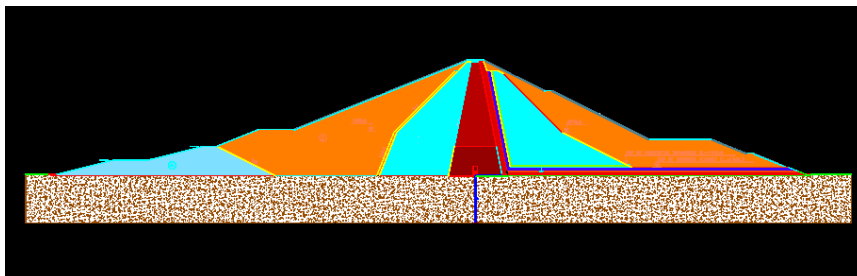


اصول مهندسی سدسازی

ایمان الیاسیان، دانشجوی دکترای عمران سازه، عضو کمیته ملی سدهای بزرگ ایران



سدهای خاکی:

سدهای خاکی مصالحشان را از همان منطقه احداث و یا نواحی نزدیک تأمین می کنند ، و اصولاً دارای هسته رسی می باشند . رس بر اثر تماس با آب مانع نفوذ و انتقال آب و رطوبت می گردد و مانند نوعی عایق رطوبتی عمل می کند . اگر عمده مصالح تشکیل دهنده سد خاکی یکسان باشند ، سد را همگن می گویند و در غیر اینصورت ناهمگن. اگر کل سد خاکی از رس باشد سد خاکی همگن است ، اما اگر هسته مرکزی سد رس باشد و دور هسته مرکزی را با سنگهای دانه درشت پر کرده باشند ، سد غیر همگن محسوب می شود. از نظر تحلیل و آنالیز این نوع سدها بسیار حساس می باشند و در عین حال از نظر اجرا و پیاده سازی ساده تر می باشند. اجرای این سد در رودخانه های عریض ساده تر است. مصالح این سد اعم از ریز دانه و درشت دانه بایستی در دسترس باشد. این سدها برای زمینهایی نامناسب از نظر مقاومت مناسب ترین نوع سد می باشند

انواع سدهای خاکی

- سدهای همگن
- سدهای غیر همگن (زون بندی شده)
- سدهای سنگریزه ای با غشای نفوذ ناپذیر

سدهای خاکی همگن

- در سدهای خاکی همگن قسمت اعظم بدنه آن از يك نوع مصالح ساخته می شود
- جنس مصالح تشکیل دهنده بگونه ای است که نیاز به المان آبندی ندارد. معمولاً برای کنترل سطح تراوش آزاد (*phreatic line*) از سیستم زهکشی استفاده می شود

مقطع تیپ سد خاکی

سدهای خاکی به دلیل تحمل نیروها از طریق وزن خود دارای مقطع نودنقه ای شکل هستند و اجزاء تشکیل دهنده آنها شامل موارد زیر می باشد :

1- بدنه سد

2-المان

3-پی سد

4-تکیه گاه

5-سیستم زهکشی

اجزای مختلف سد

□پاشنه سد

□پوسته سد

□پی سد

□فیلتر ها

□پرده آبند

□زهکشها

□پوشش محافظ

□پتوی زهکش

□شیب ریپ راپ

□پنجه سنگی

□تکیه گاه

□تاج سد

□شیب بالادست

□ارتفاع سد

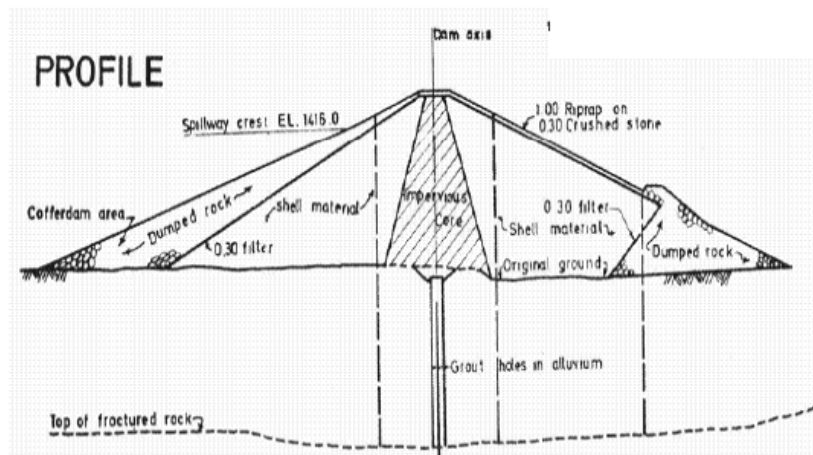
□شیب پایین دست

□ عمق آزاد

□برم (سکو)

□ تیغه آب

□هسته سد

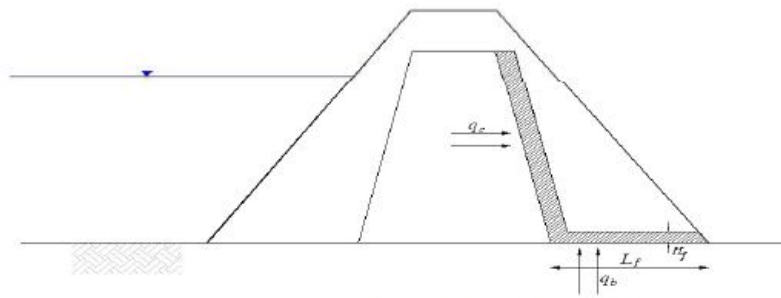


زهکش ها:

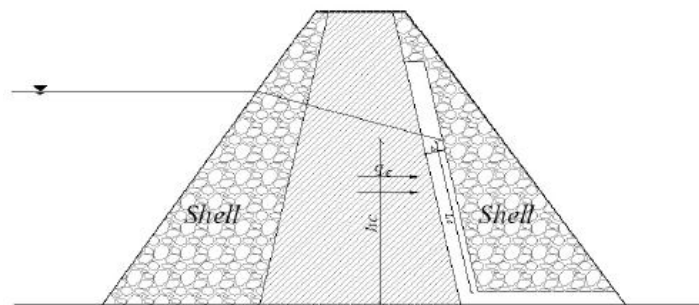
زهکشی در بدنه سد به منظور جمع آوری و هدایت زه عبور کرده در بدنه و یا از شالوده می-باشد و هدف آن این است که دامنه پایین دست حتی الامکان خشک نگاه داشته شود و نیز از ایجاد هرگونه اضافه فشار آب منفذی در مناطق مختلف سد جلوگیری گردد. از آنجا که زهکش-ها دارای نفوذپذیری زیاد می-باشند لازم است ارتباط آنها با بدنه (و بخصوص با مغزه سد) بصورت تدریجی باشد، یعنی الزاماً منطقه-ای به نام فیلتر بین زهکش و خاک بدنه تعبیه گردد.

اهداف سیستم زهکشی

- 1- پایین نگه داشتن خط نشست به منظور افزایش پایداری شیب پایین دست
- 2- کنترل جریان نشست در هنگام خروج از بدنه سد و جلوگیری از ایجاد فرسایش درونی



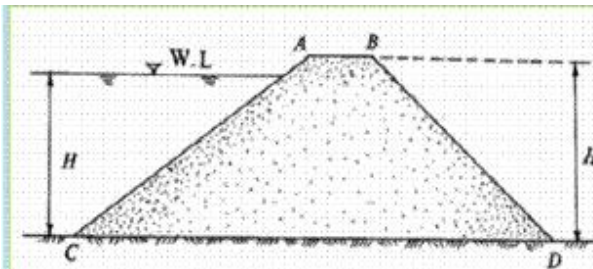
زهکش افقی پایین دست هسته



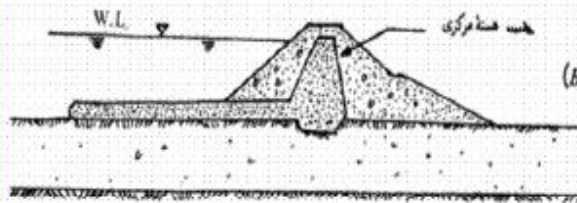
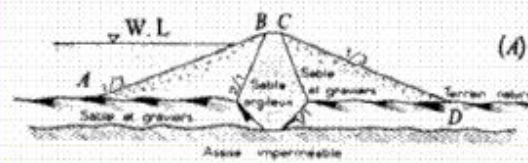
زهکش دودکشی پایین دست هسته

سدهای منطقه بندی شده

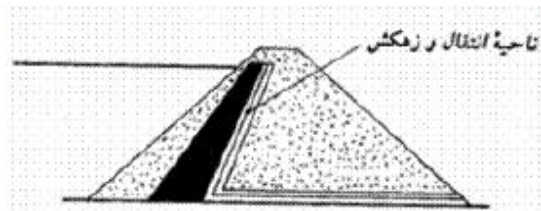
- 1- سدهای خاکی یاسنگریزه ای با هسته رسی مرکزی
- 2- سدهای خاکی یاسنگریزه ای با هسته رسی مایل
- 3- سدهای خاکی یاسنگریزه ای با غشای بالا دست
- 4- سدهای خاکی یاسنگریزه ای با غشای مرکزی



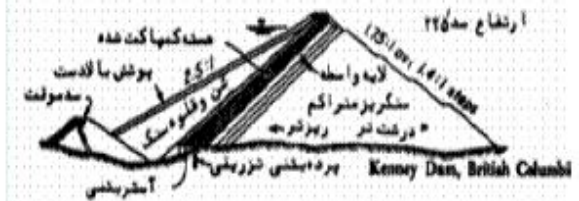
مقطع عرضی از سد خاکی در امتداد طولی رودخانه



مقطع عرضی از سد خاکی با دو نوع هسته مرکبی



(ج) سد خاکی با هسته رسی شیبدار



ب - با پوشش سفلی (مفره مایل) در با لادست



ج - سد باره سنگی با مفره نفوذنا پذیر



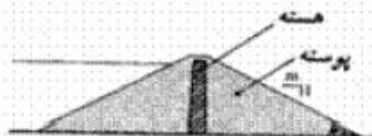
(الف) مقطع همگن با زهکش پنجه

$$m = 1.5 - 2.5$$



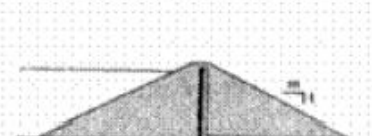
(ب) مقطع همگن با زهکش دودکشی (زهکش ستونی)

$$m = 2.5 - 3.5$$



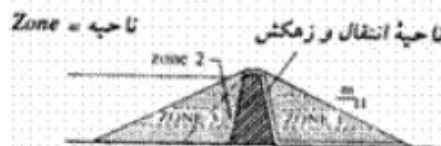
(پ) هسته رسی لاغر

$$m = 2.0 - 3.0$$



(ت) هسته بتنی لاغر

$$m = 2.0 - 3.0$$



(ث) مقطع غیر همگن با هسته عریض و

نواحی انتقال و زهکش

$$m = 2.5 - 3.5$$



(ج) سد خاکی - سنگریزه‌ای با هسته رسی با

ناحیه انتقال و زهکش

$$m = 1.6 - 2.0$$

ارتفاع آزاد (Free board)

ارتفاع آزاد اختلاف ارتفاع تراز حداقل تاج با تراز حداکثر دریاچه در هنگام سیلاب می باشد .

عوامل موثر در انتخاب ارتفاع آزاد عبارتند از :

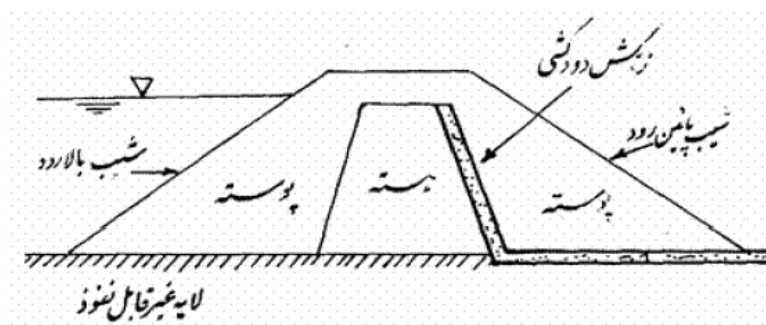
۱ - تراز آب در بالای سرریز در زمان عبور دبی حداکثر

خروجی

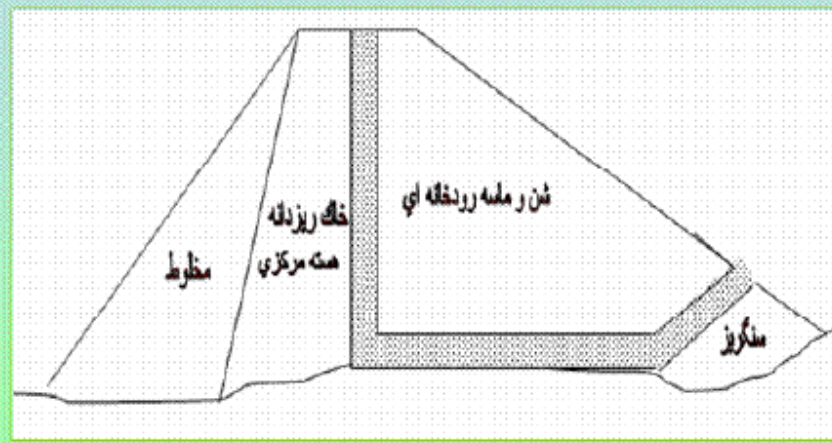
۲ - ارتفاع موج

۳ - نشست تابع زمان بدنه سد و پی آن

۴ - شرایط پائین دست



روشهای کنترل تراوش



کنترل تراوش در فونداسیون و دیوارهای جانبی سد

- روشهای مختلفی برای کنترل تراوش از طریق فونداسیون وجود دارد . روشی که برای یک سطح مناسب باشد بستگی به عوامل مختلفی دارد ولی به طور کلی باید از خاکریز مطمئن بود و مسائل اقتصادی را نیز در نظر داشت در بعضی از موارد ممکن است با توجه به نیازهای پروژه چندین راه حل مورد قبول باشد

- ۱) پرده تزریق
- ۲) دیوارهای جدا کننده بتونی
- ۳) دیوارهای جداکننده خاکی
- ۴) پوشش بالادست
- ۵) سپر کوبی
- ۶) زهکش های عمودی
- ۷) چاههای زهکشی

عرض تاج سد

عرض تاج سد نباید کمتر از 3 متر یا 10 فوت باشد و این مقدار حداقل لازم جهت استحکام ، کنترل تعمیرات ، بررسی ها و عبور و مرور میباشد . در مورد انتخاب عرض تاج سد روابطی تجربی پیشنهاد شده است که برخی از آنها عبارتند از :

$$b = 1.104\sqrt{H} + 0.915 \quad \text{استاندارد USBR}$$

$$b = 1.65(H + 1/5)^{(1/3)} \quad \text{دفتر فنی سد سازی آمریکا}$$

$$b = 0.55\sqrt{H} + 0.2H \quad \text{دفتر فنی سد سازی آمریکا سد های زیر 30 متر}$$

$$b = 3.63 \sqrt[3]{H} - 3 \quad \text{استاندارد سد سازی ژاپن}$$

(H ارتفاع خاکریز بدنه سد و B عرض تاج بر حسب متر می باشد)

ارتفاع موج نقش مهمی را در انتخاب ارتفاع آزاد بازی می کند . برای تعیین ارتفاع حداکثر موج در دریاچه پشت سد معمولاً از روابط تجربی زیر استفاده می شود :

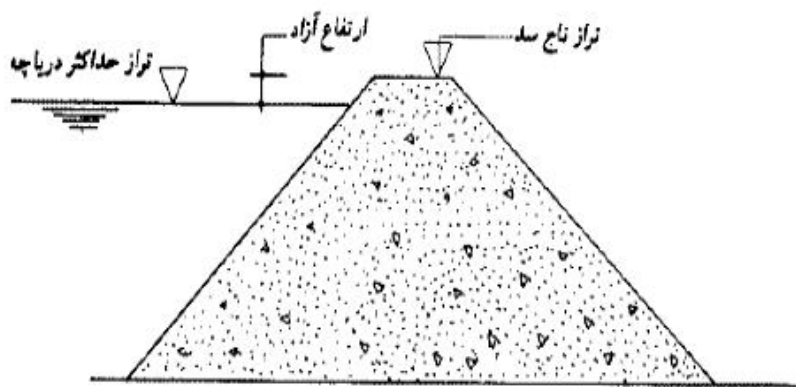
$$h_v = 0.032 \sqrt{V.F} + 0.763 - 0.271 F^{0.25} \quad (F < 32 km)$$

$$h_w = 0.032 \sqrt{V.F} \quad (F > 32 km)$$

h_w = ارتفاع موج بر حسب متر ($\frac{2}{3}$ آن در بالای تراز ایستابی و $\frac{1}{3}$ آن در زیر تراز ایستابی فرض می شود)

V = سرعت باد بر حسب کیلومتر بر ساعت .

F = دورخیز باد بر حسب کیلومتر (درصدی از ابعاد دریاچه در امتداد وزش باد منظور می شود)



زهکش لایه های افقی

این نوع زهکش در دامنه پایین دست و در قاعده سد قرار گرفته است و تمامی زه درون بدنه و قسمت عمده زه شالوده را به طرف بیرون سد هدایت می-کند. این نوع زهکش بوسیله لایه فیلتر به خاک بدنه سد مربوط می-گردد. پنجه سنگی موجود در پنجه سد نیز سیستم زهکشی افقی را تکمیل می-کند. نقش دیگر زهکش افقی، تسهیل و تسریع در تحکیم لایه شالوده (در اثر وجود بار سد) می-باشد.

برای اینکه زهکش بتواند جریان طبیعی آب را از خود عبور دهد و در خود جمع نکند حداقل سطح مقطعی لازم دارد که می-توان آنرا به کمک قانون دارسی بدست آورد

$$H_F = \sqrt{\frac{(q_c + q_b)L_F}{K_F}}$$

که در آن:

q_c : دبی نشتی عبوری از هسته در واحد طول سد

q_b : دبی نشتی ورودی از پی و پوسته پایین دست در واحد طول سد

L_F : طول لایه زهکش افقی

K_F : نفوذپذیری مصالح زهکش افقی

زهکش دودکشی

برای طراحی زهکش دودکشی که در قسمت پایین دست هسته سد و به موازات آن می-باشد ابتدا دبی آب نشت یافته به داخل هسته محاسبه و سپس انتخاب ضخامت لایه (t_c) متناسب با نیاز عملیات اجرایی و نفوذپذیری مصالح براساس قانون دارسی صورت می-گیرد

$$t_c = \frac{q_c \cdot L_c}{h_c \cdot K_c}$$

که در آن:

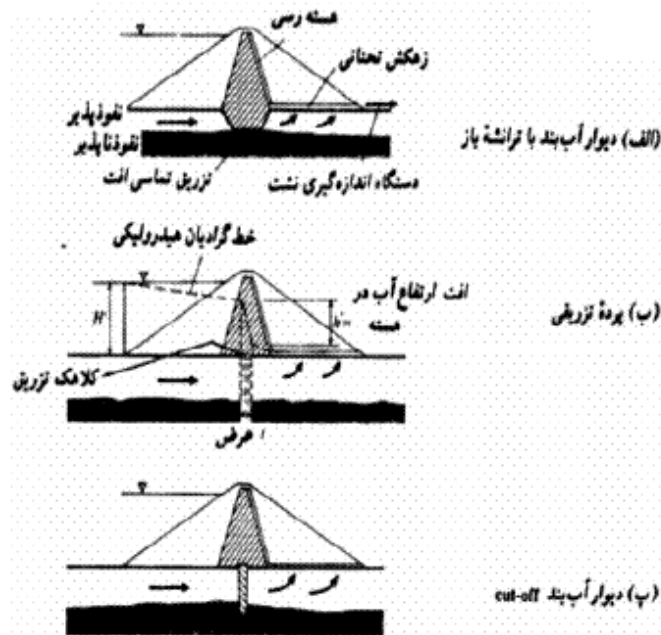
q_c : دبی نشتی عبوری از هسته در واحد طول سد

L_c : طول لایه زهکش شیبدار در جهت جریان

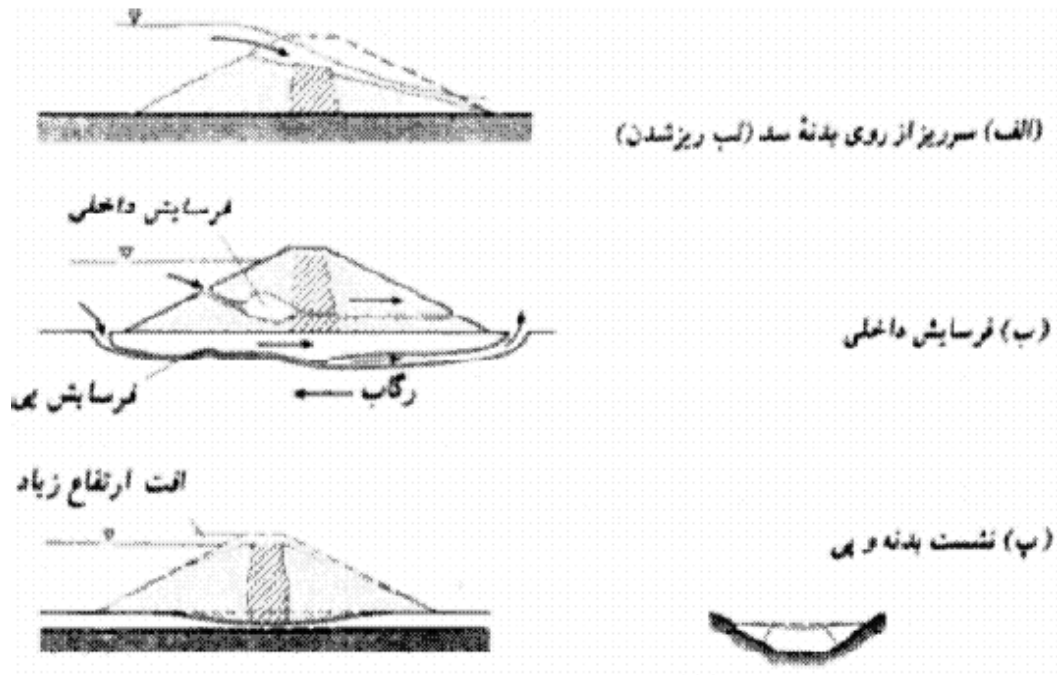
h_c : ماکزیمم بار هیدرولیکی در سطح خروجی شیب پایین دست هسته

K_c : نفوذپذیری مصالح زهکش شیبدار

کنترل نشست از پی سد



اشکال مختلف خرابی در یک سد خاکریز ای



سدهای خاکی و راهکارهای بهسازی آنها

ایمان الیاسیان، کارشناس ارشد سازه i.elyasian@gmail.com

چکیده

خاک‌های ریز دانه خاصی در طبیعت وجود دارد که به محض تماس یافتن با آب، به سرعت شسته می‌شود. این خاک‌هاکه معمولاً از نوع رس هستند، در صورت قرار گرفتن در معرض جریان آب حتی اگر سرعت جریان کم باشد به سهولت شسته می‌شوند و فرسایش می‌یابند. بالابودن درصد یون سدیم در آب منفذی از خصوصیات عمده این خاک‌هاست. خاک‌های مذکور به خاک‌های واگرا مرسومند. این پدیده را با توجه به خصوصیات خاک‌های رسی می‌توان توجیه کرد؛ بین ذرات خاک‌های رسی نیروهای دافعه و جاذبه وجود دارد. نیروهای جاذبه عمدتاً از نوع نیروهای واندروالسی هستند و نیروهای دافعه از وجود لایه دوگانه در اطراف ذرات کانیهای رسی ناشی می‌شوند. در خاک‌های واگرا بر اثر مجاورت با آب نیروی جاذبه بین ذرات از بین می‌رود و در نتیجه ذرات کلونیدی خاک به سهولت از یکدیگر دور شده و با نیروی کمی که می‌تواند ناشی از حرکت بسیار آرام آب باشد به حرکت در می‌آیند در صورتی که در خاک‌های رسی غیر واگرا نحوه فرسایش به گونه‌ای دیگر است. در این خاک‌ها بر اثر تماس خاک با آب نیروی جاذبه بین ذرات از بین نمی‌رود و برای فرسایش و شسته شدن آنها لازم است سرعت جریان آب بقدر کافی زیاد باشد. با بررسی راه‌های تشخیص خاک‌های واگرا و ملاحظات طراحی، روش‌های بهبود و اصلاح خاک و مقابله با مشکلات ناشی از آن از جمله استفاده از فیلترهای مانع فرسایش برای هسته‌های واگرا و آماده‌سازی پی خصوصاً در محل‌های بحرانی و تماسی و در نهایت با بررسی نقش پدیده واگرایی در فرسایش درونی و مکانیزم وقوع آن و میزان مشارکت آن در شکست هیدرولیکی سدهای خاکی به بهسازی پی در سدهای خاکی می‌پردازیم

اهداف سد سازی آبیاری زمین های مزروعی-تامین آب آشامیدنی-تولید برق آبی-کنترل سیلابها-پرورش ماهی- تفرجگاه- حفاظت خاک و...

1-سدهای بتنی که به صورت وزنی ویا قوسی هستند

2-سدهای خاکی و سنگریزه ای(خاکی؛ سنگریزه ای ویا مخلوطی)

مشخصه های اقتصادی -هیدرولوژی-پی مناسب-در دسترس بودن مصالح-سرریز مناسب سد-امکان نشت آب از مخزن سد-نحوه انحراف آب- ارزش زمین سد-مدت ساخت-حجم دریاچه یا مخزن-شیب بستر-شکل دره سد-مسیر انتقال آب

کلیدواژه‌ها: خاک‌های واگرا، خاک‌های رسی، بهبود و اصلاح خاک، بهسازی پی، روانگرایی

✓ اجرای مصالح آب بند قیری

✓ اجرای بتن ریزی

✓ برنامه زمان بندی اجرایی(رعایت توالی و تقدم اجرایی)

شامل : ضخامت قابل قبول لایه- هسته نفوذ ناپذیر و سنگریزه ای یا خاکریزی- تعداد گذر های مورد نیاز توسط تجهیزات متراکم کننده- میزان رطوبت بهینه برای متراکم کردن هسته نفوذ ناپذیر یا خاکریزی- کیفیت سنگریز- شرایط آب و هوایی فصلی- تأثیر تشکیلات زمین شناسی محلی روی پی ها- توپوگرافی و نوع عکس هوایی محل سد- پلان انحراف رودخانه- اجرای دیوار آببند- تاسیسات یا اجرای مجاری تخلیه تحتانی، آبگیرها- اتمام رویه ها همزمان با اجرا و بالا رفتن سد- اجرای لایه نفوذ ناپذیر در رویه بالادست سد- زمان مسدود کردن تونل انحراف در هنگام آبگیری- تزریق کردن پی ها

هدف از تزریق

- تقویت پی در زیر سازه ها جهت جلوگیری از حرکت و جابجائی های اضافی.
- به منظور دستیابی به یک سیستم آب بند در زیر یا اطراف یک سازه .
- تراکم تشکیلات خاکی پی سازه ها جهت افزایش مقاومت برشی آنها .
- برای مهار فشار برخاست بر سازه

- پر نمودن فضاهای خالی و جلوگیری از نشست بیش از اندازه تشکیلات

روشهای تزریق

- تزریق با فشار متوسط بدون خراب کردن پی یا تزریق نفوذی Penetration Grouting
- تزریق با فشار زیاد با شکستن بیشتر شکافها یا تزریق جابجائی Displacement Grouting
- تزریق تراکمی و تحکیمی Consolidation Grouting
- اختلاط خاک Soil Mixing
- تزریق با فشار Jet Grouting

- ✓ میزان تولیدی کارگاه مصالح سنگی
- ✓ سدهای سنگی با رویه نفوذ ناپذیر
- ✓ حفاری روباز برای سدهای مخزنی-خاکی
- ✓ برنامه‌ریزی برای گودبرداری و حفاری

سدهای خاکی

چکیده:

در بسیاری از مناطق ایرا در راستای مدیریت منابع آب استفاده از سد ازام آور می باشد.

