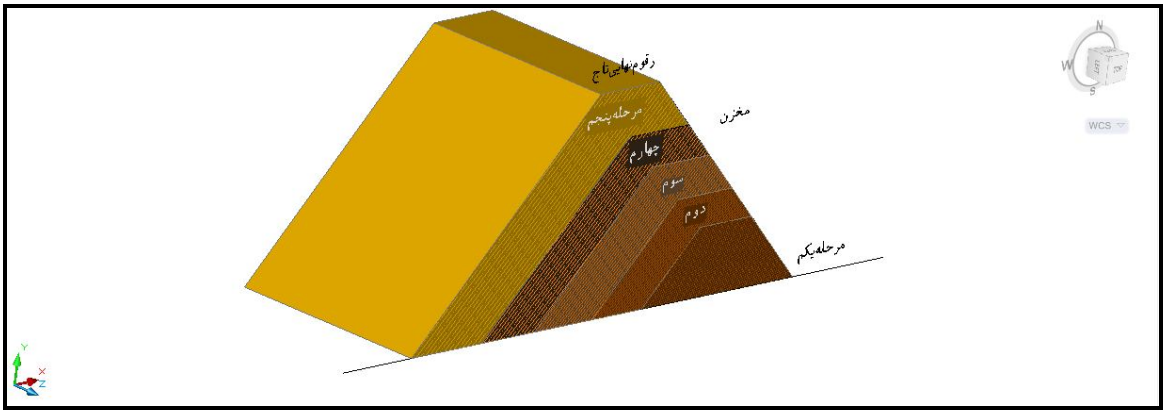
شکل ۳-۱- سدهای واقع در داخل دره (واقع در عرض دره)

الف- انباشتگاه‌های احداث شده با مصالح قرضه‌ای

همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد، این نوع انباشتگاه‌ها همانند سدهای مخزنی کلاسیک ساخته می‌شوند و مصالحی که برای این منظور استفاده می‌شود غالبا از منابع قرضه‌ای تامین می‌شوند. این نوع سدها قابلیت ذخیره‌ی آب اضافی را دارند و از لحاظ پایداری بسیار مناسب هستند، لیکن ساخت آن‌ها هزینه‌های بیش‌تری را در بردارد. بنابراین غالبا در مواردی توصیه می‌شوند که:

- مواد پسماند ریزدانه باشند
- سرعت بالا آمدن سطح مواد انباشته شده، نسبت به زمان مورد نیاز برای ساخت سد توسط مصالح پسماند بیش‌تر باشد.
- وجود برخی دلایل دیگر که از نظر اقتصادی یا اجرایی طرح را توجیه می‌نماید.

این نوع سدها را می‌توان به یکی از حالات همگن، غیرهمگن یا همگن اصلاح شده احداث نمود. درصورتی‌که مصالح قرضه‌ای به حد کافی در دسترس باشند می‌توان این سدها را در یک مرحله ساخت ولی درصورت لزوم این سدها را نیز می‌توان به‌صورت مرحله‌ای ساخت. در شکل شماره (۳-۲) الگوی احداث سد به‌صورت مرحله‌ای به روش پایین‌دست نشان داده شده است. البته با توجه به شرایط می‌توان از روش‌های محور ثابت یا بالارو نیز برای ساخت مرحله‌ای استفاده کرد.



شکل ۳-۲- ساخت مرحله‌ای سدهای پسماند

هرچند مصالح اصلی مورد استفاده در ساخت این نوع سدها مصالح قرضه‌ای می‌باشند، لیکن می‌توان از سنگ‌های مازاد معدن (سنگ‌های باطله‌ی معدن) یا موادپسماند برای تقویت آن‌ها استفاده کرد. درصورتی‌که سد برای تحمل نیروهای موجود و آب طراحی شده باشد، وقتی که مواد پسماند به‌صورت تحکیم نشده و در اعماق زیاد در کنار آن جای بگیرند باعث افزایش بیش از حد تنش‌ها در بدنه‌ی سد شده و پایداری را به خطر می‌اندازند. بنابراین لازم می‌شود که لایه‌هایی از رسوبات با مشخصات مکانیکی بهتر در مجاورت سد جای گیرند و این کار را می‌توان با واریز یا چرخاب کردن جریان مواد پسماند ورودی انجام داد که دو نتیجه رضایت بخش به همراه خواهد داشت:

۱- محافظت بهتر از فیلترها و زهکش‌ها

۲- افزایش ضخامت موثر دیوارهای سد و در نتیجه افزایش پایداری آن

بارگذاری دینامیکی ناشی از وقوع زلزله، می‌تواند موجب روانگرایی مواد پسماند فرونشسته درپای سد (در دریاچه) شده و در نتیجه به‌طور ناگهانی باعث افزایش نیروها وارده بر سد شود. بنابراین در هنگام محاسبه پایداری این‌گونه سدها لازم است که اثر این افزایش تنش‌ها به نحوی در محاسبات وارد شوند، به این منظور می‌توان، اثر افزایش ناگهانی تنش‌ها را با بالا بردن فشار منفذی در جسم سد یا به بیانی افزایش سطح پیزومتریک سنجید.

لازم به ذکر است که در برخی از طرح‌ها ممکن است ساخت یک سد کاملا تراوا برای انباشت مواد پسماند و یک سد کوچک‌تر در پایاب آن برای ذخیره و مدیریت آب‌های نشت کرده از سد تراوا از نظر اقتصادی مناسب‌تر باشد.

سدهایی که به منظور ذخیره‌ی آب و مواد جامد طراحی شده‌اند باید دارای برخی از مشخصات سدهای مخزنی باشند. از جمله‌ی این مشخصات، می‌توان به نواحی رسی با نفوذپذیری کم، پوشش بالادست، زهکش و فیلترها، و اقداماتی برای بهبود عملکرد پی سد از نظر کاهش نشت اشاره کرد.

سدهایی که تنها برای ذخیره‌سازی مواد پسماند جامد طراحی می‌شوند، اغلب دارای زون‌های زهکش و فیلتر هستند تا عبور مطمئن آب‌های نشتی را میسر سازند. هر چند که در برخی از سدهای از این نوع، که راهبرد تخلیه‌ی مواد پسماند در آن‌ها، به گونه‌ای تدوین شده، که افزایش تراز ایستابی در محدوده‌ی سد به حداقل ممکن برسد، پیش‌بینی چنین جزییاتی در بدنه‌ی سد ضروری نخواهد بود.

ب- انباشتگاه های احداث شده به‌روش خاکریز اولیه (سدهای ترفیع شونده یا خود انباشت)

تخلیه‌ی مواد پسماند غلیظ شده بر دامنه‌ی شیب‌ها[1]، به ترتیبی که جدایش ناخواسته‌ای در دانه‌های تشکیل دهنده‌اش واقع نشود، هزینه‌های مربوط به احداث خاکریزهای حایل را به حداقل می‌رساند. از این رو علیرغم افزایش هزینه‌های تغلیظ و پمپاژ، احداث این نوع انباشتگاه از نظر صاحبان طرح‌ها جذابیت ویژه‌ای دارد. در روش خود انباشت، معمولا لازم می‌شود که در طول دوره‌ی بهره‌برداری، شیب طراحی سواحل بدون تغییر حفظ شود، از این‌رو در طراحی این نوع سدها به عوامل موثر بر این الزام به شرح زیر باید پرداخته شود.

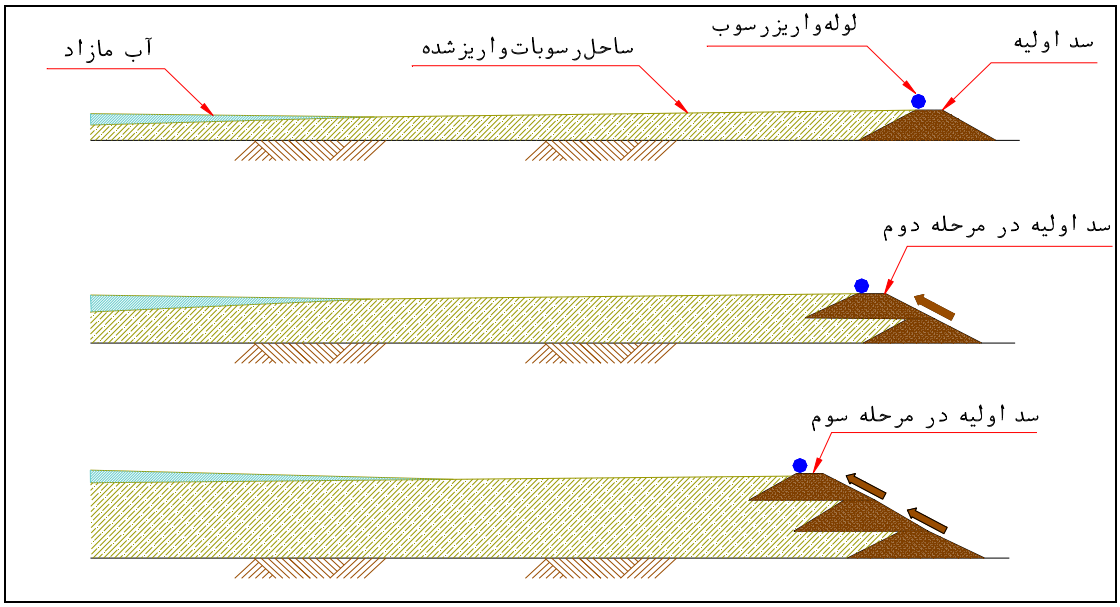
- تغییرپذیری خواص سنگ معدن در طی دوره‌ی بهره‌برداری و تغییرات وزن مخصوص جریان‌های پای‌ریز[2]
- گسترش جانبی پیوسته‌ی مواد پسماند انباشته شده، یا افزایش تدریجی تراز مواد انباشته شده در کناره‌ها
- احتمال بالقوه‌ی بروز اختلال در فرآیند عملیات معدنی
- مدیریت سیلاب‌ها

انباشتگاه‌های احداث شده به روش خاکریز اولیه (سدهای خود انباشت) به سه روش بالارو، پایین‌رو و محور ثابت ساخته می‌شوند. جزییات مربوط به هریک از این روش‌ها را می‌توان در مراجع مختلف[3] یافت. در ادامه به کلیاتی در مورد هریک از این روش‌ها پرداخته می‌شود.[4]

- روش بالارو

در این روش ابتدا خاکریزی سد اولیه (آغازگر) انجام می‌شود، سپس مواد پسماند روی آن جریان داده می‌شوند تا با ترسیب آن‌ها، ساحلی از این مواد فرونشسته تشکیل شود، این ساحل به عنوان پی یا بستر خاکریز مرحله‌ی بعدی عمل می‌کند و این عمل تا رسیدن به ارتفاع نهایی سد ادامه می‌یابد. این روش ساختمان در شکل شماره (۳-۳) نشان داده شده است. سد اولیه (آغازگر) باید به‌طور مطمئنی نفوذپذیر بوده و زه‌آب را از خود عبور دهد.

1- Down-Slope Discharge
2- Underflow
3- Manual on Tailings Dams and Dumps, ICOLD Bulletin No. 45, 1982.
۴- سدهای رسوبگیر، طرح محاسبه و اجرا، نشریه شماره ۲۳ کمیته ملی سدهای بزرگ ایران، ۱۳۷۸.



شکل ۳-۳- روش بالارو برای ساخت سدهای پسماند

سدهای پسماند که به این روش ساخته می‌شوند، اقتصادی‌ترین سدها هستند و سازه‌های مقدماتی، سد اولیه (آغازگر) و کارهای مربوط به تخلیه‌ی مواد پسماند به ساده‌ترین نحو صورت می‌پذیرد. بهره‌برداری از این نوع سدها ساده بوده و با سرعت صورت می‌گیرد، در نتیجه هزینه‌ی بهره‌برداری از آن‌ها نیز کم‌تر از هزینه‌های بهره‌برداری در سایر روش‌ها است.

به عنوان یک ایده‌ی کلی، استفاده از روش بالارو را می‌توان محدود به مواردی دانست که مواد معلق همراه پساب بیش از ۴۰ تا ۶۰ درصد ماسه داشته باشد.

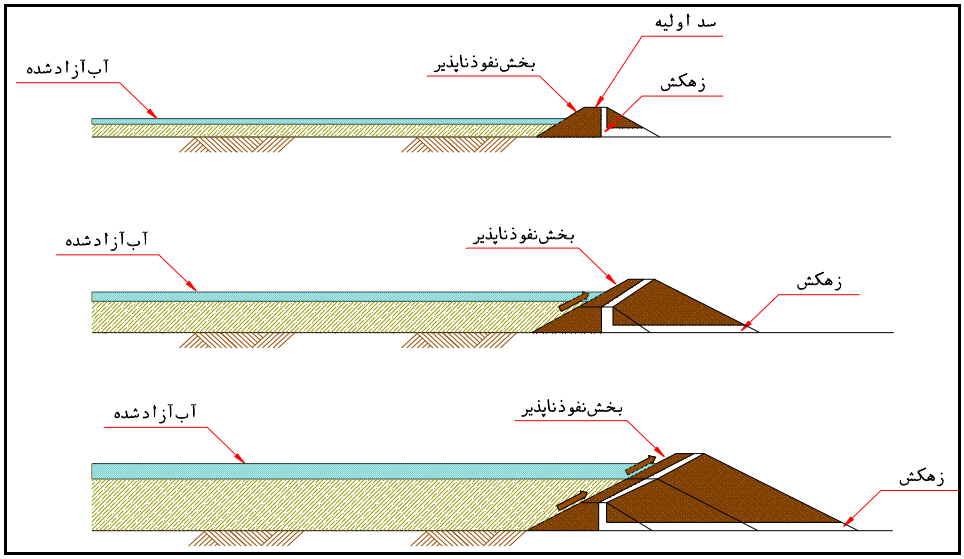
همان طورکه ذکر شد دراین روش بستر خاکریزهای متوالی و همچنین بخش مقاوم سد که در هر مرحله احداث می‌شود، بر روی مواد پسماند ریزدانه ته نشسته در مرحله قبل واقع خواهد شد، از این‌رو ارتفاع این نوع سد، در مقایسه با سدهای پایین‌رو یا محور ثابت، کم‌تر می‌باشد، به‌علاوه از آنجا که انجام عملیات تراکم مکانیکی، در این نوع از سدها امکان‌پذیر نیست، پتانسیل روانگرایی نسبتا بالایی در آن‌ها وجود دارد، به همین دلیل، پایداری آن‌ها در مقابل نیروهای ناشی از زلزله شدیدا تحت تاثیر این پدیده قرار دارد.

از دیگر مواردی که در طراحی، ساخت و بهره‌برداری این نوع سدها باید مورد توجه قرار گیرد خطرات ناشی از نشت آب است، که لازم است با ایجاد سامانه‌های مناسب، هیچ‌گاه اجازه نداد که سد به‌صورت سد مخزنی عمل نموده و آب در مخزن ذخیره شود.

- روش پایین‌رو

در مناطق لرزه‌خیز غالبا از روش پایین‌رو استفاده می‌شود. روش ساخت در شکل شماره (۳-۴) نشان داده شده است. روش پایین‌رو در عین این‌که بیش‌ترین پایداری و ضریب اطمینان را دربین سدهای ترفیع شونده دارد، گران‌ترین روش

نیز محسوب می‌شود، چون باید توسط ابزار مناسبی مواد پسماند درشت دانه را از آب و رسوبات ریزدانه جدا و شیب یکنواختی در پایین‌دست سد ایجاد کرد.



شکل ۳-۴- روش پایین‌رو برای ساخت سدهای پسماند

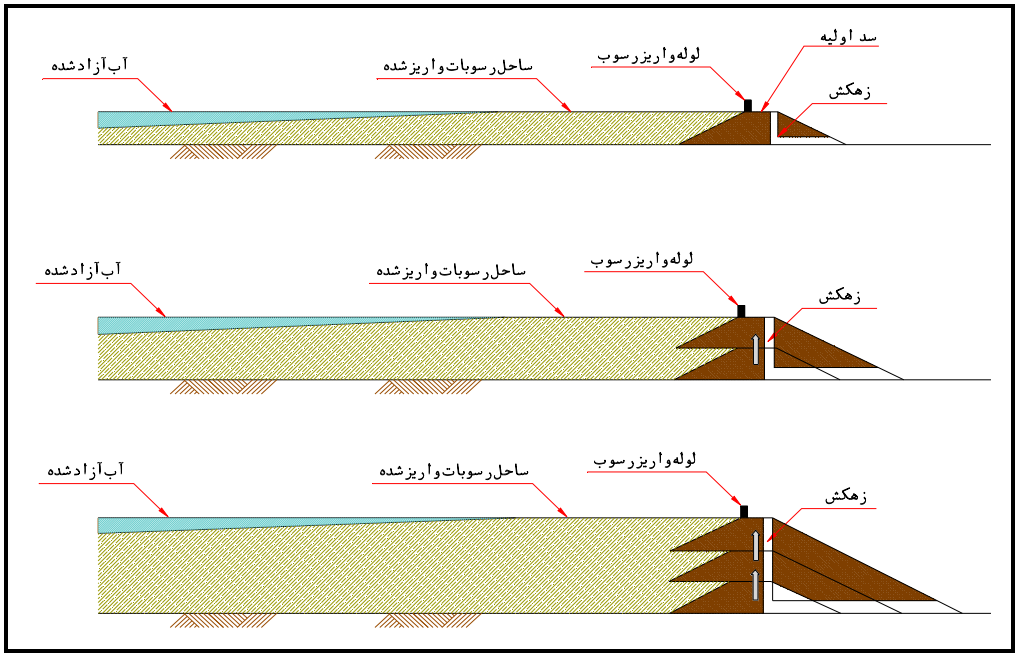
یکی از محدودیت‌های احداث سد با این روش برقراری تعادل بین بخش درشت‌دانه‌ی مواد پسماند که بدنه‌ی سد را تشکیل می‌دهند، آب و بخش ریزدانه‌ی این مواد که قرار است در مخزن انباشته شوند، می‌باشد. به بیان دیگر بخشی از حجم مواد پسماند که برای ساخت سد و ترفیع آن به‌کار گرفته می‌شود، باید حجم افزوده‌ی کافی در مخزن سد تشکیل دهد، به‌طوری‌که پاسخگوی حجم مورد نیاز برای ذخیره باقیمانده‌ی آب و مواد پسماند باشد. با توجه به این محدودیت، غالبا عرض بستر سد محدود شده و این محدودیت موجب محدودیت ارتفاع سد خواهد شد. برای جبران این محدودیت لازم است که سد اولیه‌ی بزرگ‌تری احداث شود، این سد اولیه، باید حداقل زه‌آب را از خود عبور دهد (بر خلاف سدهای ساخته شده به روش بالارو، دراین روش سرعت ترفیع سد محدود نبوده و تابعی از خواص تحکیم‌پذیری مواد پسماند نیست).

- روش محور ثابت (محوری)

در این روش امتداد محور اصلی سد، برخلاف روش‌های بالارو و پایین‌رو، در راستای محور اصلی سد اولیه باقی می‌ماند (یعنی به طرف بالادست یا پایین‌دست کشیده نمی‌شود).

این روش در واقع روشی بین دو روش پایین‌رو و بالارو است. یعنی مقاومت آن درمقابل زلزله نسبتا مطلوب است، و به عملیات ساختمانی کم‌تری نسبت به روش پایین‌رو نیاز دارد.

در این روش، شیب بالادست بر روی مواد پسماند فرونشسته واقع می‌شود؛ بنابراین تکیه‌گاه مناسبی نخواهد داشت، ولی خاکریزهای پایین‌دست از وضعیت مطلوب‌تری برخوردار خواهند شد و می‌توان این خاکریزها را متراکم کرد. در شکل شماره‌ی (۳-۵) این روش نشان داده شده است.



شکل ۳-۵- روش محور ثابت برای ساخت سدهای پسماند

- ملاحظات عمومی در مورد سه روش یاد شده

در جدول شماره‌ی (۳-۳) به‌طور خلاصه، مقایسه‌ی بین روش‌های مختلف معرفی شده آورده شده است. لازم به ذکر است، با در نظر گرفتن سرعت فعالیت‌های معدن‌کاری و ساختار توپوگرافیک ثابت، مدت زمان پر شدن مخزن در سدهای پسماندی که مانند سدهای مخزنی در یک مرحله ساخته می‌شوند، بسیار بیش‌تر از مدت زمان پر شدن مخزن سدهای پسماند ساخته شده به روش‌های مرحله‌ای است. به‌عبارت دیگر، عمر سد اولیه (آغازگر) در سدهای پسماند با خاکریز مشابه سدهای مخزنی، بسیار زیاد می‌باشد. به‌همین صورت، عمر سدهای پسماند ساخته شده به روش مرحله‌ای، در روش‌های بالارو، محور ثابت و پایین‌رو، به ترتیب کم، متوسط و زیاد است.

در مقایسه‌ی بین روش‌های مختلف ساخت سد پسماند و به‌عنوان دید کلی، مصالح مورد نیاز برای ساخت به‌روش پایین‌رو حدودا سه برابر مصالح مورد نیاز در روش بالارو است. و در روش محور ثابت، حجم خاکی حدود دو برابر روش بالارو است.

جدول ۳-۳- مقایسه بین روش‌های مختلف ساخت سدهای پسماند (مرجع:Vick 1990)

محدودیت‌ها نوع خاکریز بدنه	مشخصات مورد نیاز مواد پسماند	بده جریان گل‌آب	تناسب برای ذخیره آب	مقاومت در برابر زلزله	محدودیت سرعت ترفیع	مصالح مورد نیاز	هزینه‌های نسبی	عمر سداولیه
سدهای مخزنی	برای هر نوع پسماندی مناسب است	هر بده مناسب است	خوب	خوب	کل خاکریز در اول کار ساخته می‌شود	مصالح قرضه‌ای	زیاد	بسیار زیاد
بالارو	حداقل ۴۰ تا ۶۰ درصد ماسه در هر نوع رسوب و دانستیه خمیری پایین برای حصول دانه‌بندی درشت دانه	بده باید در کنترل باشد	برای مقادیر زیاد نامناسب است	ضعیف	سرعت ترفیع زیر ۴/۵ تا ۹ متر در سال مناسب و بیش از ۱۵ متر در سال خطرناک است	خاک طبیعی، ماسه مواد پسماند، نخاله‌های معدن	اندک	کم
پایین‌رو	برای هر نوع مواد پسماند مناسب است	در طراحی می‌توان بده‌های مختلف را منظور داشت	خوب	خوب	ندارد	ماسه مواد پسماند یا نخاله‌های معدن، در صورت کافی نبودن آن‌ها مصالح قرضه‌ای	زیاد	زیاد
محور ثابت	ماسه یا لجن با پلاستیسیته کم	ترجیحا بده در کنترل باشد	احجام زیاد توصیه نشده است ولی با تدابیری می‌تواند سیل را نیز در خود جای دهد	متوسط	سرعت خیلی زیاد مسایلی را بوجود خواهد آورد	مثل پایین‌رو	متوسط	متوسط

به طور کلی مزایا و معایب جمع‌آوری رسوبات در سطح زمین به‌روش ساخت خود انباشت یا ترفیع‌شونده، را بـه شـرح زیر است می‌توان خلاصه نمود:

• مزایا

حداکثر بازیافت آب و واکنش‌گرها[1] (مواد شیمیایی مصرف شده)

حد کمینه‌ی عملیات خاکریزی، در نتیجه هزینه‌های اجرایی کم‌تر

کاهش هزینه‌های بهره‌برداری از تاسیسات ذخیره‌سازی مواد پسماند[2]

بیشینه‌سازی امکان خشک‌شدگی از طریق تبخیر، به‌دلیل وسعت نواحی ساحلی، و در نتیجه افزایش وزن مخصـوص و افزایش مقاومت مکانیکی مواد پسماند.

1- Reagents
2- Tailings Storage Facilities (TSF)

امکان جدا کردن محدوده‌ی تجمع روان‌آب‌های ورودی و آب مازاد در مخزن از محدوده‌ی تجمع مواد پسماند؛ که به این‌ترتیب می‌توان مدیریت بهتری بر آب مازاد اعمال کرد.

نیمرخ نهایی زمین در محدوده‌ی مخزن، پس از پر شدن آن به ترتیبی خواهد بود، که روان‌آب ناشی از بارندگی‌ها دور از بدنه سد قرار خواهند گرفت.

شکل نهایی زمین می‌تواند با توپوگرافی محدوده‌ی اطراف سازگار باشد.

دسترسی تقریبا فوری پس از توقف رسوب‌گذاری.

- **معایب**

احتمال نیاز به اختصاص بخشی از ظرفیت ذخیره‌ی مخزن برای مواجهه با روان‌آب‌های با حجم زیاد، ناشی از بارش‌های جوی با مقادیر حدی.

حساسیت توانایی انبارش مخزن به تغییرات بازدهی سامانه‌های تغلیظ، ناشی از فرسایش تجهیزات و یا بروز پاره‌ای تغییرات در فرضیات طراحی.

وابستگی افزایش وزن مخصوص و مقاومت مکانیکی مواد پسماند به خشک شدگی از طریق تبخیر.

سرمایه‌گذاری اولیه‌ی زیاد برای ساخت سامانه‌های تغلیظ، و هزینه‌های بهره‌برداری قابل توجه به علت مصرف زیاد مواد دلمه‌ساز[1].

افزایش هزینه‌های پمپاژ، ناشی از ویسکوزیته (گرانروی[2]) زیاد پساب‌های غلیظ.

فرسایش شیب‌ها در مناطق پر باران.

دشواری کنترل ریزگردها در سطوح وسیع.

در پسماندهای سولفیدی غیراشباع، پتانسیل تشکیل زه‌آب‌های اسیدی فلزدار (AMD) وجود خواهد داشت.

آسیب‌پذیری بیش‌تر در برابر نیروهای زلزله (خصوصا در حالات بالادست و محوری).

۳-۴-۱-۲- سازه‌های سطحی ذخیره رسوبات در خارج دره

به‌طور کلی سازه‌های سطحی ذخیره رسوبات در خارج دره را می‌توان به دو دسته تقسیم نمود:

الف- سدهای واقع در دامنه (سدهای دامنه‌ای)

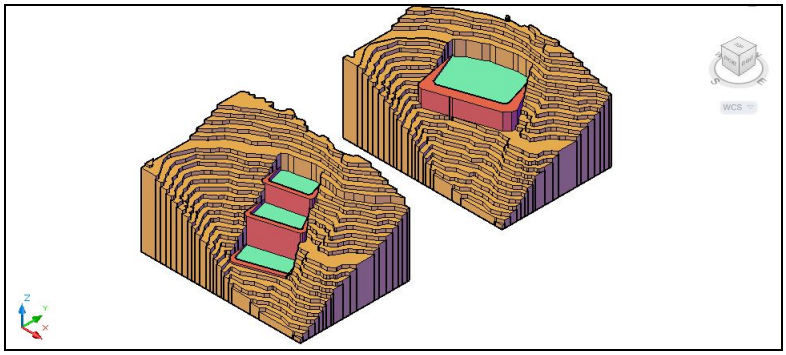
ب- خاکریزهای حلقه‌ای (محصور - حصیری).

1- Flocculants
2- Viscosity

در هر طرح امکان انتخاب سد به هر یک از حالت فوق وجود دارد و انتخاب نهایی بر اساس بهینه‌یابی اقتصادی، زیست‌محیطی و بهره‌برداری صورت می‌گیرد.

الف- سدهای واقع در دامنه‌ها (سدهای دامنه‌ای)

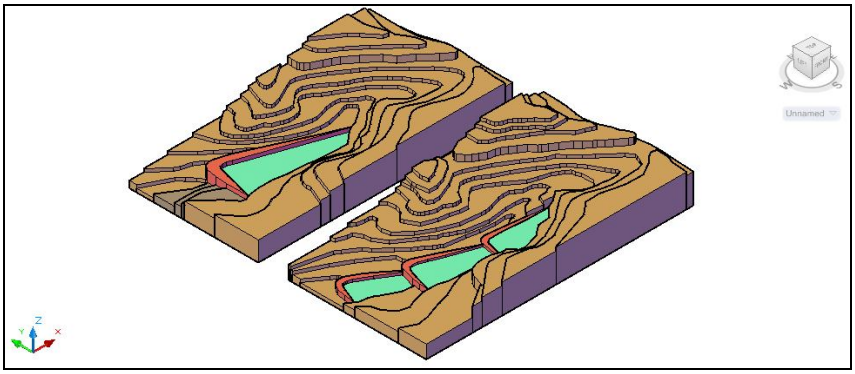
این نوع سدها در شکل شماره (۳-۶) تشریح شده‌اند. عموما برای ساخت سد نیاز به احداث سه دیواره می‌باشد، بنابراین نسبت به سدهای واقع شده در عرض دره، عملیات خاکی بیش‌تری مورد نیاز خواهد بود. این نوع سدها در معرض روان‌آب کم‌تری قرار خواهند داشت. غالبا این طرح برای مواقعی که شیب دامنه‌ها دره تا ۱۰٪ می‌باشند، توصیه شده و برای شیب‌های بیش از ۱۰٪، حجم حاصل شده غیر اقتصادی خواهد بود.

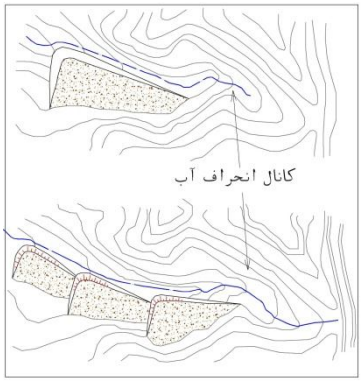


شکل ۳-۶- سدهای واقع در دامنه‌ها

در مواقعی که سطح حوزه‌آبریز برای ساخت سد در عرض دره زیاد و شیب دره‌ها نیز برای احداث سد در دامنه آن‌ها تند می‌باشد، احداث سد در ته دره پیشنهاد می‌شود. این نوع سد از نظر جانمایی، بین سدهای واقع در عرض‌دره (داخل دره) و دامنه‌ای هستند. در این نوع طرح‌ها دو دیواره خاکریز باید ساخته شود؛ بنابراین حجم عملیات خاکی بین حالات سد ساخته شده در عرض دره و سد ساخته شده روی دامنه‌ها می‌باشد. این نوع سدها در شکل (۳-۷) نشان داده شده‌اند[۱].

۱- برای کسب اطلاعات بیش‌تر می‌توان به نشریه شماره ۲۳ کمیته ملی سدهای بزرگ ایران مراجعه نمود.





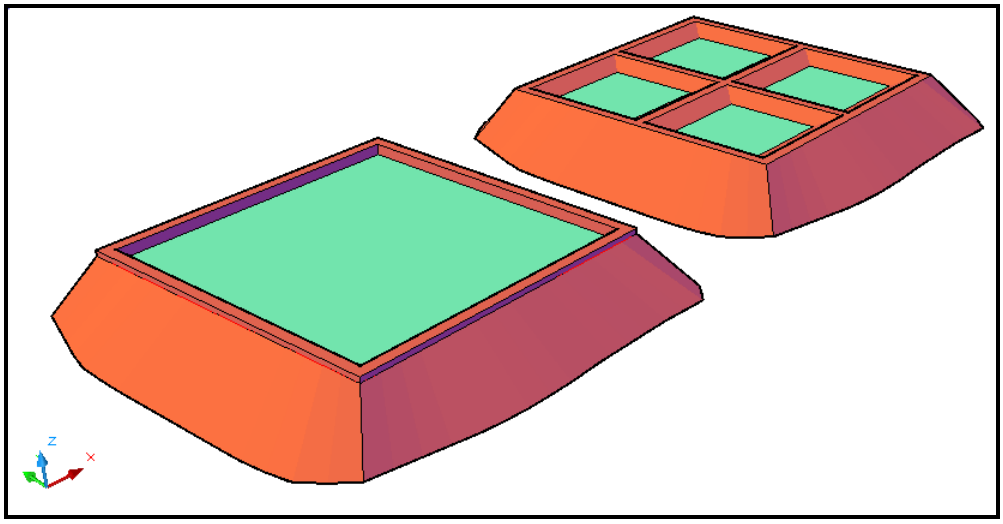
شکل ۳-۷- سدهای ته‌دره

ب- خاکریزهای حلقه‌ای (محصور)

برای ایجاد مخزن در ساختگاه‌های مسطح از خاکریزهای احداث شده به‌صورت حلقه‌ای مسدود باید استفاده کرد. با توجه به بسته بودن این نوع سدها، نقش روان‌آب سطحی در آن‌ها حذف شده و تنها باید مساله‌ی نزولات جوی که مستقیما بر روی دریاجه ریزش می‌کنند را حل کرد. مطابق شکل (۳-۸) این سدها را می‌توان به‌صورت ساده یا چند بخشی اجرا نمود.

در این روش مواد پسماند در یک حصار که به‌وسیله شکل دادن یک سطح یا حوضچه ساخته شده است ته‌نشین می‌شود. این مواد در ضخامت‌های ۱۰ تا ۱۵ سانتی‌متر در داخل حصارها ته‌نشین شده و بعد از ته‌نشینی، آب مازاد رو زده از مخزن سد خارج می‌شود. پس از طی شدن زمان لازم برای خشک شدن مواد انباشته شده، دیواره‌های اطراف به‌وسیله دست یا ماشین ترفیع می‌شود. این روش به مقدار زیادی به تبخیر بستگی دارد، از این‌رو برای ساخت در مناطق بیابانی و نیمه‌بیابانی مناسب است.

سامانه محصور را می‌توان به هر یک از روش‌های ساخت با مصالح قرضه‌ای یا روش خاکریز اولیه (ساخت به‌روش بالارو، پایین‌رو یا محورثابت) اجرا نمود. در شکل (۳-۸) حالت محورثابت نشان داده شده است. روش محصور یا حصیری در مناطقی که وضعیت اقلیمی مناسب بوده و میزان تبخیر بالا باشد و در مواقعی که جدا کردن رسوبات با روش‌های دیگر مثل چرخاب (هیدروسکلون) یا روش واریزی، به دلیل هم اندازه بودن ذرات، مقدور نباشد، به‌کار گرفته می‌شود. در معادن طلای آفریقای جنوبی این روش به‌طور گسترده‌ای به‌کار گرفته می‌شود. با در نظر گرفتن جدول شماره (۳-۳) می‌توان گفت همانند سدهای احداث شده در داخل دره، سدهایی که به‌صورت خارج از دره احداث می‌شوند نیز می‌توانند به‌روش ساخت با مصالح قرضه‌ای و یا خاکریز اولیه (ترفیع شونده یا خود انباشت) اجرا شوند. در اجرا به‌روش خاکریز اولیه، بدنه سد می‌تواند به‌صورت بالارو، پایین‌رو و محوری (محور ثابت) احداث شود.



شکل ۳-۸- خاکریزهای حلقه‌ای: سمت چپ (ساده) سمت راست (چندبخشی)

۳-۴-۲- فضاهای خالی موجود

مواد پسماند می‌توانند با هزینه کم در چاله‌های ایجاد شده، حفرات موجود در محل دپوی مواد باطله یا در فضاهای زیرزمینی نگهداری شوند.

۳-۴-۲-۱- چاله‌های روباز[1]

برای انبارش مواد پسماند از چاله‌های متروکه‌ی معادن روباز قدیمی که در نزدیکی معادن جدید قرار دارند می‌توان بهره جست. در برخی از طرح‌ها این روش می‌تواند بهترین انتخاب باشد، مثلا در طرح‌هایی که در نظر است خطر تخلیه‌ی کنترل نشده‌ی مواد به پایین‌دست به حداقل ممکن کاهش داده شود. به هر صورت اگر به هر دلیل دیگر هم لازم باشد که چاله‌های رو باز معادن پر شوند، استفاده‌ی از مواد پسماند می‌تواند پاسخ مناسبی برای تامین این نیاز باشد. برای دفع مواد پسماند در چاله‌های روباز ملاحظات به شرح زیر باید مورد توجه قرار گیرند:

- عدم امکان بهره‌برداری از منابع موجود در لایه‌های زیرین یا نواحی اطراف محدوده‌ی ذخیره‌سازی
- اثرگذاری بر منابع آب زیرزمینی بالقوه و یا اثرپذیری از این منابع.
- در طی دوره‌ی انبارش، سرعت افزایش تراز مواد پسماند در مخزن، بر میزان تبخیر و تحکیم مواد اثرگذار بوده و از این طریق عواملی به شرح زیر را تحت تاثیر قرار خواهد داد.
  - وزن مخصوص مواد انباشته در مخزن
  - بازیابی آب از مواد پسماند

1- Open Pits

- دسترسی به سطح انباشتگاه برای پوشش نهایی.
- نشست تحکیمی پس از انبارش

– کآرایی و اثربخشی استفاده از زهکشی تحتانی
– فشار استاتیک برای تلمبه زنی آب روزده‌ی مازاد یا آب‌های سطحی از درون چاله

۳-۴-۲-۲- حفرات موجود در محل دپوی مواد باطله

در برخی از معادن روباز، می‌توان انباشتگاه سنگ‌های باطله را به ترتیبی شکل داد که فضایی برای انباشت مواد پسماند حاصل از فرآیند تغلیظ نیز تامین شود. ملاحظات مربوط در این مورد، شامل موارد به شرح زیر می‌باشند:

– دانه‌بندی سنگ باطله، و توانایی آن در نگه‌داشت مواد پسماند؛
– سرانجام آب موجود در مواد پسماند، که به داخل توده‌ی سنگ باطله‌ی انباشته نفوذ می‌کند.
– اثرات بالقوه تراوش آب بر پایداری توده‌ی سنگ انباشته.

۳-۴-۲-۳- دفع مواد در معادن زیرزمینی

در برخی از روش‌های معدنکاری زیرزمینی، کارگاه‌های[1] انباره‌ای مراحل پیشین حفاری، را باید به تدریج پر کرد. به این منظور می‌توان از مواد پسماند به عنوان مصالح پر کننده استفاده کرد. اما از آنجا که این مواد به‌صورت پساب منتقل می‌شوند، زهکشی و تحکیم آن‌ها به کندی صورت خواهد گرفت. از این‌رو اغلب، بخش درشت‌دانه‌ی مصالح پسماند از بخش ریزدانه‌ی آن تفکیک شده و بخش درشت‌دانه، که معمولا به‌منظور تثبیت به آن سیمان یا آهک افزوده می‌شود برای پرکردن مورد استفاده قرار می‌گیرد. به عنوان راه حل دیگر، می‌توان از سامانه‌های تغلیظ، یا فیلترهای مکانیکی برای آبگیری از مواد پسماند استفاده کرد. به این ترتیب، مواد پسماند، خمیری شکل خواهد شد، در نتیجه مواد ریزدانه‌ی بیش‌تری می‌تواند در مصالح پرکننده وجود داشته باشد.

این روش، روشی تخصصی است که نیازمند انجام تحقیقات گسترده، تجربه کافی، و دقت در طراحی؛ به ویژه از دیدگاه توجه به اثرات آن بر کارگاه‌های انباره‌ای مجاور واقع در اعماق بیش‌تر است. همچنین در این روش امکان بروز خطر از نظر بهداشت محیط کار وجود دارد که این امر نیز باید در طراحی‌ها مورد توجه واقع شود.

1- Stope

۳-۴-۳- تخلیه در محیط‌زیست

عموما دفع مواد پسماند به رودخانه‌ها یا آب‌های کم عمق، اثرات سوء زیست‌محیطی قابل توجهی در پی خواهد داشت، و از آنجا که هر فعالیت معدنی که امکان بروز خسارات زیست محیطی غیر قابل بازگشت داشته باشد، از نظر جامعه و به طریق اولی از نظر معدن‌کاران غیرقابل پذیرش است، این روش دفع مواد پسماند روشی نامناسب دانسته می‌شود.

روش‌های جایگذاری مواد پسماند در عمق دریا، برای مواقعی‌که آب‌های عمیق در نزدیکی معدن قرار داشته باشند به شرط ملحوظ داشتن معیارهای دقیق و مناسب، می‌تواند مورد توجه قرار گیرد. البته، با توجه به حداقل عمق آب مورد نیاز برای استفاده از این روش و نیز موقعیت عمومی محل معادن درایران، این روش نمی‌تواند محل مصرفی در کشور داشته باشد. به هر حال پرداختن به جزییات این روش موضوع راهنمای فعلی نبوده و به مطالعات جداگانه‌ای نیاز دارد.

۳-۵- روش‌های تخلیه و راهبردهای فرونشانی (انباشت) مواد پسماند

۳-۵-۱- روش‌های تخلیه هیدرولیکی

تصمیم‌گیری در مورد انتخاب روش تخلیه در مرحله‌ی طراحی انجام می‌شود. برای پیاده کردن موثر روش منتخب، باید بهره‌برداران را به موقع، از ملزومات و مبانی روال‌های بهره‌برداری مناسب آگاه ساخت. در بولتن شماره‌ی ۱۰۱ کمیته‌ی بین‌المللی سدهای بزرگ (ICOLD)، طبقه‌بندی جامعی از روش‌های مختلف تخلیه، همراه با شرح جزییاتی برای هر یک، ارائه شده است که می‌توان از آن به عنوان مرجعی در این زمینه بهره گرفت. جدای از این‌که از چه روشی برای انبارش و نگهداری مواد پسماند استفاده می‌شود، باید اطمینان حاصل کرد که در روش منتخب برای فرونشانی و توزیع مواد پسماند در مخزن، از ظرفیت ایجاد شده برای انبارش، به طور موثر استفاده می‌شود. در ادامه روش‌های معمول تخلیه پساب به طور خلاصه معرفی می‌شوند.

۳-۵-۱-۱- تخلیه‌ی تک نقطه‌ای ثابت (مخروطی)

درصورتی‌که شرایط از نظر توپوگرافی مناسب باشد، در برخی از روال‌های فرونشانی مواد پسماند، از روش تخلیه‌ی تک نقطه‌ای استفاده می‌شود. باید توجه داشت که با ثابت باقی ماندن محل تخلیه در یک نقطه، تجمع مواد پسماند در این نقطه می‌تواند موجب انبارش غیر متوازن، و در نتیجه، استفاده‌ی غیرموثر از مخزن شود. یکی از انواع روش تخلیه‌ی تک نقطه‌ای که در مورد پسماندهای غلیظ شده، کاربرد دارد روش تخلیه مرکزی است. در این روش با استفاده از یک لوله‌ی عمودی (تخلیه به سمت بالا) مواد پسماند در پیرامون نقطه‌ی مورد نظر تخلیه خواهد شد. ابتدا یک دیواره‌ی تقریبا دایره‌ای برای مخزن ساخته شده و مواد پسماند به‌وسیله لوله‌ی یاد شده از بالا به مرکز مخزن ریخته می‌شوند در این روش لازم است که پساب غلظت زیادی (در حدود ۷۰ درصد) داشته باشند. در این حالت ساختمان، سد به‌صورت مخروطی می‌شود که راس آن در امتداد مرکز قاعده‌ی مخزن قرار گرفته است.

۳-۵-۱-۲- روش پخش تک نقطه‌ای متناوب

در این روش، تخلیه‌ی تمامی مواد پسماند در هر لحظه، تنها از یک نقطه صورت می‌گیرد ولی برای انجام این کار نقاط متعددی در مخزن پیش‌بینی می‌شود، از این‌رو در هر زمان می‌توان نقطه‌ی تخلیه را تغییر داد. این روش در ساختگاه‌هایی که در آن‌ها مخزن، از چند دره‌ی مستقل تشکیل شده است و در نظر است که توزیع مواد پسماند در داخل آن‌ها به صورت یکنواخت انجام شود به کار می‌رود.

۳-۵-۱-۳- تخلیه واریزی/ چندگانه

در این روش مواد پسماند به‌صورت طبیعی و بدون انجام فرآیند مکانیکی به دو بخش ریزدانه (لجن) و درشت دانه (ماسه) تقسیم می‌شود. ته‌نشین‌سازی طبیعی مواد این مزیت را دارد که در پروفیلی در امتداد جریان خروجی، ابتدا ماسه و پس از آن بخش ریزدانه ته‌نشین می‌شود،که حالتی مطلوب برای ساخت بدنه‌ی سدها با مواد پسماند است.

در این روش مواد پسماند از طریق شاه‌لوله‌های اصلی که در بخش‌هایی از محیط مخزن نصب می‌شوند و دارای دریچه‌های خروجی متعددی هستند در مخزن تخلیه می‌شود، این دریچه‌ها در فواصل یکسان (مثلا با فواصل مرکز به مرکز ۱۰ یا ۲۰ متر) نصب می‌شوند. به این ترتیب، تخلیه می‌تواند با باز کردن و بستن متناوب گروه‌های مختلفی از خروجی‌ها در هر زمان، در دور تا دور مخزن صورت گیرد. این تکنیک به منظور دستیابی به ساحلی با ضخامت کم و یکنواخت که به خوبی درشت‌دانه‌ها و ریزدانه‌های آن تفکیک شده‌اند و قابلیت خشک‌شدگی و رسیدن به حداکثر مقدار وزن مخصوص خود را دارند، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۳-۵-۱-۴- پخش با استفاده از هیدروسیکلون[1] یا چرخاب

درصورتی‌که مواد پسماند حاوی مقادیر قابل توجه‌ای ماسه باشد، از چرخاب (هیدروسیکلون) می‌توان برای جداسازی درشت‌دانه‌های با خاصیت زهکشی بالا[2]، از بخش ریزدانه (لجن) استفاده کرد. مصالح بخش درشت‌دانه با عنوان «جریان‌ته‌ریز» آب کمی به همراه دارد و پس از زهکشی، برای ساخت یا افزایش ارتفاع خاکریز مورد استفاده قرار می‌گیرد. ساخت خاکریز معمولا به روش‌های محورثابت یا پایین‌رو انجام شده و شامل تمهیداتی برای متراکم کردن مصالح نیز می‌باشد. برای حصول اطمینان از زهکشی مناسب و در نتیجه افزایش پایداری خاکریز، جدایش مناسب ماسه از ریزدانه‌ها (وجود هر چه کم‌تر ریزدانه در ماسه) دارای اهمیت است. بخش ریزدانه به‌همراه بخش اعظم آب به‌طور

1- Hydrocyclone
2- Free Drain

جداگانه باعنوان «جریان سرریز» به درون مخزن تخلیه می‌شود. با توجه به این‌که این روش پخش هدف خاص ساخت سد را دنبال می‌کند، لازم است که کیفیت کار به طور مداوم از دیدگاه‌هایی به شرح زیر تحت کنترل قرار داشته باشد.

- کیفیت مواد تولید شده در جریان ته‌ریز از نظر اندازه‌ی جدایش دانه‌ها، به ویژه D_{10} آن‌ها، که در واقع بر نفوذپذیری آن موثر خواهد بود.

هم چنان‌که اشاره شد، برای آن‌که مواد پسماند نفوذپذیر باشند، باید ذرات ریزدانه‌ی موجود در جریان ته‌ریز تا حد ممکن (۵ تا۱۲در صد ماسه‌ی موجود در جریان ته‌ریز) کاهش یابند. باید توجه داشت که تمیزتر کردن ماسه‌ی خروجی از چرخاب (هیدروسیکلون)، و درصد ماسه‌ی بازیافتی از کل جریان، نسبت عکس با یک‌دیگر دارند، یعنی تمیزتر کردن ماسه باعث می‌شود که جریان ته‌ریز کم‌تری تولید شود، از این رو ممکن است تامین مصالح برای ساخت و یا افزایش ارتفاع سد با مشکل مواجه شود.

- مشخصه‌ی دیگر جریان ته‌ریز که باید تحت کنترل باشد، غلظت جریان است. درصورتی‌که این عامل تحت کنترل نباشد نمی‌توان به شیب‌های یکنواخت در جریان ته‌ریز (و در واقع در بدنه‌ی سد) دست یافت.
- وزن مخصوص درجای مواد و همچنین نفوذپذیری آن‌ها از دیگر مشخصه‌های مهندسی جریان ته‌ریز فرونشسته است که در طول دوران بهره‌برداری باید تحت کنترل باشد. در این راستا، باید آزمایش‌های منظمی برای اندازه‌گیری پارامترهای یاد شده صورت گیرد تا بتوان به حصول مشخصات فرض شده در مرحله‌ی طراحی اطمینان یافت.

در طرح‌هایی که مواد پسماند تولید شده، حاوی اجزای ریزدانه‌ی زیادی باشند، می‌توان از سیکلون‌ها به‌صورت متوالی (۲ سری یا بیش‌تر) استفاده کرد. در طراحی سامانه‌ی ساخت سد با استفاده از چرخاب (هیدروسیکلون)، محدودیت‌های به شرح زیر باید مورد توجه باشد.

- بهره‌برداری از چرخاب‌ها (هیدروسیکلون‌ها) مستلزم وجود فشار و سرعت کافی جریان است. معمولا انرژی مورد نیاز برای ایجاد چرخش، از طریق سیستم‌های پمپاژ تامین می‌شود.
- عملکرد صحیح چرخاب‌ها (هیدروسیکلون‌ها) منوط به بده ثابت جریان است، از این‌رو، طراحی صحیح استخرهای تنظیم کننده، قبل از سیستم پمپاژ می‌تواند عامل مهمی در افزایش بهره‌دهی هیدروسیکلون‌ها باشد.
- دانه‌بندی مواد پسماند عامل مهمی در بازدهی چرخاب‌ها (هیدروسیکلون‌ها) است. چنانچه این مواد در یک اندازه باشند، تفکیک آن‌ها در چرخاب‌ها (هیدروسیکلون‌ها) دشوار و غیر عملی است.
- جریان ورودی به چرخاب (هیدروسیکلون) باید به حد کافی رقیق باشد. جریانهای با غلظت بیش از ۵۰٪ برای چرخاب شدن مناسب نیست از این‌رو بازدهی جدایش ذرات کم خواهد بود.در این شرایط با افزودن مقدار کافی آب به جریان هیدروسیکلون، می‌توان رفع مشکل کرد. تعیین مقدار آب مورد نیاز برای افزودن به مدار چرخاب (هیدروسیکلون) و شناسایی محدودیت‌های موجود در این ارتباط از نکات مهم در طراحی هیدروسیکلون‌ها می‌باشد.

- از دیگر نکات اصلی در طراحی چرخاب‌ها (هیدروسیکلون‌ها)، اطمینان از تامین حجم کافی مصالح مورد نیاز برای احداث بدنه‌ی سد است. جریان زیر سیکلون، که درشت دانه‌تر است، درصد کم‌تری از حجم ورودی را تشکیل می‌دهد و جریان بالای سیکلون، که شامل ذرات ریزدانه و آب پساب است، درصد بیش‌تری از حجم ورودی را تشکیل می‌دهد. درمرحله‌ی طراحی باید تعادل بین حجم جریان زیر سیکلون و حجم بوجود آمده در مخزن دریاچه، با منظور نمودن ارتفاع آزاد مورد نیاز، مورد بررسی قرار گیرد. توجه شود که در رقوم‌های پایین مخزن، به لحاظ عرض زیادتر پایه‌ی سد و در نتیجه حجم بیش‌تر مصالح مورد نیاز برای احداث هر متر ارتفاع سد از یک سو و توجه به این واقعیت که در غالب ساختگاه‌ها در رقوم پایین حجم بوجود آمده در مخزن به ازای هر متر افزایش ارتفاع کم‌تر از رقوم‌های فوقانی مخزن می‌باشد، این مشکل تشدید می‌شود. همان‌طورکه اشاره شد، راه حل این مساله، افزایش بازدهی چرخاب‌ها (هیدروسیکلون‌ها) و همچنین احداث سد پایه‌ی بلندتر است.

جداسازی مواد پسماند به‌وسیله‌ی چرخاب (هیدروسیکلون) می‌تواند به سه روش انجام شود، سیکلون کردن روی سد، روش ایستگاه مرکزی و حالت ترکیبی. برای کسب اطلاعات بیش‌تر در مورد جزییات این روش‌ها می‌توان به نشریه‌ی شماره‌ی ۲۳ کمیته‌ی ملی سد بزرگ ایران مراجعه کرد.

