

## معیارهای هیدرولیکی و سازه ای طراحی سدهای انفجاری در رودخانه های کوهستانی

محمد جواد نصر اصفهانی<sup>۱</sup> - محمود شفاعی بجنستان<sup>۲</sup> - جواد احدیان<sup>۳</sup>

### چکیده

در راستای اجرای سریع و تکنیک های ساده ساخت سد و همچنین کاهش هزینه های اجرائی، پیشرفت های بسیاری در زمینه ساخت انواع سد و بهره گیری از انواع مصالح و روش اجرائی مشاهده می شود. از این جمله می توان احداث سدهای انفجاری<sup>۱</sup> را نام برد. سد های انفجاری همانند سدهای متعارف برای تحقق اهداف مختلف همچون استفاده به منظور بالا آوردن سطح آب رودخانه ها از دره های عمیق برای انتقال حوضه به حوضه، استفاده به منظور احداث سیستم انحراف رودخانه (فرازبند و نشیب بند)، استفاده جهت کنترل فرسایش و حمل رسوب رودخانه ها و جلوگیری از پر شدن مخازن سدهای پائین دست، استفاده به منظور ذخیره سازی و ... ساخته می شوند. طبقه بندی این نوع سدها به دو روش طبقه بندی بر اساس "اهداف و منظور ها" و طبقه بندی بر اساس "وضعیت سازه بدنه سد" صورت می گیرد. وجود رودخانه های پر آب در مناطق کوهستانی، وجود دره های تنگ و ستیخ های بلند و شرایط زمین شناسی و توپوگرافی دره ها موجب شده است که بتوان با امیدواری زیاد اذعان نمود که می توان از سدهای انفجاری، بدلیل ارزانی و سرعت اجرا در توسعه منابع آبی استفاده شایانی کرد. از طرفی طراحی این گونه سدها در آبراهه های کوهستانی مستلزم لحاظ کردن شرایط سازه ای از قبیل اعمال نیروهای دینامیکی بر سازندهای منطقه می باشد. همچنین جهت طراحی آنها باید شرایط آب بندی سد با استفاده از پوشش های مدرن مد نظر قرار گیرد. در این مطالعه شرایط بهینه طراحی این گونه سدها در مسیر رودخانه های کوهستانی بر اساس اهداف یاد شده آمده است.

واژه های کلیدی: سدهای انفجاری، کنترل رسوب، انحراف رودخانه

### مقدمه

استفاده از انفجار در پوسته زمین جهت بهره برداری از معادن، حفرتونل های راه و آب، استخراج سنگهای ساختمانی، تهیه گچ و آهک می باشد. اصولاً ایده ساخت سدهای انفجاری از دو منبع نشأت می گیرد: اولاً می توان نمونه های فراوانی مشاهده کرد که از لغزش طبیعی توده های سنگ و خاک جناحین یک دره و فروریزی ناگهانی آن، منجر به مسدود شدن دره رودخانه و موجب ایجاد مخزن ذخیره آب شده است. ثانیاً برای احداث راه، تونل و تاسیسات دیگر استفاده از روش انفجار برای کندن حجم زیاد و ناگهانی مصالح بسیار متداول بوده است. در سدهای متداول بر حسب انواع مختلف مصالح مصرفی روش های اجرائی متفاوتی اعمال می شود، ولی در احداث سدهای انفجاری از تکنیک انفجار به عنوان روش تهیه مصالح استفاده می شود و عملیات انفجار خود نحوه اجرای مصالح در بدنه سد را دیکته می کند. در واقع تنها وجه تمایز این سدها با سدهای ساخته شده از مصالح معمولی یا سدهای متعارف، در چگونگی فرآیند تهیه و تراکم مصالح است. از این رو مهمترین موضوع در بحث سدهای انفجاری به نحوه و روش انفجار مربوط می شود. انفجار در تونل های راه و آب و حتی پاره ای از معادن، تخریب سنگ در یک محدوده مکانی و زمانی با محدودیتهای اندک انجام می شود و سپس مصالح انفجاری به خارج حمل می شود،

۱- کارشناس ارشد سازه های آبی سازمان آب و برق خوزستان

۲- استاد دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز

۳- دانشجوی دکتری سازه های آبی دانشگاه شهید چمران اهواز

ولی در سدهای انفجاری مصالح منفجر شده در یک محل خاص و با یک شکل بندی قابل پیش بینی و برای یک ارتفاع معین سد همراه دانه بندی مناسب سنگدانه ها باید پرتاب شوند و یا از طریق لغزش به کف دره فرو ریزند. نکته قابل توجه در احداث این گونه سدها، روش انفجار می باشد که می بایست از فن آوری روش انفجار هدایت شونده<sup>۱</sup> یا جهت دار استفاده شود که این روش خود بر دو نوع می باشد:

الف- روش انفجار با پرتاب مصالح سنگی از جناحهای دره به محل ساختگاه سد

ب- روش انفجار همراه با لغزش توده سنگ جناحها

همانطور که گفته شد در سدهای انفجاری فقط استفاده از انفجار در احداث بدنه سد است که این سدها را از سدهای متعارف جدا می کند، لذا طراحی مولفه ها و سازه های مرتبط با سد، چندان تفاوتی با مولفه های سدهای متعارف ندارد. به عبارت دیگر آب بندی جناحها، ایجاد تونل های آب بر توربین ها، سرریزها، تخلیه کننده های تحتانی و آبیگرها در این قبیل سدها، نظیر طرحهای معمولی در نظر گرفته می شود[۱].

