



مروری بر طراحی و اجرای  
بدنه سدهای سنگریزه ای با رویه بتنی (CFRD)

# Siah Bisheh

# سیاه‌پیشه

Design & Construction of Siah Bishe Pumped Storage Project Concrete Face Rockfill Dams at a Glance

تهیه شده توسط تیم مدیریت دانش، دفتر مدیریت پشتیبانی پروژه ها، شرکت کیسون



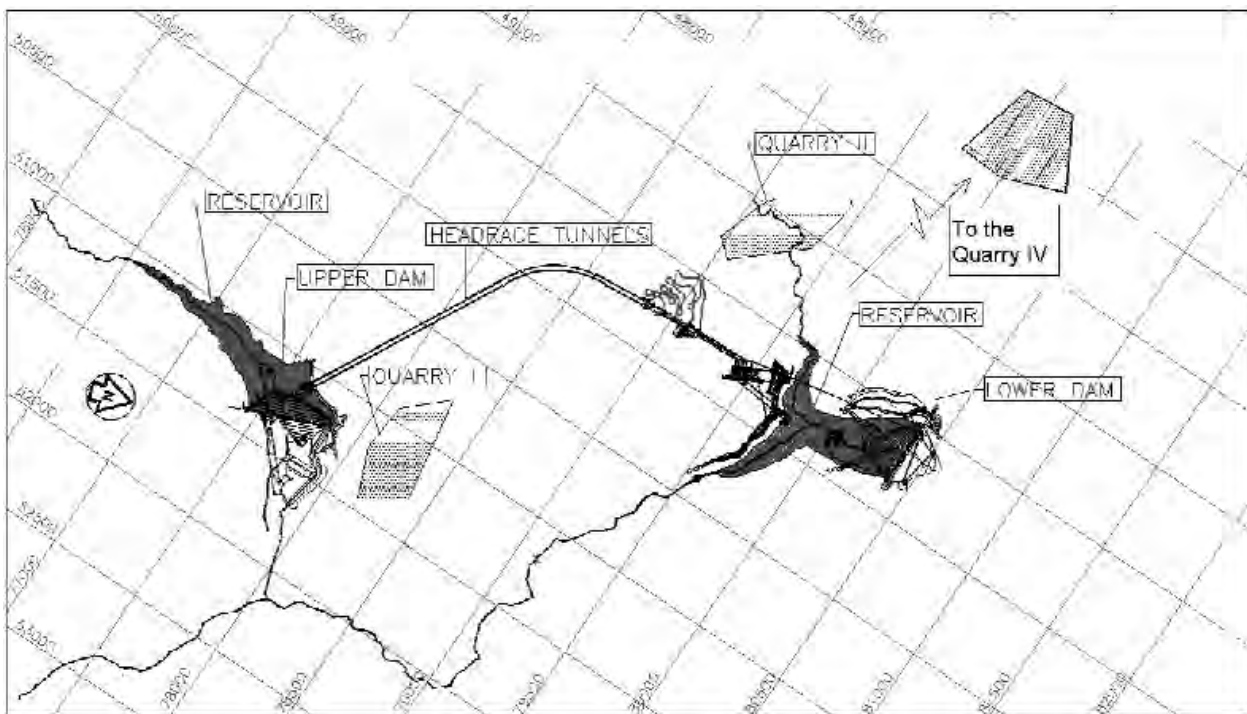
## فهرست مطالب

- ۱- معرفی کلی پروژه
- ۲- ویژگی های سدهای سنگریزه ای با رویه بتنی و روند جهانی ساخت آن
- ۳- مشخصات سدهای سنگریزه ای با رویه بتنی سیاه بیشه
- ۴- مقطع سدهای سنگریزه ای با رویه بتنی پروژه سیاه بیشه
- ۵- بخشهای سدهای سنگریزه ای با رویه بتنی
  - الف - بدنه سد (سنگریز)
  - سنگریز آزمایشی
  - ب - رویه بتنی یا دال رویه (Face slab)
  - ج - دال پنجه (Plinth)
  - د - درزها
- ۶- نتیجه گیری
- ۷- مراجع

## مروری بر طراحی و اجرای بدنه سدهای سنگریزه ای با رویه بتنی (CFRD) سیاه بیشه

### ۱- معرفی پروژه

پروژه در دست احداث سیاه بیشه در ۱۲۵ کیلومتری شمال تهران در مجاورت جاده چالوس واقع شده است و شامل دوسد از نوع سنگریزه ای با رویه بتنی و یک نیروگاه با ظرفیت ۱۰۰۰ مگاوات است. این پروژه به لحاظ عملکرد تلمبه - ذخیره ای و نوع سدها از دیگر پروژه های در دست مطالعه و ساخت کشور متمایز است. هدف اصلی این پروژه متوازن کردن برق شبکه کشور از طریق عملکرد پمپ توربین های نیروگاه و تولید برق در ساعات پر مصرف و پر کردن مخزن سد بالا (به عبارتی مصرف برق) در ساعات کم بار است. سدهای بالا و پایین پروژه هر دو از نوع سنگریزه ای با رویه بتنی (Concrete Face Rockfill Dam-CFRD) هستند که برای اولین بار در کشور طراحی و ساخته می شوند. شمای کلی پروژه در شکل ۱ آمده است.



شکل ۱ - شمای کلی پروژه تلمبه ذخیره ای سیاه بیشه

پروژه تلمبه ذخیره‌ای سیاه بیشه در سال ۸۲ طی مناقصه‌ای در قالب دو قرارداد به صورت طرح و اجرا به پیمانکاران انتخاب شده واگذار گردید. قرارداد A شامل طراحی و اجرای بدنه دوسد سنگریزه‌ای با رویه بتنی، بخشی از تونل‌ها و سازه‌های جنبی است که به مشارکت کیسون، بتا، خدمات مهندسی مکانیک خاک واگذار شد.

طراحی سدهای CFRD و سازه‌های وابسته توسط تیمی متشکل از تیم طراحان ایرانی و شرکت الکترووات (پویری) سویس انجام شد. پروژه سیاه بیشه از دیدگاه فنی شامل بخش‌های مختلفی از جمله معادن، حفاری سد و اجرای بدنه، تونل‌ها، تخلیه کننده تحتانی و ... می‌شود. یکی از بخش‌های مهم پروژه، حفاری‌های لازم برای اجرای سد بود که به دلیل زمین‌شناسی خاص منطقه، وجود توده‌های سنگی ناپایدار و ریزشی در بسیاری از نقاط و نیز وجود جاده اصلی چالوس در محدوده حفاری‌های سد پایین از دشواری‌های خاصی برخوردار بود. لیکن، از آنجا که اجرای پروژه از دیدگاه نوع سد در کشور منحصر به فرد است، نوشتار حاضر صرفاً بر بدنه سدها تمرکز دارد و در آن به سایر بخش‌های پروژه اشاره‌ای نشده است.