۳-۵-۲- انبارش مواد پسماند به‌صورت خشک

با وجودی که حمل و انبارش هیدرولیکی مواد پسماند، معمولا اقتصادی‌ترین روش است، ممکن است تحت شرایطی، ترکیبی از روش‌های هیدرولیکی و مکانیکی نیز برای این منظوربا صرفه باشد.

برای حمل مکانیکی مواد پسماند لازم است که رطوبت آن‌ها کنترل شود تا در وضعیتی در حد پلاستیک یا نیمه جامد باشند. وقتی رطوبت مواد خیلی بالا باشد یا به صورت هیدرولیکی به محل انبارش حمل شده باشند، باید اقداماتی برای کاهش رطوبت انجام داد. این کار توسط فیلتر، خشک‌کن‌های مکانیکی یا هیدروسیکلون‌ها (چرخاب‌ها) صورت می‌گیرد.

مزیت عمده‌ی این نوع انبارش مواد پسماند آن است که هر مقدار از مواد را می‌توان به محل مناسبی که اقتضا می‌کند حمل کرد، علاوه بر این، بجز آن بخش از مواد پسماند که به عنوان جزیی از سازه‌ی ایجاد ظرفیت انبارش مورد استفاده می‌باشند، باقی مواد نیازی به متراکم نمودن و افزایش مقاومت نخواهند داشت.

پایدارترین حالت این نوع انبارش حالتی است که مواد پسماند به صورت لایه لایه ریخته شده و هر لایه در اثر آمد و شد ماشین‌های ساختمانی متراکم شود. عمده‌ترین محدودیت این روش کنترل رطوبت مناسب برای حمل است، درصورتی‌که رطوبت بیش از حد باشد، حمل آن دشوار و درصورتی‌که مواد پسماند زیاد خشک شده باشند، حمل آن‌ها همراه با گرد و خاک و آلودگی محیط‌زیست خواهد بود.

روش‌های دیگری از قبیل تسمه نقاله و حمل جاده‌ای به‌همراه سیستم‌های پشته‌سازی مصالح خشک با استفاده از مواد پسماند فیلتر شده امکان‌پذیر است.

۳-۵-۳- راهبردهای فرونشانی (انباشت) مواد پسماند

راهبردهای اصلی فرونشانی (انباشت) مواد پسماند را می‌توان به شرح زیر طبقه‌بندی کرد:

الف- فرونشانی (انباشت) در زیر آب

انباشت در زیر آب، به راهبردی گفته می‌شود که سطح مواد پسماند همواره به‌طور مستغرق در زیر سطح آزاد آب قرار داشته باشد. به این ترتیب جدایی بخش جامد پسماند از بخش مایع آن تنها طی فرآیند ته‌نشینی و تحکیم در زیر آب صورت می‌گیرد. این راهبرد را باید با احتیاط و تنها در طرح‌هایی استفاده کرد که با توجه به شرایط اقلیمی و طراحی، اطمینان کافی از تشکیل پوششی از آب با ضخامت مناسب بر روی مواد پسماند در تمام طول سال وجود داشته باشد و به‌علاوه وجود این پوشش از نظر محیط‌زیست، بهداشت محیط و مسایل ایمنی که تحت تاثیر خصوصیات شیمیایی یا فیزیکی مواد پسماند قرار دارند الزامی دانسته شود. مثلا در مواردی که برای جلوگیری از اکسیداسیون سولفیدها، یا کاهش تشعشع رادون از مواد پسماند رادیواکتیو وجود چنین پوشش آبی ضروری تشخیص داده شود. در سایر موارد، عملا مدیریت آب در مخزن سد، بدون پذیرش این امر که آب آزاد به صورت حوضچه‌ای بر روی مواد پسماند باقی خواهد ماند و یا از روی این مواد جاری خواهد شد ناممکن است. البته در سامانه‌های انبارش با سطح محدود هم،که سرعت افزایش تراز انبارش در مخزن به اندازه‌ای زیاد است که خشک شدگی سطحی موثری رخ نمی‌دهد با راهبرد فرونشانی در زیر آب مواجه خواهیم بود.

ب-انباشت (فرونشانی) سطحی ساحلی

انباشت سطحی ساحلی؛ با شکل‌گیری ساحلی نمایان از مواد پسماند که، بخش عمده‌ای از سطح مخزن ذخیره را تشکیل می‌دهد صورت می‌گیرد. وزن مخصوص مواد پسماند با خشک شدگی بر اثر تبخیر که غالبا فروریزش[1] مواد را در پی دارد، افزایش می‌یابد. کاستن از وسعت سطح آبگیر به حداقل ممکن، اتلاف کلی تبخیر را کاهش می‌دهد. هرگاه که لازم باشد می‌توان با انجام عملیات مکانیکی، وزن مخصوص مواد پسماند موجود در ساحل را نسبت به آنچه با تبخیر معمولی حاصل می‌شود افزایش داد. به عنوان نمونه‌ای از این عملیات، می‌توان از استفاده از غلتک‌های خاص[2] که در محیط‌های آبی - خاکی به‌کار می‌روند نام برد.

1- Collapce
2- Amphi-Roller

ج-سیستم‌های انباشت خشک

شامل آبگیری مواد پسماند (به‌عنوان مثال استفاده از فیلترهای مکانیکی) و رساندن آن به وضعیتی که بتوانند با استفاده از نقاله یا ماشین‌آلات حمل خاک و از روی زمین منتقل شوند.

ملاحظات طراحی در هر یک از موارد پیش‌گفته، شامل مواردی به شرح زیر است:

- اثر تغییرات میزان تبخیر بین تابستان و زمستان بر مقاومت و وزن مخصوص.
- پی‌آمدهای محتمل آب جمع شده در مخزن، طی فصول مرطوب، زمستان و یا پس از وقوع شرایط سیلابی. نحوه‌ی مدیریت و برخورد با آن.
- جانمایی در دره‌های باریک یا در مواقعی که سرعت افزایش تراز مواد در مخزن در مراحل اولیه‌ی انباشت به حدی است که امکان خشک شدن مواد پسماند وجود نداشته باشد. به این ترتیب هرچند که در مرحله‌ی طراحی، عملکرد دراز مدت سیستم به صورت انباشت سطحی ساحلی در نظر گرفته شده باشد، عملا انباشت در زیر سطح آب صورت خواهد گرفت، از این‌رو در طراحی‌ها باید اثرات وجود لنزهایی از مواد با مقاومت کم، بر پایداری کل مجموعه به دقت مورد ارزیابی قرار گیرد.
- اثرات ذخیره‌ی مواد در مخازن متعدد و گردش تخلیه بین چند مخزن انبارش موجب می‌شود که در طی دوره‌ای که تخلیه‌ی مواد به هر یک از مخازن متوقف است، محل تجمع آب در آن مخزن خشک شود. تجمع لجن‌های مرطوب کم مقاومت در محل تخلیه به حداقل برسد. به علاوه به‌دلیل قطع مکرر تخلیه، جریان‌های نشتی از بستر کاهش یافته و از آنجا که نیاز به تخلیه و افزایش سطح یک مخزن به‌طور هم‌زمان وجود ندارد، زمان‌بندی افزایش سطح انباشت آسان‌تر باشد.
- لخته کردن در نقطه‌ی تخلیه. جدا سازی مواد جامد از مایع با استفاده از مقادیر زیاد از افزونه‌های شیمیایی لخته‌ساز در نقطه‌ی تخلیه‌ی خطوط لوله، می‌تواند مقادیر قابل توجه‌ای از آب همراه پساب را از مواد جامد جدا کند. این عمل باعث افزایش وزن مخصوص اولیه‌ی مواد انباشته، ارتقای بازیابی آب از این مواد، و با توجه به سرعت تبخیر در ساختگاه، افزایش وزن مخصوص نهایی مواد انباشته خواهد شد. این امر موجب افزایش ویسکوزیته پساب‌ها نیز خواهد شد، که از این طریق سواحلی با شیب بیش‌تر شکل خواهند گرفت و جریان روان‌آب‌ها و آب‌های زهکشی تسهیل خواهد شد. به نظر می‌رسد که، این روش در مواردی که پساب‌ها دارای مقادیر زیاد از مواد ریزدانه با پلاستیسیته بالا باشند بیش‌ترین بازدهی را داشته باشد.

۳-۵-۴- جدایش دانه‌ها و شیب ساحل

برای پساب‌های با غلظت کم، جدایش دانه‌های درشت‌تر در بخش فوقانی شیب، منجر به شکل‌گیری ساحل مقعر می‌شود[1] که ممکن است به صورت موضعی در اطراف محل تخلیه دارای شیبی نسبتا تند (۵ درصد یا بیش‌تر) هم باشند، ولی قسمت پایینی شیروانی تقریبا افقی خواهد بود.

متعاقبا، مصالح درشت‌دانه‌تر در قسمت فوقانی ساحل می‌تواند برای عملیات ساخت سد یا خاکریز مجدد معدن مورد استفاده قرار گیرد. اگر این روش به‌کار گرفته شود، اثرات مربوط به تغییر خواص این مصالح نسبت به حالت اولیه‌ی مواد (پیش از جدایش) باید در طراحی‌ها مورد توجه قرار گیرد.

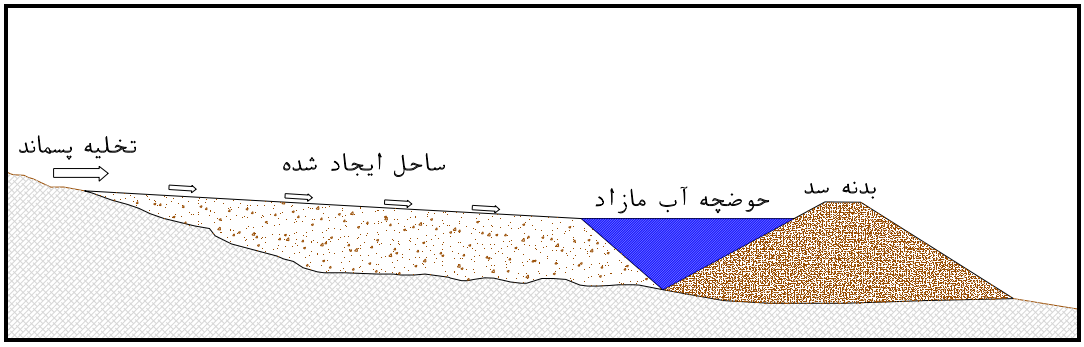
با افزایش غلظت امکان جدایش دانه‌ها در پساب‌ها کاهش می‌یابد، و در نهایت پساب، سیالی همگن و غیرقابل جدایش خواهد شد. شیب عمومی ساحل حاصل از آن یکنواخت و تندتر خواهد بود. بنابراین، از مزایای آن می‌توان برای انباشت پسماندها استفاده کرد. معمولا شیب کلی سواحلی که با پسآب غلیظ ایجاد می‌شوند، در محدوده ۱ تا ۴ درصد است.

۳-۵-۵- حوضچه‌ی آب رو زده (مازاد)

ابعاد و موقعیت حوضچه‌ی آب مازاد متاثر از روش و سمت و سوی تخلیه، هندسه سد پسماند، اقلیم، سرعت بازیابی آب مازاد و مشخصات نشست مواد پسماند می‌باشد. موقعیت حوضچه آب مازاد می‌تواند اثر به‌سزایی بر مقدار نشت آب از مخزن و پایداری استاتیکی و لرزه‌ای (روانگرایی) آن داشته باشد.

با تخلیه‌ی در امتداد شیب مواد پسماند، به سمت بدنه‌ی خاکریز (شکل شماره‌ی ۳-۹)، می‌توان ظرفیت انبارش مخزن را به مقدار قابل توجهی افزایش داد. هر چند که این امر منجر به تشکیل حوضچه‌ی آب مازاد در مقابل یا نزدیکی بدنه‌ی سد و بالا آمدن سطح ایستابی، که بر پایداری آن اثر سوء دارد، خواهد شد. به‌علاوه برای تامین حجم کافی برای کنترل و مدیریت آب در مخزن، ممکن است افزایش ارتفاع سد نیز ضرورت یابد.

1- Blight (1994)

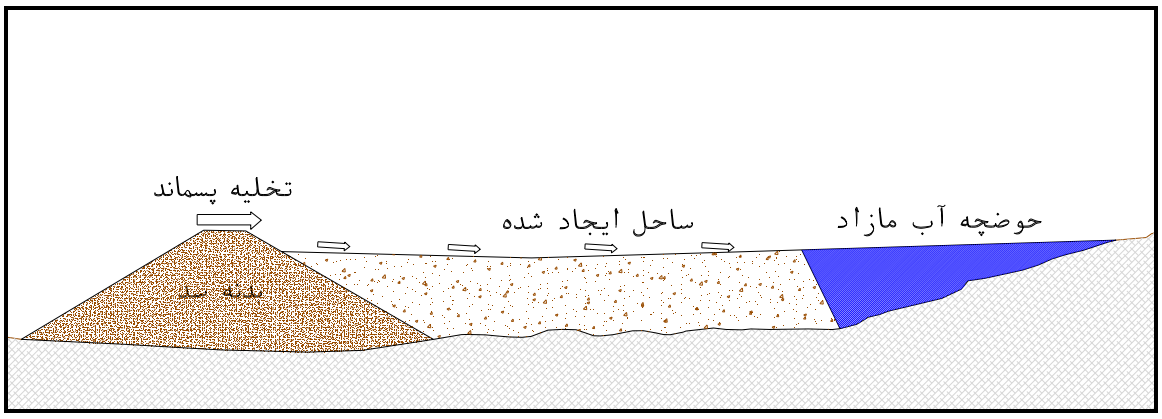


شکل ۳-۹- تخلیه‌ی در امتداد شیب مواد پسماند، به سمت بدنه‌ی خاکریز

لازم به ذکر است که بر اساس مشاهدات در پروژه‌های اجرا شده، شیب فرونشینی مواد پسماند در محل رسیدن به حوضچه آب مازاد در حدود دو برابر شیب نشست این مواد در ساحل ایجاد شده است، از این‌رو در برآورد حجم آب ذخیره شده در حوضچه می‌باید به این امر توجه نمود. به‌علاوه باید توجه داشت که عامل اصلی موثر بر میزان سودمندی استفاده از روش تخلیه‌ی در امتداد شیب، شیب نسبی زمین و ساحل پسماندها است. شیروانی‌های مقعر در ساحل که در نتیجه‌ی جدایش دانه‌های پساب‌ها شکل می‌گیرند، به‌طور چشم‌گیری از سودمندی این روش می‌کاهند. بنابراین، تخلیه‌ی در امتداد شیب پسماندهای غلیظ، که در آن‌ها جدایش دانه‌ها اتفاق نمی‌افتد و شیب‌های تندتری در ساحل تشکیل می‌دهند، موثرتر خواهد بود.

در برخی از شرایط که عملا حوضچه‌ی آب مازادی تشکیل نخواهد شد، برای مدیریت روان‌آب‌ها در فصول مرطوب یا سیلاب‌ها، احتمالا نوعی سد سازی برای مهار آب مازاد مورد نیاز خواهد بود.

در روش تخلیه در پای سد (شکل (۳-۱۰))، می‌توان برای بیشینه کردن ظرفیت انبارش مخزن برای هر ارتفاع معین از سد، طول ساحل را به حداقل ممکن کاهش داد به ترتیبی که حوضچه‌ی آب مازاد با موقعیتی مطلوب و دور از بدنه در نقطه‌ای مرکزی تشکیل شود.



شکل ۳-۱۰- روش تخلیه در پای سد (شیب باطله در محل رسیدن به حوضچه آب مازاد در پروژه های اجرا شده حدود دو برابر شیب نشست باطله در ساحل ایجاد شده است)

۳-۵-۶- کنترل زه‌آب اسیدی و فلزدار[1]

پسماندهای حاوی سولفیدها می‌توانند خطر شکل‌گیری زه‌آب‌های اسیدی و فلزدار را در پی داشته باشند. این امر می‌تواند موجد آثار زیست‌محیطی درازمدت شده، و علاج بخشی موثر و مداومی را الزامی نموده و از واگذاری مجدد معدن پس از توقف کار جلوگیری نماید. باید توجه داشت که ارزیابی خطر زه‌آب‌های اسیدی و فلزدار و گسترش سیستم‌های مدیریتی مربوط، رشته‌ای تخصصی است که در مراحل اولیه‌ی برنامه‌ریزی کار باید ضرورت دریافت توصیه‌های فنی خاص در زمینه‌ی آن مورد توجه باشد. زه‌آب‌های اسیدی و فلزدار در نتیجه‌ی اکسیداسیون سولفیدها، تشکیل اسید سولفوریک و انحلال فلزات در آن ایجاد می‌شوند. این امر موجب تشکیل فروشوینده‌ها و یا جریان‌های آلوده‌کننده خواهد شد. حتی درصورتی‌که مواد پسماند حاوی کانی‌های خنثی‌ساز که pH را کنترل می‌کنند باشند، سیال خروجی می‌تواند شور و به‌خصوص با سولفات بالا باشد.

روش‌های متعددی برای کنترل زه‌آب‌های اسیدی و فلزدار وجود دارند که برخی دارای ریسک بالاتری نسبت به بقیه می‌باشند. نمونه‌هایی از این روش‌ها به شرح زیر است:

- تخلیه‌ی در زیر سطح آب- حفظ حالت اشباع می‌تواند موجب جلوگیری از اکسیداسیون شود.
- دفع زیرزمینی- مانند پرکردن معدن، جایی که مواد پسماند می توانند با گذشت زمان و در درازمدت در زیر تراز ایستابی محل قرار گیرند.
- محدود کردن مدت زمانی که سواحل در معرض هوای آزاد قرار می‌گیرد – پوشش چندباره‌ی ساحل با پسماندهای تازه، موجب حفظ حالت اشباع و محدودسازی تماس اکسیژن با مواد می‌شود. این شرایط به‌ویژه برای زمانی که پسماندها حاوی ظرفیت خنثی‌سازی کافی که موجب بروز تاخیر زمانی پیش از گسترش شرایط اسیدی می‌شوند، مفید می‌باشد.
- فرآوری با هدف خارج ساختن سولفیدها از مواد پسماند به ترتیبی که از سویی برای بخش عمده‌ای از این مواد، خطر شکل‌گیری چنین زه‌آبی کاهش پیدا کند و از سوی دیگر حجم کم‌تری از پسماندهای سولفیددار، که باید به روش ایمن و مناسبی دفع شوند به وجود آید.

باید این نکته نیز مورد توجه باشد که مصالحی که در ساخت بدنه‌ی سدهای پسماند مورد استفاده قرار می‌گیرند هم نباید مستعد ایجاد زه‌آب‌های اسیدی و فلزدار باشند. این امر در مواقعی که سنگ‌های باطله‌ی معدن برای ساخت سد مورد استفاده قرار می‌گیرند، می‌تواند مشکل‌ساز باشد.

1- Acid and Metalliferous Drainage (AMD)

فصل ۴

رفتار و تعیین خصوصیات مواد پسماند

طراحی درست، اجرا، بهره‌برداری و رهاسازی یک سد پسماند بدون شناخت کافی از کیفیت مواد پسماند امکان‌پذیر نیست. در این فصل به اصول کلی در این خصوص پرداخته می‌شود.

۴-۱- مقدمه

طراحی تاسیسات ذخیره‌سازی پسماند باید براساس نتایج آزمایش‌های به‌تعداد کافی، و بر روی نمونه‌هایی که بتوان آن‌ها را نمونه‌های معرف و قابل تعمیم دانست، انجام شود. توصیه می‌شود انجام آزمایش‌های میدانی نیز در برنامه‌ی کار قرار داشته باشد. به‌طور کلی آزمایش‌ها باید شامل مواردی به شرح زیر باشند.

- مشخصات فیزیکی پسماند (جامد وگل‌آب[1]) مشتمل بر پیش‌بینی شرایط بعد از جدایش مواد جامد.
- مشخصات مهندسی، مانند پارامترهای مقاومت برشی، مشخصات تحکیم و تراوایی.
- مشخصات شیمیایی محلول‌های مورد استفاده در فرآیندها و پساب‌ها.
- کانی‌شناسی، ژئوشیمی(مشتمل بر ارزیابی کیفیت آب خروجی و اثرگذاری آن بر محیط میزبان).
- خواص رئولوژیک[2] (به بخش ۴-۴ مراجعه شود).

در مرحله‌ی طراحی‌های مقدماتی،که اطلاعات در اختیار کم است و مقدار مصالح موجود می‌تواند تعداد آزمایش‌های قابل انجام را محدود کند، کار را باید براساس پسماندهای حاصل از نمونه‌های آزمایشی اولیه[3] (مثلا نمونه‌های باقی‌مانده از فرآیند آزمایش‌های مربوط به متالورژی مورد نیاز در مرحله‌ی طراحی، روی نمونه‌های محدود کانی)، و یا نتایج آزمایش روی نمونه‌های مشابه پسماند از معادن مشابه دیگر انجام داد. البته در این شرایط باید با نتایج، با احتیاط برخورد شود، و تا هنگامی‌که آزمایش‌های تکمیلی بعدی بر روی پسماندهای تولید شده در مراحل فرآوری، و همچنین مشاهدات عملکرد میدانی در واحدهای آزمایشی نیمه صنعتی (پایلوت یا پیشاهنگ[4])، موید درستی پارامترهای انتخابی در مرحله‌ی طراحی نباشد، رویکردی محافظه‌کارانه در دستور کار قرار داشته باشد.

برای اطمینان از این که بدترین حالات ممکن شناسایی می‌شوند، آزمایش‌ها باید در حد امکان در برگیرنده‌ی تمامی گروه‌های مورد انتظار مواد پسماند در طرح باشد.

تعداد آزمایش‌ها در طرح‌هایی که ویژگی‌های پسماندها کاملا شناخته شده باشد، و یا پایش‌های انجام شده تایید کننده‌ی عدم تغییر مشخصات و کیفیت باشد،کاهش می‌یابد.

1- Slurry
2- Rheology
3- Proto Type
4- Pilot Plant

۴-۲- مشخصات مهندسی و فیزیکی

۴-۲-۱- آزمایش‌های آزمایشگاهی

پسماندها به‌طور معمول حاوی ذرات با دانه‌بندی معین و درحد، ماسه، لای، و رس هستند، و با توجه به این که حاصل از فرآیندهایی هستندکه به کمک آب انجام می‌شوند، معمولا به شکل گل‌آب تولید می‌شوند.

در انجام آزمایش‌های فیزیکی بر روی مواد پسماند، نکاتی به شرح زیر باید مورد توجه باشد:

- تاثیر فرآیندهای قبل از تخلیه‌ی گل‌آب، مانند دلمه‌بندی[۱]، غلیظ‌سازی[۲] و پمپاژ بر نتایج آزمایش‌ها و برخی از رفتارهای آن.
- تاثیر فرآیندهای بعد از تخلیه مانند، جدایش[۳]، بر نتایج آزمایش‌ها و برخی از رفتارهای مواد پسماند (لازم به توجه است که انباشت در زیر سطح آب[۴] به‌ویژه در آب‌های عمیق، و همچنین انباشت روزمینی – سطحی[۵] گل‌آب‌های با غلظت کم، بیش‌تر مستعد جدایش هستند).
- اثر قابل توجه خواص شیمیایی، به ویژه pH و شوری آب موجود در گل‌آب، بر رفتار مواد پسماند به هنگام خشک شدن و تر شدن مجدد آن.
- در پی وقوع جدایش در مواد پسماند، مشخصات (وزن مخصوص، مقاومت، تراکم‌پذیری) مواد جدا شده از آن، دیگر مشابه مشخصات پیش از جدایش نخواهد بود. از این‌رو درصورتی‌که وقوع جدایش محتمل باشد، لازم است که مشخصات اجزای جدا شده از پسماند نیز شناسایی شوند.

قبل از انجام آزمایش، در مرحله‌ی آماده‌سازی نمونه، باید مبدا و ماهیت نمونه در نظر گرفته شود. بعضی از مشخصات پسماندها می‌توانند به شدت متاثر از پیشینه‌ی گل‌آب باشند. مثلا همان‌گونه که اشاره شد نمونه‌هایی که از یک فرآیند جاری برای انجام آزمایش به دست می‌آیند ممکن است که قبلا دلمه‌بندی و یا تغلیظ شده باشند، در حالی‌که به ندرت ممکن است که چنین شرایطی در مورد نمونه‌های حاصل از آزمایش‌های متالورژیکی وجود داشته باشد. مشخصات برخی از مصالح در طول زمان ذخیره‌سازی تغییر می‌کنند، از این‌رو لازم است زمان و دوره‌ی انبارش نیز در برنامه‌ریزی عملیات آزمایشگاهی مورد توجه ویژه باشد.

1- Flocculation
2- Thickening
3- Segregation
4- Subaqueous
5- Sub-aerially

خواصی از مواد پسماند که تحت اثرپیشینه‌ی گل‌آب قرار ندارند به شرح زیر است:

- وزن مخصوص[۱] (جرم ویژه)[۲] ذرات خاک
- دانه‌بندی
- پلاستیسیته (حدود اتربرگ)[۳]
- کمینه و بیشینه‌ی وزن مخصوص خشک

آزمایش‌هایی که نتایج آن‌ها معمولا تحت تاثیر پیشینه‌ی گل‌آب قرار دارند عبارتند از:

- آزمایش تعیین وزن مخصوص مواد ته‌نشین شده
- آزمایش تعیین وزن مخصوص بعد از خشک شدن
- آزمایش تعیین مشخصات جدایش[۴]
- پارامترهای رئولژیک[۵]

برای انجام این آزمایش‌ها، باید تلاش کرد تا تهیه و یا ساخت نمونه‌های مورد استفاده در شرایطی هر چه بیش‌تر، مشابه با شرایط واقعی صورت گیرد.

معمولا، آزمایش‌های رئولوژیک برای طراحی (تعیین ابعاد و محاسبه‌ی گشتاور) حوضچه‌های تغلیظ (حوضچه‌های ته‌نشست یا تیکنر[۶]) روی مواد فرونشسته (راسب)، بدون اعمال هیچ نیروی برشی[۷] بر آن‌ها انجام می‌شود، ولی اکثر گل‌آب‌ها خاصیت تیکسوتروپیک[۸] و یا رقیق شدن ناشی از اعمال نیروی برشی[۹] دارند، از این‌رو برای طراحی لوله و یا تعیین شیب ساحل، استفاده از نتایج آزمایش‌هایی که در آن‌ها تنش برشی بر نمونه وارد نشده باشد تا حدودی گمراه کننده است.

۴-۲-۱-۱- آزمایش‌های فشردگی[۱۰] و تحکیم[۱۱]

یکی از پیش‌نیازهای طراحی، برآورد وزن مخصوص پسماند در پایان دوره‌ی انبارش است. برای فراهم کردن اطلاعات مورد نیاز برای این برآورد، از نتایج آزمایش‌های تحکیم استفاده می‌شود. بهتر است آزمایش تحکیم با دستگاه‌هایی[۱۲] که

1- Soil Particle Density
2- Specific Gravity

۳- لازم است که ثبات و عدم وابستگی آن به پیشینه تحقیق شود.

4- Segregation Characteristics
5- Rheological
6- Thickeners
7- Pre-Shearing
8- Thixotropic
9- Shear Thinning
10- Compression
11- Consolidation
12- Rowe cell

امکان کنترل زهکشی و اندازه‌گیری فشار منفذی را دارند انجام شود. در انجام این آزمایش‌ها به مواردی به شرح زیر باید توجه داشت.

- مکانیزم افزایش تنش موثر (ناشی از تحکیم و افزایش وزن مخصوص) در پسماند ته‌نشین شده، حاصل ترکیب دو ساز وکار است. ایجاد فشار حفره‌ای منفی در اثر تبخیر سطحی، و افزایش تنش‌های ناشی از سربار[1] در اثر خود تحکیمی وزنی[2].
- شن، ماسه، یا مخلوط ماسه و لای به نسبت، سریع ته‌نشین می‌شوند و توده‌ای خاک مانند تشکیل می‌دهند که کم‌تر تحت تاثیر خشک شدن‌های بعدی قرار خواهند گرفت.
- ته‌نشینی لای ریزدانه و رس که منجر به تشکیل توده‌ی خاکی شکل نرم با وزن مخصوص کم می‌شود، سرعت اندکی دارد و با طی کردن فرآیند تحکیم، و با تبعیت از قوانین حاکم برچنین فرآیندی تداوم می‌یابد.
- پسماندهای با دانه‌بندی ترکیبی، با ورود به مخزن، مستعد جدایش هستند. دانه‌های درشت‌تر در نزدیکی محل خروج، و ریزترین‌ها در دورترین نقاط مخزن ته‌نشین خواهند شد.

به جز تفاوت‌هایی که می‌توانند ناشی از وزن مخصوص‌کم و اثرات احتمالی مواد شیمیایی باشند، رفتار بیش‌تر پسماندهای ته‌نشسته شبیه رفتار توده‌ی خاکی با دانه‌بندی و شکل دانه‌های مشابه است. البته ممکن است مواد ریزدانه‌تر خاصیت روان‌گونه‌گی و یا خاصیت تیکسوتروپیک خود را برای مدت طولانی‌تر حفظ کنند.

۴-۲-۱-۲- آزمایش‌های نفوذپذیری

تراوایی (نفوذپذیری) مواد پسماند تابعی از دانه‌بندی، میزان جدایش، مقدار و نوع کانی مصالح رسی موجود در پسماند، و وزن مخصوص این مصالح در هر زمان مشخص است. برای پسماندهای با وزن مخصوص کم که نفوذپذیری آن‌ها را نمی‌توان به وسیله‌ی دستگاه‌های معمول تعیین کرد، با انجام آزمایش تحکیم می‌توان داده‌های مورد نیاز را تهیه نمود.

۴-۲-۱-۳- آزمایش‌های تعیین توان ایجاد گرد و غبار

برای تخمین میزان گرد و غبار مستعد برخاستن از سطح سواحل پسماند، می‌توان از آزمایش تونل باد استفاده کرد. در این آزمایش، باید ویژگی‌های سواحل پسماندی[3] خاص هر طرح در نظر گرفته شود.

1- Overburden Stress
2- Self-Weight Consolidation
۳- منظور از مشخصات خاص، مواردی همچون زاویه ساحل‌سازی، وزن مخصوص مواد پسماند، چسبندگی و یکپارچگی رویه‌ی سواحل و نیز میزان قفل‌شدگی (Interlock) مصالح است. سرعت و جهت باد نیز نقش مهمی در میزان تولید گرد و غبار دارد که ضروری است در آزمایش تونل باد به آن توجه شود.

۴-۲-۱-۴- آزمایش‌های مقاومت مکانیکی

به جای استفاده‌ی از نتایج آزمایش برش صفحه‌ای[1] برای تعیین پارامترهای مقاومت مکانیکی مواد پسماند، توصیه می‌شود از نتایج آزمایش‌های سه محوری استفاده شود. در این آزمایش‌ها لازم است که علاوه‌بر تعیین پارامترها در شرایط تحکیم یافته و زهکشی نشده (CU) معمول، آزمایش‌های با اندازه‌گیری فشار حفره‌ای برای تعیین پارامترهای فشار حفره‌ای نیز انجام شود.

درصورتی‌که برای انجام آزمایش‌های تعیین مقاومت درنظر باشدکه از نمونه‌های «دست‌نخورده‌ی» حاصل از فعالیت‌های مربوط به مرحله‌ی شناسایی طرح استفاده شود لازم است که روش‌های ویژه‌ای برای نمونه‌گیری، بسته‌بندی و حمل مورد استفاده قرار گیرد، باید توجه داشت که حتی در چنین صورتی، کسب موفقیت برای تهیه‌ی نمونه‌هایی مناسب بسیار دشوار خواهد بود.

در آزمایشگاه نیز می‌توان نمونه‌های مناسبی تهیه کرد، برخی از روش‌های آزمایشگاهی تهیه‌ی نمونه به شرح زیر است:

- ترسیب گل‌آب[2] و تحکیم[3] آن
- تهیه نمونه‌ی خشک و یا مرطوب، و در پی آن اشباع و تحکیم آن

به هر صورت در تمامی روش‌های مختلف تهیه‌ی نمونه، باید به نکات بسیار مهمی به شرح زیر توجه ویژه داشت و اطمینان حاصل کرد که:

- نمونه‌ها پیش‌تحکیم یافته نیستند.
- آزمایش بر روی نمونه‌هایی که وزن مخصوص‌شان در قیاس با وزن مخصوص در شرایط طبیعی غیرواقعی است انجام نمی‌شود،
- شرایط صحیحی از نظر اعمال تنش ایجاد شده است.

خواص مقاومتی مواد پسماند باید در دو حالت زهکشی شده و زهکشی نشده تعیین شود. در صورت احتمال بروز تغییر شکل‌های بزرگ، به‌ویژه در شرایط اعمال بارهای لرزه‌ای، لازم است که پارامترهای مقاومت برشی پسماند[4] نیز تعیین‌شوند.

1- Shear Box Methods
2- Slurry
3- Consolidation
4- Residual Shear Strength

۴-۲-۲- آزمایش درجا

آزمایش‌های درجا برای ارزیابی شرایط و یا وضعیت پسماند موجود در محل انجام می‌شود. اهداف انجام این آزمایش‌ها، مشتمل بر مواردی به شرح زیر است:

- نمونه‌گیری برای شناخت عوامل شیمیایی و ژئوشیمیایی
- ارزیابی مقاومت درجا و یا درجه‌ی تحکیم
- ارزیابی وزن مخصوص خشک
- ارزیابی پارامترهای نفوذپذیری از طریق انجام آزمایش در گمانه یا چاهک دستی، و بررسی اثرات لایه‌بندی و ترک‌های حاصل از جمع‌شدگی[1]، در این پارامترها
- ارزیابی سطح سفره‌ی آب زیر زمینی و یا درجه اشباع (بالای سطح سفره یا درنبود سفره‌ی آب زیرزمینی)
- شناخت امکان بروز پدیده‌ی روانگرایی

باید هماهنگی مناسبی بین دامنه‌ی کار و اهداف مورد نظر از انجام این‌گونه آزمایش‌ها برقرار باشد. لازم به توجه است که انتخاب روش‌های مناسب برای انجام کار در محل، به شدت تحت تاثیر عواملی همچون سهولت دسترسی و تردد، و نیز پایداری چاهک‌های حفاری شده برای انجام آزمایش است.

کارها وآزمایش‌های صحرایی معمول به شرح زیراست:

- گمانه‌زنی با لوله گذاری در جدار، همراه با آزمایش نفوذ استاندارد (SPT) و نمونه‌گیری دست نخورده
- آزمایش نفوذ مخروط (CPT)، ترجیحا همراه با آزمایش فشار حفره‌ای (CPTu)
- آزمایش برش پره‌ای[2]
- آزمایش نفوذ مخروط دینامیکی[3]
- آزمایش تعیین وزن مخصوص درجا[4] با روش ماسه‌ی جایگزین
- حفاری با مته‌ی دستی و حفر چاهک دستی[5]
- آزمایش‌های ژئوفیزیکی مانند مقاومت الکتریکی

1- Shrinkage
2- Shear Vane Test
3- Dynamic Cone Penetration Testing
4- In-Situ Density Evaluation
5- Hand Auguring and Test Pitting

از نتایج آزمایش‌های نفوذ درجا[1]، می‌توان برای ارزیابی احتمال بروز پدیده‌ی روانگرایی مواد ته‌نشین شده و نیز ارزیابی مقاومت برشی پس از وقوع این پدیده[2] استفاده کرد.

گرچه اصولا هر دو روش آزمایش نفوذ استاندارد[3] و نفوذ مخروطی[4] برای تعیین مشخصات مورد نیاز قابل استفاده هستند، روش نفوذ استاندارد به دلیل عدم پیوستگی و نداشتن حساسیت کافی برای شناسایی مصالح با مقاومت کم در عمل، کاربرد کم‌تری در مقایسه با روش نفوذ مخروطی دارد، از این‌رو توصیه می‌شود از روش CPT استفاده شود.

۴-۲-۳- آزمایش‌های میدانی

برای حصول اطمینان از صحت مشخصات فنی مورد استفاده برای انجام طراحی‌ها و نیز کارآیی روش‌های ساخت پیشنهادی، از آزمایش‌های میدانی نظیر خاکریزهای آزمایشی و ساحل‌سازی آزمایشی می‌توان استفاده کرد. ساحل‌سازی آزمایشی را می‌توان همراه با آزمایش‌هایی که در واحدهای آزمایشی نیمه صنعتی (پیشاهنگ یا پایلوت[5]) حوضچه‌های تغلیظ (حوضچه‌های ته‌نشست یا تیکنر) انجام می‌شود، اجرا کرد.

۴-۳- خواص شیمیایی و کانی‌شناسی

۴-۳-۱- ژئوشیمی اجزای مایع و جامد

پسماندها و مایعات حمل‌کننده‌ی آن‌ها ممکن است حاوی مواد زیان‌آور مانند اسیدها، قلیایی‌ها، در صد بالایی از نمک‌ها، سیانید، فلزات سنگین و عناصر رادیواکتیو باشند. آگاهی از کانی‌شناسی و خواص شیمیایی مواد جامد و مایع حامل، از اساسی‌ترین موارد برای طراحی مناسب زیست‌محیطی محل انبارش است. باید توجه داشت که برخی از واکنش‌های شیمیایی موجد مواد زیان‌آور، ممکن است همچنان پس از انبارش نیز تداوم پیدا کنند، از آن جمله:

- اکسیداسیون سنگ معدن سولفیدی، که زه‌آب اسیدی تولید می‌کند.
- تبادل بازی ترکیبات سیانیدی که موجب تبدیل این ترکیبات به نمک‌های غیرمحلول می‌شود.
- جذب سطحی[6] فلزات به ذرات رسی.
- آزادشدن گازها، که ممکن است سمی هم باشند (مثلا گازهای تولید شده در انباشتگاه گچ).

1- In-Situ Penetration Test
2- Post Liquefaction
3- Standard Penetration Test (SPT)
4- Cone Penetration Test (CPT)
5- Pilot Plant
6- Binding

قطع نظر از اهمیتی که شناخت خواص شیمیایی و کانی‌شناسی از دیدگاه زیست محیطی دارند، شناخت این عوامل می‌تواند کمک موثری در پیش‌بینی رفتار پسماندها درطی دوره‌ی انبارش، مرحله‌ی تحکیم و در نهایت، نوتوانی منطقه، بنماید.

پسماندهای ریزدانه با دانه‌بندی‌های ظاهرا مشابه می‌توانند محصول آسیاب نرم، یا نتیجه‌ی توده شدن ذرات متعدد رس، که به علت بار سطحی دلمه شده‌اند، باشند. شرایط به‌هنگام تخلیه و سپس تحکیم نیز می‌تواند موجب بروز رفتارهای بکلی متفاوت پسماندها شود. رس دلمه بسته در آب تمیز (آب باران) از خود واگرایی نشان می‌دهد، درحالی‌که ممکن است که نرمه‌های آسیاب در آب‌های شور مورد مصرف در فرآوری‌ها و یا آب‌های رو زده (مازاد)[1]، دلمه شوند. از این‌رو در روند آزمایش‌های شناسایی، لازم است به تاثیر فرآیند تولید در رفتار مواد پسماند و تغییرات این رفتار در طی زمان، توجه شود.

در بعضی از فرآیندها، از آهک که می‌تواند موجب دلمه شدن شود استفاده می‌شود، و در برخی موارد، برای ایجاد کف و پراکنش ناخالصی‌ها، موادی به‌کار می‌رود که می‌توانند موجب واگرایی شوند. افزودن گچ یا آهک به پسماند رسی در حال تحکیم، می‌تواند شرایط خاک را برای دوره‌ی بازسازی و نوتوانی به طور چشم‌گیری ارتقا دهد.

اندازه‌ی دانه‌های بعضی از پسماندها در اثر اکسیداسیون تغییر می‌کند، درحالی که برخی دیگر از پسماندها با تداوم خشک شدن و براثر تغییرات شیمیایی و یا ترسیب مواد شیمیایی حل شده، سیمانی می‌شوند. بنابراین، با توجه به عواملی به شرح زیر باید، از مشخصات شیمیایی و کانی‌شناسی[2] پسماند شناخت کافی به‌دست آورد:

- تغییرات محتمل در ماهیت سنگ معدن
- متغیرهای فرآیند تولید
- واکنش‌های محتمل ناشی از قرار گرفتن در معرض هوا و آب باران

هر آزمایش باید روی نمونه‌های تازه، و اشباع شده با آب مورد استفاده در فرآیند تولید، یا آبی مشابه‌سازی شده با آن انجام شود. انجام آزمایش‌های تکمیلی، روی نمونه‌های از پیش خشک شده و با استفاده‌ی آب باران، نتایجی برای مقایسه در اختیار قرار خواهد داد که برای شناخت بهتر مسایل و موضوع‌های مرتبط بسیار موثر است.

اثرات کوتاه مدت و بلند مدت کیفیت آب فروشویی را می‌توان با مدلسازی سرعت شستو در آزمایش‌ها، مورد ارزیابی قرار داد. برای انجام این ارزیابی باید، آب‌شویی خنثی، واکنش کاهندگی- اکسندگی و در صورت وجود، فرآیند زه‌آب اسیدی و فلزدار[3] (AMD) درنظر گرفته شود.

1- Decant Water
2- Mineralogy
3- Acid Metalliferous Drainage

۴-۳-۲- تاثیر مواد شیمیایی داخل پساب بر رفتار مصالح مختلف بدنه سد پسماند[۱]

مواد شیمیایی موجود در محیط مواد پسماند می‌توانند بر رفتار مصالح مختلف مورد استفاده در ساخت سد تاثیرگذار باشند. برای مواجهه با این پدیده در سدهایی که به روش خاکریز اولیه احداث می‌شوند، ساده‌ترین راه حل، اجتناب از استفاده از خاک‌های مساله‌دار است که می‌تواند به نیل به اهداف پایداری دراز مدت کمک کند. درصورتی‌که بنا به شرایطی، اجبار یا تمایل به استفاده از این نوع مصالح، مثلا خاک‌های واگرا در ساخت هسته وجود داشته باشد، توجه به بولتن شماره ۸ کمیته ملی سدهای بزرگ ایران با عنوان «شناسایی و کاربرد خاک‌های واگرا در سدهای خاکی»، و نیز استفاده از سایر مراجع مربوط (ملی یا بین‌المللی) مورد توصیه است.

در مواردی که از مواد پسماند برای ساخت سد استفاده می‌شود، اثرات مواد شیمیایی بر مصالح باید با توجه به نوع فرآیند کانه‌آرایی مورد بررسی قرار گیرد:

- فرآیندهای روباره و مواد انباشته برای فرآوری مستقیم (مثلا به روش فروشویی توده‌ای)، خردایش، جدایش ثقلی و سنگ‌جوری: در این روش‌ها، ابعاد مواد پسماند در حد کلوخه و دانه‌هایی تا حد سانتی‌متر، میلی‌متر و چند صد میکرون می‌باشد. رفتار فیزیکی مواد پسماندی که به این روش‌ها تولید می‌شوند شبیه رفتار مصالح شن، ماسه، ماسه ریز و لای بوده و مبحث تبادل یونی نقش معناداری در رفتار فیزیکی (کوتاه مدت یا دراز مدت) آن‌ها ندارد.
- فرآیندهای جدایش مغناطیسی و الکتروستاتیکی، فلوتاسیون و لیچینگ: در این روش‌ها ابعاد مواد پسماند در حد میکرون و یا در مواردی خاص (مانند روش لیچینگ) کوچک‌تر از میکرون می‌باشد. در این صورت رفتار فیزیکی آن‌ها علاوه بر بافت و وزن مخصوص، تحت تاثیر مشخصات مایع منفذی نیز می‌باشد و تبادل یونی می‌تواند در رفتار مکانیکی تاثیرگذار باشد. در این صورت انجام آزمایش‌های تعیین ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC[۲])، سطح مخصوص (SSA[۳])، pH مایع منفذی (عصاره اشباع)، فعالیت خاک (نسبت نشانه خمیری به درصد دانه‌ها با اندازه رس)، درصد سدیم قابل تبادل [۴] یا ESP (Exchangeable Sodium Percentage) و نسبت جذب سدیم یا SAR (Sodium Adsorption Ratio) ضروری خواهد بود. با توجه به نتایج این آزمایش‌ها می‌توان در خصوص رفتار بلندمدت مصالح پسماند اظهار نظر نمود و در صورت لزوم به‌کارگیری روش‌های اجرایی درخور را برای مواجهه با مشکل در برنامه‌ی کار قرارداد. به منظور بررسی رفتار مکانیکی، انجام آزمایش شناسایی خاک‌های واگرا نیز مورد تاکید است.

۱- گروه‌بندی مندرج درنشریه‌ی «ضوابط انباشت باطله و مواد زاید در واحدهای کانه‌آرایی» وزارت صنعت، معدن و تجارت.

2- Cation Exchange Capacity (CEC)

3- Specific Surface Area (SSA)

۴- نسبت سدیم به ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC).

درخصوص تغییر دانه‌بندی و یا سیمانتاسیون مصالح فیلتر و زهکش می‌توان همانند سدهای کلاسیک به مساله پرداخت. در این خصوص در فصل ششم اطلاعات بیش‌تری مطرح شده است.

۴-۴- حمل پسماند و رئولوژی

مشخصات پسماند در طی انتقال و تخلیه، تحت تاثیر خواص رئولوژیک[1]، یا جریان‌شناسی آن است، و با افزایش غلظت مواد جامد در گل‌آب، این امر اهمیت بیش‌تری می‌یابد. تعیین مشخصه‌های رئولوژی، درحوزه‌ی کاری بسیار تخصصی قرار دارد. آزمایش‌های معمول در این حوزه، شامل آزمایش رئومتر و یا آزمایش حلقه‌ی لوله[2] است.

معمول‌ترین روش جابجایی مواد پسماند به صورت گل‌آبی است که عموما۳۰ تا ۷۵ در صد[3] وزنی آن را مواد جامد تشکیل می‌دهد. غلظت واقعی مواد جامد که در طراحی‌ها باید ملاک عمل قرار گیرد تابع عواملی به شرح زیر است:

- وزن مخصوص مواد جامد.
- درصد مواد جامد در پایان فرآیند.
- استفاده از حوضچه‌های تغلیظ و یا فیلترها برای بازیافت آب و یا مواد شیمیایی، یا کاهش حجم پمپاژ پسماند.
- مشخصه‌های رئولوژیکی
- هزینه‌ی پمپاژ

در برخی موارد، وزن مخصوص اولیه‌ی پسماند ته‌نشین شده، تابعی از وزن مخصوص آن در زمان تخلیه است، به این مفهوم که پسماند خروجی از برخی حوضچه‌های تغلیظ (حوضچه‌های ته‌نشست یا تیکنر)، پس از ته‌نشینی، وزن مخصوص بیش‌تری نسبت به پسماندهایی که به‌طور ساده ترسیب/ته‌نشین شده‌اند پیدا می‌کنند.

۴-۵- سواحل پسماندی[4]

هر چند با انجام آزمایش‌های آزمایشگاهی می‌توان شیب تقریبی سواحل، در پی فرونشست مواد پسماند را به‌دست آورد؛ ولی باید در نظر داشت که نمی‌توان اطمینان کافی به نتیجه‌ی این آزمایش‌ها داشت. از این‌رو انتظار نمی‌رود که این شیب، با رفتار واقعی ساحل مطابقت داشته باشد. نتایج محاسبات نظری، که براساس رئولوژی یا مقاومت برشی انجام می‌شود نیز، به دلیل تغییرات در جنس مواد و همچنین دشواری تعیین مقاومت برشی کم برای مواد تازه ته‌نشین شده

1- Rheology

2- Pipe Loop

۳- نشریه‌ی وزارت صنعت معدن و تجارت «ضوابط انباشت باطله و مواد زاید در واحدهای کانه‌آرایی» (۳۰ تا ۵۰ درصد بعد از فرآوری و ۵۵ تا ۷۵ در صد بعد از حوضچه های تغلیظ Thickener).

4- Tailings Beaches

دقت لازم را ندارد. بنابراین سواحل موجود که از موادی مشابه، که دانه‌بندی و پیشینه‌ی فرآیندی مشابه‌ای دارند، تشکیل شده باشند راهنمای خوبی برای این تخمین خواهند بود.

شیب ساحل، تابعی از روش بهره‌برداری از مخزن نیز هست. شیب ساحلی در زیر آب به دلیل وجود عوامل تاثیرگذار متعدد، یکنواخت نخواهد بود، اما معمولا این شیب در برخورد با سطح آب تندتر خواهد شد.

شیب ساحل به رئولوژی پسماند، طبیعت آن (شامل تمایل به جدایش در سرعت کم ساحلی)، انرژی یا سرعت تخلیه، و احتمالا فاصله از محل تجمع آب مازاد رو زده[1] بستگی دارد[2]. ساحل با شیب تند فضای خالی قابل ملاحظه‌ای در مخزن ایجاد می‌کند که از یک سو موجب گسترش و افزایش ظرفیت مخزن برای جذب سیلاب‌ها می‌شود؛ اما از سوی دیگر، در مجموع، کاهش ظرفیت مخزن برای انبارش پسماند را در پی دارد. بارگذاری لرزه‌ای، وقوع سیلاب، فرسایش ناشی از بارش باران نیز بالقوه می‌توانند با فروریختن شیب‌های تراز بالاتر، موجب ته‌نشست رسوب برشیب‌های تراز پایین‌تر شوند و به این ترتیب بر شکل‌گیری ساحل یا کناره‌های مخزن اثرگذاری کنند.

1- Decant Pond

۲- بر گرفته از ICOLD Bulletin 101, 1995.

فصل ۵

طراحی ظرفیت انبارش مواد پسماند و مدیریت آب

هدف از تامین ظرفیت کافی برای انباشت پسماند و ذخیره‌ی آب، کسب اطمینان از مدیریت مناسب ریسک‌های ناشی از وجود آب بر یکپارچه‌گی تاسیسات ذخیره‌سازی، و محیط‌زیست پیرامون آن است. علاوه بر آن، از این طریق باید اطمینان حاصل شود که از منابع آب مرتبط با محدوده‌ی ساختگاه، مسوولانه بهره‌برداری می‌شود.

۵-۱- معیارهای طراحی

در مقایسه با سدهای معمولی ذخیره‌ی آب، در الزامات مربوط به مدیریت منابع آب و تعیین حجم ذخیره‌ی سدهای پسماند تفاوت‌هایی چند قابل طرح هستند. منشاء این تفاوت‌ها را می‌توان به شرح زیر بر شمرد:

- ایمنی طرح از دو دیدگاه ایمنی سد و ایمنی محیط‌زیستی باید مورد توجه قرار گیرد.
- در شرایط بهره‌برداری، با انباشته شدن مواد جامد، فضای باقی‌مانده برای ذخیره‌ی آب، دائما در حال کاهش خواهد بود.
- با گذشت زمان، تغییر در کیفیت آب موجود در مخزن، می‌تواند منجر به غیرقابل پذیرش بودن تخلیه‌ی آب به محیط‌زیست شود.
- طراحی سرریز براساس الزامات مربوط به ایمنی سد برای اجتناب از خرابی کلی بدنه‌ی خاکریز انجام می‌شود، درحالی‌که ملاحظات زیست محیطی، تعیین کننده حجم مخزن مورد نیاز برای کاستن از خطرات احتمالی سرریز آب از سد است.

در شکل شماره‌ی (۵-۱) نمودار روال عمومی تعیین ظرفیت سرریز و همچنین تعیین حجم مخزن مورد نیاز ارائه شده است و در ادامه به موارد مختلف مطرح در این خصوص پرداخته می‌شود.

۵-۱-۱- تعیین ظرفیت برای انبارش پسماند

اصولا هدف از ساخت سد پسماند، انبارش این مواد است، اما تعیین ظرفیت سد پسماند، غالبا به عللی به شرح زیر با پیچیدگی همراه می‌شود.