## معیارهای طراحی

معیارهای طراحی سدهای انفجاری شامل ساختگاههای مناسب سد انفجاری، زمین شناسی ساختگاه سد انفجاری، جانمایی مولفه ها و سازه های جنبی در سد انفجاری، خصوصیات مصالح انفجاری، نظریه های انفجار و آب بندی سدهای انفجاری می باشد که در این قسمت به آنها پرداخته می شود.

## ساختگاههای مناسب سد انفجاری

یکی از اساسی ترین مقوله های مورد بحث در زمینه سدهای انفجاری تعیین ساختگاه مناسب برای احداث این قبیل سدهاست. به طور کلی تعیین ساختگاه مناسب برای ساخت هر سازه آبی تابع شرایط ویژه ای است که از یک طرف به وضعیت نیروهای موثر در پایداری سازه و از طرف دیگر به شرایط محیطی ارتباط پیدا می کند. از این رو بزرگی و کوچکی سازه ها و موقعیت آنها، مصالح مصرفی و... از عوامل تعیین کننده می باشند. از جمله عوامل مهم در تعیین یک ساختگاه مناسب را می توان عوامل زیر برشمرد:

- توپوگرافی دره
- زمین شناسی ساختگاه سد انفجاری در ارتباط با خصوصیات مصالح انفجاری
- فضای لازم و کافی برای جانمایی مولفه های مختلف سد از جمله سرریز و نیروگاه
- شرایط ساختگاه در ارتباط به اهداف سد
- شرایط زیست محیطی در رابطه با این قبیل سدها

به طور کلی دره های تنگ با وجود قله رفیع کوه در دو طرف دره و شیب های نسبتاً تند جناحها از شرایط مطلوبی است که طراح را به سوی انتخاب سدهای انفجاری سوق می دهد. ارتفاع زیاد از آن جهت مطلوب است که مصالح انفجاری با سقوط از ارتفاع زیاد تراکم بیشتری در بدنه سد بوجود می آورد که از نظر آب بندی مورد توجه خواهد بود. بعلاوه در شرایطی می توان با استفاده از لغزش لایه های سنگ و خاک بجای پرتاب آنها، بدنه سد را با هزینه کمتر احداث کرد. مناسبترین محل برای احداث یک سد انفجاری در محل پیچ یک رودخانه است. مواد منفجره در ساحل مقعر کار گذاشته می شود تا واریزه های پرتابی در دره متمرکز شوند. نکته این که اگر دره بسیار تنگ باشد ممکن است سد بتنی بدلیل اطمینان از آب بندی و استفاده از وسائل مکانیکی الویت بیشتری داشته باشد. از نقطه نظر شیب جناحهای دره، شیبهای عمودی دره نیز می تواند در ساخت سدهای انفجاری مشکل آفرین باشد و تخلخل یا فضای خالی بین دیوار جدار دره و سنگ و خاک انفجاری بقدری زیاد باشد که آب بندی را با خطر روبرو سازد و یا هزینه های اجرائی را بالا ببرد. با توجه به مطالب فوق و تجربیات بدست آمده شیب دیواره های جناحهای محور سد انفجاری در حدود ۸۰-۴۰ درجه مناسب خواهد بود. در دره های نسبتاً عریض سهم کمی از مصالح انفجاری در محور سد قرار می گیرد و لذا برای ارتفاع معینی از سد به حجم سنگ و خاک بیشتری احتیاج است. در سدهای انفجاری که تا کنون اجرا شده است مسلم گردیده که نسبت سطح مقطع دره در محور ساختگاه به سطح مقطع حداکثر سد در جهت مسیر جریان در حدود ۱/۴ تا ۴/۱ در تغییر است و مقدار متوسط آن به حدود ۱/۵ تا ۲ می رسد. بررسی سدهای موجود همچنین نشان می دهد که عرض دره نایبستی از ۲/۵ برابر ارتفاع سد بیشتر باشد و در غیر اینصورت مشکل تجمع مصالح در محل محور سد برای رسیدن به ارتفاع لازم پیش خواهد آمد[۱].

