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

# سیاه‌بیشه

# Siah Bisheh

**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

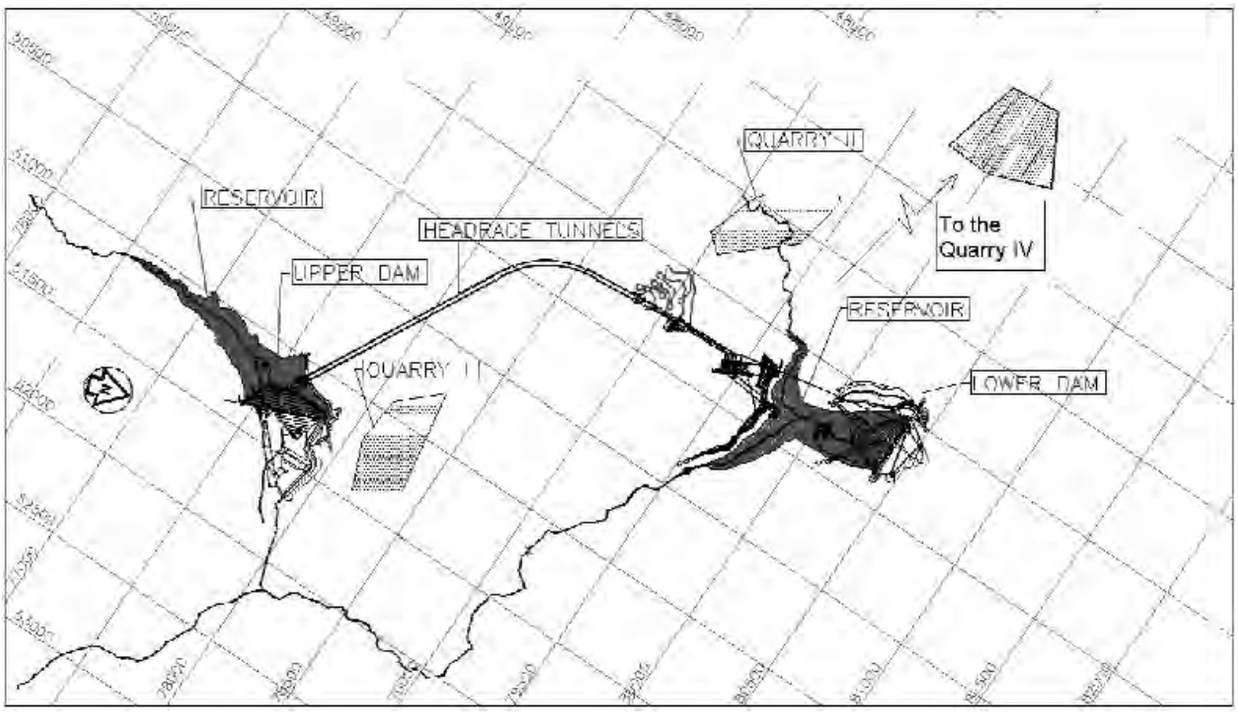
**۱- معرفی کلی پروژه**
**۲-ویژگی های سدهای سنگریزه ای با رویه بتنی و روند جهانی ساخت آن**
**۳-مشخصات سدهای سنگریزه ای با رویه بتنی سیاه بیشه**
**۴-مقطع سدهای سنگریزه ای با رویه بتنی پروژه سیاه بیشه**
**۵-بخشهای سدهای سنگریزه ای با رویه بتنی**
**الف**- بدنه سد (سنگریز)
-سنگریز آزمایشی
**ب** -رویه بتنی 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 ۱۲۵کیلومتری شمال تهران درمجاورت جاده چالوس واقع شده است و شامل دوسد ازنوع سنگریزه ای با رویه بتنی و یک نیروگاه باظرفیت ۱۰۰۰ مگا وات است. این پروژه به لحاظ عملکرد تلمبه - ذخیره‌ای و نوع سدها از دیگر پروژه‌های 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 مخرن سد بالا (به‌عبارتی 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 می‌شوند. 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 به‌صورت طرح و اجرا به پیمانکاران انتخاب شده واگذار گردید. قرارداد A شامل طراحی واجرای بدنه دوسد سنگریزه‌ای با رویه بتنی، بخشی از تونل‌ها و سازه های جنبی است که به مشارکت کیسون، بتا، خدمات مهندسی مکانیک خاک واگذار شد.