- ساخت مرحله‌ای سد.
- عدم قطعیت و وجود شبهه در مورد وزن مخصوص خشک مواد ته‌نشین شده در مخزن سد.

از این‌رو لازم است حجم مخزن مورد نیاز، در تمامی مراحل عمر سد، محافظه‌کارانه برآورد شود. به‌علاوه، در مراحل بعدی ایجاد ظرفیت برای انبارش پسماند، با برنامه‌ریزی مناسب برای ساختن یک سد جدید و یا افزایش ارتفاع سد موجود، باید اطمینان حاصل شود که کمبود ظرفیت انبارش، روند تولید را در مخاطره قرار نخواهد داد. هرچند در اکثر طرح‌ها، محدودیتی از نظر فصل مناسب برای انجام کارهای خاکی وجود ندارد، ولی در مناطق مرطوب این فصل محدود به شش ماه در سال می‌شود، که این امر با توجه به این‌که عملیات اجرایی یک طرح متعارف افزایش ارتفاع سد نیازمند حداقل صرف مدت زمانی در همین حدود است، از اهمیت بسیاری برخوردار می‌شود.

برای تامین ظرفیت مورد نیاز برای انبارش پسماند در فرصت زمانی مناسب، باید کلیه‌ی عوامل، از جمله شرایط جوّی، نیاز به تداوم بدون وقفه‌ی تولید، شرایط سیاسی، و زمان مورد نیاز برای انجام عملیات اجرایی، مورد توجه قرار گیرد. از این‌رو برنامه‌ریزی‌ها باید به ترتیبی انجام شود که در زمان پیش‌بینی شده برای شروع بهره‌برداری از مرحله‌ای جدید، مرحله‌ی پیشین، ظرفیت تامین نیازها را برای حداقل شش ماه دیگر داشته باشد. باید توجه داشت که حتی این برخورد احتیاط‌آمیز، ممکن است در برخی از بخش‌های صنعت، یا برخی عملیات منفرد، کافی نبوده و ظرفیت اضافه‌ی ۳ ساله برای پوشش دادن به تاخیرات ناشی از شرایط جوّی، تامین تجهیزات ساختمانی و صعوبت تامین نیروی انسانی مورد نیاز باشد.

۵-۱-۲- تعیین حداقل ظرفیت مورد نیاز برای آب رو زده (مازاد پسماند)[1]

معمولا، بخشی از حجم مخزن سد، برای فراهم آوردن امکان ته‌نشینی و برقراری تعادل شیمیایی آب رو زده (مازاد)، پیش از انتقال آن از مخزن سد، اختصاص داده می‌شود. مقدار این حجم تابع عواملی همچون نرخ تولید، خواص در ارتباط با نحوه‌ی ته‌نشینی پسماند، و شرایط جوی است، هرچند، بسیار محتمل است که، فقط اتکای به تجربه، بتواند برای تصمیم‌گیری نهایی، در این مورد جواب‌گو باشد. معمولا تمایل براین است که ابعاد محل تجمع آب، با هدف بیشینه کردن گستره‌ی ساحل، و تامین شرایط مناسب برای خشک شدن و تحکیم پسماند، به حداقل ممکن کاهش داده شود، هر چند در فصول تر برای جلوگیری از پخش شدن پسماند لازم می‌شود که ابعاد این محل افزایش یابد. لازمه‌ی این امر وجود سامانه‌ی کنترل تخلیه‌ی آب رو زده از طریق تنظیم میزان بازشدگی شیر (سامانه‌های تخلیه‌ی ثقلی)، یا تنظیم خروجی تلمبه (سامانه‌های پمپاژ) می‌باشد.

۵-۱-۳- تعیین حجم مخزن سدهایی که رهاسازی آب از آن‌ها مجاز نیست[2]

چنانچه در شرایط عادی بهره‌برداری، کیفیت آب انباشته در مخزن سد پسماند برای رهاسازی به محیط‌زیست نامناسب باشد، خروج آب در زمان سیلاب، به علت آثار زیان‌بار زیست‌محیطی پذیرفته نیست. لذا برای حصول اطمینان از کاهش احتمال سرریزی آب تا حد مطلوب، لازم است که در تعیین حجم مخزن مورد نیاز، حجم کافی برای انباشت سیلاب‌ها نیز پیش‌بینی شده باشد. این حجم از سه جزء تشکیل می‌شود.

- حجم مورد نیاز برای آوردهای طبیعی در فصول تر
- حجم ذخیره سیلاب.
- حجم احتیاطی

1- Decant water
2- Non-Release Dams

مخزن سد باید فضای کافی برای جای دادن مواد جامد و مایع ورودی به آن را تا زمانی که بتوان آب جمع شده را بازیابی کرد، و یا حجم ذخیره‌ی اضافه‌ای را با ساختن سدی جدید، یا ترفیع سد موجود تامین کرد، داشته باشد. توصیه می‌شود در طرح‌هایی که حجم ذخیره‌ی مورد نیاز با افزایش مداوم ارتفاع سد موجود تامین می‌شود، همواره حجم ذخیره‌ی احتیاطی نیز در نظر گرفته شود.

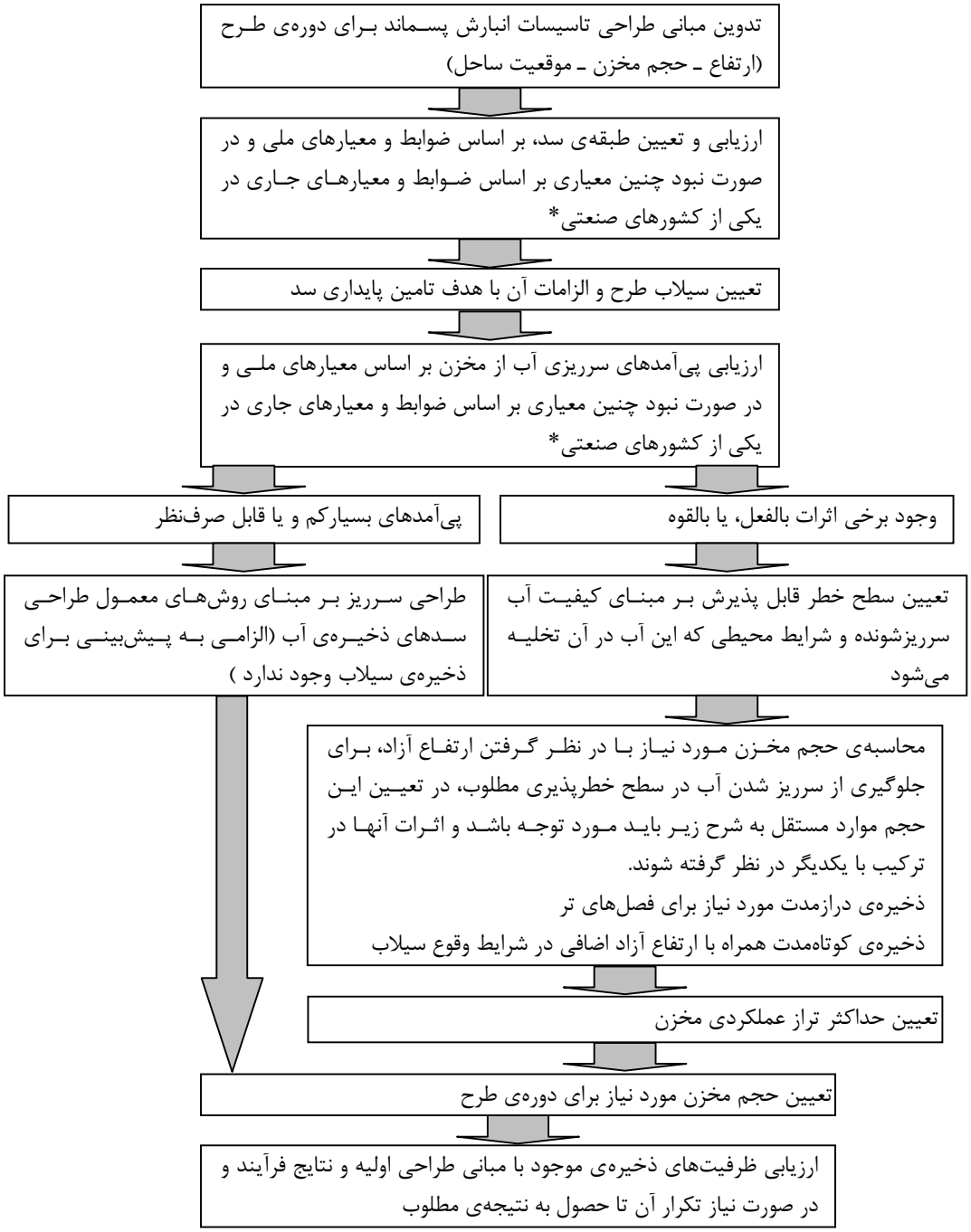
برای سدهایی که پی‌آمد[1] سرریزی آب از آن‌ها بسیار زیاد است، لازم است که حجم مخزن با استفاده از روش‌های کمّی ارزیابی ریسک تعیین شود، در حالی که در دیگر سدها می‌توان از روش‌های نیمه کمّی به این منظور استفاده کرد. در جدول‌های شماره (۵-۱) تا (۵-۳) احجام اضافه‌ی مورد نیاز برای مدیریت سیلاب‌های ورودی به مخزن سدهایی که سرریزی آب از آن‌ها مجاز نیست پیشنهاد شده است. باید توجه داشت در این جداول فقط احجام اضافی مورد نیاز برای مواجه با شرایط سیلابی تعیین شده است و حجم مورد نیاز برای ذخیره‌ی پسماند جامد و مایعات همراه آن، در هر مقطعی از عمر طرح باید به آن افزوده شود.

با توجه به این‌که بارش‌ها در فصل‌های تر، در دوره‌ای کوتاه (با احتمال بسیار کم تبخیر) و بر سطح حوزه‌ای که قبلا مرطوب شده است، واقع می‌شود، در محاسبات مربوط به آوردهای دوره‌های تر، ضریب رواناب برابر یک و میزان تبخیر صفر در نظر گرفته می‌شود.

با توجه به این‌که آمار و فرضیات به کار رفته در روش‌ها ویا مدل‌های هیدرولوژی تعیین آوردها، از دقت و اطمینان کم‌تری برخوردارند، لازم است که در محاسباتی که با استفاده‌ی از این روش‌ها صورت می‌گیرد، پدیده‌هایی با احتمال وقوع کم‌تر ملاک طراحی‌ها باشند.

لازم به توجه است که در جداول یاد شده، طبقه‌بندی سد، بر اساس پی‌آمدهای سرریزی آب جمع شده در مخزن انجام می‌شود و نه بر اساس پی‌آمدهای خرابی بدنه‌ی سد، که ممکن است دارای طبقه‌بندی متفاوتی باشد. ضروری است در طراحی‌ها، حداکثر تراز عملیاتی هر سد تعیین شود، تا اگر تراز آب در مخزن به این تراز برسد انبارش پسماند در مخزن، و ورود تمامی جریان‌های آبی مربوط به فرآیندها به آن متوقف شده، و طرح‌های ایمنی سد در شرایط اضطراری به اجرا گذاشته شود.

1- Consequence



* توجه شود که با انتخاب ضوابط و معیارهای یک کشور به عنوان مبنای رده‌بندی، لازم است، دیگر فعالیت‌های طراحی نیز در هماهنگی با معیارهای آن کشور صورت گیرد.

شکل ۵-۱- روال عمومی تعیین ظرفیت سرریز و همچنین تعیین حجم مخزن مورد نیاز

جدول ۵-۱- حداقل حجم مخزن اضافه برای ذخیره‌ی آورد در دوره‌ی تر

پی‌آمد[1] سرریزی	حجم مخزن اضافه‌ی مورد نیاز
کم	حجم روان آب در فصل تر[2] با احتمال فزونی $\frac{۱}{۵}$
قابل ملاحظه	حجم روان آب در فصل تر با احتمال فزونی $\frac{۱}{۱۰}$
عمده و زیاد	حجم روان آب در فصل تر با احتمال فزونی $\frac{۱}{۱۰۰}$
بسیار زیاد	حجم روان آب در فصل تر با احتمال فزونی $\frac{۱}{۱۰۰۰}$

جدول ۵-۲- حداقل حجم مخزن اضافه برای ذخیره‌ی سیلاب

پی‌آمد سرریزی	حجم مخزن اضافه‌ی مورد نیاز
کم	بر اساس ارزیابی ریسک تعیین شود
قابل ملاحظه	حجم سیلاب ناشی از بارندگی ۷۲ ساعته با احتمال فزونی $\frac{۱}{۱۰۰}$
عمده	حجم سیلاب ناشی از بارندگی ۷۲ ساعته با احتمال فزونی $\frac{۱}{۱۰۰}$
زیاد	حجم سیلاب ناشی از بارندگی ۷۲ ساعته با احتمال فزونی $\frac{۱}{۱۰۰۰}$
بسیار زیاد	حجم سیلاب ناشی از بارندگی ۷۲ ساعته با احتمال فزونی $\frac{۱}{۱۰۰۰۰}$

جدول ۵-۳- ارتفاع آزاد احتیاطی

پی‌آمد سرریزی	ارتفاع خیزش موج[3] ناشی از باد	ارتفاع آزاد اضافی (متر)
کم	با احتمال فزونی $\frac{۱}{۲}$	صفر
قابل ملاحظه	با احتمال فزونی $\frac{۱}{۱۰}$	۰/۳
عمده	با احتمال فزونی $\frac{۱}{۱۰}$	۰/۵
زیاد	با احتمال فزونی $\frac{۱}{۵۰}$	۰/۵
بسیار زیاد	با احتمال فزونی $\frac{۱}{۵۰}$	۰/۵

۵-۱-۴- سرریز

توصیه می‌شود که برای تعیین سیلاب طراحی، از روش‌های ارزیابی ریسک استفاده شود. البته در صورت وجود ضوابط و معیارهای ملی می‌توان سیلاب طراحی را براساس طبقه‌بندی سد، پمپاژ نیز انجام داد. در فصل دوم به نکاتی چند در مورد این طبقه‌بندی اشاره شد. نظر به این‌که در حال حاضر در سطح ملی ضوابط ومعیارهایی که به تایید مراجع قانونی ذیـربط

1- Consequence

۲- فصلِ تر دوره‌ای از سال است که به طور متوسط ۷۰ درصد بارش سالانه در آن واقع می‌شود. در اغلب نقاط ایران، طول این دوره ۲ تا ۴ ماه است.

3- Wave Run-up

رسیده باشد[۱] موجود نیست، می‌توان از جدول شماره‌ی (۵-۴) به عنوان راهنمایی برای تعیین حداقل سیلاب طراحی سرریز و ارتفاع آزاد موردنیاز برای مقابله با اثرات موج استفاده کرد. باید توجه داشت که در طول دوره‌های مختلف از عمر یک سد پسماند ممکن است به علت تغییر رده‌ی پی‌آمد تخریب سد، تغییراتی در مبانی تعیین سیلاب طراحی و به تبع، در مقادیر آن ایجاد شود. حتی، چنانچه طراحی سد پسماند بر مبنای ضرورت جلوگیری از سرریزی انجام شده باشد، لازم است برای تخلیه‌ی سیلاب‌ها، و حفاظت سد در مقابل روگذری آب در شرایط وقوع سیلاب‌های شدید و پیش‌بینی نشده که می‌تواند منجر به تخریب خاکریز سد شود، سامانه‌ای ساخته شود. این سامانه، باید ظرفیت عبور سیلاب طرح، که در مخزن سد مستهلک شده است را داشته باشد. درصورتی‌که در تعیین حجم مخزن سد، پیش‌بینی برای ذخیره‌سازی سیلاب‌های ورودی نشده باشد، تراز آب در مخزن پیش از وقوع سیلاب، باید معادل تراز آستانه‌ی سرریز در نظر گرفته شود. بدیهی است، چنانچه حجمی از مخزن سد برای پذیرش سیلاب‌های ورودی در نظر گرفته شده باشد این حجم را می‌توان برای استهلاک سیلاب ورودی منظور کرد، البته اگر این حجم برابر حجم سیلاب‌های حدی ورودی به مخزن باشد می‌توان از ساختن سامانه‌ی تخلیه‌ی سیلاب صرف نظر کرد. هر چند توصیه می‌شود که در چنین مواردی هم، موضعی محافظه‌کارانه اتخاذ شده و سرریزی که ظرفیت آن می‌تواند مستقل از فرضیات بهره‌برداری باشد ساخته شود. هزینه‌ی احداث چنین سرریزی در مقایسه با هزینه‌ی پی آمدهای محتمل، بسیار ناچیز خواهد بود.

به منظور جلوگیری از روگذری آب، ناشی از تشکیل موج، از تاج سد، تراز تاج سد باید با در نظر گرفتن ارتفاع آزاد کافی برروی حداکثر تراز سیلابی مخزن تعیین شود. این ارتفاع، متناسب با آسیب‌ها و پی‌آمدهای محیط‌زیستی ناشی از روگذری، تعیین می‌شود.

جدول ۵-۴- حداقل سیلاب طراحی برای طرح سرریز و ارتفاع آزاد مورد نیاز برای مقابله با موج

پی‌آمد تخریب سد	سیلاب طراحی (احتمال وقوع سیلاب بزرگ‌تر از آن)	ارتفاع آزاد نظیر به موج ناشی از باد
کم	۱ درصد	با احتمال فزونی۰/۱
قابل ملاحظه	۱ درهزار	با احتمال فزونی ۰/۱
عمده	۱ درصدهزار یا PMF	با احتمال فزونی[۲] ۰/۱
زیاد وبسیار زیاد	PMF	با ارزیابی ریسک معلوم گردد

با هدف ملحوظ داشتن اثر برپاکنندگی باد[۳] در مخازن بزرگ و عدم قطعیت‌های محاسباتی، توصیه می‌شود، چنانچه فرسایش خاکریز بتواند منجر به بروز شکست در آن شود، ارتفاع آزاد اضافی در محاسبات منظور شود.

۱- در مورد سدهای ذخیره آب نشریه شماره ۳۷۸- الف تحت عنوان «ضوابط انتخاب سیلاب طراحی سدهای بزرگ ایران» طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور وزارت نیرو توسط این وزارت‌خانه ابلاغ شده است که توصیه می‌شود در طرح‌های سدهای پسماند این نشریه نیز مورد توجه قرار گیرد.

۲- درصورتی‌که PMF ملاک طراحی قرار گیرد ارتفاع آزاد می‌تواند صفر در نظر گرفته شود.

3- Wind Set up

با توجه به عمر قابل تصور در حدود ۱۰۰۰ سال پس از بسته شدن معدن، برای سدهای پسماند، ساخت سامانه‌ی تخلیه‌ی سیلاب با ظرفیت مواجهه با سیلاب ورودی معادل حداکثر سیلاب محتمل (PMF) برای تمامی رده‌های پی‌آمدی سدها را باید یک ضرورت دانست. علاوه بر آن، برای دوران ترک سد، ارتفاع آزاد اضافی به منظور جبران نشست‌های ناشی از تحکیم خاکریز بدنه، یا تغییر شکل‌های ناشی از زلزله، باید در نظر گرفته شود. در طراحی‌های مربوط به مرحله‌ی پس از بسته شدن معدن، باید اثرات وقوع چندباره‌ی حوادث و رویدادها، مورد توجه باشد. به عنوان مثال، برای محاسبه‌ی نشست نهایی باید نشست تجمعی ناشی از وقوع چند زلزله با احتمال فزونی سالانه‌ای کم‌تر از احتمال نظیر به حداکثر زلزله‌ی طراحی[1] در نظر گرفته شود.

۵-۱-۵- سرریز اضطراری در سدهایی که رهاسازی آب از آن‌ها مجاز نیست

علاوه بر این که محاسبات مربوط به تعیین حجم مخزن سدهایی که رهاسازی آب از آن‌ها مجاز نیست به صورت محافظه‌کارانه‌ای انجام می‌شود، می‌توان تامین یک سرریز اضطراری در این نوع سدها را هم رویه‌ای شایسته در مدیریت ریسک طرح تلقی کرد. سرریز اضطراری عاملی موثر در پیش‌گیری از روگذری سد است، و وجود آن می‌تواند از پی‌آمدهای بسیار زیاد ناشی از خرابی فاجعه‌بار سد جلوگیری کند.با یک برنامه‌ریزی مناسب در بهره‌برداری از سد، می‌توان موجب شد که فقط مقادیر اندکی از آب که به میزان قابل ملاحظه‌ای هم رقیق شده‌اند از سرریز اضطراری تخلیه شود، به این ترتیب از اثرات زیان‌بار چنین تخلیه‌هایی کاسته خواهد شد، به علاوه از آنجا که پایاب سد هم به احتمال زیاد در چنین شرایطی به‌طور طبیعی تحت اثر سیلاب‌ها قرار دارد، می‌توان انتظار داشت که آب آلوده‌ی سرریز شده بیش‌تر رقیق شده و به این ترتیب پیآمدهای بهداشتی و زیست محیطی کاهش بیش‌تری پیدا کند.

برای طراحی سرریز اضطراری باید بدترین شرایط برای جریانی که از این سرریز گذر می‌کند در نظر گرفته شود، و این به نوبه‌ی خود، وابسته به سامانه‌های محلی کنترل است که از طریق آن‌ها اطمینان حاصل می‌شود، در هرمکان و هر زمان، حجم مخزن محافظه‌کارانه‌ای تامین شده است.

۵-۲- موازنه‌ی آب

یکی از فعالیت‌های مهم در مرحله‌ی طراحی سامانه‌های ذخیره‌ی پسماند، ساخت یک مدل ریاضی موازنه‌ی آب است. چنین مدلی، درک روشن‌تر چگونگی تاثیر آب بر طراحی، و در پی آن محدودیت‌های ناشی از آن در دوران بهره‌برداری را تسهیل می‌کند.

1- Maximum Design Earthquake (MDE)

به احتمال زیاد بخش قابل ملاحظه‌ی مصرف آب در معادن، بخشی است که برای انتقال پسماند، مورد استفاده قرار می‌گیرد. بخش عمده‌ای از این آب در سامانه‌های ذخیره‌ی پسماند، در منافذ مواد پسماند، گرفتار خواهد ماند، بخشی از آن بازیافت و به سامانه تولید بازگردانده خواهد شد، و اگر از نظر محیط‌زیست مشکلی وجود نداشته باشد، بخشی به طبیعت برگردانده خواهد شد، و از سویی، بخشی دیگر در فرآیند نشت و تبخیر از چرخه‌ی آب خارج خواهد شد. هر چند از سوی دیگر، آب‌های موجود در محیط طبیعی پیرامون سامانه، مشتمل بر جریان‌های سطحی و زیرزمینی، و بارش‌های جوّی به این چرخه وارد خواهند شد.

بین مجموع آب ورودی به مخزن سد پسماند و آب بازگشتی به چرخه‌ی تولید و تلفات (شامل نشت و تبخیر)، و آب رها شده به طبیعت باید موازنه برقرار شود. موازنه‌ی آب، شاخص رفتار سامانه‌ی ذخیره از دیدگاه مدیریت جریان‌های ورودی و خروجی مانند تلفات نشت آب، در دوران بهره‌برداری و ترک نهایی طرح است. وجود هر نوع عدم تعادل در این روند، تغییرات مداومی را در احجام ذخیره شده در مخزن در پی خواهد داشت.

وجود آمارهای ملی دقیق و درازمدت (مثلا آمار بارندگی یکصد ساله) کمک شایانی به تجسم شرایط آتی در مدل موازنه خواهد کرد. بسته به شرایط سامانه، ممکن است آمار ماهانه یا روزانه به‌کار گرفته شود. هرگونه عدم تعادل در معادله موازنه‌ی آب ممکن است به افزایش (یا کاهش) حجم آب ذخیره در سد پسماند منجر شود. در به‌کارگیری مدل موازنه ممکن است تمام دوره‌ی آماری موجود یا پاره‌ی خاصی از آن به‌کار گرفته شود.

احداث ایستگاه هواشناسی در محدوده مخزن سد پسماند و ثبت اطلاعات آن در طول بهره‌برداری برای به روزرسانی اطلاعات هواشناسی و بازنگری موازنه آبی ضروری است.

مدل موازنه، می‌تواند تغییرات کمّی و کیفی و تراز رسوبات انباشته، و نیز برنامه‌ی زمان‌بندی ترفیع سد را در نظر گرفته و نتایج سودمندی را در اختیار قرار دهد. این امر به لحاظ احتمال وجود محدودیت در ظرفیت در دسترس برای انباشت در دوره‌ای خاص از طول عمر یک سد پسماند، می‌تواند حایز اهمیت باشد. ممکن است در دوره‌ای خاص نرخ رشد نیاز به حجم مخزن ذخیره بسیار بیش‌تر از حجم مصالح در دسترس برای ترفیع سد و افزایش ظرفیت ذخیره‌ی آن باشد؛ در این شرایط، وضعیتی بحرانی برای تنظیم آب به وجود خواهد آمد، که مدل موازنه می‌تواند به تبیین و تشخیص احتمال وجود چنین دوره‌ای کمک شایان بنماید. تهیه و به کارگیری یک مدل موازنه‌ی دقیق و واسنجی شده می‌تواند در شناسایی اثرات وقوع پدیده‌های خاص آب و هوایی مانند بارش‌های بسیار شدید نیز بسیار کارآمد باشد.

تغییرات شرایط آب و هوایی، کیفیت آب در مخزن و موقعیت آن در مخزن که می‌توانند به طور قابل ملاحظه‌ای بر میزان تبخیر اثرگذار باشند، نیز باید به ترتیبی در مدل‌سازی پیش‌بینی رفتار مخزن و موازنه‌ی آب وارد شوند.

محاسبات مدل موازنه‌ی آب، معمولا به کمک نرم‌افزارهای صفحه‌ی گسترده[1] (مثل Excel و ...)، بسته‌های نرم‌افزاری مدل‌ساز، و یا برنامه‌هایی که به منظور خاص نوشته می‌شوند، انجام می‌شود. در هر حال باید مدل را با یافته‌های عملی و واقعی که پس از شروع بهره‌برداری حاصل می‌شوند واسنجی کرده و پیش‌بینی‌های به عمل آمده را ارزیابی و در صورت نیاز بازنگری کرد.

هرچند اکثر مدل‌های موازنه‌ی آب، فقط از دیدگاه کمّی به مسایل می‌پردازند، ولی ممکن است کیفیت آب نیز موضوع مهمی باشد، که در این صورت مطالعه‌ی تغییرات کیفی نیز باید در مدل گنجانده شود. معمولا بررسی تغییرات و موازنه‌ی یون‌هایی مانند کلراید کار دشواری نیست اما، بررسی در مورد گونه‌های ناپایدار، مانند سیانید، نیازمند بهره‌گیری از معادلات سری‌های کاهشی است. باید توجه داشت که، ممکن است تعیین نرخ کاهش مستلزم انجام آزمایش‌هایی خاص باشد؛ موازنه‌ی فلزات سنگین نیز، می‌تواند در معادله‌ی موازنه گنجانده شود، هرچند با ملحوظ نداشتن عواملی مانند ته‌نشینی و جذب سطحی، نمی‌توان دقت کافی را از آن انتظار داشت.

هرگاه احتمال اکسیداسیون سولفیدها در سواحل پسماندها و توسعه زهکش اسیدی وجود داشته باشد، تهیه‌ی مدل کیفی آب می‌تواند محل مناقشه شود. در این موارد پیش‌بینی شار مداوم ترکیبات محلول اضافی به داخل سامانه، دشوار و نادقیق خواهد بود.

هرگاه استفاده از مدل‌های ریاضی برای برآورد کیفیت آب دشوار و یا محل مناقشه باشد، پی‌آمدهای محتمل خرابی خاکریز و یا سرریزی آن را، می‌توان با ترکیب نتایج محاسبات مدل‌های کمّی، با فرضیاتی بدبینانه در مورد کیفیت آب از نظر تمرکز مواد آلاینده در زمان وقوع سرریزی و یا خرابی ارزیابی کرد. به این منظور استفاده از اطلاعاتی که از پایش پسماندهایی که از منابعی مشابه ایجاد می‌شوند می‌تواند مورد توجه قرار گیرد.

۵-۳- مدیریت جریان‌های سطحی

با هدف کاستن از مقادیر جریان‌های سیلابی ورودی به محدوده‌ی انبارش مواد پسماند،کمینه کردن زمان فرونشینی این مواد در مخزن، و نیز کمینه کردن حجم آبی که ممکن است از نظر کیفی نیازمند به اعمال مدیریت خاص باشد، اغلب سعی می‌شود که محدوده‌ی انبارش مواد پسماند از جریان‌های سطحی نواحی مجاور جدا شود.

مناطق دور از جریان‌های مهم سطحی، و یا نقاطی در بالادست دره‌ها، آنجا که حوزه‌ی آبریز محدودی دارند، کمال مطلوب برای جانمایی مخازن پسماند هستند. در حد امکان، تمامی جریان‌های سطحی، که در بالادست سد پسماند تشکیل می‌شوند، نباید وارد انباشتگاه شوند. ظرفیت تاسیسات لازم برای انحراف آب جریان های سطحی باید با مطالعه‌ی

1- Spread Sheet

سیلاب‌های طراحی و نیز اهمیت محافظت از پسماندهای انباشته شده در برابر سیلاب‌ها تعیین شود. چنانچه ظرفیت تاسیسات انحراف جریان‌های سطحی محدود باشد، برای تعیین ظرفیت مخزن سد پسماند و ظرفیت خروجی‌های آن باید پی‌آمدهای سرریزی از سد هم در نظر گرفته شود.

طراحی مخازن ذخیره‌ی پسماند باید مبتنی بر این فرض باشد که معمولا، این مخازن در نهایت رها و ترک خواهند شد، از این‌رو لازم است، تاسیسات انحراف بالادست آن‌ها برای کارکرد درازمدت با نیاز اندک به تعمیر و نگهداری طراحی شوند. در این طراحی، باید پیش‌بینی‌های لازم در مورد فرسایش و انهدام اجزای سازه‌ای نیز صورت گرفته باشد.

در طرح‌هایی که پسماند زیر سطح آب نگهداری می‌شود، انحراف جریان سیلاب‌های پیرامونی، از اهمیت کم‌تری برخوردارند و حتی گاه ممکن است به منظور ابقای پوشش آب روی رسوبات، لازم شود جریان‌های سطحی حوزه‌های مجاور نیز، به انباشتگاه منحرف شوند.

۵-۴- بارندگی و رواناب

بارندگی در ترکیب با رواناب حوزه و در اختلاط با آب رو زده (مازاد پسماند)، می‌تواند مولفه‌ی مهمی در موازنه‌ی آب مخزن باشد.

محاسبات رواناب باید مطابق اصول معمول در مطالعات هیدرولوژی و در انطباق با استاندارد مربوط انجام شود. در محاسبات باید رواناب‌های اراضی مشرف بر مخزن سد پسماند، سواحل رسوبی آن و همچنین سطح خود انباشتگاه منظور شود. در تعیین ضریب رواناب برای مناطق با بارش‌های فصلی زیاد، رطوبت اولیه خاک نیز باید مدنظر باشد.

ویژگی‌های رواناب‌زایی در سواحل تشکیل شده از مواد پسماند، می‌تواند جابه‌جا، کاملا متفاوت باشد. انباشته‌های درشت‌دانه، به ویژه چنانچه فرآیند چرخابه یا چرخابه‌کردن برای تولید مصالح مناسب ساخت سد در چرخه وجود داشته باشد، می‌توانند کاملا نفوذپذیر و زهکش باشند. این ویژگی از سویی منجر به ضریب رواناب سطحی بسیار کم می‌شود و از سوی دیگر، سبب راه‌یابی سریع‌تر آب به درون رسوبات انباشته و یا آب زیرزمینی خواهد شد. البته، اکثر مواد پسماند در انتهای کار ریزدانه‌اند، و قبلا نیز اشباع شده، و نفوذپذیری اندکی دارند. از این‌رو اگر ترک‌های عمیق ناشی از خشک شدن در آن‌ها نباشد، ضریب رواناب سطحی آن‌ها زیاد خواهد بود.

۵-۵- آب رو زده (مازاد پسماند)

مواد پسماند معمولا در سواحل فرو می‌نشینند، از این‌رو، بخشی از آب حامل آن‌ها در زمان کوتاهی رو زده و جدا می‌شود. این جدایش آب حامل، در درازمدت (براثر تحکیم) در هر دو شیوه‌ی انباشت (سطحی ساحلی و زیرسطح آب)، ادامه خواهد داشت. بخش دیگری از آب انتقال، از سطح روباز در سواحل از طریق تبخیر، تلف خواهد شد.

غالبا مشاهده می‌شود که، افزایش وزن مخصوص پسماند در روش انباشت سطحی ساحلی، بسیار بیش از افزایش آن در روش انباشت زیر سطح آب است. باید توجه کرد که، از دست دادن سریع آب در مراحل اولیه‌ی فرونشانی تنها علت بروز این پدیده نیست، بلکه طی تحکیم درازمدت نیز شرایط مساعدی برای افزایش وزن مخصوص پدید می‌آید. کاهش تراز آب در مخزن موجب افزایش فشار موثر خواهد شد و با خشک شدن مواد پسماند، کشش ناشی از مویینگی آب، نیروی تحکیم عمده‌ای را اعمال خواهد کرد.

۵-۶- تبخیر

تبخیر از سطح سواحل و مخازن سدهای پسماند، می‌تواند منجر به اتلاف قابل ملاحظه‌ی آب در سامانه شود. تلفات ناشی از تبخیر از سطح آب آزاد مخزن را می‌توان با استفاده از داده‌های تشتک تبخیر با اعمال ضرایب تطبیقی مناسب، یا با استفاده از روش‌های محاسباتی و کاربرد داده‌های هواشناسی نظیر سرعت باد، دما و تابش خورشیدی برآورد کرد. تبخیر از سطح سواحل رسوبی را نیز می‌توان به روش مشابه برآورد نمود.

اعمال ضریبی در حد ۰/۷ تا ۰/۸ برای تطبیق تبخیر از تشتک نوع A (تبخیرسنج دارای توری پرندگان) برای تبخیر از سطح مخازن آب مناسب است. از سوی دیگر میزان تبخیر مستقیما به سرعت باد وابسته است و همچنین تبخیر در مناطق آفتاب‌رو از مناطق سایه بیش‌تر است. تلفات تبخیر از سطح سواحل رسوبی تابع پیچیده‌ای از عواملی مانند تابش خورشید، رنگ سطح رسوبات، درصد اشباع، نفوذپذیری، عمق اشباع، اثر مویینگی و دمای رسوبات می‌باشد، ولی فرض معمول این است که تبخیر از سواحل رسوبی برابر با تبخیر مستقیم از سطح دریاچه است.

شوری نیز می‌تواند تاثیر عمده‌ای بر نرخ تبخیر از سطح آب، و یا رسوبات در مخازن پسماند داشته باشد[1]. شوری‌های بیش از شوری آب دریا می‌تواند نرخ تبخیر را ۵ تا ۲۰ درصد کاهش دهد. مهم‌تر از آن، تشکیل سله‌ی[2] نمکی روی سطح رسوبات است، که می‌تواند مانند مانعی پوششی، مقدار تبخیر را کنترل کرده و خشک شدن رسوبات ساحلی را محدود نماید.

با به حداقل رساندن وسعت سطح آزاد آب روی رسوبات و در نتیجه کاهش تبخیر، می‌توان مقادیر بازگرداندن آب از مخزن سد را افزایش داد. اگرچه، در برخی موارد بنا به ملاحظات زیست‌محیطی، و با هدف کاستن از حجم آب آلوده‌ای که باید از منطقه خارج شود، به حداکثر رساندن تبخیر در دستور کار قرار می‌گیرد. چنین خواسته‌ای از طریق حداکثرسازی سطح مواجه با تبخیر در مخزن، یا مرطوب کردن متواتر سواحل با لایه‌های نازک جریان پسماند، و یا از طریق به‌کارگیری مخازن مستقل برای تبخیر تامین می‌شود.

1- Newson and Fahey, 1998.

۲- قشر نازکی از نمک که بر روی رسوبات بسته و سخت می‌شود.

۵-۷- بازیافت آب

آب اضافی موجود در مخزن سد پسماند از طریق تبخیر تلف، و یا برای بازمصرف در سامانه‌ی فرآوری، جمع‌آوری می‌شود. هر چند به دلیل محدودیت منابع آب در کشور نامحتمل است، لیکن ممکن است در برخی موارد، که به لحاظ کیفیت آب و ملاحظات زیست‌محیطی محدودیتی وجود نداشته باشد، آب مازاد به‌طور مستقیم به محیط پیرامون تخلیه شود. البته درصورتی‌که از نظر زیست محیطی تخلیه‌ی میزان معینی از آب برای حفظ حیات در پایاب سد لازم دانسته شود، این کار باید با رعایت ضوابط مربوط به کیفیت آب صورت گیرد، که در چنین شرایطی ممکن است انجام تصفیه نیز در چرخه‌ی آب قرار گیرد.

۵-۷-۱- تخلیه‌ی آب به محیط‌زیست

با توجه به ماهیت وجودی سدهای پسماند، کیفیت آب قابل استحصال از آن، و همچنین اقلیم خشک کشور، معمولا تمایلی به رهاسازی آب مخزن به محیط‌زیست وجود ندارد، درهرصورت اگر بهره‌بردار تمایل به استفاده از آب مازاد در مصارفی به جز تامین نیازهای فرآوری داشته باشد و یا استفاده از آب مخزن یا تخلیه‌ی آن به محیط‌زیست جزء برنامه‌های اولیه طراحی و اجرای سد پسماند باشد، توجه به استانداردهای مربوط لازم و ضروری است. در این راستا توجه به نشریات اشاره شده در زیر و سایر نشریات مرتبط مورد توصیه است.

- دستورالعمل پایش کیفیت آب‌های سطحی (جاری) – ضابطه شماره ۵۲۲، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۸۸.
- دستورالعمل پایش کیفیت آب‌های زیرزمینی، ضابطه شماره ۶۲۰، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۹۱.
- راهنمای مطالعات طرح‌های استفاده از فاضلاب‌های تصفیه شده‌ی شهری و روستایی، ضابطه شماره ۴۳۴، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۸۹.
- ضوابط زیست محیطی استفاده مجدد از آب‌های برگشتی و پساب‌ها، ضابطه شماره ۵۳۵، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۸۹.
- دستورالعمل اجرایی پایش کیفیت آب مخازن پشت سدها، ضابطه شماره ۵۵۱، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۹۰.
- راهنمای طبقه‌بندی کیفیت آب خام، پساب‌ها وآب‌های برگشتی برای مصارف صنعتی و تفرجی، ضابطه شماره ۴۶۲، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۸۸.
- فهرست خدمات و شرح خدمات مطالعات پایش کیفیت آب مخازن سدها، ضابطه شماره ۵۹۷، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۹۱.
- توصیه‌های سازمان بهداشت جهانی (WHO) و خواربار و کشاورزی جهانی (FAO).

۵-۷-۲- آب برگشتی

برای استفاده از آب آزاد موجود در مخزن سد پسماند (آب رو زده مازاد، رواناب، ویا آب ناشی از بارش برسطح مخـزن) و برگشت آن به چرخه‌ی آبی معدن، مشتمل بر مصارف واحد فرآوری و یا سایر بخش‌های مرتبط با معدن، لازم اسـت کـه در بررسی‌های فنی، مسایل اقتصادی، مدیریت ریسک و نیز رعایت استانداردهای مرتبط، با در نظرگرفتن نیازهـای کیفـی واحدهای مربوط، مورد توجه دقیق بهره‌بردار از معدن قرارگیرد.

۵-۷-۲-۱- آبگیری از مخزن

بازیافت و انتقال آب رو زده می‌تواند به شیوه‌ی ثقلی یا پمپاژ انجام شود. در ایـن خصـوص مـی‌تـوان از ایسـتگاه‌هـای شناور استفاده کرد. اگرچه ایستگاه‌های پمپاژ شناور، در برابر تغییرات تراز مخزن انعطاف‌پذیرند، امـا هزینـه‌هـای احـداث، نگهداری و بهره‌برداری نسبتا بالایی دارند. به‌علاوه با توجه به حداقل عمق استغراق لازم بـرای آبگیـری در حـدود ۱ تـا ۲ متر، ممکن است این مقادیر بیش از مقادیر مطلوب برای کاهش تبخیر از سطح آب رو زده باشند.

همچنان‌که اشاره شد ممکن است آب برگشتی شامل روان‌آب ورودی به مخزن سد نیـز باشـد، از ایـن‌رو بـرای تعیـین ظرفیت آبگذرانی پمپ‌ها، ممکن است تخلیه‌ی حجم قابل توجه‌ای از آب انباشته ناشی از رواناب نیز در نظر گرفتـه شـود. در روش ثقلی، درصورت وجود ارتفاع هیدرولیکی مناسب، آبگیرهای شناور ثقلی، برج‌های آبگیر و یا سیفون‌هـای آبگیـری نیز می‌توانند به‌کار گرفته شوند.

استفاده از سازه‌های برج آبگیر ثابت، روشی متداول برای بازیافت آب به شیوه‌ی ثقلی است. این سازه‌ها معمولا از یـک برج بتنی یا فولادی با خروجی‌های قابل کنترل در ترازهای مختلف تشکیل شده‌اند. غالبا در محیط پیرامون این سـازه‌هـا، مصالح نفوذپذیر، مانند سنگریز، اجرا می‌شود تا ضمن تمیزتر کردن آب بازیـافتی، محـدوده‌ی وسـیع‌تـری بـرای ورود آب تامین شود. تراز خشک‌اندازی و عملکرد برج‌ها را می‌توان متناسب با نیازهای مخزن تنظیم کرد. به‌منظور تسهیل برداشت آب، لازم است موقعیت محل تجمع آب، در اطراف برج آبگیر حفظ شود. با این هدف، ضروری اسـت بـا تـدوین برنامـه‌ای دقیق و مناسب برای تخلیه‌ی پسماند در مخزن، شکل‌دهی مناسب سواحل پسماندی در دستور کار قرار داشته باشد.

از آنجاکه علت خرابی ناشی از فرسایش داخلی خاکریز سدهای پسماند، عمدتا نصب لوله در بدنه‌ی خاکریزها بوده است، اگـر چنین مجرایی برای خروجی در نظر گفته شود، لازم است دقت ویژه‌ای در طراحی و ساخت آن‌هـا بـرای کـاهش ریسـک وقـوع چنین خرابی، معمول شود[۱]. در خشک‌اندازی مخزن باید تامین مقدار معینی آب برای تداوم فرآیند نشست مواد جامد منظور شود.

۱- در این راستا می‌توان از مطالب ارائه شده در اسـتانداردهای مختلـف (نظیـر اسـتاندارد"Conduits Through Embankment Dams", FEMA.2005) استفاده نمود.

سامانه برداشت آب باید امکان تشکیل حوضچه‌ی آبگیر با ابعاد مناسب را برای میسّر ساختن ته‌نشینی مواد جامد فراهم آورد. تعبیه حفاظ یا درپوش توری روی دهانه‌های آبگیر نیز برای جلوگیری از ورود آشغال‌های شناور روی آب و کف و تفاله‌ی رومانده، به سامانه آبگیری، بسیار رایج است.

طرح سازه‌ای برج آبگیر باید با در نظر داشتن تمامی نیروهای وارده‌ی محتمل، از جمله نیروهای زلزله، نیروهای قابل توجه پایین کشنده‌ی برج، ناشی از تحکیم مواد پسماند پیرامون (وجود اصطکاک منفی[1] میان جدار برج و مواد پسماند دارای چسبندگی)، انجام شود. در این طراحی باید نحوه‌ی ترک سازه پس از بسته شدن سد نیز مورد توجه باشد.

۵-۷-۲-۲- انتقال آب برگشتی

با توجه به این‌که انتقال آب قابل بازیافت از محل سد پسماند به محل مصرف در چرخه‌ی آبی معدن، عمدتا از طریق خطوط لوله‌ی آب انجام می‌شود، در این بخش به این نوع از سامانه‌های انتقال پرداخته می‌شود. درصورتی‌که انتقال توسط کانال انجام شود می‌توان از مدارک فنی موجود در مورد طراحی، ساخت و بهره‌برداری از کانال‌های آبیاری بهره جست.

برای طراحی خطوط لوله‌ی انتقال آب و تلمبه‌خانه‌ها، ضمن رعایت ضوابط فنی مندرج در ضابطه‌های شماره ۲۹۱ (جزییات کارهای تیپ آب و فاضلاب سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور،۱۳۸۳) و ۴۷۰ (راهنمای طراحی تلمبه‌خانه‌های آب-۱۳۸۸) و ۳- ۱۱۷(ضوابط طراحی سامانه‌های انتقال و توزیع آب شهری و روستایی، بازنگری اول-۱۳۹۲) معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس‌جمهور، و سایر بخشنامه‌ها و دستورالعمل‌های ذیربط موارد به به‌شرح زیر باید مورد توجه قرار گیرد.

- بررسی گزینه‌های محتمل و انتخاب مسیرهای مناسب خط لوله با رعایت عوامل موثر فنی– اقتصادی.
- بررسی گزینه‌های محتمل و انتخاب نحوه و سامانه مناسب انتقال آب با رعایت جنبه‌های فنی– اقتصادی.
- انتخاب فشار و سرعت حداکثر با توجه به مشخصات لوله‌های موردنظر.
- انتخاب جنس لوله و یا لوله‌های قابل کاربرد در طرح انتقال با رعایت ملاحظات فنی– اقتصادی.
- انتخاب پوشش مناسب و حفاظت لوله‌ها در برابر خورندگی محیط (در صورت نیاز) و خورندگی آب بازیافتی با توجه به کیفیت شیمیایی آن با تعیین وضعیت کیفی آب در حال حاضر و براساس بررسی‌های انجام شده و پیش‌بینی روند تغییرات کیفیت آن در دوره‌ی طرح.
- تعیین ضرایب اصطکاک داخلی لوله (ضریب هیزن- ویلیامز، دارسی- وایسباخ و ...) با توجه به کیفیت ساخت و صافی جدار داخل لوله، نوع پوشش داخلی و آثار مرور زمان در افزایش زبری جدار لوله.
- انتخاب نوع شیرآلات، موقعیت‌ها و فواصل نصب و نیز کاربرد اتصالات مناسب.

1- Negative Skin Friction

- انتخاب تعداد، ظرفیت و نوع الکتروپمپ‌ها در تلمبه‌خانه‌ها.
- انتخاب نوع شیرآلات مکش و رانش و سایر تجهیزات مکانیکی تلمبه‌خانه‌ها.
- تعیین معیارهای طراحی تجهیزات ابزار دقیق و کنترل و اتاق فرمان.
- انتخاب سایر تجهیزات برقی – کنترلی تلمبه‌خانه.
- انتخاب حجم مخازن، مکش تلمبه‌خانه‌ها، تعادل مسیر، و ذخیره انتهای مسیر.
- انتخاب نوع و تیپ مخازن مورد نیاز در طرح.
- معیارهای طراحی معماری و سازه‌ای سازه‌های طرح.

در زمینه‌ی ساخت و بهره‌برداری از خطوط لوله‌ی انتقال آب نیز می‌توان از ضوابط فنی مندرج در ضابطه‌های شماره‌ی ۳۰۳ (مشخصات فنی عمومی کارهای خطوط لوله‌ی آب و فاضلاب شهری سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۸۴) و ۲۶۸ -الف (دستورالعمل شستشو و گندزدایی شبکه‌های آبرسانی - ۱۳۸۲) طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور وزارت نیرو و ۱۳۷-R1 (راهنمای بهره‌برداری و نگهداری از مخازن آب-۱۳۹۱) معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، استفاده کرد. البته با توجه به این که زمینه‌ی اصلی کاردبرد نشریات مورد اشاره طرح‌های آبرسانی شهری است، در بهره‌گیری از آن‌ها برای طرح‌های بازیافت آب از سدهای پسماند، بسته به مورد و نیاز و با توجیه فنی می‌توان از ضوابط اعلام شده عدول کرد و یا ضوابط سخت‌گیرانه‌تری را مد نظر قرار داد، به عنوان مثال بررسی تاثیرات کیفیت آب برگشتی در انتخاب مواد، مصالح و تجهیزات مورد استفاده مورد تاکید است و با توجه به امکان رسوب گذاری شیمیایی (scaling) زیاد در آب برگشتی، در نظر گرفتن تمهیدات لازم برای پیش گیری از این پدیده و از کار افتادن عملکرد لوازم و تجهیزات، مورد توصیه است.

۵-۸- نشت

۵-۸-۱- کلیات

نشت از مخازن پسماند، بالقوه می‌تواند از بدنه‌ی خاکریز سد، پی، و کف مخازن صورت گیرد. میزان تلفات نظیر به نشت، تابع نفوذپذیری مصالح مختلف موجود در این نقاط بوده، و به شدت تحت تاثیر نفوذپذیری پسماندهاست، که این خود در غالب موارد بسیار کم است.

هر چند تلفات نشت، به لحاظ کمّی در موازنه‌ی کلی آب اهمیت چندان ندارد، پی‌آمدهای زیست‌محیطی نشت آلوده، ممکن است بسیار مهم باشند.

همانند برآورد تلفات ناشی از تبخیر، برآورد دقیق مقادیر تلفات ناشی از نشت هم کاری پیچیده است ومعمولا از نشت به صورت عاملی برای ایجاد موازنه در محاسبات بیلان مخزن استفاده می‌شود. به بیان دیگر آن‌گاه که سایر مولفه‌های موازنه‌ی آب، شامل مقادیر ورودی و سایر خروجی‌ها، تعیین یا برآورد شوند، میزان تلفات ناشی از نشت، به عنوان عامل

برقرارکننده‌ی توازن، در معادله وارد می‌شود. باید توجه داشت که مقادیری که به این ترتیب تعیین می‌شوند می‌توانند، به علت خطاهای محتمل در تخمین اجزای بزرگ‌مقدار در این معادله، به شدت دست پایین و یا دست بالا باشند. به هر صورت به دلایلی به شرح زیر، ارزیابی مسایل مربوط به نشت را باید به عنوان بخشی از فعالیت‌های مرحله‌ی طراحی تفصیلی ضروری دانست.

- تعیین فشار منفذی در تحلیل پایداری خاکریزها
- تعیین محدودیت‌های نرخ ترفیع (در صورت موضوعیت)
- تعیین پیامدهای زیست‌محیطی، در محیط میزبان نشت
- تامین اطلاعات برای طراحی سامانه‌های زهکشی و جمع‌آوری آب‌های نشتی

تلاش برای تعیین کمّی میزان نشت، پیش از مرحله‌ی ساخت سدهای پسماند امری ضروری است، از این‌رو نقش مدل‌های محاسبه‌ی نشت اهمیت می‌یابد.