کلمات کلیدی: سدهای خاکی ، راهکارهای بهسازی، خاک، نفوذپذیری

۱- مقدمه:

در این نوع سدها، تاسیسات ثابت و ویژه عموماً از اهمیت کمتری نسبت به سدهای بتنی برخوردار بوده و ابزار و تجهیزات سیار و قابل جابجایی نقش بیشتری دارند. بنابراین کارگاه تعمیر وسایل نقلیه جزء تاسیسات عمومی و مهم در اجرای چنین سدهایی می باشد. در این مورد، طراحی شبکه جاده های دسترسی به ارتفاع های مختلف سد دارای اهمیت ویژه ای خواهد بود که همچنین برای اجرای پی کنی ها یا حفاری ها و نیز برای رساندن مواد و مصالح به سایت مورد استفاده قرار می گیرند. تجهیزات مربوط به اجرای حفاری ها و پی کنی و استخراج معادن در این نوع سدها مشابه سدهای بتنی است. تجهیزات انتقال، پخش و تحکیم بستگی به نوع مصالح، مشخصه های جاده های دسترسی، فاصله معدن قرضه از سد و ... دارد. تجهیزات آبدی به منظور تنظیم مقدار رطوبت مواد رسی معمولاً در محل معدن قرضه نصب می شود و در صورت نیاز مانیتورهای آبدی خاکریز سنگی در محل -در طول اجرا بر روی سد تعبیه می شوند.

برای بتن ریزی و اجرای هر کدام یک از مسیرهای انحرافی رودخانه، خروجی تحتانی، آبگیرها، سرریز، آبندها، برج های آبگیر، تاج و غشای بتن بالادست معمولاً لازم است که یک کارگاه اختلاط کمکی ایجاد شود که علاوه بر آن ممکن است برای ساخت و اجرای تاسیسات استفاده شود. مصالح بدنه که شامل فیلترها می باشند، از محلهای قرضه معدنی یا شنی و نزدیکترین مصالح رس روزمینی به محل کار و در صورت امکان در همان حالت طبیعی و دست نخورده، تامین خواهند شد. باید در مورد جنس و کیفیت و دانه بندی مصالح یاد شده تحقیق عمیق و دقیقی به عمل آید تا مجبور نباشیم برای این مصالح کارگاه برپا کنیم.

۲- اجرای مصالح آب بند قیری:

در حالتی که سد دارای یک سطح بتنی آسفالتی نفوذناپذیر در سمت بالادست است و یا یک هسته آسفالتی دارد، لازم است که به این منظور یک کارگاه بتن آسفالتی برپا شود، همچنین دانه بندی مصالح، اختلاط، کیفیت شیب لایه های مختلف (پرداخت سطح، نفوذناپذیری و زهکشی) و زاویه شیب و اقلیم شناسی منطقه باید به دقت مطالعه شوند. مصالح سنگی همچنین ممکن است از کارگاه تهیه مصالح برای ساخت بتن فراهم شوند.

۳- اجرای بتن ریزی:

معمولاً بهتر است که بتن ریزی همه بلوک ها کم و بیش همزمان صورت گیرند و اختلافی برابر یک یا دو لایه بین یک بلوک و بلوک بعدی وجود داشته باشد که باعث می شود سد یک نمای دندانه ای پیدا کند. با این وجود، در سدهای بزرگ با کارگاه های بتن ریزی بزرگ، بتن ریزی قسمتهای بالایی سد باید تدریجاً شروع شود به خاطر اینکه اجرای تاج سد قدری پیچیده و آرام صورت می گیرد و در نتیجه احتیاج به بتن کمتری در روز خواهیم داشت. به این ترتیب، بلوک های تاج سد همزمان با بلوک های دیگر قسمت ها که در حال اجرا شدن هستند می توانند اجرا شوند و بدین طریق احتیاجات بتن ریزی ما با ظرفیت دستگاهها مطابقت خواهند داشت. راه حل دیگر این است تا کارگاه بتن ریزی اصلی را متوقف و برای اجرای تاج سد از کارگاه کمکی استفاده کنیم.

۴- برنامه زمان بندی اجرایی برای سدهای خاکی :

این برنامه، همانند برنامه ای است که برای اجرای یک سد بتنی به کار می رود و همچنین بصورت یک شکل گرافیکی نشان داده شده است. رنگهای مختلف یا بعضی روش های دیگری که در یک پروفیل یا پروفیل های مختلف سد نشان داده شده اند، به این منظور است تا ضخامتهای مختلف مصالحی که در هر ماه اجرا خواهند شد را نشان دهند. بر خلاف سدهای بتنی، درزهای طولی فقط از تماس نوع های مختلفی از مصالح بوجود می آیند که عبارتند از: پشت ریز، خاکریز پایین دست /بالادست، فیلترها، هسته نفوذ ناپذیر، رویه های کار و غیره. در این صورت حجم مصالح مورد نیاز سد از کف رودخانه، بالای 2 یا 3 متر ضخامت لایه ها محاسبه شده است.

تکنیک ساخت بصورت پخش لایه هایی در ضخامت هایی است که با استفاده از تجهیزات موجود می توان آنها را متراکم کرد. این ضخامت بسته به نوع مصالح نظیر سنگ، خاک، رس نفوذ ناپذیر و غیره تغییر می کند.

در این نوع سد، شرایط آب و هوایی خیلی مهم می باشد زیرا همزمان با عملیات پخش مصالح سنگی و متراکم کردن آن هنگامی که باران می بارد، خاکریز و هسته های رسی باید تحت شرایط رطوبت بهینه پخش و متراکم شوند. این مورد تا حد زیادی روی برنامه ریزی اجرایی تاثیر دارد. آنچه در زیر می آید عوامل وضعیتی است که در برنامه ریزی اجرایی یک سد خاکی موثرند:

1. ضخامت قابل قبول لایه، برای هر دو مورد هسته نفوذ ناپذیر و سنگریزه ای یا خاکریزی. در این مورد، ضرورت ندارد که ضخامت لایه های هر روز کاری با هم مطابقت داشته باشند بلکه باید به گونه ای باشد که به حد کافی متراکم شوند.

2. تعداد گذر های (عبور و مرورهای) مورد نیاز توسط تجهیزات متراکم کننده برای هر نوع مصالح، که به دانسیته مورد نیاز بستگی دارد.

3. میزان رطوبت بهینه برای متراکم کردن هسته نفوذ ناپذیر یا خاکریزی.

4. کیفیت سنگریز و درصد قابل قبول مصالح ریزتر از 25 میلی متر.

5. شرایط آب و هوایی فصلی.

6. تأثیر تشکیلات زمین شناسی محلی روی پی ها.

7. توپوگرافی و نوع عکس هوایی محل سد. این اطلاعات به منظور ترسیم شبکه راه برای پخش انواع مختلف مصالح در جبهه های مختلف کاری مورد نیاز می باشند.

8. پلان انحراف رودخانه.

9. اجرای دیوار آبنند که مصالح نفوذ ناپذیر سد را به سنگ بستر یا لایه سر بار اتصال می دهد و باید مدت ها قبل از قرار گیری لایه های سنگریزه یا هسته کامل شده باشد تا از بوجود آمدن تأخیرات آینده جلوگیری به عمل آید و بر اساس برنامه اجرایی دنبال شود.

10. تاسیسات یا اجرای مجاری تخلیه تحتانی، آبگیرها و سایر اعضای آبدایی.

11. اتمام رویه ها همزمان با اجرا و بالا رفتن سد، مخصوصاً وقتی که رویه بالادست با یک لایه نفوذ ناپذیر پوشیده می شود.

12. نیاز احتمالی به پر کردن جزئی مخزن سد در رقوم داده شده. این موضوع اجرای مقاطع کوچک شده بدنه سد را معین می کند.

13. تأثیر سرریز سد بر روی اجرا.

14. اجرای لایه نفوذ ناپذیر در رویه بالادست سد.

15. زمان مسدود کردن تونل انحراف یا حالت های اجرای آن در صورتی که سد در حالت آبگیری باشد.

16. تزریق کردن پی ها.

۵- میزان تولیدی کارگاه مصالح سنگی:

در این مورد، تولیدی کارگاه ظرفیت تجهیزات استخراج، حمل و نقل، ریختن بتن، پخش و متراکم سازی است که برای انواع مختلف مصالح تشکیل دهنده بدنه سد استفاده می شود. برای رسیدن به این خروجی، تخمین های پی در پی و متوالی زده میشود تا اینکه یک راه حل مناسب پیدا شود. ضروری است تا رابطه نرخ اجرای احتمالی با میزان سرمایه گذاری بر روی تجهیزات محاسبه شود. همچنین این را باید در نظر داشته باشیم که قبل از ریختن یک لایه جدید، زمان معینی برای آزمایشگاه یا تجهیزات متراکم سازی هسته به منظور تراکم کافی لایه قبلی مورد نیاز است.

در مواقعی که با زمین و خاک رسی سر و کار داریم، توصیه می شود که یک سطح شیب دار برای رواناب تدارک ببینیم.

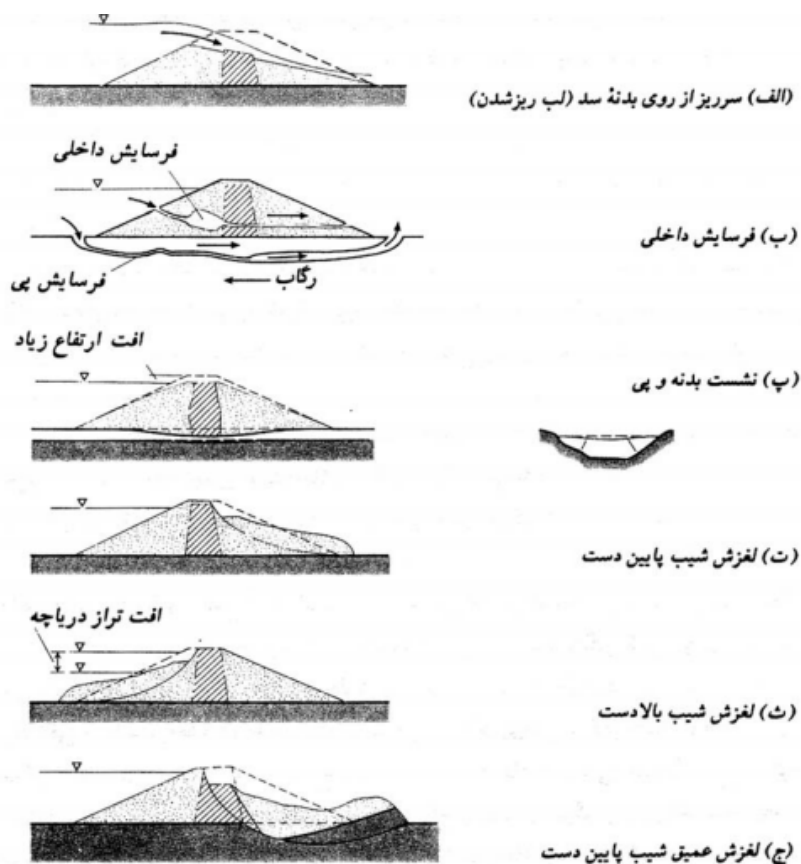
۶- سدهای سنگی با رویه نفوذ ناپذیر:

سدهای سنگی با رویه بالا دست نفوذ ناپذیر، معمولاً به کوتاهترین زمان اجرا نیاز دارند. زیرا در این مورد تنوع مواد خیلی کم است و کار را می توان در لایه های کامل اجرا کرد. علاوه بر این، در این حالت باران مشکلی بوجود نمی آورد، برخلاف سدهای سنگی با یک هسته رسی نفوذ ناپذیر که در اثر این مزاحمت، در بعضی مواقع هسته باید پایین تر از خاکریز سنگی واقع شود. برای این نوع سد، رودخانه باید تقریباً بطور کامل منحرف شود، زیرا اصولاً سیلاب نباید از روی سد جریان داشته باشد. به هر حال، در بعضی شرایط ممکن است انحراف کامل رودخانه میسر نباشد و می بایست برای آن روکش در نظر گرفته شود. بر این اساس می توان با استفاده از یک یا چند پروفیل از سد، همانند فوق یک برنامه زمان بندی ماهانه اجرایی تهیه نمود.

۷- حفاری روباز برای سدهای مخزنی-خاکی:

روشهایی که مربوط به احداث چنین سدهای می باشد با دو دسته از مسایل کلی ذیل در ارتباط می باشند: کیفیت پایین سنگهای فونداسیون یا چرخش آب در آنها با بستری عمیق. در دره های عریض با شیب ملایم سدها، این موضوعها غالباً با هم روی می دهند. در چنین مواردی، گودبرداری و حفاری در صورتیکه عمیق باشد؛ بستر بسیار عمیق چرخش آب بتن ریزی شده تا مشکل خاصی ایجاد نشود. بدنه سد فقط به خاک سطحی احتیاج داشته و صخره های بزرگ موجود در این بخشها را باید انتقال داد. تنها مورد استثناء در این زمینه رسیدن به سطحی از *corse*، *cut off* (مقطع میانبر) یا فونداسیون پایه ای می باشد. هسته ای که گودبرداری برای آن انجام می شود دارای شرایط کارکردی بیشتری نسبت به گودبرداری برای هسته های مناطق خاکی می باشد و این امر بیش از هر چیز دیگر به مسایل مربوط به پاکسازی منطقه کاری باز می گردد. بررسی چنین مواردی بر اساس صخره پایه ای که مانع وارد شدن آب به محل می شود، صورت می گیرد. در صورتیکه بدون انجام چنین کاری، میزان گودبرداری برای رسیدن به عمقی مناسب، برای سدها بتنی کم بوده و می تواند فقط برای نواحی خاص از مقطع میانبری (cut off) فونداسیون یا برای دالانهای *perimetric* زیرهسته باعث ایجاد دردسر شود. با این حال، تعداد زیادی از آزمایشهای صورت گرفته بر روی چنین سدهایی که به همراه تغییرات پایه ای و مورد نیاز در میانگین بهای کل ساختار سد می باشد، در سالهای اخیر متأثر از هزینه انرژی و مقدار تورم می باشد. تعداد زیادی از چنین سدهایی، در حال حاضر در سنگهای سخت (صخره ها) با شیب عمیق ساخته می شوند که در آنها ریسک انحراف در هزینه های حفاری و تاریخ تکمیل کار با سدهای بتنی مشابه است. بطور مختصر، برای چنین مواردی که حالت های نمونه نامیده می شوند (دره های وسیع و شیبهای ملایم) مطالعه چگونگی گردش آب برای حفاری لازم است. ضمن در نظر گرفتن بخشهای کم اهمیت تر، باید گفت در خلال مدتی که حالت های غیرنمونه ای رخ می دهند (سدهای با شیب ۷ شکل) مشکل عظیمتر جلوه داده و احتیاط های مشابهی را برای سدهای بتنی باید لحاظ نمود.

برنامه ریزی برای گودبرداری (حفاری):



مکانیسم‌های مختلف خرابی سدهای خاکی

۱. ویژگیهای خاک

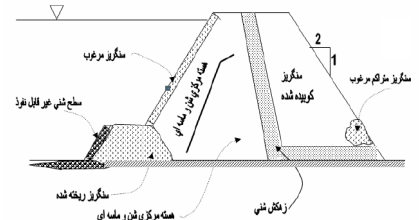
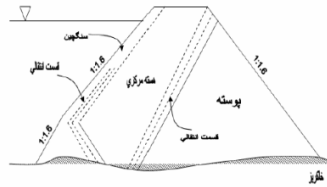
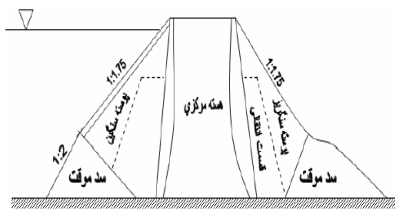
- مدول برشی دینامیکی
- ویژگیهای میرایی
- وزن مخصوص
- ویژگیهای دانه بندی خاک ودانه ها
- دانسیته نسبی
- ساختار خاک

۲. عوامل محیطی

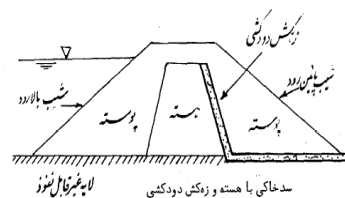
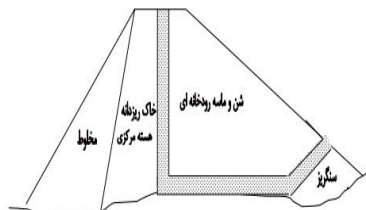
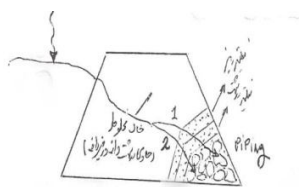
- نحوه تشکیل خاک
- تاریخچه زلزله
- تاریخچه زمین شناسی (سن، سیماننتاسیون)
- ضریب فشار جانبی خاک
- عمق تر از آب
- فشار محصور کننده موثر

۳. ویژگیهای زلزله

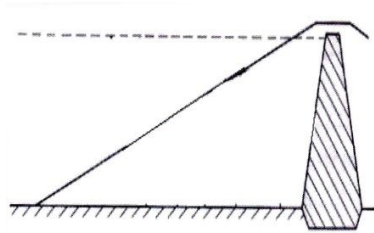
- شدت تکان زلزله
- مدت دوام تکانهای زمین



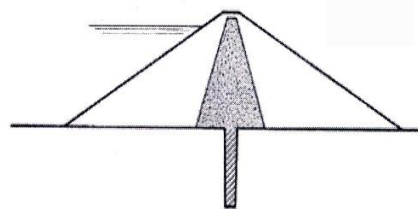
- خواص خاک (منحنی دانه بندی و درصد ریز دانه)
- درجه اشباع و سطح آب زیر زمینی
- دانسیته نسبی خاک قبل از تراکم
- تنش های اولیه در لایه های خاک قبل از تراکم (تنش های موثر عمودی)
- ساختار، بافت و سیمان تاسیون خاک قبل از تراکم
- روش های موجود تراکم (انواع تجهیزات، ظرفیت ارتعاش تجهیزات، مهارت مهندسین مجری)



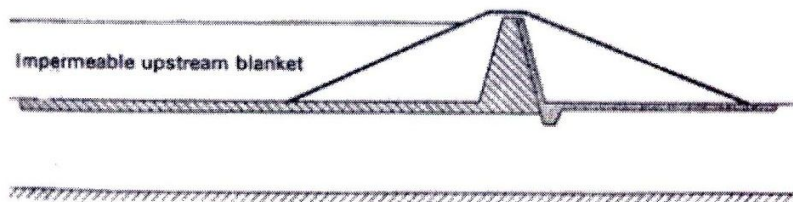
روش های متراکم سازی- روش های مسلح نمودن خاک- روش های زهکشی- پیش بار گذاری- محدود کردن تغییر شکل برشی- افزودن آهک به خاک واگرا- افزودن سولفات آلومینیوم به خاک واگرا- افزودن ژئوپس (سنگ گچ آبدار) به آب مخزن سد- استفاده از فیلترهای مانع فرسایش برای هسته واگرا



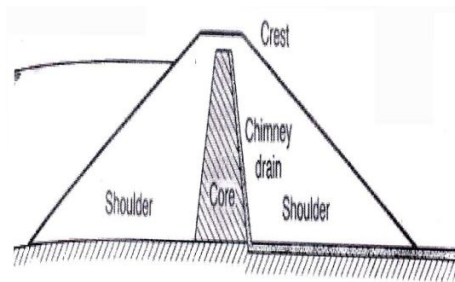
دیوار آب بند



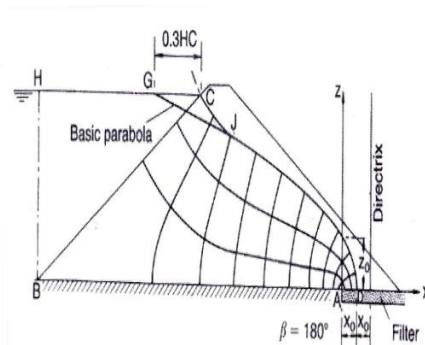
ترانشه های آب بند



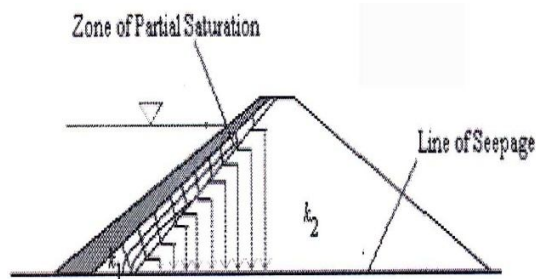
پتوی نفوذ نا پذیر در بالا دست



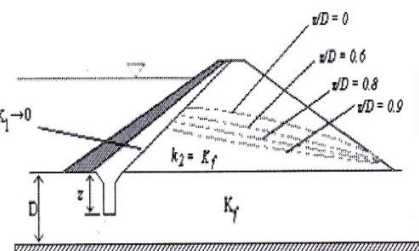
تراوش آب از بالا دست به پایین دست



زهکشهای دودکشی



هسته نازک نفوذ ناپذیر در شیب بالا دست



دیوار آب بند

روشهای مختلف آب بندی

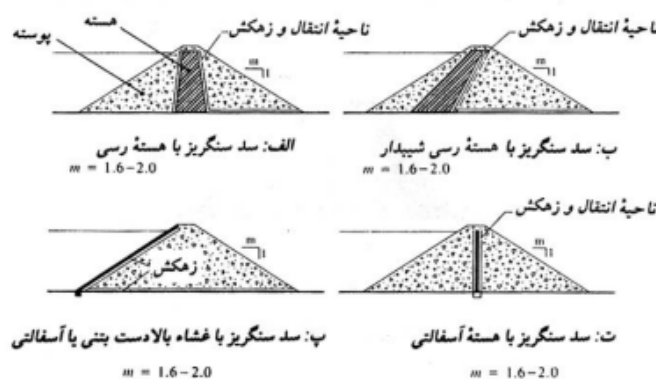
۱- ترانشه آب بند Cut off Trench

۲- آب بند ناقص ۳- آب بند سپری ۴- آب بند سیمانی و پرده بتنی در جا

۶- پوشش آب بندها ۷- ژئوسنتیتیکها Geo synthetics

انواع سدهای خاکی ۱- همگن ۲- نوع مطابق ۳- نوع دیافراگمی ۴- با زهکشی پنجه ای ۵- با زهکشی افقی ۶- با زهکشی های افقی و قائم

۷- سنگی (سنگریزه) ۸- سنگریز با رویه بتنی ۹- سنگریز با رویه آسفالتی ۱۰- سنگریز با رویه فلزی ۱۱- سنگریز با غشا



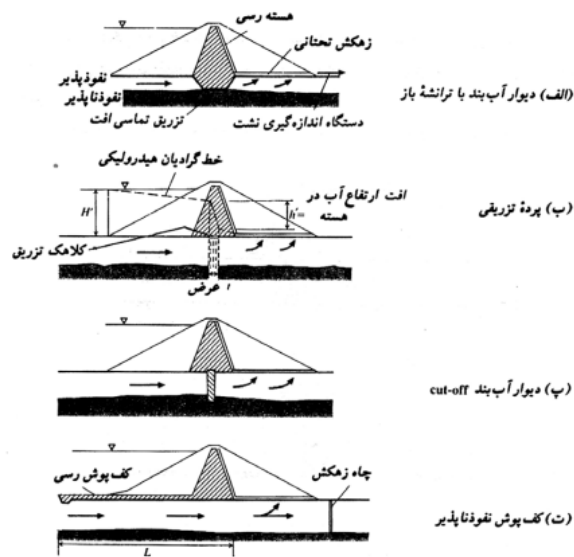
مقاطع تپ سدهای سنگریزه‌ای

پلاستیکی

کنترل تراوش (نشت)

ایجاد زهکش ها- ایجاد فیلترها- هسته مرکزی- چاههای زهکش یا زهکش های عمودی - ایجاد پوشش غیر قابل نفوذ در بالا دست

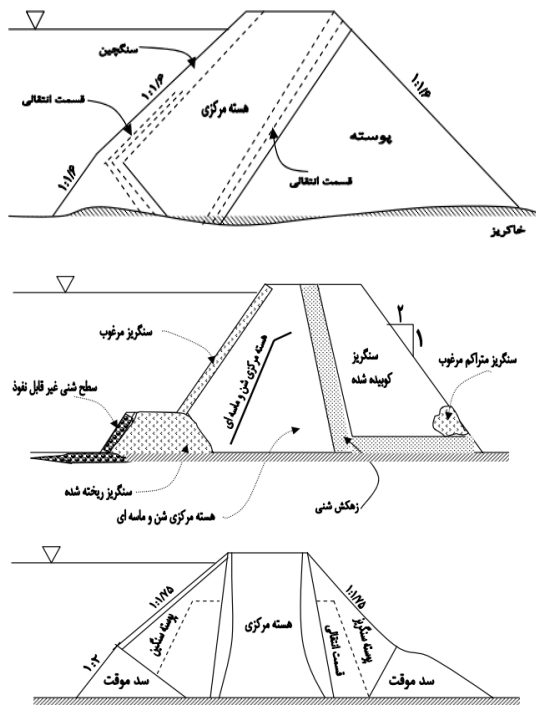
پرده تزریق- دیوارهای جدا کننده بتونی-دیوارهای جداکننده خاکی - سپر کوبی

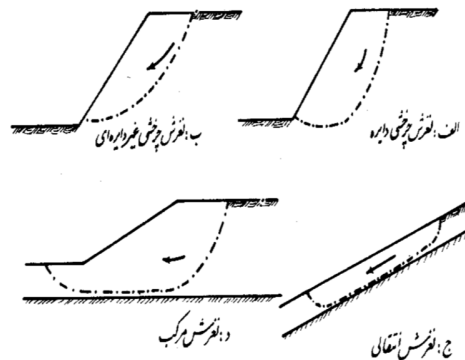
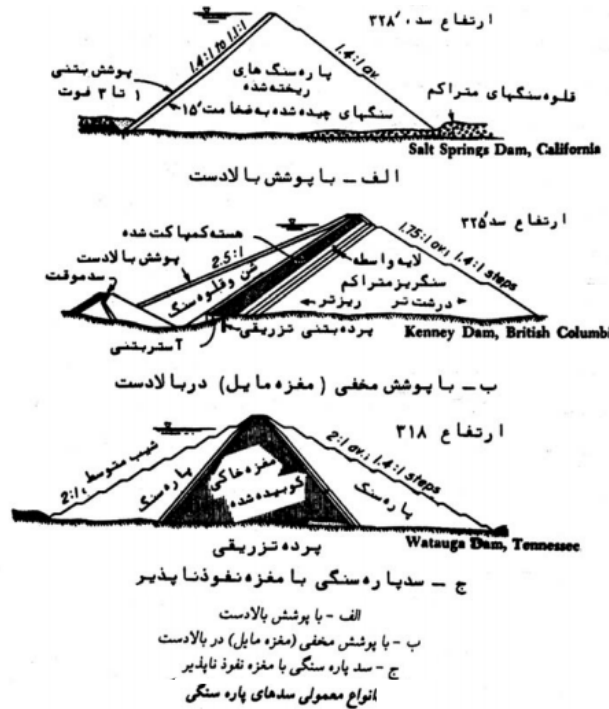


کنترل نشست آب از پی سدهای

مقاومت سد خاکی و فونداسیون به سه عامل وابسته است:

الف) پلاستیسیته ب) دانه بندی و نوع خاک ج) میزان تراکم





مراجع:

- Borja, R.I., Chao, H-Y, Montans, F.J., & Lin, C-H. 1999. Nonlinear ground response at Lotung LSST site. *J. Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 125, No. 3, 187-197.
- Dowding, C. H. & Rozen, A. 1978. Damage to rock tunnels from earthquake shaking. *Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE*, Vol. 104, GT2, 175-191.
- Dominic, A., Kausel, E. & Whittle, A. 2000. A model for dynamic shear modulus and damping for granular soils , *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE*, Nov. 2000.
- Einstein, H. H. & Schwartz, C. W. 1979. Simplified analysis for tunnel supports. *Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE*, Vol. 105, GT4.
- Hashash, Y. M. A., Tseng, W. S., & Krimotat, A. 1998. Seismic soil-structure interaction analysis for immersed tube tunnels retrofit. *Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Mechanics III, ASCE Geotechnical Special Publication No. 75*, Vol. 2, 1380-1391.
- Hashash, Y.M.A. & Park, D., 2001. Non-linear one-dimensional seismic ground motion propagation in the Mississippi Embayment, to be published, *Engineering Geology*.