طراحی سدهای CFRD و سازه های 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 بودکه به‌دلیل زمین‌شناسی خاص منطقه، وجود توده های 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 ودر 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 |
| مشخصات بدنه | | |
| 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 | ۱۲m |
| مشخصات مخزن | | |
| ۱ | حوزه آبریز | ۹۳/۸ $Km^2$ |
| ۲ | حجم مخزن | ۶/۸ MCM |
| ۳ | متوسط دبی سالیانه | ۴۴/۴ ($m^3/s$) |
| ۴ | PMFمحتمل | ۸۹۰ ($m^3/s$) |
| ۵ | نوع سرریز | پلکانی |
| مشخصات سیستم انحراف | | |
| ۱ | موقعیت | جناح راست |
| ۲ | تعداد تونلها | ۱عدد |
| ۳ | قطر تونل | ۴ m |

| مشخصات سد بالا | | |
|---|---|---|
| ردیف | شرح | مشخصات |
| | **مشخصات بدنه** | |
| 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 | ۱۲m |
| | **مشخصات مخزن** | |
| ۱ | حوزه آبریز | ۱۹/۳ $Km^2$ |
| ۲ | حجم مخزن | ۴/۳ MCM |
| ۳ | متوسط دبی سالیانه | ۹/۱۳ ($m^3/s$) |
| ۴ | PMFمحتمل | ۱۷۰ ($m^3/s$) |
| ۵ | نوع سرریز | پلکانی |
| | **مشخصات سیستم انحراف** | |
| ۱ | موقعیت | جناح راست |
| ۲ | تعداد تونلها | ۱عدد |
| ۳ | قطر تونل | ۲/۹۵ m |

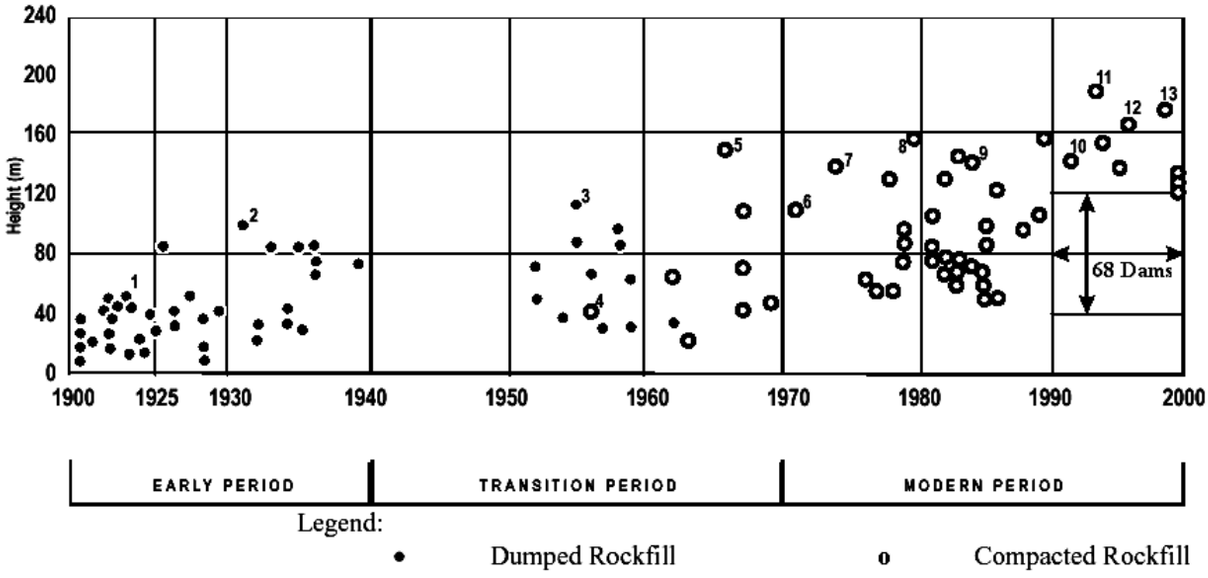
## ۲- ویژگی های سدهای سنگریزه ای با رویه بتنی و روند جهانی ساخت آن

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

- سدهای سنگریزه‌ای با رویه بتنی در رده سدهای خاکی – سنگریزه‌ای قرار دارند و بر خلاف سدهای بتنی محدودیت‌های زیادی از نظر ساختگاه برای آنها وجود ندارد.
- عنصر آب‌بند در این نوع سدها، بتن است که این گزینه را برای ساختگاه‌هایی که منابع قرضه رسی کافی یا مناسب در آنها موجود نیست، مناسب می سازد.
- حجم عمده بدنه این سدها از سنگریز است و به همین علت گزینه‌ای بسیار مناسب برای مناطق سردسیر و پر باران محسوب می‌شوند. بر خلاف سدهای با هسته رسی که در آنها یخبندان و بارندگی باعث تاخیر در اجرای سد می‌شود؛ اجرای سنگریز بدنه در آب و هوای مذکور مشکلی ندارد.
- در این نوع سد امکان ریختن سنگریز قبل از انحراف آب وجود دارد و ظرفیت آبگذری سنگریز، امکان عبور مطمئن آب را فراهم می‌سازد؛ به‌طوری‌که ظرفیت مورد نیاز برای سیستم انحراف آب کاهش پیدا می‌کند.
- وجود عنصر آب‌بند در بالا دست، این نوع سد را گزینه مناسبی برای پروژه های تلمبه–ذخیره‌ای می‌سازد؛ زیرا در اثر تغییرات روزانه تراز آب، بدنه سد دچار خشک و تر شدن‌های متناوب نخواهد شد.
- سرعت اجرای این نوع سدها معمولاً زیاد است چون عملیات ترزیق در این نوع سد به موازات اجرای بدنه (پس از اجرای پلینت و از روی آن) انجام می‌شود و آب و هوای نامساعد تاخیری در اجرای سنگریز ایجاد نمی‌کند.
- یکی دیگر از ویژگی‌های مهم سدهای سنگریزه‌ای با رویه بتنی، ایمنی بالای 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.
- حجم بدنه این نوع سد، به‌دلیل شیب تندتر سنگریز 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 می‌رسد، موجب کاهش بیشتر حجم بدنه می‌شود.
- معیارهای نوین طراحی مقطع سدهای سنگریزه‌ای بارویه بتنی، با فراهم کردن ناحیه بندی مناسب، امکان استفاده از سنگریزهای با کیفیت متوسط تا پایین را در بدنه این سدها فراهم می‌سازد که این مسئله نیز موجب کاهش هزینه و افزایش سرعت اجرا می‌شود.
- در این نوع سد امکان اجرای بدنه به صورت غیر هم‌سطح (Ramping) وجود دارد، که موجب انعطاف پذیری برنامه‌ریزی و کاهش نسبی تأخیرات زمانی می‌شود.