## زمین شناسی ساختگاه سد انفجاری

یکی دیگر از معیارهای طراحی، زمین شناسی ساختگاه سد انفجاری می باشد. تحقیقات زمین شناسی و ژئوتکنیکی در این گونه سدها در مقایسه با سدهای متعارف از اهمیت ویژه ای برخوردار است، زیرا نه تنها متوجه ساختگاه سد بلکه در رابطه با محدوده انفجار و مصالح انفجاری نیز با اهمیت هستند. مسائل زمین شناسی که باید از طریق تحقیقات صحرایی دنبال شود شامل دو بخش عمده است:

- مسائل زمین شناسی مهندسی که اساساً به طراحی، ساخت و یا بهره برداری مربوط شوند،
  - مسائل زمین شناسی با تاکید بر انفجار و تاثیر متقابل آنها.
- در هر حال نقشه زمین شناسی باید شامل لیتولوژی، لایه بندی سنگ، توزیع لایه های خاک، ساختار اصلی زمین شناسی، وجود گسلهای اصلی و فرعی و مصالح پر کننده درز و ترکها، وضعیت هیدرولوژیکی مخزن و دره محل ساخت سد و وجود چشمه های آب گرم و چشمه سارهای معمولی باشد. بدیهی است که مطالعات زمین شناسی به اطلاعات و داده های ژئوتکنیکی ارتباط پیدا می کند. معمولاً پی مناسب ساختگاه در چنین سدهائی باید از توده سنگ محکم تشکیل شده و از مقاومت لازم و کافی برخوردار باشد. اگر پی از سنگهای با لایه ضخیم و یکپارچه باشد شرایط مناسبی را برای ساخت سد انفجاری مهیا می سازد. چون پایداری بدنه سد نسبت به لغزش حساس است، لذا بایستی پایداری سد در مقابل لغزش نیز تامین شود. این توده سنگ بایستی فاقد مواد بین لایه ای ضعیف و آگذر باشد تا در نتیجه تصادم مصالح پرتابی و شوک های ناشی از انفجار شکسته و تخریب نشوند. بعلاوه نوع سنگ در محدوده محل انفجار بایستی از انواع سنگهائی باشد که بتواند در نتیجه یک انفجار، منحنی دانه بندی مناسب را بدست بدهد، در غیر اینصورت فرار آب به صورت یک مشکل عمده نمایان خواهد شد. وجود مواد دانه ریز در بخش بدنه سد همواره می تواند به آب بندی بدنه سد انفجاری کمک کند و مشکل فرار آب را کاهش دهد. بنا براین اگر در لایه بندی سنگها در جناحها مواد دانه ریز همراه با توده سنگ وجود داشته باشد وضعیت مناسبی برای انفجار وجود خواهد داشت. در سدهای سنگریزه ای از نوع انفجار هدایت شونده مقاومت سنگ پی بایستی از ۲۵۰-۳۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع بیشتر باشد اما در جناحها و محلهای انفجار وجود سنگهای هوازده همراه با مصالح ریز دانه قابل تحمل و مجاز است به شرط آنکه مساله آب بندی در جناحهای آن حل شده باشد. سدهای ساخته شده نشان می دهد که اجرای این سدها با توجه به ارتفاع و هدف از ساخت سد در دامنه وسیعی از نوع سنگ و مقاومت آن امکان پذیر است، از جمله می توان جنس لوس، سنگ آهک، بازالت، کوارتز و کنگلومرا را نام برد [۳].