- Kuesel, T. R. 1969. *Earthquake Design Criteria for Subways*. Journal of the Structural Division, ASCE, ST6, 1213-1231.
- Lee, M.K.W. & Finn, W.D.L. 1978. DESRA-2, *Dynamic effective stress response analysis of soil deposits with energy transmitting boundary including assessment of liquefaction potential*. Soil Mechanics Series No. 36, Department of Civil Engineering, University of British Columbia, Vancouver, Canada.
- Lee, V.W. & Trifunac, M.D. 1979. *Response of tunnels to incident SH-waves*, Engineering Mechanics Division, ASCE, Vol. 105, 643-659.
- Lysmer, J., Udaka, T., Tsai, C. F., & Seed, H. B. 1975. FLUSH: *A computer program for approximate 3-D analysis of soil-structure interaction problems*. Report No. EERC 75-30, Earthquake Engineering Research Center.
- Mair, R. *Personal communications*, 2000.
- Manoogian, M.E. 1998. *Surface motion above an arbitrarily shaped tunnel due to elastic SH waves*, ASCE, Geotechnical Special Publication No. 75, Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics III, 754-765, Seattle.
- Matasovic, N. & Vucetic, M. 1995. *Seismic response of soil deposits composed of fully-saturated clay and sand layers*. Proc. 1st International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, JGS, Vol. 1, 611-616, Tokyo, Japan.
- Okamoto, S., Tamura, C., Kato, K., & Hamada, M. 1973. *Behaviors of submerged tunnels during earthquakes*. Proceedings of the Fifth World Conference on Earthquake Engineering, Rome, Vol. 1, 544-553.
- Owen, G. N. & Scholl, R. E. 1981. *Earthquake engineering of large underground structures*. Report No. FHWA/RD-80/195, Federal Highway Administration and National Science Foundation.
- PB, 1991. *Trans-bay tube seismic joints post earthquake evaluation*, Bay Area Rapid Transit District, report prepared by Parsons Brinckerhoff Quade & Douglas, Nov.
- Peck, R. B., Hendron, A. J., & Mohraz, B. 1972. *State of the art in soft ground tunneling*. Proceedings of the Rapid Excavation and Tunneling Conference, American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers, New York, 259-286.
- Power, M. S., Rosidi, D., & Kaneshiro, J. 1996. *Volume III Strawman: Screening, evaluation, and retrofit design of tunnels*. Report Draft, National Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, New York.

ایمان الیاسیان، ساخت سدهای کوچک و متعلقات آن

ایمان الیاسیان، انواع سد

سعید خرقانی، انواع سدهای خاکی

آنالیز دینامیکی سدهای خاکی

چکیده:

با توجه به اینکه بسیاری از سدهای خاکی در مناطق زلزله خیز احداث شده و یا در دست ساخت قرار دارند، طراحی ایمن آنها در برابر زلزله از اهمیت و جایگاه ویژه ای برخوردار است. بررسی دقیق پایداری لرزه ای سدهای خاکی از مسائل پیچیده در حوزه سازه های خاکی است. در این تحقیق، مطالعات لرزه خیزی برای سد کرخه با توجه به مشخصات ژئوتکنیکی و زمین شناسی محل سد و منابع احتمالی ایجاد زلزله، تاریخچه محتمل زلزله بم در حالت MCL انتخاب شده و به مدل در برنامه المان محدود PLAXIS اعمال شده است و در نهایت به آنالیز دینامیکی و رفتارنگاری سد پرداخته شده است.

کلمات کلیدی: سدهای خاکی؛ آنالیز دینامیکی؛ المان محدود؛ زلزله؛ رفتار نگاری

۱-مقدمه:

کشور ایران به عنوان یکی از مناطق زلزله خیز جهان همواره در طی سالیان گذشته در معرض زلزله های ویران کننده ای قرار داشته است. شرایط طبیعی و زمین شناسی ایران از نقطه نظر وقوع زلزله به طور جدی در دستورکار مهندسين و برنامه ریزان قرار گرفته است. با توجه به اینکه سدهای بسیاری در مناطق زلزله خیز احداث شده و یا در دست ساخت قرار دارند، طراحی ایمن آنها در برابر زلزله از اهمیت و جایگاه ویژه ای برخوردار است. بررسی دقیق پایداری لرزه ای سدهای خاکی از مسائل پیچیده در حوزه سازه های خاکی است. تنوع خواص دینامیکی بدنه سد و گوناگونی جنس و ضخامت شالوده که می توانند در انتقال، تضعیف و تقویت امواج زلزله نقش اساسی داشته باشند، وجود یا عدم وجود گسل فعال در محدوده محور سد، ویژگی های زلزله مانند فاصله مرکز زلزله تا سد، شدت و طول زمان وقوع زلزله، نوع و امتداد امواج رسیده به سد و محتوی فرکانسی امواج، همه از عواملی هستند که در پاسخ دینامیکی سد نقش به سزایی دارند. به طور کلی سدهای خاکی، سازه هایی سه بعدی، عظیم، ناممکن، غیرایزوتروپ و غیر ارتجاعی هستند که در اندر کنش با شالوده و آب مخزن می باشند. مدلهای عددی که بتوانند تمام عوامل فوق را در نظر بگیرند از پیچیدگی زیادی برخوردار خواهند بود. بسته به اینکه کدام یک از شرایط فوق به طور مشخص حاکم بر مسئله باشد مدل می تواند آن پارامتر را ملحوظ نموده و به منظور یافتن رفتار واقعی تر سد آنها را در نظر بگیرد. در سالهای اخیر پیشرفتهای صورت گرفته در هر دو زمینه نرم افزار و سخت افزار کامپیوتر بسیاری از این مشکلات را خصوصاً در زمینه مدل کردن هندسه سه بعدی بدنه سدها و رفتار غیر خطی و غیر ارتجاعی خاک قابل حل نموده است. به همین نسبت پیشرفتهای صورت گرفته در زمینه روشهای آزمایشگاهی و صحرایی در ارزیابی خواص دینامیکی مصالح سد و نتایج حاصل از آزمایش های ارتعاش اجباری سدها و ثبت پاسخ سدها در برابر زلزله های واقعی در جهت تصحیح و اعتبار بخشیدن به روشهای عددی و تحلیلی بسیار موثر بوده است.

۲-آنالیز دینامیکی:

طراحی و تحلیل لرزه ای سدهای خاکی، نیازمند ارزیابی احتمال رخدادهای لرزه ای، مشخص کردن نتایج این رخدادها، ارزیابی ریسک های اقتصادی و پتانسیل مرگ و میر مربوط به هر یک از این گزینه ها است.

رخدادهای لرزه ای در نظر گرفته شده برای طراحی، پس از مطالعه داده های لرزه - زمین ساخت مربوط به محل سدهای پیشنهاد شده یا موجود، انتخاب می شوند. این بررسی ها نواحی منشا زلزله و یا ساختارهای گسلی، حداکثر زلزله مورد انتظار و رابطه دوره بازگشت با بزرگی زلزله را مشخص می کنند. تجربیات «داره بازسازی» ایالات متحده، حاکی از این است که در مورد سد و شالوده ای که در معرض روانگرایی نباشد، در شرایط زیر تغییر شکل ها مشکل ساز نخواهد بود:

۱- سد از ساخت خوبی برخوردار است (یعنی با تراکم بالایی ساخته شده است) و شتاب های پیک برابر $0.2g$ یا کمتر از این مقدارند؛ یا سد روی شالوده های رسی یا سنگی واقع است و شتابهای پیک $0.4g$ یا کمترند.

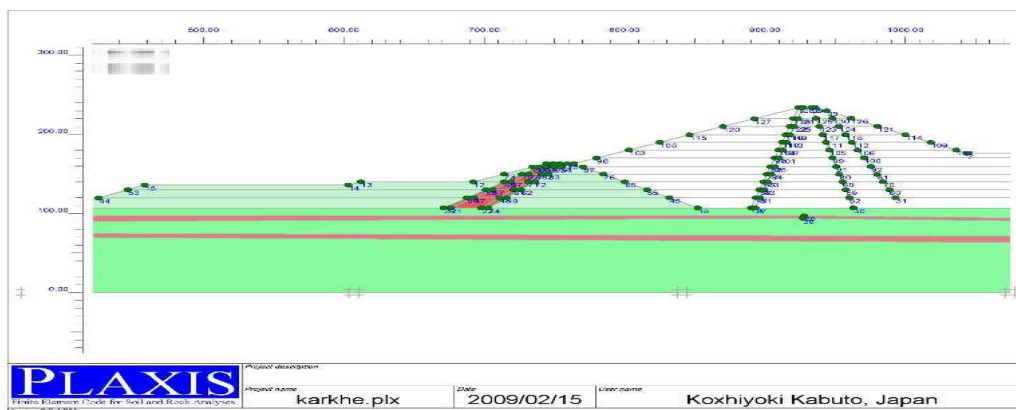
۲- شیب های سد برابر ۳ (افق) به ۱ (قائم) یا هموارتر هستند.

۳- ضرایب ایمنی استاتیکی سطوح گسیختگی بحرانی شامل تاج (بجز حالت شیب بی پایان) تحت شرایط بارگذاری پیش از زلزله برابر $1/5$ یا بیشتر هستند.

۴- مقدار ارتفاع آزاد در زمان زلزله، ۲ تا ۳ درصد ارتفاع سد و نه کمتر $1/5$ متر می باشد. چنانچه این شرایط برقرار باشند، یک آنالیز تغییرشکل با استفاده از روش Newmark انجام می شود. به طور کلی جایگزین، می توان از آنالیز تغییرشکل با رهیافت پتانسیل کرنش به شیوه اجزاء محدود بهره گرفت.

در تعیین پارامترها برای بدست آوردن پاسخ دینامیکی، لازم است شرایط اولیه تنش (سطح تنشهای استاتیکی) در بدنه سد مشخص باشد. بنابراین لازم است ابتدا با انجام آنالیز استاتیکی، سطح تنشها در المانهای مختلف بدست آید.

آنالیز استاتیکی سد کرخه بصورت غیر خطی و با استفاده از مدل الاستوپلاستیک موهر-کولمب و با در نظر گرفتن پی تا عمق ۱۰۷ متری و با وجود نیروی آب انجام شده است. بارگذاری به صورت ۱۲ مرحله ۱۰ متری و ۱ مرحله ۷ متری انجام می شود و سعی گردیده تا شرایط ساخت مرحله ای مدل شده باشد. شکل (۱-۱)



شکل (۱): ساخت مرحله ای سد

رودخانه کرخه از منطقه میانی و جنوب غربی رشته کوههای زاگرس در نواحی غرب و شمال غرب کشور سرچشمه گرفته و پس از طی مسافتی در حدود ۹۰۰ کیلومتر در امتداد شمال به جنوب، سرانجام در مرز مشترک ایران و عراق به مرداب هورالعظیم می رسد.

رودخانه کرخه پس از رودخانه های کارون و دز، سومین رودخانه بزرگ ایران از نظر آبدهی محسوب می شود؛ بطوری که متوسط آبدهی سالیانه این رودخانه در محل احداث سد، معادل ۱۸۸ متر مکعب در ثانیه برآورد شده است. حوزه آبریز این رودخانه بوسعت ۴۳۰۰۰ کیلومتر مربع و شامل استانهای کرمانشاه، همدان، کردستان، ایلام، لرستان و خوزستان میباشد. سرشاخه های اصلی تشکیل دهنده رودخانه کرخه، رودخانه های سیمره، کشکان، قره سو، گاماسیاب و چرداول می باشند.

مشخصات بدنه و مخزن سدکرخه به شرح زیر است:

- نوع سد: خاکی با هسته رسی
- حداکثر عرض سد در پی: ۱۱۰۰ متر
- عرض تاج سد: ۱۲ متر
- طول تاج سد: ۳۰۳۰ متر (ششمین در دنیا)
- ارتفاع سد از پی: ۱۲۷ متر
- حجم کل مخزن: ۷/۳ میلیارد متر مکعب (۳۶ برابر حجم مخزن سد کرج)
- حجم مخزن در سطح بهره برداری (تراز ۲۲۰ متر از سطح دریا): ۵/۶ میلیارد متر مکعب
- حجم مفید مخزن بعد از رسوب گذاری طی ۵۰ سال در سطح بهره برداری (تراز ۲۲۰ متر از سطح دریا): ۳/۸۹ میلیارد متر مکعب
- مساحت دریاچه در تراز ۲۲۰ متر: ۱۶۲/۵ کیلو متر مربع
- طول دریاچه در تراز ۲۲۰ متر: ۶۰ کیلومتر
- حجم کل خاکبرداری: ۱۵ میلیون متر مکعب
- حجم کل خاکریزی: ۳۲ میلیون متر مکعب
- مجموع طول تونلهای احداث شده: ۸۵۵۰ متر

در جدول (۱) خصوصیات مصالح سد

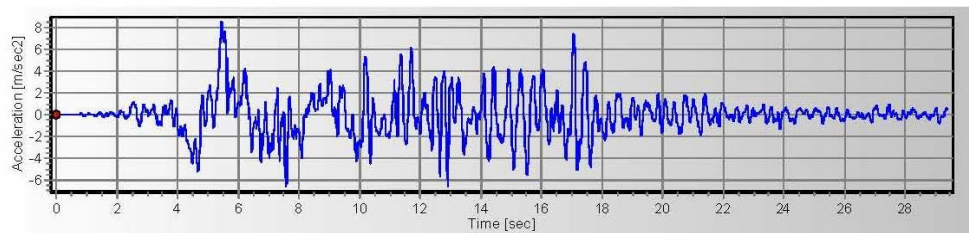
پیرامتر	سرعت تغییر یافته (mm/day)	زاویه انحراف (درجه)	ضریب پرسیج	مدت دوره (sec)	چسبندگی (kN/m ²)	زاویه اصطکاک مایل (درجه)	وزن مخصوص اشباع t/m ³	وزن مخصوص خشک t/m ³	حالت
34	10 ⁻⁵	2	0,35	35	70	6	2,02	1,74	هسته در حالت UU
					50	12			هسته در حالت CU
					30	20			هسته در حالت CD
25	10 ⁻¹	10	0,25	102	-	39	2,2	2	پوسه
50	1	8	0,27	70	-	35	2	1,9	فیله و زیرکش
35	10 ⁻⁵	5	0,3	120	0,7	22	2,1	1,95	لایه گسلنگ
45	10 ⁻⁴	12	0,25	900	0,85	39,4	2,3	2,1	لایه کنگلومرا

۲-۲- انتخاب زلزله برای تحلیل دینامیکی سد :

کمیته بین المللی سد های بزرگ دو نوع زمین لرزه را برای طراحی سدها در برابر زلزله توصیه نموده است: زمین لرزه مبنای طرح (DBE) و حداکثر زمین لرزه محتمل (MCE). زمین لرزه مبنای طرح عبارت است از زمین لرزه ای که بتواند حداکثر نیروی دینامیکی ممکن را در طول عمر مفید سد وارد نموده، و سد باید چنان طراحی شود که نیروهای وارده را بدون اینکه خسارت قابل توجهی به آن وارد شود تحمل نماید. همچنین حداکثر زمین لرزه محتمل به زمین لرزه ای گفته می شود که با توجه به شرایط زمین شناسی منطقه، بتواند حداکثر حرکات لرزه ای و شتاب ماکزیمم را در محل سد ایجاد کند. سد طرح شده علی رغم خسارت وارده باید چنین زلزله ای را بدون انهدام کامل تحمل نماید.

به منظور تعیین زلزله مبنای طرح و حداکثر زلزله محتمل در منطقه سد، مطالعات لرزه خیزی و تکتونیک جامعی باید انجام شود و زمین شناسی منطقه و چگونگی گسیختگی های محلی باید بطور کامل بررسی شود تا مشخصات زمین لرزه که شامل محتوای فرکانسی، مدت زمان زلزله، مقادیر اوج شتاب و سرعت و ... تعیین گردند.

در مطالعات لرزه خیزی برای سد کرخه با توجه به مشخصات ژئوتکنیکی و زمین شناسی محل سد و منابع احتمالی ایجاد زلزله، تاریخچه محتمل زلزله بهم در حالت MCL ارائه شده است. تاریخچه شتاب افقی و تاریخچه زمانی تغییر مکان در اینحالت در شکلهای (۱-۲) و (۱-۳) نشان داده شده است. حداکثر شتاب حاصل از زلزله ۵/۲ متر بر مجذور ثانیه است.

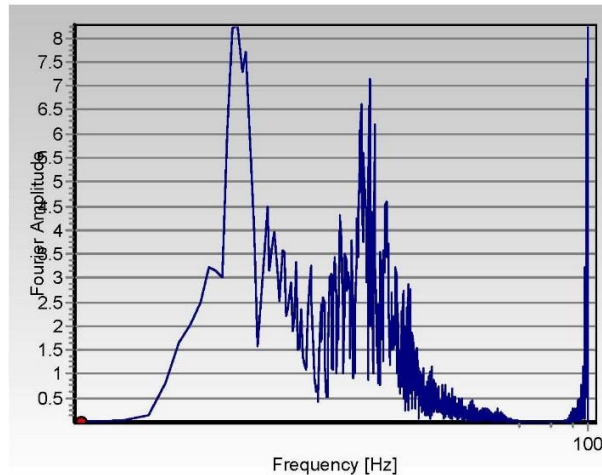


شکل (۲): تاریخچه زمانی شتاب رکورد زلزله طرح



شکل (۳): تاریخچه زمانی تغییر مکان رکورد زلزله طرح

با استفاده از نرم افزار Seismosignal، طیف دامنه فوریه مربوط به رکورد مولفه افقی زلزله طرح بدست می آید که در شکل (۴) نشان داده شده است. با توجه به این طیف، باید از $\omega_1 = 1.48$ تا $\omega_2 = 3.27$ رادیان بر ثانیه، میرایی سازه در حد ۰/۰۵ ثابت بماند.



شکل (۵): طیف دامنه فوریه مربوط به رکورد مولفه افقی زلزله بم

۳-۲- بارگذاری دینامیکی:

در همه آنالیزها پی سد با توجه به پارامترهای بدست آمده از آزمایشگاه مدل میشود و برای جلوگیری از بازتاب موج های تنش از مرزهای ویسکوز در اطراف پی استفاده شده است. در تحلیل های ذکر شده در بالا بارگذاری زلزله به صورت اعمال رکورد شتاب زلزله به تکیه گاه ها انجام شده است. بارگذاری فقط در جهت بالادست - پایین دست است (به غیر از آنالیز آخر) و رکوردهای زلزله در گامهای زمانی ۰/۰۲ ثانیه به سد اعمال می شود. در این تحلیل ها زمان بارگذاری ۳۰ ثانیه است.

۴-۲- مرزهای مدل

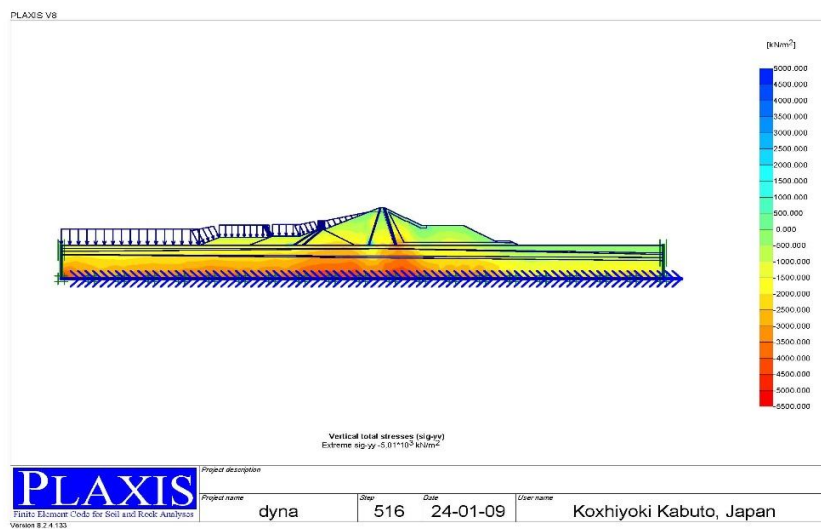
برای محاسبات دینامیک، مرزها باید دورتر از آنالیز استاتیک باشند چون در غیر اینصورت موج های تنش بازتاب خواهد شد و در نتایج محاسبه شده تحریف خواهد شد. با این وجود، قرارگیری مرزها در فاصله دور به المانهای اضافی زیاد و نیز به زمان محاسباتی و حافظه بیشتر نیاز دارد. در این قسمت ما از مرزهای جاذب یا خاموش صحبت خواهیم نمود. روشهای مختلفی برای ایجاد چنین مرزهایی وجود دارد:

- استفاده از المانهای نیمه محدود (المانهای مرزی)
 - سازگاری مشخصات مصالح المانها در مرزها (سختی کم، ویسکوزیته بالا)
 - استفاده از مرزهای ویسکوز (میراگرها)
- برای ایجاد اثرات دینامیکی در PLAXIS از آخرین روش برای مرزهای جاذب استفاده می شود.

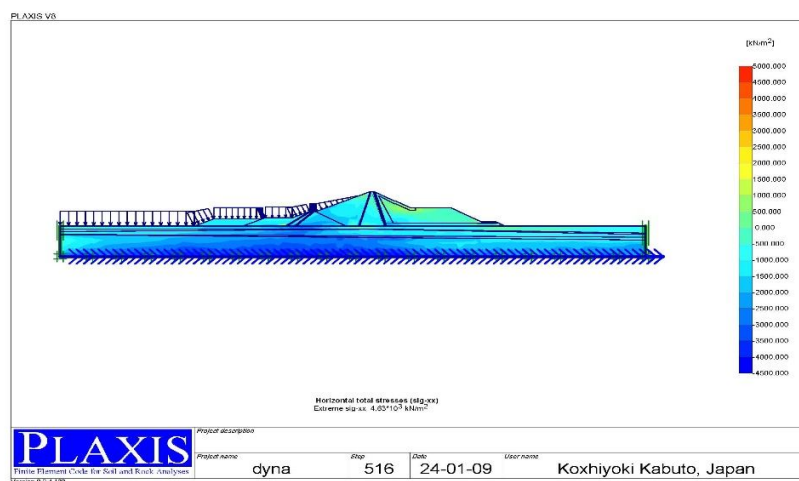
۵-۲- توزیع تنشها

در تحلیل دینامیکی انجام شده، نتایج توزیع تنش های قائم و افقی و همچنین تغییرات تنش های موثر قائم و افقی در اشکال (۱-۶) تا (۹-۱) مشخص شده است. با مقایسه تغییرات تنش های قائم و افقی واضح است که مقدار بیشینه تنش در پی و همچنین در قسمتهای پایین هسته می باشد و کمترین مقدار آن در ارتفاع سد تغییر می کند و همچنین به علت تفاوت محسوس بین سختی های تغییرشکل مصالح (مدول تغییرشکل)، با حرکت به سمت خاکریز از مقدار این تنشها کاسته می شود. با توجه به اثر نیروی زلزله

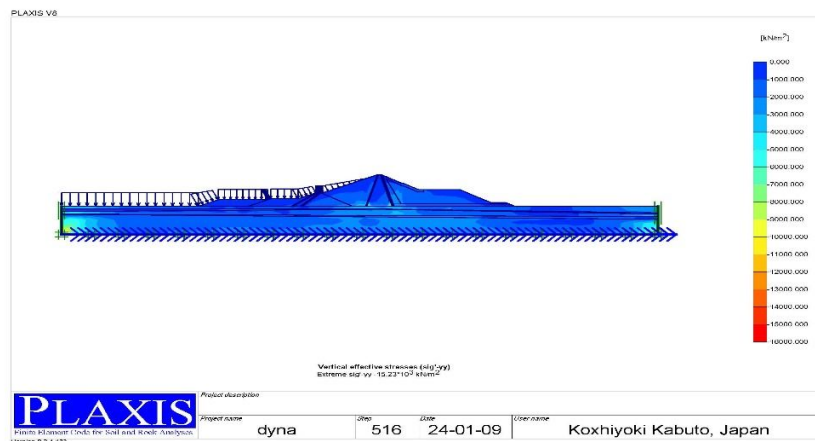
و تغییرات ناگهانی فشار آب حفره ای، نقاطی از سد که در تماس با آب بوده اند به شدت دچار افت تنش موثر در جهات قائم و افقی می گردد. با مقایسه اشکال شماره (۸) و (۹) نتیجه می شود که در نقاط بالادست پوسته، تنش موثر به شدت افت کرده حتی به صفر می رسد.