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 لزوتو با ارتفاع ۱۴۵ متر، Compos Novos و Barra Grande 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 سنگریزه‌ای با رویه بتنی، سد Shuibuya در چین با ارتفاع آن ۲۳۳ متر است که هم‌اکنون در دست ساخت است.

همانطوری‌که در شکل ۲ دیده می شود، ساخت سدهای سنگریزه‌ای با رویه بتنی از نظر زمانی و تکامل روش‌های طراحی و اجرا به سه مرحله تقسیم می‌شود. نسل قدیم این نوع سد که قبل از اختراع غلتک‌های ارتعاشی و قبل از دهه ۱۹۶۰ اجرا می‌شد، بدون تراکم سنگریز و با دپو کردن آن اجرا می‌شد. سدهای از این نوع که بدون کوبش بدنه اجرا شدند؛ معمولا دچار نشست‌های بزرگی می شدند که موجب ترک خوردن دال رویه می گردید و امروزه ساخت این نوع از سدهای سنگریزه‌ای با رویه بتنی منسوخ شده است.

روش اجرا و ساخت این نوع سد در دهه‌های اخیر تکامل چشمگیری داشته و به‌همین دلیل به‌تدریج بر ارتفاع آن‌ها اضافه شده است. امروزه این نوع سد از سنگریز متراکم و با کوبیدن لایه لایه بدنه، اجرا می‌شود.

بیشترین سدهای سنگریزه‌ای با رویه بتنی در چین و امریکای جنوبی به خصوص برزیل ساخته شده؛ ولی کشورهای بسیاری به‌دلایل برتری‌های 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. علی‌رغم گستردگی استفاده از این نوع سد در دنیا و مزیت‌های آن، در ایران هنوز استفاده از سدهای سنگریزه ای با رویه بتنی در گزینه‌یابی سدها رایج نشده است و تنها نوع سدهای خاکی معمول در ایران، حتی درمناطق پر باران و سرد سیر و در مواردی حتی علیرغم فقدان منابع قرضه مناسب، عمدتاً سدهای خاکی با هسته رسی هستند.

در نسل قدیم این نوع سد ها که اجرای سنگریز به‌صورت لایه های ضخیم بدون کوبش انجام می شود، مسئله نشست‌های بزرگ و ترک خوردن دال رویه و به تبع آن نشت آب وجود داشته است. امروزه با وجود تکنیک‌های 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 نمی‌شود و عیب‌یابی و مرمت این نوع سد، به‌دلیل وجود المان آب‌بند در بالادست، آسان است. برای کاهش تراوش و بستن ترک‌ها کیسه‌های مصالح ریز نظیر ماسه ریز، در مجاورت ترک باز می شود که باعث بسته شدن ترک می‌شود.
طراحی و اجرای سدهای سنگریزه‌ای با رویه بتنی بطور کلی و تکنیک اجرای درزها و قالب لغزان به‌طور 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 سدها ی سنگریزه ای با رویه بتنی پروژه سیاه بیشه