از عوامل اصلی در ارزیابی نشت، اختلاف تراز بین سطح آب درحوضچه‌ی آبگیر[1] و محیط اطراف است. اگر در مخزن سد بر روی مواد پسماند، و یا در میان انباشته‌های پسماند آبی نمانده باشد، طبعا نشت عامل مهمی نخواهد بود. این نکته کلیدی یکی از مزایای عمده و ملموس انبارش پسماند غلیظ با وزن مخصوص زیاد در مخازن است. به این ترتیب، دیگر حوضچه‌ی آبگیری در بالاترین تراز مخزن تشکیل نخواهد شد و در نتیجه، نشت آبی هم از این وجه پدید نخواهد آمد، با این وجود بررسی نشت با در نظر داشتن معادله‌ی موازنه‌ی آب در مخازن، همچنان امری ضروری خواهد بود. تراز سطح پسماندها در تاسیسات متعارف انباشت به تدریج افزایش می‌یابد، بنابراین گرادیان هیدرولیکی بین آب انباشته در مخزن و محیط اطراف، که عامل اصلی موثر در نشت است، متناسبا و در طول عمر تاسیسات، افزایش خواهد یافت. معمولا در مدل‌سازی برای پیش‌بینی نشت محتمل از مخزن ذخیره‌ی پسماند، تراز آب در مخزن برابر تراز نهایی پیش‌بینی‌شده در نظر گرفته می‌شود.گرچه، برای تخمین منطقی‌تر، می‌توان ارتفاع نظیر به مراحل مختلف در عمر سد را درمحاسبات وارد کرد، و برای هر مرحله پیش‌بینی جداگانه و صحیح‌تری به‌دست آورد. بدین ترتیب عملکرد پیش‌بینی شده، نظیر بده نشتی از زهکش‌ها، در هر مرحله از اجرا قابل مقایسه با اندازه‌گیری‌های همان مرحله خواهد بود. بر این پایه می‌توان مدل را برای مراحل بعدی کالیبره نمود و به‌علاوه، در صورت مشاهده‌ی وضعیتی نامطلوب‌تر نسبت به پیش‌بینی‌های مراحل اولیه، با اعمال اصلاحاتی وضعیت را به شرایطی قابل قبول تغییر داد، و یا اگر شرایطی مطلوب‌تر از آنچه پیش‌بینی شده بود، مشاهده شد، از مزایای آن بهره‌جویی کرد.

1- Decant Pond.

نشت، طبق تعریف مصطلح آن، تنها عامل پیدایش فشار منفذی در پسماندهای انباشته نیست. انواع بارگذاری‌های معمولی، و پدیده‌ی تحکیم (خروج آب از منافذ) نیز فرایندهای موثر دیگری در تشکیل، توسعه و استهلاک فشار منفذی هستند، که به اندازه‌ی نشت می‌توانند حایز اهمیت باشند، از این‌رو در محاسبات و تجزیه و تحلیل فشار منفذی در توده‌ی مواد پسماند ضروری است، به این موارد توجه لازم معطوف شود. به‌علاوه در طراحی‌ها باید توجه داشت که ترکیب فشارهای ناشی از نشت، و تحکیم معمولا، در شرایط غیر هیدرواستاتیک به مقادیر حداکثر می‌رسد.

اگر در طراحی‌ها، فشار منفذی به طور مناسب مورد توجه قرار نگیرد، خطر خرابی، به خصوص در دوره‌ی ساخت دست کم گرفته خواهد شد. از این‌رو انجام محاسبات در دامنه‌ای کامل از تنش‌های موثر با در نظر گرفتن پی‌آمدهای پدیده‌ی تحکیم و برمبنای پارامترهای مقاومتی مربوط را باید یک ضرورت تلقی کرد.

۵-۸-۲- پیش‌بینی کمّیت و کیفیت آب نشتی

معمولا برای برآورد حجم آب نشتی، از مدل‌های ریاضی شبیه‌سازی شده با کامپیوتر استفاده می‌شود. بدیهی است که پارامترهای صحیح و قریب به واقع باید برای ورودی به این مدل تهیه شود. به‌علاوه لازم است که خروجی‌های مدل، با اندازه‌گیری عملی در مراحل مختلف ساخت و توسعه محک‌زده شود و هم چنان که اشاره شد، تنها به ارزیابی مرحله‌ی پایانی و هندسه‌ی کامل بسنده نشود.

مقدار و جهت جریان‌های نشتی از تاسیسات ذخیره‌سازی پسماندها، با در دست داشتن پارامترهای واقعی، شرایط مرزی، و مدل هندسی، قابل تعیین است. علاوه بر کمیّت آب نشتی معمولا ضروری است که، کیفیت آن نیز مورد بررسی واقع شود. در برخی موارد می‌توان پیش‌بینی کیفیت را فقط برمبنای مشخصات آب آزاد در مجاورت آبگیر تعیین کرد، اگرچه، در حال حاضر الزام بر شناخت وضعیت نهایی مواد آلوده (موجود در آب‌های نشتی) در محیط پیرامون به طور فزاینده‌ای در حال طرح است، و این خود نیازمند بهره‌گیری از یافته‌های مطالعات ژئوشیمی و هیدروژئولوژی خواهد بود.

از مدل‌سازی برای شناسایی پدیده‌ی نشت، برای جانمایی مناسب ابزارهای رفتارسنجی که برای پایش رفتار سد در طی دوره‌ی بهره‌برداری باید نصب شوند نیز می‌توان بهره‌ی فراوان گرفت.

۵-۸-۳- اجزای مدل نشت

هر مدل نشت باید امکان، ساخت و معرفی مناسب و واقع‌بینانه‌ی هندسه‌ی مساله، تخصیص مناسب پارامترهای مبین ویژگی‌های مصالح مختلف موجود مانند زمین برجا، پسماندها، پوشش‌ها و تبیین شرایط مرزی مناسب را پدید آورد.

- هندسه‌ی مساله

فرض وجود لایه‌های همگن و همسان‌گرد در ساخت و تبیین هندسه‌ی پسماندها و زمین میزبان انباشتگاه پسماند معمولا ساده‌سازی غیرواقع‌بینانه‌ای است، بخصوص که، شرایط واقعی زمین ساختگاه ممکن است بسیار پیچیده (ناهمگن،

ناهمسان‌گرد) و دارای گریزگاه‌های نشتی طبیعی، مانند درز و ترک، یا لایه‌هایی با ویژگی‌های متفاوت باشد. از این رو انجام مطالعات اکتشافی کافی برای اطمینان از تبیین واقع‌بینانه‌ی ساختار زیرسطحی، بسیار ضروری است.

- ویژگی‌های مصالح

اصلی‌ترین پارامتر مورد نیاز برای انجام محاسبات مربوط به نشت آب، مقدار نفوذپذیری مصالح موجود، در حالت اشباع است. برای مدل‌سازی شرایط اشباع/ غیراشباع، لازم است پارامترهای نفوذپذیری در درجات مختلف اشباع برای مصالحی که بر روی مواد کاملا اشباع قرار دارند تعیین شود. برای انجام محاسبات نشت در شرایط ناپایدار[1] نیز لازم است اطلاعات مربوط به ضریب آبگذری، ضریب پوکی، و یا حجم آب موجود در منافذ در اختیار باشد. باید توجه داشت که ویژگی‌های آبگذرانی پسماندها، تابع تخلخل نسبی حاصل در عمل، و لایه‌بندی و ترک‌خوردگی بالقوه‌ی نهشته‌ها است[2]، به‌علاوه، برخی مصالح، مانند پسماندهای انباشته شده‌ی سطحی ساحلی[3] دارای نفوذپذیری ناهمسان‌گرد هستند.

۵-۸-۴- رفتارنگاری، پایش و درستی‌سنجی

تجهیزات رفتارنگاری در سدهای پسماند مشابه سدهای کلاسیک طراحی و اجرا می‌شوند. لیکن باید به ضرورت سازگاری ابزار با مشخصه‌های شیمیایی محیط توجه داشت. برخی از این ابزارها عبارتند از پیزومترها (تارمرتعش و چاه‌های پیزومتر)، انحراف‌سنج‌ها، تنش‌سنج‌ها، سرریزهای اندازه‌گیری بده جریان‌های زهکشی شده و ترک‌سنج‌ها، انبساط‌سنج‌ها. تعبیه شبکه میکروژئودزی از دیگر تمهیداتی است که برای بررسی رفتار کوتاه و بلند مدت مصالح پسماند مورد استفاده قرار می‌گیرد. با استفاده از این شبکه امکان ارزیابی حرکات بدنه سد مهیا خواهد شد.

در خصوص پایش‌های کیفی، نمونه‌برداری دوره‌ای از چاه‌های مشاهده‌یی و نیز جریانات سطحی پایین‌دست سد پسماند، می‌تواند کارساز باشد.

در این راستا ضروری است شبکه‌ای از نقاط نمونه‌برداری (ایستگاه‌های پایش) و بازدید دوره‌ای و منظم از مناطقی که در معرض آلودگی هستند، ایجاد شود. با توجه به توصیه‌های ضابطه ۵۲۲ (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور)، اهداف برنامه‌های پایش کیفی آب‌های سطحی عبارتند از:

- ثبت مستمر پارامترهای کیفی منابع آب مرتبط با هدف استفاده از منبع مربوط (صنعت، کشاورزی و ...)
- شناسایی میزان متوسط آلودگی محتمل و مقدار انحراف از این میزان در مناطق خاص
- شناسایی روند آلودگی محتمل در طول زمان

1- Transient Seepage Analyses

۲- نفوذپذیری آنها در جهات مختلف متفاوت است.

3- Sub Aerially Deposited

- مقایسه آلودگی‌های محتمل بین ایستگاه‌های پایش
- مقایسه مقادیر آلودگی محتمل با استانداردها
- شناسایی اثرهای حاصل از ورود احتمالی آب‌های آلوده به منابع آبی
- ردیابی زودهنگام آلودگی‌های محتمل غیرعادی موجود در آب
- شناخت اثرها و پیامدهای برنامه‌های اجرایی، در کیفیت منابع آب

در برنامه‌ی پایش مهم‌ترین موضوع‌هایی که مطرح هستند عبارت‌اند از:

- تعیین وسعت محدوده‌ی اثر، ماهیت و درجه‌ی آلاینده‌های منابع (سطحی و زیرسطحی)
- تعیین سازوکار گسترش آلودگی محتمل و پارامترهای هیدرولوژیکی/هیدروژئولوژیکی موثر بر آن
- ردیابی آلاینده و اعلام خطر حرکت آلودگی به داخل نواحی بحرانی
- ارزیابی اثرهای اقدام‌های متقابل که باید برای تعدیل اثرهای آلاینده‌ها فوری انجام گیرد.
- ثبت داده‌ها و اطلاعات برای ارزشیابی درازمدت و نیل به استانداردها.
- آغاز تحقیقات مرتبط با پایش برای سنجش درست و تایید مدل‌ها و فرضیه‌هایی که براساس آن‌ها اقدام‌های متقابل صورت گیرد.

در ارزیابی و پایش کیفیت، توجه به نشریات زیر ضروری است:

- دستورالعمل پایش کیفیت آب های سطحی (جاری) – ضابطه شماره ۵۲۲، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور
- دستورالعمل پایش کیفیت آب‌های زیرزمینی، ضابطه شماره ۶۲۰، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۹۱
- دستورالعمل اجرایی پایش کیفیت آب مخازن پشت سدها، ضابطه شماره ۵۵۱، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۹۰
- راهنمای طبقه‌بندی کیفیت آب خام، پساب‌ها و آب‌های برگشتی برای مصارف صنعتی و تفرجی، ضابطه شماره ۴۶۲، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور
- استاندارد کیفیت آب آشامیدنی، سازمان برنامه و بودجه، دفتر تحقیقات و معیارهای فنی – وزارت نیرو، استاندارد مهندسی آب، نشریه شماره ۳-۱۱۶، ۱۳۷۱
- فهرست خدمات و شرح خدمات مطالعات پایش کیفیت آب مخازن سدها، ضابطه شماره ۵۹۷، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۹۱
- فهرست خدمات پایش کیفیت آب‌های سطحی (جاری)، ضابطه شماره ۵۹۶، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۹۱

در خصوص سنجش پارامترهای کیفی، در دوره‌ی بهره‌برداری از معدن و یا دوره‌ی ساخت، تجهیزاتی نظیر BOD متر، طیف‌سنج مرئی و فرابنفش (UV-VIS Spectrophotometer)، دستگاه کدورت‌سنج و ... می‌توان استفاده نمود. با نمونه‌برداری دوره‌ای و با استفاده از این تجهیزات می‌توان کیفیت جریان‌های زهکشی و نیز کیفیت آب مخزن را پایش کرد.

پیش‌تر نیز اشاره شد که همانند سدهای ذخیره‌ی آب، سدهای پسماند نیز باید به نوعی ابزاربندی شوند. در طرح ابزاربندی، پیزومترها برای اندازه‌گیری فشارهای منفذی به‌کار می‌روند. اکثر پیزومترهای معمولی فقط می‌توانند فشار منفذی مثبت که زیر سطح ایستایی پدید می‌آید را اندازه‌گیری نمایند. سطح ایستابی از نقطه‌ی آبگیری (آب آزاد حول برج آبگیر) شروع می‌شود و شیب آن به ویژگی‌های آبگذرانی پسماندهای نهشته، زمین میزبان نهشته‌ها، وضعیت زهکش‌ها، و نیز پوشش‌های احتمالی به‌کار رفته در بدنه‌ی سد، بستگی دارد.

اگر جهت عمومی جریان قائم باشد (زهکشی از کف) فشار منفذی زیر سطح ایستابی معمولا کم‌تر از فشار هیدرواستاتیک است، در مقابل، در شرایط افزایش سریع سطح آب و یا در رسوبات ریزدانه، ممکن است فشار منفذی ایجاد شده، بیش از فشار هیدرواستاتیک باشد. به‌دست آوردن فشار منفذی واقعی و چگونگی توزیع آن در بدنه‌ی یک سد پسماند، در مدل‌سازی نشت اهمیت حیاتی دارد.

اگر پیزومترگذاری به تعداد کافی و مناسب انجام شده باشد، تعیین سطح ایستایی و فشارهای حفره‌ای زیر آن با دقت کافی میسر خواهد شد. این یافته می‌تواند برای درستی‌سنجی پارامترهای مفروض در مرحله‌ی طراحی، و نتایج مدل محاسباتی به کار رفته، و در ضمن اطلاعات لازم برای انجام محاسبات پایداری را در اختیار قرار دهد. رفتارنگاری همچنین می‌تواند بروز شرایط حدی، که حاکی از ورود به وضعیت هشدار و حالات ناایمن، که ناشی از افزایش فشار منفذی است، را آشکار سازد. پایش منظم پیزومترها و از آن طریق وضعیت فشارهای منفذی می‌تواند ارزیابی مستمر وضعیت پایداری سد پسماند را نیز تحقق بخشد.

داده‌های به‌دست آمده از پیزومترها باید به دقت پردازش شوند. بروز فشار منفذی زیاد تنها ناشی از تراز سطح آب مخزن پسماند نیست، آب منفذی انباشته در رسوبات پسماندی تحکیم نیافته‌ی با نفوذپذیری کم، نیز ممکن است موجب افزایش فشار منفذی گردد.

سطح ایستابی در بدنه سد پسماند را با زهکشی و یا احداث لایه‌های زهکش در طی ساختمان بدنه‌ی سد پسماند، می‌توان در وضعیت مطلوبی حفظ نمود و مسیر آن را از رویه‌ی بدنه‌ی سد در پایین‌دست دور کرد. ضوابط طراحی زهکش‌های مناسب در بولتن شماره ۹۷[1]، کمیته بین‌المللی سدهای بزرگ تحت عنوان «طراحی زهکش در سدهای

1- ICOLD Bulletin NO 97: Tailings Dam Design of Drainage

پسماند» آمده، و ابزاربندی سدهای پسماند نیز در بولتن شماره‌ی ۱۰۴ این کمیته تشریح شده است. لازم به توجه است سازگاری ابزار با مشخصه‌های شیمیایی محیط، از عوامل تاثیرگذار در انتخاب ابزار است.

۵-۸-۵- پیش‌بینی تاثیر بر آب زیرزمینی

پس از برآورد کمّیت و کیفیت آب نشتی از سدهای پسماند، لازم است تاثیر احتمالی آن بر آب زیرزمینی پیش‌بینی شود؛ در این پیش‌بینی، گام نخست شناخت وضعیت کنونی سفره‌ی آب زیرزمینی از نظر کمّی و کیفی است. در این راستا اطلاعاتی نظیر عمق سفره‌ی آب زیرزمینی، حجم و کیفیت آب زیرزمینی و نیز مشخصات نفوذپذیری آبخوان جمع‌آوری خواهد شد. این داده‌ها را می‌توان از طریق آمار موجود، نمونه‌گیری و آزمایش‌های لازم و نیز بررسی‌های زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی در محل و بررسی‌های خاص هیدروژئولوژیکی به دست آورد. کاووش‌های هیدروژئولوژی می‌تواند مشتمل بر مشاهدات ساده‌ی سطح آب در گمانه‌ها، آزمون‌های درون‌چاهی برای ارزیابی نفوذپذیری محیط، آزمایش پمپاژ، و آزمایش‌های کیفی آب باشد.

در خصوص تعبیه سامانه‌های تصفیه پساب قبل از ورود به مخزن و معیارهای مربوط دو نکته کلی حایز اهمیت است:

۱- با درنظر گرفتن امکان قطع ارتباط میان پساب‌های آلوده با منابع سطحی و زیرسطحی (جلوگیری از سرریزی از سد، و جلوگیری از نفوذ به رودخانه و آبخوان پایین‌دست)، بهره‌بردار تصمیم به تصفیه‌ی پساب قبل از ورود آن به مخزن را ندارد و با پایش دوره‌ای و منظم زه‌آب‌های احتمالی و نیز نمونه‌برداری از ایستگاه‌های نمونه‌برداری کیفی، از عدم آلودگی اطمینان حاصل می‌نماید.

۲- سازمان بهره‌برداری تصمیم به تصفیه پساب قبل از ورود به مخزن دارد؛ لذا با احداث تصفیه خانه، مشخصات کیفی، به حدود ذکر شده در استانداردهای مرتبط، خواهد رسید.

در انتخاب هریک از موارد مذکور، مدیریت ریسک و مسایل اقتصادی و فنی مورد توجه بهره‌بردار معدن قرار خواهد گرفت. در این راستا، علاوه بر جزییات ارائه شده در بند ۳-۲ از این راهنما، توجه به نشریات «راهنمای مطالعات طرح‌های استفاده از فاضلاب‌های تصفیه شده شهری و روستایی»، ضابطه شماره‌ی ۴۳۴، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، راهنمای طبقه‌بندی کیفیت آب خام، پساب‌ها وآب های برگشتی برای مصارف صنعتی و تفرجی، ضابطه شماره‌ی ۴۶۲، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور (سال ۱۳۸۷)، ضوابط زیست محیطی استفاده مجدد از آب‌های برگشتی و پساب‌ها، ضابطه شماره‌ی ۵۳۵، سال ۱۳۸۹، استاندارد کیفیت آب آشامیدنی، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، نشریه شماره‌ی ۳-۱۱۶، ۱۳۷۱ سازمان برنامه و بودجه و نیز توصیه‌های سازمان بهداشت جهانی (WHO) و خواربار و کشاورزی جهانی (FAO)، لازم و ضروری است. برای توضیحات بیش‌تر، علاوه بر نشریات یادشده می‌توان به مراجع معرفی شده در انتهای این راهنما مراجعه کرد. به عنوان مثال جدول‌های شماره (۱) تا (۱۲) که از این مراجع برداشت‌شده‌اند، مقادیر مجاز آلودگی‌ها و عناصر مختلف در آب شرب، صنعت و کشاورزی را در خود جای داده‌اند. برخی از این جداول برای سهولت ارجاع در مجموعه‌ی پیوست (پیوست شماره ۶) آورده شده‌اند.

۵-۸-۶- ظرفیت همگون سازی محیط

درصورتی‌که نتایج حاصل از ارزیابی نشت، نشان دهنده‌ی احتمال رخداد مشکلاتی باشد، مدل‌سازی حرکت واقعی آلودگی‌ها در محیط می‌تواند ضرورت پیدا کند.

آلودگی‌های آب زیرزمینی ممکن است به‌وسیله‌ی عوامل طبیعی مختلف مانند شکست بیولوژیکی و شیمیایی، جذب و تاخیر[1] و واگرایی و ترقیق[2]، میرا شوند. از این دیدگاه، جریان در محیط‌های غیراشباع، بخصوص در محیط‌های سنگی هوازده و با درصد رس بالا، نقش و اهمیت ویژه‌ای دارند. برای زمین‌های خاکی ظرفیت جذب سیانیدها و فلزات در محیط را می‌توان از طریق آزمون‌های آزمایشگاهی تعیین کرد. در محیط‌های سنگی انجام برخی آزمون‌های درجای ردیابی، ارجحیت دارد.

معمولا سرعت جریان آب زیرزمینی کم است، از این‌رو، جرم واقعی انتقال یافته‌ی مواد آلوده کننده نیز می‌تواند کم باشد. در محلی‌هایی که جریان نشتی به جریان‌های جاری طبیعی تخلیه می‌شود تاثیر محتمل تخلیه آلودگی‌ها، باید با توجه به تاثیر پدیده‌ی ترقیق ارزیابی شود. میزان مجاز آلودگی قابل تخلیه به‌وسیله ضوابط ومقررات قانونی تعیین می‌شود.

۵-۸-۷- تمهیدات طراحی برای کاهش نشت

پیش از توجه به راهبردهای مدیریت آب به شیوه‌های تجربه شده‌ی پیشین، مانند احداث ترانشه‌های آب‌بند یا چاه‌های قطع‌کننده‌ی مسیر جریان آب، در طول دوره‌ی بهره‌برداری، توجه به نکات و اصول کلیدی خاص همچون حداکثر کردن امکان خشک‌اندازی به‌وسیله تابش خورشید، حداقل کردن درصد آب پسماندها، و حداقل کردن مساحت و حجم آب انباشته از جمله ملاحظات اساسی در مراحل طراحی در این زمینه است که می‌تواند در کاهش نشت آب نقش عمده‌ای داشته باشد.

۵-۸-۸- پوشش تاسیسات (سامانه‌ی) انباشت پسماند

یقینا هر نوع خاک در پی مخزن، مقداری آب را به صورت نشت از خود عبور خواهد داد، هرچند، نرخ نشت می‌تواند آنقدر کم، و ظرفیت جذب محیط آنقدر بالا، باشد که پی‌آمد زیست‌محیطی نظیر آن کوچک و قابل قبول تلقی شود. دامنه‌ی اثرگذاری این پی‌آمدها را می‌توان با به کارگیری روش‌های تجزیه و تحلیل ریسک به صورت کمّی تبیین کرد.

روش‌های مختلف کاهش و مدیریت آب نشتی در پی، شامل احداث دیوارهای آب‌بند، چاه‌ها و ترانشه‌های قطع کننده‌ی جریان، تزریق، احداث چاله‌ها و یا ساخت سدهای جمع‌آوری آب‌های نشتی در پایین‌دست سد است.از این میان، احداث دیوارهای آب‌بند در محل‌هایی که نفوذپذیری‌ها زیاد است عملکرد موثرتری خواهند داشت.

1- Retardation and Absorption
2- Dispersion and Dilution

در صورت وجود لایه‌های رسی طبیعی زیربستر مخزن، می‌توان با حفظ و در صورت نیاز ارتقای ویژگی‌های آن از طریق افزایش تراکم، یا در صورت لزوم، افزودن خاک رس با حمل از قرضه، پوشش طبیعی آببند در کف مخزن ایجاد کرد. از بنتونیت نیز می‌توان برای ارتقای ویژگی‌های خاک طبیعی بهره گرفت. باید توجه داشت که نهشته‌های طبیعی رسی به علت ترک‌خوردگی و وجود بقایای ریشه‌های گیاهی نفوذپذیری بالایی دارند، از این رو لازم است که با کوبیدن و عمل‌آوری آن‌ها کیفیت شان را ارتقا داد.

در برخی موارد، که جریان‌های حامل مواد پسماند بی‌خطراند و یا آب زیرزمینی در شرایط طبیعی به دلیل شوری زیاد، برای آشامیدن، گیاهان و جانوران غیرقابل مصرف هستند، ضرورتی به جلوگیری از نشت آب با آببندی مخزن سد پسماند با لایه‌ی ناتراوا وجود ندارد؛ اما ممکن است، در طرح‌هایی، نشت و حتی تمرکز جزیی آلودگی‌های خاص، نظیر مواد رادیواکتیو، غیرقابل قبول باشد که در این صورت باید با به‌کارگیری روش‌های مختلف، از برقراری وضعیتی ایمن اطمینان حاصل کرد.

به‌عنوان جایگزین یا در ترکیب با لایه‌های رسی می‌توان از پوشش‌های مصنوعی برای آببندی کف مخزن نیز استفاده کرد. در این موارد، که ممکن است به عنوان مثال از ژئوممبران‌ها یا ژئوکامپوزیت‌ها استفاده شود، لازم است مزایای اقتصادی چنین تمهیداتی به‌طور کمّی مورد ارزیابی قرارگیرد. باید توجه داشت که مواد پسماند به خصوص لایه‌های اولیه در کف مخزن، که در اثر تحکیم طولانی مدت‌تر، پوکی بسیار کمی پیدا می‌کنند، خود نفوذپذیری و ظرفیت انتقال بسیار کمی خواهند داشت. به علاوه از آنجا که سطوح فوقانی معادن که در مراحل اولیه‌ی معدن‌کاری، فرآوری می‌شوند و طبیعتا در کف مخزن قرار می‌گیرند؛ هوازده‌گی و در صد رس بیش‌تری دارند، می‌توان انتظار داشت که آنچه که در کف مخزن انباشته می‌شود، لایه‌ای با نفوذپذیری کم و در نتیجه ظرفیت انتقال آب کم خواهدبود.

در نبود لایه‌ی طبیعی مستعد آببندی و یا مواد پسماندی که بتوانند در حد مطلوب تامین کننده‌ی آببندی مورد نیاز کف مخزن باشند، ناگزیر استفاده از پوشش‌های با خواص مهندسی تعریف شده باید مورد توجه قرار گیرد. در این صورت ضروری است که طرح، شامل سامانه زهکشی زیر پوشش آببند و همچنین سامانه جمع‌آوری و هدایت آب‌های نشتی باشد. در غیر این‌صورت، ممکن است وجود چنین لایه‌ی آببندی،به افزایش سریع فشار منفذی، کاهش دانستیه و کاهش مقاومت مواد پسماند بیانجامد.

پوشش‌ها ممکن است از مصالح متنوعی به شرح زیر تشکیل شوند:

- رس متراکم
- خاک طبیعی مخلوط شده با بنتونیت یا افزودنی‌های مشابه
- آببندهای قیری
- پلی‌وینیل کلراید (PVC) یا مواد مشابه
- پلی‌اتیلن دانستیه‌ی بالا (HDPE)، پلی‌اتیلن طولی دانستیه‌ی کم (LLDPE)، بوتیل، و یا پوشش‌های مصنوعی مشابه
- لایه‌های بنتونیتی یا مصالح خاص، با فرمول‌های اختصاصی مانند پوشش‌های GCL (Liners-Geocomposite)

در مورد استفاده از رس باید توجه داشت که برخی از رس‌ها در مقابل آب‌های بسیار شور دلمه می‌بندند و نفوذپذیری کم‌تر از آنچه در آزمایشگاه و از طریق آزمایش با آب خالص به‌دست آمده است از خود نشان می‌دهند.

هر یک از دیگر انواع مصالح ذکر شده نیز باید از دیدگاه دوام، متناسب بودن با پسماندها، و امکان تخریب در طول دوره‌ی عمر، مورد بررسی و آزمایش قرار گیرند. به‌عنوان مثال، مشاهده شده است که مواد منعطف کننده موجود مصالح «PVC» هنگامی‌که در معرض آب‌های شور قرار می‌گیرند، خاصیت انعطاف‌پذیری خود را از دست داده و شکننده می‌شوند. در صورت نبود یک سامانه زهکشی مناسب معمولا فشار هیدرواستاتیک موجود به‌طور کامل به این پوشش‌ها وارد می‌شود. در چنین حالاتی، علیرغم سلامت کلی پوشش، پارگی‌های جزیی و درزهایی که ناقص اجرا شده‌اند، می‌توانند به محل‌هایی برای بروز نشت با احجامی قابل توجه تبدیل شوند. تقریبا در تمام پوشش‌های مصنوعی باید نوعی نفوذپذیری ثانویه، که به دلیل وجود نقص در ساختمان پوشش‌ها و یا اشکال در روند تولید است را انتظار داشت.

چنانچه کنترل نشت حیاتی باشد می‌توان از پوشش دوگانه یا پوشش مرکب استفاده نمود. در ساده‌ترین نگاه به یک پوشش دولایه، احتمال رخداد نقاط ضعف منطبق بر هم در دو لایه‌ی مجاور بسیار کم است. به عنوان نمونه در این موارد می‌توان به کاربرد یک لایه پلاستیک (یا ژئوسنتیک) روی یک لایه‌ی رس متراکم اشاره کرد.

در برخی موارد ممکن است دو لایه‌ی نفوذناپذیر به‌وسیله‌ی یک لایه نفوذپذیر زهکش مانند یک لایه‌ی ماسه‌ای که مجهز به لوله‌های جمع‌آوری و دفع‌کننده جریان‌های نشتی باشد، از یکدیگر جدا شوند. این میان‌لایه، جریان نشتی از نقاط ضعف لایه‌ی اول را جمع‌آوری، هدایت، و به سامانه اندازه‌گیری و رفتارسنجی منتقل می‌کند. از آنجا که این سامانه زهکشی معمولا به فشار آتمسفر متصل می‌شود، فشار هیدرواستاتیک و گرادیان موثر به لایه‌ی دوم بسیار کم‌تر خواهد بود و منجر به نشت بسیار کم‌تری از لایه دوم خواهد شد. هرچند باید توجه داشت که چنین لایه‌ای می‌تواند به صورت مجرایی برای هدایت مستقیم آب به سوی نقاط ضعف لایه‌ی زیرین نیز عمل کند.

درصورتی‌که در نظر باشد آببندی پی به‌طور دائم پس از بستن و ترک سد هم تداوم یابد، باید عملکرد دراز مدت پوشش‌های مصنوعی به دقت مورد ارزیابی قرار گیرد. به طور کلی نمی‌توان به عمل کرد قابل اعتماد پوشش‌های مصنوعی با عمری بیش از یک صد سال اطمینان داشت. عمر قابل انتظار این گونه مصالح بسیار کم‌تر از این مقدار است.

برای توضیحات و جزییات بیش‌تر در خصوص پوشش‌های مصنوعی می‌توان به بولتن‌های شماره ۵۵، ۷۸ و ۱۳۵ کمیته‌ی بین‌المللی سدهای بزرگ به شرح زیر مراجعه نمود:

- Geotextiles - As Filters and Transitions in Fill Dams.
- Watertight Geomembranes for Dams (State of the Art).
- Geomembrane Sealing Systems for Dams (Design Principles and Review of Experience).

۵-۹- زهکش‌ها و فیلترها

یکی از عوامل موثر بر نشت و پایداری که باید در روند طراحی مدنظر قرار گیرد، سامانه زهکشی است. یک سامانه زهکش متشکل از اجزای به شرح زیراست.

- فیلتر مناسب[۱] برای جلوگیری از حرکت دانه‌ها از بدنه و پی سد
- لایه‌ی زهکش برای تخلیه آب از فیلتر
- خروجی مناسب برای آب زهکش

برای کاهش فشار منفذی تا حد مطلوب، لازم است که زهکش‌ها و لایه‌های زهکشی دارای ابعاد مناسب با گستردگی کافی زیر خاکریز باشند. این لایه‌ها باید به‌طور کامل با لایه‌های فیلتر به ترتیبی محدود شوند تا از مهاجرت ریزدانه‌ها به‌وسیله‌ی آب نشتی که می‌تواند منشاء خرابی از طریق رگاب[۲] باشد جلوگیری نمایند.

اطلاعات بیش‌تر در این خصوص در بولتن شماره‌ی۹۷[۳] کمیته بین‌المللی سدهای بزرگ، تحت عنوان طراحی زهکش سدهای پسماند آمده است.

برای طراحی فیلتر باید از یکی از روش‌های شناخته شده‌ی طراحی مانند روش شرارد و دونیگان (۱۹۸۴) و یا فل و همکاران (۲۰۰۵) استفاده کرد. مصالح مورد استفاده برای ساخت فیلتر، باید شن و ماسه‌ی تمیز، بدون پلاستیسیته، و با خاصیت زهکشی آزاد[۴] باشد. تماس با مواد پسماند می‌تواند موجب انسداد فیلترهای از جنس ژئوتکستایل شود، از این‌رو برای استفاده از این نوع فیلترها، باید این نکته‌ی مهم به دقت مورد توجه قرار گیرد.

در صورت وجود ریسک واکنش‌های شیمیایی منجر به تغییر مشخصات مصالح، عمر مفید فیلترها در یک طرح سد پسماند باید با توجه به ضرورت‌های مرحله‌ی «پس از بستن[۵]» سد مورد ارزیابی قرار گیرد. در این راستا، نباید از نظر دور داشت، که ممکن است نتوان به عملکرد فیلتر در دوره‌ی «پس از بستن» اعتماد کرد، بخصوص اگر نشت زه‌آب اسیدی (AMD)، یا احتمال رخ داد آن مطرح باشد. این‌گونه نشت موجب سیمانتاسیون و انسداد فیلتر خواهد شد. در چنین حالتی ممکن است لازم باشد به راهکارهای دیگری برای حفاظت مخزن پسماندها در برابر رگاب اندیشیده شود. این راهکارها ممکن است مشتمل بر مواردی به شرح زیر باشند:

۱- استفاده از نشریه USBR, Design Standard No. 13: Embankment Dams, Chapter 5, Protection Filters, Nov 2011 به عنوان استاندارد طراحی مصالح فیلتر در سدها مورد توصیه است.

۲- پدیده رگاب یا Piping به ایجاد مجرا در اثر عبور جریان آب از داخل بدنه خاکی گفته می‌شود. در این پدیده، که از جمله پدیده‌های خطرناک در پایداری سدهای خاکی می‌باشد، قطر مجرای تولید شده (یا رگاب ایجاد شده) با گذشت زمان بیش‌تر شده و موجب توسعه مجاری با ایجاد زه‌متمرکز می‌شود.

3- ICOLD Bulletin NO 97: Tailings Dam Design of Drainage

4- Free Draining

5- Post Closure

- طراحی فیلتر با دانه‌بندی‌های محافظه‌کارانه
- پرهیز از استفاده‌ی از مصالح مستعد آبشستگی
- طراحی برای گرادیان هیدرولیکی بسیار پایین

جریان‌های ورودی پسماند در اولین مرحله‌ی پرکردن مخزن، تحرک زیادی دارند لذا می‌توانند موجب آسیب بر فیلترها شوند، از این‌رو لازم است که در این مرحله توجه ویژه به حفاظت از فیلترها معطوف شود.

فصل ۶

طراحی خاکریز

هدف طراحی خاکریز ذخیره کننده‌ی پسماند، کسب اطمینان از توانایی تحمل بارگذاری‌های محتمل، که ممکن است در طول دوره‌ی عمر سازه رخ دهند، در حدی که احتمال خرابی به میزان قابل قبولی، پایین باشد است.

۶-۱- آنالیز پایداری

۶-۱-۱- ارزیابی پایداری

ارزیابی پایداری سدهای پسماند، از جنبه‌هایی به شرح زیر، با ارزیابی پایداری سدهای معمولی، تفاوت دارد:

ابعاد نواحی مختلف در خاکریز سدهای پسماند، به ویژه در سدهای ساخته شده به روش «بالارو»، ممکن است کوچک‌تر و نازک‌تر باشد.

پایداری بدنه‌هایی که به روش بالارو ساخته می‌شوند، به شاخصه‌های مقاومتی مواد پسماند متکی است، که خود ممکن است در طی زمان، به علت تحکیم، و یا روانگرایی دستخوش تغییر شوند.

فشار منفذی در مواد پسماند، ترکیبی است از فشار زه، و فشار تحکیمی، که در شرایط تحکیم غیر هیدرواستاتیکی به حداکثر خود می‌رسد. تجزیه و تحلیل این موضوع نیازمند بهره‌گیری از مدل‌سازی‌های تخصصی و پیشرفته است.

۶-۱-۲- روش‌های تحلیل پایداری

تحلیل پایداری خاکریز سدهای پسماند معمولا با استفاده از روش‌های تعادل حدی انجام می‌شود. در برخی از این روش‌ها، تمامی شرایط لازم برای برقراری تعادل استاتیکی (تعادل نیروها و تعادل گشتاورها)، در محاسبات وارد می‌شود، درحالی‌که در سایر روش‌ها فقط به برخی از این معادلات توجه می‌شود. توصیه می‌شود برای انجام محاسبات از روش‌هایی که فرضیات معقولی برای نیروهای جانبی اختیار می‌کنند و به وضوح تعادل گشتاورها را هم کنترل می‌کنند، استفاده شود. از جمله‌ی این روش‌ها، می‌توان به روش‌های به شرح زیر اشاره کرد:

- Bishop (1955).
- Morgenstern and Price (1965).
- Spencer (1967).
- Chen. And Morgenstern (1983).
- Sharma (1973)

درصورتی‌که اطلاعات موجود برای به‌کارگیری این روش‌ها کافی نباشد، باید از مقادیر محافظه‌کارانه استفاده کرد. در برخی موارد، (درصورتی‌که اطلاعات لازم در اختیار باشد) از روش‌های اجزای محدود یا تفاضل‌های محدود نیز برای انجام

محاسبات استفاده می‌شود. از جمله‌ی این موارد می‌توان به وضعیتی که پایداری خاکریز در حد مرزی است، و یا زمانی‌که لازم است تغییر شکل‌ها، و یا فشارهای منفذی در وضعیتی غیرمعمول پیش‌بینی شوند اشاره کرد.

این روش‌های محاسباتی هنگامی که ساخت خاکریز به روش بالارو انجام می‌شود و نیز پتانسیل رفتار نرم‌شدگی کرنشی[1] و روانگرایی وجود دارد، مورد استفاده قرار می‌گیرند.

روش تحلیل مورد استفاده، باید توسط متخصصان با تجربه و با در نظر داشتن نتایج ارزیابی خطر (ریسک) انتخاب شود.

۶-۱-۳- وضعیت‌های بارگذاری

پیش از پرداختن به تحلیل‌های پایداری، لازم است درک روشنی از وضعیت‌های مختلف بارگذاری ایجاد شود. هر وضعیت بارگذاری بیان کننده‌ی وضعیتی فیزیکی یا فرآیندی است که، تحلیل آن باید با استفاده از مشخصات مقاومتی متناسب برای مصالح در آن وضعیت، انجام شود، بسته به شرایط بارگذاری، حتی ممکن است برای یک نوع مصالح، مقاومت‌های برشی متفاوت (زهکشی شده یا زهکشی نشده) استفاده شود.

به علاوه ممکن است لازم باشد مشخصات مصالح در وضعیت پس از انقباض یا تورم در نظر گرفته شوند. تفاوت رفتار مصالح مستعد انقباض و مصالح مستعد تورم رامی‌توان با انجام آزمایش‌های آزمایشگاهی، مانند آزمایش سه‌محوری تحکیم شده- زهکشی نشده، همراه با اندازه‌گیری فشار منفذی، و/یا آزمایش‌های صحرایی و در جا، مانند آزمایش‌های نفوذ مخروط همراه با اندازه‌گیری فشار منفذی، بررسی و روشن کرد.

وضعیت‌های بارگذاری که در تحلیل سدهای پسماند، باید در نظر گرفته شوند به شرح زیر است.

۶-۱-۳-۱- زهکشی شده

در این وضعیت، فرض می‌شود که فشار منفذی اضافی ناشی از بارگذاری (یا بار برداری)، به واسطه‌ی سرعت کم ساخت، یا سپری شدن زمان کافی پس از عملیات اجرایی، مستهلک شده و به علت سرعت پایین برش در هنگام خرابی، فشارهای منفذی ناشی از برش هم وجود ندارند. در حقیقت این وضعیت بارگذاری بیانگر پایداری دراز مدت سد پسماند تحت شرایط پایدار، بدون تغییر سریع در خط نشت در بدنه، و بدون تغییر در هندسه (چه ناشی از افزایش بار چه ناشی از خاکبرداری) می‌باشد.

برای تحلیل پایداری در این وضعیت بارگذاری، برای تمام مصالح، از مقاومت برشی در حالت تنش موثر و زهکشی شده استفاده می‌شود. شرایط فیزیکی و سناریوهایی که در برگیرنده‌ی این وضعیت است را، می‌توان به شرح زیر برشمرد:

- پایداری دراز مدت استاتیکی خاکریز با ارتفاع نهایی

1- Strain Softening

- پایداری دراز مدت پس از بستن انباشتگاه رسوبات(T.S.F.)[1]

این وضعیت بارگذاری برای ارزیابی مواردی به شرح زیر، نباید مورد استفاده قرار گیرد:

- پایداری حین ساخت، که هندسه و یا فشار آب حفره‌ای در حال تغییر است،
- پایداری مصالح مستعد انقباض که اشباع هستند.
- پایداری خاکریزهای جدیدی که بر شیب‌ها یا دامنه‌های قدیمی احداث می‌شوند،
- پایداری انباشت‌های مجدد بر روی انباشته‌های قدیمی.
- پایداری شیب‌هایی که در پنجه‌ی آن‌ها خاکبرداری، یا حفاری انجام شده باشد.
- پایداری پس از وقوع زلزله، وقتی زلزله آن قدر کوچک بوده که سبب روان‌گرایی نشده، اما به حدی بزرگ بوده که شرایط زهکشی نشده را در مصالح به وجود آورده باشد.

در موارد ذکر شده در بالا، که بارگذاری کوتاه مدت و زهکشی انجام نشده است، تحلیل‌ها باید در وضعیتی که در ادامه مطرح می‌شود صورت گیرد.

۶-۱-۳-۲- زهکشی نشده

در مواردی که بارگذاری یا خرابی، با سرعتی رخ دهد که زمان و فرصت کافی برای زهکشی و تخلیه فشار آب حفره‌ای اضافی وجود نداشته باشد، یا در اثر طبیعت مستعد انقباض[2] مصالح، پسماند، بدنه، یا پی، فشارهای حفره‌ای در آن‌ها به‌وجود آیند، ارزیابی پایداری خاکریز، در وضعیت زهکشی نشده، یا نیمه زهکشی شده صورت می‌گیرد. هر چند ممکن است بخشی از فشار آب حفره‌ای در روند بارگذاری مستهلک شود، اما تعیین میزان آن، و محلی که زه‌آب از سطح برش خارج می‌شود، دشوار خواهد بود. از این‌رو برای حفظ جانب احتیاط در مقابل این عدم اطمینان (عدم استهلاک کامل فشار منفذی)، روش معمول آن است که برای کنترل پایداری، از پارامترهای مقاومتی مربوط به شرایط زهکشی نشده، استفاده شود. همچنان که اشاره شد، مواد پسماند مستعد انقباض در حالت اشباع، و لایه‌های رسی نرم در پی، از مصالحی هستند که ویژگی‌های مکانیکی آن‌ها در وضعیت زهکشی نشده باید در تحلیل‌های پایداری ملاک عمل قرار گیرند. در حالی که برای مصالح درشت دانه که عموما زهکش آزاد[3] هستند و نیز مصالح مستعد تورم (اتساعی)[4] که هیچ فشار حفره‌ای اضافی را در خود نگه نمی‌دارند، از پارامترهای مقاومتی متناظر با شرایط تنش موثر و مقاومت برشی زهکشی شده باید بهره گرفت.

۱- TSF مخفف Tailings Storage Facility و به مفهوم کلی انباشتگاه رسوبات، به هر شکل و نوع استفاده می‌شود. هرجا از TSF استفاده می‌شود، منظور تاکید بر صدق نمودن موضوع بحث در مورد انباشتگاه‌های رسوبات، به هر شکل و نوع است.

2- Contractive
3- Free Drain
4- Dilative

از دیگر مکانیزم‌های خرابی شیروانی‌های خاکی یا طبیعی، روانگرایی استاتیکی است که امکان وقوع آن نیز باید تحت شرایط بارگذاری زهکشی نشده، ارزیابی و کنترل شود. بر اساس یافته های فل و همکاران[1]، روان‌گرایی استاتیکی در تنش‌های نسبتا کم، به‌واسطه‌ی شکل‌گیری فشارهای منفذی بزرگ،کاهش تنش موثر به نزدیکی صفر، و بروز خاصیت شکنندگی در مواد، رخ می‌دهد. اطلاعات بیش‌تر در مورد روانگرایی استاتیکی از بررسی‌های فل و همکاران و نیز دانکن و رایت[2] قابل دستیابی است.

۶-۱-۴- تعیین مقاومت برشی

دامنه‌ی کاوش‌های زیر سطحی و آزمایش‌های مربوط به آن‌ها در محل، و همچنین آزمایش‌های آزمایشگاهی، باید در هماهنگی با سطح طراحی‌ها و تحلیل‌های مربوط باشد.

پارامترهای مقاومت برشی تنش موثر (زهکشی شده) را می‌توان بر اساس نتایج آزمایش‌های سه محوری تحکیم یافته‌ی زهکشی شده (CD)، آزمایش برش مستقیم بر روی نمونه‌های تحکیم یافته، یا آزمایش‌های سه محوری تحکیم یافته‌ی زهکشی نشده (CU) با اندازه‌گیری فشار آب حفره‌ای، برآورد نمود. بدیهی است که به طور کلی آزمایش‌های لازم برای شناخت پارامترهای مقاومتی مصالح در هر طرح باید بسته به نیاز محاسب و طراح تعیین شود.

درصورتی‌که، مقاومت مصالح در شرایط زهکشی نشده، بیش از مقاومت آن‌ها در شرایط زهکشی شده باشد، برای اجتناب از به حساب آوردن اثر فشار آب حفره‌ای منفی، مقادیر مقاومت برای شرایط زهکشی نشده باید به مقادیر مقاومت در شرایط زهکشی شده محدود شود. به‌بیان دیگر، باید از اختیار کردن مقادیری بزرگ‌تر از مقاومت برشی زهکشی شده، برای مقاومت برشی زهکشی نشده احتراز کرد.

برای درنظر گرفتن نا همگنی احتمالی مقاومت برشی برای صفحات برشی افقی یا نزدیک به افقی، باید از مقاومت برشی حاصل از آزمایش برش مستقیم یا برش مستقیم ساده (به جای آزمایش سه‌محوری) استفاده شود.

استفاده از پارامترهای مقاومت کل، مورد توصیه نیست زیرا در روش تنش کل، فشار آب حفره‌ای به‌صورت مستقیم به حساب نمی‌آید. در سدهای پسماند، استفاده از این روش ممکن است به نتایج گمراه‌کننده‌ای بیانجامد. مقاومت مصالح، در هر دو حالت زهکشی شده، و زهکشی نشده، تابعی هستند از تنش موثر و نه تنش کل.

1- Fell (2007)
2- Dunkan and Wright (2005)

۶-۱-۵- پایداری در مقابل بارهای لرزه‌ای

سدهای پسماند اکثرا از ماسه‌ی ریز، شن، خاکستر، و کیک فیلتر که به‌طور نسبتا سستی در کنار هم انباشته می‌شوند تشکیل شده‌اند. هر چند سواحل و توده‌هایی که از تجمع این مواد تشکیل می‌شوند، ظاهری سخت و یکپارچه دارند، باید توجه داشت که، ممکن است مواد انباشته، حتی با ظاهری چنین یکپارچه، تحت اثر بارگذاری دینامیک یا حتی استاتیکی خواصی روان‌گرا از خود نشان دهند. در صورت بروز چنین خواصی، مقاومت بخش روان‌گرا شده‌ی مواد پسماند به حدی کاهش خواهد یافت که می‌تواند منجر به خرابی هم بشود. روان‌گرایی مبحثی پیچیده است و برای پرداختن به آن و سایر موارد مربوط به پایداری لرزه‌ای، از مراجع[1] مختلفی می‌توان بهره گرفت[2].

در طراحی سدهای پسماند در مقابل زلزله و بارهای لرزه‌ای ناشی از انفجارها، لازم است به مواردی به شرح زیر پرداخته شود:

- سطح فعالیت لرزه‌ای، که احتمال رخداد آن در ساختگاه مورد نظر در دوره‌ی بهره‌برداری وجود دارد.
- سطح فعالیت لرزه‌ای در ساختگاه مورد نظر برای طراحی‌های در دوره‌ی بستن و ترک سد.
- اثرات محتمل وضعیت پی و یا مصالح بدنه در افزایش[3] یا استهلاک[4] شتاب زلزله نسبت به شتاب پایه‌ی زمین.
- توانایی سد برای مقاومت در برابر بارگذاری‌های لرزه‌ای پیش‌بینی شده.
- احتمال روان‌گرایی مواد پسماند اشباع در مخزن یا درسواحل (بیرون از آب).
- احتمال روان‌گرایی لایه‌های پی.

برای تعیین سطح فعالیت‌های لرزه‌ای در هر ساختگاه، لازم است مطالعات لرزه‌خیزی در سطحی متناسب با سطح مطالعات در مراحل مختلف مطالعاتی (شناسایی، مفهومی، تفصیلی) انجام شود. در نبود استاندارد ملی در این زمینه برای سدهای پسماند می‌توان از استانداردها و یا روش‌های متعارف در کشور برای طراحی سدهای خاکی همگون به این منظور استفاده کرد.

مطالعات لرزه‌خیزی برای تمام سدهای پسماند به غیر از سدهای پسماندی که در رده‌ی سدهای با پی‌آمد خرابی کم قرار می‌گیرند، باید براساس اطلاعات خاص محلی و با مساعدت متخصصان لرزه‌شناسی انجام شود. بدیهی است، برای برآورد پارامترهای حرکت زمین باید از اطلاعات موجود زلزله‌های گذشته هم، بهره گرفت.

1- Idriss and Boulanger (2008)

۲- نشریه ۵۲۵ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور تحت عنوان «راهنمای ارزیابی پتانسیل روان‌گرایی خاک، پیامدها و روش‌های کاهش مخاطرات آن» به‌عنوان یکی از مراجع پیشنهاد می‌شود. استفاده از راهنمای تحلیل و طراحی لرزه‌ای سدهای خاکی و سنگریز، نشریه شماره ۶۲۴، امور نظام فنی، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس‌جمهور، اسفند ۱۳۹۲ نیز مورد توصیه است.

3- Amplification

4- Dampening

برای طراحی لازم است که مشخصات زلزله‌ی مبنای دوره بهره‌برداری (OBE[1]) و حداکثر زلزله‌ی طراحی (MDE[2]) در اختیار باشد. در پی وقوع زلزله‌ای با مشخصات زلزله‌ی مبنای دوره‌ی بهره‌برداری، سد باید کماکان قادر به ادامه فعالیت باشد. به طور کلی انتظار آن است که زلزله‌ی مبنای دوره‌ی بهره‌برداری، خسارت و تغییر مکان‌های محدودی را سبب شود، به ترتیبی که اصلاح آن‌ها بدون اخلال قابل توجه در فرآیند بهره‌برداری، میسر باشد. در پی وقوع حداکثر زلزله‌ی طراحی، خرابی‌ها دامنه‌ای وسیع‌تر خواهند داشت، تا حدی که بهره‌برداری را دچار اخلال خواهند نمود. هرچند در چنین حالتی نیز یکپارچگی سازه‌ای سد باید محفوظ بماند و آب یا رسوب به صورت کنترل نشده، از سد رها نشود. به عبارت دیگر بزرگ‌ترین زلزله طراحی همیشه بزرگ‌تر از زلزله‌ی مبنای دوره بهره‌برداری است.

عموما در بخش‌هایی از کارهای طراحی که مقوله‌ی حداکثر زلزله‌ی طراحی مطرح می‌شود، مفهوم حداکثر زلزله‌ی محتمل (MCE[3]) مدنظر قرار می‌گیرد. حداکثر زلزله‌ی محتمل، نیرومندترین جنبش زمین است که با توجه به سابقه لرزه‌خیزی و حداکثر فعالیت چشمه‌های لرزه‌زا در گستره‌ی مورد مطالعه امکان وقوع آن ممکن و پذیرفتنی است. احتمال وقوع چنین زمین‌لرزه‌ای در طول عمر سد بسیار کم و دوره‌ی بازگشت آن بسیار طولانی است (در روش‌های احتمالاتی اغلب تا حدود ۱۰۰۰۰ سال یا بیش‌تر). بر اساس رهنمودهای ICOLD، مناسب‌ترین روش برای تعیین پارامترهای جنبش نیرومند زمین در سطح MCE روش تعیّینی است. برای طراحی مرحله‌ی بستن سد و دوره‌ی پس از آن، همواره حداکثر زلزله محتمل باید ملاک عمل قرارگیرد. البته باید توجه داشت که در این دوره، ویژگی‌های دراز مدت همچون سطح ایستابی کاهش یافته، و مقاومت مکانیکی بیش‌تر (ناشی از تحکیم و پیوندهای شیمیایی) مطرح هستند. در نبود استانداردی ملی برای بارگذاری‌های لرزه‌ای سدهای پسماند، از جدول (۶-۱) می‌توان به عنوان راهنما در این زمینه استفاده کرد.