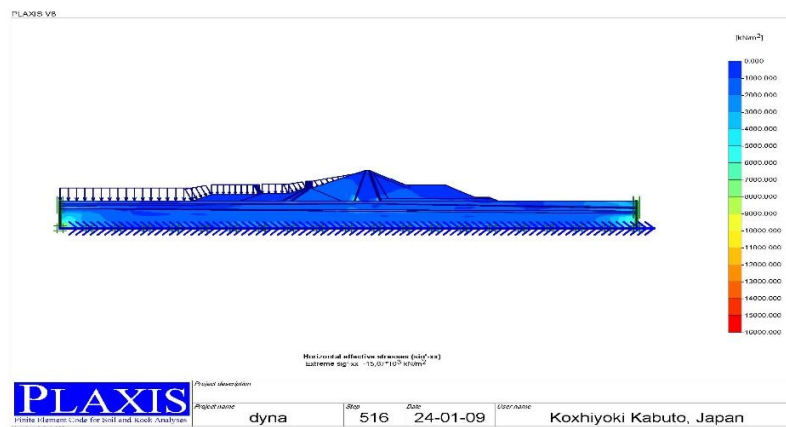
شکل (۶): توزیع تنش های قائم سد کرخه در تحلیل دینامیکی



شکل (۷): توزیع تنش های افقی در تحلیل دینامیکی



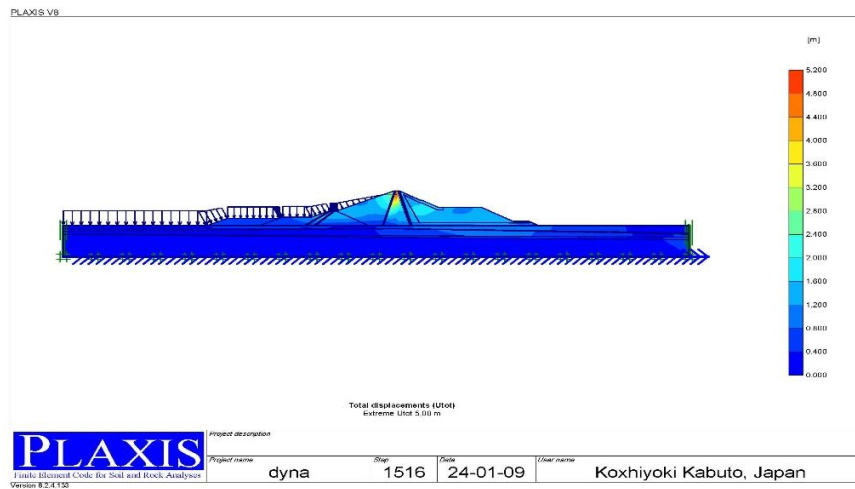
شکل (۸) توزیع تنش های موثر قائم در تحلیل های دینامیکی



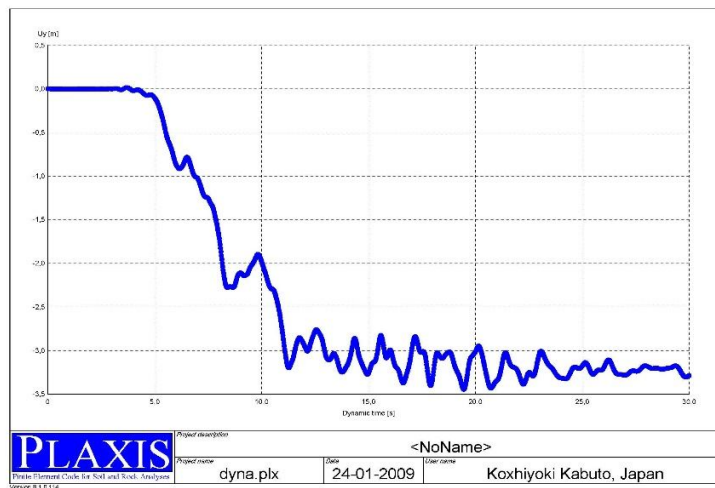
شکل (۹) توزیع تنش های موثر افقی در تحلیل دینامیکی

۲-۶- توزیع تغییر مکان ها

در مرحله تحلیل دینامیکی در ابتدا تغییر مکان در تمامی نقاط سد و در دو جهت X و Y صفر در نظر گرفته شده و برنامه اجرا می شود. لذا تغییر مکان های مشخص شده در شکل (۱۰) فقط ناشی از تحلیل دینامیکی و اثر زلزله می باشد. با توجه به اشکال مورد نظر حداکثر تغییر مکان قائم در تاج سد ۵,۰۷ متر پیش بینی می شود که تاریخچه زمانی این تغییر مکان در شکل (۱۱) مشخص می باشد. حداکثر تغییر مکان افقی در سد برابر ۱,۹۲ متر پیش بینی می شود. به طور کلی عدم پایداری سد در حین زلزله، به صورت فرونهشتن پیشانی تاج سد و تورم قسمت های پایین به سمت مخزن دریاچه می باشد که به صورت طبیعی این عمل قابل پذیرش است. همچنین از منحنی هم نشست (شکل ۱۰) می توان دریافت که این منحنی ها در ناحیه فیلتر متمرکز می شوند و همانطوریکه ملاحظه می شود فیلترها و زهکش ها دارای تغییر مکانهای پسماند بیشتری می باشند و البته مقدار ارتفاع آزاد سد به حدی است که بعلت زلزله در تراوش پایدار خطر سرریز شدن آب از تاج سد (Overtopping) اتفاق نمی افتد و سازه سد در مقابل زلزله MCL رفتار مناسبی نشان می دهد.



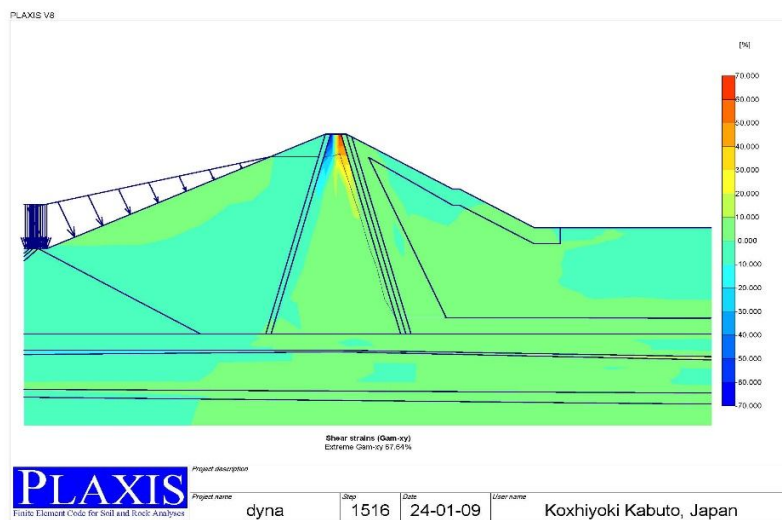
شکل (۱-۱۰) توزیع تغییر مکان افقی در تحلیل دینامیکی



شکل (۱۱): تاریخچه زمانی تغییر مکان قائم تاج سد

۲-۷- بررسی شکست برشی در هسته

در مبحث شکست برشی فرض بر این است که معیار شکست برشی برای هر صفحه در هر نقطه، کرنش برشی بیش از ۱۵ درصد باشد. با توجه به آنکه قسمت بالایی هسته در ناحیه لغزش قرار می گیرد، نقاطی از هسته که در محدوده تاج سد هستند، کرنش های برشی پسماند تجربه می کنند. حداکثر ۱۳ درصد کرنش برشی در ارتفاع هسته در شکل (۱۲) آمده است. مشاهده می شود.



شکل (۱۲): تغییرات کرنش برشی در ارتفاع هسته

۳- نتیجه گیری:

در این تحقیق پاسخ غیر خطی سد خاکی کرخه (بزرگترین سد مخزنی کشور) در برابر زلزله با استفاده از مدل الاستوپلاستیک موهر-کولمب، بدست می آید.

برای تعیین شرایط اولیه تنش (سطح تنشهای استاتیکی) در بدنه سد سعی گردیده تا شرایط ساخت مرحله ای مدل شده باشد. سپس فشار های آب به مدل اعمال می شود. برای تحلیل از زلزله مبنای طرح در حال MCL با حداکثر شتاب $5/2$ متر برمجدور ثانیه استفاده شده است. در نهایت جابجایی افقی و قائم ماکزیمم، و شکست برشی در هسته مورد بررسی قرار گرفت. نتایج زیر حاصل این تحقیق میباشد.

(۱) با توجه به اثر نیروی زلزله و تغییرات ناگهانی فشار آب حفره ای، نقاطی از سد که در تماس با آب بوده اند به شدت دچار افت تنش موثر در جهات قائم و افقی می گردد که در نتیجه نقاط بالادست پوسته، تنش موثر به شدت افت کرده و در نقاطی حتی به صفر می رسد.

(۲) حداکثر تغییر مکان قائم در تاج سد $5,07$ متر پیش بینی می شود و حداکثر تغییر مکان افقی سد برابر $1,92$ متر پیش بینی می شود و همچنین تغییر مکانهای افقی سد به سمت دریاچه می باشد. همانطوریکه ملاحظه می شود فیلترها و زهکش ها دارای تغییر مکانهای پسماند بیشتری می باشند و البته مقدار ارتفاع آزاد سد به حدی است که بعثت زلزله در تراوش پایدار خطر سرریز شدن آب از تاج سد (Overtopping) اتفاق نمی افتد و سازه سد در مقابل زلزله MCL رفتار مناسبی نشان می دهد. همچنین عمق سطوح لغزش نسبتا کم است که در مصالح دانه ای دور از واقعیت نمی باشد.

(۳) با بررسی نمودارهای نسبت فشار منفذی و تغییرات کرنش برشی در ارتفاع هسته، می توان وقوع یا عدم وقوع ترک را در این ناحیه بررسی نمود.

۴-مراجع:

۱. Balaam, N.P. and Poulos, H.G, "The behavior of foundations supported by clay stabilized by stone columns", Proceedings of Specialty sessions, VII European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Helinski. Vol.2. (1983)
2. Bowels, J.E., Foundation Analysis and Design, 4th Edition, McGraw Hill, 278 p (1988)

3. Aboshi, H., Ichimoto, E., Enoki, M. and Haraka, K. "The Compozer – A Method to Improve Characteristics of Soft Clays by Inclusion of Large Diameter Sand Columns

۴. Mitchell, J.K. and Huber, T.R., "Performance of a stone column foundation"

سدهای سنگریز:

این سدها خودبخود غیر همگن می باشند و حتماً باید یک بافت آب بند در مرکز آن قرار گرفته باشد. شکل این سدها درست مانند سد ناهمگن خاکی با هسته رسی می باشد با این تفاوت که در مرکز سد به جای رس از سنگ ریزه نفوذ ناپذیر استفاده می شود و در دور تا دور سد سنگریزه های دشت تر ریخته می شود. در برخی موارد رویه سد را به جای سنگریزه با بتن می پوشانند که در آنصورت دیگر نیازی به هسته آب بند نمی باشد. اینگونه سدها اغلب از نوع بلند می باشند. این نوع سد در برابر زلزله بسیار مقاوم هستند. سنگهای ریخته شده برای سد بایستی خاصیتهایی از قبیل جذب کم آب، سایش کم، مقاومت فشاری بالا و در برابر سرد و گرم شدن مقاومت خوبی داشته باشند.

سدهای بتنی وزنی:

این سدها عمدتاً کوتاه هستند و ارتفاع آنها بین ۱۵ تا ۲۰ متر می باشد، این سدها به دلیل وزن زیادی که با بتن برای آن بوجود می آورند بر اثر فشار آب حرکت نمی کند و از جای خود تکان نمی خورد. در این نوع سد سرریز شدن آب مشکلی ایجاد نمی کند. این سدها در دره های عریض ساخته می شوند. این نوع سد در برابر تغییر درجه حرارت نیز هیچگونه حساسیتی ندارد.

سدهای بتنی قوسی :

این سدها معمولاً در دره های باریک با شیب زیاد و از جنس سنگ اجرا می گردد و می تواند دو قوسی نیز باشند و در راستای عمود ی و افقی در ره دو حالت قوس داشته باشند. حسن این سدها این است که اگر به هر علتی در بدنه آنها ترک ایجاد شود خود نیروی فشار اعمالی از جانب آب پشت سد باعث هم آمدن این ترکها (ترکهای حرارتی) می شود.

سدهای بتنی پشت بند دار:

سدهای پشت بند دار از نوع بلند هستند و با عث جلوگیری از خمشهای زیاد در بتن می شوند و برای تصور آن می توان اینگونه آنرا تشبیه کرد که دیواری بلند را که دارای پی در زمین است با تیرچه هایی در پشت آن نیز محکم نگه داشته شود تا فرو نریزد.

سدهای لاستیکی:

این سدهای اغلب بر روی رودخانه های فصلی زده می شود و این سدها از جنس لاستیک می باشند که در زمان مورد نیاز این سدها را از باد پر می کنند و این عمل باد کردن حجم سد را بالا می برد و سد مانع عبور آب می گردد. از این وع سد که کوتاه نیز می باشد در شمال کشور خودمان نیز وجود دارد.

حال با انواع سدها بطور مختصر آشنا شدیم و بایستی کاربرد این سدها را نیز بدانیم و دلایل استفاده از آنها را نیز به دقت مد نظر بگیریم.

حال پس از آشنایی کوتاه و مختصر با این نوع سدها نحوه ارزیابی برای ساختن یک سد را مورد بررسی قرار می دهیم. از نظر فنی برای ساختن یک سد می بایست مراحل سپری شود تا ساختن یک سد آغاز گردد، هر کدام از این مراحل را یک فاز می نامند به شرح ذیل:

- فاز صفر: آیا ساختن این سد از نظر اقتصادی و مورد کاربری توجیه دارد یا خیر؟
- فاز یک: انواع سدهایی که با توجه به شرایط جغرافیایی و اقتصادی پیشنهاد می شود بطور ریز می بایست مورد بررسی قرار گیرد و میزان ذخیره آب و هزینه ریالی آن مورد بررسی قرار گیرد.
- فاز دو: هندسه و تحلیل سد و ریختن نقشه اجرای سد.
- فاز سه: اجرای سد.

اما در مورد گروههای فنی که برای ساختن یک سد مورد نیاز است به گروههای زیر می توان اشاره کرد:

- ۱- گروه هیدرولیک.
- ۲- گروه هیدرولوژی.
- ۳- گروه زیست محیطی.
- ۴- گروه آبهای زیر زمینی.
- ۵- گروه نقشه برداری.
- ۶- گروه شهر سازی.
- ۷- گروه کشاورزی.
- ۸- گروه زمین شناسی.
- ۹- گروه مدیریت و هماهنگی.

گروههای فنی ذکر شده در کنار یکدیگر پس از تصمیم برای اجرای یک سد گرد می آیند تا یک پروژه به نتیجه برسد. پس از انجام مقدمات مطالعاتی بر روی سد، نوع سد بر اساس منطقه جغرافیایی و مصالح در دسترس سد مورد ارزیابی قرار می گیرد. یکی از نکاتی که جغرافیای منطقه برای ما در ساختن سد مشخص می کند نوع خاک و زمین منطقه و یا دره ای که در آن سد می خواهد اجرا شود ، می باشد ، زیرا نوع بدنه سد و خاک منطقه بسیار حساس است . برای مثال در منطقه ای سنگی با تنگه ای باریک و تنگ ساختن سد خاکی اشتباه است زیرا تماس این دو ماده (بدنه سد و سنگی بودن منطقه) مانند چسباندن دوماه که یکی صلب و دیگری غیر صلب است می باشد و بر اثر تکان (زلزله) این دو در نقطه اتصال جدا می شوند که این خطر ناک است.

آبند در سدها

مهندسان برای کاستن از احتمال گسیختگیها ناشی از عملکرد آب زیرزمین ، همواره درصدد اند تا بخش در حال حفاری را **آبکشی** و خشک نمایند. البته باید توجه داشت که کنترل نیروهای ناشی از نشت آب هم می تواند به همان اندازه در جلوگیری از گسیختگی موثر واقع شود. روشهای متنوعی را که برای کنترل نشت و فرار آب زیرزمینی وجود دارد، می توان به سه دسته عمده تقسیم کرد که عبارتند از : آب بندها و موانع ، **سیستمهای آبکشی** ، **زهکشیها** ، صافی ها (فیلترها).

آب بندها و موانعی را که بر سر راه جریان آب ایجاد می شود، می توان به سه دسته آسترها و پوششها ، دیوارها و تزریق تقسیم کرد.

آسترها و پوششها

آسترها و پوششها به صورت لایه ای نفوذ ناپذیر اجرا می شوند و دارای انواع زیراند:

- تعبیه ورقه ای از **رس** که در بستر دریاچه (به سمت **سراب**) ایجاد می شود و وظیفه آن افزایش مسیر افقی جریان آب در زیر زمین و در نتیجه کاهش فشار آب و میران نشت آن در پاشنه پایاب سد است.
- یک لایه (آستر) رسی یا پلاستیکی که برای جلوگیری از فرار آب از مخزن یا نشت سیالات از حمل تجمع زباله ها اجرا می شود.

دیوارها Walls

بسیار متنوع بوده و مهمترین انواع آن را به نحو زیر می توان خلاصه کرد.

دیوار خاکی متراکم شده

این دیوارها می توانند به عنوان یک خاکریز همگن برای سد ، به صورت یک هسته در داخل سد یا ترانشه ای در پی سد ، که هسته آن با رس پر شده باشد، اجرا شوند.

دیواره های بتنی

این نوع دیوار معمولا در حفاری پی ها یا به عنوان پوشش داخل تونلها ، مخصوصا در جاهایی که جلوگیری دایم از نفوذ آب لازم باشد، بکار می‌روند. در سدها برای جلوگیری از فرار آب از زیر سد ، دیوار بتنی قایمی را از پایینترین قسمت سد تا لایه‌های نفوذ ناپذیر احداث می‌کنند.

دیوار با شمعهای صفحه‌ای

این نوع دیوار ، که با راندن شمعهای صفحه‌ای به داخل خاک ایجاد می‌شود، موقعی از کارایی خوبی برخوردار است که قفل و بست بین صفحات کامل باشد و این مسئله‌ای است که در زمینهای دارای قلوه سنگ و قطعات درشت تر یا حاوی موانع دیگر به خوبی امکان پذیر نیست. با افزایش طول شمعها ، امکان خم شدن آنها در خلال راندن وجود دارد. این نوع دیوار تا حدی می‌تواند از نفوذ آب جلوگیری کند. این دیوار را معمولا برای نگهداری دیواره بخشهای حفاری شده بکار می‌برند. در خاکهای با زهکشی آزاد ، دیوار باید همراه با یک سیستم آبکشی باشد تا فشار جانبی وارده از زمین و آب به دیوار شمعی کاهش یابد.

دیوارهای گلی

دیوارهای گلی و ترانشه‌های پر شده از گل به عنوان عاملی کارآمد برای جلوگیری از نشت آب در پی سدها ، حفاریهای باز ، حفاری تونلها و سیستمهای کنترل آلودگی ، روز به روز مصرف بیشتری پیدا می‌کنند. روش احداث این دیوارها به جز در تونلها ، به این ترتیب است که ابتدا یک ترانشه حفر می‌شود و برای اینکه دیوارهایی ترانشه در طول حفاری ریزش نکند، داخل آن را با گل روانی از بنتونیت پر می‌کنند. در پایان حفر ترانشه ، این گل روان با موادی که بتواند یک دیوار دایمی و نسبتا غیرقابل تراکم و نفوذ ناپذیر را بسازد، تعویض می‌شود.

دیوار دیافراگمی

بتنی نوع سازه دایمی است که توسط تکنیک ترانشه‌های حاوی گل روان ایجاد می‌شود. به این منظور قطعه‌ای از ترانشه تا عرض ۷ متر را تا عمق دلخواه حفر می‌کنیم. در مرحله بعد یک شبکه (جوشن) فولادی پیش ساخته به داخل آن رانده می‌شود. در کلیه مراحل حفاری و راندن شبکه فولادی ، ترانشه توسط گل روانی که داخل آن ریخته می‌شود، از ریزش محفوظ می‌ماند. در مرحله بعد گل روان توسط بتن جایگزین می‌شود و پس از گرفتن بتن ، قطعه بعدی اجرا می‌شود.

دیوارهای یخی

این دیوارها که با یخ زدن بخشی از زمین اشباع شده ایجاد می‌شوند به عنوان عامل موقتی در جلوگیری از نشت آب در حفاریهای باز ، تونلها و شفتها مورد استفاده قرار می‌گیرند. این روش بیش از همه در رسوبات ضخیم ماسه‌ای و لایه‌ای اشباع شده و یا در جاهایی که مواد سازنده گل روان ممکن است منابع آب را آلوده سازد، بکار می‌رود. از دیوارهایی یخی سالهاست که در معادن و برای احداث چاههایی قایم (شفتها) تا عمق ۳۰۰ متر استفاده شده است. این روش پرهزینه و وقتگیر است و معمولا یک تاخیر ۶ ماهه در کار را باعث می‌شود. علاوه بر آن باید دقت زیادی در اجرای آن بشود. زیرا حتی یک جریان کوچک آب از میان دیوار به داخل بخش حفاری شده می‌تواند فاجعه آمیز باشد. بر اثر یخ زدن ممکن است تورم قابل ملاحظه‌ای نیز در خاکهای سطحی اطراف ساختگاه بوجود آید که پس از آب شدن یخها می‌تواند با فروریزش زمین همراه شود. مقدار تورم و فروریزش متعاقب آن وابسته به نوع مواد واقع در نزدیک سطح زمین است.

تزریق

تزریق دوغاب به داخل خاکهای نفوذ پذیر و سنگ ، روش رایج و دایمی برای جلوگیری از جریان آب زیرزمینی است. البته در اغلب موارد دیواری که به این ترتیب بوجود می‌آید کاملا نفوذ پذیر نیست. از تزریق همچنین برای افزایش مقاومت سنگ و خاک سود جسته می‌شود. دوغابها متنوع اند و می‌توانند ترکیبی از سیمان ، سیمان و خاک یا مواد شیمیایی باشند. انتخاب نوع دوغاب به تخلخل سازندهای زمین شناسی ، سرعت جریان آب و مقاومت فشاری نهایی بخشهای تزریق شده بستگی دارد. بطور کلی دوغابهای ماسه - سیمان برای بستن حفره‌های بزرگ و شکستگیها و دوغابهای رس و سیمان پرتلند برای بستن شکستگیهای نسبتا کوچک و خاکهای دانه درشت بکار می‌روند. به منظور کنترل جریان آب زیرزمینی ، حفر رشته منفردی از

گمانه‌ها و تزریق در آنها اغلب کافی است. پرده تزریق را می‌توان با افزودن رشته‌های دیگری از گمانه‌های تزریق شده ضخیم تر نمود. در سنگهای شکافدار یا جاهایی که جریان زیاد است، موفقیت عملیات تزریق کمتر است.

انواع سدها از نظر کاربرد:

(۱) **سدهای مخزنی:** به منظور ذخیره آب برای تاءمین مصارف شرب، کشاورزی و صنعت احداث می گردد. حجم مخزن این سدها بسیار بزرگ است. این نوع سدها شامل سدهای بتنی دو قوسی و بتنی وزنی و سدهای خاکی می شوند.

(۲) **سدهای تنظیمی:** هدف از ساخت این سدها تنظیم دبی ثابتی برای رودخانه می باشد. این نوع سدها در پائین دست سدهای مخزنی بزرگ احداث می گردند. ارتفاع آنها کم و میزان حجم آبی که در آن ها ذخیره می شود، کم می باشد. جنس این سدها اکثرا بتنی با حاشیه های سنگریزه ای می باشد.

(۳) **سدهای انحرافی:** برای منحرف کردن آب مورد استفاده قرار می گیرند، این سدها در مسیر رودخانه ها احداث می گردند و با افزایش هد آب باعث سوار شدن آب بر زمین های مجاور می گردد. همچنین از این سدها برای منحرف کردن آب قبل و بعد از محل های ساخت سدهای بزرگ استفاده می شود.

(۴) سدهای رسوبگیر

این نوع سدها دارای ارتفاع کمی می باشد و جنس آنها بتن و سنگ می باشد. هدف از این سدها برای جلوگیری از ورود رسوبات به داخل سدهای بزرگ می باشد و قبل از این سدها احداث می شوند.

سازه های وابسته به سد:

پی ها و تکیه گاهها : از ارکان بسیار مهم سدها می باشند که نیاز به پایداری در طول ساخت و بهره برداری دارند. اگرچه اغلب سدهای بتنی چه از نوع وزنی و پایدار و چه از نوع قوسی بر روی بسترهای سنگی مقاوم ساخته می شوند، ولی نیاز به کنترل مخصوصا مقاومت لغزشی و تراوشی دارند

سدهای بتنی قوسی نیاز به پی و تکیه گاههای مقاوم دارند و سدهای بتنی وزنی باید از نظر پی مقاوم باشند ولی اهمیت پی و دیواره در سدهای خاکی بسیار کمتر می باشد.

گالری ها ، اتاقک ها و شفت ها:

این سازه ها جهت حفاری ، تزریق، جمع آوری زهکش ها، نصب و راه اندازی و نگهداری وسایل جنبی در سدها به کار می روند و قسمتی از ساختمان سد می باشند.

پائین ترین گالری در دیواره سد که عموما در داخل پی قرار دارد، گالری زهکش نامیده می شود و کلیه آبهای نشتی و زه ابهای خروجی از زهکش ها وارد این گالری می شود و سپس از آن تخلیه می گردد.

سریزها:

سریزها سازه های تنظیم کننده مانند دریچه ها و سازه های آرام کننده جریان مانند حوضچه آرامش از تاسیسات وابسته به سد هستند و در سدهای بتنی عموما بر زاویه پائین دست بدنه سد قرار می گیرند.

تخلیه کننده ها :

جهت انتقال آب از دریاچه سد به پائین دست آن به کار می روند و اجزاء آن عبارتند از:

کانل ورودی

آبراه

اتاقک دریچه

شوت و سرسره

انرژی گیر

از سازه های وابسته به سد هستند که کنترل رفتار و اطمینان از عملکرد آن در رفتار سد بسیار مهم است.
دریچه ها:

تمام دریچه ها و شیر آلات نصبی از تاسیسات وابسته به شمار می روند.

نیروهای وارد بر سد:

۱) نیروی فشار منفذی

۲) نیروی وزن سد

۳) نیروی افقی آب در بالادست

۴) نیروی عمودی آب در بالادست

موارد کنترل در سدهای بتنی:

تراز آب مخزن :

تراز آب مخزن با ذکر تاریخ اندازه گیری نوشته می شود و به صورت روزانه اندازه گیری می گردد.

تمام پارامترها از قبیل تغییر شکل ها و جابجایی هاو تاثیر درجه حرارت و تنش ها، کرنش ها و نیروی uplift تابع تراز آب می باشد.

دما :

اندازه گیری های دما شامل دمای آب و دمای هوا و دمای بتن در ترازهای نقاط مختلف است.

تراز آب بیشتر باشد بر دمای بتن تاثیر درجه حرارت کمتر است چون خود یک عایق است.

تغییر شکل ها :

تغییر جابجایی ها و، تغییر مکان های افقی و قائم و تغییر شکل های داخلی و دورانی

فشار منفذی :

که این فشار توسط پیزومتر بدست می آید.

(پیزومتر برای بدست آوردن فشار نقطه ای در خاک است.)

فشار ناشی از آب در خاک زیری که به سمت بالا وارد می شود را فشار منفذی گویند و با نصب پیزومترها در جهت سراب به پایاب در پی سد می توانیم فشار در هر نقطه را مشخص نماییم. علاوه بر آن از پیزومترها برای کاهش فشار منفذی استفاده می گردد.
نشت آب :

اگر نشت زیاد شود یعنی دیواره در حال ریزش است.

حرکات کل سد

زلزله :

با استفاده از دستگاه های زلزله نگار

بدنه، پی تکیه گاهها و سنگ بستر :

در طول عمر مفید سد حالات مختلفی اتفاق می افتد که باید سد در مقابل تمام این حالات پایدار و ایمن باشد. این حالات شامل وضعیت زمان ساخت اولین آبگیری در طولانی مدت تخلیه سریع، شرایط سیلابی و زلزله می باشد. در تمام شرایط بایستی سد در مقابل واژگونی در هر یک از صفحات افقی در مقاطع میانی سد، در کف و صفحه های پائین تر از کف ایمن باشد و نیز صفحات میانی بدنه و صفحات پی و یا ترکیبی از آن ها لغزش رخ ندهد و بالاخره تنش ها در حد مجاز باشد. در مورد سدهای قوسی رفتار سد به صورت انتقال نیرو از طریق قوس ها به تکیه گاه ها و انتقال بخشی دیگر به پی می باشد. عموماً رفتار سد در مواقع سیلابی و زلزله باید پیش بینی گردد. پاسخ سد در مواقع زلزله به مشخصات حرکت زمین در عرض و ارتفاع بستگی دارد. حرکت آب مخزن در

اثر زلزله تغییر شکل پذیری سنگ کف و تاثیر متقابل حرکات آب ، سد و بستر باید بررسی گردد.

اثر بارها و نیروهای خارجی بر جسم سد به صورت های زیر در رفتار سد ظاهر می شود:

(۱) تغییر شکل سد به صورت شعاعی در جهت افق و مماسی از سراب به پایاب در سدهای قوسی و به صورت افقی و قائم در سدهای وزنی و خاکی می باشد

(۲) تغییر شکل سنگ که شامل تراکم، تورم و یا چرخش می شود.