مشخصات عمومی سدهای بالا و پایین پروژه سیاه بیشه در جداول ۱ و ۲ نشان داده شده است:

مشخصات سد پایین		
ردیف	شرح	مشخصات
<b>مشخصات بدنه</b>		
۱	نوع سد	سنگریزه ای با روکش بتنی (CFRD)
۲	پهنای سد در پی	۳۶۰ m
۳	ارتفاع ماکزیمم	۱۰۴ m
۴	طول تاج سد	۳۳۰ m
۵	عرض تاج سد	۱۲ m
<b>مشخصات مخزن</b>		
۱	حوزه آبریز	۹۳/۸ Km <sup>۲</sup>
۲	حجم مخزن	۶/۸ MCM
۳	متوسط دبی سالیانه	۴۴/۴ (m <sup>۳</sup> /s)
۴	PMF محتمل	۸۹۰ (m <sup>۳</sup> /s)
۵	نوع سرریز	پلکانی
<b>مشخصات سیستم انحراف</b>		
۱	موقعیت	جناح راست
۲	تعداد تونلها	۱ عدد
۳	قطر تونل	۴ m

مشخصات سد بالا		
ردیف	شرح	مشخصات
<b>مشخصات بدنه</b>		
۱	نوع سد	سنگریزه ای با روکش بتنی (CFRD)
۲	پهنای سد در پی	۲۶۶ m
۳	ارتفاع ماکزیمم	۸۵ m
۴	طول تاج سد	۴۳۰ m
۵	عرض تاج سد	۱۲ m
<b>مشخصات مخزن</b>		
۱	حوزه آبریز	۱۹/۳ Km <sup>۲</sup>
۲	حجم مخزن	۴/۳ MCM
۳	متوسط دبی سالیانه	۹/۱۳ (m <sup>۳</sup> /s)
۴	PMF محتمل	۱۷۰ (m <sup>۳</sup> /s)
۵	نوع سرریز	پلکانی
<b>مشخصات سیستم انحراف</b>		
۱	موقعیت	جناح راست
۲	تعداد تونلها	۱ عدد
۳	قطر تونل	۲/۹۵ m

## ۲- ویژگی های سدهای سنگریزه ای با رویه بتنی و روند جهانی ساخت آن

ویژگی های عمده سدهای سنگریزه ای با رویه بتنی به اختصار عبارتند از:

۱ سدهای سنگریزه ای با رویه بتنی در رده سدهای خاکی - سنگریزه ای قرار دارند و بر خلاف سدهای بتنی محدودیت های زیادی از نظر ساختگاه برای آنها وجود ندارد.

۲ عنصر آب بند در این نوع سدها، بتن است که این گزینه را برای ساختگاه هایی که منابع قرضه رسی کافی یا مناسب در آنها موجود نیست، مناسب می سازد.

۳ حجم عمده بدنه این سدها از سنگریزه است و به همین علت گزینه ای بسیار مناسب برای مناطق سردسیر و پر باران محسوب می شوند. بر خلاف سدهای با هسته رسی که در آنها یخبندان و بارندگی باعث تاخیر در اجرای سد می شود؛ اجرای سنگریزه بدنه در آب و هوای مذکور مشکلی ندارد.

۴ در این نوع سد امکان ریختن سنگریزه قبل از انحراف آب وجود دارد و ظرفیت آنگذری سنگریزه، امکان عبور مطمئن آب را فراهم می سازد؛ به طوری که ظرفیت مورد نیاز برای سیستم انحراف آب کاهش پیدا می کند.

۵ وجود عنصر آب بند در بالا دست، این نوع سد را گزینه مناسبی برای پروژه های تلمبه - ذخیره ای می سازد؛ زیرا در اثر تغییرات روزانه تراز آب، بدنه سد دچار خشک و تر شدن های متناوب نخواهد شد.

۶ سرعت اجرای این نوع سدها معمولاً زیاد است چون عملیات ترزریق در این نوع سد به موازات اجرای بدنه (پس از اجرای پلینت و از روی آن) انجام می شود و آب و هوای نامساعد تاخیری در اجرای سنگریزه ایجاد نمی کند.

۷ یکی دیگر از ویژگی های مهم سدهای سنگریزه ای با رویه بتنی، ایمنی بالایی آنها حتی در صورت ترک خوردن دال رویه است. مصالح بدنه این سدها تحت تاثیر خطر فرسایش و آب شستگی قرار ندارد و تراوش شدید، ایمنی سد را به خطر نمی اندازد.

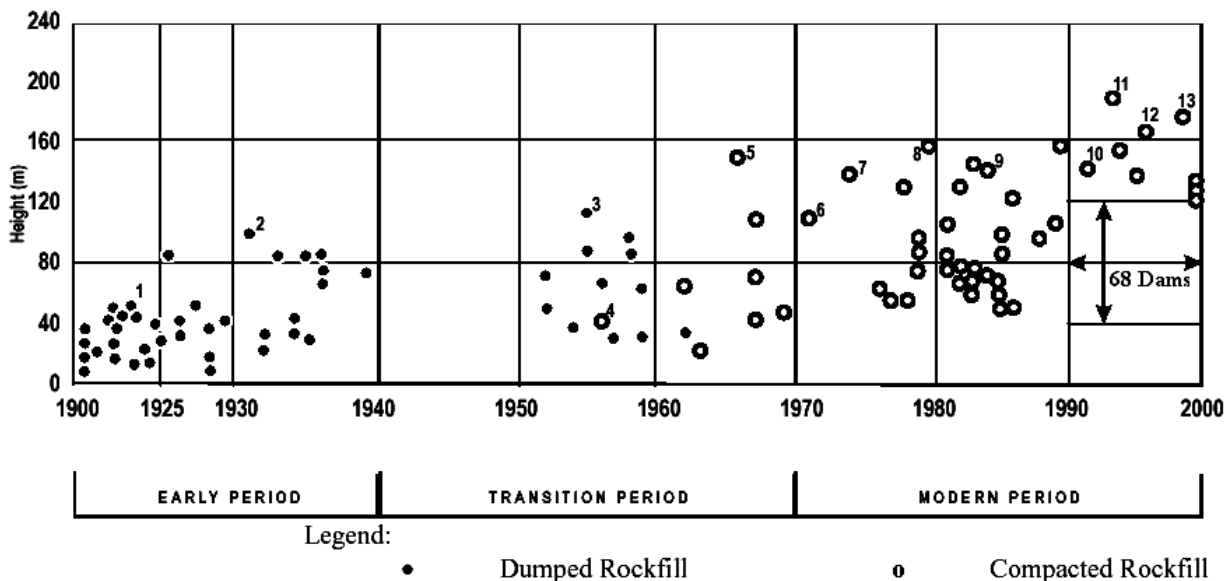
۸ حجم بدنه این نوع سد، به دلیل شیب تندتر سنگریزه نسبت به خاکریز، کوچکتر از سدهای هسته رسی است و این مسئله موجب کاهش میزان حفاری و آماده سازی پی و طول مسیر انحراف و به تبع آن کاهش هزینه و زمان اجرا می شود.