جدول ۶-۱- بارگذاری لرزه‌ای سدهای پسماند

پی‌آمد تخریب سد	مرحله‌ی بهره‌برداری		پس از بستن
	دوره‌ی بازگشت OBE	دوره‌ی بازگشت MDE	
کم	۱ در ۵۰ سال	۱ در ۱۰۰سال	MCE
قابل ملاحظه	۱ در ۱۰۰ سال	۱ در ۱۰۰۰سال	MCE
عمده،زیاد وبسیار زیاد	۱ در ۱۰۰۰ سال	۱ در ۱۰۰۰۰ سال	MCE

به طور کلی سدهای خاکی که به خوبی متراکم شده و از مصالح رسی یا سنگریزه‌ای ساخته شده باشند در برابر بارهای لرزه‌ای مقاوم هستند، اما لازم است تمهیداتی برای نشست تاج و تغییر مکان‌های ناشی از زلزله، و بروز روانگرایی

1- Operational Basis Earthquake
2- Maximum Design Earthquake
3- Maximum Credible Earthquake

در پی، در اثر آن، اندیشیده شود. مقادیر (نشست تاج و تغییر مکان‌ها) را باید چنان برآوردکرد که همواره ارتفاع آزاد کافی برای محافظت طرح از خطر روگذری موجود باشد.

بارگذاری لرزه‌ای می‌تواند منجر به بروز ناپایداری در شیب‌ها، و روانگرایی در خاکریزهای ماسه‌ای که به‌روش هیدرولیکی ساخته شده‌اند شود؛ مگر آنکه تا رسیدن به مقدار قابل قبولی از وزن مخصوص نسبی، متراکم شده باشند. این وزن مخصوص تابعی از دانه‌بندی و شکل دانه‌ها است و بر اساس آزمایش‌های آزمایشگاهی قابل تعیین است.

موارد متعددی از خرابی، در اثر روان‌گرایی مصالح و مواد، در سدهای پسماند ساخته شده به روش بالارو مشاهده شده است.

در طراحی سدهای پسماندی که به روش بالارو ساخته می‌شوند، باید توجه ویژه‌ای اعمال کرد و جزییات را به گونه‌ای تهیه کرد که این سدها بتوانند بارگذاری لرزه‌ای را به خوبی تحمل کنند. با استفاده از زهکش‌های درونی، و انتخاب هندسه‌ی مناسب برای سدهای اولیه (آغازگر)[1]، باید طول آن بخش از صفحه‌ی مستعد گسیختگی را که از درون رسوبات می‌گذرد، تا حد ممکن کاهش داد.

باید توجه داشت که رسوبات به هنگام تخلیه در محل نهایی خود، اغلب به صورت لایه‌بندی شده در محل قرار می‌گیرند. از این رو زهکش‌های افقی که در زیر آن‌ها تعبیه شده، ممکن است در زهکشی رسوبات کاملا موفقیت‌آمیز عمل نکنند و حتی در زلزله‌های با بزرگی متوسط، این امر موجب بروز روان‌گرایی شود.

۶-۱-۵-۱- تحلیل پایداری تحت اثر بارگذاری لرزه‌ای

تحلیل پایداری سدها تحت اثر بارگذاری لرزه‌ای، زمینه‌ای تخصصی است و فقط باید توسط کارشناسان مجرب انجام شود. روش‌هایی که برای کنترل پایداری سدهای پسماند تحت اثر بارگذاری‌های لرزه‌ای به کار گرفته می‌شوند از نظر پیچیدگی کار، در سطوح مختلفی قرار دارند. روش و در نتیجه سطح پیچیدگی مناسب برای هر طرح، با توجه به نتایج حاصل از تحلیل‌هایی که با روش‌های کم‌تر پیچیده به دست می‌آید انتخاب می‌شود. در شکل شماره‌ی (۶-۱) نمودار روال عمومی تحلیل پایداری سدهای پسماند تحت اثر بارگذاری لرزه‌ای ارائه شده است.

یکی از اولین و ساده‌ترین روش‌های تحلیل پایداری در شرایط وقوع زلزله، روش شبه استاتیکی است، که در آن بارگذاری زلزله با اعمال نیرویی افقی،که مقدار آن از حاصل‌ضرب وزن خاک در ضریبی به عنوان ضریب زلزله (k) تعیین می‌شود، شبیه‌سازی می‌شود. این رویکرد، رویکردی محافظه‌کارانه است، چراکه در عمل، نیروهای وارده، برای مدت زمانی کوتاه در جهت‌های بحرانی و خطرناک حضور دارند و بلافاصله نیروهایی مساوی در جهت مخالف (که سبب پایداری شیب می‌شوند) اعمال می‌شوند. روش‌های شبه استاتیکی روش‌هایی مفید برای ارزیابی احتمال وجود مشکلاتی از دیدگاه ناپایداری هستند. هرچند در شرایطی که احتمال از دست رفتن مقدار قابل ملاحظه‌ای از مقاومت مصالح مورد مطالعه در

1- Starter Dam

اثر زلزله وجود داشته باشد، این روش‌ها، کم‌تر محافظه‌کارانه خواهند بود. برای پوشش این کاستی باید از خواص مقاومتی کاهش یافته‌ی مصالح در تحلیل‌ها استفاده کرد.

از آنجاکه بارگذاری زلزله در کوتاه مدت اعمال می‌شود، به هنگام اعمال این بار ناگهانی، فرض عدم امکان زهکشی قابل ملاحظه‌ی مصالح، مگر در مورد مصالح درشت دانه، فرضی معقول است. از این رو، در تحلیل‌های شبه استاتیکی برای اکثر خاک‌های ریزدانه، باید از پارامترهای مقاومتی متناظر با شرایط تحکیم شده‌ی زهکشی نشده استفاده کرد.

شکل ۶-۱- نمودار روال عمومی تحلیل پایداری سدهای پسماند تحت اثر بارگذاری لرزه‌ای

برای تحلیل پایداری سد تحت بارگذاری‌های لرزه‌ای، رسته‌ی مهندسی ارتش ایالات متحده‌ی آمریکا[1]، استفاده از شرایط زهکشی نشده را برای خاک‌های چسبنده و شرایط زهکشی شده را برای خاک‌های درشت‌دانه زهکش سریع (زهکش آزاد[2]) توصیه می‌کند. با هدف به حساب آوردن سست‌شدگی ناشی از تغییر شکل[3] مصالح، تحت اثر بارهای لرزه‌ای، توصیه شده است که پارامترهای مقاومتی، با ۲۰٪ کاهش در محاسبات وارد شوند. رعایت این ضوابط،برای تحلیل پایداری در شرایط یاد شده مورد توصیه است. برای راهنمایی‌های بیش‌تر در مورد تقلیل پارامترهای مقاومتی و ضرایب بارگذاری زلزله به تحقیقات دانکن و رایت[4]، مراجعه شود.

1- U.S Crops of Engineering (1984)
2- Free Drain
3- Strength Weakness
4- Duncan and Wright (2005)

با توجه به عدم قطعیت‌هایی که در مورد دقت تحلیل‌های شبه استاتیکی، به عنوان ابزاری برای ارزیابی پایداری لرزه‌ای سدهای خاکی، و امکان استفاده از آن‌ها برای غربال و مقایسه‌ی سدها، به‌خصوص سدهایی که مستعد روانگرایی هستند، می‌تواند مطرح باشد، توصیه می‌شود که بهره‌گیری از این روش‌ها با احتیاط صورت گیرد.

۶-۱-۵-۲- شرایط پس از زلزله

پس از وقوع زلزله، ضرایب اطمینان پایداری شیب‌ها، ممکن است با کاهش مقاومت برشی مصالح در اثر بارگذاری تناوبی، کاهش یابد. صحت این نظریه، به ویژه در مورد مواد پسماند، بسیار مطرح است. بسته به این‌که در پی وقوع زلزله روان‌گرایی رخ داده باشد یا نه، با کاهش مقاومت برشی مصالح، برخوردهای مختلفی انجام می‌شود.

نخستین گام در ارزیابی افت مقاومت، تعیین احتمال وقوع روان‌گرایی مصالح است. فرآیندهای این ارزیابی نیمه تجربی است، و برمبنای دانه‌بندی مصالح، درجه اشباع، نتایج آزمایش‌های درجا و سوابق تاریخی انجام می‌شود. آزمایش‌های درجای متفاوتی برای اندازه‌گیری مقاومت خاک در مقابل روان‌گرایی، مطرح هستنداز جمله:

۱- آزمایش نفوذ مخروط

۲- آزمایش نفوذ استاندارد (SPT[1])

۳- اندازه‌گیری سرعت موج برشی

برای ایجاد پیوند بین، توان مصالح برای پایداری در مقابل روان‌گرایی، که به نام «ضریب مقاومت سیکلی» (CRR[2]) شناخته می‌شود، و نتایج این آزمایش‌ها، روابط متعددی تعریف شده‌اند. برای تعیین احتمال بروز روان‌گرایی، مقادیر حاصل برای CRR، با ضریب تنش سیکلی (CSR[3]) ناشی از وقوع زلزله مقایسه می‌شوند. مقادیر CSR را می‌توان بر اساس روش ساده شده‌ی Seed و Idriss (1982) تخمین زد، یا با به‌کارگیری روش‌های پیچیده‌تری مانند «تحلیل بازخورد ساختگاه[4]» که در نرم‌افزار SHAKE استفاده شده است، محاسبه نمود.

در مواردی که احتمال روان‌گرایی وجود دارد، از مشخصه‌های مقاومتی مصالح، پس از وقوع روان‌گرایی و یا، مقاومت برشی زهکشی نشده باقی‌مانده باید استفاده کرد. حتی اگر چنین احتمالی هم وجود نداشته باشد، کماکان ممکن است که در اثر افزایش فشار آب حفره‌ای، مقاومت برشی مصالح افت کند. کاهش مقاومت برشی، معمولا در ارتباط و متناسب با ضریب اطمینان عدم روان‌گرایی، که به صورت نسبت CRR به CSR تعریف می‌شود، است.

1- Standard Penetration Test
2- Cyclic Resistance Ratio
3- Seismically Induced Cyclic Stress Ratio
4- Site Response Analysis

پس از تعیین پارامترهای مقاومتی در شرایط پس از زلزله، با تحلیل معمولی پایداری شیب، پایداری سازه پس از وقوع زلزله برآورد می‌شود. باید توجه داشت که در این تحلیل شرایط بعد از وقوع زلزله حاکم است، و در نتیجه هیچ‌گونه نیروی ناشی از شتاب در محاسبات اعمال نمی‌شود. ارزیابی روان‌گرایی، حوزه‌ای تخصصی است که به دانش و آگاهی تخصصی نیاز دارد. استعداد مصالح به روان‌گرایی، تنها وابسته به نسبت CRR/CSR نیست، بلکه شاخصه‌های متعدد دیگری هم از خواص مصالح، مانند دانه‌بندی، حدود اتربرگ و.. هم در این زمینه موثر هستند. توصیه می‌شود برای ارزیابی روان‌گرایی و پایداری پس از زلزله از مراجع معتبر[1] استفاده شود.

۶-۱-۶- ضرایب اطمینان و تغییر شکل‌های قابل قبول

قاعده و یا قانون عمومی در مورد ضرایب اطمینان قابل قبول وجود ندارد، این ضرایب باید با توجه به پی‌آمدهای خرابی‌های محتمل، میزان عدم اطمینان از خواص مصالح و شرایط زیر سطحی تعیین شود. نظر به این که در حال حاضر در سطح ملی، ضوابط و معیارهایی برای تعیین ضرایب اطمینان قابل قبول موجود نیست، توصیه می‌شود تا تدوین چنین معیارهایی، از ضرایب مندرج در نشریه‌ی شماره‌ی ۲۳ کمیته‌ی ملی سدهای بزرگ ایران (IRCOLD) و یا توصیه شده از سوی کمیته‌ی ملی سدهای بزرگ استرالیا برای سدهای پسماند استفاده شود. این مقادیر، در شرایط مختلف بارگذاری، در جدول شماره‌ی (۶-۲) ارائه شده است.

جدول ۶-۲- ضرایب اطمینان قابل قبول

شرایط بارگذاری [1]	حداقل توصیه شده برای سدهای پسماند	مقاومت برشی که باید برای ارزیابی استفاده شود
زهکشی شده طولانی مدت	۱/۵	مقاومت موثر
زهکشی نشده کوتاه مدت (ناپایداری می‌تواند موجب از بین رفتن مخزن شود)	۱/۵	مقاومت برشی تحکیم شده‌ی زهکشی نشده
زهکشی نشده کوتاه مدت (احتمال از بین رفتن مخزن در اثر ناپایداری وجود ندارد)	۱/۳	مقاومت برشی تحکیم شدی زهکشی نشده
بعد از زلزله	۱/۰ تا ۱/۲ [2]	مقاومت برشی بعد از زلزله [3]

۱- بخش ۶ -۱-۳را برای توضیحات بیش‌تر در مورد شرایط بارگذاری ببینید.

۲- انتخاب ضریب اطمینان بستگی به میزان اطمینان در تعیین مقاومت برشی باقی‌مانده دارد. با انتخاب کرانه‌ی پایین مقاومت برشی، ضریب ۱/۰ را می‌توان قابل قبول دانست.

۳- مقاومت برشی تقلیل یافته ناشی از بارگذاری رفت و برگشتی (Cyclic) در شرایط زهکشی شده/زهکشی نشده، و/یا مقاومت برشی باقی‌مانده، برای مصالح مستعد روانگرایی پس از بروز روان‌گرایی.

هر چند در تحلیل شبه‌استاتیکی، ضریب اطمینان بزرگ‌تر از ۱ می‌تواند نشانی از محدود و ناچیز بودن تغییر مکان‌های ناشی از زلزله باشد، و از آنجا که ضریب اطمینان کوچک‌تر از واحد را هم نباید لزوما به مفهوم وقوع خرابی

1- Duncan &Wright , (2005) , Seed& Boulanger ،(2008), Fell et al.(2005), Youd et al.,(2001).

تفسیر کرد، توصیه می‌شود که برای حصول اطمینان از نحوه‌ی عملکرد سد، تغییر مکان‌های آن در هر دو حالت استاتیکی و تحت اثر بارگذاری لرزه‌ای مورد ارزیابی قرار گیرد. تغییر شکل‌های مجاز را باید با توجه به اثرات محتملی که آن‌ها بر قابلیت استفاده‌ی از سد دارند تعیین نمود. تغییرشکل‌ها نباید موجب کاهش بیش از حد ارتفاع آزاد شود و یا حرکت‌های برشی نباید موجب اختلال در عملکرد لایه‌های فیلتر شوند. چنین تغییر مکان‌هایی می‌تواند منجر به خرابی با تاخیر، نسبت به زمان وقوع زلزله شود. لازم به یادآوری است در روش شبه استاتیکی، نیروی زلزله به‌صورت یک نیروی افقی بر سد در نظر گرفته می‌شود. در کتب مختلف بیان گردیده که این روش با وجودی که مبنای تئوریک کاملی ندارد لیکن در عمل نتایج قابل قبولی را ارائه کرده و سدهای زیادی که به این روش ساخته شده‌اند توانسته‌اند زلزله‌ای قوی را تحمل نمایند. نیروی زلزله براساس حاصل‌ضرب ضریبی از شتاب ثقل در جرم توده‌ی در حال لغزش مشخص می‌گردد. تعیین ضریب یادشده در محاسبات باید با دقت صورت پذیرد. در ایالات متحده‌ی آمریکا این ضریب بین ۰/۰۵ تا ۰/۱۵ و در ژاپن ۰/۱۲ تا ۰/۲۵ در نظر گرفته می‌شود. برای این منظور توصیه می‌شود از روش‌های سه‌گانه‌ای که Seed در مقاله خود (Embankment Dam Engineering, CAP.8) ارائه نموده است، استفاده شود تشخیص استفاده از روابط و روش‌ها، با توجه به تعدد روش‌های موجود، بر عهده مهندس محاسب و طراح می‌باشد.

۶-۱-۷- نکاتی در مورد تحلیل پایداری به روش پایداری حدی

در این بند به نکاتی در خصوص تحلیل پایداری سدهای پسماند با استفاده از روش‌های تعادل حدی اشاره می‌شود.

- در اکثر موارد، ممکن است پرداختن به پایداری سطوح لغزش غیر دایروی ضرورت پیدا کند.
- سطوحی که کم‌ترین ضرایب اطمینان را داشته و لغزش احتمالی آن‌ها می‌تواند منجر به خرابی‌های بزرگ شود، سطوح بحرانی لغزش تلقی می‌شوند. باید توجه داشت که در تحلیل‌های رایانه‌ای و با استفاده از فرآیندهای جستجوی خودکار سطوح لغزش بحرانی، غالبا سطوح لغزش کم عمقی، یافت می‌شوند،که حداقل ضریب اطمینان در آن‌ها محاسبه شده است، درحالی‌که ناپایداری آن‌ها منجر به خرابی بحرانی و عمده در سد، نخواهد شد.
- شرایطی که ممکن است منجر به برآورد غیرواقعی و دست‌بالای ضریب اطمینان‌ها شود، اغلب ناشی از وجود مشکلاتی در تحلیل نیست، بلکه بیش‌تر مربوط به فرضیات اختیار شده درمورد مقاومت برشی و فشارهای حفره‌ای است. مثال‌هایی چند در این مورد به شرح زیر است.
  - ارزیابی ناصحیح موقعیت سطح ایستابی و شرایط فشار آب حفره‌ای
  - شرایط ناهمگن در خاکریز یا فرونشانی رسوبات، وجود نفوذپذیری نسبتا بزرگ در جهت افقی، و بالا رفتن تراز سطح ایستابی
  - عدم تشخیص وجود برش در صفحات لایه‌بندی یا صفحات لغزش زمین در پی
  - عدم تشخیص بازشدگی‌ها یا درزه‌های موجود در سنگ پی

- افت مقاومت برشی در اثر روان‌گرایی مصالح در شرایط بارگذاری زلزله
- روان‌گرایی استاتیک در اثر تغییر شرایط تنش‌ها، (این پدیده عمدتا در روش ساخت بالارو، مشاهده می‌شود و زمانی رخ می‌دهد که رسوبات سست به هنگام برش، فشار حفره‌ای مثبت ایجاد کنند).

پیشرفت‌های اخیر در حوزه‌ی مدل‌سازی‌های عددی، این امکان را فراهم کرده که ضرایب اطمینان با استفاده از روش‌های اجزای محدود و تفاضل‌های محدود نیز محاسبه شوند[1]. مزیت عمده‌ی استفاده از روش‌های اجزا/ تفاوت‌های[2] محدود آن است که دیگر لازم نیست موقعیت بحرانی‌ترین صفحه‌ی برش از طریق آزمون صفحات مختلف تعیین شود. این حوزه، حوزه‌ای تخصصی است که علاوه بر تخصص‌های ریاضی و عددی، نیازمند مهارت‌های خاص، قضاوت و تجربه است.

۶-۱-۸- خرابی پیش رونده/تدریجی

هرگاه سطح گسیختگی/ لغزش از لایه‌های رسی با پلاستیسیته بسیار بالا که تردی/ شکنندگی یا نرم شدگی کرنشی از خود نشان می‌دهند بگذرد، خطر خرابی‌های تدریجی یا پیش‌رونده از دیگر مواردی است که در ارزیابی پایداری سدهای پسماند باید مورد توجه ویژه قرار گیرد، تجربه‌ی خرابی سد آزناکولار در کشور اسپانیا که در سال ۱۹۹۸ واقع شد، نمونه‌ای از خرابی پیش‌رونده است که سطح لغزشی وسیع با نمایی نزدیک به قائم داشت. هرچند بروز چنین لغزش‌هایی الزاما منجر به از دست دادن ظرفیت مخزن نخواهد شد، لیکن لغزش‌های بعدی از این نوع، یقینا چنین خرابی را در پی خواهد داشت.

۶-۱-۹- آنالیزهای قابلیت اعتماد و حساسیت

با توجه به عدم قطعیت ذاتی که در خصوص دقت داده‌های ورودی محاسبات مطرح است، میزان قابل اعتماد بودن ضرایب اطمینان محاسبه شده، بر اساس محاسبات و ملاحظات آماری، ارزیابی می‌شوند.به این ترتیب، ضمن ارزیابی توامان آثار عدم اطمینان‌ها از دیدگاه‌های مختلف، وسیله‌ای برای تشخیص وجه تمایز آن‌ها (عدم اطمینان کم تا زیاد)، فراهم می‌شود. برای انجام محاسبات قابلیت اطمینان (روایی) می‌توان، از روش‌های آماری متکی بر احتمالات، مانند آنچه در مرجع معرفی شده[3] توضیح داده شده است، استفاده کرد. این اقدام می‌تواند در تصمیم‌گیری‌ها، بسیار مفید باشد.

برای ارزیابی حساسیت ضرایب اطمینان محاسبه شده به فرضیات اختیار شده در مورد مقاومت برشی، فشار حفره‌ای و هندسه‌ی لغزش، و به‌طور کلی، حصول اطمینان از پایداری خاکریز در دامنه‌ای از شرایط محتمل، توصیه می‌شود انجام محاسباتی در این زمینه در برنامه‌ی کار طراحی‌ها قرار داشته باشد. برای اطمینان از درنظر گرفته شدن دامنه‌ی بحرانی فشارهای حفره‌ای در تحلیل‌های پایداری، آنالیز نشت نیز باید در برنامه‌ی کار قرار گیرد.

1- Dawson and Roth 1999, Dawson et.al 2000
2- Finite Elements/Differences
3- Duncan J.M.-Factor of safety and reliability in geotechnical engineering-Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering April 2000.

۶-۲- نشست

در زمان تخلیه، وزن مخصوص مواد پسماند، کم است، اما تحت اثر عواملی مانند خشک شدن سطح، یا تحکیم تحت اثر وزن خود، اضافه وزن ناشی از انبارش مداوم، یا وزن لایه‌های پوشاننده‌ی نهایی، این وزن مخصوص افزایش می‌یابد.

سرعت تحکیم ممکن است نسبتا کند باشد، به ویژه در مورد مصالح ریزدانه و رسی که گاهی ممکن است سال‌ها طول بکشد. مدل‌های معمول محاسبات تحکیم، که در علم ژیومکانیک به کار می‌رود، توانایی شبیه‌سازی دقیق تحکیم و بررسی این پدیده در مراحل اولیه‌ی آن را ندارد، از این رو توصیه می‌شود از مدل‌های اجزای محدود استفاده شود.

با تحکیم مصالح، نفوذپذیری کاهش می‌یابد، به طوری که پایین‌ترین لایه، متراکم‌ترین لایه، با کم‌ترین میزان نفوذپذیری خواهد بود. این شرایط، جریان رو به پایین را محدود نموده و سبب می‌شود که بخش عمده‌ای از آب تحکیم، مسیری رو به بالا را، در مسیری که از مسیر مشابه برای تحکیم خاک‌های معمولی طولانی‌تر است، طی کند. این فرآیند به نوبه‌ی خود سرعت تحکیم را از آنچه مورد انتظار است، کندتر می‌کند. در تحلیل‌های دقیق، لازم است تغییرات ناشی از تحکیم در خواص مصالح، مانند میزان نفوذپذیری و وزن مخصوص درنظر گرفته شود.

تحکیم رسوبات در برخی شرایط ممکن است سبب چندین متر نشست شود. اثر چنین نشستی باید بر خاکریز یا هر سازه‌ای در نزدیکی یا واقع بر روی رسوبات، به دقت در نظر گرفته شود. برای مثال، ممکن است در ساخت به‌روش بالارو، بخشی از بدنه سد روی خاکریز موجود و بخشی دیگر، روی مواد پسماند ساخته شود؛ این شرایط موجب بروز نشست‌های نامتقارن مداوم خواهد شد؛که می‌تواند منجر به بروز ترک‌های طولی و عرضی شود. در تحلیل‌های پایداری اثرات این ترک‌ها باید مدنظر باشد.

به طور مشابه، نشست رسوبات در اطراف برج آبگیر، جاده یا خط لوله‌ای که بر سطح و یا درون رسوبات واقع شده‌اند، می‌تواند بسیار قابل توجه بوده و منجر به وارد شدن نیروهای کششی بزرگی شود. این نیروها قادر به تخریب این سامانه‌ها هستند. ابزارهای رفتارنگاری، که در دل رسوبات جای داده می‌شوند، هم باید توان تحمل این نشست‌ها را داشته باشند.

نشست می‌تواند تا سال‌ها پس از خاتمه‌ی نهایی تخلیه‌ی رسوبات در محل‌های مورد نظر، ادامه داشته باشد. این به آن معناست که چنانچه ظرفیت‌های مناسب برای تخلیه‌ی زه‌آب در نظر گرفته نشده یا نگهداری مداومی صورت نگیرد، شرایط زهکشی سطحی در سطوح فوقانی تغییر کرده و تشکیل مانداب، یا دریاچه را بر این سطوح در پی خواهد داشت.

همچنین برای مدت‌های طولانی پس از بسته شدن معدن،تحکیمی که موجب بروز این نشست می‌شود، می‌تواند آب و هر نمک محلول در آن را از درون رسوبات آزاد سازد.

نشست می‌تواند در اثر تبخیر از سطح رسوبات هم رخ دهد، که گذشته از جمع شدگی در لایه‌ای که مستقیما در معرض خشک شدن قرار دارد، سبب افت تراز آب زیرزمینی و افزایش تنش موثر در لایه‌های عمیق‌تر رسوبات و نهایتا تحکیم بیش‌تر خواهد شد.

۶-۳- پایایی و دوام مصالح ساخت

در طراحی سدهایی که در آن‌ها، هدف نگهداری ایمن رسوبات برای مدت‌های طولانی پس از رهاسازی است، دوام تمام مصالح مورد استفاده در ساخت، نیز باید در نظر گرفته شود. به‌عنوان مثال می‌توان به موارد به شرح زیر اشاره نمود:

- پوشش سنگ‌ریز محافظ[1] یا سنگ‌های مسلح شده که در معرض شکسته و خرد شدن ناشی از هوازدگی باشند.
- سنگریزهای دارای سولفات که در معرض اکسیداسیون، شکسته شدن و رها کردن زه‌آب‌های اسیدی باشند.
- مصالح لایه‌ی زهکش که ممکن است فرآیند حل شدن در آن‌ها اتفاق بیافتد.
- مصالح و مواد صنعتی مانند ژئوتکستایل و لوله‌ها که تجربه‌ای از عملکرد دراز مدت آن‌ها در دست نیست.

۶-۴- گزارش طراحی

در گزارش طراحی، به تشریح مبانی طراحی از جمله فلسفه و هدف طراحی، تمام پارامترهای طراحی مانند خواص ژئوتکنیکی رسوبات و مصالح مورد استفاده در ساخت، شرایط آب و هوایی و هواشناسی ساختگاه (بارش، تبخیر، باد و غیره) و ضوابط اصلی تعیین سطح کآرایی پرداخته می‌شود. گزارش طراحی از نظر تبیین کنترلهای ایمنی، فرآیندهای بهره‌برداری و برنامه‌های نگهداری، که باید به منظور عملکرد موفقیت آمیز طرح تدوین شوند، نقش بسیار مهمی دارد.

این گزارش سرنخ‌های ساده و سهل‌الوصولی از جزییات مورد نیاز در شرایط اضطراری، و برای ارزیابی و سنجش نیاز به اصلاح در روند عملیات، برنامه‌ی بهره‌برداری یا طراحی، یا ضرورت انجام تحلیل برگشتی یک پدیده‌ی در حال وقوع را، نیز به‌دست می‌دهد.

در پیوست شماره‌ی ۳ سرفصل‌های یک گزارش طراحی به عنوان نمونه ارائه شده است.

۶-۵- بازبینی طرح توسط اشخاص ثالث

بازبینی و کنترل طرح از سوی اشخاص (حقیقی یا حقوقی) ثالث، در مراحل مختلف طراحی و بهره‌برداری از یک انباشتگاه مواد پسماند، به عنوان یک رویکرد محتاطانه و مستدل در کنترل و مدیریت ریسک، مورد توصیه است. این بازبینی و کنترل‌ها جدا از بازبینی‌های سالانه تاسیسات هستند و باید توسط سازمانی مستقل از طراح، انجام پذیرند.

1- Rip Rap

فصل ۷

ساخت

مهم‌ترین هدفی که در مرحله‌ی ساخت باید دنبال شود، ایجاد انباشتگاهی ایمن و پایدار برای مواد پسماند است، که ضمن برآورده کردن الزامات مربوط به انبارش مواد پسماند و مدیریت منابع آب، باید در تطابق با مبانی طراحی از یک سو، و ضوابط و الزمات قانونی از دیگر سو باشد.

۷-۱- مقدمه

همانند سدهای کلاسیک ذخیره‌ی آب، حفظ یکپارچگی در ساختمان سد پسماند نیز دارای اهمیت است. حتی با یک طراحی بی‌نقص هم، موفقیت یا شکست یک طرح سد پسماند به شدت به شیوه‌ی ساخت آن مرتبط است. مدیریت ساخت، نظارت فنی و کنترل و تضمین کیفیت در موفقیت ساختمان هر انباشتگاه و کارهای جانبی آن، نقشی تعیین کننده دارند. در این فصل، به الزامات مدیریت موفق اجرای یک طرح سد پسماند، همراه با سایر ملاحظات مربوط به کارهای ساخت، پرداخته می‌شود. این الزامات هم برای عملیات اجرایی مراحل اولیه‌ی ساخت و هم برای هر یک از مراحل بعدی ساختمانی یا ترفیع سد صادق و نافذ خواهند بود.

۷-۲- تهیه‌ی مدارک فنی و نظارت بر اجرا

۷-۲-۱- کلیات

پیش از شروع کار لازم است که اجزای سازمان مجری طرح مسوولیت‌های هریک از اجزای این سازمان، از جمله مسوولیت مربوط به تهیه‌ی مدارک فنی، نظارت بر اجرای کار، و همچنین راهبری فنی کار کاملا معین و تعریف شده باشد. ترتیب و روش مرجح در این خصوص به شرح زیر است:

۷-۲-۲- مهندس طراح

مهندس طراح ارگانی حقوقی است که مسوولیت طراحی و تهیه‌ی مدارک و مشخصات فنی اجرای سد پسماند را بر عهده دارد. مهندس طراح باید یک شرکت مهندس مشاور تشخیص صلاحیت شده از سوی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور در رتبه‌ی یک سدسازی باشد. در مدارک فنی تهیه شده باید به دقت روال کنترل و تضمین کیفیت عملیات اجرایی و نحوه‌ی برخورد با عدم تطابق‌ها تشریح شده باشد.

حضور و مشارکت تنگاتنگ مهندس طراح در مراحل اجرایی به‌شدت مورد توصیه است. از این‌رو بهتر است که مسوولیت نظارت بر اجرا نیز به مهندس طراح احاله شود. درصورتی‌که به هر دلیل این امکان وجود نداشته باشد، باید روابط بین ارگان مسوول نظارت بر اجرا و مهندس طراح به روشنی تعریف شود تا امکان تعامل مداوم بین این دو ارگان فراهم شده و از این طریق اهداف اساسی طراحی حاصل گردیده و هرگونه تغییر محتمل در شرایط ساختگاه و یا در الزامات طراحی بین این دو ارگان مبادله شود. در این شرایط باید حداقل حضور مهندس طراح تحت عنوان نظارت مولف برطرح تامین شود.

۷-۲-۳- دستگاه نظارت

مسوولیت نظارت بر فعالیت‌های حین اجرا و صدور گواهینامه‌های مربوط به اجرای عملیات پس از خاتمه‌ی کار به عهده‌ی دستگاه نظارت است. دستگاه نظارت نیز همچون مهندس طراح باید یک شرکت مهندس مشاور تشخیص صلاحیت شده از سوی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور در رتبه‌ی یک سدسازی باشد. شرح وظایف و حدود اختیارات دستگاه نظارت، باید در تطابق با ضوابط و دستورالعمل‌های جاری سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور مانند بخشنامه‌ی شماره‌ی۵۴/۹۷۷- ۱۰۲/۱۲۹۵ مورخ ۷۹/۳/۱۱ باشد. لیکن در مورد اعمال تغییرات در طرح، لازم است که کارها بر اساس خواسته‌ها و نیازهای طراحی انجام شده باشند. این به آن مفهوم است که تمامی تغییرات در طراحی که در حین اجرا ضرورت می‌یابند، باید به تصویب مهندس طراح رسیده و با یک یادداشت یا با انعکاس در نقشه‌های اجرایی، مستند شوند. با توجه به ضرورت وجود ارتباط مداوم بین دستگاه نظارت و مهندس طراح در طول اجرای کار، همچنان که اشاره شد، توصیه می‌شود از شخصیت حقوقی واحدی برای این دو کار (طراحی و نظارت) استفاده شود.

بدیهی است که دستگاه نظارت برای انجام وظایف خود از خدمات نظار مقیمی بهره خواهد جست که در حین عملیات اجرایی به عنوان نماینده‌ی دستگاه نظارت، هدایت فنی کارها را انجام دهند. هدایت فنی شامل تفسیر نقشه‌ها و مشخصات فنی، بررسی شرایط محیط اجرایی و مصالح به منظور حصول اطمینان از تامین نظرات طراحی است. معمولا شرایط محیط اجرایی با آنچه در مرحله‌ی طراحی فرض می‌شود، تفاوت دارد از این‌رو توجه به این تفاوت‌ها، اتخاذ تدابیر متناسب، و مستند نمودن آن‌ها، حایز اهمیت است. در شرایطی که پیچیدگی یا اهمیت کار زیاد باشد، باید از بازرسین عملیات اجرایی، که تحت نظر نظارت مقیم کار می‌کنند، استفاده شود.بازرسی عینی عملیات می‌تواند به میزان قابل توجهی از کنترل کیفیت از طریق نمونه‌گیری و آزمایش‌های اتفاقی، در حفظ کیفیت کارها، موثرتر باشد.

۷-۲-۴- کنترل کیفیت / تضمین کیفیت

تضمین کیفیت (QA[1]) باید در برگیرنده‌ی کلیه‌ی فعالیت‌های مربوط به تحقق یک طرح مشتمل بر طراحی، مدیریت طراحی، اجرا، بهره‌برداری و ترک و رهاسازی باشد. به این ترتیب می‌توان اطمینان حاصل کرد که سامانه‌های پیش‌بینی شده، قابلیت تامین اهداف کیفی مدنظر در پروژه را دارند.کنترل کیفیت (QC[2]) شامل بازرسی کارها و آزمایش مصالح پیش از استفاده، به منظور حصول اطمینان از تطابق با مشخصات فنی انجام می‌شود. این فعالیت شامل آزمایش از منابع قرضه‌ی بالقوه، مصالح فیلتر، شن و ماسه برای ساخت بتن، و موارد مشابه و نیز بازرسی غشاهای پوششی، پمپ‌ها، خطوط لوله، و مواردی از این دست، در زمان تولید یا به فاصله کوتاهی بعد از آن و البته پیش از نصب یا استفاده در کارهای اجرایی خواهد بود.

1- Quality Assurance
2- Quality Control

کار کنترل کیفیت معمولا تحت نظر دستگاه نظارت، توسط یک یا چند سازمان آزمایشگاهی مستقل، که نتایج کارهای خود را به دستگاه مذکور گزارش می‌کند، انجام می‌شود. به عنوان حد کمینه‌ی الزامات، مستقل از ابعاد طرح، ضروری است که برای هر نوع کار خاکی، انجام آزمایش‌های ژئوتکنیکی در برنامه‌ی کار قرار داشته باشد. روش‌های آزمایش باید در تطابق با روش‌های توضیح داده شده در استانداردهای مرتبط (مثلا دستورالعمل آزمایش‌های ژئوتکنیک (مکانیک خاک)، نشریه شماره ۳۳۵ – الف، وزارت نیرو، معاونت امور آب و آبفا، طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور، اسفند ۱۳۸۷ و یا نشریه شماره ۱۲۷ با عنوان آزمایش‌های تیپ مکانیک خاک، شناسایی و طبقه‌بندی، انتشارات سازمان برنامه و بودجه، سال ۱۳۷۲) باشد.

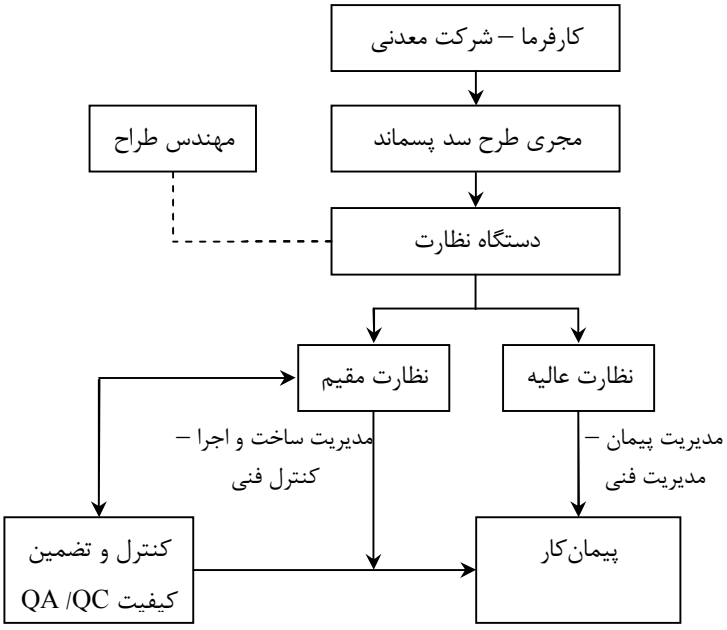
فعالیت‌های مربوط به کنترل و تضمین کیفیت باید در چهار چوب روال تعیین شده توسط مهندس طراح که در قالب مجلدی تحت عنوان راهنمای بازرسی در کارگاه تنظیم می‌شود انجام شود. در این راهنما روش‌های تضمین کیفیت، انواع و فراوانی آزمون‌های کنترل/تضمین کیفیت، بازرسی، الزامات ثبت وقایع و گزارش‌دهی براساس مشخصات فنی ساخت باید منعکس شده و در مواقع لزوم به‌روزآوری شود. این راهنما همچنین باید حاوی نمودار سازمانی کارگاه، که منعکس کننده‌ی خطوط ارتباطی و مسوولیت‌های تیم مدیریت ساخت نیز است، باشد.به‌علاوه در این مدرک باید روال و مبانی پذیرش یا رد اجزای کار، تکرار فعالیت‌ها یا تکرار آزمون‌ها نیز منعکس شده باشد.در پیوست شماره‌ی ۴ به عنوان نمونه سرفصل‌های یک راهنمای بازرسی در کارگاه ارائه شده است.

۷-۲-۵- مدیریت کارگاه ساختمانی

روش‌های مختلفی برای ساخت یک انباشتگاه مواد پسماند می‌تواند مطرح باشد، که عبارتند از:

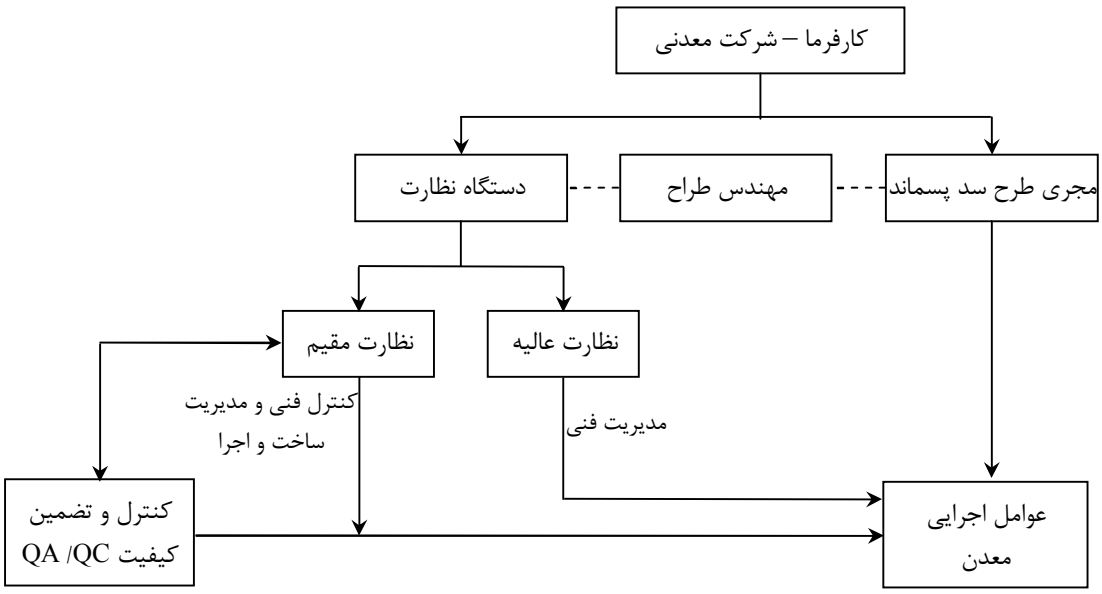
- ساخت انباشتگاه توسط مالک معدن (امانی) با استفاده از ماشین‌آلات معدن یا با استخدام نیروهای متخصص،
- احداث توسط یک پیمانکار،
- احداث به صورت ترکیبی توسط مالک و پیمانکار

واگذاری عملیات ساختمانی اولین مرحله از احداث یک انباشتگاه به یک پیمانکار، و احداث سایر مراحل ساخت توسط عوامل معدن، اقدامی متعارف و معمول است. سامانه مدیریت مورد نیاز برای احداث یک انباشتگاه رسوب، تابعی از سازمان انجام دهنده‌ی کار و توانایی‌های آن است، لیکن باید توجه داشت که مستقل از روشی که برای ساخت انتخاب می‌شود حضور ارگان‌های مستقل طراحی، دستگاه نظارت و کنترل و تضمین کیفیت یک ضرورت قطعی است. نمونه‌ای از ساختار مدیریت مناسب برای ساخت انباشتگاه توسط یک پیمانکار، در شکل شماره‌ی (۷-۱) نشان داده شده است.



شکل ۷-۱- ساختار مدیریتی برای احداث انباشتگاه رسوبات توسط یک پیمانکار

تعداد افراد مورد نیاز در این ساختار مدیریتی بستگی به ابعاد و میزان پیچیدگی پروژه‌ی ساختمانی دارد. تیم می‌تواند حتی متشکل از یک نفر باشد، که خود هدایت فنی، کنترل‌ها و بازرسی‌های کیفیتی و آزمایش‌های در جا و نیز مدیریت قراردادی را انجام می‌دهد. این وضعیت فقط وقتی امکان پذیر است که پروژه کوچک باشد. در احداث یک انباشتگاه بزرگ، احتمالا یک تیم بزرگ‌تر، شامل مهندسین، نقشه‌برداران، افراد تیم برآورد و تهیه صورت مقادیر کارها و تکنیسین‌های مقیم، مهندسین و بازرسین پروژه و یک آزمایشگاه محلی برای آزمایش و کنترل کیفیت مصالح، مورد نیاز خواهد بود. ممکن است یک تیم جداگانه‌ی نظارت عالیه، شامل، مدیریت پیمان، مدیریت فنی و تیم کنترل کننده‌ی برآورد و صورت مقادیر کارها هم لازم باشد. ساختار مدیریتی مناسب برای روش‌های احداث امانی (توسط مالک) در شکل شماره‌ی (۷-۲) نشان داده شده است.



شکل ۷-۲- ساختار مدیریتی در شرایط احداث انباشتگاه توسط مالک معدن

تفاوت اصلی این روش کار، با روش کار اجرا توسط پیمانکار آن است که مالک، سازنده‌ی انباشتگاه و کارفرما، همه یکی هستند. ضوابط و حدود اختیارات برای حصول اطمینان از این‌که الزامات فنی ساخت انباشتگاه کاملا رعایت می‌شوند، باید معین شده و در راهنمای بازرسی در کارگاه، درج شوند. در این روش نیز تعداد افراد مورد نیاز در ساختار مدیریتی بستگی به ابعاد و میزان پیچیدگی پروژه‌ی ساختمانی دارد. در پروژه‌هایی که هم پیمانکار و هم مالک در بخش اجرایی دخیل هستند، به اجزایی از هریک از ساختارهای فوق، نیاز خواهد بود. مهم‌ترین الزام و خواسته، هدایت فنی و نظارت بر روند اجرای کار، به منظور حصول اطمینان از رعایت نظرات طراح، در احداث انباشتگاه است.

۷-۳- آماده‌سازی انباشتگاه

۷-۳-۱- پاکسازی و رویه‌برداری

معمولا روند و الزامات آماده‌سازی محدوده‌ی انباشتگاه در مشخصات فنی طرح و یا نقشه‌های اجرایی مشخص می‌شود. به طور کلی، حد آماده‌سازی انباشتگاه به عوامل مختلفی که مرتبط با میزان توسعه‌ی گیاهان و نباتات در محدوده‌ی طرح هستند، و نیز ضرورت کنترل نشت از کف انباشتگاه بستگی خواهد داشت. در این زمینه، ملاحظات به شرح زیر باید مورد توجه قرار گیرند:

اگر از بین‌بردن درختان در محدوده‌ی مخزن بتواند موجب ناپایداری و بروز لغزش در اراضی مجاور شود، ممکن است از انجام چنین کاری اجتناب شود، در غیر این‌صورت تمام درختان و بوته‌های بزرگ باید از محدوده‌ی انباشتگاه خارج شوند. این عملیات می‌تواند با عملیات ماشینی به‌صورت رویه‌برداری یا با قطع درختان، انجام شود. انتخاب روش مناسب به ماهیت و گسترش پوشش گیاهی بستگی دارد. درصورتی‌که پوشش گیاهی برداشته شده و درختان قطع شده غیر قابل استفاده باشند، دورریز آن‌ها باید بر اساس قوانین محلی صورت گیرد. البته این ضایعات را می‌توان خرد کرده و برای مصارف احتمالی آتی، انبار و نگهداری کرد.

اگر خاک موجود در محدوده‌ی انباشتگاه، برای استفاده در مرحله‌ی اعاده‌ی شرایط (بازگرداندن هرچه بیش‌تر شرایط به وضعیت طبیعی اولیه)، پس از پایان کار، و یا برای پوشش نهایی مواد پسماند انباشته شده، مناسب تشخیص داده شود، بعد از برداشت پوشش گیاهی، باید این مصالح نیز برداشته شده و در محل مناسبی دپو شوند. توصیه می‌شود،با به‌کارگیری تجربیات و توصیه‌های کارشناسان و ارگان‌های تخصصی محلی، با انتخاب روشی مناسب، از اثرات نامطلوب دپوکردن بر سودمندی خاک‌های غنی نباتی، تا حد ممکن کاسته شود.

هرگاه برای کاهش نفوذپذیری مخزن، اعمال تمهیداتی خاصی در کف آن در طرح پیش‌بینی شده باشد باید پیش‌گیری از خشک شدن، و ترک خوردگی خاک‌های بهسازی شده‌ی این ناحیه، مورد توجه ویژه قرار گیرد. در شرایطی که اعمال اقدامات پیشگیرانه‌ی گسترده و یک پارچه میسر نباشد، باید عملیات به‌طور تدریجی و کمی زودتر از فرونشاندن مواد پسماند بر روی کف، انجام شود.

۷-۳-۲- چشمه‌ها و زمین‌های نفوذپذیر

عوارضی مانند چشمه‌ها که ممکن است در کاسه‌ی مخزن انباشتگاه دیده شوند، باید مورد شناسایی قرار گیرند. یک روش مناسب برای مواجهه با این مساله می‌تواند حذف فشار آب زیرزمینی و اجرای یک لایه‌ی آببند حفاظتی بر روی مظهر چشمه باشد کاهش فشار را می‌توان پس از حصول اطمینان از وجود وزن کافی روی لایه حفاظتی و آببند ماندن آن، خاتمه داد. درصورتی‌که بهره‌گیری از زهکش‌های عمقی یکی از گزینه‌های قابل اجرا باشد، باید از پوشش‌های نفوذناپذیر یا با نفوذپذیری کم برای جدا کردن آن‌ها از مواد پسماند استفاده کرد، تا از آلودگی آب‌های زیرزمینی به وسیله‌ی آب همراه مواد پسماند جلوگیری شود. به این ترتیب می‌توان اطمینان داشت که آب‌های زیرزمینی، که توسط زهکش‌های جدا شده جمع‌آوری می‌شوند، مشخصات و شرایط مناسب برای رهاسازی مستقیم در محیط را دارند. البته اگر این چشمه‌ها حق‌آبه‌بری داشته باشند، هر اقدام فنی برای مواجهه‌ی با آن‌ها، باید با در نظر گرفتن تامین حقوق حق‌آبه‌بران انجام شود.

در صورت وجود عوارض زمین‌شناسی با نفوذپذیری زیاد، مانند زون‌های برشی خرد شده، و یا لایه‌های گسلی، برای به حداقل رساندن مشکلات ناشی از زه (نشت آب)، لازم است اقداماتی مناسب، مانند پوشش ناحیه با لایه‌هایی یکپارچه[1] از مصالح با نفوذپذیری کم، و یا اجرای زهکش، در برنامه‌ی کار قرار گیرد.

۷-۳-۳- آماده‌سازی بستر برای اجرای لایه‌های پوششی

در تاسیساتی که مواد پسماند زیان‌آور، حاوی نمک‌های سیانور، یا مواد دارای تشعشع هسته‌ای[2] و نظیر آن‌ها نگهداری می‌شود، ممکن است استفاده از یک یا چند لایه‌ی پوششی یکپارچه در تمامی سطح کف انباشتگاه، ضرورت پیدا کند (به بخش ۵-۸-۸ مراجعه شود). دستیابی به نتیجه‌ای مطلوب در عملکرد این پوشش‌ها، به دقتی که در آماده‌سازی بستر لایه اعمال می‌شود و نیز به برنامه‌های تضمین و کنترل کیفیت در مراحل نصب، بستگی خواهد داشت. وجود سنگ‌های تیز در بستر یا در خاکریز روی لایه‌های پوشش می‌تواند سبب پارگی آن شوند. برای جلوگیری از بروز این مشکل می‌توان از لایه‌های غشایی از نوع ژئوتکستایل‌ها به‌عنوان لایه‌ای محافظ در مقابل پارگی استفاده کرد. باید توجه داشت که فصل مشترک همین لایه‌ی محافظ با پوشش نفوذناپذیر می‌تواند صفحه‌ای ضعیف از نظر پایداری باشد از این‌رو در زمان ساخت، برای احتراز از تشکیل یک سطح لغزش، باید توجه کافی به این مساله معطوف شود. در استفاده از پوشش‌های مرکب، لازم است که لایه‌ی غشا در تماس مستقیم با یک لایه‌ی خاکی با نفوذپذیری کم اجرا شود. این ترکیب می‌تواند

1- Blanket
2- Radio-Nuclides

منجر به کاهش چشم‌گیر احتمال نشت شود. البته توفیق در این امر وابسته به یکپارچگی اتصال این دولایه و نبود چین و چروک‌های متعدد در اجرای لایه‌ی آببند غشایی است.