(۳) تغییرات در درزهای اتصال افقی

(۴) تغییرات کرنش و تنش در بتن

(۵) چرخش بدنه سد یا سنگ بستر

(۶) ایجاد فشار uplift

(۷) نشست آب

(۸) ایجاد ترک در بدنه و تکیه گاه ها

محل های کنترل در سدهای بتنی: (۱) وجه بالادست بدنه سد:

کنترل درزها و ترک، وضعیت بتن از نظر فرسایش و خوردگی

(۲) وجه پائین دست:

کنترل درزها و ترک، شوره زدگی بتن (اگر زیاد باشد علاوه بر نشست آب املاح بتن نیز در حال شسته شدن است) و وضعیت خود بتن (۳) تاج سد:

کنترل سواره و پیاده رو از لحاظ خوردگی و فرسایش عوامل طبیعی ترک و وضعیت نقاط ثابت پنج مارک (گالری های بدنه سد :

نشست و ترک های احتمالی و درزها و وضعیت زهکش ها) (در گالری تحتانی) باید کنترل شود.

(۵) وضعیت پی در پنجه:

کنترل نشست آب، ترک و فرسایش بتن

(۶) گالری تحتانی :

کنترل ترک ها وضعیت نشست آب و زهکش ها کنترل سطح بتن و شوره زدگی

(۷) سریزها:

کنترل دریچه و عملکرد آن، تکیه گاهها و کابل ها و زنگ زدگی دیواره دریچه، کنترل درزها و ترک در رویه بالادست سریز، فرسایش بتن در آبگذر و تاج سریز کنترل بتن در کانال هوادهی

(۸) حوضچه آرامش:

حوضچه آرامش از لحاظ رسوب گذاری، فرسایش لبه ها، دیواره و کف حوضچه و وضعیت بتن

بلوک های ضربه گیر در داخل حوضچه آرامش باعث ایجاد پرش هیدرولیکی در حوضچه می گردد. ایجاد پرش هیدرولیکی و

افزایش عمق ثانویه باعث افت انرژی جریان می گردد.

(۹) آبگیر :

کنترل سطح بتن و لبه ها، وضعیت آشغال گیرها، خوردگی و زنگ زدگی

آبگیر محل هایی هستند که برای انتقال آب از دریاچه سد به پائین دست و یا انتقال آب از دریاچه سد که نیروگاهها از آن ها استفاده می شود.

برای جلوگیری از ورود آشغال ها، تنه درختان به داخل آبراهه و همچنین نیروگاهها، از آشغالگیرهایی در ورودی آن ها استفاده می شود که نیاز به کنترل و مراقبت دارد.

۱۰) تکیه گاهها و بستر زمین:

تکیه گاهها و پی سد یکی از مهمترین موارد کنترل در سدسازی می باشد. به خاطر اینکه تکیه گاهها یا پی در اثر نیروهای وارد به آنها می توانند جابجا شوند و این جابجایی در مقیاس زیاد باعث از بین رفتن سد می گردد. بنابراین باید تغییرات آن بطور مداوم مورد بررسی قرار گیرد.

بررسی درزها و شکاف های ایجاد شده در پی و دیواره و شکاف ها

در محل پی و تکیه گاههای سد بررسی شکاف ها در صخره های طرفین، بررسی ریزش سنگ، میزان رسوب گذاری در مخزن دریاچه رویش گیاهان در تکیه گاه ها، حفره های فرسایشی، لایه های لغزشی و انحلال در آب از موارد مهم کنترل پی و دیواره می باشد.

۱) کنترل دستگاههای اندازه گیری و تجهیزات کنترل

ابزارهای سازه ای، ابزارهای زهکشی، نشت تجهیزات اندازه گیری فشار uplift زلزله نگار، شیر آلات، جرثقیل ها و چراغ ها همانطور که اشاره شد کلید کنترل ها و اندازه گیری ها در تمام مقاطع و نقاط سد به دلیل وجود نیروها و لارها و تمرکز تنش از حساسیت بیشتری برخوردارند. لذا کنترل ها و اندازه گیری ها باید با دقت بیشتر و دوره زمانی کمتری در این نقاط صورت گیرد. این محل های کنترل در سدهای بتنی وزنی پایه دار با سدهای قوسی تفاوت دارد که به شرح زیر می باشد:

• سدهای پایه دار وزنی:

مهمترین تغییر مکان در این سدها در جهت سراب به پایاب (شعاعی) می باشد در حالیکه تغییر مکان ها در جهت چپ به راست (محور سد) از اهمیت کمتری برخوردار می باشد. کلیه درزها (درزهای انقباضی و افقی) کنترل ترک و جابجایی.

• سدهای قوسی:

- تغییر مکان سراب به پایاب

- تغییر مکان چپ به راست یا تغییر مکان در جهت محور تاج سد (مماسی). ترک در تکیه گاهها و ترک در تونل های افقی و گالری ها

اصول نگهداری و تعمیرات:

سدها از بزرگترین طرح های عمرانی هر کشوری می باشد که در رشد و شکوفایی اقتصادی هر جامعه نقش بسزایی دارد و برای ساخت و اجرای آن ها زمان و هزینه بسیار زیادی صرف گردیده است.

حفظ، نگهداری، دوام و تضمین بهره برداری ضرورت بهره برداری محسوب می گردد. نگهداری مقدم بر تعمیرات است و منظور از نگهداری حفظ سلامت و کارایی و نگهداشتن وضعیت سازه به همان شکل اجرا و ساخت اولیه است. اقدامات اجرایی و پیوسته جهت نگهداشتن و پیشگیری از صدمات ناشی از آسیبات حرکتی، نشست و نشت آب، آسیب های شیمیایی، صدمات زلزله و سیل و سایر صدمات فیزیکی و شیمیایی منجر به تضمین سلامتی آن می گردد.

تعمیرات زمانی انجام می شود که نگهداری جایگاه در دستگاه بهره بردار نداشته و احتمال خطرات و اثرات سوء و مخرب در پیش باشد.

موضوع مهم در ارتباط با نگهداری و تعمیرات تامین هزینه و برآورد دقیق حجم عملیات و و نیز مصالح مصرفی و نیز زمان تعمیرات می باشد.

در مرحله تعمیرات پارامترهای زیر مهم می باشد:

۱) آسیب شناسی

۲) اثرات حال و آینده ناشی از آسیب دیدگی

۳) ضرورت و روش تعمیر

۴) حجم عملیات ترمیم، زمان و هزینه.

(اصول زمین شناسی در سد سازی)

سد سازی از جمله طرح های مهندسی متمرکز به شمار می آید که در ارتباط مستقیم با زمین ساخته می شوند. مطالعات زمین شناسی مهندسی در تمامی مراحل اجرای یک طرح سد سازی مؤثر می باشند. ناکامی و گسیختگی پیش از یک سوم از سدها در سطح جهان نتیجه ضعف مطالعات زمین شناسی مهندسی محل اجرای آنها بوده است که دلیل روشنی بر اهمیت دیدگاههای زمین شناسی مهندسی در اجرای موفق طرحهای سد سازی می باشد. سدها سازه های هیدرولیکی هستند که عمود بر مسیر جریان آب احداث می شوند. هدفهای متعددی با احداث یک سد برآورده می شوند که می توان به موارد زیر اشاره کرد :

- تأمین آب آشامیدنی شهرها، آبیاری دشت های کشاورزی و تأمین آب واحدهای صنعتی.

- مهار سیلابهای فصلی و کاهش خطر تخریبی آنها.

- تولید برق با احداث نیروگاههای آبی در محدوده سدها

هرچند در پروژه های سد سازی پایه تمام محاسبات بر تضمین موفقیت اجرای سد قرار دارد اما با وجود این مطلب تعدادی از سدها با مشکلاتی در زمان اجرا و بهره برداری مواجه می شوند. در ایران نیز عدم موفقیت برخی از سدها کاملاً مشهود است که بارزترین آنها سد لار (واقع در شمال شرق تهران) می باشد. هرچند ظرفیت مخزن سد تقریباً یک میلیارد متر مکعب می باشد ولی از زمان بهره برداری در سال ۱۳۵۹ تاکنون کمتر از ۱/۳ مخزن پر شده است و روزانه در حدود یک میلیون مترمکعب فرار آب وجود دارد. سدهای دیگر کشور از جمله سد لتیان، ۱۵ خرداد، مارون، جیرفت و سفید رود نیز با مشکلاتی مواجه هستند که مهمترین آنها فرار آب و یا پر شدن مخزن به وسیله رسوبات می باشد.

عوامل مؤثر در انتخاب ساخت گاه سد

موفقیت یک سد در درجه اول به انتخاب صحیح ساخت گاه آن بستگی دارد. در انتخاب محل یک سد لازم است که دو شاخص اصلی در نظر گرفته شود،

۱- تأمین پایداری بدنه و مخزن

۲- آببندی محدوده احداث سد.

عوامل متعددی در انتخاب ساخت گاه یک سد مؤثر می باشند که مهمترین آنها عبارتند از : شرایط توپوگرافی، ساختارهای زمین شناسی و وضعیت حوضه آبریز. تأثیر هر کدام از این عوامل در انتخاب ساخت گاه سد به شرح زیر می باشد.

شرایط توپوگرافی

ناهمواری های سطح زمین و مورفولوژی آن معمولاً توسط نقشه های توپوگرافی نشان داده می شوند. بهترین موقعیت برای احداث سد معمولاً جایی انتخاب می شود که یک دره تنگ به وسیله یک دره باز در سمت بالادست دنبال شود. دره تنگ معرف استقامت بالای سنگ می باشد که در مقابل جریان آب رودخانه مقاومت بیشتری را نشان داده و دره باز محل مناسبی جهت مخزن می باشد که ظرفیت ذخیره سازی آب را بالا می برد.

تأثیر شرایط توپوگرافی در انتخاب ساخت گاه سد

ساختار زمین شناسی

ساختار زمین شناسی یک محل به وسیله عواملی همچون امتداد و شیب لایه ها، ساختمان های چین خورده، گسلها و درزه ها کنترل می شود که به شرح زیر مورد بررسی قرار می گیرند:

امتداد لایه ها

در محل هایی که لایه بندی سنگ مشخص باشد بهتر است محل احداث سد جایی انتخاب شود که محور سد موازی با امتداد لایه ها و یا دارای زاویه کمتری با امتداد لایه ها باشد.

امتداد لایه ها در انتخاب ساخت گاه سد، علت این انتخاب را می توان در موارد زیر توجیه کرد:

الف) در صورتی که محور سد دارای زاویه کمتری با امتداد لایه ها باشد امکان دور ماندن از نقاط ضعف بیشتر است.

لازم به ذکر است که نقاط ضعف مورد بحث را می‌توان به شرح زیر بیان داشت:

- لایه‌های سنگی سست و ضعیف مانند سنگهای شیلی و مارنی
- لایه‌های سنگی دربر گیرنده حفرات و دیگر پدیده‌های کارستی حاصل از انحلال توده سنگ
- لایه‌های سنگی کاملاً خرد شده و یا کاملاً هوا زده شده.
- گسلها و مناطق گسله که عموماً با خردشدگی و شکستگی های زیاد همراه می‌باشد.
- ب) در صورتی که محور سد موازی با امتداد لایه‌ها باشد سنگهایی با شرایط و خصوصیات یکسان در محدوده تکیه‌گاهها و پی سد قرار می‌گیرند. بنابراین سنگها رفتار مشابهی در طول محل بار گذاری خواهند داشت و پایداری سد بیشتر خواهد بود. در چنین شرایطی طراحی سد نیز ساده‌تر خواهد بود.
- ج) در صورتی که محور سد موازی با امتداد لایه‌ها باشد امکان فرار آب کمتر است. دلیل آن به این صورت است که لایه‌ها در جهت عمود بر مسیر جریان آب قرار داشته و نفوذ پذیری در آن جهت کاهش می‌یابد.

شیب لایه‌ها

به طور کلی بهتر است محل احداث سد جایی انتخاب شود که جهت شیب لایه‌ها به سمت بالا دست باشد یا به عبارت دیگر جهت شیب لایه‌ها در جهت عکس جریان آب باشد. شکل (الف) ساخت گاه سدی را نشان می‌دهد که جهت شیب لایه‌ها در آن به سمت پائین دست است در حالی که جهت شیب لایه‌ها در شکل (ب) به سمت بالا دست است.

تأثیر جهت شیب لایه‌ها در انتخاب ساخت گاه سد

برای توصیه این انتخاب می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- الف- از آنجا که معمولاً تراوش آب در جهت سطوح لایه‌بندی صورت می‌گیرد بنابراین در صورتی که جهت شیب سطوح لایه‌بندی به سمت بالا دست باشد امکان فرار آب کمتر است و محل احداث سد از شرایط آب‌بندی بهتری برخوردار می‌باشد.
- ب- پایداری پی و تکیه‌گاههای سد بیشتر است زیرا که قسمت اعظم بارهای وارده بر سطوح لایه‌بندی به سمت بالادست منتقل می‌شود.

در صورتی که شیب لایه‌ها به سمت پائین دست باشد امکان فرار آب بیشتر و ناپایداری سطوح لایه‌بندی بیشتر خواهد بود و در نهایت پایداری بدنه سد نیز در معرض خطر قرار می‌گیرد.

چین خوردگی

نقش ساختمان‌های چین‌خورده در انتخاب محل احداث یک سد را می‌توان با توجه به موارد زیر بیان داشت.

- الف- بهتر است محل احداث سد جایی انتخاب شود که محور سد موازی با محور چین باشد و ساختمان چین‌خورده از نوع طاق‌دیس باشد.

تأثیر چین خوردگی در ساخت گاه سد

- ب- در صورتی که محور سد عمود بر محور طاق‌دیس و یا ناودیس باشد لازم است که جهت شیب لایه‌ها در محل احداث سد در نظر گرفته شود. در هر دو حالت جهت شیب لایه‌ها به سمت بالادست است. اگر سنگ‌های تشکیل دهنده اینگونه ساختمانهای چین‌خورده از شرایط خوبی با توجه به استقامت و آب‌بندی برخوردار باشند می‌توانند ساخت گاه مناسبی برای احداث یک سد در نظر گرفته شوند.

محور سد عمود بر محور چین خوردگی

وضعیت حوضه آبریز:

محل احداث سدها معمولاً در قسمت انتهایی یک حوضه آبریز انتخاب می‌شوند بدین ترتیب حجم بیشتری از آب ذخیره و یا کنترل می‌شود. در جایی که رودخانه‌ها جریان فصلی دارند و سدهای ساخته شده اغلب از نوع مخزنی، تنظیمی و یا حفاظتی می‌باشند. به عنوان مثال می‌توان به سدهای کرچ، جیرفت، ساوه، علویان و درود زن اشاره نمود.

در جایی که رودخانه‌ها جریان دائمی داشته باشند احداث سد در قسمتهای مختلف مسیر رودخانه وجود دارد و سدهای احداث شده اغلب از نوع سدهای نیروگاهی و یا مخزنی هستند به عنوان مثال می‌توان از سدهای کارون ۱، کارون ۳، کارون ۴، سد کرخه، سد استور و سد منجیل نام برد.

عوامل مؤثر در انتخاب نوع سد

سدها با توجه به نوع مصالح مورد استفاده و شکل ساختمان آنها به انواع مختلفی تقسیم می‌شوند. انتخاب نوع سد معمولاً طوری صورت می‌گیرد که بیشترین سازگاری را با محیط اطراف خود به وجود می‌آورد و در این شرایط است که موفقیت سد تضمین می‌گردد.

دره‌ها معمولاً در اثر عملکرد پدیده‌های مختلف زمین‌شناسی شکل می‌گیرند. شکل یک دره می‌تواند در انتخاب نوع سد نقش عمده‌ای داشته باشد در طرحهای مهندسی سد دره‌ها با در نظر گرفتن دو شاخص زیر معرفی می‌شوند:

الف- پهنای دره در محل تاج سد (B)

ب- عمق دره در محل احداث سد (H)

یکی از روش‌های ساده برای طبقه‌بندی دره‌ها با توجه به شکل، طبقه‌بندی آنها با توجه به روش توماس B/H می‌باشد. دره‌ها از نظر شکل به سه مجموعه زیر تقسیم می‌شوند:

۱- دره عمیق Gorge Valley دره‌ای است که در آن B/H کمتر از ۳ می‌باشد.

۲- دره تنگ Narrow Valley دره‌ای است که در آن B/H بین ۳ تا ۶ می‌باشد.

۳- دره باز Wide Valley دره‌ای است که در آن B/H بیش از ۶ می‌باشد.

استقامت زمین

یکی از عوامل مؤثر در استقامت زمین محل اجرای پروژه، خواص مهندسی سنگ‌ها و خاکهای منطقه احداث سد است. ظرفیت باربری یکی از شاخصهایی است که به این عوامل بستگی دارد و می‌توان به وسیله آن استقامت زمین را مورد سنجش قرار داد. جدول زیر الگویی مناسب برای احداث یک سد با در نظر گرفتن ظرفیت باربری مجاز زمین می‌باشد:

با بررسی جدول فوق به تفاوت ظرفیت باربری در مورد انواع سدها آشنا می‌شویم. سدهای خاکی با داشتن سطح قاعده وسیعتر سبب پراکنده شدن بار سد در گستره وسیع‌تری می‌شوند و در نتیجه واحد سطح کمتری خواهیم داشت.

و در مقابل سدهای بتونی قوس مضاعف به صورت بالعکس عمل می‌کنند. بنابراین خواص باربری زمین در انتخاب نوع سد با توجه به شکل ساختمانی آن و کوه انتقال نیرو نقش عمده‌ای پیدا می‌کنند.

علاوه بر موارد مذکور شاخصهای دیگر مهندسی سنگها و خاکها از قبیل مقاومت‌های ترا کمی، برشی و کششی، مدول الاستیسیته، ضریب پواسون و همچنین عوامل مختلفی نظیر میزان هوا زدگی، درصد اشباع شدگی و موارد دیگری که در جداول زیر طبقه‌بندی شده‌اند می‌توانند نقش اساسی در روند اجرای پروژه ایفا کنند.

در پایان می‌توان به موارد دیگری نیز اشاره کرد که نقش مهمی در تصمیم‌گیری‌های اولیه مبنی بر آغاز پروژه ایفا می‌کنند از این قبیل موارد می‌توان به انتخاب نوع سد و موقعیت جغرافیایی آن و نکات دیگری اشاره کرد که از نقطه نظر فراوانی، مصالح مورد بررسی‌های اولیه قرار می‌گیرند که چه بسا همین بررسی‌ها نیز پروژه‌ای را صرفاً به علت مناسب نبودن بازدهی به طور کامل متوقف کند.

برای تفهیم بهتر این موضوع در جدول زیر به یکی از شاخه‌های عوامل یاد شده اشاره شده است. به این صورت که به مقایسه حجم مصالح مصرفی سدهای بتونی قوسی و سدهای خاکی پرداخته شده است.

با ذکر عوامل یاد شده مشاهده می‌شود که حتی اگر جزئی‌ترین موارد در هر کدام از این زیرشاخه‌ها با بی‌تفاوتی و یا کم‌رنگ جلوه دادن آن مواجه شود چه بسا خسارات فراوانی را در پروژه‌های گوناگون باید متحمل شویم. با طبقه‌بندی این عوامل می‌توان آنها را به صورت کلی به چند بخش تقسیم کرد تا یک نمای کلی از عوامل مؤثر در مطالعات زمین‌شناسی ساخت. سد در ذهن ایجاد شود.

- محوریت بررسی های زمین شناسی در آغاز پروژه
- نقش زمین شناسی مهندسی در انتخاب ساخت گاه و نوع سد
- مطالعات مناسب در طراحی پرده آب بند و انتخاب روش صحیح جهت مهار تراوش آب در محدوده سد
- ارزیابی پایداری دامنه ها در محدوده سد و مخزن سد با استفاده از ویژگی های زمین شناسی
همچنین در پایان پیشنهاد می شود که با توجه به تجارب به دست آمده در پرداخت هزینه های هنگفت و روشن شدن اهمیت مطالعات زمین شناسی قبل از اجرای پروژه ها به این مسئله بهای بیشتری داده شود. تا حداقل، شرایط اولیه برای اجرای یک پروژه که همانا ایجاد امنیت اقتصادی در اجرای آن می باشد به صورت نسبی تأمین شود.

افزایش مقاومت سدهای بتنی قوسی

چکیده :

در پروژه های سد سازی تمامی بارهای وارده بر بدنه سد ، بررسی و در طراحی اعمال می گردد، سپس سد بر مبنای آن احداث می گردد. قبل از ساخت و حتی در حین عملیات ساختمانی یک سد می توان با تغییراتی در طرح و اجرا نسبت به مقاوم سازی کامل آن اقدام نمود ، ولیکن اگر پس از احداث و آگیری پاسخهای ابزاردقیق حکایت از عدم مقاومت کافی سد در مقابل بارهای استاتیکی و دینامیکی نماید ، چه باید کرد؟ در این مقاله به یکی از روشهای مقاوم سازی سدهای بتنی قوسی ساخته شده اشاره می گردد که در آن بدون نیاز به خالی کردن مخزن با تزریق در پی و جناحین دره محل احداث ، مقاومت بدنه نسبت به بار زلزله افزایش می یابد.

کلید واژه :

سدهای بتنی قوسی ، مقاوم سازی در دوران بهره برداری ، تاریخچه زمانی زلزله بم ، مدول پی و جناحین ، عملیات تزریق

مقدمه :

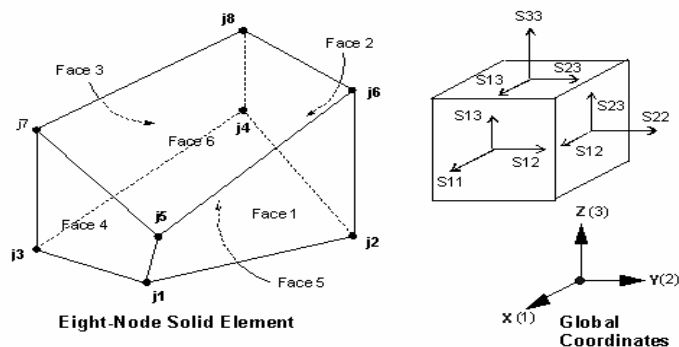
سدهای بتنی قوسی با ویژگیهای خاص و پیچیده اجرایی از جمله سدهایی هستند که در شبکه آب و برق کشور از اهمیت ویژه ای برخوردارند. هرچند با توانمندی متخصصان ایرانی ساخت اینگونه سدها نیز در کشور متداول و معمول گشته ، اما ممکن است به دلایل متعدد طراحی و اجرا ، فعالیت با مشکلاتی همراه شود. اگر پس از آگیری که همواره با پیامدهای سیاسی ، اجتماعی و فرهنگی مواجه است ، مشخص گردد که بدنه در مقابل بار زلزله مقاومت لازم را ندارد ، نمی توان به راحتی مخزن را خالی و توربینهای نیروگاهی را از مدار خارج کرد ، سپس به ترمیم و مقاوم سازی مبادرت نمود. لذا لازم است بدون رها نمودن آب مخزن و در هنگام بهره برداری از نیروگاه با روشی دیگر مقاوم سازی و بهسازی صورت پذیرد. از اینرو با کمک مقاله سوم ششمین کنگره (ICOLD) که در اتریش و در سال ۲۰۰۱ برگزار گردید ، مختصات گره ها و المانها استخراج و با نرم افزار (SAP 2000) مدل سد، پی و جناحین ایجاد گردید. سپس با تغییر مدول برشی پی و جناحین در سه سد با ارتفاع مختلف مشخص گردید که هرچه مدول برشی پی و جناحین افزایش یابد ، جابجایی و تنش در بدنه سد ، در مقابل بار زلزله کاهش می یابد. لذا می توان با کمک تزریق در پی و جناحین و به تبع آن، افزایش مدول الاستیسیته و مدول برشی، مقاومت یک سد بتنی ساخته شده را در برابر زلزله افزایش داد.

روش کار:

جهت بررسی امکان مقاوم سازی سدهای بتنی قوسی ساخته شده، ابتدا لازم است مدل سازی مناسبی برای بدنه سد و پی و جناحین آن صورت پذیرد. در اینجا جهت بررسی دقیق و امکان تاثیر دادن پارامترهای مختلف از روش عددی اجزای محدود استفاده می شود. نرم افزار مورد استفاده نرم افزار SAP-2000 می باشد. در مدلسازی میتوان از المانهای مختلفی استفاده نمود المانهای ۸ گرهی، ۱۴ گرهی، ۱۶ گرهی و بالاتر، اما با افزایش تعداد گره ها تعداد معادلات نیز افزایش می یابد که این امر باعث صرف وقت و هزینه بالاتری می گردد. در اینجا جهت تحلیل بدنه پی و جناحین از المان ۸ گرهی Solid استفاده شده است.

شکل شماره ۱ المان Solid

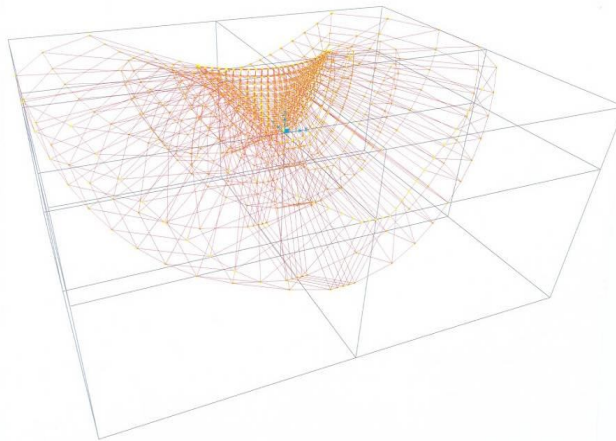
Solid Element



Solid Element Stresses

این المان دارای خصوصیات محوری برشی و خمشی می باشد و تطابق کامل با رفتار المانهای سد بتنی دو قوسی دارد هر المان Solid بصورت یک المان با خصوصیات مشخص که در بین ۸ گره واقع می شود مشخص می گردد. شکل شماره ۱ نمونه ای از المان Solid را نشان میدهد گره ها در قسمت joints معرفی می گردند. تعداد و ابعاد المانها ارتباط کامل به تعداد و موقعیت قرارگیری گره ها دارد در ضخامت سد حداقل سه المان مورد نیاز می باشد که در مدل های مفروض نیز به سه المان بسنده شده است. بنابراین بایست چهار لایه گره معرفی گردد. با توجه به اینکه هندسه دره نیز جزء مفروضات مدل میباید میتوان به ازای هر نقطه دلخواه در ارتفاع (Z) مختصات نظیر آنرا در عرض دره (X) یا ضخامت بدنه سد (Y) را بدست آورد. بنابراین با فرض نمودن ارتفاع دلخواه از روی منحنی طره، Y را و از روی منحنی قوس با توجه به روابط ریاضی X را بدست می آوریم. بنابراین با داشتن عرض دره و ارتفاع دره اقدام به شبکه بندی می نمائیم. در این تحقیق به منظور مدلسازی هندسه سد از مقاله سوم، ششمین کنگره ICOLD که در تاریخ ۱۷ اکتبر سال ۲۰۰۱ دراتریش برگزار گردید مختصات گره ها و المانها استخراج شد و سپس اقدام به مدلسازی سد توسط نرم افزار SAP 2000 گردید. تا بدین مرحله خصوصیات هندسی مدل معرفی شد. مورد دیگری که توجه به آن در این مرحله ضروری به نظر می رسد عمق مدلسازی پی و جناحین می باشد. حداقل عمق مدلسازی پی و جناحین سه برابر ارتفاع سد در نظر گرفته شده است. حال پس از مشخص نمودن هندسه مدل اقدام به اعمال بارها و مشخص نمودن درجات آزادی گره ها می کنیم. درجات آزادی گره ها مهمترین قسمت مدلسازی میباید بصورتی که با تعریف نادرست از درجات آزادی دیگر رفتار مدل با رفتار واقعی سازه مطابقتی نداشته و جوابهای حاصله با حقیقت متفاوت می باشد. درجات آزادی هر گره عبارت از اجازه یا توان حرکت یا دوران آن گره در امتدادی خاص یا حول امتدادی خاص می باشد. هر گره در فضا دارای شش درجه آزادی حرکت در سه درجه اصلی X و Y و Z و حرکات دورانی بصورت R_x و R_y و R_z می باشد. گره های المان Solid دارای سه حرکت آزاد در جهت محورهای اصلی و در کلیه جهات دیگر مقید می باشد. با اعمال این فرضیات می توان انتظار داشت تا مدل رایانه ای تطابق قابل قبولی با رفتار واقعی سازه داشته باشد. بنابراین بدنه سد به همراه پی و جناحین تا مرز اتصال پی و جناحین (سه برابر ارتفاع سد) در سه جهت Z و Y و X دارای حرکت بوده ولی دوران آنها مقید گردیده است. شکل شماره ۲ نمای کلی مدل های رایانه ای سدهای دو قوسی مدلسازی شده را نشان میدهند.