وجود دیوار Parapet در تاج این نوع سدها، که در برخی پروژه ها تا ۷ متر هم می رسد، موجب کاهش بیشتر حجم بدنه می شود.

معیارهای نوین طراحی مقطع سدهای سنگریزه ای با رویه بتنی، با فراهم کردن ناحیه بندی مناسب، امکان استفاده از سنگریزه های با کیفیت متوسط تا پایین را در بدنه این سدها فراهم می سازد که این مسئله نیز موجب کاهش هزینه و افزایش سرعت اجرا می شود.

در این نوع سد امکان اجرای بدنه به صورت غیر هم سطح (Ramping) وجود دارد، که موجب انعطاف پذیری برنامه ریزی و کاهش نسبی تأخیرات زمانی می شود.

روند جهانی ساخت و تکامل روش اجرای این نوع سد بین سال های ۱۹۰۰ تا ۲۰۰۰ بر حسب ارتفاع در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲- روند جهانی ساخت سدهای سنگریزه ای با رویه بتنی

برخی از سدهای CFRD بلند که در شکل فوق نشان داده نشده و بین سالهای ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۳ در دست احداث بوده اند عبارتند از Antamina در پرو با ارتفاع ۱۴۰ متر، Mohale در لزوئو با ارتفاع ۱۴۵ متر، Barra Grande و Compos Novos در برزیل به ترتیب با ارتفاع ۲۰۲ و ۱۴۰ متر، Bakun در مالزی با ارتفاع ۲۰۵ متر (که رتبه دوم به لحاظ ارتفاع را دارد) و Karahnjukar در ایسلند با ارتفاع ۱۹۰ متر که اخیراً به بهره برداری رسیده است. بلندترین سد سنگریزه ای با رویه بتنی، سد Shuibuya در چین با ارتفاع آن ۲۳۳ متر است که هم اکنون در دست ساخت است.

همانطوری که در شکل ۲ دیده می شود، ساخت سدهای سنگریزه ای با رویه بتنی از نظر زمانی و تکامل روش های طراحی و اجرا به سه مرحله تقسیم می شود. نسل قدیم این نوع سد که قبل از اختراع غلتک های ارتعاشی و قبل از دهه ۱۹۶۰ اجرا می شد، بدون تراکم سنگریز و با دپو کردن آن اجرا می شد. سدهای از این نوع که بدون کوبش بدنه اجرا شدند؛ معمولاً دچار نشست های بزرگی می شدند که موجب ترک خوردن دال رویه می گردید و امروزه ساخت این نوع از سدهای سنگریزه ای با رویه بتنی منسوخ شده است. روش اجرا و ساخت این نوع سد در دهه های اخیر تکامل چشمگیری داشته و به همین دلیل به تدریج بر ارتفاع آن ها اضافه شده است. امروزه این نوع سد از سنگریز متراکم و با کوبیدن لایه لایه بدنه، اجرا می شود.

بیشترین سدهای سنگریزه ای با رویه بتنی در چین و امریکای جنوبی به خصوص برزیل ساخته شده؛ ولی کشورهای بسیاری به دلایل برتری های این نوع سد به طراحی و ساخت آن رو آورده اند. از جمله از سال ۲۰۰۱ تا کنون در کشور ترکیه ۷ سد از این نوع به بهره برداری رسیده و یا در دست ساخت است. علی رغم گستردگی استفاده از این نوع سد در دنیا و مزیت های آن، در ایران هنوز استفاده از سدهای سنگریزه ای با رویه بتنی در گزینه یابی سدها رایج نشده است و تنها نوع سدهای خاکی معمول در ایران، حتی در مناطق پر باران و سرد سیر و در مواردی حتی علی رغم فقدان منابع قرضه مناسب، عمدتاً سدهای خاکی با هسته رسی هستند.

در نسل قدیم این نوع سد ها که اجرای سنگریز به صورت لایه های ضخیم بدون کوبش انجام می شود، مسئله نشست های بزرگ و ترک خوردن دال رویه و به تبع آن نشست آب وجود داشته است. امروزه با وجود تکنیک های نوین و اجرای سنگریز کوبیده شده با آبدهی کافی،

این مسئله مرتفع شده است. بنابراین اجرای دقیق سنگریز در این نوع سد بسیار مهم است. شایان ذکر است که به هر حال، نشت آب خطری برای پایداری این نوع سد محسوب نمی شود و عیب یابی و مرمت این نوع سد، به دلیل وجود المان آب بند در بالادست، آسان است. برای کاهش تراوش و بستن ترک ها کیسه های مصالح ریز نظیر ماسه ریز، در مجاورت ترک باز می شود که باعث بسته شدن ترک می شود. طراحی و اجرای سدهای سنگریزه ای با رویه بتنی بطور کلی و تکنیک اجرای درزها و قالب لغزان به طور خاص در کشور منحصر به فرد است که با اجرای سدهای پروژه سیاه بیشه، تکنولوژی طراحی و اجرای این نوع سد به کشور انتقال یافته است.

### ۳- مشخصات سدهای سنگریزه ای با رویه بتنی پروژه سیاه بیشه

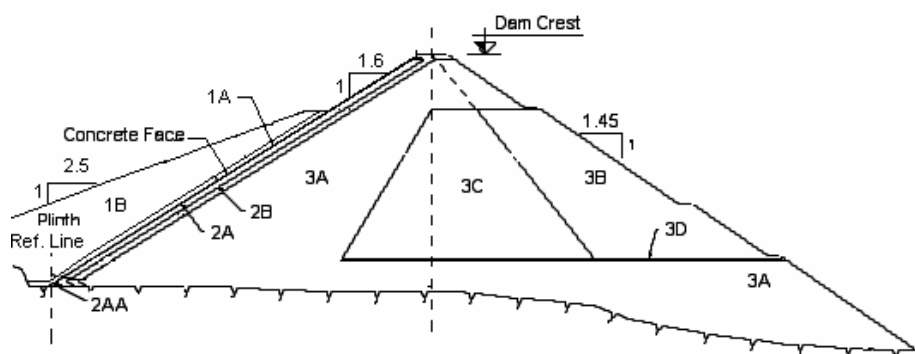
با توجه به عملکرد نیروگاه های تلمبه-ذخیره ای که موجب نوسان سطح آب مخزن می شوند و برای جلوگیری از تر و خشک شدن های متوالی بدنه سد و مشکلات پایداری ناشی از افت سریع روزانه مخزن، انواعی از سد که دارای عنصر آب بند بالادست هستند، مناسب ترند. بنابراین برای سدهای بالا و پایین گزینه سد سنگریزه ای با رویه بتنی انتخاب شده است. سدهای سنگریزه ای با رویه بتنی در عین داشتن عنصر آب بند بالادست، گزینه مناسبی برای ساختگاه هایی هستند که در آنها به دلیل وضعیت ساختگاه، امکان ساخت سدهای بتنی وجود ندارد. پاره ای از خصوصیات و ابعاد سدهای پروژه سیاه بیشه در جدول ۳ آمده است:

سد بالا	سد پایین	
۲۴۱۱/۵	۱۹۱۱/۵	تراز تاج سد - masl
۲۴۰۷/۶ و ۲۳۷۶	۱۹۰۵/۲۰ و ۱۸۸۵/۵۰	تراز حداقل و حداکثر آب - masl
۸۵	۱۰۱/۵	ارتفاع سد
۱۲ و ۴۳۰	۱۲ و ۳۶۰	طول و عرض تاج - متر
۱/۶ افقی: ۱ قائم و ۱/۵ افقی: ۱ قائم	۱/۶ افقی: ۱ قائم و ۱/۴۵ افقی: ۱ قائم ( با برمه های ۵ متری)	شیب بالادست و پایین دست

جدول ۳ - خصوصیات و ابعاد سدهای بالا و پایین

### ۴- مقطع سدهای سنگریزه ای با رویه بتنی پروژه سیاه بیشه

در شکل ۳ مقطع تیپ سد پایین پروژه سیاه بیشه نشان داده شده است.



شکل ۳ - مقطع تیپ سد پایین پروژه سیاه بیشه

به طور کلی بخش های مهم سدهای سنگریزه ای با رویه بتنی به اختصار عبارتند از:

الف - بدنه سد

ب- دال رویه (Face Slab)

ج- دال پنجه (Plinth)

د- درزها.

علاوه بر این، در سدهای سنگریزه ای با رویه بتنی معمولاً در تاج سد دیواری به نام Parapet Wall اجرا می شود که می تواند از قطعات پیش ساخته تشکیل شود.

## ۵- بخشهای سدهای سنگریزه ای با رویه بتنی

### الف- بدنه سد (سنگریز)

بدنه سد از سنگریز ناحیه بندی شده تشکیل می شود که در نواحی مختلف دارای دانه بندی و کیفیت مختلفی است. سنگریز نقش عنصر مقاومتی را دارد و در مقابل تنش های ناشی از بارهای وارده مقاومت می کند.

مقطع تیپ سد پایین پروژه سیاه بیشه در شکل ۳ آمده است. نواحی مختلف نشان داده شده در شکل ۳ به اختصار عبارتند از:

نواحی ۳A، ۳B و ۳C سنگریز بدنه است که وظیفه اصلی تحمل بارهای وارده را بر عهده دارد. همانطوری که دیده می شود حجم اصلی سد از سنگریز ساخته می شود. در بین این سه ناحیه، ناحیه ۳A علاوه بر تحمل بخش اعظم فشار ناشی از آب، و وظیفه تامین "زهکشی" بدنه را نیز به عهده دارد.

نواحی ۲A، بستر دال رویه و ناحیه ۲B ناحیه انتقالی بین بستر و سنگریز بدنه است.

نواحی ۱A و ۱B خاکریز است، که پس از اتمام بدنه و اجرای دال رویه، بروی سطح بتنی دال رویه اجرا خواهد شد. در صورت ترک خوردن دال رویه، ذرات این لایه به درون ترک ها شسته شده و باعث بسته شدن ترک ها و در نتیجه باعث کاهش نشست آب خواهد شد.

نواحی ۲AA که در زیر درز محیطی اجرا می شود دارای دانه بندی خاصی است که نقش فیلتر را دارد.

نواحی ۳D بین ناحیه ۳C و ۳A و در مجاورت جناحین اجرا می شود.

در سد بالای پروژه سیاه بیشه، علاوه بر نواحی فوق الذکر، در پایین دست سد، توده ای بنام توده پایدار کننده<sup>۲</sup> در طراحی در نظر گرفته شده بود. هدف از اجرای این توده کمک به پایداری لغزش دونا در جناح راست و در پایین دست سد بود.

از نظر مشخصات دانه بندی و کوبش به طور کلی می توان گفت، از بالادست به سمت پایین دست به تدریج:

۱) حداکثر قطر قطعات سنگریز زیاد می شود.

۲) ضخامت لایه ها می تواند بیشتر شود.

۳) میزان کوبش مورد نیاز تا حدی کاهش می یابد.

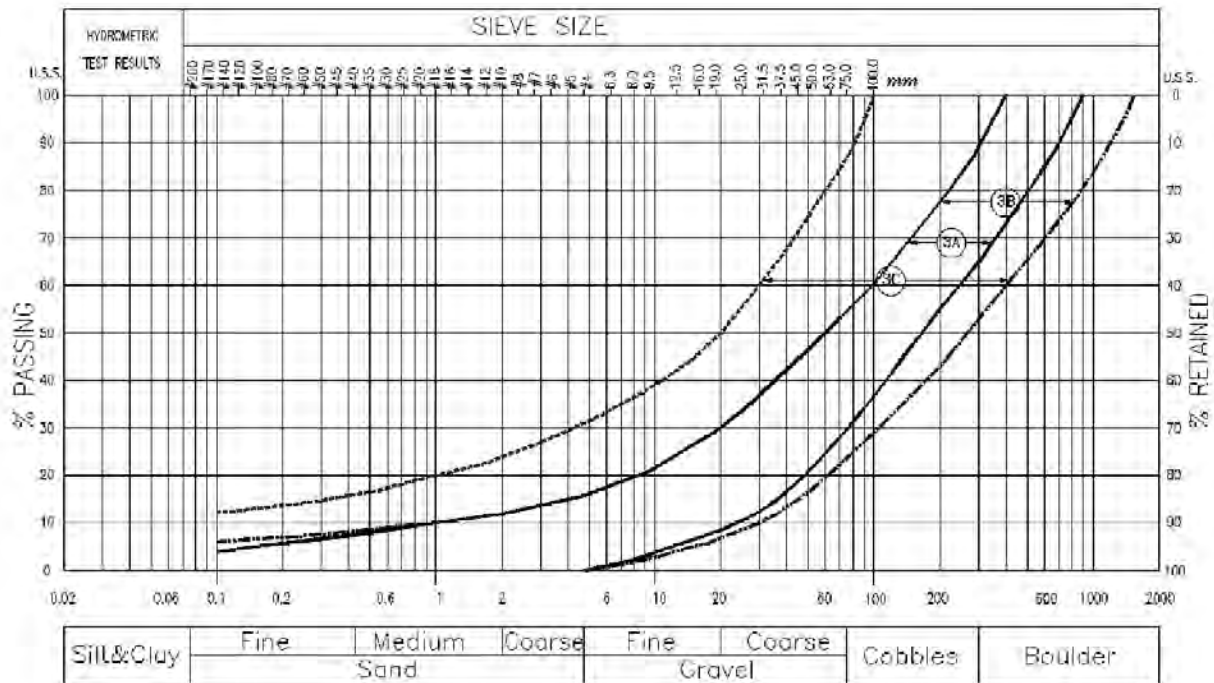
از نظر مشخصات، نواحی ۲A و ۲B، نواحی انتقالی بین سنگریز اصلی و دال رویه با حداکثر قطر دانه ۸۰ و ۳۰۰ میلی متر هستند که در لایه هایی با ضخامت کمتر از ۴۰ سانتیمتر کوبیده می شوند.