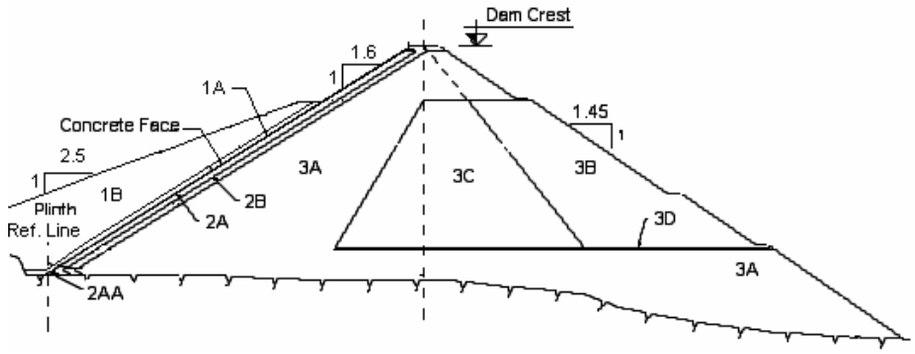
با توجه به عملکرد نیروگاه‌های تلمبه-ذخیره‌ای که موجب نوسان سطح آب مخزن می‌شوند و برای جلوگیری از تر و خشک شدن‌های متوالی بدنه سد و مشکلات پایداری ناشی از افت سریع روزانه مخزن، انواعی از سد که دارای عنصر آب‌بند بالادست هستند، مناسب‌ترند. بنابراین برای سد های بالا و پایین گزینه سد سنگریزه‌ای با رویه بتنی انتخاب شده است.
سدهای سنگریزه‌ای با رویه بتنی در عین داشتن عنصر آب‌بند بالادست، گزینه مناسبی برای ساختگاه‌هایی هستند که در آنها به‌دلیل وضعیت ساختگاه، امکان ساخت سدهای بتنی وجود ندارد.
پاره‌ای از خصوصیات و ابعاد سدهای پروژه سیاه بیشه در جدول ۳ آمده است:

| | سد پایین | سد بالا |
|---|---|---|
| تراز تاج سد - masl | ۱۹۱۱/۵ | ۲۴۱۱/۵ |
| تراز حداقل و حداکثر آب - masl | ۱۸۸۵/۵۰ و ۱۹۰۵/۲۰ | ۲۳۷۶ و ۲۴۰۷/۶ |
| ارتفاع سد | ۱۰۱/۵ | ۸۵ |
| طول و عرض تاج - متر | ۳۶۰ و ۱۲ | ۴۳۰و۱۲ |
| شیب بالادست و پایین دست | ۱/۶ افقی:۱ قائم و ۱/۴۵ افقی: ۱ قائم( با برمهای ۵ متری) | ۱/۶ افقی:۱ قائم و ۱/۵ افقی: ۱ قائم |

**جدول ۳ - خصوصیات و ابعاد سدهای بالا و پایین**

## ۴-مقطع سد های 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**

به‌طور کلی بخش‌های مهم سدهای سنگریزه‌ای 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 سنگریزه‌ای با رویه بتنی معمولاً در تاج سد دیواری به نام Parapet Wall اجرا می‌شود که می‌تواند 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 می‌شود که در نواحی مختلف دارای دانه بندی و کیفیت مختلفی است. سنگریز نقش عنصر مقاومتی را دارد و در مقابل تنش‌های ناشی از بارهای وارده مقاومت می‌کند.

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 بار های وارده را بر عهده دارد.

همانطوری‌که دیده می شود حجم اصلی سد از سنگریز ساخته می‌شود. در بین این سه ناحیه، ناحیه ۳A علاوه بر تحمل بخش اعظم فشار ناشی از آب، وظیفه تامین "زهکشی"[1] بدنه را نیز به‌عهده دارد.

- ناحیه 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 ترک‌ها شسته شده و باعث بسته شدن ترک‌ها و در نتیجه باعث کاهش نشت آب خواهد شد.

- ناحیه ۲AA که در زیر درز محیطی اجرا می شود دارای دانه بندی خاصی است که نقش فیلتر را دارد.
- ناحیه ۳D بین ناحیه ۳C و ۳A و در مجاورت جناحین اجرا می‌شود.

درسد بالای پروژه سیاه بیشه، علاوه بر نواحی فوق الذکر، در پایین دست سد، توده ای بنام توده پایدار کننده[2] 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 به‌طورکلی می توان گفت، از بالادست به سمت پایین‌دست به‌تدریج :