شکل شماره ۲ نمای کلی مدل های رایانه ای سدهای دو قوسی



شکل شماره ۳

جهت تحلیل و بررسی لرزه ای سد بتنی قوسی، عوامل و پارامترهای ذیل مورد استفاده قرار گرفته اند:

- مدول برشی (G): همانطور که میدانیم مدول برشی با مدول الاستیسیته (E) نسبت مستقیم و با ضریب پواسون (ν) نسبت به معکوس دارد

$$G = E / 2(1 + \nu)$$

در اینجا با فرض ثابت بودن جنس پی و جناحین سه نوع سنگ برای پی و جناحین سد، در نظر می گیریم:

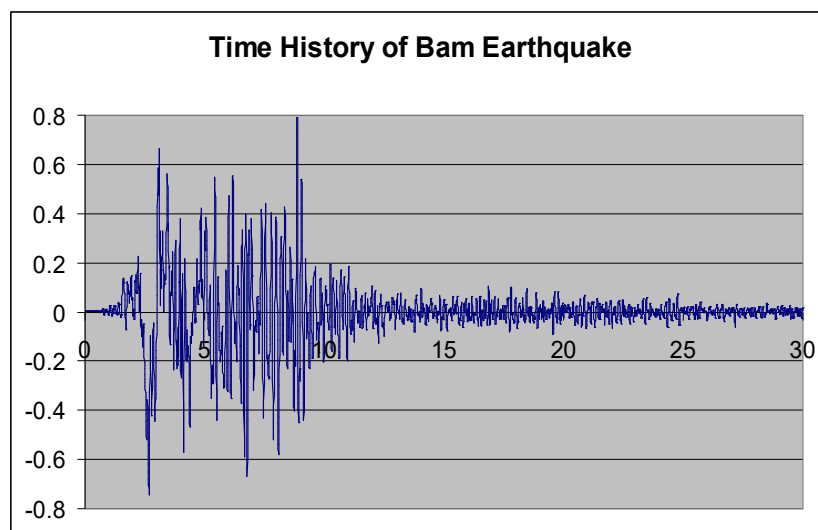
G1, G2, G3

- لازم به ذکر است مدول الاستیسته و سایر مشخصات بتن بدنه سد، در تمامی حالات تحلیل ثابت می باشد و تغییر نمی کند.
- فشار آب مخزن بصورت بار مثلی اعمال می گردد که در سطح آب صفر و در عمق H برابر مقدار H می باشد.
- بار وزن بدنه سد که به مشخصات بتن بستگی دارد نیز در بارگذاری لحاظ شده است.
- برای بررسی اعمال بار دینامیکی، سه ارتفاع مختلف را برای سد در نظر گرفته ایم:

H1=80m ، H2=140m ، H3=200m

- برای اعمال بار زلزله، از روش تاریخچه زمانی و از اطلاعات زلزله بم استفاده شده است، که در شکل ۳ نشان داده شده است.

شکل ۳ نمودار تاریخچه زمانی زلزله بم



با اعمال سه مدول برشی $G1=125000$ ، $G2=215000$ و $G3=400000$ تن بر مترمربع، برای حالات پی و جناحین ضعیف، متوسط و قوی، در کنار سه ارتفاع مختلف، بارهای لرزه ای که در اینجا زلزله بم با روش تاریخچه زمانی است، بار فشار آب مخزن و وزن بدنه سد را با کمک نرم افزار SAP 2000 به نه حالت مذکور اعمال می نمائیم. بدنه سد از بتن ۲۵۰ کیلوگرم در سانتیمتر مربع بوده و در تمامی حالات تحلیل ثابت است. جدول شماره ۱ مشخصات بدنه، پی و جناحین سد و نسبتهای آنها را در حالات مختلف نشان می دهد.

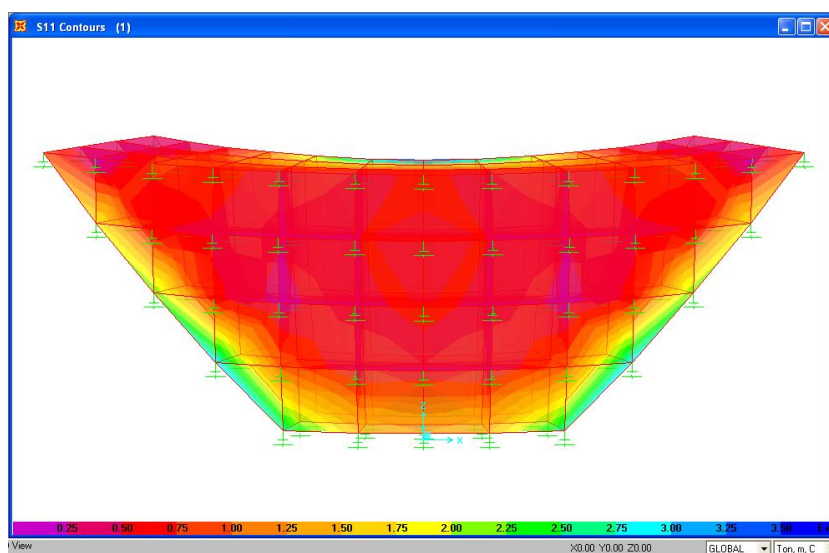
جدول شماره ۱ مشخصات بدنه، پی و جناحین سد

نتایج :

مدول برشی (تن بر مترمربع)	مدول الاستیسیته (تن بر مترمربع)	مقایسه مشخصات بدنه، پی، جناحین
۱۰۰۰۰۰	۲۴۰۰۰۰	بتن بدنه سد
۱۲۵۰۰۰	۳۰۰۰۰۰	پی و جناحین ضعیف $G1$
۲۱۵۰۰۰	۵۱۶۰۰۰	پی و جناحین متوسط $G2$
۴۰۰۰۰۰	۹۶۰۰۰۰	پی و جناحین قوی $G3$
$E1/Edam=G1/Gdam=0.13$	$E2/Edam=G2/Gdam=2.18$	$E3/Edam=G3/Gdam=4.1$

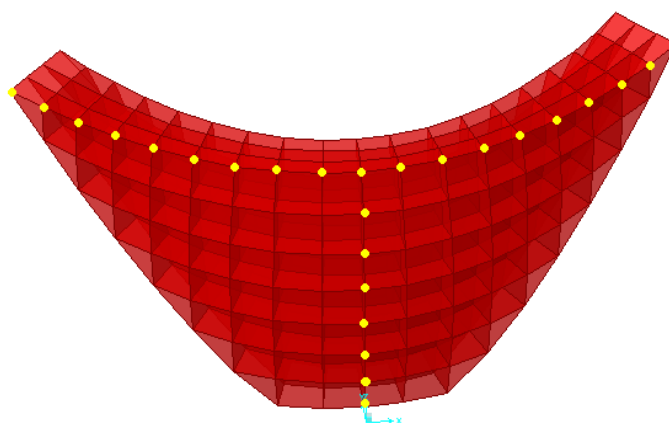
آنچه مسلم است در بررسی تنش لازم است، نقاط هم تنش در بدنه سد ترسیم و در حالات مختلف تحلیل مورد بررسی قرار گیرد که در میان حالات متعددی که به کمک برنامه بدست آمد؛ نقاط هم تنش در بدنه سد ۸۰ متری با مدول برشی پی و جناحین ضعیف بصورت نمونه انتخاب گردید که در شکل ۴ آمده است.

شکل شماره ۴ نقاط هم تنش در بدنه سد

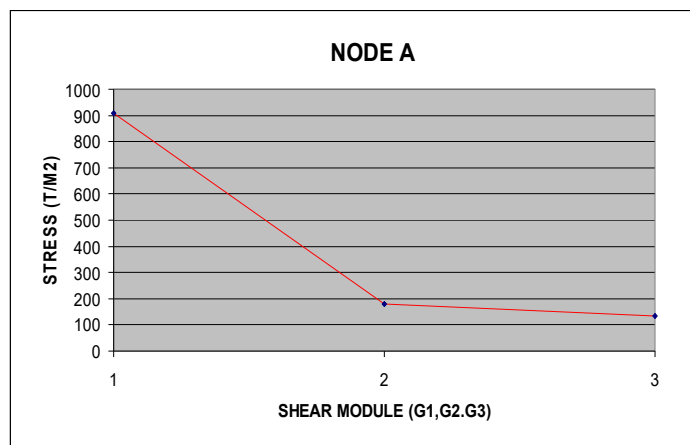


پس از اعمال بارهای مذکور برای مقایسه حالات مختلف، از تنشهای بدست آمده در نقاط مختلف بدنه سد، که در شکل ۵ آمده است استفاده می نمائیم، بصورتیکه تنش هر نقطه در حالات مختلف پی و جناحین ضعیف، متوسط و قوی با هم مقایسه می گردد تا کاهش یا افزایش تنش وارده به آن نقطه در حالات مذکور بدست آید. در تمامی حالات و در تمامی نقاط مقایسه با افزایش مدول برشی پی و جناحین، تنش در بدنه سد کاهش می یابد، که برای نمونه وضعیت یکی از نقاط بدنه سد در شکل ۶ آمده است.

شکل ۵ نقاط مقایسه تنش در بدنه سدها



شکل ۶ کاهش تنش در بدنه سد با افزایش مدول برشی پی و جناحین



بحث و نتیجه گیری :

پس از افزایش مدول برشی پی و جناحین از $G1$ به $G2$ و همچنین از $G2$ به $G3$ ، تنش در بدنه هر سه سد که ارتفاعهای متفاوتی نیز داشتند کاهش یافت، این موضوع در مورد کاهش جابجاییها نیز صادق است. بنابراین در سدهای بتنی قوسی هم در زمان ساخت و هم در زمان بهره برداری می توان با بکارگیری راهکارهایی که منجر به افزایش مدول برشی پی و جناحین می شود، تاثیر زلزله را بر بدنه سد کاهش داد.

استفاده از این روش زمانی ارزش واقعی خود را نشان می دهد که پس از بهره برداری از سد و بهره برداری از نیروگاه امکان تقویت بدنه سد وجود ندارد. در آن زمان می توان با حفاری گمانه هایی در پی و جناحین سد و بدون هیچگونه مشکلی در بهره برداری از سد و نیروگاه ، و با تزریق به این مهم نائل آمد. عملیات تزریق که امروزه با دستگاههای حفاری و تزریق نه چندان پیشرفته و به راحتی در پروژه های عمرانی مورد استفاده است ، با اشغال حداقل فضای لازم در موقعیتهای مورد نیاز ، به دستیابی به مقاوم سازی و بهسازی سد کمک شایانی می نماید.

موقعیت گمانه های تزریق ، بستگی به پاسخهای ابزار دقیق نصب شده در بدنه سد دارد ، که با کمک آن گروه طراحی ، سازمان و روش اجرای عملیات را مشخص می نماید.

مراجع:

فاروق حسینی، م.، ۱۳۷۹، درآمدی بر مکانیک سنگ، نشر کتاب دانشگاهی
طاحونی، ش.، ۱۳۷۵، اجزاء محدود برای تحلیل سازه ها، انتشارات علم و ادب
مقاله سوم از ششمین کنگره ICOLD

بررسی راهکار اجرایی پیاده سازی سد آزاد و سامانه انتقال آن

مقدمه

یکی از ضروری ترین و حیاتی ترین نیازهای بشر آب است که با افزایش جمعیت و ضرورت رشد کشاورزی و صنعت از یک طرف و محدودیت مخازن و منابع آبی از طرف دیگر، حساسیت آن روز به روز بیشتر شده و پیش بینی می گردد در آینده ای نه چندان دور بحران کمبود آب مهمترین مسئله کشورها، بخصوص مناطق خشک و نیمه خشک گردد. کمبود آب و روشن شدن تدریجی ارزش حقیقی و حیاتی آن، مردم ممالک را بر آن می دارد تا حداکثر بهره برداری از آب در دسترس را بنمایند و از هر قطره آن استفاده صحیح و بهینه نمایند. از طرفی نوسان شدت جریان آب در رودخانه ها و نیاز به ذخیره آب در زمانهای پر آبی برای مصرف در مواقع کم آبی و همچنین نیاز به استفاده انرژی الکتریکی و... لازم می سازد تا با ساخت موانعی در مسیر جریان به عنوان «سد» به این اهداف دسترسی پیدا کرد. در میان سازه های ساخته شده به دست بشر سدها به دلایل مختلف، از جمله اهمیت ساخت و نیز شدت و حساسیت خطرات و صدمات ناشی از خرابی احتمالی آنها، از موقعیت منحصر به فردی برخوردار هستند. تاریخ ساخت سد را بایستی به تاریخ تمدن بشر نسبت داد در ایران نیز از دیرباز توجه زیادی به این امر شده تا جایی که ساخت اولین سد قوسی را به ایرانیان نسبت می دهند. از طرفی موقعیت جغرافیایی و آب و هوایی کشور باعث شده است تا کنترل و جمع آوری آبهای سطحی از اهمیت خاصی برخوردار شود و به خصوص در دهه اخیر توجه قابل ملاحظه ای به امر مهار آبهای سطحی و ساخت سدهای مختلف شده است. جای خرسندی و شکر بسیار است که در آستانه تابش پرتوهای حیات بخش اسلام بر پهنه زمین خود را در زمانی می یابیم که دانش بشری به حدی پیشرفت کرده است که می تواند بر نزولات جوی و آبهای جاری سطح زمین که در گذشته باعث ویرانی ها و تلفات جانی بسیاری شده غلبه کرده و آبهای جاری در رودخانه ها را با احداث سدها و آبندهای بزرگی به نفع بشر امروزی مهار نماید. خوشبختانه آثار تاریخی به جا مانده از گذشتگان از جمله بند امیر و سد داریوش روی رودخانه کر ثابت می کند که ما ایرانیان سابقه درخشانی در ساخت سازه های هیدرولیکی از جمله سد سازی را داریم و همگام با پیشرفت جهانی علم سد سازی هم اکنون نیز می توانیم در امر سدسازی خود کفا بوده و با مطالعه طراحی و ساخت سدهای بزرگی از جمله احداث سد بزرگ آزاد به جهانیان ثابت کنیم که ما مردم مسلمان ، ما می توانیم.

فصل اول: کلیاتی در مورد سد

۱-۱- تعریف سد :

مفهوم سد در فرهنگ فارسی و عربی آنقدر روشن است که هم در جامعه مهندسی و هم در عرف اجتماع مفهومی بی نیاز از توضیح دارد به طوری که حتی مشتقات آن در فرهنگ ما به طور کامل مانوس است. مانند: سد معبر، مسدود، انسداد و... به هر حال معنای

خاص آن عبارت است از بنایی که بخشی را از بخش دیگر جدا می کند و غالباً به مفهوم دیوار یا سازه ای است که از حرکت آب (به طور کلی یا جزئی) جلوگیری نماید تا آب ذخیره گردد یا انحراف بیابد. برای معادل فارسی این واژه گاهی «بند» به کار برده شده است مانند بند امیر، و در حال حاضر، بند به سدهای کوتاه گفته می شود معادل انگلیسی واژه سد (Dam) است. از دیدگاه مقررات اجرایی، ارزیابیها و رده بندی ها سدها را به دو گروه کوتاه و بزرگ تقسیم نموده اند: سد بزرگ براساس تعریف پذیرفته شده (ICOLD) سدی است که:

(۱) ارتفاع آن (فاصله بین پایین ترین سطح پی عمومی آن تا تاج آن بیش از ۱۵ متر باشد.

(۲) اگر ارتفاع آن بین ۱۰ متر تا ۱۵ متر است یکی از شرایط زیر را داشته باشد:

(الف) طول تاج آن از ۵۰۰ متر کمتر نباشد.

(ب) ظرفیت دریاچه حاصل از آن سد از 10^6 مترمکعب کوچکتر نباشد.

(پ) حداکثر تخلیه سیلاب آن از ۲۰۰۰ متر مکعب در ثانیه کمتر نباشد.

(ت) سد دارای مسایل پیچیده یا مشکل در شالوده باشد به طوری که نیاز به مطالعات و راه حلهای خاص داشته باشد.

(ث) در طراحی سد مسایل خاص غیر معمول وجود داشته باشد.

۲-۱- انواع سدها :

انواع سدها را می توان از دیدگاه مصالح، فرم ساختمانی، هدف از احداث سد، نوع سرریز یا ویژگیهای دیگری رده بندی نمود. آنچه معمولاً در نامگذاریها مشاهده می شود عبارت است از: سد بتنی وزنی که پایداری آن بر اساس وزن آن است، سد بتنی قوسی که ممکن است تک قوسی یا دوقوسی باشد، سد بتنی پایه دار و پشت بنددار، سد پاره سنگی (که سنگی و سنگریزه ای هم گفته می شود) و سد خاکی که عمده مصالح آن مواد خاکی و پاره سنگی است. در مقیاسهای کوچک و موقت و به طور کلی محلی، از سدهایی از جنس چوب و مصالح ساختمانی نیز استفاده می شود یا شده است. به عنوان یک طرح موقت ممکن اخیراً از سدهای کوتاه لاستیکی نیز یاد می شود و ساخت آب بندهای پرده سپری به منظور نگهداری ارتفاعهای کم آب نیز معمول است. چنانچه سد نسبتاً بزرگ باشد و هدف از ایجاد آن ذخیره آب باشد، سد مخزنی نامیده می شود و در صورتی که هدف از احداث آن انحراف مسیر رودخانه یا تقسیم آب به صورت موقت یا دائم باشد آن را سد انحرافی یا بند انحرافی می نامند. ارتفاع بعضی بندهای انحرافی ممکن است به ۸ متر و حتی ۱۰ متر هم برسد. در گونه های مختلف سدها ممکن است سرریز سد از تاج سد بگذرد و یا مسیر دیگری پیش بینی شود. در مورد سدهای بتنی عبور سرریز از تاج سد معمولاً مشکلی ندارد ولی در خصوص سدهای خاکی و پاره سنگی پیش بینی مسیر سرریز از روی تاج سد خاکی متضمن قبول خطر فوق العاده زیادی است و به همین علت تقریباً همیشه سرریز سد خاکریز در مسیر دیگری جز روی بدنه سد طراحی می شود. سدهای خاکی بیش از سدهای بتنی در معرض تخریب بوده اند و بر اساس گزارشهای (ICOLD) از میان ۱۴۷۰۰ سد بررسی شده ۱۱۵۰ سد (یعنی ۷/۵ درصد) دارای نواقص جدی بوده اند و ۱۰۷ مورد (یعنی ۰/۷ درصد) تخریب شده اند. بیش از ۵۰ درصد خرابیها یا آسیب دیدگی سدهای خاکی در ضمن ساخت یا در اولین پرشدن بوده است.

۳-۱- بعضی از اطلاعات آماری :

اشاره به بعضی از اطلاعات آماری در یک بحث فنی، حتی به صورت نمونه و اجمال، روشنگر ویژگیهای مهندسی طرحها در مقایسه با یکدیگر و نشانگر اهمیت نسبی بعضی پروژه ها خواهد بود. در اینجا بعضی از اطلاعات در دسترس از مأخذهای مختلف نقل می شود، هر چند نمی توان ادعا نمود که حق مطلب در مورد کلیه رکوردهای زمانی یا ابعادی بیان شده است.

۱-۳-۱- قدیمی ترین سد دنیا :

احتمالاً قدیمی ترین سد دنیا سد الکفره (Sadd Al Kafara) در ۱۶ کیلومتری جنوب شرقی هلوآن (Helwan) در مصر است که بین سالهای ۲۷۵۰ و ۲۹۵۰ قبل از میلاد (۵۰۰۰ سال قبل) با طول ۱۱۵ متر و ارتفاع ۱۲ متر ساخته شده است. بعضی از مورخین معتقدند اولین سدی که در تاریخ ثبت شده است مربوط به ۴۰۰۰ سال قبل از میلاد، با طول ۴۷۵ متر و عرض ۱۵ متر می دانند

که ۴۵۰۰ سال از آن بهره برداری می شده است. همچنین سدی به طول ۳/۲ کیلومتر و ۳۶ متر ارتفاع و ۱۵۰ متر عرض در یمن ساخته شده بوده است که آن را مربوط به ۱۷۰۰ قبل از میلاد می دانند و در قرن سوم میلادی بر اثر سیلاب منهدم گردیده است. سد داریوش روی رودخانه کرکه عمر آن بیش از ۲۵۰۰ سال است، و سد بهمن شیردارای عمری بیش از ۲۰۰۰ سال و بند میزان درشوشتر با عمر ۱۷۰۰ سال و بند امیر روی رودخانه کر که ۱۰۰۰ سال عمر دارد و هنوز در حال بهره برداری است از بندها یا سدهای باستانی محسوب می گردند.

۲-۳-۱- حجیم ترین سددنیا :

احتمالاً پر حجم ترین سد تا سال ۱۹۷۳، یک سد خاکی (New Correlia Tailings) است در آریزونا ی امریکا که ارتفاع آن ۳۳ متر، طول ۱۰/۸۵ کیلومتر و حجم مصالح آن 2.1×10^8 متر مکعب است.

۳-۳-۱- بزرگترین سد بتنی :

درواقع بزرگترین سازه بتنی، سد گراندکولی (Grand Coulee) روی رودخانه کلمبیا در واشینگتن است. طول تاج آن ۱۳۹۱ متر، و ارتفاع ۱۸۳ متر، حجم آن ۸/۰۵ میلیون مترمکعب و وزن آن ۲۱/۶ میلیون تن است. نیروگاه آن توانایی تولید ۹۸۷۰ مگاوات را دارد. مطالعه این سد در ۱۹۳۳ شروع شده، در مارس ۱۹۴۱ ساخت آن آغاز گردیده و در سال ۱۹۴۲ پایان یافته است. هزینه ساخت این سد ۵۶ میلیون دلار گزارش شده است.

۴-۳-۱- بلندترین سد بتنی دنیا:

سد گراند دیکسن (Grand Dixence) در کشور سوئیس است که با ارتفاع ۲۸۴ متر و طول ۶۷۰ متر در سپتامبر ۱۹۶۱ ساخته شد. هزینه این سد ۳۷۲ میلیون دلار، و حجم آن ۵/۹ میلیون متر مکعب گزارش شده است.

۵-۳-۱- بلندترین سد خاکی دنیا :

سد خاکی نورک (Nurek on the River Vakhsh-Amu Darya) در روسیه با بلندی ۳۰۰ متر و با طول تقریباً ۷۳۰ متر و حجم ۵۳/۸ میلیون متر مکعب بلندترین سد خاکی دنیا تا سال ۱۹۸۰ بوده است (شروع ساخت سال ۱۹۶۱ و اتمام آن ۱۹۷۹) بوده است) البته سد دیگری (Roguni) از نوع خاکی با ارتفاع ۳۳۵ متر در کشور روسیه در دست اقدام و مطالعه بوده است که ممکن است تاکنون احداث شده باشد.

حجم سد خاکی نورک تقریباً ۱۰ برابر حجم سد گراند دیکسن است، در صورتی که ارتفاع آن فقط ۱۰ درصد بیشتر و طول آن فقط ۵ درصد بیشتر از آن است.

۶-۳-۱- طولانی ترین سددنیا :

طولانی ترین سد دنیا به نام سد کی یف (Kief) با ارتفاع ۲۰ متر و طول ۵۴ کیلومتر در کشور روسیه در سال ۱۹۶۴ تکمیل گردید. همچنین ساخت سدی به طول ۹۹ کیلومتر با ارتفاع متوسط در کشور چین گزارش شده است که ساخت آن در قرن ۱۷ بوده است.

۴-۱- هدف از ایجاد سدها و انتخاب نوع سد :

اصولاً سدها به منظور ذخیره آب و تأمین آب شرب و کشاورزی و صنعت ساخته می شود هر چند مهار سیلابها و ایجاد ارتفاع آب به منظور تأمین انرژی پتانسیل برای ایجاد نیروگاه نیز می تواند از اهداف اولیه احداث سدهای بلند باشد. در مورد بندهای انحرافی، انحراف آب و یا تقسیم آن هدف اصلی را تشکیل می دهد. البته پس از احداث سد، دریاچه آن می تواند فواید دیگری از قبیل قایق رانی، پرورش ماهیها، و زیبایی طبیعت را در بر داشته باشد. در انتخاب نوع سد می توان انواع سدها را ابتدا به دو گروه رده بندی نمود : سدهای بتنی و خاکی. ویژگی سدهای خاکی که ممکن است خاکی یا پاره سنگی باشند عبارت از این است که این سدها را می توان بر شالوده های غیرسنگی نیز بنا نمود، از این رو محدودیتی از دیدگاه استحکام زمین مانع احداث آنها نمی شود. به طور کلی اگر عرض منطقه آبگیر (پهنای دره) خیلی وسیع باشد، یا شالوده آن محل غیرسنگی باشد ساختن سد بتنی معمولاً مقدور نیست یا در صورت امکان، اقتصادی نخواهد بود، در صورتی که در همین شرایط احداث سد خاکی بدون مشکل است. مزیت دیگر سدهای خاکی ارزان بودن مصالح آنها است که معمولاً در محل کمی از احداث سد، در دسترس می باشد و این مصالح ارزانتر از

مصالحي مانند بتن و فولاد تمام می شود. در مواردی که عرض دره کم است و سنگهای شالوده و تکیه گاهها استحکام کافی دارند ممکن است ساخت سد بتنی ارجح باشد هر چند درهمین شرایط نیز، ساخت سد خاکریز هم مقدور می باشد و جای بررسی دارد. مواردی نیز وجود دارد که مزایا و معایب هر دو نوع سد (خاکریز و بتنی) ممکن است تقریباً مساوی باشد در این شرایط تشخیص ارجحیت یکی بر دیگری به عهده کارشناسان با تجربه است. بدیهی است طرح بهینه و تصمیم نهایی هنگامی قابل دفاع است که جمیع عوامل مؤثر از قبیل عوامل اقتصادی، وضعیت زمین شناختی محل، کارایی نوع سد برای هدف مورد نظر، امکان ایجاد و حمل مصالح مورد نظر، مدت زمان ساخت و گاهی مدت زمان انحراف آب، امکان دسترسی به نیروی انسانی، مسأله زیبایی مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته باشد. احداث سد اعم از کوچک یا بزرگ و اعم از بتنی یا خاکریز باید با اطمینان بسیار زیاد طراحی و اجرا گردد زیرا هزینه های اضافی که برای اجرای صحیح و دقت درکار صرف می شود درصد زیادی را تشکیل نمی دهد، در صورتی که وقوع حادثه و تخریب سد نه تنها تنه ها سرمایه مادی آن را از بین می برد بلکه تلفات جانی زیادی را در بردارد که قابل جبران نخواهد بود. برای سدها ---ای کوتاه می توان با افزایش ضریب اطمینان، بررسیهای اولیه را محدود نمود ولی برای سدهای بلند، افزایش ضریب اطمینان، هزینه احداث سد را به شدت افزایش می دهد، از این رو مطالعات اولیه باید کامل باشد تا بتوان ضریب اطمینان را درحد معمول در نظر گرفت. به عبارت دیگر درصد هزینه ای که صرف شناخت دقیق مباحث مربوط به طراحی می شود به مراتب کمتر از هزینه ای است که باید برای افزایش ضریب اطمینان در ساخت سد مصرف شود.