ناحیه ۳A سنگریز اصلی بدنه سد است که از بهترین محصولات منابع قرضه با دانه بندی مشخص تامین می شود و بخش عمده ناحیه بالادست، قسمت فوقانی تاج و قسمت تحتانی در کف دره از مصالح ۳A طراحی شده و ساخته می شود. حداکثر قطر دانه ها در این ناحیه ۹۰ سانتیمتر است که در لایه هایی با ضخامت ۱ متر کوبیده می شود. دانسیته بر جای مورد قبول ۲/۱۵ تن بر متر مکعب و تخلخل ۰/۲ است. منحنی دانه بندی مصالح سنگریز در شکل ۴ آمده است.

سنگریز نواحی ۳B و ۳C در مقایسه با نواحی دیگر محدودیت کمتری از نظر دانه بندی و کیفیت دارند و در لایه های ضخیم تری کوبیده می شوند.

لایه های ۱A و ۱B به ترتیب لایه ریزدانه بدون چسبندگی و لایه خاکی هستند که بر روی دال رویه اجرا می شوند، که این لایه ریزدانه بدون چسبندگی (۱A)، در صورت ترک خوردن احتمالی دال رویه موجب ترمیم ترک و بسته شدن آن خواهد شد.





شکل ۴- منحنی دانه بندی مصالح بدنه سد پایین پروژه سیاه بیشه

کیفیت مصالح معادن، دانه بندی حاصله، همچنین کفایت کوبش از طریق آزمایش های آزمایشگاهی و صحرایی متناوباً مورد کنترل کیفی قرار می گیرد. همچنین به منظور دقیق تر شدن فرضیات طراحی، آزمایش های سه محوری استاتیکی و دینامیکی بزرگ مقیاس بر مصالح سنگریزه انجام می شود.

کوبش سنگریزه بدنه به صورت تر با استفاده از ۲۰۰ تا ۲۵۰ لیتر آب در هر متر مکعب انجام می شود. کوبیدن به روش تر در کاهش نشست های آتی سنگریزه و به تبع آن کاهش ریسک ترک خوردن دال رویه نقش مهمی دارد.

#### ۸ سنگریزه آزمایشی

پروژه های سدسازی علی رغم مشابهت مفاهیم و تجربیات اصلی، هرکدام دارای ویژگی های منحصر بفرد هستند. در مورد سنگریزه نیز یکی از دلایل اجرای سنگریزه آزمایشی، منحصر بفرد بودن شرایط محیطی، زمین شناسی و نوع سنگ های هر منطقه است.

بدین ترتیب در پروژه سیاه بیشه قبل از اجرای سنگریزه در بدنه سد و به منظور اطمینان از اینکه روش اجرای پیشنهادی، تامین کننده مشخصات فنی مورد نیاز خواهد بود و به منظور بررسی دقیق تر رفتار سنگریزه، "سنگریزه آزمایشی" یا به اختصار F.C.T. (Field Compaction Test or Trial Embankment) اجرا شد. اجرای سنگریزه آزمایشی در مورد سنگ هایی که

کیفیت آنها مورد سؤال است و در سنگ های ضعیف؛ همچنین در سدهای بلند و مهم متداول است.

هدف از انجام سنگریزه آزمایشی تعیین ضخامت لایه، تعداد دفعات کوبش مورد نیاز، و روش اجرا (شامل روش پخش، ریختن و کوبیدن، سرعت مناسب غلتک، دامنه و فرکانس آن و...) است؛ به طوری که سنگریزه اجرا شده از سنگ های معدن مورد نظر و با غلتک های موجود و در شرایط واقعی، مشخصات فنی مورد نیاز را تامین کند. تامین مشخصات فنی و به تبع آن پذیرش یا مردود دانستن روش اجرای به کاررفته از طریق انجام آزمایش های برجا و نقشه برداری سنجیده شد.

در پروژه سیاه بیشه، برای هر کدام از معادن یک، دو و چهار (Quarries I, II, IV) سنگریزه آزمایشی انجام شد. در مورد معدن ۲ که متشکل از دو نوع سنگ مختلف بود، سنگریزه آزمایشی برای هر دو نوع سنگ انجام شد.



شکل ۵- نمای کلی سنگریز آزمایشی



شکل ۶- نمایی از آزمایش دانسیته برجا

موارد مهم و معیار قبول یا رد روش اجرا در سنگریز آزمایشی عبارتند از: دانسیته خشک، دانه بندی قبل و بعد از کوبش، نفوذپذیری، میزان شکستگی در سطح لایه، اتصال بین لایه های متوالی و میزان نشست. در پروژه سیاه بیشه برای کنترل کیفی سنگریز بر روی نمونه های سنگ، آزمایش های آزمایشگاهی به طور تناوبی انجام می شود. این آزمایش ها شامل آزمایش مقاومت تک محوری، چگالی مخصوص، تخلخل، مقاومت در مقابل سایش (آزمایش سایش لس آنجلس)، مقاومت در برابر یخ زدن و آب شدن، مقاومت در مقابل تر و خشک شدن، جذب آب، درصد مواد آلی می شود. آزمایش های سه محوری استاتیکی و دینامیکی در سلول بزرگ مقیاس و آزمایش های فیلتر و تراکم پذیری سنگریز، از دیگر آزمایش هایی هستند که بر روی سنگریز معادن پروژه سیاه بیشه انجام شده اند.

#### ب- رویه بتنی یا دال رویه (Face Slab)

رویه بتنی نقش عنصر آب بند را در سدهای سنگریزه ای با رویه بتنی دارد. معیار انتخاب ضخامت دال رویه عمدتاً تجربی است و تا کنون معیارهای متفاوتی برای آن ارائه شده است. در جدول ۴ خلاصه ای از روابط ارائه شده و معیارهای متداول برای تعیین ضخامت دال رویه نشان داده شده است.