## جانمایی مولفه ها و سازه های جنبی در سد انفجاری

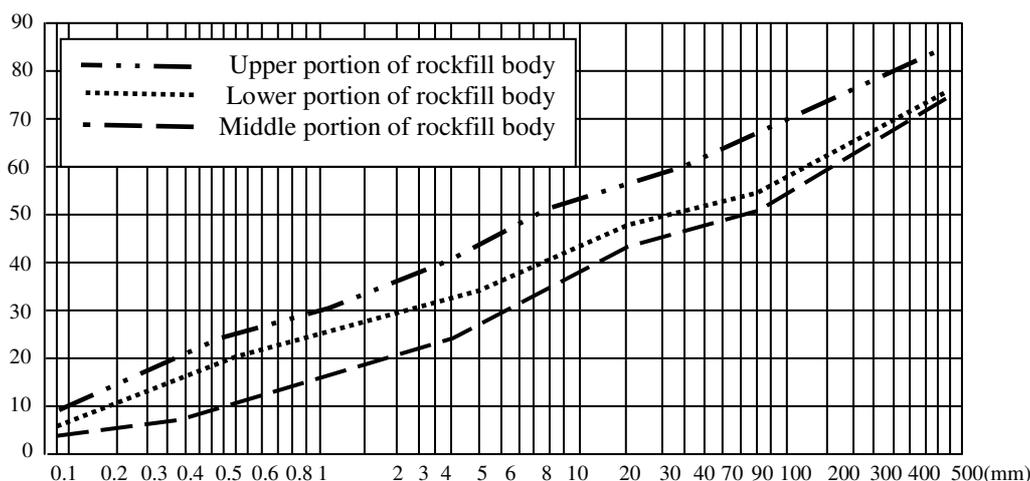
جانمایی مولفه ها و سازه های جنبی در سد انفجاری، با توجه به اهداف مربوط به ساخت سد، معمولاً شامل فرازبند و نشیب بند، تونل انحراف آب، بدنه اصلی سد، سرریز، آبگیر و تاسیسات نیروگاه می باشد. البته به اهداف سد ممکن است پاره ای از این مولفه ها از جانمایی سد حذف گردند. به عنوان یک قاعده کلی بایستی سازه های جنبی از جمله سرریزها، آبگیرها، تونل انحراف و سازه های تکمیلی را در سواحل رودخانه و در دورترین فاصله ممکن از محل تجمع سنگ و خاک حاصل از انفجار در دره و یا محل انفجار قرار داد تا در نتیجه انفجار خساراتی به این تاسیسات وارد نشود. با لحاظ این مورد، تونل انحراف و یا سایر تاسیسات بدلیل دوری از محل پرتاب و فروریزی سنگ و خاک ممکن است نسبت به سدهای متعارف هزینه بیشتری داشته باشد. اگر محل ساختگاه در یک خم و یا پیچ رودخانه انتخاب شده باشد، بهتر است که محل سازه های آبی مرتبط با سد در ساحلی استقرار یابند که رودخانه تحذب دارد و در اینصورت ساحلی برای انفجار انتخاب گردد که در بخش تقعر قرار گرفته باشد. در این حالت فضائی که سازه اشغال می نماید کوتاه تر گشته و از طرف دیگر مصالح در فضائی که باید بدنه سد ساخته شود پرتاب می گردد. شرایط توپوگرافی و طرح انفجار از جمله مسائل تعیین کننده در استقرار محل سرریز هستند. اگر بتوان ساخت سرریز را در نقطه ای که در ارتباط با دریاچه بوده و از محل بدنه اصلی سد انفجاری بدور است انجام داد مشکل استقرار سازه سرریز حل می شود در غیر اینصورت سرریز را می توان به طور معمول در کنار بدنه سد قرار داد و معمولاً ترجیح داده می شود که سرریز بر روی یک تراس سنگی با شیب ملایم که در مقابل جناح صحنه انفجار قرار دارد ساخته شود.

یکی دیگر از مولفه های سد سیستم آبگیر است. استفاده ثانوی از تونل انحراف به عنوان آبگیر با استقرار دریاچه هائی بر روی آن، حفر تونلی در ارتفاع مشخص برای انتقال آب نیز می تواند به عنوان یک راه حل محسوب شود [۶].

## خصوصیات مصالح انفجاری

خصوصیات مصالح ناشی از انفجار که برای ساخت بدنه سد انفجاری بکار گرفته می شوند به دو عامل اساسی خصوصیات سنگ محلی و روش انفجار بستگی دارد. اگر در هنگام انفجار و پرتاب مصالح خاک و سنگ مواد ریز دانه و درشت دانه و تخته سنگها و سنگدانه ها به

صورت مخلوط ریزش کنند، مقدار تخلخل را کاهش داده و ضریب آبگذری کم شده و عملیات آب بندی را ساده تر و ارزاتر می کند. اما وجود مقدار زیاد مواد دانه ریز ممکن است خطر تغییر شکل بیش از حد مجاز بدنه سد را موجب شود و این امر بدلیل کاهش مقاومت مصالح ریزدانه در مقابل آب است. گر چه نوع سنگ و لایه بندی و نوع مواد داخل سنگ، ضخامت لایه ها، درزها و ترکها و وضعیت توده سنگ و شیب جناحها در منحنی دانه بندی بدست آمده موثر هستند اما روش و نوع انفجار خود می تواند تا اندازه زیادی در تغییرات دانه بندی موثر باشد. بهترین حالت هنگامی است که مصالح ناشی از انفجار از مجموعه ای دانه درشت و دانه ریز تشکیل شده باشند که در این حالت منحنی دانه بندی مناسبی بدست می آید. باید متذکر شد که در هنگام فرو ریزی مصالح منفجر شده، تراکم سنگدانه ها در شیب شیروانی بالادست و پائین دست در مقایسه با تراکم این مواد در محور سد به مراتب کمتر خواهد بود. این امر بدلیل سقوط مصالح از ارتفاع زیاد و تجمع آن در محور سد است. شکل (۱) وضعیت تراکمی مصالح را در بخشهای مختلف یک سطح مقطع سد انفجاری نشان می دهد[۱].



