

# بررسی تکنولوژی ساخت سد های سنگریزه ای با رویه ی بتنی

اساتید راهنما: دکتر محسن تدین<sup>۱</sup> و مهندس بهزاد شمالی

ویراستار علمی: دکتر مسعود مکارچیان<sup>۲</sup> عضو<sup>۳</sup> IRCOLD

فرزاد مقبل<sup>۴</sup> دانشجوی مهندسی عمران - عضو دانشجویی<sup>۵</sup> ICOLD - دانشگاه بوعلی سینا

امیر نوری<sup>۶</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران - دانشگاه بوعلی سینا

هدی شکریان<sup>۷</sup> دانشجوی کارشناسی مهندسی عمران - دانشگاه بوعلی سینا

## چکیده

ساخت سد های سنگریزه ای به دلیل دارا بودن مزایای زیاد و تکنولوژی ساخت ساده تر در سالهای اخیر بیش از انواع دیگر سدها مورد توجه قرار گرفته است. در این راستا به جهت پایداری بیشتر بدنه و نیز در دسترس بودن مصالح سنگی به جای مصالح خاکی در بعضی سایتها به عنوان جایگزینی مناسب برای سدهای خاکی محسوب می شوند. از سوی دیگر به دلیل نفوذ پذیری بالای مصالح سنگی به سایر مصالح روشهای مختلفی برای آب بندی این سدها بکار می رود. یکی از این روشها استفاده از پوشش نفوذ ناپذیر بتن آرمه در بالا دست این سدهاست که نوع خاصی از سدهای سنگریزه را تشکیل می دهد. **بررسی نکات اجرایی و طراحی** قسمت های مختلف حائز اهمیت است. در این مقاله تکنولوژی عمومی ساخت این نوع از سدها، اجزا و اتصالات آنها بهم تشریح شده است.

واژه های کلیدی: **دال رویه - دال پنجه - قالب لغزان - آب بند - درز - کمپرس**

## مقدمه:

در سالهای اخیر با پیشرفت علم و تکنولوژی تعداد سدهای سنگریزه ای افزایش قابل ملاحظه ای داشته است. چنانچه بخش عمده ای (بیش از ۵۰ درصد) از بزرگترین مقطع سد خاکی را قطعات پاره سنگ و سنگریزه تشکیل دهد به نام سد پاره سنگی نامیده می شود (Fell et al, 1992). سدهای پاره سنگی بر اساس وضعیت بخش آب بندی در سه نوع طبقه بندی می شوند. اگر بخش آب بندی بدنه سد به صورت مغزه خاکی قائم یا مایل (در بالادست) باشد که تقریباً مشابه سدهای خاکی مورد بررسی قرار می گیرد، چنانچه بخش آب بند را دیافراگم نازک بتن آسفالتی یا قیرسنگی یا بتنی تشکیل دهد در دسته دوم قرار دارند. دسته سوم سدهای پاره سنگی هستند که کل بدنه را پاره سنگ تشکیل می دهد و بخش آب بند آنها به صورت پوششی بتنی روی سطح بالادست را می پوشاند که به همین دلیل (CFRD) نامیده می شوند. (وفاپیان، ۱۳۸۴)

## کلیات:

بسیاری از سدهای موجود در دنیا بتنی هستند که این به دلیل عدم پیشرفت ماشین آلات راهسازی در گذشته بوده است. در سال ۱۹۴۰ شروع مجددی در ساخت سدهای خاکی آغاز شد اگر چه به دلیل عدم کنترل نشستها در سال ۱۹۴۵ این روند متوقف شد در سال ۱۹۵۰ با ساخت غلتک های بزرگ لرزاننده دوران جدیدی در ساخت سدهای خاکی و CFRD آغاز شد (Chau, 2004). از مزایای این گونه سدها که منجر به کاهش در هزینه ها و زمان اجرای طرح می شوند می توان:

۱- صرفه جویی در حجم سد به علت امکان استفاده از جدارهای موج گیر (هزینه وزمان) ۲- اجرای آسان و مستقل عملیات خاکی قبل از شروع عملیات حفاری و تزریق ۳- رویه های بتنی در صورت بروز نشست دچار فرسایش نمی شود.

۴- عرض قاعده کوچکتر در سدهای سنگریزه که منجر به کاهش طول تونل های انحراف و آبرسان می شود. (رحیمی، ۱۳۸۳)

۵- امکان اجرای آسان تر در آب و هوای مرطوب نسبت به سدهای مشابه دارای هسته رسی (سد شهریچار، گیلان).