#### CFRD face Slab Thickness, Current Practice

Head of Water (H)	Face Slab Thickness (t)
> 100 m	0.3m+0.002H* to 0.3m+0.004H*
50m to 100m	0.3m
< 50m	0.25 m

\* H= Head of water above plinth in meters

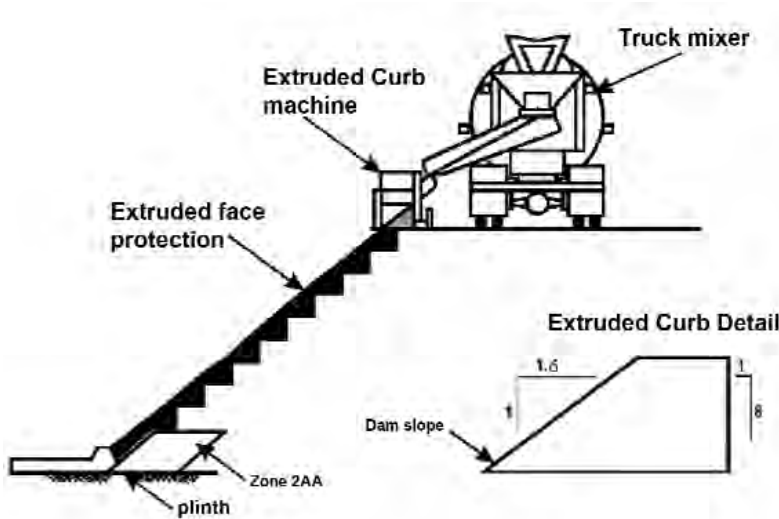
جدول ۴- معیار ضخامت دال رویه بر حسب ارتفاع آب

Pinto در سال ۲۰۰۱ برای سدهای تا ۱۲۵ متر رابطه:  $t = 0.8m + 0.005SH$  و برای سدهای بلندتر رابطه زیر را پیشنهاد کرد:

$$t = 0.0042H$$

محققان دیگر به منظور محدود کردن گرادیان برای سدهای بلندتر از ۱۲۵ متر رابطه  $t = 0.8 + 0.0042H$  را پیشنهاد کردند. در سدهای بالا و پایین پروژه سیاه بیشه، معیار  $0.8m + 0.005SH$  مورد استفاده قرار گرفته است و بر این مبنا ضخامت دال رویه در سد بالا بین ۳۰ تا ۴۴ سانتی متر و برای سد پایین بین ۳۰ تا حدود ۴۸ سانتی متر متغیر است. در کلیه روابط فوق  $H$  و  $t$  بر حسب متر است. دال رویه با استفاده از تکنیک قالب لغزان اجرا خواهد شد. شایان ذکر است که اجرای سدهای سنگریزه ای با رویه بتنی پروژه سیاه بیشه، به دلیل استفاده از تکنیک قالب لغزان و Extruded Curb، وجود درزه های خاص در دال رویه (که در بخش های آتی معرفی شده است) از سایر پروژه ها متمایز بوده و برای اولین بار در کشور انجام می شود. در سدهای نوین سنگریزه ای با رویه بتنی در بالادست لایه ۲A و زیر رویه بتنی، Curb- که در واقع بلوکی از بتن نسبتا کم عیار است - اجرا می شود.

نمای شماتیک اجرای Curb بتنی در شکل زیر آمده است:



شکل ۷- نمای شماتیک اجرای curb بتنی

مزایای متعددی در استفاده از این تکنیک وجود دارد، از جمله:

- ۱) فراهم آوردن تکیه گاه جانبی برای مصالح ۲A
- ۲) سرعت اجرا
- ۳) محافظت سطح در مقابل عوامل جوی و فرسایش
- ۴) تامین سطح تمیز و مناسب برای اجرای دال رویه.

در شکل ۸ نمایی از سد بالا و Curb اجرا شده دیده می شود.

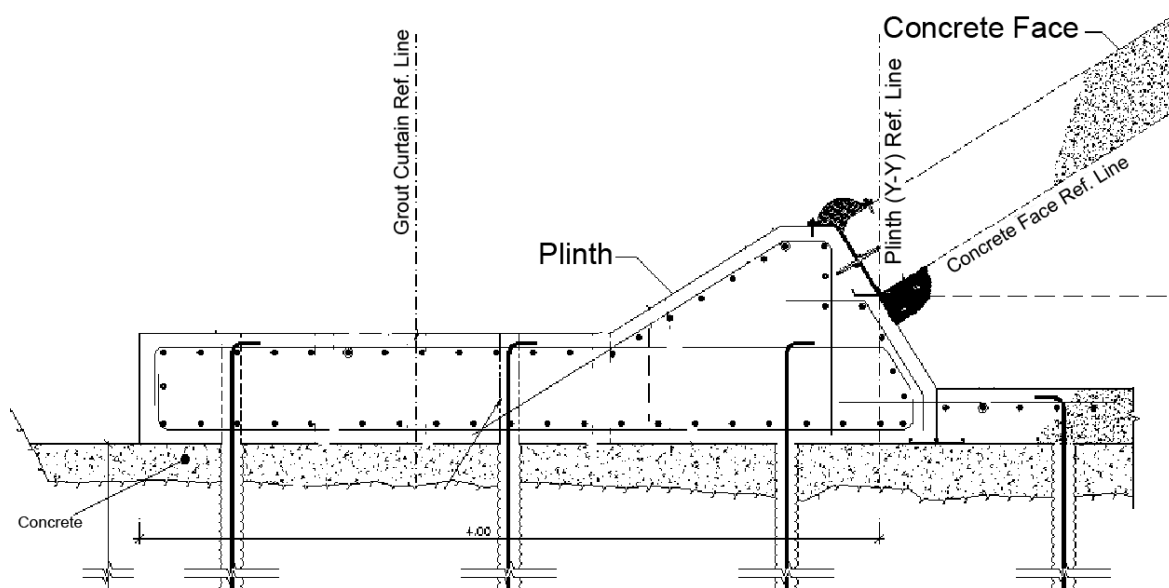


شکل ۸- نمایی از سد بالای پروژه سیاه بیشه

عرض معمول دال رویه در پروژه‌های مختلف بین ۱۲ تا ۱۸ متر است. عرض دال رویه در پروژه سیاه بیشه ۱۲ متر انتخاب شده است که بین نوارهای دال رویه درز اجرا می‌شود.

### ج- دال پنجه (Plinth)

در سدهای سنگریزه ای با رویه بتنی، بخش پایینی رویه بتنی، به دال پنجه یا Plinth متصل می‌شود (شکل ۹). دال پنجه (Plinth) قطعه ای بتنی است که اتصال بین پی سد با دال رویه را تامین می‌کند. تزریق پرده آب بند از روی دال پنجه (Plinth) صورت می‌گیرد و دال پنجه بوسیله مهارهایی به سنگ زیرین دوخته می‌شود. گرادیان آب در زیر پلینت بالا است و در سدهای سنگریزه ای با رویه بتنی به طور معمول، دال پنجه بر روی سنگ قابل تزریق و مقاوم در مقابل آب شستگی قرار داده می‌شود. ابعاد دال پنجه بر اساس کیفیت سنگ زیر آن و ارتفاع آب تعیین می‌شود. بین دال پنجه و رویه بتنی و همچنین بین نوارهای قائم رویه بتنی، درز اجرا می‌شود.