شکل ۱- توزیع دانه بندی سنگدانه ها در لایه های یک سد انفجاری ساخته شده

## انفجار

همانطور که گفته شد در احداث این گونه سدها از روش انفجار هدایت شونده یا جهت دار استفاده می شود. در این روش با استفاده از چند ردیف و در طول قوسهائی با انفجارهای مختلف آرایش داده می شود. در این روش، انفجار همراه با لغزش توده سنگ جناحهای دره از انفجار همراه با پرتاب مصالح سنگی از جناحهای دره، بدلیل کاهش عملیات اجرائی انفجار و کاهش مصرف مواد ناریه، همچنین حصول بازده بیشتر از نظر تامین سنگ و خاک مورد نیاز و تجمع سنگدانه ها در محور بدنه سد، جلوگیری از صدمه شدید ناشی از انفجار به شیبهای کناری دره و برای بدست آوردن ارتفاع بیشینه، از اهمیت بیشتری برخوردار است و در بیشتر سدهای احداث شده از این روش استفاده گردیده است[۱].

از آنجا که هدف نهائی از انفجار، ساخت بدنه سد می باشد، لذا لازم است تا در راستای این هدف انفجار به نحو مناسبی انجام گیرد. هر چند تعیین و یا تخمین دقیق شیب شیروانی در چنین سدهائی قبل از وقوع انفجار ممکن نیست اما با توجه به شکل دره، شرایط توپوگرافی، کوهستانی بودن محل ساختگاه و نحوه آرایش و چگونگی طرح انفجار، می توان تا اندازه ائی سطح مقطع احتمالی را حدس زده و با تقریب و تخمین بیان کرد. بر اساس نتایج بدست آمده از ساخت سدهای انفجاری انتظار می رود در دره های عریض شیبهای شیروانی در بالادست و پائین دست در حدود ۱:۳ تا ۱:۴ و در دره های تنگ این شیبها در حدود ۱:۲ یا کمتر بدست آید. در هر حالت شیبهای شیروانی که در نتیجه انفجار توده های سنگ جناحهای دره بدست می آید از حداقل شرایط پایداری سد، به مراتب ملائمتر است و لذا از نقطه نظر شیب ملائم و متناسب نگرانی وجود ندارد. همچنین از تجربیات بدست آمده چنین بر می آید که به منظور تجمع مصالح سنگدانه و تخته سنگهای ناشی از انفجار در محل ساختگاه سد استفاده از انفجار در ردیفهای مختلف با تاخیر موثرتر از انفجار همزمان در ردیف هاست. از بین تمامی مسائل مربوط به طرح انفجار نیز، جانمایی چال ها یا محفظه های انفجار<sup>۱</sup> در یک توده سنگ دقت عمل زیادی را می طلبد. بر اساس شکل توزیع انفجار، چال انفجار به دو نوع زیر مورد توجه قرار می گیرد:

- خرج گذاری کروی<sup>۱</sup> که در آن نسبت عمق چال به قطر خرج گذاری از ۶ کمتر است و انتشار امواج در محیط سنگ بصورت کروی یا شعاعی اتفاق می افتد.
- خرج گذاری افقی استوانه ای<sup>۲</sup> که در آن نسبت عمق به قطر چال خرج گذاری از ۶ بیشتر و شکل انتشار امواج بصورت استوائی خواهد بود.

اگر فاصله ردیف چالها  $s$ ، بار سنگ یا ضخامت پوشش سنگی که باید تخریب شود  $B$  و ارتفاع پله یا ارتفاع بار سنگی که باید ریزش کند  $h$  باشد، بر اساس رابطه  $s$ ،  $B$  و  $h/B$  وضعیت انفجار به شرح جدول (۱) بدست می آید. معمولاً  $s$  در حدود یک تا دو برابر  $B$  است [۲].

جدول ۱- وضعیت خرد شدگی، پرتاب و لرزش زمین در رابطه با نحوه آرایش چالها

ردیف	مورد استفاده احتمالی در ساخت سدهای انفجاری	آرایش چالها	نوبت انفجار	وضعیت پرتاب سنگ و خاک	میزان خرد شدگی	لرزش زمین
۱	از طریق لغزش توده سنگ	$s = B, \frac{h}{B} > 4$	تاخیری	کم	غیر همگن، سنگدانه ریز و درشت	کم
۲	از طریق لغزش توده سنگ	$s = \frac{B}{4}, \frac{h}{B} > 4$	تاخیری	کم	نسبتاً یکنواخت	کم
۳	از طریق پرتاب سنگدانه ها	$s = \frac{B}{4}, \frac{h}{B} > 4$	فوری	زیاد	سنگدانه ریز و درشت	زیاد
۴	از طریق لغزش توده سنگ	$s = 2B, \frac{h}{B} > 4$	تاخیری	نسبتاً کم	ابعاد یکنواخت و متوسط و تعدادی سنگ درشت	نسبتاً کم
۵	از طریق پرتاب سنگدانه ها	$s = 2B, \frac{h}{B} > 4$	فوری	زیاد	درشت و یکنواخت	زیاد