۷-۴- آماده‌سازی پی

مراحل و الزامات آماده‌سازی پی برای شروع عملیات خاکریزی، به‌طور معمول در مشخصات فنی اجرایی طرح و یا نقشه‌های اجرایی انعکاس می‌یابد. آماده‌سازی بستر (پی)، پیش از شروع خاکریزی‌ها، باید با جدیت و دقتی مشابه با آنچه در ساخت سدهای مخزنی آب معمول است انجام شود. بستر آماده شده باید توسط فردی خبره با تخصص مهندسی ژئوتکنیک بازرسی شده و در صورت لزوم مشاهدات ثبت و مستند شود. دستگاه نظارت باید تناسب شرایط ژئوتکنیکی حاصل شده را با فرضیات طراحی، تایید کرده و مجوز شروع عملیات بعدی را صادر نماید.

تامین شرایط مفروض در مرحله‌ی طراحی برای مقاومت مصالح پی نیز باید به تایید برسد. در آب و هوای خشک که رس‌های اشباع به ندرت وجود دارند، تامین این شرایط چندان دشوار نخواهد بود. در شرایط مواجهه با رس اشباع، باید به پایداری حین اجرا، توجه بایسته مبذول شود. نرخ پیشرفت عملیات اجرایی معمولا آن قدر آهسته است که هم‌زمان با اجرای بدنه‌ی سد، فشارهای منفذی فرصت مستهلک شدن را پیدا می‌کنند، اما تحلیل‌های پایداری برای کنترل نرخ ایمن آهنگ عملیات اجرایی باید انجام شود (بخش ۶-۱). پس از تعیین فشارهای منفذی مجاز در مرحله‌ی اجرایی، باید با نصب ابزار دقیق، هم‌زمان با پیشرفت عملیات اجرایی، امکان اندازه‌گیری و سنجش فشار منفذی واقعی نیز فراهم شود.

در شرایطی که لایه‌های نفوذپذیری از شن و ماسه یا مصالح مخلوط رودخانه‌ای در پی وجود داشته باشند، برای کنترل نشت و زه، باید تمهید مناسبی اندیشیده شود (به بخش ۵-۹ توجه شود). بسته به نوع سد پسماند، طبیعت آب همراه مواد پسماند، شرایط توپوگرافی و رژیم آب‌های زیرزمینی، ممکن است استفاده از دیواره‌های آببند امتداد یافته در عمق بستر یا سامانه‌های زیرزمینی جمع‌آوری آب‌های نشتی مورد نیاز باشند. لایه‌های ماسه‌ای سست و اشباع، مستعد روانگرایی هم هستند و ممکن است برداشت یا بهسازی آن‌ها ضرورت یابد.

در سدهایی که دارای پی سنگی هستند، جریان‌های نشتی می‌توانند در امتداد سطوح پر شیب سنگ یا از میان درزه‌های باریک، که تامین تراکم کافی برای مصالح خاکریز در آن‌ها دشوار است، شکل گیرند. تمرکز این جریان‌ها از میان درزه‌های سنگ، می‌تواند سبب شروع فرسایش داخلی در مصالح خاکریز شود. این مساله معمولا با ملایم‌تر کردن شیب، پر کردن درزه‌ها با بتن، یا دوغاب[1] و یا اجرای پوششی یک‌پارچه از مصالح فیلتر با دانه‌بندی مناسب، می‌تواند رفع شود.

1- Slush Grouting

جریان زه از درون درزه‌های عمیق را می‌توان با تزریق یا قطع مسیر زه از طریق احداث سامانه‌های زهکش زیرسطحی، کنترل کرد. شرایط هر ساختگاه و طبیعت و ساختار بستر آن، عوامل اصلی در انتخاب اثر بخش‌ترین اقدام در این زمینه است.

۷-۵- ابزاربندی

از ابزاربندی برای پایش واکنش‌های سد پسماند نسبت به تداوم عملیات اجرایی و بارگذاری‌های ناشی از آن و نیز رفتارنگاری در دوره‌ی بهره‌برداری استفاده می‌شود. ابزاربندی را می‌توان کاری ظریف و دقیق دانست که کارایی آن وابسته به صحت نصب و رعایت مشخصات مورد نظر سازنده‌ی ابزار و مهندس طراح است. با توجه به اینکه معمولا از ابزارهای متعدی در سد استفاده می‌شود باید دقت ویژه‌ای برای شناسایی و شماره‌گذاری خروجی‌های ابزارها به خرج داد تا اطلاعات دریافتی به سهولت قابل تفکیک باشند. در طی دوره‌ی ساخت باید از ابزارها، در مقابل ماشین آلات اجرایی و موارد مشابه، حفاظت کرد. حفاظت از ابزاردقیق و تجهیزات رفتارنگاری موجود در مراحل ترفیع و ساخت مرحله‌ای نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این تجهیزات را باید در مقابل جریان‌های القایی ناشی از رعد و برق، نیز حفاظت کرد.

هم‌چنان که اشاره شد مشخصات فنی ابزار باید توسط مهندس طراح تعیین شود. ابزار مورد نیاز در اولین لایه‌ی نصب باید حداقل شش ماه پیش از شروع عملیات اجرایی به محل اجرا حمل شده باشد.

۷-۶- تامین مصالح

از مصالح متنوعی برای ساخت سدهای پسماند می‌توان استفاده کرد، و در دورهٔ عمر انباشتگاه، بروز تغییر در مصالح موجود برای استفاده در ساخت بدنه‌ی خاکریز را می‌توان امری کاملا محتمل دانست. ارزیابی و تعیین مشخصات مصالح در زمره‌ی فعالیت‌های معمول در فرآیند طراحی است.

هر چند ممکن است مصالح طبیعی، از جمله، مصالح خاکی و سنگی معمولی، مشابه آنچه در احداث خاکریزهای معمولی استفاده می‌شود، در دسترس باشند. اما ضرورت طراحی بهینه از نظر هزینه، اغلب نیازمند بررسی امکان استفاده از مصالحی که در سدهای ذخیره آب، به ندرت استفاده شده یا اصلا مناسب دانسته نمی‌شوند، است.

اغلب ترجیح بر این است که برای ساخت از منابع قرضه‌ی طبیعی موجود در داخل انباشتگاه بهره‌گیری شود. در این صورت، باید به اثر برداشت مصالح از این نوع منابع قرضه، بر نشت آب از محدوده‌ی مخزن توجه کافی صورت گیرد.

زمانی که مواد پسماند به داخل محل‌های برداشت منابع قرضه هدایت می‌شوند، باید انتظار داشت که این مصالح بدون آنکه فرصتی برای خشک شدن یا تحکیم بیابند، به سرعت روی هم انباشته شوند. میزان قابل ملاحظه‌ی آب همراه این مصالح، مانع خشک شدن و تحکیم رسوبات تخلیه شده در محل‌های قرضه می‌شود. چاله‌های منابع قرضه باید آن قدر دور از خاکریز باشند که اگر تامین مقاومت رسوبات، نیازمند خشک شدن آن‌ها باشد، در این روند اختلالی بروز نکند.

همچنین گودال‌های حاصل از برداشت مصالح قرضه باید چنان به صورت یکنواخت و پیوسته شکل دهی شوند که از ایجاد استخرهای مستقل و جداگانه جلوگیری شود.

باید توجه داشت که ممکن است انتقال بخشی از مصالح برای مصارف خاص (مانند ماسه و شن برای ناحیه‌های فیلتر و زهکش) از خارج از محدوده‌ی ساختگاه، ضرورت یابد. در چنین مواردی باید با دقت ویژه اثر مالی این اقدام ارزیابی شده و تحت نظر باشد.

از عملیات معدن‌کاری در معادن روباز احجام قابل توجهی از مصالح خاکی باطله تولید می‌شود. در بسیاری موارد می‌توان عملیات اولیه‌ی رویه‌برداری معدن را هم زمان با مرحله‌ی اجرای سد اولیه[1] برنامه‌ریزی کرده و از مصالح حاصل از عملیات معدنی در این زمان، استفاده کرد. البته در برخی موارد ممکن است برای احداث سد اولیه ناگزیر از مصالح طبیعی استفاده شود و مصالح حاصل از عملیات معدن‌کاری برای ترفیع‌های بعدی به کار رود.

در برخی موارد استفاده از تجهیزات و ماشین‌آلات معدن‌کاری برای انتقال و استفاده‌ی مستقیم از مصالح روباره‌ی معدنی در عملیات اجرایی خاکریز، می‌تواند اقتصادی‌تر از استفاده از مصالح محلی (در محدوده‌ی مخزن انباشتگاه) باشد. در این شرایط توجه به موارد به شرح زیر ضروری است:

- معمولا عملیات معدن‌کاری، کاری در مقیاس بزرگ است از این‌رو طبقه‌بندی و سرند برای استفاده از بخش انتخابی مصالح، کاری دشوار است.
- به منظور فراهم آوردن امکان کار برای ماشین‌آلات بزرگی که درکارهای معدنی از آن‌ها استفاده می‌شود، افزایش عرض تاج یا عرض نواحی داخلی بدنه، ممکن است ضرورت یابد.
- مخلوط شدن و وجود مصالح درشت دانه و نفوذپذیر در مصالح، احتمالی جدی و قابل توجه است.
- اجرای لایه‌های نازک یا نواحی کم عرض در بدنه، اجرایی و حتی شاید امکان‌پذیر نباشد.
- ایجاد خاکریزهایی که شیبی متفاوت از شیب طبیعی مصالح ریزش آزاد داشته باشند دشواری بیش‌تری دارد.

باید توجه داشت که با اتخاذ چنین روالی، تقریبا هرگز کمبود مصالح احساس نخواهد شد و هزینه‌ی نهایی اجرای خاکریز نسبت به هزینه‌ی انجام کارهای خاکی به روش‌های متعارف بسیار کم‌تر خواهد بود. البته در بسیاری موارد از بخشی از مصالح سنگی، به علت خواص شیمیایی آن، نباید استفاده کرد، از این‌رو اگر در نظر باشد که از مصالح معدنی در بخشی از عملیات اجرایی استفاده شود، برای حصول اطمینان از این‌که این مصالح مستعد تولید اسید نیستند باید آن‌ها را تحت آزمایش‌های لازم قرار داد.

1- Starter Dam

۷-۷- استفاد از مواد پسماند در ساخت

۷-۷-۱- ساخت به روش ریختن مکانیکی

اگر در نظر باشد که برای ایجاد بدنه‌ی سد، به خصوص ساخت خاکریزهای پیرامونی محدود کننده، از مواد پسماند خشک با رطوبت کنترل شده و اعمال نیروهای متراکم کننده استفاده شود باید مراقب بود تا برداشت مواد پسماند از داخل انباشتگاه، یکپارچگی انباشتگاه را مختل نکند. درصورتی‌که برداشت این مواد از مخزن موجب شود که ترانشه‌ای در مجاورت حاشیه‌ی انباشتگاه ایجاد شود، این ترانشه می‌تواند در اثر بارش‌های جوی از آب پر شده و یا موجب نزدیک شدن بیش از حد حوضچه‌ی آب‌های رو زده[1] به بدنه‌ی خاکریز شود و از این طریق احتمال خرابی ناشی از پدیده‌ی رگاب را افزایش دهد. پر شدن سریع ترانشه با مواد پسماند تازه و آب‌دار نیز می‌تواند منجر به تجمع موادی کم مقاومت و تحکیم نیافته در ناحیه‌ای از انباشتگاه که عملکرد سازه‌ای دارد شود. این شرایط می‌تواند منجر به ناپایداری، مشاهده‌ی زهاب بیش از حد در دامنه‌ی پایین‌دست خاکریز و احتمالا خرابی‌های ناشی از رگاب شود. از این رو، لازم است که مواد پسماند را یا در لایه‌های نازک، از نواحی ساحلی برداشت کرده و زهاب‌ها را از محیط به سمت حوضچه‌ی آب‌های روزده هدایت نمود یا این مواد را از نواحی فاصله دار از محیط برداشت کرده و به محل مصرف حمل نمود. به هر صورت حداکثر عمق ترانشه‌ها را باید به حدود نیم متر محدود کرد و آن‌ها را به صورت مجزای از یک‌دیگر حفاری کرد به ترتیبی که پر شدن آن‌ها با گل‌آب به‌طور هم‌زمان صورت نگیرد تا گل‌آب تخلیه شده در هر ترانشه فرصت کافی برای خشک شدن پیش از انباشت لایه‌های بعدی داشته باشد.

اگر رطوبت مواد پسماند حفاری شده آن‌قدر زیاد باشد که متراکم کردن آن‌ها تا رسیدن به وزن مخصوص خشک مورد نظر میسر نباشد، می‌توان این مواد را با روش‌هایی مانند پخش کردن در کرت‌بندی‌ها و در صورت لزوم و امکان دیسک زدن خشک نمود. این کار را با استفاده‌ی از ماشین‌آلات خاصی که مواد پسماند را قبل از جمع‌کردن، خشک می‌کنند. نیز می‌توان انجام داد. دپوسازی موقت مواد پسماند هم می‌تواند برای خشک کردن مورد استفاده قرار گیرد. اختلاط این مواد با مصالحی با رطوبت کم نیز روش دیگری است که از آن می‌توان نام برد.

در ساخت خاکریز به روش ریختن مکانیکی، در هر مرحله، باید هم‌زمان با پیشرفت عملیات، دامنه‌ی پایین‌دست با مصالح مناسب، مانند سنگ‌های باطله‌ی معدن و یا مصالح حاصل از رویه‌برداری‌های معدن پوشانده شده و با پوشش گیاهی که بر روی آن کاشته می‌شود، در مقابل فرسایش، حفاظت شود.

1- Decant Pond

درصورتی‌که از مواد پسماند به عنوان فیلتر استفاده شود و یا سد پسماند سدی ناحیه‌بندی شده با مواد پسماند باشد، باید با کنترل دانه‌بندی این مواد بر مبنای معیارهایی نظیر معیارهای شرارد (۱۹۸۹) و کنی (۱۹۸۵) و رسته‌ی مهندسی ارتش ایالات متحده‌ی آمریکا[1] از پایداری داخلی خاکریز اطمینان حاصل کرد.

۷-۷-۲- ساخت با چرخابه (هیدروسیکلون)

هر گاه بخش عمده‌ای از مواد پسماند درشت دانه باشند و یا جدایش کامل بین دانه‌های تشکیل دهنده‌ی این مواد میسر باشد، برای احداث سدهای پسماند از هیدروسیکلون استفاده می‌شود.

استفاده از هیدروسیکلون‌ها برای جدایش مواد پسماند ریزدانه[2] دشوارتر است و بعید است که فرآیند جداسازی در موادی که مقادیر قابل ملاحظه، ریزدانه‌های رسی (حاصل از سنگ‌های معدنی اکسیده) دارند، کاملا موفقیت‌آمیز باشد.

بازدهی هیدروسیکلون در جداسازی مواد پسماند، با کاهش وزن مخصوص مخلوط ورودی، بهبود می‌یابد. درصورتی‌که وزن مخصوص مواد پسماند ورودی زیاد و منابع آب نیز محدود باشد، برای رسیدن به عملکرد مناسب به هیدروسیکلونی با قطر کم و فشار کار بالا نیاز خواهد بود. برای بهبود شرایط ساخت، خروجی‌ها باید ویژگی‌هایی به شرح زیر را داشته باشند:

۱- قابلیت زهکشی مناسب

۲- قابلیت تراکم

۳- همسانی شیب پایدار طبیعی با شیب قابل تامین در محل انبارش

برای تولید مصالحی که قرار است با وسایل مکانیکی به محل مصرف حمل شوند، هیدروسیکلون‌ها می‌توانند در محل‌هایی ثابت مستقر شوند. ته‌ریز سیکلون برای از دست دادن آب اضافی دپو شده و سپس حمل و بر اساس خواص و مشخصاتش، در محل مورد نظر به روش مناسب ریخته می‌شود. البته در برخی موارد انتقال ته‌ریز از محل سیکلون ثابت از طریق پمپاژ و یا جریان ثقلی نیز صورت می‌گیرد. سرریز سیکلون به صورت مخلوط آب و رسوب (گل) خارج و انباشته می‌شود.

همچنین می‌توان هیدروسیکلون‌ها را به‌عنوان واحدهایی مستقل در محدوده‌ی اجرای خاکریز مستقر کرد به‌طوری که مصالح ته‌ریز بدون آنکه نیاز به حمل مجدد باشد در محل نهایی خود قرار گرفته و آب اضافی را از دست بدهند. در این شرایط تجهیزات و خطوط لوله‌ی انتقال گل‌آب باید به طور منظم جابجا شوند. به‌علاوه برای تخلیه‌ی ایمن مواد سرریز سیکلون به داخل انباشتگاه بدون آنکه موجب فرسایش مصالح ته‌ریز انباشته شده شوند باید راهکاری پیش‌بینی شود. از جمله‌ی این راه‌کارها می‌توان به استفاده‌ی از سیکلون‌های با قطر کم اشاره کرد.

1- U S Army Corp of Engineers

۲- مقصود از مواد پسماند ریزدانه موادی است که حاوی درصد قابل ملاحظه‌ای از لای و ریزتر از لای است.

باید توجه داشت که عملکرد هیدروسیکلون‌ها متاثر از تغییرات فشار جریان ورودی، چگالی گل‌آب[1] مخلوط ورودی، و فرسودگی اجزای آن است. مواد ته‌ریز معمولا دانه‌بندی یکنواختی دارند و مستعد فرسایش هستند. به‌علاوه اختلال در عملکرد هیدروسیکلون می‌تواند به‌سرعت موجب فرسایش مواد انباشته شود. مواد پسماندی که به درستی جداسازی نشده و یا به طرز نامناسبی در محل قرار گرفته باشند، به شدت مستعد روان‌گرایی هستند. از این رو نظارت مستمر بر عملیات اجرایی را باید یک ضرورت تلقی کرد.

در حدفاصل تاج خاکریز در دست اجرا و ناحیه‌ی ساحلی به وجود آمده از سرریز سیکلون، ارتفاع آزاد محتاطانه‌ای باید حفظ شود. سایر ملاحظات طراحی شامل موارد به شرح زیر است:

- موقعیت هیدروسیکلون‌ها
- تعداد و ابعاد هیدروسیکلون‌ها
- تعداد مورد نیاز مراحل طبقه‌بندی
- مقدار آب لازم برای رقیق سازی و میزان سهولت تامین آن
- مقدار ماسه‌ی تولیدی در مقایسه با مقادیر مورد نیاز و میزان سهولت تامین آن

معمولا احداث خاکریز با استفاده‌ی از هیدروسیکلون به روش محور ثابت و یا پایین‌رو صورت می‌گیرد. اطلاعات بیش‌تر در زمینه‌ی بهره‌برداری و احداث سدهای پسماند با استفاده از هیدروسیکلون‌ها، در نشریه‌های شماره‌ی ۱۰۱ و ۱۰۶ کمیته بین‌المللی سدهای بزرگ و همچنین نشریه‌ی شماره ی ۲۳ کمیته‌ی ملی سدهای بزرگ ایران قابل دستیابی است.

۷-۸- احداث مرحله‌ای با مصالح قرضه‌ای

همچنان که در بند ۳-۴-۱-۱ اشاره شد از سه روش برای ساخت مرحله‌ای سد پسماند با مصالح قرضه‌ای می‌توان استفاده کرد. روش اجرای ترفیع پایین‌رو، در مقایسه با دو روش دیگر نیازمند حجم قابل ملاحظه‌ای از مصالح برای ساخت خاکریز است، از این‌رو زمانی این روش به کار گرفته می‌شود که از سد برای ذخیره‌ی آب نیز استفاده شود و یا، سرعت افزایش تراز مواد پسماند در انباشتگاه به علت تنگی دره قابل ملاحظه باشد و یا این‌که ضرورت تامین پایداری در مقابل بارگذاری‌های لرزه‌ای انتخاب آن را الزامی سازد. به‌علاوه ممکن است استفاده از روش ترفیع پایین‌رو در مراحل اولیه‌ی احداث که سرعت افزایش تراز مخزن زیاد است اما مواد پسماند ذخیره شده هنوز به مقاومت کافی و مناسب برای سایر روش‌های ساخت و ترفیع نرسیده‌اند، نیز ضرورت پیدا کند. باید توجه داشت که درصورتی‌که امکان ایجاد

1- Slurry Density

یک‌پارچگی بین سد پسماند و انباشتگاه سنگ‌های باطله‌ی معدن وجود داشته باشد، با انتخاب روش پایین‌رو جانمایی مناسب‌تری را می‌توان برای اجزای طرح تامین کرد.

روش‌های ترفیع بالارو و محور ثابت، سایر روش‌های قابل استفاده در ساخت مرحله‌ای هستند. این روش‌ها به حجم کم‌تری از مصالح (نسبت به روش پایین‌رو) نیاز دارند اما برای تامین پایداری، وابستگی بیش‌تری به مقاومت مکانیکی مواد پسماند دارند.

مقاومت مکانیکی مواد پسماند در روش محور ثابت، به اندازه روش بالارو، اهمیت ندارد. معمولا فقط بخش کوچکی از شیروانی بالادست روی سطح مواد پسماند قرار می‌گیرد. اگر این سطح آن چنان نرم باشد که نتواند وزن ماشین‌آلات ساختمانی را تحمل کند، می‌توان عمق کافی از مصالح مناسب را با استفاده از ماشین‌آلات اجرایی مناسب، از روی تاج بر این بستر ریخت، تا قادر به تحمل بار ماشین‌آلات اجرایی شود. در شرایطی که رسوبات بسیار نرم باشند، می‌توان آن‌ها را به این شیوه جابجا نمود، اما باید یک لایه ژئوتکستایل مناسب نیز روی سطح مواد پسماند قرارداد، تا شرایط برای انتقال مصالح و خاکریزی مناسب شود.

متراکم کردن اولین لایه‌ای از مصالح که بر روی مواد پسماند قرار می‌گیرند، امکان‌پذیر نیست. این مشکل، در ترکیب با مقاومت کم این مواد می‌تواند سبب بروز نشست و در نتیجه وقوع ترک‌های طولی در شیروانی بالادست و تاج شود. اگر به این موضوع در مرحله‌ی طراحی توجه کافی شده باشد، این مساله فقط جنبه‌ی یک مشکل گذرا، در مرحله‌ی اجرا خواهد داشت. در غیر این صورت هرگونه ترک خوردگی و نشست در حین اجرا باید مورد توجه قرار گرفته و به اطلاع طراح برسد تا از در نظر گرفته شدن آن در مرحله‌ی طراحی اطمینان حاصل شود.

استفاده از روش بالارو بستگی به وجود سواحل عریض، متراکم و زهکشی شده[1] از مواد پسماند دارد که بخش بیش‌تری از خاکریزهای لازم برای ترفیع مرحله‌ای را بتوان بر روی آن اجرا کرد. انتخاب این روش اجرایی مستلزم آن است که مواد پسماند مقاومت کافی برای تحمل بار ماشین‌آلات مکانیکی اجرایی و نیز وزن خاکریز را بدون نشان دادن نشست قابل ملاحظه داشته باشند. تحت چنین شرایطی می‌توان مصالح قرضه‌ای را بر بستر موجود از مواد پسماند ساحلی ریخته و مستقیما آن‌ها را بر روی این سطح متراکم کرد.

درصورتی‌که شرایط بد آب و هوایی، تغییرات غیر منتظره در مشخصات مواد معدنی یا افزایش نرخ تولید منجر به پدید آمدن سواحل نرم و کم مقاومت از مواد پسماند شود، باید طرح برای تامین دسترسی‌های لازم و نیز مواجهه با نشست‌های مداوم ناشی از تحکیم مورد بازبینی و اصلاح قرار گیرد.

۱- مراد از زهکشی شده، عاری از آب و خشک می‌باشد.

برای فراهم آوردن بستری مناسب برای اجرای عملیات خاکریز بر روی مواد پسماند نرم می‌توان اقدامات به شرح زیر را در برنامه‌ی کار قرار داد:

- تعبیه‌ی لایه‌های زهکش روی سطح مواد پسماند در بستر خاکریز.
- استفاده از ژئوتکستایل در ترکیب با لایه‌های زهکش.

در روش اجرای مرحله‌ای خاکریز بر روی رسوبات نرم، باید به پایداری در جهت بالادست، توجه بیش‌تری کرد. اگر مواد پسماند تراکم‌پذیری کمی داشته باشند ممکن است محدود کردن نرخ بالا آمدن تراز خاکریز ضرورت یابد تا به این ترتیب از افزایش فشار منفذی در داخل مواد پسماند، تا حدی که سبب خرابی گردد، احتراز شود.

نواحی متشکل از مواد پسماند نرم و هرگونه تغییر در طراحی در طی ساخت مرحله‌ای، باید به دقت مستندسازی شود. جمع‌آوری و ثبت چنین مواردی برای کسب اطمینان از این که طراحی‌ها و بررسی‌های بعدی، با توجه به این اطلاعات صورت خواهد گرفت امری کاملا ضروری است.

برای بهبود شرایط پی ناحیه بالادست و در نتیجه فراهم آوردن امکان اجرا به‌روش بالارو می‌توان از روش‌های رطوبت‌گیری سطحی از مواد پسماند استفاده کرد. در این روش‌ها، برای ایجاد کانال‌های کوچک و کم عمق زهکشی در سطح مواد پسماند، از ماشین‌آلات خاصی برای شیار انداختن بر سطح مواد پسماند پخش شده، استفاده می‌شود.

هر چند در گام‌های اولیه‌ی مرحله‌ی طراحی، دامنه‌ی دگرگونی‌ها در شرایط، از نظر کمی و کیفی قابل پیش‌بینی نیست اما باید بروز هر تغییری در شرایط را امری طبیعی و جدایی ناپذیر از فعالیت‌های طراحی هم‌زمان با اجرا دانست. البته احتمال بروز هر تغییر باید در مرحله طراحی در نظر گرفته شود تا به این ترتیب سازگاری و یکپارچگی طرح در انواع شرایط و تغییرات آن تضمین شود.

۷-۹- تحویل

در مرحله‌ی تحویل، دستیابی به اهدافی به شرح زیر باید مدنظر قرار گیرد.

- قبل از شروع به انبارش مواد پسماند در مخزن باید از تطابق عملکرد تمام اجزای طرح با آنچه در مشخصات فنی منعکس شده است، اطمینان حاصل شود.
- حصول اطمینان از ایمن سازی و محافظت از بخش‌هایی از کارهای اجرا شده، که ممکن است در مراحل اولیه‌ی انباشت مواد پسماند دچار آسیب‌دیدگی شوند، به ویژه در موارد به شرح زیر:
  - پوشش و حفاظت سامانه‌های زهکشی باز در مقابل اثرات باد یا جریان‌های سیلابی،
  - حفاظت سامانه‌های زهکشی باز در مقابل تخریب‌ها و بسته شدن، در اثر تماس و یا نفوذ مواد پسماند،
  - حفاظت زهکش‌های عمقی در برابر فشارهای ماشین آلات اجرایی،
  - جلوگیری از فرسایش خاکریزها، زهکش‌ها، جداکننده‌ها و موارد مشابه در اثر جریان‌های اولیه‌ی مواد پسماند.

- اطمینان از تطابق خواص و رفتار مواد پسماند، و همچنین سد و تاسیسات وابسته، با مندرجات و فرضیات توضیح داده شده در مشخصات فنی.

۷-۱۰- گزارش ساخت و نقشه‌های چون‌ساخت

اطلاعات دوره ساخت و تحویل، که شامل آزمایش‌های درجا و آزمایشگاهی هستند، باید به‌عنوان مستندات تطابق عملیات اجرایی با الزامات نقشه‌ها و نیز مشخصات فنی طراحی، نگهداری شوند. انحراف از نقشه‌ها و مشخصات مرحله‌ی طراحی باید در نقشه‌های چون‌ساخت بازتاب یابد. تهیه‌ی نقشه‌ی توپوگرافی از شرایط پس از اتمام کار را هم باید بخشی از کارهای مربوط به تهیه‌ی نقشه‌ها و مدارک چون ساخت، تلقی کرد.

این اطلاعات برای مدیریت جاری انباشتگاه مواد پسماند نیز کاربرد خواهد داشت. اطلاعات دوره ساخت همراه با اطلاعات به‌دست آمده از رفتارنگاری، مبانی طراحی مراحل بعدی خواهند بود.

مجموعه‌ی این اطلاعات باید گردآوری شده و در گزارشی تحت عنوان «گزارش ساخت» در پایان ساختمان اجزای آغازگر طرح و پس از پایان عملیات اجرایی هر یک از مراحل اجرایی بعدی ارائه شود.

نقشه‌های چون ساخت، همراه با گزارش‌های ساخت، بازرسی و طراحی، باید در بایگانی پروژه نگهداری شده و همواره در دسترس عوامل بهره‌برداری باشند. این مدارک در تمامی طول عمر سد پسماند نیز باید در دسترس بوده و در اختیار مالکین پس از بسته شدن سد نیز قرار داده شوند.

فصل ۸

بهره‌برداری

در دوره‌ی بهره‌برداری از سدهای پسماند، هدف اصلی، انباشت ایمن مواد پسماند به شیوه‌ای است که احتمال بروز اختلال در روند بهره‌برداری از معدن و آسیب به محیط‌زیست در دوران بهره‌برداری از معدن و ترک آن کمینه شود. یکی از وجوه مهم تحقق این امر، مدیریت تغییرات در طی عملیات بهره‌برداری است. به‌ترتیبی که روند انباشت مواد پسماند همواره در تطابق با الزامات طراحی و مقررات قانونی باقی بماند.

برای نیل به این هدف، محدودیت‌های بهره‌برداری باید شناسایی شده و در روال‌های مربوط به بهره‌برداری گنجانده شود.

۸-۱- مدیریت و آموزش‌های کاری

روال‌های بهره‌برداری از سدهای پسماند باید به تصویب مراجع ذیربط رسانده شود، و به منظور بازتاب بروز تغییر در شرایط، و یا بهبود مدیریت انباشت مواد، به طور منظم بازبینی شده و در صورت لزوم، اصلاح شود.

بدون وجود مدرک فنی تحت عنوان «راهنمای بهره‌برداری، نگهداری و پایش سد» که باید توسط مهندس طراح تهیه شده و یا به تایید وی رسیده باشد، نباید انباشت مواد پسماند در مخزن سد را شروع کرد. این راهنما باید در برگیرنده‌ی چارچوب کلی همه‌ی نیازهای طراح برای بهره‌برداری، نگهداری و پایش بر ایمنی سد باشد. این چهارچوب باید تضمین کننده‌ی ایمنی مستمر، و بهره‌برداری موثر از تاسیسات سدهای پسماند باشد. علاوه‌بر این لازم است که گزارشی تحت عنوان «طرح ایمنی سد در شرایط اضطراری»[1] نیز تهیه شده و در اختیار بهره‌برداران قرار گیرد. در ادامه (بخش ۸-۶) اطلاعات بیش‌تر در خصوص برنامه‌ی ایمنی سد در شرایط اضطراری ارائه شده است.

مالکان و مسوولان بهره‌برداری از معدن باید تضمین کنند که بهره‌برداری از سد پسماند به وسیله‌ی گروهی مجرب و دارای سابقه‌ای مضبوط در زمینه‌ی اجرای کارهایی با ماهیت و بزرگی مشابه انجام می‌شود. برای سدهایی که پی‌آمد خرابی‌شان «عمده»[2] و یا بیش از آن است، لازم است که گروه بهره‌بردار حداقل شامل یک مهندس عمران یا یک مهندس ژئوتکنیک حرفه‌ای واجد شرایط باشد. بهره‌بردارها برای ایفای نقش خود به نحو مطلوب، باید دوره‌های آموزشی مناسبی را طی کرده و به طور منظم تحت بازآموزی قرار گیرند.

یکی از مهم‌ترین مواردی که مالکان و مسوولان بهره‌برداری از معدن باید از آن آگاهی داشته باشند، پی‌آمدهای شکست سد، و مسوولیت‌های قانونی آنان در این خصوص است. این امر می‌تواند موجب شود که آنان به‌موقع، و در سطحی مطلوب به مدیریت خطرات توجه کنند و اطمینان حاصل نمایندکه با تخصیص بودجه، منابع کافی، و کارکنان با

1- Dam Safety Emergency Plan (DSEP)

۲- در مورد طبقه‌بندی سدها از نظر پی‌آمد خرابی به فصل دوم مراجعه شود.

صلاحیت، امکان برقراری و حفظ سطح مورد نیاز دقت در بهره‌برداری و نگهداری از تاسیسات را خواهند داشت. بدیهی است که مبانی این حصول اطمینان باید به نحوی به مراجع قانونی ذیربط نیز منعکس شود.

۸-۲- برنامه‌ی بهره‌برداری

در طول دوره‌ی بهره‌برداری از یک سد پسماند، باید همواره این اطمینان حاصل باشد که توسعه‌ی انباشتگاه به شیوه‌ای انجام می‌شود که شرایطی به شرح زیر تامین شده است:

- ایمنی و پایداری منطبق با مشخصات مقرر برای مدیریت خطرپذیری.[1]
- انطباق روند بهره‌برداری از سد با الزامات گزارش طراحی و کتابچه‌ی راهنمای بهره‌برداری، نگهداری و پایش (OMS[2])، (این راهنما باید به طور دوره‌ای به‌روزرسانی شده باشد) و همچنین هماهنگی با محدودیت‌های مبتنی بر معیارهای تعریف شده برای عملکرد مناسب در صنعت.
- انطباق با الزامات قانونی بهره‌برداری
- تامین اهداف زیست‌محیطی مقرر
- انطباق با برنامه‌ی ترک و رهاسازی، و کاربری در نظرگرفته شده‌ی پس از آن.

تاسیسات پسماند باید به منظور نیل به اهداف به شرح زیر بهره‌برداری شوند:

- کنترل نحوه‌ی توزیع مواد پسماند در مخزن، به‌منظور دستیابی به شکل هندسی مورد نیاز، برای نگهداری حوضچه‌ی جمع‌آوری آب در موقعیتی مشخص شده و اطمینان از این که جدایش مصالح، یکپارچگی ساختاری نهشته‌ها را به خطر نمی‌اندازد؛
- کنترل چرخه‌ی رسوب‌گذاری به منظور اطمینان از مطابقت نحوه‌ی ترسیب و خشک شدگی مواد پسماند با مقاصد طراحی؛
- کنترل تراز و موقعیت حوضچه‌ی جمع‌آوری آب به منظور تامین عمق کافی از آب به عنوان یک پوشش یا حفظ ارتفاع آزاد برای جلوگیری از خطر لبریزی از تاج سد (بخش ۸-۴ را ببینید)؛
- کنترل جریان و تخلیه‌ی آب در مواقع سیلابی به ترتیبی که حجم آبی که در انباشتگاه افزوده می‌شود، موجب بروز خسارت نشود؛

1- Risk Management

2- Operation, Maintenance and Surveillance

در این نوشتار، به‌منظور ایجاد اختصار، کتابچه راهنمای بهره‌برداری، نگهداری و پایش، کتابچه راهنمای OMS نامیده خواهد شد.

- کنترل دسترسی‌ها به‌طوری که فقط افراد مجاز امکان تردد برای انجام کارهای مربوط به بهره‌برداری و مدیریت نظارتی را داشته باشند.
- بهینه‌سازی بازیافت آب از هر محل مناسب از انباشتگاه. به‌طور کلی تخلیه‌ی آب از مخزن سد پسماند به محیط‌زیست مجاز نیست، مگر آن‌که با تامین الزامات کیفی آب، این امر به‌طور مشخص در مدارک طراحی مجاز دانسته شده باشد.
- جداسازی آب‌های غیرآلوده از آب آلوده.
- کنترل گرد و غبار در شرایط وزش باد به کمک تواتر بیش‌تر تخلیه مواد پسماند در نقاط مختلف، برای بیشینه کردن نواحی ساحلی خیس وهمچنین، کنترل آمد و شد در محدوده‌ی طرح.

۸-۳- کتابچه‌ی راهنمای بهره‌برداری، نگهداری و پایش

به طور معمول کتابچه‌ی راهنمای (OMS) باید پیش از تحویل موقت سد پسماند، تهیه شده باشد. این راهنما باید مقاصد طراحی، رفتار پیش‌بینی شده‌ی موادپسماند، بهره‌برداری و بازدیدهای روزانه، روال‌های مدیریت آب، ضوابط و معیارهای مربوط به کارهای مکانیکی و برقی (شامل تلمبه‌ها)، پایش، نگهداری، و الزامات گزارش‌دهی را پوشش دهد. برنامه‌های مدیریت بهره‌برداری همراه با کتابچه‌ی راهنمای OMS باید به طور مشخص و پررنگ کلیه‌ی الزامات طراح برای عملیات بهره‌برداری، وکنش‌ها و واکنش‌های لازم برای اطمینان از برقراری ایمنی مداوم سد را ارایه کند.

تمامی شرایط لازم برای استخدام بهره‌برداران و کمینه‌ی سطح آموزش آن‌ها و، نیز هرجا که نتوان این شرایط را تامین کرد، راه حل‌های جایگزین (به‌طور مثال خرید خدمات مشاوره‌ای). باید در کتابچه‌ی راهنمای OMS تشریح شده باشد.

حداقل هر دو سال یک‌بار، کتابچه‌ی راهنمای OMS برای سدهای پسماند باید به‌روزرسانی شود و در آن تمامی راهبردهای مدیریت تاسیسات انباشت پسماند بازنگری شود تا روش‌های بهتر نیل به اهداف این تاسیسات، در صورت وجود، مورد توجه قرار گیرد.

کتابچه‌ی راهنمای OMS باید در برگیرنده‌ی الزامات نگهداری باشد و پیش از ترک و رهاسازی به روز شود تا شامل آخرین تغییرات محتمل در الزامات نگهداری و مراقبت در دوران ترک و رهاسازی نیز باشد.

۸-۴- پایش و نظارت

روال‌های اجرایی دوره‌ی بهره‌برداری از تاسیسات انباشت پسماند، باید در برگیرنده‌ی کارهای نظارتی، به مفهوم بازرسی‌های منظم، پایش و ارزیابی، و نیز مستندسازی‌های مرتبط با آن باشد. معمولا در دوران بهره‌برداری، شرایطی ایجاد خواهد شد که اگر زود شناسایی نشوند، واکنش به‌موقع در مورد آن‌ها میسر نخواهد بود، و این امر، می‌تواند منجر

به از دست‌رفتن بخشی از ظرفیت انباشتگاه و یا عدم تحقق برنامه‌های مورد تعهد در زمینه‌ی گسترش یا ترک و رهاسازی تاسیسات شود.

پایش و نظارت بر رفتار سد و ارزیابی ایمنی آن در شرایط مختلف، از جمله شرایط اضطراری، باید در چهارچوب الزامات قانونی در این خصوص انجام شود. کارفرما یا مسوولان طرح‌ها باید با انتخاب کارکنان مناسب، و تنظیم برنامه‌های آموزشی در زمینه‌های مدیریت ایمنی سد برای آن‌ها، و نیز برقراری منظم دوره‌های بازآموزی، نظارتی کارآمد را بر سدهای پسماند اعمال نمایند. اجرای دوره‌های بازآموزی موجب به‌روز نگه‌داشتن بهره‌برداران و آشنایی آن‌ها با تجارب متداول و جاری خواهد شد. بخشی از آموزش‌ها باید بهره‌برداران را به شناخت شرایط و موقعیت‌های غیرعادی، که می‌تواند ایمنی سدهایشان را تحت تاثیر قرار دهد قادر سازد. تنها به این ترتیب است که می‌توان انتظار داشت که آنان تحت چنین شرایطی، واکنشی مناسب، از خود نشان دهند، و اگر هم لازم باشد با اعلام نیاز به دریافت مساعدت از افراد با خبرگی بیش‌تر، به حل مشکل بپردازند.

بازرسی‌های معمول و پایش سد به وسیله کارکنان آموزش‌دیده، باید مطابق با الزامات تعیین شده از سوی طراح انجام شود. اطلاعات جمع‌آوری و ثبت شده باید دربرگیرنده‌ی کلیه‌ی اطلاعاتی باشد که نشان دهنده‌ی وضعیت جاری سد از دیدگاه ایمنی و کارایی بهره‌برداری از تاسیسات است، از این روست که عواملی که باید مورد پایش قرار گیرند، و ابزارهای رفتارنگاری لازم برای این پایش، باید به‌وسیله طراح سد تعیین شده باشد. ثبت مداوم یافته‌ها در خلال بازرسی‌ها، قرائت‌های ابزار پایش، و هر رویدادی، در تمامی سدهای پسماند امری حیاتی است[1] و باید به دقت مورد توجه بهره‌برداران باشد.

اطلاعات ثبت شده باید در چهارچوبی نظام‌مند و در محلی ایمن و در دسترس، بایگانی شوند. این اطلاعات باید دربرگیرنده‌ی مواردی به شرح زیر باشد:

- پایش آب‌های زیرزمینی با تاکید ویژه بر اثرات زیست‌محیطی سدهای پسماند بر آب‌های زیرزمینی از جمله فرآیندهای ژئوشیمیایی
- پایش زهکشی سطحی و نشت، مشتمل بر ارزیابی‌های چشمی و اندازه‌گیری نشت، به عنوان حد کمینه‌ی کار، و تجزیه شیمیایی آب‌ها برای شناسایی مواردی نظیر تشکیل زه‌آب‌های اسیدی
- پایش ظرفیت انبارش (پسماندها، آب فرآوری شده، بازیابی آب، تبخیر)
- پایش پسماندها از دیدگاه مواردی چون نحوه‌ی توسعه ساحل، وضعیت زهکشی، تراکم و خشک‌شدگی مواد
- پایش ابزار دقیق و قرائت آن‌ها

۱- به نشریه شماره ۱۰۴ کمیسیون بین‌المللی سدهای بزرگ (ICOLD,1996) با عنوان «پایش سدهای پسماند» که مرتبط با پایش سدهای پسماند در دوران ساخت و بهره‌برداری است، توجه شود.

- پایش تجهیزات و کارهای لوله‌گذاری
- پایش تغییر مکان‌های سطحی و ترک خوردگی‌های سد
- گزارش‌های بازرسی حاوی زمان‌ها، تاریخ‌ها و مشاهدات
- گزارش‌های رویدادها حاوی زمان، تاریخ، ماهیت و اقدامات
- ممیزی سالانه

حتی اگر تمامی اقدام‌های معقول برای کمینه‌کردن مقدار نشت آب صورت گرفته باشد باید ضرورت پایش نشت، همواره مورد توجه باشد. درصورتی‌که مقدار نشت آب در حد ردگیری باشد، لازم است که اثرات زیست‌محیطی آن مورد ارزیابی قرارگیرد و در برخی موارد برای محدود کردن اثرات زیست‌محیطی، شیرآبه‌ی خروجی از مواد پسماندها بازیابی شود.

پایش کارآیی تاسیسات را نیز باید امری ضروری دانست، چرا که تاسیسات معمولا با مشخصاتی منتخب برای مواد پسماند طراحی می‌شوند و انحراف مشخصات عمومی نظیر دانه‌بندی، وزن مخصوص گل‌آب، ترکیبات شیمیایی، از مفروضات اولیه، می‌تواند روال‌های بهره‌برداری و کارآیی تاسیسات را تحت تاثیر قرار دهد. بنابراین مشخصات مواد پسماند باید در فواصل زمانی حداکثر شش ماهه مورد ارزیابی دوره‌ای قرار گیرند. نرخ کلی پرشدن مخزن، وزن مخصوص‌ها، شکل ساحل، بازیابی آب و موارد نظیر نیز باید در فواصل دوازده ماهه به طور رسمی ارزیابی شده، و تغییرات مهم به طراح سد منعکس شود.

در فواصل زمانی منظم، سدهای پسماند باید به وسیله افراد دارای تخصص مناسب مورد بازبینی/ ممیزی فنی رسمی قرار گرفته و نتایج آن به طور رسمی ثبت شوند. این ممیزی‌ها باید در برگیرنده‌ی موارد مهم از نظر ایمنی سد نیز باشند. بدیهی است که رعایت ضوابط موجود مراجع ذیصلاح قانونی (وزارت نیرو و وزارت صنعت، معدن و تجارت) در این زمینه الزامی است. در مورد سدهای ذخیره‌ی آب در این زمینه در حال حاضر با هماهنگی با وزارت نیرو ضابطه شماره‌ی ۶۴۴ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور انتشار یافته است، اما با توجه به این که ضابطه‌ی مذکور مخصوص سدهای پسماند نیست و هنوز به صورت لازم‌الاجرا هم به دستگاه‌های اجرایی ابلاغ نشده است توصیه می‌شود تا طی شدن مراحل معمول برای لازم‌الاجرا شدن چنین معیارها و ضوابطی، برای تدوین روال پایش و پایش بر سدهای پسماند در دوره‌ی بهره‌برداری ضمن توجه به ضابطه‌ی یاد شده از دیگر ضوابط تجربه شده و یا معتبر موجود نیز بهره گرفته شود. در پیوست شماره ۴ خلاصه‌ای از توصیه‌های مربوط به پایش رفتاری سدها از ضابطه‌ی شماره‌ی ۶۴۴ و چند مرجع مختلف ارائه شده است. در برخی از این مراجع، علاوه بر تواتر پایش پارامترهای رفتاری، چهارچوب گزارش ارزیابی کمّی ایمنی نیز آورده شده است.

نتایج بازرسی‌ها، پایش و ممیزی‌ها، باید به نحو مناسبی به طراحان، سازندگان، بهره‌برداران و مراجع ذیصلاح قانونی منعکس شود، و با به‌کارگیری روش‌های مدیریتی موثر لازم است که از طی شدن چنین روندی اطمینان حاصل کرد و از تحقق هرگونه تغییراتی که لازم دانسته شده است مطمئن شد. نمونه‌ی گزارش بازرسی (گزارش خلاصه بازرسی سالانه و بازرسی دوره‌ای) در مجموعه پیوست ارایه شده است.

۸-۵- ترفیع خاکریزی

خاکریزهای موجود مخزن سدهای پسماند، غالبا به صورت خاکریزهای ترفیع شونده در طول دوره بهره‌برداری، طراحی می‌شوند. چنین روندی برای افزایش ارتفاع خاکریز نباید موجب افزایش احتمال بروز خطر طی دوره‌ی بهره‌برداری از سد شود. از این‌رو لازم است که کار با در نظر گرفتن شرایط جوی غالب در دوره‌ی ترفیع (خطرات سیلاب، آب و هوای مرطوب و بارانی) و مولفه‌های ژئوتکنیکی انجام شود. توانایی سدهای پسماند، برای مواجهه با شرایط سیلابی نقش تعیین‌کننده‌ای در ایمنی سد به‌ویژه در دوره‌ی طولانی مدت بهره‌برداری دارد. از این‌رو، به‌عنوان یک اصل، این توانایی به طور مداوم و به‌ویژه در طی دوره‌ی ترفیع، باید محفوظ بماند. باید توجه داشت که وجود ناهماهنگی بین کارهای ساختمانی و عملیات تخلیه‌ی مواد پسماند می‌تواند موجب افزایش خطر سرریزی این مواد از مخزن شود. پیش‌گیری از بروز چنین ناهماهنگی‌هایی را نیز باید یکی از ضروریات کار ترفیع تلقی کرد.

هرچند روش‌های بالارو و محور ثابت در سدهای پسماند می‌توانند از نظر ساخت، روش‌های کم هزینه‌تری باشند، اما از نظر طراحی، باید کار و انرژی بیش‌تری برای آن‌ها صرف کرد. به علاوه مهارت بهره‌بردار و پشتکار و دقت مالک و یا مسوول طرح نیز برای تامین پایداری آن‌ها از ضروریات است. در راستای موارد پیش گفته و تامین پایداری و ایمنی سد در این دو روش ساخت، ضروری است که توجه طراحان، بهره‌برداران و مالکان یا مسوولان معدن به الزاماتی به شرح زیر جلب شود.

- تحلیل شبکه جریان نشت با تشریح جزء به جزء تمام مفروضات، به منظور مشخص کردن سطوح پیزومتریک در شرایط مختلف، به‌طوری که سطوح ایستابی «ناایمن» شناسایی شوند. نتایج این تحلیل‌ها باید به طور منظم با سطوح پیزومتریک واقعی و ترازهای آب در مخزن در شرایط بهره‌برداری مقایسه شود.
- تدوین الزامات تخلیه‌ی مواد پسماند از دیدگاه بهره‌برداری ایمن از سد با هدف‌گذاری بر وزن مخصوص مورد نیاز برای ساخت و تامین پایداری.
- تحلیل پایداری سد براساس تنش‌های کل، و برآن مبنا، تعیین بیشینه نرخ ترفیع ایمن سد.
- ترسیم سیمایی کامل و روشن از تغییرات فشارهای آب منفذی ایجاد شده در سد از طریق برقراری برنامه‌های اضافی و تکمیلی پایش.

۸-۶- لایروبی سد

هرگاه از نظر پی‌آمدهای زیست محیطی و یا اعمال محدودیت‌های قانونی جدید، برجای‌ماندن مواد پسماند ذخیره شده در مخزن سد غیر قابل قبول دانسته شود، باید از طروق مختلف منجمله لایروبی نسبت به جابجایی این مواد اقدام کرد. بدیهی است که در چنین شرایطی، باید محلی جدید که فاقد محدودیت‌های ذکر شده باشد برای انبارش مواد یافت. باید توجه داشت که تخلیه و لایروبی مخزن تنها به دلایل ذکر شده انجام نمی‌شود و در بسیاری از موارد، هدف از این کار، کسب درآمد از طریق واردکردن مواد حاصل در یک فرآیند جدید متالورژیک است. به‌هر صورت، مستقل از علت

انجام عملیات لایروبی، آنچه که در ارتباط با مسایل طراحی و ساخت و بهره‌برداری و نگهداری سدهای پسماند قرار می‌گیرد، توجه به ضرورت تجزیه و تحلیل ژئوتکنیکی، و به ویژه از دیدگاه نیروهای لرزه‌ای، به منظور تدوین روالی ایمن برای تخلیه‌ی مخزن است.

۸-۷- برنامه‌ی ایمنی سد در شرایط اضطراری

هرگاه فروریزش یا شکست سد پسماند موجب مخاطرات جانی انسان‌ها، و یا صدمه به زیرساخت‌ها و یا ارزش‌های زیست‌محیطی شود، لازم است که برنامه‌ای به عنوان «برنامه‌ی ایمنی سد در شرایط اضطراری»[1]، تدوین شود. طرح DSEP باید مشتمل بر مطالعه‌ی شکست سد در حدی مناسب باشد. هرچند محافظه‌کارانه، ولی در این مطالعات باید فرض شود که در پی شکست سد، مواد پسماند رفتاری مشابه آب از خود نشان خواهند داد. البته در صورت توجیه فنی و مالی می‌توان از نتایج روش‌های تحلیلی پیچیده و پیشرفته که در آن‌ها رفتار جریان رها شده از سد شکسته، به صورت مخلوطی از آب و مواد جامد قابل تعریف است نیز استفاده کرد. باید توجه داشت که لازم است برنامه‌های DSEP سالانه به‌روز شوند و در فواصل منظم مورد سنجش و آزمون قرار گیرند.

۸-۸- نگهداری

فعالیت‌های لازم برای نگهداری سدهای پسماند را به شرح زیر باید اولویت‌بندی کرد،

- اقلامی از کارها که یکپارچگی سازه‌ای را تحت تاثیر قرار می‌دهد
- کارهای در ارتباط با حفظ زیست‌محیطی
- کارهای متداول برای نگهداری

برای مثال، درست مانند بروز ترکیدگی در یک خط لوله تحویل گل‌آب، وقوع آب شستگی در یک دیوار پیرامونی، که می‌تواند تامین ارتفاع آزاد (Freeboard) در مخزن سد را به مخاطره اندازد، نیازمند تعمیر اضطراری است. در حالی که با اضطرار کم‌تری می‌توان به مساله‌ی، رسوب‌گذاری تدریجی در مجاری جمع‌آوری آب‌های سطحی پرداخت.