شکل ۹- جزئیات طرح Plinth

حداقل ضخامت Plinth بین ۳۰ تا ۴۰ سانتی متر است که ضخامت آن بر اساس رابطه تجربی زیر تعیین می‌شود:

$$H_{300} = 0.0032m \text{ Thickness} + 0.8 \text{ که در آن } H \text{ هد آب بر حسب متر است.}$$

عرض کلی دال پنجه که برابر مجموع عرض دال داخلی و خارجی است به کیفیت سنگ زیرین و هد آب بستگی دارد. روابط مختلفی برای عرض دال پنجه توسط محققان مختلف ارائه شده است. در جدول ۵ رابطه ارائه شده توسط Machado و همکاران برای عرض پلینت ارائه شده است:

A	B	C	D	E	F	G	H
I	Non-erodible	1/18	>70	I to II	1 to 2	<1	1
II	Slightly erodible	1/12	50-70	II to III	2 to 3	1 to 2	2
III	Erodible	1/6	30-50	III to IV	3 to 5	2 to 4	3
IV	Highly Erodible	1/3	0-30	IV to VI	5 to 6	>4	4

جدول ۵ - معیار عرض پلینت

در جدول فوق:

A: نوع پی.

B: کلاس پی.

C: حداقل نسبت عرض پلینت به ارتفاع آب (در حالت مخزن پر).

D: درصد RQD.

- E: در جه هوازدگی (I برای سنگ های بدون هوازدگی و VI برای خاک های برجا).  
 F: در جه استحکام (I برای سنگ خیلی محکم و ۶ برای سنگ های شکننده).  
 G: ناپیوستگی های هوازده بزرگ در هر ۱۰ متر  
 H: کلاس حفاری (۱- در صورتی که نیاز به انفجار باشد؛ ۲- در صورتی که نیاز به ریپر سنگین و قدری انفجار باشد؛ ۳- در صورتی که با ریپر سبک بتوان حفاری کرد؛ ۴- در صورتی که با تیغه بولدزر بتوان حفاری کرد).

روابط دیگری هم برای عرض پلینت معرفی شده است که در پروژه سیاه بیشه از روابط پیشنهادی Materon بر اساس خصوصیات سنگ زیرین و RMR آن استفاده شده است.  
 در شکل ۱۰ نمایی از پلینت سد بالای پروژه سیاه بیشه دیده می شود.



شکل ۱۰ - نمایی از اجرای Plinth سد بالای پروژه سیاه بیشه

چنانچه به طور موضعی خط سنگ نسبت به مسیر پلینت پایین بیافتد، بلوک های بتنی در زیر پلینت اجرا می شود. از بلوک های زیر پلینت در پروژه های مختلفی در سطح دنیا استفاده شده است و طراحی این بلوک ها نیازمند دقت کافی و تامین معیارهای پایداری با توجه به هد آب است. با استفاده از بلوک های زیر پلینت و با پرهیز از پایین بردن کل مسیر پلینت، صرفه جویی قابل ملاحظه ای در حفاری ها به عمل می آید. در شکل ۱۱، بلوک اجرا شده در زیر پلینت سد بالا دیده می شود.

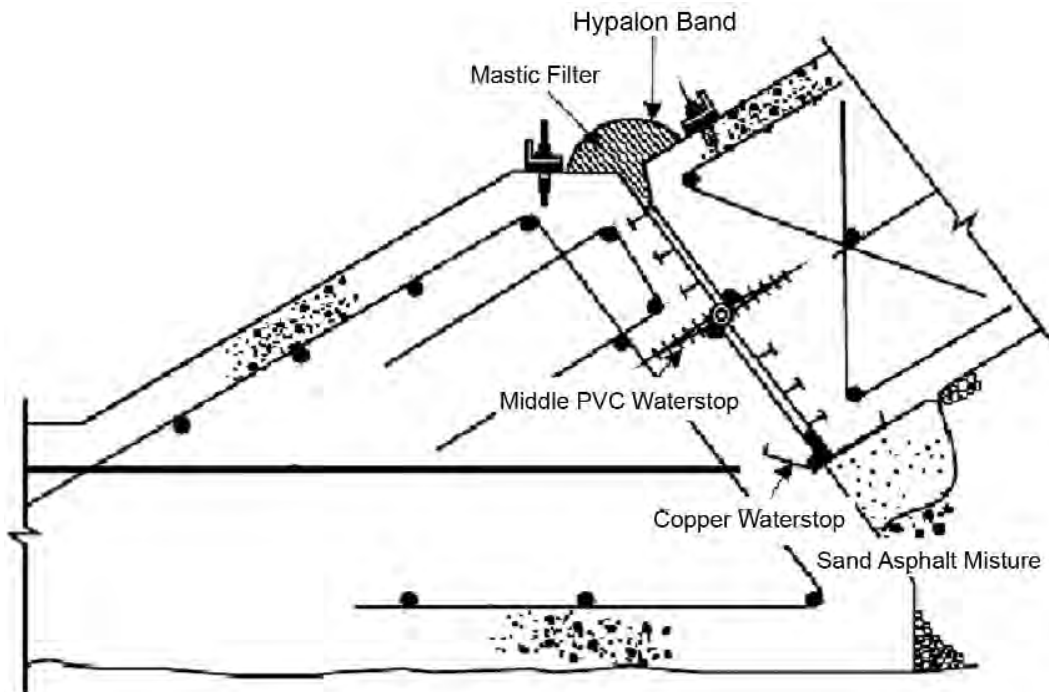


شکل ۱۱- نمایی از بلوک زیر پلینت درزها

#### د- درزها

طراحی و اجرای درزها در سدهای سنگریزه ای با رویه بتنی از اهمیت فوق العاده و حیاتی برخوردار است. به طوری که هرگونه اشکالی در درزها مستقیماً موجب تراوش از بدنه سد شده و حتی می تواند آسیب جدی به آن وارد کند. درزهای سدهای سنگریزه ای با رویه بتنی به دو دسته تقسیم می شوند: درز محیطی و درز قائم (البته یک ردیف درز دیگر هم بین دال رویه و دیوار Parapet اجرا می شود که مشابه درزهای مشروح زیر است).

درز محیطی بین دال رویه و دال پنجه و درز قائم بین نوارهای مجاور دال رویه اجرا می شود. در پایین دست درز محیطی و دال پنجه لایه ای از مصالح ریخته می شود که بر اساس معیارهای نوین طراحی این نوع سدها بایستی مشخصات فیلتر را تامین کند تا در صورت باز شدگی درز محیطی سد بتواند عملکرد مناسبی داشته باشد. در شکل ۱۲ نمایی از جزئیات درز محیطی نشان داده شده است.