آرایش چالهای انفجاری در حجم سنگ منفجر شده و بازده انفجار اثر غیر قابل انکاری دارد. معمولاً چال های یک طرح انفجاری را می توان به یکی از سه حالت زیر طراحی کرد:

- ۱- آرایش چالهای انفجاری مربعی شکل
- ۲- آرایش چالهای انفجاری مستطیلی شکل
- ۳- آرایش چالها بصورت لوزی

در آرایش مربعی، بار سنگ و فاصله ردیفهای چال مساویند، در حالیکه در آرایش مستطیلی فاصله ردیفها از بار سنگ بیشتر و در آرایش لوزی ردیفهای متوالی انفجاری نسبت به یکدیگر جابجا شده اند. طرح آرایش انفجار رابطه تنگاتنگی با مورفولوژی، توپوگرافی، شرایط زمین شناسی محل ساختگاه و محل انفجار و تامین ایمنی سایر سازه های جنبی مجاور محوطه انفجار دارد. در نقاطی که شیب جناحهای ساختگاه تند و کوهستان رفیع باشد، نحوه آرایش خرج انفجار در سطوح تراز یا در ارتفاعات مختلف پیشنهاد می شود. در این حالت انفجار سنگ کوه به احتمال زیاد موجب می شود که مصالح انفجاری در یک محدوده مشخص برای ساخت بدنه سد پرتاب شوند. بررسی سدهای انفجاری ساخته شده نشان می دهد در دره های غیر متقارن ساختگاه سدها، مقدار مصرف مواد ناریه و نحوه انفجار از یک جناح به جناح دیگر متفاوت است و بهتر است ابتدا انفجار در جناحی صورت گیرد که قرار است حجم سنگ و خاک بیشتری را منفجر کند. همچنین تجربه نشان داده است که مقدار مواد منفجره برای تخریب توده سنگ در حدود ۱/۸-۱/۲ کیلوگرم به ازای هر متر مکعب سنگ در تعبیر است [۲].

### معیارهای هیدرولیکی

از نظر هیدرولیکی مهمترین پارامتر، تخریب هیدرولیکی ناشی از نیروی نشت<sup>۳</sup> و یا سرریز آب از روی بدنه سد در اینگونه سدها می باشد. بر اساس نوع کاربرد و هدف از ایجاد سد، سدهای انفجاری از لحاظ کنترل نشت به دو دسته تقسیم می شوند: دسته اول سدهای انفجاری بدون کنترل نشت و دسته دوم سدهای انفجاری با کنترل نشت. مساله نفوذ یا نشت آب از مخزن، دیواره ها و یا پی در سدها از آن جهت

1- spherical charge

2- horizontal cylindrical charge

3- seepage force

مهم است که در بعضی مواقع موجب ناپایداری سد گردیده و ایمنی آن را بخطر می اندازد و یا اینکه نقش ذخیره ائی سد را از بین می برد. در سدهای انفجاری بدون کنترل نشت (که بیشتر به منظور تاخیر شدت سیلابها، سدهای رسوب گیر و یا سدهائی که به منظور بالا آوردن سطح آب رودخانه و ایجاد پتانسیل ارتفاعی نسبت به تراز رودخانه جهت تامین آب و یا به منظور استفاده از دریاچه سد برای تفریحات بکار میروند)، به علت درشت بودن قطعات و نفوذ پذیری، امکان وقوع جریان آب از داخل بدنه و نیز سرریز مقدار محدودی آب از روی تاج در زمان کم وجود دارد. بر اساس تجربیات بدست آمده بر اثر جریان از درون یا از روی تاج اینگونه سدها، عموماً قسمت پنجه پائین دست و تاج سد در خطر شسته شدن و فرسایش قرار می گیرند. از این رو چنانچه این دو قسمت از بدنه با استفاده از قطعات سنگی بزرگ و مقاوم به فرسایش ساخته شده یا به نوعی مسلح گردند، خطر فرسایش و تخریب آنها تا حد زیادی از بین می رود. علاوه بر این با افزایش طول مسیر نشت که همانا افزایش طول قاعده سطح مقطع سد می باشد، می توان نیروی نشت را کاهش داد. بررسی سدهای ساخته شده نشان می دهد مقدار افت انرژی بهینه وقتی حاصل می شود که  $L/h = 6-8$  (طول نشت و  $h$  معرف ارتفاع سد است). در سدهای انفجاری که تا کنون اجرا شده، متوسط ضریب نفوذ پذیری در حدود  $10^{-2}$  تا  $10^{-3}$  سانتی متر در ثانیه بدست آمده است [۴].

چنانچه اهداف و شرایط بهره برداری اجازه نشت و فرار آب از مخزن سد را ندهد کنترل نشت از مخزن ضروریست. اصولاً فرار آب از داخل مخزن سد از یکی از نواحی زیر صورت می گیرد:

- دیواره های مخزن،
- پی زیر سد و
- بدنه سد.