در بهره‌برداری از هر سد پسماند وقوع لبریزی امری بسیار محتمل است، از این‌رو، اولین و مهم‌ترین اصل در بهره‌بردار و نگهداری باید پیشگیری از لبریزی از طریق پیاده کردن روالی منضبط باشد. دومین اصل ایجاد آبرویی جانبی و یا محوطه‌ای آبگیر در پایاب است، به‌طوری که ناحیه متاثر از لبریزی کمینه شود. نواحی ویژه و حساس از نظر

1- Dam Safety Emergency Plan (DSEP)

زیست‌محیطی مانند نقاط تقاطع با آبراهه‌ها و جویبارها، نیز باید در مقابل لبریزی محافظت شوند. هرگاه که لبریزی ناگزیر رخ دهد، عملیات پاکسازی باید بیدرنگ و به دقت انجام شود.

۸-۹- حراست

تمام راه‌های دسترسی، و به ویژه راه‌هایی که در شرایط نامساعد جوی بیش‌تر ممکن است مورد استفاده قرار گیرند، باید از ایمنی کافی برای تردد گروه بهره‌بردار، به منظور انجام وظایفشان برخوردار باشند. دسترسی به مناطق خطرناک باید با نصب تابلوها و ایجاد موانع مناسب و از طریق ابلاغیه‌ها و آموزش‌ها، محدود شود.

نظر به این که سرقت و آسیب‌رسانی عمدی، امری محتمل است، سامانه‌ی مدیریت باید احتمال از دست‌رفتن تجهیزات یا آسیب به تاسیسات را به حساب آورده و با پیش‌بینی تمهیداتی اطمینان حاصل کند که یکپارچگی انبارش مواد پسماند، تحت شرایط بالقوه‌ی گفته شده به خطر نخواهد افتاد.

فصل ۹

ترک و رهاسازی

هدف‌گذاری برای ترک و رهاسازی پایدار، باید در مرحله‌ی آغازین برنامه‌ریزی احداث یک سد پسماند صورت گیرد و در سراسر دوران ساخت و بهره‌برداری در معرض بازبینی باشد. طول عمر سد پس از ترک و رهاسازی، دوره‌ای بلندمدت است. در برخی از کشورها (مانند استرالیا) در تمرکز بر ملاحظات طراحی و بهره‌برداری، طول این دوره به طور نظری برابر با ۱۰۰۰ سال در نظر گرفته می‌شود.

۹-۱- ترک و رهاسازی پایدار

در بخش‌های پیشین این راهنما، از وجوه مختلف به مساله‌ی ترک و رهاسازی پرداخته شد و در رابطه با آن، اصول مهم طراحی، ساخت، و بهره‌برداری سد پسماند مورد تاکید قرار گرفت. به طورکلی یکی از اهداف هر یک از فعالیت‌های یاد شده، دستیابی به راهبردی برای ترک و رهاسازی محتوم طرح است که منجر به برجای ماندن سازه‌ای مستحکم و ایمن پس از تکمیل فعالیت‌های معدنی شود. سد پسماند پس از ترک و رهاسازی، باید قادر به تحمل شرایط محتملی که با آن‌ها در دوره‌ی طولانی مدت عمر طرح، (بالقوه۱۰۰۰ سال یا حتی بیش‌تر)، مواجه می‌شود، باشد.

برای توفیق در دستیابی به طرح و عملکردی پایدار در دوره‌ی پس از ترک و رهاسازی، اصولی مشخص به شرح زیر باید مورد توجه باشد[۱].

- تثبیت طولانی مدت وضعیت فیزیکی، شیمیایی، زیست‌بومی و اجتماعی سدهای پسماند باید هدف اصلی فعالیت‌های مربوط به ترک و رهاسازی باشد؛ به‌ترتیبی که در مقیاسی معقول از نظر زمانی، بتوان از بروز هرگونه تنزل در وضعیت موجود پیشگیری کرد.
- هزینه‌های مستمر برای نگهداری تاسیساتی که ترک و رها می‌شوند نباید بیش از آنچه به طور معمول در اراضی با کاربری مشابه لازم می‌شود، باشد.
- تاسیساتی که ترک و رها می‌شوند نباید خطری برای سلامتی و ایمنی مردم ایجاد نمایند.
- تاسیساتی که ترک و رها می‌شوند نباید موجب بروز خطر غیر قابل قبول زیست‌محیطی شوند.
- پس از ترک و رها سازی تاسیسات انباشت پسماند، آن‌چه که باقی می‌ماند، منابع آب و زمینی است که کاربری مناسب و پایدار دارند، تامین کننده‌ی خواسته‌های ذی‌نفعان و جامعه هستند و موجب توسعه‌ی زیست بومی پایدار می‌شوند.

۱- برای مشاهده‌ی جزییات بیش‌تر در این خصوص به بولتن شماره‌ی ۱۵۳ کمیته‌ی بین‌المللی سدهای بزرگ مراجعه شود.

۹-۲- برنامه‌ی ترک و رهاسازی

گزینه‌های خاتمه‌ی مطلوب بهره‌برداری و کسب آمادگی برای ترک سد پسماند، باید درمراحل اولیه‌ی عمر طرح، مورد ارزیابی قرار گیرد. برنامه‌ی ترک و رهاسازی باید به‌عنوان بخشی از طرح توسعه‌ی اولیه آماده و هزینه‌یابی شده و بخشی از تحلیل‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی مربوط به مطالعات توجیهی طرح را تشکیل دهد. این برنامه باید برنامه‌ای پویا باشد و به طور منظم، هم‌پای پیشرفت کار در طول دوره‌های مختلف طراحی، ساخت، بهره‌برداری و تغییرات بالقوه‌ی کمّی و کیفی، بازبینی و به روزرسانی شود. برنامه‌ی ترک و رهاسازی باید در برگیرنده‌ی مواردی به شرح زیر باشد.

- اهداف ترک و رهاسازی، مشتمل بر راهبردها و عوامل موثر (شامل رژیم آب و هوایی، سیاست‌های کاری، اهداف عملکردی، معیارها و شاخص‌ها)؛
- اطلاعات مورد نیاز از نظر پایش، جمع‌آوری، تجزیه و تحلیل داده‌ها و همچنین مدیریت سوابق و اسناد؛
- موضوعات خاص مشتمل بر ژئوشیمی مواد پسماند و آب‌های وارده، میزان شوری، پرتوزایی و کاربری اراضی در آینده.
- مدیریت و اجرای کارهای مربوط به مرحله‌ی ترک و رهاسازی (فعال، اقدام در صورت نیاز، و خود پایا)، شامل پایش و انجام ممیزی به منظور حصول اطمینان از کاهش نظام‌مند احتمال بروز شرایط مخاطره‌آمیز.
- توانایی بالقوه برای ترک و رهاسازی زودهنگام (نسبت به پیش‌بینی‌های اولیه)، و وجود روال‌های اجرایی قابل پیگیری در چنین شرایطی.

۹-۳- گزینه‌های ترک و رهاسازی

با توجه به این‌که در هر طرح، وجوه خاصی می‌تواند مطرح باشدکه مستلزم توجه است، ارزیابی روش‌های مختلف ترک و رهاسازی باید با در نظر گرفتن شرایط موجود در هر مورد، و به‌طور خاص انجام شود. در این رابطه برخی از ملاحظات را به شرح زیر می‌توان برشمرد:

- گزینه‌های مبتنی بر بازسازی شکل اراضی، تحت تاثیر شرایط آب و هوایی قرار خواهد گرفت.
- رویکردهای وابسته به مدیریت آب، متاثر از شرایط آب و هوایی منطقه‌ی اجرای طرح است و در تدوین روال‌های اجرایی مربوط به این رویکردها باید احتمال بروز تغییرات اقلیمی نیز در نظر گرفته شود.
- در مناطق با آب و هوای مرطوب، برای حفظ درجه‌ی اشباع مواد پسماند وپیشگیری از اکسیده شدن و تولید آلاینده‌ها در جریان‌های نشتی، می‌توان از پوششی از آب یا خاک اشباع بر روی مواد پسماند استفاده کرد.
- برای کمینه کردن مقدار نفوذ آب و نشت ناشی از آن در شرایط اقلیمی مرطوب، می‌توان از پوششی محافظ در مقابل باران در ترکیب با سرریزی با ابعاد مناسب بهره جست.

- در اقلیم‌های خشک یا معتدل، اجرای پوششی از خاکریز آبرفتی[۱] بر سطح مخزن، که ممکن است با لایه‌ای از یک پوشش آب‌بندکننده نیز همراه باشد، اقدامی مناسب است.
- در اقلیم‌های خشک با فراهم آوردن امکان تشکیل پوسته‌ای خشک بر سطح مخزن، می‌توان از نفوذ آب به داخل پسماندهای خشک شده جلوگیری کرد و زمینه‌ی لازم را برای تبخیر مجدد، بدون نیاز به کاشت گیاهان فراهم آورد. البته در چنین شرایطی لازم است توجه ویژه‌ای به کنترل گرد و غبار داشت.
- احاله‌ی مسوولیت و درگیر کردن ذینفعان را باید امری الزامی تلقی کرد.

۹-۴- نکات مهم در مورد ترک و رهاسازی

نکاتی که در برنامه‌ی ترک و رهاسازی مورد توجه قرار می‌گیرند به شرح زیر است:

- شکل نهایی زمین و ارتباط آن با خاکریزی‌ها و هندسه مخزن؛
- برنامه‌ی عملیات خاکریزی و مرحله‌بندی آن؛
- جابه‌جایی مواد و انبارکردن آن‌ها؛
- کارهای غیردائم؛
- پایداری فیزیکی و شیمیایی تاسیسات و دوام سازه‌های کنترل؛
- انواع پوشش برای پسماندها؛
- پیامدهای بروز وضعیت‌های حدی زیست‌محیطی (مانند وقوع خشک‌سالی، سیل، آتش، زلزله)؛
- کنترل دسترسی‌ها؛
- یکپارچگی ساختاری؛
- پایداری ژئوتکنیکی؛
- نشست‌های مداوم؛
- پایداری فرسایشی، شامل ترسیب و تاثیر آن بر زهکشی؛
- جمع‌آوری آب‌های سطحی (باید توجه داشت که مواجه با این جریان‌های متمرکز، بدون طراحی و اجرای دقیق، و نیز نگهداری مداوم آن کار دشواری خواهد بود)

۱- این پوشش در مراجع انگلیسی زبان" Store-and-Release Cover" خوانده می‌شود، که بارش‌های جوی را به صورت رطوبت در خود ذخیره و در طی زمان از طریق تبخیر و تعرق به اتمسفر برمی‌گرداند.

- بهسازی سطح برای کمینه‌کردن فرسایش، از طریق اجرای پوشش‌های سنگی و یا گیاهی، بـه مـوازات حفـظ و نگهداری پوشش‌های گیاهی موجود.
- ملزومات پایش و ممیزی در روال ترک و رهاسازی، و مراقبت‌های پس از آن.

۹-۵- ترک و رهاسازی مرحله‌ای

ترک و رهاسازی موفق معمولا روندی طـولانی مـدت دارد، کـه طـی آن، از دیـدگاه‌هـای اجرایـی و نگهـداری، انجـام اقداماتی با درجه‌های مختلف اهمیت، مورد نیاز خواهد بود. به همین دلیل، توصیه می‌شود ترک و رهاسـازی بخـش‌هـای مختلف طرح به‌طور تدریجی انجام شود، تا به این ترتیب، از سویی روش‌های کاراتر شناسایی شده و توسعه پیـدا کننـد، و از سوی دیگر، احتمال مواجهه با مشکلات پیش‌بینی نشده که می‌تواند موجـب تـاخیر در تـرک و رهاسـازی نهـایی شـود کاهش یابد.

۹-۶- واگذاری مسوولیت و بیمه

با اتمام عملیات معدن‌کاری و یا تمایل بهره‌بردار موجود معدن به واگذاری امتیاز مربوط به آن، فعالیت‌های مربـوط بـه ترک و رهاسازی سد پسماند، به عنوان بخشی از عملیات معدن‌کاری، باید بتواند زمینه‌ساز واگذاری هر نوع مسـوولیت بـه مالک یا اجاره کننده‌ی بعدی و یا سازمان‌های دولتی ذینفع در این زمینه نیز باشد. واگذاری مالکیت معدن و مسوولیت‌های مربوط به آن، مستلزم صدور تاییدیه‌هایی است که نشان‌دهنده‌ی دستیابی به اهداف عملکردی مقرر بـرای سـامانه‌ی دفـع پسماند ترک و رهاشده باشد. این امر می‌تواند مشتمل بر یک دوره‌ی پایش و مدیریت فعال، در چارچوب زمانی مورد توافق طرفین، که طی آن بتوان عملکرد سامانه را مورد ارزیابی قرار داد، نیز باشد. برای این که گروه ذینفعان مشتمل بر نماینده‌ی جامعه و کلیه‌ی ذینفعانی که اجرای طرح بر آن‌ها تاثیرگذار خواهد بود، مانند مالکان زمین‌ها، مقامات محلی، زیرساخت‌ها، محیط‌زیست، میراث‌های فرهنگی و نظایر آن‌ها، از تامین هزینه‌های مالی پـی‌آمـدهای احتمـالا نـامطلوب دوره‌ی تـرک و رهاسازی اطمینان حاصل نمایند، توصیه می‌شود استفاده‌ی از پوشش‌های بیمه‌ای مورد توجه قرار گیرد.

پیوست ۱

مدیریت ریسک، روش‌ها و الزامات

پ.۱-۱- مدیریت ریسک

مدیریت ریسک فرآیندی است که هدف آن کاهش امکان بروز آثار زیان‌آور یک فعالیت از طریق اقدام آگاهانه برای پیش‌بینی حوادث ناخواسته و برنامه‌ریزی برای اجتناب از آن‌ها می‌باشد. به عبارت دیگر، کلیه‌ی فرآیندهای مرتبط با شناسایی، تحلیل و پاسخگویی به هرگونه عدم اطمینان که شامل حداکثرسازی نتایج رخدادهای مطلوب و به حداقل رساندن پی‌آمد وقایع نامطلوب می‌باشد را می‌توان مدیریت ریسک نامید. در مراجع مختلف، مراحل مختلفی برای مدیریت ریسک درنظر گرفته شده است؛ به‌عنوان مثال بنا به اعتقاد چاپمن و وارد[1]، فرآیند مدیریت ریسک هر پروژه را می‌توان در مراحلی به شرح زیر طبقه‌بندی کرد:

۱- شناسایی جنبه‌های کلیدی پروژه
۲- تمرکز بر یک رویکرد راهبردی در مدیریت ریسک
۳- شناسایی زمان بروز ریسک‌ها
۴- تخمین ریسک‌ها و بررسی روابط میان آن‌ها
۵- تخصیص مالکیت ریسک‌ها و ارائه پاسخ مناسب
۶- تخمین میزان عدم اطمینان
۷- تخمین اهمیت رابطه‌ی میان ریسک‌های مختلف
۸- طراحی پاسخ‌ها و نظارت بر وضعیت ریسک
۹- کنترل مراحل اجرا

از سوی محققان دیگر در حوزه مدیریت ریسک، تقسیم‌بندی به شرح زیرنیز ارائه شده است:

۱- شناسایی عوامل موثر بر ریسک
۲- تخمین احتمال رخداد ریسک و میزان تاثیر آن
۳- ارائه راهکارهایی برای تعدیل ریسک‌های شناسایی شده
۴- نظارت بر عوامل موثر بر ریسک
۵- ارائه‌ی یک طرح احتمالی
۶- مدیریت بحران
۷- احیای بعد از بحران.

1- Project risk management, Processes, techniques, and insights, C. B. Chapman, Stephen Ward, Stephen C. Ward, Wiley, 2003 - 389 pages, ISBN: 0470853557, 9780470853559.

و یا در تقسیم‌بندی دیگر، مدیریت ریسک به صورت فرآیند مقابله با ریسک تعریف شده و آن شامل مراحل چهارگانه به شرح زیر دانسته شده است:

۱- برنامه‌ریزی ریسک

۲- ارزیابی (شناسایی و تحلیل) ریسک[۱]

۲-۱- شناسایی وقایعی که می‌توانند منجر به تخریب شوند

۲-۲- برآورد احتمال بروز وقایع مختلف

۲-۳- محاسبه‌ی احتمال تخریب

۲-۴- برآورد هزینه‌ی پی‌آمدهای تخریب و محاسبه‌ی ریسک

۳- توسعه روش‌های مقابله با ریسک

۴- نظارت بر وضعیت ریسک‌ها.

پ.۱-۱-۱- روال مدیریت ریسک

در بسیاری موارد، زمانی که فرض می‌شود پروژه‌ها تحت کنترل هستند، با ریسک به عنوان رخدادی شناخته نشده روبرو شده و تلاش می‌کنند آن را کنترل نمایند. هر چند ممکن است اکثر پروژه‌ها چنین رخدادهایی را به خوبی از سر بگذرانند، ولی با یک تلاش جامع مدیریت ریسک،می‌توان رویدادهای مخاطره‌آمیز را قبل از وقوع شناسایی و کنترل کرد و یا برنامه‌ای تهیه کردکه بتوان در زمان وقوع این رویدادها با آن‌ها مقابله نمود. با درنظر گرفتن این مفاهیم، امکان مقابله با ریسک به وجود می‌آید. لذا ابتدا باید نسبت به شناسایی ریسک‌های محتمل پروژه اقدام کرد؛ این کار با دسته‌بندی ساختار امکان‌پذیر است. شش گام اصلی در فرآیند یا روال مدیریت ریسک را می‌توان به شرح زیر خلاصه نمود:

۱- نخستین گام، ارائه تعریفی از مجموعه‌ی اهدافی است که پروژه از انجام فرآیند مدیریت ریسک به دنبال آن‌ها است.

۲- گام دوم، شناسایی ریسک‌ها است.

۳- در گام سوم، خسارت‌های بالقوه در طول دوره‌ی برنامه‌ریزی شده ارزیابی می‌شود.

۴- انتخاب بهترین ترکیب از ابزارهایی که در مقابله با مشکلات از آن‌ها می‌توان استفاده کرد.

۵- اجرای تصمیمات اتخاذ شده.

۶- جمع‌بندی نتایج اخذ شده در پنج گام نخست[۲].

1- Mason, P.J(2001) Risk management methodologies and dam engineering

۲- چستر آرتور ویلیامز،ریچارد دام هینز، مدیریت ریسک، دکتر داور ونوس،صحبت اله گودرزی، نگاه دانش، ۱۳۸۲، اول، ص ۴۵ و ۴۶.

ممکن است سوال‌های دیگری نیز به ذهن خطور کند که این سوال‌ها سرآغاز خوبی برای هدایت روال مدیریت ریسک در مسیر درست می‌باشد. پس از این مرحله تمام ریسک‌های شناسایی شده باید کمی‌شوند. ابتدا ریسک‌ها دسته‌بندی و سپس احتمال وقوع هریک تعیین می‌شود. برای تخصیص مقادیر احتمالی به ریسک‌ها می‌توان از مقادیر پیشنهادی زیر استفاده نمود:

قریب الوقوع = ۸۵٪

بالا = ۸۵٪

محتمل = ۶۰٪

متوسط = ۵۰٪

ممکن = ۴۰٪

پایین = ۱۵٪

غیرمحتمل = ۱۵٪

به این ترتیب احتمال وقوع هر ریسک قابل محاسبه است. معمولا داده‌های تجربی به اندازه‌ی کافی در دسترس نیست تا بتوان ارقام دقیق ارائه نمود؛ لذا معمولا افراد باسابقه‌ی کارکرد زیاد که تجارب جامعی از انواع رویدادها در پروژه‌های مختلف کسب کرده‌اند، مبادرت به اختصاص مقادیر احتمالی به ریسک‌ها می‌کنند ؛ مجموع درصدهای تخصیصی به رویدادها باید صد باشد.

در مرحله‌ی بعد به هر ریسک، یک مقدار (وزن) نسبت داده می‌شود. این مقدار می‌تواند در صورت نیاز برحسب هزینه، زمان یا مسایل فنی- اقتصادی باشد. با تشکیل سناریوهای مختلف ریسک و محاسبه حاصل‌ضرب مقادیر تخصیص داده شده به ریسک (وزن) و احتمال وقوع آن، می‌توان به مقدار حقیقی ریسک رسید. با توجه به نتایج حاصل، می‌توان نسبت به انجام عملی یا به تعویق انداختن هر سناریو، تصمیم‌گیری کرد. لازم به یادآوری است دنیای پیرامون، دنیای مخاطرات است و باید ریسک‌ها را شناسایی و تحلیل نمود.

پ.۱-۱-۲- ارزیابی احتمال خطر

در تحلیل ریسک بحث خطرپذیری و اعتمادپذیری مطرح می‌شود. در این راستا اگر p احتمال وقوع رخدادی خطرناک باشد، q احتمال عدم وقوع آن رخداد است و رابطه بین p و q به شرح معادله (پ.۱-۱) است.

$$q = 1 - p \qquad (پ.۱-۱)$$

حال، با درنظر گرفتن احتمال عدم وقوع آن پدیده خطرناک در n سال، می‌توان اعتمادپذیری را به شرح معادله (پ.۱-۲) تعریف نمود. با درنظر گرفتن معادله (پ.۱-۲) می‌توان احتمال خطرپذیری را نیز توصیف کرد. معادله (پ.۱-۳) به تشریح احتمال خطرپذیری پرداخته است.

$$R = (1 - p)^n \qquad (پ.۱-۲)$$

$$\bar{R} = 1 - R = 1 - \left[1 - P(X \geq x_T)\right]^n \qquad (پ.۱-۳)$$

به عنوان مثال می‌توان گفت ریسک هیدرولوژیکی شکست، چنانچه سیلی با دوره بازگشت بزرگ‌تر از دوره بازگشت طراحی (T) در طول عمر مفید طرح روی دهد، به شرح معادله (پ.۱-۳) خواهد بود.

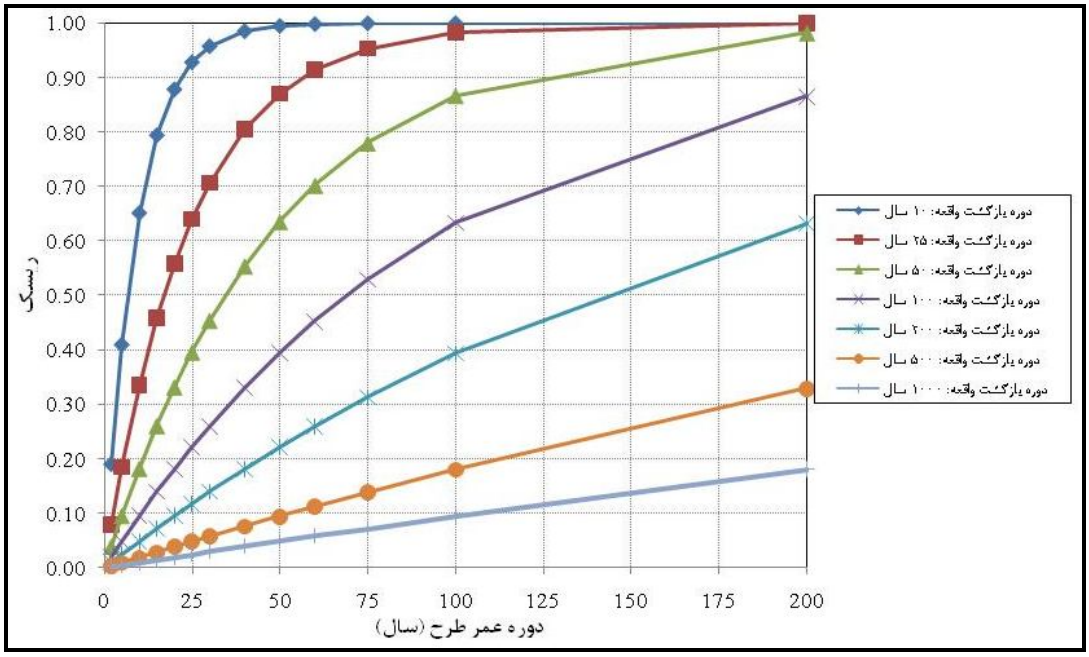
در معادله (پ.۱-۳)، $P(X \geq x_T) = 1/T$، n طول عمر طرح و $\bar{R}$ بیان کننده ریسکی است که واقعه $X \geq x_T$ حداقل یک بار در n سال عمر مفید، روی می‌دهد. اگر سری پیشامدها سالانه نباشد و به صورت سری با طول جزیی با میانگین k مشاهده در سال باشد، معادله فوق به شرح معادله (پ.۱-۴) اصلاح خواهد شد:

$$\bar{R} = 1 - \left[1 - P(X \geq x_{kT})\right]^{kn} = 1 - \left[1 - \frac{1}{kT}\right]^{kn} \qquad (پ.۱-۴)$$

با استفاده از این روابط، ریسک محاسبه شده و به ازای طول عمر مفید طرح و رخداد یک‌بار (k=1) و دوبار در سال (k=2) به ترتیب در جداول (پ.۱-۱) و (پ.۱-۲) و نیز شکل‌های (پ.۱-۱) و (پ.۱-۲) آورده شده است.

جدول پ.۱-۱- ریسک محاسبه شده به ازای دوره مفید طرح و دوره بازگشت- رخداد یک‌بار درسال

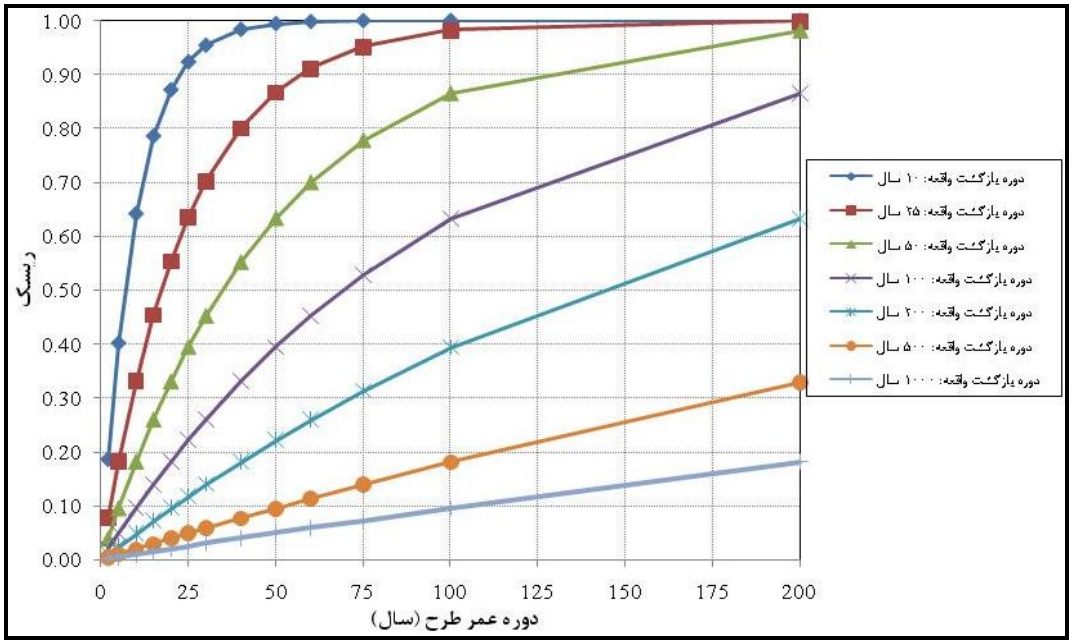
دوره عمر طرح (n)	ریسک به ازای دوره بازگشت و رخداد یک‌بار در سال						
	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰	۲۰۰	۵۰۰	۱۰۰۰
۲	۰/۱۹۰	۰/۰۷۸	۰/۰۴۰	۰/۰۲۰	۰/۰۱۰	۰/۰۰۴	۰/۰۰۲
۵	۰/۴۱۰	۰/۱۸۵	۰/۰۹۶	۰/۰۴۹	۰/۰۲۵	۰/۰۱۰	۰/۰۰۵
۱۰	۰/۶۵۱	۰/۳۳۵	۰/۱۸۳	۰/۰۹۶	۰/۰۴۹	۰/۰۲۰	۰/۰۱۰
۱۵	۰/۷۹۴	۰/۴۵۸	۰/۲۶۱	۰/۱۴۰	۰/۰۷۲	۰/۰۳۰	۰/۰۱۵
۲۰	۰/۸۷۸	۰/۵۵۸	۰/۳۳۲	۰/۱۸۲	۰/۰۹۵	۰/۰۳۹	۰/۰۲۰
۲۵	۰/۹۲۸	۰/۶۴۰	۰/۳۹۷	۰/۲۲۲	۰/۱۱۸	۰/۰۴۹	۰/۰۲۵
۳۰	۰/۹۵۸	۰/۷۰۶	۰/۴۵۵	۰/۲۶۰	۰/۱۴۰	۰/۰۵۸	۰/۰۳۰
۴۰	۰/۹۸۵	۰/۸۰۵	۰/۵۵۴	۰/۳۳۱	۰/۱۸۲	۰/۰۷۷	۰/۰۳۹
۵۰	۰/۹۹۵	۰/۸۷۰	۰/۶۳۶	۰/۳۹۵	۰/۲۲۲	۰/۰۹۵	۰/۰۴۹
۶۰	۰/۹۹۸	۰/۹۱۴	۰/۷۰۲	۰/۴۵۳	۰/۲۶۰	۰/۱۱۳	۰/۰۵۸
۷۵	۱/۰۰۰	۰/۹۵۳	۰/۷۸۰	۰/۵۲۹	۰/۳۱۳	۰/۱۳۹	۰/۰۷۲
۱۰۰	۱/۰۰۰	۰/۹۸۳	۰/۸۶۷	۰/۶۳۴	۰/۳۹۴	۰/۱۸۱	۰/۰۹۵
۲۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۰/۹۸۲	۰/۸۶۶	۰/۶۳۳	۰/۳۳۰	۰/۱۸۱



شکل پ.۱-۱- منحنی ریسک سیلاب برای دوره‌ی عمر مختلف طرح و دوره بازگشت مشخص- رخداد یک‌بار درسال

جدول پ.۱-۲- ریسک محاسبه شده به ازای دوره‌ی مفید طرح و دوره بازگشت- رخداد دوبار درسال

دوره عمر طرح (n)	ریسک به ازای دوره بازگشت و رخداد دوبار در سال						
	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰	۲۰۰	۵۰۰	۱۰۰۰
۲	۰/۱۸۵	۰/۰۷۸	۰/۰۳۹	۰/۰۲۰	۰/۰۱۰	۰/۰۰۴	۰/۰۰۲
۵	۰/۴۰۱	۰/۱۸۳	۰/۰۹۶	۰/۰۴۹	۰/۰۲۵	۰/۰۱۰	۰/۰۰۵
۱۰	۰/۶۴۲	۰/۳۳۲	۰/۱۸۲	۰/۰۹۵	۰/۰۴۹	۰/۰۲۰	۰/۰۱۰
۱۵	۰/۷۸۵	۰/۴۵۵	۰/۲۶۰	۰/۱۴۰	۰/۰۷۲	۰/۰۳۰	۰/۰۱۵
۲۰	۰/۸۷۱	۰/۵۵۴	۰/۳۳۱	۰/۱۸۲	۰/۰۹۵	۰/۰۳۹	۰/۰۲۰
۲۵	۰/۹۲۳	۰/۶۳۶	۰/۳۹۵	۰/۲۲۲	۰/۱۱۸	۰/۰۴۹	۰/۰۲۵
۳۰	۰/۹۵۴	۰/۷۰۲	۰/۴۵۳	۰/۲۶۰	۰/۱۳۹	۰/۰۵۸	۰/۰۳۰
۴۰	۰/۹۸۳	۰/۸۰۱	۰/۵۵۲	۰/۳۳۰	۰/۱۸۱	۰/۰۷۷	۰/۰۳۹
۵۰	۰/۹۹۴	۰/۸۶۷	۰/۶۳۴	۰/۳۹۴	۰/۲۲۱	۰/۰۹۵	۰/۰۴۹
۶۰	۰/۹۹۸	۰/۹۱۱	۰/۷۰۱	۰/۴۵۲	۰/۲۵۹	۰/۱۱۳	۰/۰۵۸
۷۵	۱/۰۰۰	۰/۹۵۲	۰/۷۷۹	۰/۵۲۹	۰/۳۱۳	۰/۱۳۹	۰/۰۷۲
۱۰۰	۱/۰۰۰	۰/۹۸۲	۰/۸۶۶	۰/۶۳۳	۰/۳۹۴	۰/۱۸۱	۰/۰۹۵
۲۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۰/۹۸۲	۰/۸۶۵	۰/۶۳۳	۰/۳۳۰	۰/۱۸۱



شکل پ.۱-۲- منحنی ریسک سیلاب برای دوره‌ی عمر مختلف طرح و دوره‌ی بازگشت مشخص- رخداد دوبار درسال

با درنظر گرفتن عمر مفید مورد انتظار و نیز ملاحظات فنی - اقتصادی و بازدیدهای صحرایی، رخداد (مثلا سیلاب) طراحی و رخداد کنترل طراحی (مثلا سیلاب کنترل طراحی) انتخاب خواهد شد.

پیوست ۲

مدیریت سطوح مختلف شدت صدمات و رده‌بندی مبتنی بر پی‌آمد

(بر اساس توصیه[1] ANCOLD و نشریه ضوابط انباشت باطله و مواد زاید در واحدهای کانه آرایی، وزارت صنعت، معدن و تجارت)

جدول پ.۲-۱- ارزیابی شدت صدمات

شدت صدمه / نوع صدمه	ناچیز	متوسط	بزرگ	فاجعه بار
زیر ساخت‌ها (سد، مناطق مسکونی، تجاری، مزارع، مراکز جمعیتی)	میلیارد ریال ۲۵۰ >	۲۵۰-۲۵۰۰ میلیارد ریال	۲۵۰۰۰ تا ۲۵۰۰ میلیارد ریال	بیش از بیست وپنج هزار میلیارد ریال*
فعالیت‌های اقتصادی (اشتغال)	برخی محدودیت‌ها	صدمات قابل توجه	توقف جدی	از هم پاشیدگی فعالیت‌های اقتصادی و ورشکستگی
تعداد افرادی که در مدت زمان بیش از یک سال تحت تاثیر خواهند بود بیش از ۱۰.۰۰۰ نفر	۱۰۰> تعداد افراد متاثر	۱۰۰-۱۰۰۰ تعداد افراد متاثر	تعداد افرادی که در مدت زمان بیش از یک ماه تحت تاثیر خواهد بود بیش از ۱۰۰۰ نفر	
بیش از ۱۰.۰۰۰ نفر ماه یا از بین رفتن مشاغل متعدد	کم‌تر از ۱۰۰ نفر و یا ۲۰ شغل ماه	۱۰۰ تا ۱۰۰۰ نفر، ۱۰ یا ۲۰ تا ۲۰۰ شغل ماه	بیش از هزار نفر ماه یا بیش از ۲۰۰ نفر شغل	
مساحت محدوده صدمه دیده	کم‌تر از ۱ کیلومترمربع	کم‌تر از ۵ کیلومترمربع	کم‌تر از ۲۰ کیلومتر مربع	بیش از ۲۰ کیلومتر مربع
صدمه به محیط‌زیست‌طبیعی	صدمات محدود به منابع طبیعی با ارزش کم مانند، اراضی تسطیح یا پاک‌سازی شده، رودخانه‌های فصلی، فون و فلور، که در معرض نابودی نیستند. بازسازی و مرمت میسر است.	اثرات‌قابل‌ملاحظه بر اراضی روستایی و فلورا وفونای محلی اثرات محدود بر الف: اقلام محلی و میراث طبیعی استان ب: گونه‌های گیاهی و جانوری بومی در جنگل‌ها، آبگیرها و مناطق حفاظت‌شده، یا زیستگاه‌های عبوری شناخته‌شده wet lands، یا محل تخم‌ریزی ماهی‌ها	اثرات گسترده در مناطق روستایی اثرات قابل ملاحظه در سامانه رودخانه‌ها و مناطق تعریف شده «الف» و «ب» اثرات محدود در «ج»: اقلام ملی یا نهایی میراث طبیعی «د»: گونه‌های گیاهی و جانوری بومی در پارک‌های ملی و حیات‌وحش شناخته شده land و مناطق آبی حفاظت شده‌ی ملی ترمیم با صعوبت همراه است	اثرات گسترده در مناطق «الف» و «ب» اثرات قابل توجه در مناطق «ج» و «د» ترمیم در برگیرنده اکوسیستم به‌شدت تغییر یافته خواهدبود

* نرخ برابری دلار به ریال (نرخ مبادله‌ای) در زمان تهیه گزارش (فروردین ۹۴) ۲۸۲۱۰ ریال (= ۱ دلار آمریکا) می‌باشد.

1- Australian National Committee on Large Dams, کمیته‌ی ملی سدهای بزرگ استرالیا

جدول پ.۲-۲- رده‌بندی مبتنی بر پی‌آمد

فاجعه بار	شدت صدمات و خسارات			جمعیت در معرض خطر
	بزرگ	متوسط	ناچیز	
زیاد- رده‌ی یک	قابل ملاحظه	کم	خیلی کم	کم‌تر از یک نفر
زیاد- رده‌ی دو	زیاد- رده‌ی یک	قابل ملاحظه*	قابل ملاحظه*	از یک نفر- تا ۱۰ نفر
زیاد- رده‌ی سه	زیاد- رده‌ی دو	زیاد رده‌ی- یک	زیاد- رده‌ی یک	۱۰ تا ۱۰۰ نفر
خیلی زیاد	زیاد- رده‌ی سه	زیاد رده‌ی- دو	(**)	۱۰۰تا ۱۰۰۰ نفر
خیلی زیاد	خیلی زیاد	(**)		بیش از هزار نفر

توضیح: شدت صدمات زیاد از رده‌ی یک به سه افزایش می‌یابد

* درصورتی‌که تلفات جانی بیش از یک نفر باشد به زیاد با رده‌ی یک تبدیل شود

** درصورتی‌که تعداد جمعیت در معرض خطر بیش از ۱۰۰ نفر باشد نامحتمل است که شدت صدمات و خسارات وارده ناچیز و یا متوسط باشد.

جدول پ.۲-۳- طبقه‌بندی خطرات مکان‌های انباشت باطله‌های فرآوری

نوع اثر یا آسیب		گروه‌بندی خطر یا آسیب		
		کم	حایز اهمیت	شدید
آزاد شدن کنترل نشده یا نشت مواد	- مرگ انسان‌ها	هیچ گونه آلودگی منابع آب شرب برای انسان وجود ندارد	شرایط مکانی به‌گونه‌ای است چندان بحرانی نبوده ولی آلودگی منابع آب شرب انسان امکان‌پذیر است. قابلیت مصرف آب شرب وجود دارد علی‌رغم آنکه توصیه نمی‌شود.	شرایط مکانی به‌گونه‌ای است که آلودگی منابع آب شرب انسان و مصرف آب آلوده قابل انتظار است.
	- مرگ دام	هیچ‌گونه آلودگی منابع آب شرب برای دام وجود ندارد.	شرایط مکانی به‌گونه‌ای است که چندان بحرانی نبوده ولی آلودگی منابع آب شرب دام امکان‌پذیر است. قابلیت مصرف آب شرب وجود دارد علی‌رغم آنکه توصیه نمی‌شود.	شرایط مکانی به‌گونه‌ای است که چندان بحرانی نبوده، ولی آلودگی منابع آب شرب دام امکان‌پذیر است. قابلیت مصرف آب شرب وجود دارد، علی‌رغم آنکه توصیه نمی‌شود.
	- آسیب‌های زیست‌محیطی	هیچ‌گونه اثرات یا تخریب قابل اهمیت زیست‌محیطی انتظار نمی‌رود.	اهمیت آسیب زیست‌محیطی زیاد نبوده علی‌رغم آنکه وقوع آن امکان‌پذیر است.	شرایط مکانی به‌گونه‌ای است که آسیب قابل توجه زیست‌محیطی انتظار می‌رود.
نقص در محل	- مرگ انسان‌ها	هیچ‌گونه مرگی انتظار نمی‌رود	هیچ‌گونه مرگی انتظار نمی‌رود ولی امکان آن وجود دارد. آلودگی شهری رخ نمی‌دهد و صرفا در حد آلودگی مجموعه‌های انسانی کوچک ساکن در منطقه پایین‌دست محل آلودگی می‌باشد.	مرگ انسان قابل پیش‌بینی است و دلیل آن حضور جمعیت‌ها و تجهیزات انسانی در محل است.
	- از دست رفتن مستقیم سرمایه	هیچ‌گونه خطر با اهمیت اقتصادی وجود ندارد، ولی آسیب محدود به زمین کشاورزی، جاده‌های فرعی، ساختارهای معدنی و غیره امکان‌پذیر است.	آسیب اقتصادی قابل توجه است (مانند تخریب جاده‌های فرعی، راه‌های آهن فرعی، تجهیزات نسبتا مهم انسانی و صرفا در محدوده ساکنین کم جمعیت پایین‌دست منطقه)	آسیب‌های اقتصادی بر جوامع صنایع، تجارت، کشاورزی، ماشین‌آلات، معدن و خود محل ذخیره باطله یا سایر مکان‌های ذخیره در پایین‌دست منطقه
	- از دست رفتن غیرمستقیم سرمایه	امکان تعمیرات و ترمیم وجود دارد و آسیب‌های غیرمستقیم چندان با اهمیت نیستند.	بازیابی و ترمیم سرمایه قابل انجام است.	بازسازی و ترمیم در حد قابلیت استفاده مجدد انجام‌پذیر نمی‌باشد.

پیوست ۳

سرفصل‌های نمونه برای تهیه گزارش‌های طراحی

۱- معرفی

۱-۱- پیشینه

۱-۲- مطالعات قبلی

۱-۳- هدف از مطالعات

۲- خلاصه‌ای از شرایط موجود

۲-۱- موقعیت

۲-۲- آب و هوا

۲-۳- هیدرولوژی

۲-۳-۱- بارش

۲-۳-۲- تبخیر

۲-۳-۳- رواناب

۲-۳-۴- سیلاب

۲-۳-۵- باد

۲-۴- زمین‌شناسی

۲-۵- ریسک لرزه‌ای

۲-۶- کیفیت پایه آب

۳- مشخصات پسماند

۳-۱- کلیات

۳-۲- اطلاعات بهره‌برداری

۳-۳- مشخصات فیزیکی

۳-۴- مشخصات ژئوشیمیایی مواد پسماند و مصالح باطله

۴- اختیارات در مدیریت پسماند

۴-۱- ملاحظات طراحی

۴-۲- گزینه‌های ارزیابی شده

۴-۲-۱- برنامه ترسیب پسماند

۴-۲-۲- برنامه ترک و رهاسازی

۵- انتخاب ساختگاه

۵-۱- انتخاب اولیه ساختگاه

۵-۲- انتخاب ساختگاه برتر

۶- بررسی‌های ژئوتکنیکی

۶-۱- بررسی‌های ژئوتکنیکی پیشین

۶-۲- ارزیابی مخاطرات گسل‌های سطحی

۶-۳- بررسی‌های ژئوتکنیکی

۶-۴- نتایج آزمایش‌های آزمایشگاهی

۶-۵- شرایط زیر سطحی

۷- زمین آبشناسی در موقعیت ساختگاه

۷-۱- هدایت هیدرولیکی

۷-۲- مدلسازی نشت

۷-۲-۱- ساخت مدل نشت

۷-۲-۲- کالیبراسیون مدل نشت

۷-۲-۳- تحلیل حساسیت مدل نشت

۸- کیفیت آب نشتی

۹- طراحی سامانه ذخیره پسماند

۹-۱- ملاحظات و مبانی طراحی

۹-۲- ملاک‌های طراحی

۹-۳- ملاحظات بهداشتی، ایمنی، محیط‌زیست و اجتماعی

۹-۴- جانمایی سامانه ذخیره پسماند

۹-۴-۱- مسیر و راستای سد

۹-۴-۲- الزامات انباشتگاه

۹-۴-۳- جانمایی‌های کلی

۹-۴-۴- حوضچه جمع‌آوری مقادیر نشتی

۹-۵- پیکربندی و وضعیت ترک و رهاسازی

۱۰- طراحی سد

۱۰-۱- کلیات

۱۰-۲- ساخت مرحله‌ای و طراحی ارتفاع آزاد

۱۰-۳- ناحیه‌بندی و مقاطع خاکریز

۱۰-۴- نشت و جریان‌های نشتی از سد

۱۰-۵- فیلتر

۱۰-۶- نشت پی

۱۰-۷- پایداری شیروانی

۱۰-۷-۱- اجرای مدل کلی پایداری

۱۰-۷-۲- پارامترهای مقاومتی در حالت موثر

۱۰-۷-۳- پارامترهای مقاومت در حالت زهکشی نشده برای خاک پی

۱۰-۷-۴- تحلیل و نتیجه‌گیری

۱۰-۷-۵- تغییر شکل تحت بارهای لرزه‌ای

۱۰-۸- مخزن جمع‌آوری جریانات نشتی

۱۰-۹- انتقال جریان‌های سیلابی

۱۰-۹-۱- زهکش‌های انحرافی

۱۰-۹-۲- سرریزهای اضطراری

۱۰-۱۰- ابزاربندی سد

۱۱- طراحی خطی

۱۱-۱- انتخاب نوع خطی

۱۱-۲- تغلیظ خطی و انتخاب بافت

۱۱-۳- اجرای خطی

۱۱-۴- زیرزهکشی

۱۱-۵- متعلقات ثانویه مربوط به مقادیر نشتی از انباشتگاه

۱۲- مدیریت آب

۱۲-۱- تعادل و بیلان آب مخزن

۱۲-۲- مدل بیلان آب انباشتگاه

۱۲-۳- نتایج تحلیل بیلان آب

۱۲-۳-۱- مرحله آغازین ساخت انباشتگاه

۱۲-۳-۲- مراحل بهره‌برداری

۱۲-۳-۳- ترک و مراحل پس از رهاسازی

۱۳- راهنمای بهره‌برداری

۱۳-۱- کلیات

۱۳-۲- بهره‌برداری از پسماندها

۱۳-۲-۱- اهداف

۱۳-۲-۲- افراد و متخصیصین
۱۳-۲-۳- تجهیزات
۱۳-۲-۴- فرونشانی پسماند
۱۳-۲-۵- بازیابی آب
۱۳-۲-۶- مخزن ذخیره مقادیر نشت
۱۳-۲-۷- مدیریت آب
۱۳-۲-۸- نگهداری
۱۳-۲-۹- بازرسی و رفتارسنجی
۱۳-۲-۱۰- ترفیع سد
۱۳-۳- برنامه‌ی ترسیب
۱۳-۳-۱- اهداف
۱۳-۳-۲- برنامه‌ریزی
۱۳-۳-۳- مراحل بهره‌برداری معمول
۱۳-۳-۴- آغاز و مراحل آغازین
۱۳-۴- ریسک بهره‌برداری و برنامه‌ریزی محتمل
۱۴- اجرا
۱۴-۱- برنامه زمان‌بندی ساخت مرحله‌ای
۱۴-۲- مصالح مورد نیاز برای ساخت
۱۴-۲-۱- خاکریز
۱۴-۲-۲- سنگریز
۱۴-۳- آماده‌سازی پی
۱۴-۴- ساخت مرحله‌ای
۱۴-۵- راه‌های دسترسی
۱۴-۶- حوضچه جمع‌آوری مقادیر نشتی
۱۴-۷- نصب و راه اندازی تجهیزات خطی و زیرزهکشی‌ها
۱۴-۸- کنترل مقادیر سیلت.
۱۴-۹- تخمین مقادیر
۱۴-۱۰- نقشه‌های طراحی و مشخصات فنی
۱۵- ترک، رهاسازی، نوتوانی و احیاء

۱۵-۱- روند اصلی فعالیت‌های مربوط به ترک

۱۵-۲- نگهداری و پایش بلند مدت

۱۵-۳- مدیریت آب

۱۶- جمع‌بندی

۱۷- مراجع

پیوست ۴

سرفصل‌های نمونه برای تهیه گزارش‌های بازرسی

۱- معرفی

۲- سازمان

۲-۱- سازمان و ارتباطات

۲-۲- مسوولیت‌ها

۲-۲-۱- مالک

۲-۲-۲- مامور اجرا

۲-۲-۳- کارشناس (مهندس)

۲-۲-۴- پیمانکار

۲-۳- مدیریت ایمنی در کارگاه

۳- برنامه و روال کنترل کیفیت (QC)

۳-۱- کلیات

۳-۲- الزامات پایش و نظارت

۳-۳- الزامات نمونه‌برداری و آزمایش

۳-۳-۱- کنترل روند انجام آزمایش‌ها

۳-۳-۲- هویت بخشی به نمونه‌ها

۳-۳-۳- روند نمونه‌برداری

۳-۳-۴- نگهداری و محافظت از نمونه‌ها

۳-۳-۵- ثبت روند انجام آزمایش‌ها

۳-۳-۶- انجام آزمون‌های مشاهداتی و آزمایشی

۳-۳-۷- مستندسازی نتایج آزمون‌های آزمایشی

۳-۳-۸- تواتر آزمایش‌ها

۳-۴- مستندسازی و مدیریت ثبت داده‌ها

۳-۴-۱- آزمون‌های مشاهداتی و آزمایشی

۳-۴-۲- ثبت اطلاعات نظارتی

۳-۴-۳- مستندسازی

۴- روند برنامه تضمین کیفیت (QA)

۴-۱- کلیات

۴-۲- الزامات بازرسی و نظارت

۴-۳- مستندسازی

۴-۳-۱- نگهداری از اطلاعات ثبت شده

۴-۳-۲- اطلاعات مربوط به نظارت

۴-۳-۳- گزارش نظارت روزانه

۴-۳-۴- اصلاحات مربوط به مستندسازی

۴-۴- حدود قابل قبول و مجاز

۴-۵- بازبینی آزمون‌های QA

۴-۶- تغییر در طراحی

۴-۷- مواد و مصالح جایگزین

۴-۸- آزمون‌های مستقل

۴-۹- ثبت وقایع به صورت تصویری

۴-۱۰- مستندسازی همچون ساخت

۵- نظارت بر اجرای مراحل مختلف

۵-۱- کلیات

۵-۲- کارهای خاکی

۵-۲-۱- کلیات

۵-۲-۲- آماده‌سازی پی

۵-۲-۳- آماده‌سازی بستر برای ژئوسنتتیک‌ها

۵-۲-۴- خاکریزی

۵-۲-۵- منطقه هسته

۵-۲-۶- منطقه فیلتر

۵-۲-۷- لایه انتقالی

۵-۲-۸- پوسته

۵-۲-۹- زهکشی‌ها

۵-۲-۱۰- بسترسازی برای لایه محافظ

۵-۲-۱۱- لایه محافظ (ریپ رپ)

۵-۲-۱۲- مصالح لایه فوقانی

۵-۳- ژئوسنتتیک‌ها

۵-۳-۱- کلیات

۵-۳-۲- ژئوتکستایل

۵-۴- بتن

۵-۵- خطوط لوله وجزییات مربوط

۵-۶- ابزاربندی ژئوتکنیکی

۶- روند انجام آزمایش‌ها

۶-۱- کلیات

۶-۲- کارهای خاکی

۶-۳- ژئوتکستایل

۶-۴- بتن

۶-۵- خط لوله و جزییات مربوط

۷- گزارش دهی

۷-۱- گزارش روزانه نظارت

۷-۲- گزارش پیشرفت دو هفتگی

۷-۳- گزارش ساخت

۸- منابع و مراجع

۹- گواهی و تایید نامه

جداول

- جدول (۵-۱) برنامه زمان‌بندی حداقل برای کنترل کیفیت / تضمین کیفیت کارهای خاکی

نمودارها

- چارت سازمانی

پیوست‌ها

- A: روند ساده اجرای کار و انجام عملیات
- B: سامانه تجهیز کارگاه
- C: فرم‌ها

پیوست ۵

سرفصل‌های نمونه برای خلاصه گزارش سالانه‌ی مدیریتی بازرسی سد

- خلاصه گزارش
- نتیجه‌گیری
- توصیه‌ها
- نقشه‌های موقعیت جغرافیایی و دسترسی

پ.۵-۱- فهرست مطالب

۱- دامنه‌ی بازرسی‌ها
۲- اطلاعات پایه
۲-۱- اهداف طرح
۲-۲- موقعیت
۲-۳- نوع سد
۲-۴- ارتفاع
۲-۵- طول تاج
۲-۶- حجم ذخیره
۲-۷- رده سد در طبقه‌بندی مبتنی بر پی‌آمد
۲-۷-۱- شکست سد
۲-۷-۱-۱- جریان مواد پسماند
۲-۷-۱-۲- جریان آب مازاد
۲-۷-۲- تخلیه خارج از کنترل
۲-۷-۲-۱- جریان مواد پسماند
۲-۷-۲-۱- جریان آب مازاد
۲-۷-۳- گرد و غبار و گاز
۲-۸- مجاری خروجی
۲-۹- نوع سرریز
۲-۱۰- مبنای هیدرولوژیک
۳- بازرسی
۳-۱- جزییات
۳-۱-۱- نام و صلاحیت‌های تخصصی تیم بازرسی
۳-۱-۲- تاریخ

۳-۱-۳- شرایط جوی

۳-۱-۴- تراز حامل و مخزن

۳-۱-۵- ارتفاع آزاد موجود

۳-۱-۶- ظرفیت موجود ذخیره‌سازی

۳-۲- شرایط خاکریز، پی و جناحین

۳-۲-۱- نام و صلاحیت‌های تخصصی تیم بازرسی

۳-۲-۲- روگذری‌ها (مواد پسماند، شکست مجاری، انسداد سرریز)

۳-۲-۳- وجود سوراخ یا لانه در بدنه‌ی خاکریز (لانه‌ی موریانه، موش و...)