از مهمترین ویژگی های این گونه سدها مقاومت و پایداری سدهای سنگریزه ای در مواجهه با زمین لرزه های شدید است. علت زهکشی آزاد مصالح و نبود فشار آب حفره ای بالا می باشد (رحمانی و ارونقی، ۱۳۸۰). شایان ذکر است تاکنون هیچ سد CFRD در معرض زلزله های خیلی شدید (۰/۳۵g) قرار نگرفته است (ICOLD, 2004). ولی همان طور که ذکر شد به دلیل ویژگی زهکشی آزاد و زاویه اصطکاک داخلی

<sup>1</sup> tadayonmoh@yahoo.com

<sup>2</sup> makarchian@yahoo.com

<sup>3</sup> Iranian Committee On Large Dam

<sup>4</sup> Farzad.moghbhel@gmail.com

<sup>5</sup> International Committee On Large Dam

<sup>6</sup> Nori.amir@gmail.com

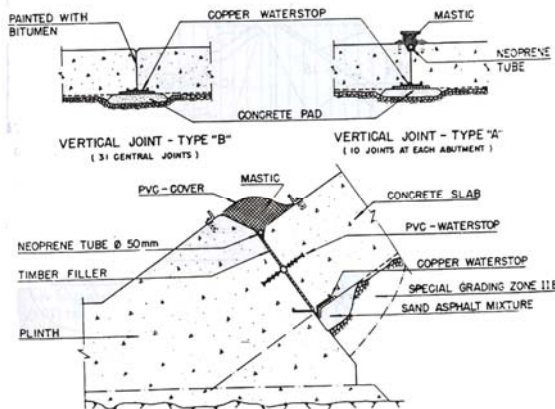
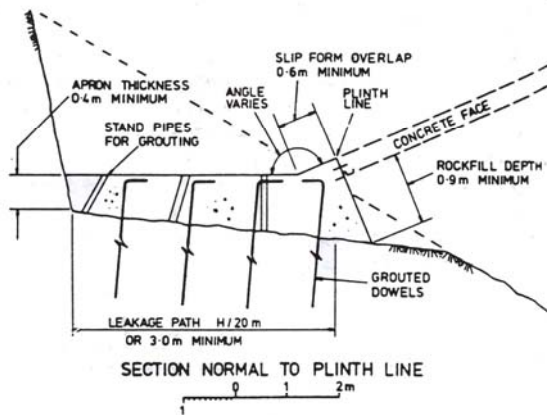
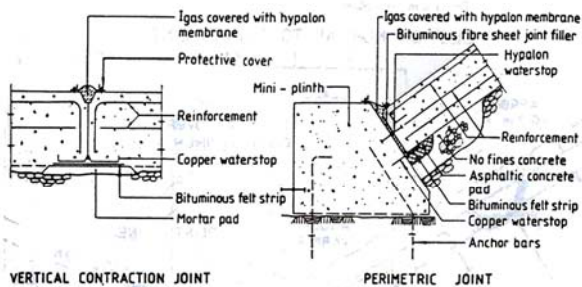
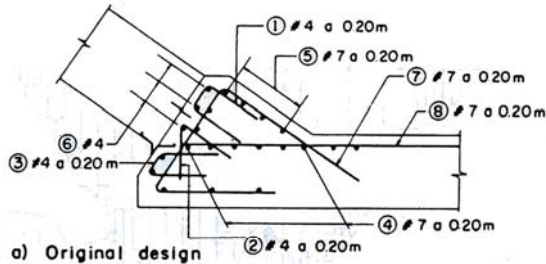
<sup>7</sup> Hoda.shokrian@gmail.com



## مشخمت طراحی و اجرا

بخش رویه و اجزای تکمیلی وابسته به آن مهمترین بخش‌های اجرای سدهای CFRD را تشکیل می‌دهد. این اجزا شامل دال پنجه، رویه بتنی و اتصال‌ها و دیوار موج گیر می‌باشد.

**الف- دال پنجه (Toe stab):** تکیه گاه رویه بتنی است و نقش اتصال رویه بتنی به شالوده را نیز بر عهده دارد. پهنای این بخش را حدود ۰.۰۴ تا ۰.۰۵ عمق آب و یا حداقل ۳m (برای سدهایی با ارتفاع زیر ۴۰m، ۲m) و ضخامت آنرا از ۰.۳ تا ۰.۶m توصیه کرده‌اند (Sherard et al, 1987). در اکثر موارد این بخش را توسط مهارهای ۲۵mm تا ۳۵mm و تزریق تمام طول، به طول ۳m تا ۵m و با