۵-۱- تعریف سدهای خاکی :

به طور کلی سدی که بدنه آن از مصالح خاکی یا پاره سنگی یا از هر دو ساخته شود سد خاکریز (Embankment Dam) نامیده می شود و اگر عمده مصالح آن از خاک باشد، سد خاکی (Earth Dam) نامیده می شود. از زمانهای بسیار پیش احداث سدهای خاکی به منظورت نظیم و ذخیره آب معمول بوده است، اما به علت امکانات محدود و عدم شناخت قوانین مکانیک خاک و هیدرولیک، ارتفاع سدها و بندهای خاکی از مقدار محدودی بیشتر نمی شده است، هرچند از نظر وسعت و طول سد این محدودیت وجود نداشته است. امروزه با پیشرفت علم مکانیک خاک و توسعه امکانات تکنولوژی و مطالعات دقیقتر توانسته اند سدهای خاکی را با ارتفاع قابل ملاحظه ای احداث نمایند. به طوری که درحال حاضر، مرتفع ترین سدهای ساخته شده، سدهای خاکی و پاره سنگی هستند. به علاوه زمینهایی که سابقاً برای ساخت سد بر آنها غیر مناسب به نظر می رسیدند هم اکنون می توانند به عنوان شالوده یا محل سد خاکی مورد استفاده قرار می گیرند. از مرتفع ترین سدهای خاکی (یا پاره سنگی) عبارتند از :

سد رگونی (Roguny) به ارتفاع ۳۳۵ متر و سد نورک (Nurek) به ارتفاع ۳۰۰ متر، هر دو در کشور روسیه، سد تهری (Tehri) به ارتفاع ۲۶۰ متر در هند، سد میکا (Mica) به ارتفاع ۲۴۴ متر در کانادا و سد ارویل (Oroville) به ارتفاع ۲۳۵ متر در ایالات متحده.

با وجود پیشرفت تکنیکی و علمی که تاکنون در زمینه ساخت سدهای خاکریز شده است هنوز مشکل می توان راه حلهای ریاضی و محکمی را برای حل مسائل طراحی سدهای خاکی پیشنهاد نمود و از این رو بسیاری از اجزای سدها هنوز بر مبنای تجربه و ذوق و ذکاوت مهندسان طراحی و اجرا می گردد، به عبارت دیگر نمی توان یک طرح نمونه وارو منحصر به فرد و کامل را همواره پیشنهاد نمود.

به منظور تأمین یک طرح دقیق و منطقی در سدهای خاکریز لازم است وضعیت شالوده سد و مواد تشکیل دهنده آن کاملاً مورد بررسی و مطالعه اولیه قرار گرفته و اجرای سد باروشهای کنترل شده و دقیقاً مطابق برنامه پیشنهادی طرح انجام پذیرد. به عنوان یک اصل، دونکته مسلم است که:

(۱) سد به عنوان یک مخزن آب باید نفوذ ناپذیر باشد.

(۲) در تمام وضعیت های ممکن (بلافاصله پس از ساخت و ضمن ساخت، وضعیت مخزن پر، طغیان، تخلیه سریع، بارندگی و حتی در مواقع سیل های استثنایی چند هزار ساله) سد باید مقاوم باشد. روش ایجاد سدهای درحال حاضر عمدتاً با روش تراکم مکانیکی

است، هر چند روشهای دیگری مانند روشهای هیدرولیکی و نیمه هیدرولیکی هم وجود دارد که از این روشها کمتر استفاده می گردد، مگر در مورد سدهای باطله که ضرورتاً هیدرولیکی است.

بخش اصلی سد خاکی که توده خاکی کوبیده شده است (درحقیقت سازه سد) به نام بدنه سد نامیده می شود، و زمینی که سد بر روی آن قرار گرفته تا آن حد که تحت تأثیر فشار حاصل از سد و نفوذپذیری آب سد می باشد به نام شالوده است. به جز این دوب خش اصلی، اجزای دیگری از قبیل آب بندها، زهکشها، پوششها، و غیره وجود دارد که اهمیت آنها به لحاظ حجم ناچیز است اما به لحاظ حفاظت و ایمنی و عملکرد سد برای سد نقش حیاتی دارند.

۶-۱- انواع سدهای خاکی :

از دیدگاه تکنیک و روش ساخت، سدهای خاکی دو گروه هستند که تقریباً تمامی آنها در گروه غلظتی (کوبیدنی) قرار دارند و تعدادی در گروه هیدرولیکی و نیمه هیدرولیکی طبقه بندی می شوند. منظور از سدهای غلظتی این است که ساخت سد با روش کوبیدن خاک که به وسیله غلظت است صورت می گیرد. این عمل معمولاً در لایه های ۱۵ تا ۲۲ سانتی متری در هر نوبت تراکم کوبیده می شود. منظور از روش هیدرولیکی این است که انباشته شدن مصالح ساخت سد (جابه جایی مواد و قرار گرفتن آنها در محل) با کمک آب انجام می گیرد و در ضمن جدا شدن آب از خاک، نوعی طبقه بندی طبیعی در دانه بندی خاک صورت می گیرد که برای سد مناسب می باشد، یعنی دانه های درشت تر در کناره ها و دانه های ریزتر در وسط قرار می گیرند. از دیدگاه همگنی بدنه سد، نیز می توان گونه های مختلفی را از هم تشخیص داد که عبارتند از: نوع همگن، نوع مطبق یا مغزدار و نوع دیافراگمی

۶-۱-۱- نوع همگن (Homogeneous) :

نوع همگن به سدی گفته می شود که تمام بدنه آن از یک نوع مصالح ساخته می شود. در این نوع سد، چون قسمت عمده سد، از زه اشباع می شود و دامنه پایاب نیز تحت تأثیر زه می باشد، لازم است که شیب دامنه ها خیلی کم گرفته شود تا دامنه پایاب در برابر زه و دامنه سراب در یک تخلیه سریع مقاوم باشد.

۶-۱-۲- نوع مطبق یا مغزدار (Cored or Zoned) :

نوع مطبق یا مغزدار از معمول ترین نوع سدهای خاکی است. در این نوع، نقش آب بندی سد به عنوان مخزن به عهده مغزه است و نقش استحکام و پایداری را عمدتاً پوسته سد ایفا می کند. پوسته پایین دست علاوه بر استحکام، نقش زهکش را نیز دارد. مغزه سد از جنس نفوذ ناپذیر است و به وسیله منطقه های واسطه که نقش فیلترهای مطبق را دارند به پوسته که از مواد بسیار درشت دانه تشکیل شده اتصال می یابد. بدیهی است که دانه بندی خاک در منطقه واسطه از مغزه به پوسته درشت تر شده و نفوذ ناپذیری افزایش می یابد. انتخاب دانه بندیها در منطقه واسطه براساس معیار فیلتر صورت می گیرد.

۶-۱-۳- نوع دیافراگمی :

در این نوع سد، تمام بدنه از مواد درشت دانه یا مخلوط ساخته می شود و فقط بخشی که نقش آب بند را دارد به صورت دیوار یا پرده غیر قابل نفوذ در بدنه سد تعبیه می گردد که ممکن است به صورت دیافراگم مرکزی یا در دامنه بالا دست به صورت یک دیافراگم مایل باشد. جنس این پرده نفوذ ناپذیر را می توان از خاک رس، سیمان، چوب و غیره انتخاب نمود. دیافراگم مایل به نام پوشش مخفی نیز نامیده می شود.

۷-۱- هدف از احداث سد آزاد:

هدف از احداث سد آزاد بر روی رودخانه چم گوره، بهره برداری از پتانسیل آبی این رودخانه جهت توسعه آبیاری و کشاورزی در اراضی پایین دست می باشد. رودخانه چم گوره شاخه اصلی رودخانه آزاد بوده و در استان کردستان و غرب شهرستان سنندج جریان دارد. رودخانه آزاد از تلاقی دو شاخه چم گوره و چم شویشه در ۲ کیلومتری بالا دست روستای نیگل تشکیل می گردد. دسترسی به سد آزاد پس از پیمایش ۷۵ کیلومتر از جاده اصلی سنندج-مریوان و ۶ کیلومتر جاده خاکی انشعابی از این جاده به طرف شمال و به موازات شمال و به موازات رودخانه چم گوره صورت می گیرد. در شکل شماره (۱) موقعیت جغرافیایی سد آزاد

و راههای دسترسی به آن نشان داده شده است. سد مخزنی آزاد بر اساس ملاحظات فنی و اقتصادی، از نوع سنگریزه ای با هسته رسی طراحی گردیده است. در مطالعات مرحله اول، تامین مصالح پوسته سد از معادن سنگ آهک و یا توده های سنگ آذرین موجود در حد فاصل ۱۰ تا ۱۵ کیلومتری محور سد در نظر گرفته شده بود. لیکن در مطالعات مرحله دوم استفاده بهینه از معادن سنگ موجود در محدوده طرح در جهت تقلیل هزینه های اجرایی مورد توجه قرار گرفت و در این راستا علاوه بر توده های تراکی آنزیتی موجود در ۱۳ کیلومتری محور سد، بهره برداری از مصالح سنگی حاصل از حفاری های اجباری در محدوده ساختگاه سد و همچنین ماسه سنگ های شیبست دار موجود در ۴ کیلومتری محور سد مد نظر قرار گرفت و مقطع تیپ سد از نوع هسته رسی با پوسته سنگ ریزه ای مرکب از مصالح مذکور طراحی گردید.

۱-۷-۱ مشخصات طرح:

سد مخزنی آزاد از نوع سنگریزه ای با هسته رسی قائم بوده و فراز بند و نشیب بند از بدنه آن می باشد. بر اساس مطالعات منابع آب و ملاحظات هیدرولیکی، رقوم نرمال و تاج سد به ترتیب ۱۴۷۵ و ۱۴۸۰ متر از سطح دریا اعلام گردیده اند. رقوم بستر طبیعی و سنگ سالم کف رودخانه در محل محور ۱۳۶۲ و ۱۳۵۷ متر از سطح دریا می باشد. بدین ترتیب حداکثر ارتفاع سد از بستر رودخانه ۱۱۸ متر و از بستر سنگ سالم پی ۱۲۳ متر می باشد. طول تاج سد نیز حدود ۵۹۷،۵ متر می باشد. دیگر مشخصات طرح عبارتند از:

- حداکثر رقوم سیلاب محتمل ۱۴۷۹ متر از سطح دریا تعیین شده است.
- رقوم حداکثر بهره برداری از مخزن ۱۴۲۹ متر از سطح دریا اعلام گردیده است.
- رقوم تاج فراز بند و نشیب بند ۱۴۰۳،۵ و ۱۳۶۸ متر از سطح دریا می باشد.

۲- وضعیت توپوگرافی و ریخت شناسی محل سد:

ساختگاه سد آزاد در ۲۵۰ متری بالادست روستای بنی در و بر روی رودخانه چم گوره قرار دارد. جهت جریان این رودخانه در محل محور سد از سمت شمال به جنوب و در مجاورت محور فراز بند از سمت غرب به شرق می باشد. عرض بستر جاری رودخانه در محل محور حدود ۲۸ متر و تراز کف آن در این محل ۱۳۶۲ متر بالاتر از سطح دریا می باشد. محور سد آزاد در دره ای نامتقارن واقع گردیده است. شیب توپوگرافی تکیه گاه چپ آن که محل رخنمون توده گرانودیوریتی است ملائم تر بوده و حدود ۱۹ درجه می باشد. شیب توپوگرافی تکیه گاه راست نیز حدود ۲۹ درجه است. عرض دره در رقوم ۱۴۸۰ (رقوم تاج سد) و ۱۴۷۵ (رقوم نرمال سد)، به ترتیب حدود ۵۹۲ و ۵۷۱ متر می باشد.

۳- خصوصیات سنگ بستر:

سنگ بستر ساختگاه سد را عمدتاً فیلیت های کلسیتی و کوارتزی به رنگ خاکستری تیره و سیاه به همراه رگه های از کلسیت و کوارتز تشکیل داده است. در محدوده تکیه گاه چپ و در میان سنگ های فیلیتی، یک توده آذرین نفوذی از نوع دیوریت تا کوارتز دیوریت همراه با رگه هایی از سنگ های آپلیتی می باشد. با توجه به نتایج حاصل از حفر گمانه ها، انجام مطالعات ژئوالکتریک و همچنین اطلاعات حاصل از حفاری تونل انحراف سد که از تکیه گاه راست عبور می نماید، چنین استنباط می شود که نفوذ توده آذرین در میان سنگ های شیبستی و فیلیتی تکیه گاه راست و بخشی از پی تنها به صورت زبانه ها و دایک های پراکنده است که باعث افزایش مقاومت الکتریکی به صورت محلی شده است. ترکیب سنگ شناسی این زبانه های محلی، ریز دانه تر از توده گرانودیوریتی سمت چپ بوده و بافت نیمه عمقی را به نمایش می گذارد. توده آذرین سمت چپ بزرگ ترین رخنمون آذرین این ناحیه بشمار می آید.

در محدوده ساختگاه سد و در میان سنگ های دگرگونه، میان لایه های آهکی و آهکی مارنی رخنمون یافته است. یکی از این میان لایه های آهکی با ضخامت قابل توجه در محدوده ورودی تونل انحراف شناسائی شده است. این میان لایه به سمت غرب آهکی تر شده و به سمت شرق از ضخامت بخش های کربناته آن کاسته شده و به نظر میرسد به تدریج به ترکیب فیلیتی غالب تبدیل شود. در سایر موارد ضخامت عدسیها و میان لایه های آهکی کمتر از یک متر است.

نفوذ پذیری توده سنگ های فیلیتی محدوده ساختگاه سد آزاد تا عمق ۳۰ متر در حد متوسط تا کم و در عمق های بیش از ۳۰ متر در گروه سنگ های ناتراوا قرار می گیرد. تغییرات نفوذ پذیری نسبت عمق در هر یک گمانه ها نشان می دهد که با افزایش عمق و کاهش فراوانی درزه و ترک و نیز کاهش میزان بازشدگی آنها، نفوذ پذیری روند کاهنده داشته است.

وضعیت نفوذ پذیری توده گرانیتی تکیه گاه چپ تا حد زیادی مشابه نفوذ پذیری سنگ های دگرگونه فیلیتی بوده است. در این توده مقادیر نفوذ پذیری تا عمق ۳۵ متر در حد متوسط تا کم بوده و به سمت اعماق بیشتر مقادیر نفوذ پذیری در حد نفوذ پذیر تا کم قرار می گیرد. آزمایشات لوژن تنجام شده در محدوده همبری سنگ های آذرین درونی و فیلیت های روی آن، بیانگر نفوذ پذیری متوسط سنگ ها در این محدوده می باشد. بطوریکه به نظر می رسد که تزریق ماگمای گرانودیوریتی به داخل فیلیت ها منشا ایجاد درزه های شعاعی و افزایش نسبی نفوذ پذیری توده سنگ در این محدوده شده است. این مهم در طراحی پرده آب بند در نظر گرفته شده است. بررسی وضعیت نفوذ پذیری توده سنگ در محل همبری واحد های کربناته با فیلیت ها نیز بیانگر افزایش میزان نفوذ پذیری بوده است. مع الوصف نفوذ پذیری نسبتاً بالای سنگ در این نواحی مشکلی برای وضعیت آب بندی سد ایجاد نمی کند. بطوریکه با توجه به مجموع نتایج بدست آمده از مطالعات مراحل اول و دوم، توده سنگ ساختگاه سد از نقطه شاخص کیفی سنگ (RQD) شرایط خوبی را ارائه می دهد. بر اساس نتایج دست آمده از حفاری گمانه های اکتشافی، بطور متوسط ۲ متر از سنگ در توده های فیلیتی و آذرین تحت تاثیر عوامل هوازدگی، دارای شاخص کیفی پائین بوده و در رده ضعیف قرار می گیرد. پس از اعماق هوازده سطحی، میانگین شاخص کیفی در رده متوسط تا خوب قرار می گیرد. در یک ارزیابی کلی از مقایسه نتایج آزمایشات نفوذ پذیری و ارتباط آن با مقادیر شاخص کیفی سنگ (RQD) و مشخصات سطوح ناپیوستگی، چنین نتیجه گیری می شود که بطور کلی توده سنگ در شرایط نسبتاً یکنواخت و مناسبی قرار دارد بطوریکه مقادیر نفوذ پذیری کلی توده سنگ بسیار کم بوده و در این ارتباط، سطوح درزه و تعداد درزه های سنگ با باز شدگی کم، کنترل کننده مقادیر لوژن و RQD سنگ می باشند.

۸-۱- موقعیت جغرافیایی و محل اجزای عملیات احداث سد آزاد:

منطقه مورد مطالعه در غرب کشور و در استان کردستان واقع شده است و از نظر موقعیت جغرافیایی، محدوده مورد نظر در فاصله بین $35^{\circ}45'00''$ تا $35^{\circ}45'00''$ عرض شمالی و $46^{\circ}23'00''$ تا $46^{\circ}45'00''$ طول شرقی قرار گرفته است.

دسترسی به محل سد پس از طی ۷۵ کیلومتر از جاده اصلی سنندج - مریوان و پیمایش ۶ کیلومتر جاده خاکی منشعب شده از آن به سمت شمال شرق و به موازات رودخانه کوماسی در مجاورت محل فعلی روستای بنی در امکان پذیر است ۱۰-۹- شرایط جوی :

منطقه مطالعاتی در محدوده حوضه آبریز سد آزاد در نواحی جنوب (محل سد آزاد) و شرق حوضه دارای اقلیم نیمه مرطوب یا مدیترانه سرد است و در نواحی غرب دارای اقلیم مرطوب فرا سرد و در نواحی شمالی به ویژه شمال غربی حوضه از شرایط اقلیمی خیلی مرطوب نوع فرا سرد برخوردار می باشد. لذا به طور کلی حوضه آبریز سد مخزنی آزاد با توجه به شرایط توپوگرافی آن غالباً تحت تأثیر اقلیم مرطوب فرا سرد می باشد. ارتفاع متوسط حوضه برابر ۱۸۸۴ متر و ارتفاع آن ۱۷۵۰ متر از سطح دریا می باشد. به طور کلی با توجه به رقوم ارتفاعی، قسمت اعظم حوضه آبریز مزبور کوهستانی می باشد. متوسط دمای روزانه، حداقل و حد اکثر در محل سد مخزنی آزاد به ترتیب ۱۳، ۲، ۱۰، ۶ و ۳ و ۲۰ درجه سانتیگراد و متوسط تعداد روزهای یخبندان در محل سد آزاد در طول سال ۱۰۲ روز می باشد.

۱۰-۱- مقدمه :

۱۱-۱- طبقه بندی خاکریزها :

۱۱-۱-۱- مصالح :

خاکریزی ها بر اساس مقطع تیپ سد مخزنی آزاد بصورت زیر طبقه بندی شده اند :

الف) هسته ناتراوای سد و فرازبند

ب) فیلتر بالادست و پایین دست سد و فرازبند
 ج) زهکش قائم پایین دست و ناحیه انتقالی بالادست سد و فرازبند
 د) زهکش افقی پایین دست سد و پوسته نشیب بند
 ه) مصالح سنگریزه ای ناحیه داخلی پوسته پایین دست بدنه سد (مصالح نوع I)
 و) مصالح سنگریزه ای پوسته فرازبند، پوسته بالادست سد و بخشی از پوسته پایین دست سد (مصالح نوع II)
 ز) مصالح سنگریزه ای بخش فوقانی پوسته سد و فرازبند در مجاورت تاج (مصالح نوع III)
 ح) لایه محافظ پوسته بالادست
 ط) لایه محافظ پوسته بالادست فرازبند و لایه محافظ پوسته پایین دست سد
 علاوه بر خاکریزهای فوق، اجرای دال بتنی زیر هسته و رویه بتنی نشیب بند با رعایت تمامی مشخصات فنی مربوط به عملیات بتن ریزی (با بتن مقاومت ۲۱ مگاپاسکال پس از ۲۸ روز) الزامی است.

1-۱۱-۱- کلیات :

مصالح خاکریزی ها، از حفاریهای انجام شده در سنگ یا خاک یا از منابع قرضه و معادن سنگ نشان داده شده یا معرفی شده در نقشه‌ها یا از هر محل تائید شده دیگر تهیه خواهد شد. کلیه مصالح باید دارای دانه‌بندی و کیفیت مناسب مطابق با مشخصات فنی بوده و عاری از مواد آلی، املاح و سایر مواد مضره (یا فقط در حدود مجاز تعیین شده) باشند. از روشهای مکانیکی می‌توان برای اصلاح دانه‌بندی مصالح استفاده کرد. مناسب بودن کلیه مصالح و محل استفاده از آنها در خاکریز باید به تائید دستگاه نظارت برسد. تائید قسمتی از مصالح در یک منبع قرضه به معنی تائید کل مصالح موجود آن منبع قرضه نخواهد بود. نمونه مصالح منابع قرضه، معادن سنگ یا مصالح حاصل از گود برداریها، باید حداقل چهار هفته قبل از استفاده در خاکریزی ها به همراه نتایج آزمایشهای لازم جهت اثبات مطابقت آنها با مشخصات فنی از طرف پیمانکار ارائه شود. مصالح نامناسبی که در محدوده منابع قرضه یا معادن سنگ یافت شوند، مورد قبول نبوده و باید طبق دستور دستگاه نظارت دور ریخته یا اصلاح شوند. استخراج مصالح خاکریز از منابع قرضه و یا برداشت مجدد از محل دپو، حمل و ریختن آن در محل می بایست به نحوی باشد که باعث جدا شدن دانه‌های درشت از دانه‌های ریز نشود. در صورت نیاز به مخلوط کردن دو نوع خاک برای بدست آوردن مصالح مورد نظر برای خاکریز، روش مخلوط کردن، مثل روشهای زیر، باید قبلاً" به تائید دستگاه نظارت رسیده باشد:

۱- استفاده از تسمه نقاله

۲- ساخت یک خاکریز جداگانه متشکل از لایه‌هایی از مصالح با نسبتهای صحیح و برداشت مصالح از خاکریزی به نحوی که مخلوط مورد نظر حاصل آید.

۳- استفاده از مخلوط کن مکانیکی در محل خاکریزی

۴- روشهای تائید شده گودبرداری

۵- هر روش دیگر پیشنهادی پیمانکار که به تائید دستگاه نظارت رسیده باشد

1-۱۱-۱-۲- منابع مصالح :

مصالح مورد نیاز جهت احداث نواحی مختلف بدنه سد، از محلهای ارائه شده طبق نقشه ها و یا دیگر منابع قرضه که توسط دستگاه نظارت تایید شده باشد، قابل استحصال می باشند. چنانچه پیمانکار پیشنهاد استفاده از منابع قرضه دیگری غیر از آنچه در نقشه ها آمده است را بکند ، هزینه انجام بررسیها جهت تائید مناسب بودن مصالح برای تاسیسات دائمی به عهده پیمانکار بوده و بایستی نتایج بررسیهای خود را بمنظور کسب تائید به دستگاه نظارت ارائه دهد.

1-۱۱-۱-۳- مصالح ریزدانه :

مصالح ریزدانه برای استفاده در هسته ناتراوای سد آزاد از منابع قرضه ریزدانه F2، F3، F4، FS تامین می گردد. منبع قرضه F2 بین روستاهای بنی در و دریله به فاصله ۲/۵ کیلومتری پایین دست محور سد، منبع قرضه F3 بین روستاهای زونج و خانقا جوجو به فاصله ۳ کیلومتری بالا دست محور سد، منبع قرضه F4 در مجاورت روستای باقلاباد، حد فاصل ۶ تا ۱۰ کیلومتری بالادست محور سد و منبع قرضه FS در ۱۰ کیلومتری بالادست محور سد واقع گردیده اند. جنس مصالح درنواحی منتخب این منابع قرضه عمدتاً از نوع رس با خاصیت خمیری متوسط (CL) و در مواردی شن یا ماسه رس دار (GC و SC) می باشد. ضمناً در این منابع قرضه رس با پلاستیسیته بالا (CH) نیز مشاهده شده که در محل اتصال هسته با سنگ کف مورد استفاده قرار می گیرند. اولویت استفاده از منابع قرضه ریزدانه جهت استحصال مصالح هسته سد بترتیب F3، F4، FS توصیه می گردند. منبع قرضه F2 به لحاظ واقع شدن در پایین دست محور سد و مسائل مربوط به تملیک اراضی در اولویت آخر و به عنوان منبع قرضه ذخیره معرفی می گردد.

۱۱-۱-۴- مصالح رس اتصالی :

مصالح لازم برای اجرای رس تماسی در محل اتصال هسته سد به دال بتنی کف از منابع قرضه ریزدانه و یا دیگر نواحی مورد تایید دستگاه نظارت تامین می گردد. هسته ناتراوا در محل اتصال به سنگ می بایست با رطوبت زیاد و شاخص خمیری بالا اجرا گردد. لذا پیمانکار می بایست از مصالح رسی با شاخص خمیری حداقل ۲۵٪ و درصد ریزدانه حداقل ۷۵ استفاده نموده و تراکم مصالح با رطوبت ۲ تا ۳ درصد بالاتر از رطوبت بهینه انجام گیرد. ضمناً ماکزیمم اندازه دانه ها در مصالح رس تماسی به ۱۰ میلیمتر محدود می گردد. در صورتیکه مصالح نواحی پیشنهادی جهت تامین رس تماسی، فاقد مشخصات خمیری مورد نیاز باشند، استفاده از بنتونیت جهت مخلوط نمودن با رس و رسیدن به شاخص خمیری بیش از ۲۵٪ ضرورت خواهد داشت.

۱۱-۱-۵- مصالح درشت دانه رودخانه ای :

مصالح درشت دانه رودخانه ای در حوالی روستای لنگریز و بخش احمدآباد (بترتیب در فواصل ۱۸ و ۴۰ کیلومتری پایین دست محور سد) و همچنین حوالی منطقه اسلامدشت از مسیرهای مولینان و قلعه شیخان (به فواصل متوسط ۳۵ کیلومتری بالادست محور سد) شناسایی گردیده اند. این مصالح در صورت مطابقت با مشخصات فنی مورد نیاز، بعنوان اولویت دوم جهت تولید مصالح فیلتر قابل استفاده خواهند بود.

۱۱-۱-۶- مصالح سنگریز و لایه های محافظ شیروانی بالادست و پائین دست :

مصالح مورد نیاز جهت احداث پوسته های سد و فرازبند از معدن سنگ BKH در شرق روستای خانقاجوجو به فاصله ۴ کیلومتری بالادست محور سد و معدن سنگ BZ در جنوب روستای زنوری به فاصله ۱۳ کیلومتری بالادست محور سد و یا معادن دیگری که توسط دستگاه نظارت تایید شده باشند، تامین خواهد شد. جنس مصالح معدن سنگ BKH از نوع ماسه سنگ بوده و مصالح معدن سنگ BZ دارای منشا آذرین می باشند. ضمناً از مصالح معدن سنگ شیستی مجاور محور سد (SH) جهت احداث ناحیه داخلی پوسته پایین دست سد استفاده می شود. همچنین از مصالح حاصل از حفاری اجباری سنگ در نواحی سازه های هیدرولیکی، سازه های جنبی و یا هسته سد، می توان در صورت مطابقت با مشخصات فنی مورد نیاز و با تایید دستگاه نظارت، در سنگریزی ناحیه داخلی پوسته پایین دست سد استفاده نمود.