۳-۲-۴- صدمات گیاهی (وجود ریشه در خاک)

۳-۲-۵- تجمع گیاه بر سطح

۳-۲-۶- فرسایش

۳-۲-۷- ترک

۳-۲-۸- چاله‌های فرورفته و فروچاله (Sinkhole)

۳-۲-۹- جوشش خاک

۳-۲-۱۰- رگ‌آب

۳-۲-۱۱- فرونشست

۳-۲-۱۲- نشت

۳-۲-۱۳- تغییر شکل‌های قائم (نشست)

۳-۲-۱۴- جابجایی‌ها (برای بدنه‌ی خاکریز)

۳-۲-۱۵- تغییر محورها (برای بدنه‌ی خاکریز)

۳-۲-۱۶- تاریخچه‌ی (قدیمی به جدید، در حال وقوع) مربوط به هر یک از موارد یاد شده

۳-۳- شرایط سرریز

۳-۳-۱- پایداری

۳-۳-۲- وضعیت فولادگذاری‌ها

۳-۳-۳- فرسایش

۳-۳-۴- انسداد

۳-۳-۵- جابجایی

۳-۳-۶- تاریخچه‌ی (قدیمی ـ جدید، در حال وقوع) موارد یاد شده

۳-۴- وضعیت سامانه‌ی استهلاک انرژی و پایاب سرریز

۳-۵- وضعیت عملکردی سامانه

۳-۵-۱- آرایش لوله‌گذاری تخلیه‌ی مواد پسماند

۳-۵-۲- سامانه‌های ورودی و خروجی سد (لوله‌های ورودی و آبگیرها)

۳-۵-۳- سامانه‌ی تخلیه سیلاب

۳-۵-۴- تجهیزات برقی و مکانیکی

۳-۶- پایش

۳-۶-۱- انواع دستگاه‌های ابزار دقیق و برنامه‌ی قرائت دستگاه‌ها

۳-۶-۲- نتایج اندازه‌گیری‌ها و تاریخچه‌ی آن‌ها

۳-۶-۲-۱- نشت (کمیت و کیفیت)

۳-۶-۲-۲- فشارهای منفذی

۳-۶-۲-۳- آب‌های زیرزمینی (تراز ـ کیفیت)

۳-۶-۲-۴- تغییر شکل‌ها

۳-۶-۲-۵- بارندگی

۳-۶-۲-۶- تراز مخزن (ساحل و دریاچه)

۳-۶-۲-۷- تحکیم و خشک شدن

۳-۶-۳- روند تغییرات هر یک از موارد یاد شده و اثرات متقابل هر یک بر دیگری

۳-۷- تطابق بازرسی‌ها و پایش‌ها با ضوابط و معیارهای قانونی موجود و همچنین دستورالعمل‌های بهره‌برداری و نگهداری ارایه شده توسط بخش‌های طراحی و مهندسی

۳-۸- بررسی نتایج گزارش‌های تهیه شده بین دو مرحله‌ی بازرسی

۳-۹- پیش‌آمدها و عکس‌العمل‌های مربوط به هر یک

۳-۱۰- تغییرات در برنامه‌های توسعه‌ی طرح مدیریت، بهره‌برداری، کارکنان، و اثرات احتمالی آن‌ها بر ایمنی سد

۳-۱۱- نتایج اقدامات انجام شده بر اساس توصیه‌های ارایه شده در گزارش‌های بازرسی پیشین

۴- اطلاعات در مورد فعالیت‌های معدن، اثرات آن‌ها برسد.

۵- نتیجه‌گیری

۶- اعلام نظر در خصوص ایمنی سد

۷- نقشه‌ها

۷-۱- ساختگاه

۷-۲- جانمایی عمومی

۷-۳- مقاطع

۷-۴- سرریز

۷-۵- آبگیر

۸- عکس‌ها

۹- خلاصه‌ی اطلاعات مربوط به ابزار دقیق

پیوست ۶

مقادیر مجاز آلودگی‌ها و عناصر مختلف در مصارف شرب، صنعت و کشاورزی

برگرفته از:

- راهنمای طبقه‌بندی کیفیت آب خام، پساب‌ها وآب های برگشتی برای مصارف صنعتی و تفرجی، ضابطه شماره ۴۶۲، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور (۱۳۸۸).
- استاندارد کیفیت آب آشامیدنی، سازمان برنامه و بودجه، دفتر تحقیقات و معیارهای فنی، نشریه شماره ۳-۱۱۶، ۱۳۷۱.

جدول پ. ۶-۱- حداکثر غلظت توصیه شده برای عناصر کمیاب در آبیاری (FAO, 1985)

عنصر	حداکثر غلظت توصیه شده میلی‌گرم بر لیتر	توضیحات
آلومینیم، Al	۵	می‌تواند موجب عدم تولید در خاک‌های اسیدی (pH<5.5) شود، اما در خاک‌های قلیایی با pH>7 می‌تواند یون را رسوب داده و هر نوع سمیت را حذف کند.
آرسنیک، As	۰/۱	سمیت برای گیاهان مختلف بسیار متفاوت است. از mg/lit ۱۲ برای علف سودانی تا کم‌تر از mg/lit ۵٪ برای برنج.
بریلیوم، Be	۰/۱	سمیت برای گیاهان مختلف بسیار متفاوت است. از mg/lit ۵ برای Kale تا کم‌تر از mg/lit برای bush beans
کادمیوم، Cd	۰/۰۱	در غلظت‌های تا mg/lit ۰/۱ برای tunips، beets، beans در محلول‌های غذایی سمی است. محدوده‌های محافظه‌کارانه توصیه شده ناشی از پتانسیل تجمع در گیاه و خاک تا حدی که برای انسان خطرناک باشد، تعیین شده‌اند.
کبالت، Co	۰/۰۵	در غلظت mg/lit ۰/۱ در محلول‌های غذایی برای گوجه‌فرنگی سمی است. در خاک‌های خنثی و قلیایی تمایل به بی‌اثر شدن دارد.
کرم، Cr	۰/۱	به‌طور معمول به‌عنوان یک عنصر ضروری شناخته نشده است. به‌دلیل فقدان معلومات در مورد سمیت ان برای گیاهان محدوده محافظه‌کارانه‌ای توصیه شده است.
مس، Cu	۰/۲	در غلظت‌های mg/lit ۰/۱ تا mg/lit ۱ برای برخی گیاهان در محلول‌های غذایی سمی است.
فلوراید، F	۱	توسط خاک‌های خنثی و قلیایی بی‌اثر می‌شود.
آهن، Fe	۵	در خاک‌های هوازی سمیتی برای گیاهان ندارد، اما در اسیدی کردن خاک و از دست دادن قابلیت دسترسی عناصر مورد نیاز فسفر و مولیبدن نقش دارد. آبیاری بارانی بیش از حدا ممکن است منجر به نشست آن بر روی گیاهان، تجهیزات و سازه‌ها شود.
لیتیم، Li	۲/۵	تا غلظت mg/lit توسط اکثر گیاهان تحمل می‌شود. برای مرکبات در غلظت‌های کم (کم‌تر از ۰/۰۷۵ میلی‌گرم بر لیتر) سمی است.
منگنز، Mn	۰/۲	برای برخی گیاهان درغلظت‌های چند دهم تا چند میلی‌گرم بر لیتر سمی است، اما اغلب در خاک‌های اسیدی.
مولیبدن، Mo	۰/۰۱	در غلظت‌های معمول در خاک و آب برای گیاهان سمی نیست. در صورت وجود غلظت‌های بالای مولیبدن در خاک می‌تواند برای دام‌ها در سنین رشد سمی باشد.
نیکل، Ni	۰/۲	در غلظت‌های mg/lit ۰/۵ تا mg/lit ۱/۰ بر تعدادی از گیاهان تاثیر دارد. در خاک‌های خنثی و قلیایی سمیت کاهش می‌یابد.
پالادیم، Pd	۵	در غلظت‌های خیلی بالا می‌تواند از رشد سلول گیاهی جلوگیری کند.
سلنیم، Se	۰/۰۲	در غلظت‌های کم تا حد mg/lit ۰/۰۲۵ برای گیاهان سمی است و در صورت وجود غلظت‌های بالای سلنیم در خاک می‌تواند برای دام‌ها در سنین رشد سمی باشد. در غلظت‌های بسیار کم یک عنصر ضروری برای دام‌ها است.
قلع، Sn	-	-
تیتانیوم، Ti	-	به‌طور موثری توسط گیاهان دفع می‌شود. میزان قابل تحمل نامعلوم است.
تنگستن، W	-	-
وانادیم، V	۰/۱	در غلظت‌های نسبتا پایین برای بسیاری از گیاهان سمی است.
روی، Zn	۰/۲	در غلظت‌های بسیار متفاوت برای بسیاری از گیاهان سمی است. در خاک‌های با pH>6 و در خاک‌های با بافت ریز یا آلی سمیت آن کاهش می‌یابد.

جدول پ.۶-۲- کیفیت آب مورد نیاز برای فرآیندهای صنایع نساجی و چرم‌سازی بر حسب میلی‌گرم بر لیتر

شاخص	پنبه، پشم و مواد مصنوعی				ویسکوز، ریون	چرم‌سازی		
	آهارزنی	شستشو	سفید کردن	رنگرزی	ساخت خمیر	فرایند	پرداخت	رنگرزی
آهن	<۰/۳	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۰۵	–	<۰/۳	<۰/۱
منگنز	<۰/۰۵	<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۳	–	<۰/۲	<۰/۰۱
مس	<۰/۰۵	<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۵	<۰/۰۵	–	–
جامدات محلول	<۱۰۰	<۱۰۰	<۱۰۰	<۱۰۰	<۱۰۰	<۲۵۰	–	–
جامدات معلق	<۵	<۵	<۵	<۵	–	–	–	۰
سختی	-	<۲۵	<۲۵	<۲۵	<۸	<۱۵۰	–	۰
پنبه pH	۶/۵-۱۰	۹-۱۰/۵	۲-۱۰/۵	۷/۵-۱۰	–	۶-۸ –	۶-۸ –	۶-۸ –
مواد مصنوعی	۶/۵-۱۰	۳-۱۰/۵	–	۶/۵-۷/۵	–	–	–	–
پشم	۶/۵-۱۰	۳-۵	۲/۵-۶	۳/۵-۶	–	–	–	–
ویسکوز	–	–	–	–	–	–	–	–
رنگ (HU)	<۵	<۵	<۵	<۵	<۵	<۵	<۵	<۵
کدورت (Ntu)	–	–	–	–	<۵	–	–	۰
آلومینیوم	–	–	–	–	<۸	–	–	–
سیلیکا	–	–	–	–	<۲۵	–	–	–
قلیاییت	–	–	–	–	<۵۰	<۱۳۰	–	–
کلراید	–	–	–	–	–	<۲۵۰	<۲۵۰	–
سولفات	–	–	–	–	–	<۲۵۰	<۲۵۰	–
کلسیم	–	–	–	–	–	<۶۰	–	–
منیزیم	–	–	–	–	–	–	–	–

جدول پ.۶-۳- کیفیت آب مورد نیاز برای سامانه‌های خنک کننده و صنایع فولاد بر حسب میلی‌گرم بر لیتر

شاخص	سامانه‌های خنک‌کننده				صنایع فولاد				
	خنک‌کننده یک‌طرفه		خنک‌کننده چرخشی باز		نوردگرم، کونچ، تمیزکننده گاز	نورد سرد	آب شستشو نرم	آب شستشو دمین	ساخت فولاد
	شیرین	شور*	شیرین	شور					
سیلیکا	<۵۰	<۲۵	<۵۰	<۲۵	–	–	–	–	–
آلومینیوم	–	–	<۰/۱	<۰/۱	–	–	–	–	–
آهن	–	–	<۰/۵	<۰/۵	–	–	–	–	–
منگنز	–	–	<۰/۵	۰/۰۲	–	–	–	–	–
کلسیم	<۲۰۰		<۵۰	<۴۲۰	–	–	–	–	–
بی کربنات	<۶۰۰	<۱۴۰	<۲۴	<۱۴۰	–	–	–	–	–
سولفات	<۶۸۰	<۲۷۰۰	<۲۰۰	<۲۷۰۰	<۲۰۰	<۲۰۰	<۲۰۰	–	<۱۷۵
کلراید	<۶۰۰	<۱۹۰۰۰	<۵۰۰	<۱۹۰۰۰	<۱۵۰	<۱۵۰	<۱۵۰	۰	<۱۵۰
مواد محلول	<۱۰۰۰	<۳۵۰۰۰	<۵۰۰	<۳۵۰۰۰	–	–	۰	۰	–
سختی	<۸۵۰	<۶۲۵۰	<۶۵۰	<۶۲۵۰	–	–	<۱۰۰	<۰/۱	<۵۰
قلیاییت	<۵۰۰	<۱۱۵	<۳۵۰	<۱۱۵	–	–	–	<۰/۵	–
اکسیژن خواهی شیمیایی	<۷۵	<۷۵	<۷۵	<۷۵	–	–	–	–	–
مواد معلق	–	–	<۱۰۰	<۱۰۰	<۲۵	<۱۰	۰	۰	–
مواد قابل ته نشینی	–	–	–	–	<۱۰۰	<۵	۰	۰	–
دما (°C)	–	–	–	–	<۳۸	<۳۸	<۳۸	<۳۸	<۳۸

ادامه جدول پ.۶-۳- کیفیت آب مورد نیاز برای سامانه‌های خنک کننده و صنایع فولاد بر حسب میلی‌گرم بر لیتر

شاخص	سامانه‌های خنک‌کننده				صنایع فولاد			
	خنک‌کننده یک‌طرفه		خنک‌کننده چرخشی باز		نوردگرم، کونچ، تمیزکننده گاز	نورد سرد	آب شستشو نرم	آب شستشو دمین	ساخت فولاد
	شیرین	شور*	شیرین	شور					
روغن	-	-	-	-	-	عاری	عاری	عاری	عاری
مواد شناور	عاری	-	عاری	-	عاری	عاری	عاری	عاری	عاری
pH	۵ -۸/۳	-	۶ -۹	-	۵ -۹	۵ -۹	۶ -۹	-	۶/۸ -۷
* شور: TDS >۱۰۰۰									

جدول پ.۶-۴- کیفیت آب مورد نیاز برای فرآیندهای صنایع شیمیایی بر حسب میلی‌گرم بر لیتر

شاخص	قلیایی و ترکیبات کلردار	شیمیایی آلی	شیمیایی غیرآلی	پلاستیک روشن و رزین	لاستیک	دارویی	صابون و دترجنت
رنگ (HU)	<۱۰	<۵	<۵	<۵	<۲	<۲	<۵
قلیاییت	<۸۰	<۱۲۵	<۷۰	<۱	<۲	<۲	<۵۰
کلراید	-	<۲۵	-	۰	۰	۰	<۴۰
سختی	<۱۲۰	<۱۰۰	<۲۵۰	۰	۰	۰	<۷۵
آهن	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۰۰۵	<۰/۰۰۵	<۰/۰۰۵	<۰/۱
منگنز	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	۰/۰۰۵	<۰/۰۰۵	<۰/۰۰۵	<۰/۱
PH	۶ -۸/۵	۶/۵ -۸/۷	۶/۵ -۷/۵	۶/۵ -۷/۵	۷/۵ -۸/۵	۷/۵ -۸/۵	۷/۵ -۸/۵
سولفات	-	<۷۵	<۹۰	۰	۰	۰	<۱۰۰
جامدات محلول	-	<۱۵۰	<۴۲۵	<۱	<۲	<۲	<۲۰۰
مواد معلق	<۱۰	<۵	<۱۰	<۲	<۲	<۲	<۵
سیلیکا	-	-	-	<۰/۰۲	<۰/۰۲	<۰/۰۲	-
کلسیم	<۴۰	<۵۰	<۶۰	۰	۰	۰	<۳۰
منیزیم	<۸	<۱۲	<۲۵	۰	۰	۰	<۱۲
بی‌کربنات	<۱۰۰	<۱۲۸	<۲۱۰	<۰/۱	<۰/۵	<۰/۵	<۶۰

جدول پ.۶-۵- کیفیت آب مورد نیاز برای فرآیندهای صنایع شیمیایی، پتروشیمی و سیمان بر حسب میلی‌گرم بر لیتر

شاخص	صنایع شیمیایی			صنایع سیمان	پتروشیمی
	رنگ	چسب	کود		
رنگ (HU)	<۵	<۲۰	<۱۰	-	-
قلیاییت	<۱۰۰	<۲۰۰	<۱۷۵	<۴۰۰	-
کلراید	<۳۰	<۵۰۰	<۵۰	<۲۵۰	<۳۰۰
سختی	<۱۰۰	<۹۰۰	<۲۵۰	<۵۰۰	<۳۵۰
آهن	<۰/۱	<۰/۳	<۰/۲	<۲۵	<۱
منگنز	<۰/۱	<۰/۳	<۰/۲	<۰/۵	-
pH	-	۶/۵-۸	۶/۵-۸	۶/۵-۸/۵	۶-۹
سولفات	<۱۲۵	<۳۰۰	<۱۵۰	<۳۵۰	-
جامدات محلول	<۱۵۰	<۱۰۰۰	<۳۰۰	<۶۰۰	<۱۰۰۰
مواد معلق	<۵	<۳۰	<۱۰	<۵۰۰	<۱۰
سیلیکا	-	<۵۰	<۲۵	<۳۵	-
کلسیم	<۳۷	<۱۰۰	<۴۰	-	-
منیزیم	<۱۵	<۵۰	<۲۰	-	<۷۵
بی‌کربنات	<۱۲۵	<۲۵۰	<۲۱۰	-	-

جدول پ.۶-۶- کیفیت آب مورد نیاز برای فرآیندهای صنایع تولید کاغذ و مقوا بر حسب میلی‌گرم بر لیتر

شاخص	صنایع کاغذ و مقوا					
	کاغذ مرغوب	خمیر چوب	کرافت		خمیر شیمیایی	
			سفید شده	سفید نشده	سفید شده	سفید نشده
pH	–	۶ -۸	–	–	۶ -۸	۶ -۸
رنگ (HU)	<۵	<۳۰	<۲۵	<۱۰۰	<۱۰	<۱۰۰
کدورت (NTU)	<۵	<۲۰	<۴۰	<۱۰۰	<۱۰	<۲۰
منیزیم	<۲۰	<۲۰	–	–	<۲۰	<۲۰
آهن	<۰/۱	<۰/۳	<۰/۲	<۱	<۰/۱	<۱
منگنز	<۰/۰۵	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۵	<۰/۰۵	<۰/۵
کلراید	–	<۷۵	<۷۵	<۲۰۰	<۷۵	<۲۰۰
سیلیکا	<۲۰	<۵۰	<۵۰	<۱۰۰	<۲۰	<۵۰
سختی	<۱۰۰	<۲۰۰	<۱۰۰	<۲۰۰	<۲۰۰	<۱۰۰
قلیاییت	<۴۰	<۱۵۰	<۷۵	<۱۵۰	<۷۵	<۱۵۰
مواد محلول	<۲۰۰	<۵۰۰	<۳۰۰	<۵۰۰	<۲۰۰	<۵۰۰
مواد معلق	<۱۰	–	–	–	<۱۰	<۱۰
دما	–	–	–	–	<۳۶	–
دی‌اکسیدکربن	<۱۰	–	–	<۱۰	<۱۰	–
کلر باقی مانده	<۲	–	–	–	–	–

جدول پ.۶-۷- کیفیت آب مورد نیاز برای فرآیندهای صنایع غذایی بر حسب میلی‌گرم بر لیتر

شاخص	صنایع غذایی							
	نان	نوشیدنی‌های کربنی	شیرینی‌جات	لبنیات	غذای کنسرو	فرایندهای عمومی	شکر	یخ
pH	–	<۶/۹	۷>	–	۶/۵ -۸/۵	–	–	–
رنگ(HU)	<۱۰	<۱۰	–	۰	<۵	<۲۰	–	<۵
کدورت (NTU)	<۱۰	<۲	–	–	<۱۰	<۱۰	–	<۵
مواد معلق	–	–	<۵۰	<۵۰۰	<۱۰	–	۰	–
مواد محلول	–	<۸۵۰	<۱۰۰	<۵۰۰	<۵۰۰	<۸۵۰	–	<۳۰۰
کلسیم	–	۲۵۰	–	–	<۱۰۰	–	<۲۰	–
منیزیم	–	–	–	–	–	–	<۱۰	<۰/۲
آهن	<۰/۲	<۰/۲	<۰/۲	<۰/۳	<۰/۲	<۰/۲	<۰/۱	<۰/۲
منگنز	<۰/۲	<۰/۲	<۰/۲	<۰/۲	<۰/۲	<۰/۲	<۰/۱	–
مس	–	–	–	۰	–	–	–	–
آمونیوم	–	–	–	ناچیز	<۰/۵	–	–	–
بی کربنات	–	–	–	–	–	–	<۱۰۰	<۵۰
سولفات	–	<۲۰۰	–	<۶۰	<۲۵۰	–	<۲۰	–
کلراید	–	<۲۵۰	<۲۵۰	–	<۲۵۰	–	<۲۰	–
نیترات	–	–	–	<۲۰	<۱۰	–	–	–
فلوراید	–	<۰/۲ -۱	–	–	<۱	<۱	–	–
سیلیکا	–	۰	–	–	<۵۰	<۱۰۰	–	–
سختی	–	<۲۵۰	–	<۱۸۰	<۲۵۰	<۲۵۰	<۱۰۰	<۷۰
قلیاییت	–	<۱۳۰	–	–	<۲۵۰	<۲۵۰	–	<۱۵۰
نیتریت	–	–	–	–	۰	۰	–	–
COD	–	--	–	<۱۲	–	–	–	–

جدول پ.۶- ۸- کیفیت آب مورد نیاز برای بویلر بر حسب میلی‌گرم بر لیتر

شاخص	بویلر		
	کم فشار (<۱۵۰ Psig)	فشار متوسط (۱۵۰ -۷۰۰ Psig)	پر فشار (>۷۰۰ Psig)
سیلیکا	<۳۵	<۱۰	<۰/۷
آلومینیوم	<۵	<۰/۱	<۰/۰۱
آهن	<۱	<۰/۳	<۰/۰۵
منگنز	<۰/۳	<۰/۱	<۰/۰۱
کلسیم	-	<۰/۴	<۰/۰۱
منیزیم	-	<۰/۲۵	<۰/۰۱
آمونیاک	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱
بی‌کربنات	<۱۷۰	<۱۲۰	<۴۸
جامدات محلول	<۷۰۰	<۵۰۰	<۲۰۰
مس	<۰/۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵
روی	<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۷
سختی	<۳۵۰	<۱	-
قلیاییت	<۳۵۰	<۱۰۰	<۴۰
pH	۷-۱۰	۸/۲-۱۰	۸/۲-۹
اکسیژن خواهی شیمیایی	<۱۵	<۵	<۱
اکسیژن محلول	<۲/۵	<۰/۰۰۷	<۰/۰۰۰۷
مواد معلق	<۱۰	<۵	<۰/۵

جدول پ.۶-۹- حدود مجاز ویژگی‌های فیزیکی آب آشامیدنی

ویژگی	حداکثر مطلوب	حداکثر مجاز
رنگ (Pt-Co)	۵	۲۰
بو	غیر قابل اعتراض	-
PH	کم‌تر از ۷ یا بیش‌تر از ۸٫۵ نباشد	کم‌تر از ۶/۵ یا بیش‌تر از ۹/۲ نباشد
تیرگی (JTU)	۵	۲۵

جدول پ.۶-۱۰- حدود مجاز مواد شیمیایی محلول در آب آشامیدنی

نام ماده			حداکثر مطلوب (mg/l)	حداکثر مجاز (mg/1)
مواد سمی:				
آرسنیک	بر حسب	As	۰	۰/۰۵
باریم	"	Ba	۰	۱
بر	"	B	۰	۱
کادمیم	"	Cd	۰	۰/۰۱
کروم (۶)	"	Cr^{+6}	۰	۰/۰۵
سیانور	"	CN	۰	۰/۰۵
سرب	"	Pb	۰	۰/۰۵
نیتریت	"	NO_2^-	۰	۰/۱
سلنیم	"	Se	۰	۰/۰۱

ادامه جدول پ.۶-۱۰- حدود مجاز مواد شیمیایی محلول در آب آشامیدنی

نام ماده			حداکثر مطلوب (mg/l)	حداکثر مجاز (mg/l)
نقره	"	Ag	۰	۰/۰۵
جیوه	"	Hg	۰	۰/۰۰۱
ترکیبات فنلی			۰	۰/۰۰۱
سایر مواد:				
کل مواد جامد محلول		(TDS)	۵۰۰	۲۰۰۰
سختی کل	بر حسب	$CaCo_3$	—	۵۰۰
منیزیم	"	Mg	*	۱۵۰
روی	"	Zn	۵	۱۵
مس	"	Cu	۰/۰۵	۱
آهن (کل)	"	Fe	۰/۱	۱
منگنز	"	Mn	۰/۰۵	۰/۵
سولفات	"	SO_4^-	۲۵۰	۴۰۰
کلرور	"	Cl^-	۲۰۰	۶۰۰
نیترات	"	NO_3^-	—	۴۵
آمونیم	"		۰/۰۵	۰/۵
مواد پاک کننده	"	NH_4^+	—	

* اگر غلظت یون سولفات بیش‌تر از ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر باشد، غلظت یون منیزیم نباید از ۳۰ میلی‌گرم در لیتر تجاوز کند. در صورتی که غلظت یون سولفات از مقدار ذکر شده کم‌تر باشد، غلظت یون منیزیم می‌تواند از ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر افزایش پیدا کند.

** وجود مواد پاک‌کننده در آب حداکثر تا مقداری مجاز است که موجب تولید بو، طعم و یا کف در آب نگردد.

جدول پ.۶- ۱۱- حدود مجاز فلئور در آب آشامیدنی

میانگین حداکثرهای دمای روزانه محیط در سال* (^oC)	حداقل لازم (mg/l)	مقدار مناسب (mg/l)	حداکثر مجاز (mg/l)
۱۲_۱۰	۰/۹	۱/۲	۱/۷
۱۵_۱۲	۰/۸	۱/۱	۱/۵
۱۷_۱۵	۰/۸	۱	۱/۳
۲۱_۱۷	۰/۸	۰/۹	۱/۲
۲۶_۲۱	۰/۷	۰/۸	۱
۳۳_۲۶	۰/۶	۰/۷	۰/۸

* بر مبنای داده‌های مربوط به حداقل ۵ سال

جدول پ.۶-۱۲- حداکثر میزان مواد رادیواکتیو در آب آشامیدنی

تراکم کل اشعه آلفا	۳ پیکوکوری (10^{-12} کوری) در لیتر
تراکم کل اشعه بتا	۳۰ پیکوکوری (10^{-12} کوری) در لیتر

پیوست ۷

واژه نامه

Acid and Metalliferous Drainage (AMD)	زه‌آب اسیدی و فلزدار: به آن زه‌آب اسیدی معدن یا زه‌آب اسیدی سنگ نیز گفته می‌شود، جریان‌های آب آلوده تخلیه شده به محیط‌زیست هستند که غالبا (نه الزاما) اسیدی هم هستند. معمولا به طور طبیعی این زهاب در نتیجه هوازدگی سنگ‌هایی که دارای مقادیر زیادی سولفید هستند به وجود می‌آید، اما عملیات خاکی بزرگ مقیاس مانند عملیات معدن‌کاری و یا عملیات ساختمانی گسترده، موجب تشدید این روند، می‌شود.
Annual Exceedence Probability (AEP)	احتمال فزونی سالانه: احتمالی که در یک سال، سیلاب یا اتفاقی واقع شود که ابعاد آن بیش از یک سیلاب یا اتفاق با ابعاد مشخص باشد.
Approach	رویکرد، نیل
Beach Freeboard	ارتفاع آزاد ساحلی: فاصله قائم بین تراز بالای مواد پسماند در مجاورت بدنه سد و تراز آب در مخزن بعد از وقوع یک سیلاب. این ارتفاع برای سدهای ترفیع‌شونده‌ی بالارو و محوری که دارای فیلتر در بدنه نیستند در نظر گرفته می‌شود و از نظر کنترل سطح ایستابی در رویه بالادست و همچنین به حداقل رساندن خطر Piping و افزایش پایداری حایز اهمیت است.
Closure	ترک و رهاسازی
Coagulation	لخته شدن
Confined and unconfined disposal	دفع محصور و نامحصور
Confining embankment	خاکریز محصورکننده
Consequence	پی‌آمد
Consequence Category	طبقه‌بندی مبتنی بر پی‌آمد: رده‌بندی شدت پی‌آمدهای شکست سدها بر مبنای قوانین و مقررات مملکتی
Containment	انباشت‌گاه
Contingency Storage Allowance	حجم احتیاطی منظور شده
Dam Engineer	مهندس سد: مهندسی باتجربه در مطالعات، تحقیقات، برنامه‌ریزی، طراحی، ساخت، و یا مدیریت سدها و دارای صلاحیت برای عهده‌دار شدن کار در زمینه سدسازی. برخی از جنبه‌های مهندسی سدهای پسماند، مستلزم تخصص‌های ویژه است. متخصص فردی است دارای مهارت‌های خاص مثلا در زمینه ژئوشیمی و هیدروژئولوژی.

Decant tower	برج تخلیه آب رو زده (به روش لبریزی)
Decant water	آب رو زده (مازاد)، آب جدا شده
Decantation	تخلیه آرام آب: تخلیه‌ی آب از مخزن سد به پایین‌دست و یا مجاری سامانه‌ی بازیافت آب که عموما با جدا کردن مواد رسوبی همراه است.
Deposit	نهشته
Design Storage Allowwance	حجم مخزن طراحی: در سدهایی که تخلیه آب از آن‌ها مدنظر نیست، حجمی که بتواند مواد پسماند (مایع و جامد)، بارش‌های جوی و اثرات موج را با ضریب اطمینان کافی در مقابل روگذری و لبریزی آب‌های آلوده در خود جای دهد، حجم مخزن طراحی نامیده می‌شود.
Designer	طراح، فردی (حقیقی یا حقوقی) با تجربه و شایستگی‌های درخور، که مسوولیت طراحی سد پسماند را به عهده دارد.
Dry Density	وزن مخصوص خشک ـ جرم مواد جامد در واحد حجم مواد جامد به اضافه‌ی حجم مایع به اضافه‌ی حجم فضای خالی (هوا)
Experienced	مجرب
Extreme Storm Storage Allowance	حجم ذخیره سیلاب: حجم در نظر گرفته شده برای ذخیره سیلاب‌های با حجم خیلی زیاد به ترتیبی که از لبریزی سد جلوگیری شود.
Facility	تاسیسات
Failure	شکست: بروز پدیده ای خارج از انتظارات طراحی یا نقض شرایط مجاز. این حالت می‌تواند در برگیرنده‌ی موارد متعددی نظیر نشت کنترل نشده‌ی آب، تا ناپایداری کلی خاکریز، که منجر به تخلیه آب و پسماندها به پایین‌دست می‌شود باشد.
flocculation	دلمه‌بندی
Flood Spill Depth	عمق سیلاب سرریزی: عمق آب در حال عبور از روی تاج سرریز، با در نظر گرفتن استهلاک سیلاب در حجم ذخیره سیلاب و حجم ذخیره احتیاطی.
Flotation	شناورسازی
Freeboard	فاصله‌ی قایم بین حد اکثرتراز آب در زمان سریزی سد و تراز تاج سد
Guideline	راهنما
Hydro cyclone	چرخابه

Infrastructure	زیرساخت
Inspection	بازرسی
Leaching	فروشویی - تبدیل از فاز جامد به فاز مایع کانی‌های با ارزش معدنی (مثلا مس یا طلا) برای سهولت جدایش.
Long Term	دوره‌ی طولانی مدت: در این راهنما، مراد از دوره طولانی مدت، ۱۰۰۰ سال است.
Maximum Operating Level	حداکثر تراز عملیاتی: حد نهایی تراز آب لبریزی در مخزن در شرایط بهره‌برداری نرمال (معمولی)، این حداکثر ترازی است که آب در مخزن می‌تواند به آن برسد و پس از آن فرآیند تخلیه آب و رسوب به مخزن باید متوقف شده و طرح ایمنی سد در شرایط اضطراری به اجرا درآید.
Mine Closure	بستن معدن: فرآیندی است که پس از توقف و یا خاتمه‌ی بهره‌برداری از معدن انجام می‌شود و آن را به حالتی مناسب و قابل قبول برمی‌گرداند. ممکن است این بستن برای دوره‌ای موقت انجام شود.
Mine Completion	اتمام عملیات معدن‌کاری، مرحله نهایی بستن معدن به ترتیبی که بعد از آن بتوان آن را برای هر نوع مصرف دیگر در اختیار بهره‌بردار بعدی قرار داد.
Minimum Decant Storage Allowance	حداقل سهمیه مخزن برای آب لبریزی: حداقل حجم آبی که باید در مخزن سد رسوبگیر نگهداری شود، تا کیفیت آب خروجی (تخلیه به محیط یا آب بازیافتی) در حد موردنظر باشد.
Moisture Content	مقدار رطوبت - نسبت در صد جرم آب قابل تبخیر به جرم مواد جامد (تعریف ژئوتکنیکی)
Ongoing	مداوم
Operational Basis Earthquake (OBE)	زلزله‌ی مبنای دوره‌ی بهره‌برداری: در این سطح لرزه‌ای در طراحی انتظار می‌رود که جنبش نیرومند زمین در طول عمر مفید سازه با احتمال رویداد زیاد به وقوع بپیوندد. دوره بازگشت چنین زمین‌لرزه‌ای ۲۰۰-۱۰۰ سال بر اساس خطرپذیری و اهمیت سد در نظر گرفته می‌شود. معمولا دوره بازگشت ۱۵۰ سال منطقی می‌باشد. مناسب‌ترین روش در تعیین پارامترهای این سطح از طراحی بر اساس رهنمودهای ICOLD روش احتمالی می‌باشد.

Operational Freeboard	ارتفاع آزاد عملیاتی: فاصله قائم بین مواد پسماند در مخزن و تاج خاکریز مجاور با هدف کاستن از احتمال پس زدن آب، یا روگذری ناشی از پشته کـردن مـواد پسماند غالبا حداقلی برای این ارتفاع تعیین می‌شود.
Owner	صاحب طرح
Paddock	خاکریز حلقه‌ای (محصور)
Performance	عملکرد ـ کارآیی
Plan	برنامه ـ طرح
Post-Closure	دوران پس از بستن معدن که از سد پسماند انتظار می‌رود به طور طولانی مدت در شرایط ایمن باشد.
Probable Maximum Flood (PMF)	حداکثر سیلاب محتمل
Probable Maximum Precipitation	حداکثر بارش محتمل
Procedure	روال
Process water	آب فرآوری (آبی که از آن در فرآوری استفاده می شود)
Professionally qualified	ذی‌صلاح
Provisions	تمهیدات
Pulp	خمیر ـ جسم خمیرمانند
Pulp density(or Slurry Density)	دانسیته‌ی خمیری ـ جرم واحد حجم کل مواد جامد به اضافه‌ی حجم مایع
Recycle	بازیافت
Regulator	مقررات‌گذار
Regulatory requirements	الزامات مقرراتی
Rehabilitation	نوسازی ـ توان‌بخشی
Residues	ته‌ماند ـ (غالبا بدون مصرف)
Responsible Engineer	مهندس مسوول
Review	بازبینی (کردن)
Risk Management Process	فرآیند مدیریت ریسک
Segregation	جدایش
Slimes	لجن ـ دوغاب (لای یا رس حاوی مقدار قابل توجه آب)
Slurry	گل‌آب

Slurry Density(or Pulp Density)	دانسیته‌ی خمیری ـ جرم واحد حجم کل مواد جامد به اضافه‌ی حجم مایع
Soil Particle density	دانسیته ذرات خاک
Solids content(or concentration)	غلظت، نسبت درصد جرم مواد جامد به جمع جرم مواد جامد و جرم مایع در گل‌آب.
Specific gravity	وزن مخصوص
spigot	لوله
spigotting	تخلیه از طریق لوله ـ روش واریزی
Spillage	لبریزی
Stakeholder	ذی‌نفع (ذی‌نفعان)
Starter dam	سد اولیه – سد آغازگر
storage	انبارش ـ انباشت
Storage	انباشت‌گاه ـ مخزن
storage capacity	ظرفیت انبارش تاسیسات، که غالبا با تن بیان می‌شود. این امر مستلزم آگاهی از وزن مخصوص خشک پسماند، حاصله در مخزن می‌باشد.
Strategy	راهبرد
Subaerially	روزمینی- سطحی ساحلی
subaqueous deposition	انباشت زیر سطح آب
Supernatant fluid	مایع بر روی سطح
Surveillance	نظارت
Sustainable	پایدار
Tailings	پسماند ـ انباشت رسوبات ـ انبارش
Tailings storage	انباشتگاه پسماند محلی که ضایعات یک فرآیند به طور دائم و یا موقت در آن نگهداری می‌شوند. الزاما این محل با ساختن یک سد ایجاد نمی‌شود.

Tailings - Tails	پسماند ـ ذرات نرم و ریز باقی‌مانده (تـه‌نشـین) ناشـی از فـرآوری مـواد معـدنی در صنعت ـ پسماند در فرآوری‌هایی به شـرح زیـر مـی‌توانـد تولیـد شـود ۱- فـرآوری معدنی بـرای اسـتخراج فلـزات و یـا ترکیبـات آن‌هـا از سـنگ معـدنی ۲- فرآینـد غنی‌سازی سنگ‌های معدنی و یا زغال‌سنگ از طریق خارج کردن، تمام و یا بخشـی از مـواد ناخواسـته ۳ - فرآینـدهـای ماسـه‌شـویی، زغـال‌شـویی، و ارتقـای رس ۴- خاکستر و یا دوده‌ی به جا مانده از احتراق زغـال در کـوره‌هـای بلنـد ۵- محصـول جانبی واکنش‌های شیمیایی موجود در طی یک فرآیند (مانند گچ). عمومـا در ایـن فرآیندها مواد ریزدانه‌ی ناشی از خرد کردن سنگ معدن و یا مواد دانه‌ای موجود، یـا حاصل از ترکیب شیمیایی ایجاد می‌شوند. فرآیندها عموما پایه‌ی آبی دارنـد و مـواد پسماند غالبا به صورت گل‌آب (مواد جامد معلق در آب) ایجاد مـی‌شـوند. هـر چنـد می‌توان بخشی از اصولی که در این راهنما مطرح می‌شود را در مـورد ضـایعاتی کـه اساسا به شکل مایع هستند به کار برد، ولی باید توجه داشت که این‌گونه ضـایعات را نمی‌توان مواد پسماند تلقی نمـود بایـد توجـه داشـت کـه از آنجـا کـه در برخـی از فرآیندهای استحصال، عملا، تمامی سنگ معدن اسـتخراج شـده از سـامانه‌ی دفـع مواد پسماند عبور می‌کنند، این مواد حجم فوق‌العاده زیادی را در یک طرح معـدنی خواهند داشت.
Tailings dams	سد پسماند- سازه یا خاک‌ریزی که برای نگهداری مواد پسـماند و یـا مـدیریت و کنتـرل آب‌های مرتبط با انبارش مواد پسماند ساخته می‌شود. لازم به توجـه اسـت کـه هرچنـد سازه‌هایی مانند سدهایی که برای جمع‌آوری آب‌های نشتی ساخته مـی‌شـوند جزیـی از TSF هستند ولی آن‌ها را نمی‌توان در زمره‌ی سدهای پسماند دانست.
Tailings disposal scheme (system)	سامانه دفع پسماند
Tailings Dumps	انباره‌ی پسماند
Tailings Storage Allowance	سهم ذخیره پسماند از حجم مخزن: حجمی که در زمـان طراحـی، بـرای انبـارش مـواد پسماند در مخرن سد در طی دوره‌ی بهره‌بـرداری و پـیش از بسـته شـدن و یـا افـزایش ارتفاع سد تخصیص داده می‌شود. این حجم بر اساس وزن (تناژ) مورد انتظار تولیـد مـواد پسماند و وزن مخصوص خشک مورد انتظار مواد پسماند در مخزن تعیین می‌شود.
Tailings Storage Facilities(TSF)	تاسیسات (سامانه) انباشت پسماند ـ مشتمل بر انباشتگاه پسماند، خـاکریزهـای محدودکننده، و زیرساخت‌های وابسته

Thickening	تغلیظ
Total Freeboard.	ارتفاع آزاد کل: فاصله‌ی قائم بین حداکثر تراز عملیاتی و تراز تاج سد است که حجم نظیر به آن در مخزن، نشان‌دهنده ظرفیت مخزن برای عبور دادن و ذخیره‌سازی سیلابی با حجم زیاد با در نظر گرفتن عمق آب سرریز شونده و ارتفاع آزاد نظیر به عملکرد موج برای جلوگیری از لبریزی سد است.
Undertake	متعهد (شدن)
Wastes	ضایعات
Water Content(Process engineering definition)	مقدار آب گل‌آب ـ نسبت درصد جرم آب به جمع جرم مواد جامد و جرم مایع (آب) در گل‌آب.
Water recovery	بازیابی آب
Wave Freeboard	ارتفاع آزاد موج: ارتفاعی که بر روی حداکثر تراز سیلابی برای مواجهه با اثر موج در نظر گرفته می‌شود.
Wet Season Storage Allowance	سهمیه حجم مخزن برای دوره‌ی تر: حجمی که در مخازن برای نگهداری آب در دوره تر در نظر گرفته می‌شود. به طور محافظه‌کارانه این حجم فقط برای نگهداری آب ناشی از بارش بر سطح مخزن یا آورد از حوزه‌آبریز سد پسماند و یا آب‌های اضافی ورودی به مخزن (ناشی از فرآیند) که آن‌ها را نمی‌توان از سامانه آب لبریزی برداشت نمود، در نظر گرفته می‌شود.

منابع و مراجع

۱- راهنمای طبقه‌بندی کیفیت آب خام، پساب‌ها و آب‌های برگشتی برای مصارف صنعتی و تفرجی، ضابطه شماره ۴۶۲، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور (۱۳۸۸).

۲- استاندارد کیفیت آب آشامیدنی، سازمان برنامه و بودجه، دفتر تحقیقات و معیارهای فنی، نشریه شماره ۳-۱۱۶، ۱۳۷۱.

۳- نشریه شماره ۲۳ کمیته ملی سدهای بزرگ ایران (IRCOLD)

۴- «راهنمای انباشت مواد باطله در واحدهای کانه‌آرایی و فرآوری» ضابطه شماره ۵۵۹ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور (۱۳۹۰) (وزارت صنعت معدن و تجارت).

۵- نشریه‌ی شماره‌ی ۱۲۱ کمیته‌ی بین‌المللی سد های بزرگ (ICOLD).

۶- نشریه‌ی شماره‌ی ۱۰۶ کمیته‌ی بین‌المللی سد های بزرگ (ICOLD).

۷- نشریه‌ی Guidelines on Tailings Dams از کمیته‌ی ملی سدهای بزرگ استرالیا.

8- Blight G E (1994) The master profile for hydraulic fill tailings beaches, Proceedings of the Institute of Civil Engineers (London), Vol 107:27-40

9- "Canadian Water Quality Guide lines: Industrial Water", 1987, Chapter 5.

10- Idriss, I. M., and Boulanger, R. W. (2008). Soil liquefaction during earthquakes. Monograph MNO-12, Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, CA, 261 pp .

11- Corbitt, Robert A., 1989, "Standard Handbook of Environmental Engineering "McGraw Hill.

12- http://www.env.go.jp/en/lar/regulation/wp.html

13- Newson, T. A., and Fahey, M. (1998). “Saline tailings disposal and decommissioning.” MERIWA Rep. No. M241, Vol. 1, Univ. of Western Australia, Perth

14- Nemerow, Nelson, Avijt, Dasgupta, 1991, "Industrial and Hazardous Waste Treatment".

15- "Report of the Committee on Water Quality Criteria", 1968, U.S.EPA, Federal Water Pollution Control Administration, U.S. Department of the Interior.

16- Shukla , S.K., Srivasta P.R., 1992, "Water Quality Impact Analysis", New Delhi.

17- "Specific Standards of Quality and Purity by Associated Use Classes",2000, U.S.EPA, Minnesota,7050.0220-7.

18- Straub.Conrad p., 1989, "Practical Handbook of Environmental Control".

19- International guidelines prepared by ICOLD:

20- No. 45 Manual on Tailings Dams and Dumps.

21- No. 74 A Guide to Tailings Dam Safety.

22- No. 97 Tailings Dams - Design of Drainage (1994).

23- No. 98 Tailings Dams and Seismicity (1995).

24- No. 101 Tailings Dams Transport, Placement and Decantation (1995).

25- No. 103 Tailings Dams and Environment (1996).

26- No. 104 Monitoring of Tailings Dams (1996).

27- No. 106 A Guide to Tailings Dams and Impoundments (1996).

28- No 121 Tailings Dams Risk of Dangerous Occurrences Lessons learnt from Practical Experiences (2001).

29- Draft Bulletin on Sustainable Design and Post-Closure Performance of Tailings Dams, (2011).

خواننده گرامی

امور نظام فنی و اجرایی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، با گذشت بیش از سی سال فعالیت تحقیقاتی و مطالعاتی خود، افزون بر ششصد عنوان نشریه تخصصی - فنی، در قالب آیین‌نامه، ضابطه، معیار، دستورالعمل، مشخصات فنی عمومی و مقاله، به‌صورت تالیف و ترجمه، تهیه و ابلاغ کرده است. ضابطه حاضر در راستای موارد یاد شده تهیه شده، تا در راه نیل به توسعه و گسترش علوم در کشور و بهبود فعالیت‌های عمرانی به کار برده شود. فهرست نشریات منتشر شده در سال‌های اخیر در سایت اینترنتی **nezamfanni.ir** قابل دستیابی می‌باشد.

Guideline for Design, Construction and Operation of Tailings Dams [682]

Executive Body: BANDAB Consulting Engineers
Project Advisor: Vahid Faridani

Authors & Contributors Committee:

Mohammad Ahmadi, Mohammad Reza Askari, Reza Baghi, Vafa Ali Kamalian, Shahrokh Tahouni, Hamid Reza Tamannaie, and COMMITTEE ON MINE AND INDUSTRIAL TAILINGS DAMS of Iranian National Committee on Large Dams (IRCOLD).

Supervisory Committee

Executive Board of Iranian National Committee on Large Dams (IRCOLD), Mining Standards and Regulations Codification Group of Ministry of Industry, Mine and Trade, Mohammad Hossein Darehbeedi, Moosa Amin-nejad, Modjtaba Gharavi, Nooshin Ravandoust.

Confirmation Committee:

Mousa AminNejad	Iran water resources management company	MS. Hydraulic Structures Engineering
Reza Rasti Ardakani	Power & Water University of Technology (Shahid Abbaspoor)	PhD. Civil engineering
Mohammad Reza Askari	Band Ab Consulting Engineers	PhD. Civil engineering
Nooshin Ravandoust	Ministry of Energy Bureau of Technical, Engineering, Social and Environmental Standards of Water and Waste Water	Bs. Civil Engineering
Mohammad Taher Taheri Behbahani	Tavan Ab Consulting Engineers	Ms. Water resources Engineering
Ali Yosefi	Zamin Ab Pey Consulting Engineers	MS. Mining and Geological Engineering

Steering Committee:

Alireza Toutounchi	Deputy of Technical and Executive Affairs Department
Farzaneh Agha Ramezanali	Head of Water & Agriculture Group, Technical and Executive Affairs Department
Seyed Vahidoddin Rezvani	Expert in Irrigation & Drainage Engineering, Technical and Executive Affairs Department

Abstract

Comparing to regular water reservoir dams, tailings dams potentially have more environmental impacts. After some incidents in tailings dams in recent years in the country, and considering the insufficiency of technical documents and national regulations for these dams, the ministry of energy which is the governmental organization responsible for water resources, decided to prepare a national technical document to promote knowledge in this field. The intention is to guide the owners of the mines to a more sustainable project translated in a safer construction, operation and abandonment of tailings dams.

In addition to the owners and governmental authorities, the intended audience of this document is primarily those who are designing or managing a tailings disposal system. The manual consists of nine chapters. More than half of the contents deal with the design problems, such as storage methods, storage design, and design of confining structure, and takes into consideration the current trends of design and construction of tailings dams in Iran. In other parts some topics about risk analysis, management, construction, and operation, surveillance, and post closure issues are covered in brief.

This guideline is prepared under supervision of the committee of tailings dams of Iranian national committee on large dams (IRCOLD), and though concentrates mostly on the above ground facilities; it is expected to be a helpful document for other kinds of tailings storage facilities as well.

Islamic Republic of Iran
Management and Planning Organization

Guideline for Design, Construction and Operation of Tailings Dams

No. 682

Office of Deputy for Technical and Infrastructure Development Affairs

Department of Technical and Executive Affairs

nezamfanni.ir

Ministry of Energy

Bureau of Technical, Engineering, Social and Environmental standards of water and waste water

http://seso.moe.gov.ir

2015

این ضابطه

در پی بروز حوادثی چند در سدهایی که برای انبارش مواد پسماند معدنی ساخته می‌شوند، و با توجه به کمبود مدارک فنی در زمینه‌ی این نوع سدها در سطح کشور، این ضابطه برای راهنمایی در زمینه‌ی طراحی، ساخت و بهره‌برداری سدهای پسماند و با هدف ارتقای دانش فنی و توسعه‌ی ساخت ایمن این سدها تهیه شده و در آن، توسعه‌ی پایدار سدهای پسماند از دیدگاه طراحی، ساخت و بهره‌برداری ایمن مورد توجه ویژه قرار گرفته است. هدف عمده این راهنما در اختیار قرار دادن توصیه‌های فنی در مورد انبارش سطحی مواد پسماند می‌باشد. لیکن بسیاری از اصول مطرح در آن در مورد انواع دیگر انبارش نیز کاربرد دارد.

مخاطبان اصلی این راهنما در دو بخش آب (سدسازی) و بخش صنعت طرح‌های معدنی متمرکز هستند.