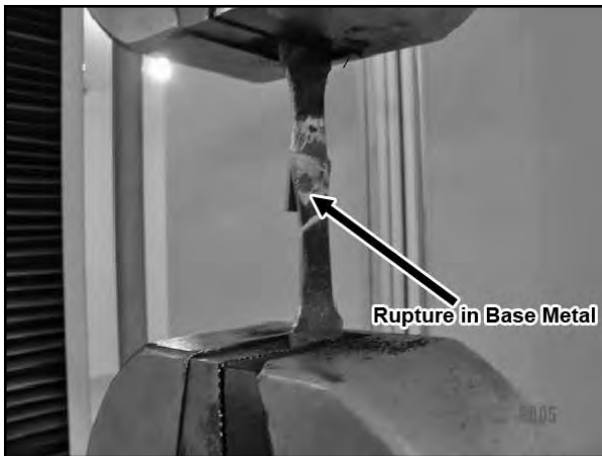


شکل ۱۲- نمایی از جزئیات تیپ درز محیطی

حداکثر سه ردیف واتراستاپ در درز محیطی اجرا می شود. واتراستاپ پایینی از جنس مس یا فولاد ضد زنگ است. واتراستاپ میانی از جنس PVC است، که این ردیف واتراستاپ در طراحی جدید سدهای سنگریزه ای با رویه بتنی (همچنین در طراحی پروژه سیاه بیشه) به دلیل خوب متراکم نشدن بتن اطراف آن معمولاً حذف می شود. لایه واتراستاپ فوقانی متشکل از یک نوار از جنس Hypalon است که زیر آن مصالح ریز دانه بدون چسبندگی یا ماستیک قرار خواهد داشت.

روش اتصال قطعات واتراستاپ نیز از اهمیت خاصی برخوردار است، چون نقاط اتصال در صورت انتخاب روش نامناسب می توانند نقاط ضعفی را در درزها ایجاد کنند که در طی عمر مفید سد موجبات نشت را فراهم سازند. در پروژه سیاه بیشه روش اتصال واتراستاپ های مسی بر اساس نوع آلیاژ مس انتخاب شده، تعیین گردید و روش اتصال و نوع الکتروود مورد آزمایش قرار گرفت.

همانطور که در شکل ۱۳ ملاحظه می شود، روش اتصال قطعات به گونه ای بوده که شکست از داخل فلز پایه رخ داده است و ناحیه اتصال مقاومتی بیش از فلز پایه داشته است که بیانگر کفایت و مناسب بودن روش اتصال است.



تست کشش اتصال واتراستاپ مسی



شکل ۱۳-

نمایی از آرماتور و واتراستاپ مسی در سد بالای پروژه سیاه بیشه

درزهای قائم بین نوارهای دال رویه (نوارهای ۱۲ متری در پروژه حاضر) اجرا می شوند و بر دو دسته هستند: درزهایی که تحت فشار هستند و درزهایی که تحت کشش قرار دارند که طراحی درز بر این اساس انجام می شود.

## ۶- نتیجه گیری

روند جهانی در زمینه ساخت سدهای سنگریزه ای با رویه بتنی به سمت افزایش تعداد و ارتفاع این نوع سدها است. بلندترین CFRD، سد Shuibuya در چین با ارتفاع ۲۳۳ متر است. این نوع سد در طی قرن گذشته از دیدگاه طراحی و روش اجرا تغییرات زیادی داشته است و امروزه سدهای سنگریزه ای با رویه بتنی نوین، گزینه ای مطمئن و معمولاً اقتصادی قلمداد می شوند. سدهای سنگریزه ای با رویه بتنی پروژه سیاه بیشه اولین سدهای سنگریزه ای با روکش بتنی (CFRD) هستند که در ایران طراحی و اجرا می شوند. طراحی و اجرای این نوع سدها از بسیاری از جهات با انواع دیگر سدها متفاوت است و روش مورد استفاده در این پروژه چه از دیدگاه طراحی و چه از نظر تکنولوژی اجرا بر روش های نوین جهانی استوار شده است.

در این نوع سدها عنصر آب بند، دال رویه بتنی است که در بالادست قرار دارد و با استفاده از تکنیک قالب لغزان و بطور یکسره در ارتفاع اجرا می شود. عرض دال رویه در پروژه سیاه بیشه ۱۲ متر انتخاب شده است.

در نوشتار حاضر مقطع تیپ سد های پروژه سیاه بیشه و ناحیه بندی سنگریز و مشخصات آن و همچنین معیارهای طراحی دال رویه و پنجه به اختصار شرح داده شده است. در این نوع سدها، درزها از نظر ایمنی و عملکرد از اهمیت حیاتی برخوردارند. انواع درزها در این نوع سدها عبارتند از درز محیطی، قائم و درز بین دال رویه و دیوار Parapet. به انواع واتراستاپ های به کار رفته در درزها در متن اشاره شده است.

در پایان امید است با توجه به آنکه تکنولوژی طرح و اجرای این نوع سدها به کشور انتقال یافته است، عدم وجود تجربه مشابه داخلی در ساخت این نوع سد، مانعی در بررسی گزینه سدهای سنگریزه ای با رویه بتنی قلمداد نشود.

پی نوشت:

- 1) Drainage
- 2) Stabilizing Fill

## ۷- مراجع

Hasan Touson, et al, " **CFRD Practice in Turkey**", Int'l Water Power & Dam Construction, 2007.

Ghannad & Modarres, " **Construction of Siah Bishe Concrete Face Rockfill Dam**", 7th Dam Engineering Conference, Feb. 2007, Lisbon.

Ghannad & Malla, " **Dynamic Analysis of Siah Bishe CFRDs using Numerical and semi-Analytical Methods**", European Conference of Earthquake Engineering & Seismology, , Sept., 2006 ,Geneva

ICOLD (2004), **Concrete Face Rockfill Dams: Concepts for Design and Construction** ,(draft bulletin), International Commission on Large Dams, Nov. 2004.

Materon, B.; " **Responding to the Demand of EPC Contracts**", Water Power & Dam Construction, 2002

Siah Bisheh Pumped Storage Project , 2005 , " **Lower Dam , Design Report** " , by Kayson Co. design team.





شرکت کیسون

**آدرس:** شهرک قدس، فاز یک، خیابان ایران زمین، ساختمان تجاری - اداری ایران زمین، پلاک ۲۲۸۸

**تلفن:** ۸۸۰۷۲۵۰۱-۹

**پست الکترونیک:**

[info@kayson-ir.com](mailto:info@kayson-ir.com)

**وب سایت کیسون:**

<http://www.kayson-ir.com>