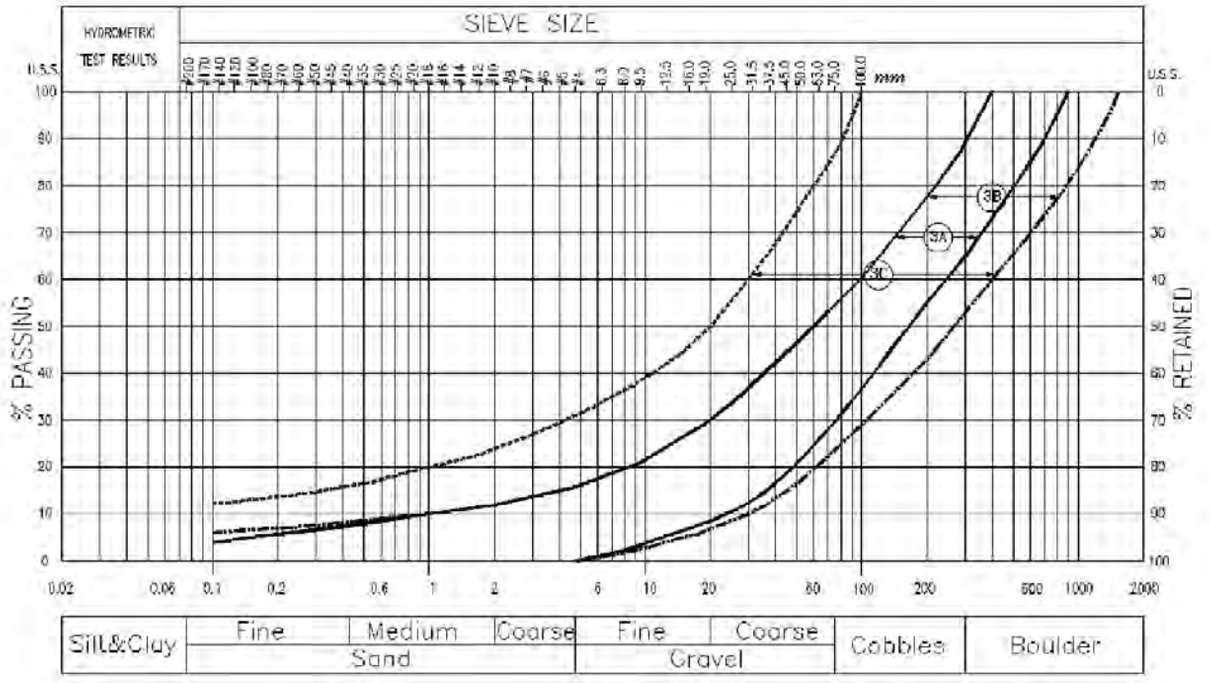
- حداکثر قطر قطعات سنگریز زیاد می شود.
- ضخامت لایه ها می تواند بیشتر شود.
- میزان کوبش مورد نیاز تا حدی کاهش می‌یابد.

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

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 می‌شود. دانسیته بر جای مورد قبول ۲/۱۵ تن بر متر مکعب و تخلخل ۲/ . است. منحنی دانه‌بندی مصالح سنگریز در شکل ۴ آمده است.

سنگریز نواحی ۳B و ۳C در مقایسه با نواحی دیگرمحدودیت کمتری از نظر دانه بندی و کیفیت دارند و در لایه‌های ضخیم‌تری کوبیده می‌شوند.

لایه های ۱A و ۱B به ترتیب لایه ریزدانه بدون چسبندگی و لایه خاکی هستند که بر روی دال رویه اجرا می‌شوند، 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 آزمایش‌های آزمایشگاهی و صحرایی متناوباً مورد کنترل کیفی قرار می‌گیرد. همچنین به منظور دقیق‌تر شدن فرضیات طراحی، آزمایش‌های سه محوری استاتیکی و دینامیکی بزرگ مقیاس بر مصالح سنگریز انجام می‌شود.

کوبش سنگریز بدنه به‌صورت تر با استفاده از ۲۰۰ تا ۲۵۰ لیتر آب در هر متر مکعب انجام می‌شود. کوبیدن به روش تر در کاهش نشست‌های آتی سنگریز و به تبع آن کاهش ریسک ترک خوردن دال رویه نقش مهمی دارد.

**سنگریز آزمایشی**

پروژه‌های سدسازی علی‌رغم مشابهت مفاهیم و تجربیات اصلی، هرکدام دارای ویژگی‌های منحصر بفرد هستند. در مورد سنگریز نیز یکی از دلایل اجرای سنگریز آزمایشی، منحصر بفرد بودن شرایط محیطی، زمین‌شناسی و نوع سنگ‌های هر منطقه است.

بدین ترتیب در پروژه سیاه بیشه قبل از اجرای سنگریز در بدنه سد و به منظور اطمینان از اینکه روش اجرای پیشنهادی، تامین کننده مشخصات فنی مورد نیاز خواهد بود و به منظور بررسی دقیق‌تر رفتار سنگریز، "سنگریز آزمایشی" یا به اختصار F.C.T. (Field Compaction Test or Trial Embankment) اجرا شد. اجرای سنگریز آزمایشی در مورد سنگ‌هایی که کیفیت آنها مورد سئوال است و در سنگ‌های ضعیف؛ همچنین در سدهای بلند و مهم متداول است.

هدف از انجام سنگریز 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؛ به‌طوریکه سنگریز اجرا شده از سنگ‌های معدن مورد نظر و با غلتک‌های 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 به‌کاررفته از طریق انجام آزمایش‌های برجا و نقشه‌برداری سنجیده شد.

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

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 لایه‌های متوالی و میزان نشست.
در پروژه سیاه بیشه برای کنترل کیفی سنگریز بر روی نمونه های سنگ، آزمایش های آزمایشگاهی به‌طور تناوبی انجام می‌شود. این آزمایش‌ها 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 می‌شود.
آزمایش های سه محوری استاتیکی و دینامیکی در سلول بزرگ مقیاس و آزمایش های فیلتر و تراکم‌پذیری سنگریز، از دیگر آزمایش‌هایی هستند که بر روی سنگریز معادن پروژه سیاه بیشه انجام شده‌اند.

**شکل ۵- نمای کلی سنگریز آزمایشی**

**شکل ۶- نمایی از آزمایش دانسیته برجا**

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

رویه بتنی نقش عنصر آب‌بند را در سدهای سنگریزه‌ای با رویه بتنی دارد. معیار انتخاب ضخامت دال رویه عمدتاً تجربی است و تا کنون معیار های 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.