در مورد اول و دوم با تزریق سیمان و یا مواد ریزدانه<sup>۱</sup> تا جائی که فرار آب به حد مجاز برسد می توان آب بندی را انجام داد. برای کنترل نشت از بدنه سد می توان از روشهائی همچون استفاده از پتوی رسی در شیب بالادست (در این حالت بر روی مواد ریز دانه برای جلوگیری از شسته شدن در مقابل فشار هیدرولیکی و امواج، از مصالح غیر قابل فرسایش<sup>۲</sup> استفاده می شود)، تزریق مواد ریزدانه در بدنه سد به طریق دوغاب<sup>۳</sup> (رس- آب- لای)، استفاده از پوشش آسفالتی یا بتن آسفالتی در شیب بالا دست (در این حالت لایه ای با ضخامت در حدود ۱۵-۱۰ سانتی متر کافی است و ضریب نفوذ پذیری در حدود  $10^{-8}$ - $10^{-7}$  سانتی متر بر ثانیه خواهد بود)، استفاده از ژئوممبران، استفاده از لایه بتنی در شیب بالادست بهره جست. در این میان استفاده از لایه بتنی به علت ناچیز بودن احتمال وقوع پدیده شکست هیدرولیکی، هزینه کمتر اجراء، عدم فرسایش در صورت بروز نشت، آزادی عمل بیشتر از نظر اجرای عملیات ساختمانی و ... نسبت به سایر روشها، متداول بوده و بیشتر از این روش استفاده می شود. معمولاً رویه بتنی در سطح شیب بالادست سدهای انفجاری اجرا می شود. ضخامت این لایه بتنی متناسب با ارتفاع سد افزایش می یابد. رابطه تجربی که در بیشتر سدها برای محاسبه ضخامت رویه بتنی مورد استفاده قرار گرفته به شرح زیر است:

$$t = 0.3 + 0.003h$$

که در آن:

$t$  = ضخامت رویه بتنی بر حسب متر و  
 $h$  = ارتفاع سد بر حسب متر می باشد.

البته بر اساس تجربیات بدست آمده در برخی از سدها، از ضخامت کمتر مطابق با  $0.3 + 0.002h$  و  $0.3 + 0.001h$  نیز استفاده شده است. این تجربیات نشان می دهد که رویه های نازک تر از انعطاف پذیری بیشتری برخوردارند و کمتر دچار ترک خوردگی می شوند. یکی از مسائل مهم در رویه بتنی، تعبیه سیستم درزهای انقباض و انبساط و نیز آب بندی مناسب آنها به منظور کنترل نشت از رویه است. در گذشته معمولاً سیستم درزبندی در دو جهت افقی و قائم انجام می شد اما اخیراً سیستم درزهای افقی در قسمت های مرکزی رویه حذف و عمدتاً در نزدیکی محیط رویه انجام می شود. از آنجا که این سیستم های درزبندی محل وقوع نشت از رویه می باشد لازم است با استفاده از نوارهای آب بند<sup>۴</sup> نشت آب از رویه را کنترل کرد [۳].

- 
- 1-grouting
  - 2-rip rap
  - 3- hydraulic fill
  - 4- water stop

در مورد سرریز آب از روی بدنه سد در مواقع عبور سیلاب، در صورتیکه تحلیل مساله بخوبی انجام شود و خطری برای انهدام بدنه سد وارد نیابد مجاز است. با این حال برای جلوگیری از فرو افتادن تخته سنگها و مصالح شیب شیروانی پائین دست می توان از شبکه های فولادی با توربهای گابیونی برای تقویت پایداری و افزایش اصطکاک و گیرداری بین سنگها استفاده کرد.

موضوع مهم دیگر در اینگونه سدها تغییر شکل پذیری بدنه سد می باشد. در این سدها که متشکل از قطعات سنگی همرا با فضای خالی میان آنها می باشد ممکن است تماس بین قطعات سنگی در گوشه، لبه و یا سطح باشد. بدیهی است در تماس گوشه یا لبه امکان خرد شدن بر اثر اعمال بار وجود خواهد داشت. پس از تکمیل سد، ممکن است بر اثر اولین آبگیری مخزن حرکات زیادی در تاج سد رخ دهد. معمولاً چنانچه مصالح بدنه از قطعات سنگی سالم، مقاوم و با دانه بندی خوب تشکیل یافته باشد، میزان نشست آن بسیار محدود است. *Lester, Lawton* با مطالعه نشست تعداد زیادی از سدهای ساخته شده و در نهایت بر اساس اطلاعات بدست آمده، رابطه تجربی زیر را برای برآورد نشست این سدها ارائه کردند:

$$S = 0.001h^{\frac{3}{2}}$$

$S$  = مقدار نشست تاج بر حسب متر و

$h$  = ارتفاع سد بر حسب متر

بر اساس همین مطالعات در اغلب موارد بین ۵۰ تا ۸۵ درصد نشست این گونه سدها طی یکسال پس از آبگیری به وقوع پیوسته است [۳].