فاصله ۱ تا ۱.۵ m به درون سنگ محکم می‌کنند. یکی از محل‌های بحرانی در سدهای CFRD دال پنجه و بویژه نحوه اتصال رویه با آن است. چرا که در اثر نیروی آب و خمش‌های ایجاد شده در اثر نیروی آب و یا حتی زلزله (یا نشست‌های نامتقارن دال رویه) این ناحیه تحت برش و کشش قرار می‌گیرد و از این رو بررسی این ناحیه و استحکام آن و اتصال آن به سنگ بستر ضروری است. در جایی که حجم بتن ریزی بیش از حد مجاز است لازم می‌نماید که ساخت دال پنجه در دو مرحله صورت بگیرد که اولین گام پرکردن ناهمواریها خواهد بود. تسلیح دال بتنی برای مقابله با تنش‌های حرارتی و جلوگیری از ترک‌های ناشی از فشار تزریقی به صورت ۰.۳ درصد در هر دو جهت و در فاصله ۱۵ cm از سطح بالایی مناسب است. این آرماتورها به طور کامل در سنگ زیرین با بتن ریزی محکم می‌شوند به شبکه تقویتی آرماتورها در دال پنجه قفل می‌گردند (Cooke & Sherard, 1987).

ب - دال رویه بتنی : نقش اصلی در آب بندی سد را دارد. مقاومت دال رویه چندان مد نظر نیست و در حدود ۲۰ Mpa کفایت می‌کند (رحیمی، ۱۳۸۳). مسئله مهم انعطاف پذیری در برابر نشست‌های دراز مدت و قابلیت آب بندی و دوام است (Fitzpatrick, 1985). ضخامت رویه بر اساس یک فرمول تجربی به صورت روبرو محاسبه می‌گردد:  $t = 0.3 + 0.003h$  H: ارتفاع آب بر حسب متر و L: ضخامت رویه بر اساس متر است (ICOLD, 1989a).

تسلیح فولادی حدوداً ۰.۴ درصد در هر طرف و در محیط اطراف رویه که به تکیه‌گاه‌ها محکم می‌شود (به علت تحت کشش بودن) نیاز به دقت بیشتری دارد. (وفاییان، ۱۳۸۴) توصیه شده در محل اتصال رویه به پنجه از فولاد نرم جهت انعطاف پذیری بیشتر با تغییر شکل‌های پیش بینی نشده استفاده گردد. یکی از مسایل مهم در رویه‌های بتنی تعبیه درزهای مناسب انقباض، انبساط و اجرایی و آب بندی مناسب آنهاست که توسط نوارهای آب بندی از جنس مس، فولاد ضد زنگ، لاستیک و یا PVC انجام می‌شود.

(Chau, 2004) فاصله درزهای قائم در رویه بتنی از 6m تا 12m حتی 18m هم لحاظ شده است که بستگی به شرایط سنگ و ابعاد سد دارد. اخیراً باوری مبنی بر کاهش کیفیت بتن در مجاورت واتر استاپ (درزهای افقی با واتر استاپ پوشیده می‌شوند) شکل گرفته و منجر به تردید

در استفاده از درزهای افقی گردیده است. (Fitzpatrick, 1985)

ج- اتصال بخش‌ها با یکدیگر: در این ناحیه به سبب نشست بدنه سد وهم به علت وزن آب هنگام پر شدن مخزن ناحیه میانی رویه بتنی حتماً تحت تأثیر فشار فشرده می‌شود و این امر حاشیه محیطی رویه بتنی را تحت تأثیر کشش تمایل به شکست و جدا شدن از تکیه‌گاه می‌کند و آب بندی و استحکام دائم آن ضروری به نظر می‌آید. از سه نوع آب بندی در این درزها بهره می‌بریم. در ابتدا از فولاد ضد زنگ یا مس ضد آب دست نخورده استفاده می‌کنند که به شکل‌های F یا W درآمده تا به همراه دنده مرکزی بلندی، اجازه حرکت برشی بین صفحات دال مجاور را بدهد و برای ممانعت کردن فشار اضافی آب از بهم فشردگی سطح دنده، آن را با جای دادن نئوپرن پرمی کنند و آب بند فوق با یک ملاط سیمانی یا لایه آسفالتی غیر قابل نفوذ شنی تقویت می‌شود (لفمجانی، ۱۳۷۹). محدوده جابجایی مجاز در اثر برش برای آب بندهای ابتدایی نوع W در حدود 7.5-50 mm است (Pinkerton, 1985). در بخش ثانوی نیز از آب بندها Central bulb استفاده می‌کنند که از P.V.C درست شده و معمولاً از نوع لاستیکی یا کائوچویی یا hypalon هستند (لفمجانی، ۱۳۷۹). در انتها نیز از آب بند پرکننده ماستیک برای مقابله در برابر نیروهای بازکننده ناشی از فشار آب در گره‌ها استفاده می‌شود (لفمجانی، ۱۳۷۹). یک شبکه سیمی آزمایشی برای جلوگیری از جریان رو به پایین در امتداد درزهای شیب دار در ماستیک<sup>۱۱</sup> جاسازی می‌شود و لایه پوششی برای افزایش حجم ماستیک به سوی بالا تحذب می‌یابد و آب نیز نباید در پشت لایه نشست کند (Fitzpatrick, 1985). برای کم کردن فشارهای مختلف لازم است که ماستیک با فشار به داخل شکافها وارد شود و اتصال با این کار بهتر می‌گردد (لفمجانی، ۱۳۷۹).