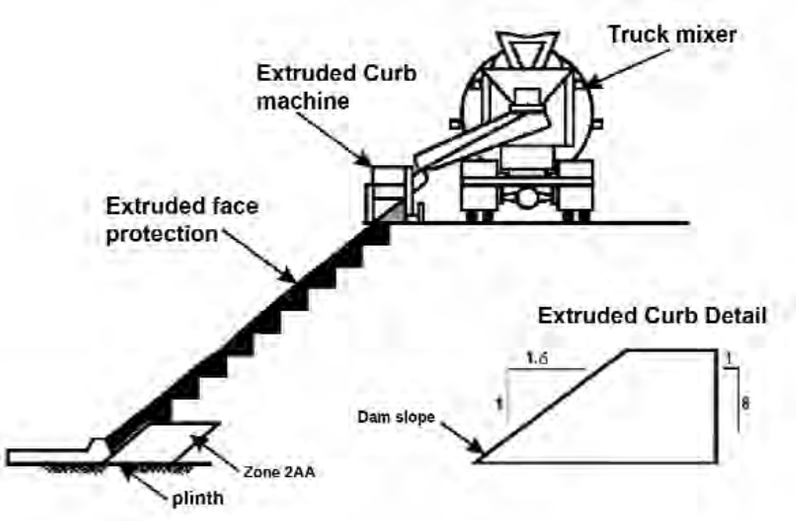
**CFRD face Slab Thickness, Current Practice**

| 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 درسال ۲۰۰۱ برای سدهای تا ۱۲۵متر رابطه: $t = 0.3m + 0.002H$ و برای سدهای بلندتر رابطه زیر را پیشنهاد کرد:
$t = 0.002H$
محققان دیگر به منظور محدود کردن گرادیان برای سدهای بلند تر از ۱۲۵ متر رابطه $t = (0.3+1.76\sqrt{H})/122$ را پیشنهاد کردند.
در سدهای بالا و پایین پروژه سیاه بیشه، معیار $0.3m + 0.002H$ 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 سانتیمتر متغیر است. درکلیه روابط فوق H و t برحسب متر است.
دال رویـه با استفاده از تکنیک قالب لغزان اجرا خواهد شد. شایان ذکر است که اجرای سدهای سنگریزه ای با رویه بتنی پروژه سیاه بیشه، به‌دلیل استفاده از تکنیک قالب لغزان و Extruded Curb، وجود درزهای خاص در دال رویه (که در بخش‌های آتی معرفی شده است) از سایر پروژه ها متمایزبوده و برای اولین باردر کشور انجام می‌شود.
در سدهای نوین سنگریزه ای با رویه بتنی در بالادست لایه 2A 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:
- فراهم آوردن تکیه گاه جانبی برای مصالح 2A
- سرعت اجرا
- محافظت سطح در مقابل عوامل جوی و فرسایش
- تامین سطح تمیز و مناسب برای اجرای دال رویه.

در شکـل ۸ نـمایـی از سد بالا و Curbاجرا شده دیده می‌شود.

**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 سیاه‌بیشه ۱۲ متر انتخاب شده است که بین نوارهای دال رویه درز اجرا می‌شود.