## نتیجه گیری

در رودخانه های کوهستانی و در دره های تنگ بدلیل نیاز به توسعه منابع آب، استفاده از سدهای انفجاری می تواند منافع زیادی جهت مهار و استفاده آب داشته باشد که از آن جمله می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- ۱- این سدها کاملاً پایدار بوده و با وزن مخصوص ۱/۸-۲/۴ تن در متر مکعب در مقابل نیروهای استاتیک و دینامیک مقاوم هستند.
- ۲- چون احداث این سدها با سرعت انجام می شود، لذا سیستم انحراف که معمولاً هزینه بر است می تواند حذف و یا ساده تر انجام شود.
- ۳- در احداث اینگونه سدها برای جابجائی مصالح از انرژی انفجاری استفاده می شود. در واقع بجای حفاری مصالح، انجام فرایندهای ویژه حمل و نقل و کوبیدن مواد سنگدانه، در این روش با عملیات انفجار کلیه مراحل همزمان صورت می گیرد که این مساله موجب کاهش هزینه و سرعت در اجرای سازه می شود.
- ۴- با عنایت به مطالب یاد شده چنین بنظر می رسد که عملاً توپوگرافی و مورفولوژی دره ساختگاه سد انفجاری در هزینه های طرح و توجیه پذیری این قبیل سدها تاثیر بسزائی داشته و ایمنی سد در هنگام ساخت و بهره برداری نیز تحت تاثیر آن قرار می گیرد. شیبهای تند جناحها و ارتفاع زیاد دیواره های مجاور ممکن است هزینه دسترسی را برای آرایش انفجار بالا ببرد.
- ۵- بدلیل انعطاف پذیری مصالح حاصل از انفجار، مسائل لرزه خیزی و تحمل پذیری پی در مقابل بار نشست های ناهمگون در این قبیل سدها مشکل آفرین نخواهد بود.
- ۶- مشکلات تخصصی در طرح و اجرای این قبیل سدها، به مراتب از سدهای با مصالح بتنی، خاکی و سنگریزه ای کمتر است.

## پیشنهادات

با توجه به وجود رودخانه های کوهستانی زیاد در کشور و همچنین نیاز مبرم به کنترل، ذخیره و مهار سیلابها پیشنهاد می گردد تحقیقات در موارد گوناگون سدهای انفجاری انجام شود، تا بتوان از این روش ارزان و سریع در بسیاری از طرحها مانند، آبخیزداری، کنترل سیلاب، تولید نیرو، بهبود کیفی محیط زیست، کنترل و تله اندازی رسوب، تامین و انتقال حوضه به حوضه آب استفاده کرد.

## منابع

- [۱] [جمالی، محمد (۱۳۸۰). "سدهای انفجاری". کمیته ملی سدهای بزرگ ایران، وزارت نیرو، ص ۱۶۱.
  - [۲] [مهندسین مشاور لار (۱۳۷۷). "گزارشات مربوط به مطالعات سدهای انفجاری در حوضه های آبریز کارون و دز".
  - [۳] [رحیمی، حسن (۱۳۸۲). "سدهای خاکی". انتشارات دانشگاه تهران، ص ۶۷۱.
- [4] ICOLD, (2004). "Explosive Dam with Concrete Facing", Bulletin 93, Int. comm. Large Dams, Paris.

## **Hydraulic and Structural Criteria for Designing Explosive Dams on Mountainous River**

**Mohammad Nasr-e Esfahani<sup>1</sup> –Mahmood Shafai<sup>2</sup> – Javad Ahadian<sup>3</sup>**

### **Abstract**

**In line with the quick implementation of simple techniques in dam construction and also reducing costs, many progresses have been observed in constructing different types of dams, using different materials and implementation methods. One of these methods is explosive dams construction. Explosive dams, the same as conventional dams, are constructed for the purpose of increasing water levels in rivers, from deep valleys for basin to basin water transfer, establishing river diversion systems (upper cofferdam and lower cofferdam), controlling erosion and sediment transport, preventing overflow of the downstream dams, and storing water. Classification of these dams is done based on "objectives" and "status of dam structure". Existence of high flow rivers in mountainous regions, narrow valleys and high ridges, geological and topographical condition of valleys provide a suitable ground for the use of explosive dams because of their ease of design, low cost and quick implementation. On the other hand designing these dams in the mountainous waterways involves considering structural conditions such as exercising dynamic forces on the formations of the regions. Also in order to design these dams sealing conditions by using modern covers should be considered. In the present study the optimal condition for designing such dams on mountainous rivers based on aforementioned objectives is included.**

---

1-- M.S in Hydraulic Structure Engineering – Khozestan Water & Power Authority

2-- Professor, Hydraulic Structure Dept. Shahid-Chamran Univ., Ahwaz, Iran

3-- Faculty Member of Water Sciences Engineering – Shahid Chamran University