د- دیوار موج گیر: باعث صرفه‌جویی در حجم مصالح بکار رفته در ساخت سد می‌گردد. اتصال این دیوار به دال رویه باید توسط درزهای قائم و نه عمود بر صفحه رویه بتنی باشد تا بتواند نشست‌های اختلافی را تحمل کند (وفاییان، ۱۳۸۴).

ه- تراکم سطح رویی: سطح بالا دست ناحیه 2B به تکنیکهای خاص فشرده شدن نیاز دارد، زیرا غلتک لرزانشی که برای فشرده کردن لایه‌های سنگریزه ای عمل می‌کند نمی‌تواند به طور مناسب لبه سنگریزه را متراکم کند. مهم است که ناحیه 2B برای دادن مدولهای بالا، خوب کمپکت شود (لفمجانی، ۱۳۷۹). فشردگی با دو تا چهار پاس عبوری با غلتک فولادی استوانه ای 10 تنی بدون ویبراسیون که غلتک به وسیله یک جرثقیل یا کابل، بالا و پایین کشیده می‌شود. در مرحله بعد فشردگی با 4 تا 8 پاس عبوری غلتک فولادی استوانه ای 10 تنی با ویبراسیون انجام می‌شود و فقط هنگام حرکت به سوی شیب بالا به کار می‌رود (Fitzpatrick, 1985). ICOLD اشاره دارد که قبل از غلتک نهایی، از امولوسیون آسفالتی سریع عمل آمده به میزان 2 تا 4 لیتر در مترمربع؛ پوشش داده شده با شن خوب و مرغوب استفاده شود (لفمجانی، ۱۳۷۹).

## روش عمومی اجرای سدهای CFRD:

پس از رعایت اصول کلی ساخت سدها نظیر مطالعات اولیه (فاز صفر و یک) و رعایت نکات اجرایی عمومی در ساخت سدها حال به بررسی روش‌های اجرایی خاص این گونه سدها پرداخته می‌شود. در ساخت رویه بتنی با اسلامپ مناسب حدود (8cm تا 10cm) و با ظرافت بسیار اجرا می‌گردد. روش بدین گونه است که ابتدا در پایین‌ترین قسمت دال‌ها، دال‌ها از پلینت تا درز پیرامونی به حد مورد نیاز بالا آورده شده تا دستگاه‌های قالب بندی و بتن ریزی بتوانند در آنجا قرار گیرند (Chau, 2004). در واقع دال رویه بر روی بستر زیرین و این قسمت از پلینت قرار می‌گیرد. سپس قالب‌ها در پایین‌ترین تراز دال رویه قرار گرفته و با وسیله کششی مناسب، مستقر در تاج سد توسط کابل به آرامی و در طول بتن ریزی بر روی ریل‌های مناسب به بالا کشیده می‌شوند (Chau, 2004). استفاده از قالب‌های لغزان سبب عدم ایجاد درز ناخواسته و در نتیجه مطابقت مدلسازی محاسباتی و مدل اجرا شده و شباهت هر چه بیشتر رفتار این دو با یکدیگر می‌گردد. با توجه به شرایط خاص این نوع بتن ریزی توجه به نکات بتن از قبیل مراقبت‌های حین و بعد از ساخت، زمان حمل، بچینگ مناسب، جرثقیل، پمپ و ابزارآلات مناسب بیش از پیش نیاز به دقت و مدیریت دارد. در این روش بتن ریزی با سرعت بسیار کم انجام می‌گیرد گاهاً در یک شبانه روز، حرکت قالب به 1 m محدود می‌گردد، علت صرف زمان برای گیرش اولیه بتنی است که در لایه زیرین ریخته شده است تا آنجا که وزن خود و بتن لایه رویی را تحمل کند (Chau, 2004). (با توجه به شکل)