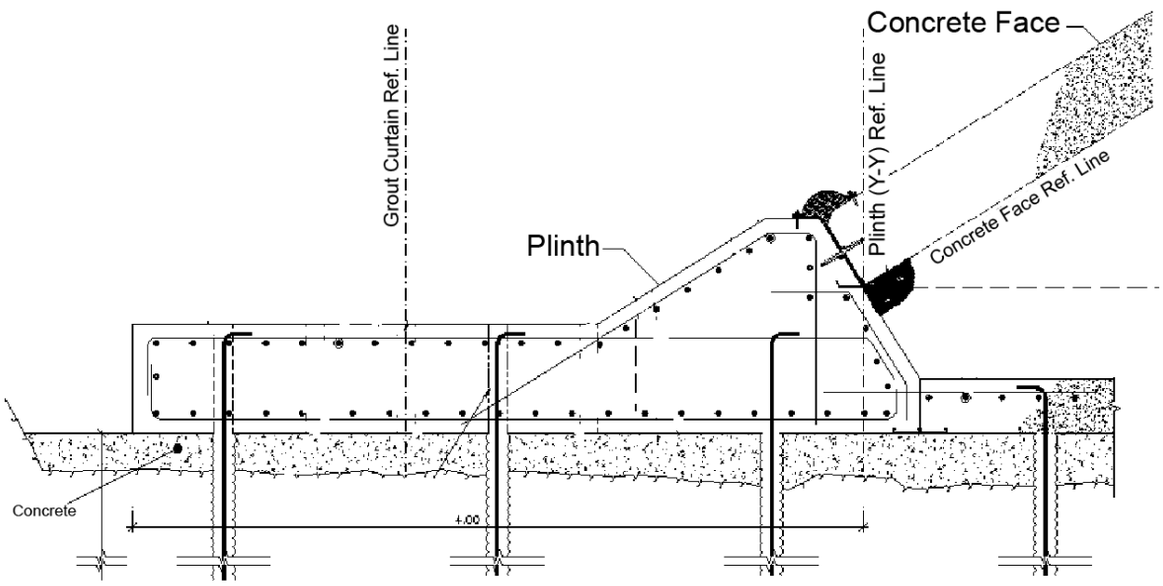
**ج-دال پنجه (Plinth)**

در سدهای سنگریزه‌ای با رویه بتنی، بخش پایینی رویه بتنی، به دال پنجه یا Plinth متصل می‌شود (شکل۹). دال پنجه (Plinth) قطعه‌ای بتنی است که اتصال بین پی سد با دال رویه را تامین می‌کند.

تزریق پرده آب‌بند از روی دال پنجه (Plinth) صورت می‌گیرد و دال پنجه بوسیله مهارهایی به سنگ زیرین دوخته می شود. گرادیان آب در زیر پلینت بالا است و در سدهای سنگریزه ای با رویه بتنی به‌طور معمول، دال پنجه بر روی سنگ قابل تزریق و مقاوم در مقابل آب شستگی قرار داده می‌شود.

ابعاد دال پنجه بر اساس کیفیت سنگ‌زیر آن و ارتفاع آب تعیین می‌شود.

بین دال پنجه و رویه بتنی و همچنین بین نوارهای قائم رویه بتنی، درز اجرا می‌شود.




**شکل ۹- جزییات طرح Plinth**

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

$T_{hickness}(m) = 0.3 + 0.003\,H$ که در آن H 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.

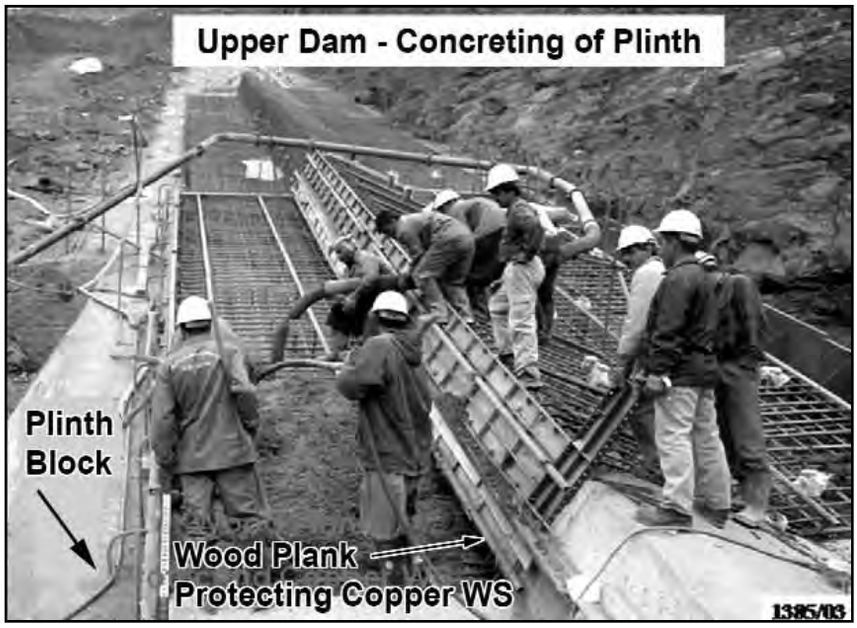
B: کلاس پی.

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

D: درصد RQD.

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

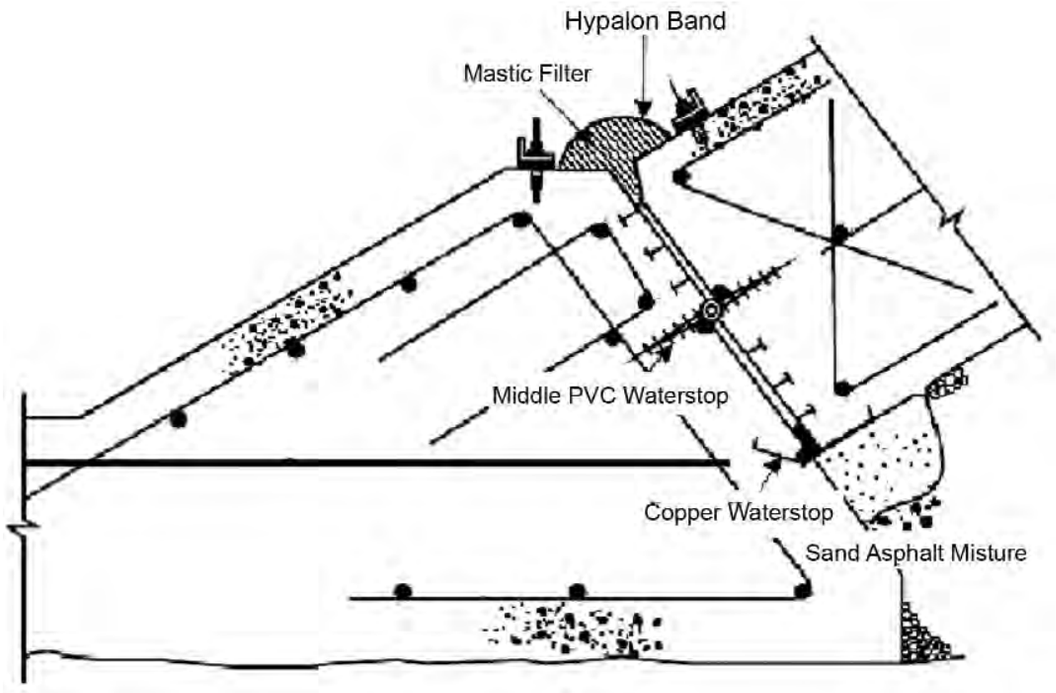
چنانچه به‌طور موضعی خط سنگ نسبت به مسیر پلینت پایین بیافتد، بلوک‌های بتنی در زیر پلینت اجرا می‌شود. از بلوکهای زیر پلینت در پروژه‌های مختلفی در سطح دنیا استفاده شده است و طراحی این بلوک‌ها نیازمند دقت کافی و تامین معیارهای پایداری با توجه به هد آب است. با استفاده از بلوک‌های زیر پلینت و با پرهیز از پایین بردن کل مسیر پلینت، صرفه جویی قابل ملاحظه‌ای در حفاری ها به‌عمل می‌آید. در شکل۱۱، بلوک اجرا شده در زیر پلینت سد بالا دیده می‌شود.

**شکل۱۱- نمایی از بلوک زیر پلینت درزها**

**د-درزها**

طراحی و اجرای درزها در سدهای سنگریزه ای با رویه بتنی از اهمیت فوق‌العاده و حیاتی بر خوردار است. به‌طوری‌که هرگونه اشکالی در درزها مستقیماً موجب تراوش ازبدنه سد شده و حتی می تواند آسیب جدی به آن وارد کند. درزهای سدهای سنگریزه‌ای با رویه بتنی به دو دسته تقسیم می‌شوند: 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 می‌شود. در پایین‌دست درز محیطی و دال پنجه لایه‌ای از مصالح ریخته می‌شود 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.



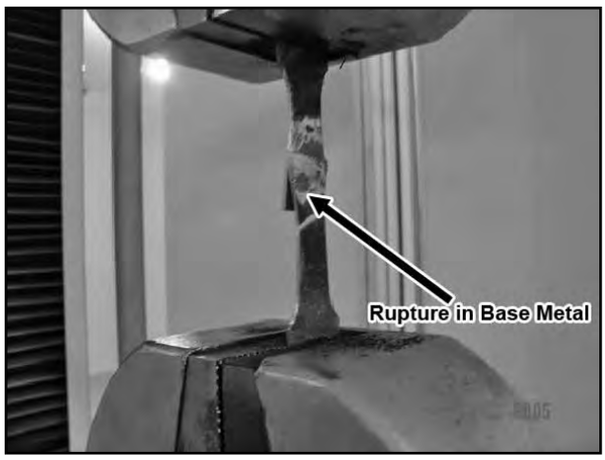

شکل **۱۲- نمایی از جزییات تیپ درز محیطی**

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) به‌دلیل خوب متراکم نشدن بتن اطراف آن معمولا حذف می‌شود. 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 واتراستاپ‌های مسی بر اساس نوع آلیاژ مس انتخاب شده، تعیین گردید و روش اتصال و نوع الکترود مورد آزمایش قرار گرفت.

همانطورکه در شکل ۱۳ ملاحظه می شود، روش اتصال قطعات به‌گونه‌ای 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.

**شکل ۱۳-**
**نمایی از آرماتور و واتراستاپ مسی در سد بالای پروژه سیاه بیشه**




**تست کشش اتصال واتراستاپ مسی**

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، گزینه‌ای مطمئن و معمولا اقتصادی قلمداد می‌شوند. سدهای سنگریزه‌ای با رویه بتنی پروژه سیاه بیشه اولین سدهای سنگریزه ای با روکش بتنی(CFRD) هستند که در ایران طراحی و اجرا می‌شوند. 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 روش‌های 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 می‌شود. عرض دال رویه در پروژه سیاه بیشه ۱۲ متر انتخاب شده است.

در نوشتار حاضر مقطع تیپ سد های پروژه سیاه بیشه و ناحیه‌بندی سنگریز و مشخصات آن و همچنین معیارهای طراحی دال رویه و پنجه به اختصار شرح داده شده است. در این نوع سد ها، درزها از نظر ایمنی و عملکرد از اهمیت حیاتی بر خوردارند. انواع درزها در این نوع سدها عبارتند از درز محیطی، قائم و درز بین دال رویه و دیوار Parapet. به انواع واتراستاپ‌های به‌کار 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 Warer 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:** ۹-۸۸۰۷۲۵۰۱

**پست الکترونیک:**
info@kayson-ir.com

**وب سایت کیسون:**
http://www.kayson-ir.com