<sup>11</sup> Mastic filler

- 1 Concrete slabs, width here 12.2m
- 2 Vertical contraction joints
- 3 Horizontal contraction joint
- 4 Perimetric joint
- 5 Plinth
- 6 Dam crest
- 7 Rail-mounted transfer trolley and winches for nos 9 and 10
- 8 Tower crane mounted on crest rails
- 9 Rail and reinforcement trolley
- 10 Slipform and concrete placing unit
- 11 Concrete supply
- 12 concrete delivery by pump or chute
- 13 Curing trolley
- 14 Trolley to place mortar pad and waterstops
- 15 Face access trolley and winch
- 16 Staircase
- 17 Crest winch for lateral concrete slabs of reduced width

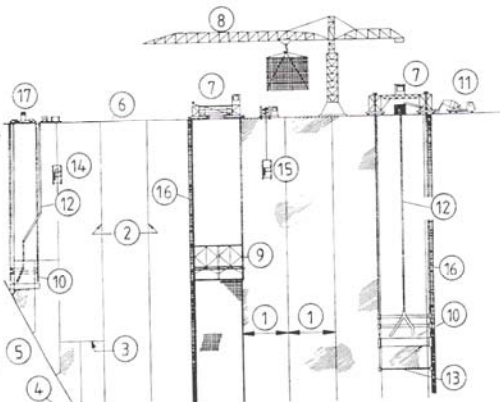


Figure 5.21: Concrete face sealing with typical arrangement of construction equipment (Kutzner 1997, p.281).

## نتیجه گیری :

در جهت حفظ و بهینه سازی منابع آبی کشور و توجه به منابع قرضه محلی مناسب در سایت و در نظر گرفتن توان صنایع فولاد و سیمان و پیشرفت تکنولوژی اجرایی در کشور می توان از ساخت سدهای سنگریزه ای با رویه ی بتنی بهره برد. نکته کلیدی در طراحی و اجرای این گونه سدها دال بتنی پوشش بالادست و نحوه اتصال آن به پلینت است که نکاتی چون ضخامت ، تقویت ، درزهای افقی، عمودی ، آب بندها ، زهکشی و عایق بندی را به همراه دارد و شاید مهمترین قسمت در اجرای سدهای سنگریزه ای با پوشش بتنی است. با توجه به دلایل عمده فنی که ذکر شد و بررسی پارامترهای مختلف و مقایسه آن با استانداردهای معتبر و در نظر گرفتن هدف اصلی پروژه ها به لحاظ کاهش هزینه ها ، تسریع در عملیات ساخت ، اجرا و ارتقاء دانش مهندسی ارزش در کشور می توان گزینه سدهای پاره سنگی با رویه بتنی را گزینه ای مطلوب از نظر جنبه های اقتصادی و توسعه ای در شرایط مناسب ارزیابی کرد.

## منابع :

- [1] Chau, L. 2004. A Study on Concrete faced Rock fill Dams, University of Southern Queensland, Chapter 2,3 & 5.
- [2] Fell R., Mac Groger P. and Stapeldon.; 1992. Geotechnical Engineering of Embankment Dams; Balkema Publisher.
- [3] Sherard, J.L. & Cooke, J.B. 1978. Concrete – Face Rock fill Dams : I. Assessment. J. Geotechnical Engineering. ASCE, 113 (10), 1096-1112.
- [4] International Committee on Large Dam , (2004), "Rock Fill Dams With Concrete Facing".
- [5] Pinkerton, I. L., Soetomo, S. & Matsui, Y. (1985). Design of Cirata concrete face rock fill dam , in Concrete face rock fill dam, J.B.Cooke & J.L. Sherard(eds) .
- [6] Fitzpatrick, M .D. , Cole, B.A. , Kinstler, F.L. & Knoop, B.P. (1985) .Design of Concrete faced Rock fill dams .
- [7] ICOLD (1989 a). Rock fill dams with concrete facing. International committee on Large Dams.
- [8] حسن رحیمی، سدهای خاکی، انتشارات دانشگاه تهران 1383
- [9] محمود وفاپیان، سد های سنگریزه ای ، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان 1384
- [10] محمدعلی رحمانی، محسن ارونقی، مطالعه و بررسی امکان حذف گالری تزریق در سد سنگریزه ای با رویه بتنی نساء (CFRD). 1380
- [11] رضا اسماعیل دوست لقمجانی ، سدهای سنگریزه ای با پوشش بتنی دانشکده فنی مهندسی ، دانشگاه گیلان 1379