مصالح مورد نیاز جهت ساخت زهکشها، نواحی انتقالی و پوسته نشیب بند، از مصالح معدن سنگ BZ که دارای کیفیت برتری نسبت به معدن سنگ BKH می باشد، تامین می گردد. مصالح مورد نیاز جهت تولید فیلترها نیز در اولویت اول از مصالح معدن سنگ BZ و در اولویت دوم از منابع قرضه درشت دانه رودخانه ای تامین خواهد گردید.

همچنین مصالح سنگچین جهت حفاظت شیروانی پوسته بالادست و پایین دست سد، از معدن سنگ BZ که تامین می گردد. جهت حصول اطمینان از کیفیت مصالح معادن سنگ، آزمایش های کنترل کیفیت بنا به درخواست دستگاه نظارت در فواصل زمانی اعلام شده از سوی مهندس ناظر انجام خواهد گرفت.

۱-۱۲- شرایط ویژه مصالح خاکریز :

1-12-1- هسته ناتراوا :

پوش دانه بندی مصالح هسته ناتراواي سد آزاد و فرازند آن ضميمه مشخصات مي باشد. مطابق با محدوده دانه بندی ارائه شده، حداکثر ابعاد دانه ها ۳ اينچ بوده و درصد مصالح ريزدانه کوچکتر از ۷۶ ميكرون بين ۳۵ تا ۸۵ درصد تغيير مي نمايد. نشانه خميري مصالح هسته بين ۱۲ تا ۲۴ متغير است. و محدوده دانه بندی آن در جدول ۱ ارائه شده است

جدول شماره ۱- محدوده دانه بندی مصالح هسته سد و فراز بند

اندازه دانه ها (mm)	درصد وزني مصالح ريزتر در هسته رسي
۷۶	۱۰۰
۴۰	۱۰۰-۸۹
۱۹	۱۰۰-۸۰
۱۰	۱۰۰-۷۲
۴/۷۶	۱۰۰-۶۵
۱/۵	۱۰۰-۵۴
۰/۱۵	۹۰-۳۹
۰/۰۷۶	۸۵-۳۵
۰/۰۲	۷۶-۲۷
۰/۰۱	۶۸-۲۲

۱-۱۲-۲- مصالح پوسته

1-۱۲-۲-۱- مصالح سنگريزه اي نوع ۱ :

مصالح مورد نیاز جهت احداث ناحیه داخلی پوسته پایین دست سد از مصالح شیشستی موجود در معدن سنگ SH تامین خواهد شد (مصالح سنگريزه اي نوع ۱). این مصالح می بایست دارای خصوصیات زیر باشند:

- افت وزني مصالح در آزمایش لوس آنجلس پس از ۵۰۰ سيكل به کمتر از ۳۵ درصد محدود گردد.
 - افت وزني در آزمایش ساندنس و در مقابل محلول سولفات منيزيم پس از ۵ سيكل کمتر از ۵ درصد باشد.
 - حداکثر جذب آب مصالح ۲ درصد و حداقل وزن مخصوص حقيقي آنها در شرایط خشک ۲/۶ گرم بر سانتيمترمکعب باشد.
 - حداقل مقاومت فشاری نمونه های سيلندري مصالح در شرایط خشک به ۲۰۰ كيلوگرم بر سانتيمتر مکعب محدود گردد
- شایان ذکر است که در حفاریهای اجباری سازه های هیدروليکی ، سازه های جنبی و یا هسته سد ، مصالح حاصل از حفاری سنگهای سالم شیشستی یا گرانیتی را می توان در صورت دارا بودن مشخصات فنی مورد نیاز وتائید دستگاه نظارت جهت احداث ناحیه داخلی پوسته پایین دست سد استفاده نمود.

در جدول شماره ۲ محدوده دانه بندی مصالح سنگريزه اي نوع ۱ ارائه گردیده است. این محدوده دانه بندی ممکن است پس از مطالعات بیشتر تغيير يابند. در این صورت می بایست محدوده دانه بندی جديد به تأيید مهندس ناظر برسد.

جدول شماره ۲-محدوده دانه بندی مصالح سنگ ریزه اي نوع ۱

اندازه دانه ها (mm)	درصد وزني مصالح ريزتر در هسته رسي
۵۰۰	۱۰۰

۳۰۰	۱۰۰-۸۱
۲۰۰	۱۰۰-۶۷
۱۰۰	۸۵-۴۵
۸۰	۷۷-۳۹
۵۰	۶۱-۲۹/۵
۲۰	۴۰-۱۵
۱۰	۳۱-۸
۵	۲۳-۲
۲	۱۶-۰
۰/۷	۱۰-۰
۰/۲	۵-۰
۰/۰۷۵	<۵

1-12-2-2- مصالح سنگریزه ای نوع II :

مصالح مورد نیاز پوسته فرازبند از معدن سنگ خانقاجوجو و مصالح مورد نیاز پوسته سد (به جز ناحیه داخلی پوسته پایین دست) از مصالح معادن سنگ خانقاجوجو و زنوری تامین می گردند(مصالح سنگریزه ای نوع II). در پایان مطالعات مرحله دوم ، موقعیت سنگریزی مصالح معادن سنگ خانقاجوجو و زنوری در مقطع تیپ سد به تفکیک ارائه خواهد گردید. مصالح سنگریزه ای که از معادن خانقاجوجو و زنوری استخراج می گردند ، می بایست دارای خصوصیات زیر باشند:

1-12-2-3- مصالح سنگریزه ای نوع III :

با توجه به کاهش عرض پوسته در مجاورت تاج سد و در نظر گرفتن ملاحظات اجرایی، محدود نمودن ماکزیمم اندازه دانه های پوسته در رقومهای مجاور تاج سد و فرازبند(مطابق نقشه مقطع تیپ سد) ضرورت پیدا می کند. در این راستا مصالح مورد استفاده در ناحیه فوقانی پوسته سد و فرازبند با حذف قطعات بزرگتر از ۸ اینچ و محدود نمودن درصد ریزدانه مصالح مورد استفاده در ناحیه تحتانی تامین می گردد(مصالح سنگریزه ای نوع III). همانطور که در بالا اشاره گردید، مصالح مورد استفاده در بخشهای فوقانی و تحتانی مصالح پوسته سد و فرازبند(مصالح سنگریزه ای نوع III) و II، تنها به لحاظ محدوده دانه بندی مورد نیاز تفکیک گردیده اند. لذا سایر مشخصات فنی این مصالح یکسان می باشد.

1-12-3- مصالح فیلتر بالادست و پائین دست :

مصالح فیلتر باید تمیز، سخت و بادوام بوده و در زیر چرخهای غلطک و ماشین آلات دیگر خرد نشود. حداکثر افت وزنی این مصالح پس از ۵۰۰ دور چرخش در آزمایش لوس آنجلس می بایست ۲۰ درصد و حداکثر -ر افت وزنی آنها در آزمایش Chemical Soundness (در مقابل محلول سولفات منیزیم) برابر ۳ درصد باشد. ضمناً "حداقل وزن مخصوص حقیقی و ظاهری این مصالح می بایست بترتیب ۲/۷۰ و ۲/۷۵ و حداکثر درصد آب آنها نبایست بیشتر از یک درصد باشد.

این مصالح نباید مورد تجزیه شیمیائی و فیزیکی قرار گیرند. مصالح فیلتر باید بدون چسبندگی بوده و این امر می باید بوسیله آزمایش قلعه ماسه ای SAND CASTLE (که در بولتن فیلتر و زهکش کمیسیون بین المللی سدسازی ICOLD تشریح شده است) تأیید گردد. مقدار عبوری از الک #۲۰۰ مصالح فیلتر باید کمتر از ۵ درصد و نشانه خمیری آنها برابر صفر $PI=0$ باشد.

دانه بندی مصالح فیلترهای بالادست و پائین دست سد و فرازبند مشابه بوده و بایستی در محدوده ای باشند که قطر ۱۵ درصد از مصالح آنها کوچکتر از ۰/۵ میلیمتر بوده و اندازه حداکثر دانه ها کوچکتر از ۱۰ میلیمتر باشد.

مصالح مود نیاز جهت تولید فیلتردر اولویت اول از معدن سنگ زنوری یا BZ تامین میگردد. مصالح درشت دانه رودخانه ای در حوالی روستای لنگریز ، بخش احمدآباد و منطقه اسلامدشت نیز در صورت دارا بودن مشخصات فنی مورد نیاز و تایید دستگاه نظارت جهت تولید مصالح فیلتر قابل استفاده خواهند بود.

1-12-4- مصالح زهکش قائم پایین دست و ناحیه انتقالی بالادست :

مصالح زهکش و ناحیه انتقالی بالادست سد و فرازبند از معدن سنگ زنوری تامین می گردند. این مصالح باید علاوه بر تمیز، سخت و بادوام بودن ، زیر چرخهای غلطک و ماشین آلات خرد نشود. ضمناً این مصالح نباید مورد تجزیه شیمیائی و فیزیکی قرار گیرند. حداکثر افت وزنی مصالح زهکش و ناحیه انتقالی، پس از ۵۰۰ دور چرخش در آزمایش لوس آنجلس برابر ۲۰ درصد و حداکثر افت وزنی آنها در آزمایش ساندنس و در مقابل سولفات منیزیم (پس از ۵ سیکل) برابر ۳ درصد می باشد. حداقل وزن مخصوص ظاهری و حقیقی این مصالح نیز می بایست به ترتیب ۲/۷۰ و ۲/۷۵ گرم بر سانتیمتر مکعب بوده و درصد جذب آب آنها نبایست بیشتر از یک درصد باشد.

1-12-5- لایه محافظ پوسته بالادست سد :

مصالح سنگی لایه سنگچین پوسته بالادست از قطعه سنگهای سخت، بادوام و سالم (هوانزده) تهیه خواهد شد. این مصالح از معدن سنگ زنوری (BZ) تامین می گردد. حداکثر ابعاد هر قطعه از مصالح ریپ-رپ نباید از سه برابر ابعاد حداقل آن بزرگتر باشد. مصالح سنگچین پوسته بالادست می بایست دارای مشخصات ذیل نیز باشد:

- حداکثر افت وزنی در آزمایش لوس آنجلس پس از ۵۰۰ سیکل کمتر از ۲۰ باشد.
- افت وزنی در آزمایش ساندنس و در مقابل محلول سولفات منیزیم پس از ۵ سیکل کمتر از ۲ درصد باشد.
- حداقل وزن مخصوص حقیقی ۲/۷۵ گرم بر سانتیمتر مکعب باشد.
- حداکثر افت وزنی مصالح سنگچین در آزمایش سرما و گرما (پس از ۱۰ سیکل) به ۱ درصد محدود گردد.
- جذب آب مصالح سنگچین کمتر از ۱/۰ درصد باشد.
- حداقل مقاومت فشاری نمونه های سیلندری در شرایط خشک و اشباع به ترتیب ۷۰۰ و ۸۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مکعب باشد.

1-12-6- لایه محافظ پوسته بالادست فرازبند و پوسته پائین دست سد :

لایه محافظ پوسته پائین دست از معدن سنگ زنوری با حداکثر ابعاد ۵۰ سانتیمتر تامین می گردد. مشخصات فنی مورد نیاز برای این مصالح مشابه مصالح لایه محافظ پوسته بالادست می باشد.

1-12-7- مصالح غیر قابل نفوذ سطح اتصال پی و هسته :

حداکثر ابعاد دانه های این مصالح از ۱۰ میلیمتر تجاوز ننموده و می بایست دارای حداقل ۷۵ درصد دانه های کوچکتر از ۷۵ میکرون با نشانه خمیری حداقل ۲۵ درصد باشند. تراکم مصالح رس تماسی با رطوبت ۲ تا ۳ درصد بالاتر از رطوبت بهینه انجام می گیرد.

1-12-8- رویه بتنی نشیب بند :

نشیب بند با المان آب بند از نوع پوششی بتنی با حداقل مقاومت ۲۱ مگاپاسکال و شبکه آرماتور حداقل $\rho = 0.002$ در هر دو جهت احداث می گردد. ضخامت پوشش بتنی ۱۵ سانتیمتر می باشد و بخشی از آن به پس از ساخت سد تا تراز خاکریزی نشیب بند، به منظور تخلیه آب نشتی از پوسته پایین دست تخریب خواهد شد.

1-13- معدن سنگ

پیمانکار باید مصالح سنگریز و پوشش محافظ بالادست و پایین دست را با کیفیت و دانه بندی تعیین شده از معادن سنگ فراهم کند. مصالح اخذ شده از معادن مزبور ، باید از نظر مطابقت با مشخصات تعیین شده، قبل از ارائه به دستگاه نظارت برای تأیید آزمایش شوند.

پیمانکار می بایست در معادن سنگ و برای سایر عملیات آزمایشی آلاتی استفاده کند که در خود معدن ، سنگها با اندازه لازم تولید گردند. (دانه بندی مطلوب).

مصالص سنگریزه ای حاصل از حفاری سازه های هیدرولیکی، سازه های جنبی و هسته سد را می توان در ناحیه داخلی پوسته پائین دست سد استفاده نمود.

1-14- آماده سازی خاکریز برای ادامه خاکریزی

سطح قسمت اجرا شده خاکریز در صورت تاخیر در خاکریزی لایه جدید، باید به عمق ۶ سانتیمتر خراشیده و مرطوب شود. سپس تا رسیدن به تراکم تعیین شده به تشخیص دستگاه نظارت غلطک زده شود.

1-15- بدنه سد :

برای این که بتوانیم بر روی یک رودخانه سد بسازیم نیاز داریم تا آب موجود در رودخانه را از مسیر اصلی خود منحرف سازیم و این کار را با ساخت تونل انحراف آغاز می کنیم. البته این نکته حائز اهمیت است که برای ساخت سد نیاز داریم که این رودخانه از میان یک دره با جنس سنگ مناسب عبور کرده باشد تا ما بتوانیم از دیواره آن برای ساخت تکیه گاه سد استفاده کنیم. برای ساخت تونل انحراف نیاز است از تکیه گاه کناری سد اقدام به ساخت تونل کنیم، تا از این مسیر آب را به سمت دیگری انحراف دهیم. پس از ساخت تونل انحراف، در ادامه ساخت سد می بایست مراحل را طی کنیم که به توضیح آن می پردازم :

۱ - ساخت فراز بند و نشیب بند : جهت انحراف آب رودخانه چم گوره به سمت تونل انحراف و کنترل سیلاب در زمان ساخت سد و نیز خشک نگه داشتن محدوده عملیاتی به منظور خاک برداری، سنگ برداری و اجرای بدنه سد، طراحی فراز بند و نشیب بند ضرورت دارد. در سدازد فراز بند و نشیب بند جوری ساخته می شوند که در آینده جزئی از بدنه سد خواهند شد .



(شکل شماره ۱-۱) نمایی از فراز بند

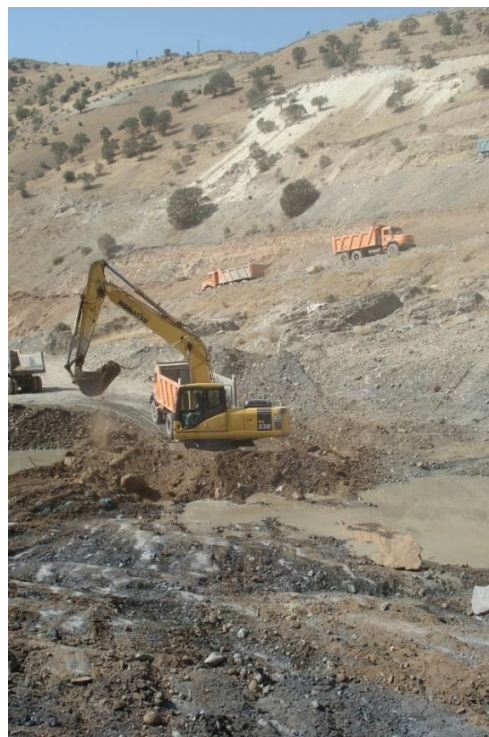
۲- آماده سازی پی قبل از خاک ریزی سد : خاک ریزی نباید قبل از زه کشی، پاک سازی و آماده سازی پی انجام شود. در صورت تأخیر در خاک ریزی پس از آماده شدن پی، لازم است پی مجدداً پاک سازی و آماده سازی شود .

۲-۱- بهسازی سطح پی غیر سنگی : جهت بهسازی سطح پی موارد زیر بایستی رعایت شود :

۲-۱-۱- کلیه درخت ها و بوته های موجود در زیر بدنه (پی سد)، بایستی ریشه کنی و از وجود نداشتن ریشه نباتات و از بین بردن آنها در پی اطمینان حاصل گردیده شود .

۲-۱-۲- کلیه پستی و بلندی ها، شیار ها و قسمت های شسته شده پی باید اصلاح شود. برای اجتناب از لغزش، شیب خاک برداری باید ملایم بوده و به هیچ وجه از ۱:۱ (افقی- قائم) تند تر نباشد .

۲-۱-۳- مصالح غیر متراکم با حد اکثر ضخامت ۶ اینچ (۱۵۰ میلیمتر) لازم است متراکم گردند. لیکن در صورتی که ضخامت این مصالح بیش از ۶ اینچ باشد به صورت مناسب قابل تراکم نبوده و لازم است که برداشته شود .



(شکل شماره ۱-۲) بیل مکانیکی در حال جمع آوری آب و لجن و تمام خاک های سست از کف هسته

۴-۱-۲- مصلحی از پی که در تماس با پی هسته می باشند، لازم است با دانسیته ای متراکم شود که مشخصات مقاومتی آن سازگار با خاک ریز روی آن باشد. در صورتیکه مصالح پی ریز دانه باشد، در صورت نیاز این مصالح به منظور مخلوط شدن با اولین لایه هسته دیسک زده می شود.

۵-۱-۲- پی ها با مصالح ریز دانه باید با ۱۲ عبور یک غلطک پاچه بزی یا غلطک چرخ لاستیکی متراکم گردد.

۶-۱-۲- پی ها با مصالح درشت دانه باید توسط غلطک های چرخ لاستیکی یا درام آهنی لرزنده تا عمق ۶ اینچ متراکم گردد. البته غلتک های لرزاننده به لحاظ اینکه یک سطح یکنواخت تر برای قرار دادن خاک ریز روی آن ایجاد می کنند، ترجیح داده می شود. ۷-۱-۲- در پی هایی که سفره آب بسیار بالا است، برای اشباع مصالح بالای عمق ۶ اینچ در اثر خاصیت موئینه ای یا مکش ناشی از رفت و آمد مسائل نقلیه، سطح سفره باید به قدر کافی پائین برده شود.

۸-۱-۲- همه مصالح دانه ریز هسته سد باید از شسته شدن به داخل مصالح درشت پی محافظت شود. این عمل توسط قرار دادن یک فیلتر مناسب در حد فاصل ریز و درشت دانه که معیار های مورد نیاز در آن رعایت شده، انجام می گیرد.

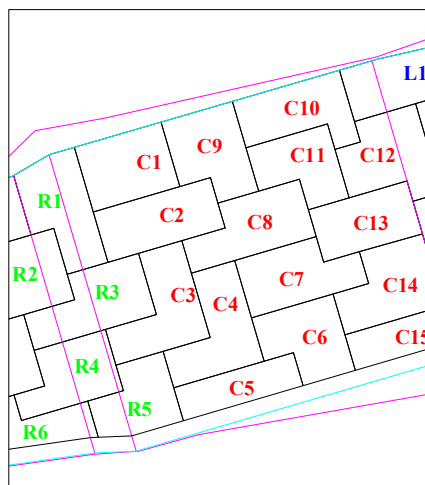
پس از رعایت نکات متذکر شده در بالا می توانیم به ساخت پی سد اقدام کنیم.

پس از این که بستر برای ساخت پی سد فراهم شد پانل را قالب بندی کرده و آماده بتن می کنیم. میزان ارتفاع بتن در پانل با نظارت نقشه بردار تعیین می شود و اعلام می دارد که تا چه میزان از قالب بتن ریخته شود.

همچنین می توان گفت که نحوه قالب بندی این پانل ها خاص است. این پانل ها به صورت پازل اجرا می شود تا آبی که در پشت سد ذخیره می شود نتواند از اسلب بتنی عبور کند. به همین منظور نحوه قالب بندی پانل ها به صورت نا منظم صورت می گیرد زیرا اگر این پانل ها به صورت منظم اجرا شوند آب راحت تر عبور خواهد کرد .



شکل شماره ۱-۳) کارگران در حال قالب بندی پانل هستند



(شکل شماره ۱-۴) نقشه اجرای نا منظم پانل ها

بعد از اعلام نقشه بردار، قالب ریسمان کشی می شود و نیاز است تا قبل از این که بتن ریزی را آغاز کنیم تمام خاک و لجن های موجود در پانل را جمع آوری کنیم. این کار به خاطر این است که خاک های موجود در پانل، آب بتن را به خود نگیرد و از مقاومت بتن کاسته نشود. بعد از انجام عملیات ذکر شده، بتن ریزی را آغاز می کنیم. برای این که سطح بتن صاف و یک دست شود در ابتدا قالب را ریسمان کشی می کنیم.



(شکل شماره ۵-۱) این کارگران در حال خارج کردن لجن های داخل پانل هستند تا پانل را آماده باد گیری کنند



(شکل شماره ۶-۱) با فشار قوی باد تمام خاک موجود در پانل خارج می شود



(شکل شماره ۷-۱) در حال بتن ریزی اسلب دنتال



(شکل شماره ۸-۱) کارگران به وسیله نخ ریسمان و ماله سطح بتن را صاف و یک دست می کنند
در حین بتن ریزی نیاز است که بتن ویبره شود تا هوای داخل آن خارج شود. هوای موجود در بتن، بتن را متخلخل کرده و این
تخلخل باعث کاهش مقاومت بتن خواهد شد. اگر در حین بتن ریزی ویبره صورت نگیرد با اعمال نیرو، بتن خواهد شکست .



(شکل شماره ۹-۱) در حال ویبره زدن بتن
پس از این که بتن ریزی صورت گرفت قالب ها را باز می کنیم و پانل جدیدی را آماده بتن ریزی می کنیم ولی برای این که بین
دو پانل اتصال برقرار شود و اسلب بتنی با یکدیگر در گیر شوند، سطوحی را که پانل ها در کنار یکدیگر قرار می گیرند را به وسیله
دژبر ، مضرس می کنند تا این دو پانل با هم JOINT شوند



(شکل شماره ۱-۱۰) کارگر به وسیله دژبر در حال مضرس کردن کنار قالب بتن

۱-۱۶- تکیه گاه سد :

در مورد تکیه گاه سد باید گفت که تمام نکات درج شده در خصوص پی سد در مورد آن نیز صادق است. اما اگر سنگ هایی اضافه بر روی تکیه گاه وجود داشته باشد باید به وسیله hammer اقدام به از بین بردن آنها کرد

۱-۱۷- لایه های بدنه سد :

خود بدنه سد از چندین لایه دانه بندی سنگی تشکیل شده است که تشکیل شده از رس، filter، زهکش افقی و قائم، rock fill، Rip-rap، drainage

۱-۱۸- cut off :

آبی که در مخزن پشت بدنه سد قرار گرفته است مسلماً از درز و شکاف های موجود در پی و بدنه سد عبور خواهد کرد به همین خاطر در زیر پی سد یکسری گرادیان های جریان به وجود می آید و برای مقابله با آن اقدام به ایجاد پرده آب بند یا cut off می نمایند. Cut off کارش این است که این گرادیان های جریان و خطوط جریانی که در این جا وجود دارند و موجب می شود تا آب از مسیر حرکت خودش دورتر شود. این امر موجب می شود تا از احتمال خطر uplifting جلوگیری به عمل آید. به هر حال آب از فراز بند عبور کرده و به رس می رسد، رس نفوذ ناپذیری کمی دارد ولی تا حدی عبور کرده و باعث اشباع رس خواهد شد. اگر آب از لایه های رس عبور کند رس را با خودش می شوید و یک سری خلل و فرج در رس به وجود می آورد که این خلل و فرج ایجاد شده بسیار خطرناک است و امکان نشست و حرکاتی را در سد می تواند به وجود آورد. اگر این احتمال وجود داشته باشد که آب از فراز بند عبور کرده باشد و به رس برسد، با گذشت زمان باعث اشباع آن می شود چون آب راه خود را به هر صورت امکان پیدا خواهد کرد. اگر آب بتواند به زیر هسته رسی برسد باعث پدیده با نام uplifting خواهد شد و احتمال خرابی سازه در آینده بسیار زیاد است.

برای جلوگیری از احتمال نفوذ آب در ابتدای حد فاصل اتصال رس با فراز بند و نشیب بند، فیلتر و زهکشی اجرا می کنند تا اگر آب از پوسته بالا دست عبور کرد، توسط این فیلترها و زهکش ها از پوسته پایین دست سد خارج شود.

در پایین دست یک سری وسائل ساخته می شود تا توسط آنها دبی آب عبوری از سد را محاسبه کنند. نام این وسیله پارشال فلوم است که در آنجا تعبیه می شود. البته باید خاطر نشان کرد که اگر دبی آب عبوری بالا تر از $\frac{lit}{s}$ ۱۰۰ باشد از پارشال فلوم استفاده

خواهیم کرد در غیر این صورت از سریز مثلی استفاده خواهیم کرد



(شکل شماره ۱-۱۱) نمایی از فیلتر بعد از هسته رسی

۱-۱۹ Sump :

در قسمت بالا دست و پایین دست سد یک سری لوله های بتنی قرار می دهند تا آبی که در حین ساخت سد برای قسمت های مختلف سد مصرف می شود، دوباره استفاده شود تا در مصرف آب صرفه جوئی شود .



(شکل شماره ۱-۱۲) نمایی از samp بعد از هسته رسی

از مصارف این آب ها در حین ساخت سد می توان به :

۱-آب دادن پانل های بتنی : پانل های اسلب بتنی پس از این که در چند مرحله ریخته شد، برای این که آب خود را زود از دست ندهد و این امر موجب ترک خوردن سطح بتن نشود، اقدام به آب پاشی سطح بتن می کنند تا بتن به دلیل تماس مستقیم خود با آفتاب آب خود را از دست ندهد و از مقاومت آن کاسته نشود به همین منظور از سطح بتن مراقبت می شود و هر نیم ساعت یک بار سطح بتن آب پاشی می شود .

به دلایل ذکر شده در بالا آب زیادی نیاز است تا سطح بتن ترک نخورد و به مقاومت مطلوب خود برسد، به همین منظور از آب هایی که در این مرحله استفاده می شود و در قسمتی از پانل جمع می شود مصرف مجدد می شود به این صورت که به وسیله پمپ، آب به داخل Samp پمپاژ می شود تا در مصرف آب صرفه جوئی شود.

۲- شستن سطح مصالح Rock fill : سطح پوسته که از مصالح Rock fill و ریز دانه و درشت دانه تشکیل شده است، برای از بین بردن خلل و فرج موجود در بین مصالح از جت آب استفاده می شود تا با شسته شدن ریز دانه ها و نفوذ آنها به داخل خلل و فرج ها، تمام فواصل پر شده تا ما بتوانیم به تراکم مورد نظر برسیم .



(شکل شماره ۱-۱۳) کارگران در حال پخش آب به وسیله جت آب بر روی مصالح قبل از این که Samp را در جایش قرار دهیم می بایست بدنه آن را با استفاده از چکش دستی سوراخ می کنیم تا آب بتواند داخلش شود.



(شکل شماره ۱-۱۴) کارگر در حال سوراخ کردن سطح بتنی samp پس از نصب آن، دور تا دور Samp باید ریز دانه ریخته شود تا اگر در حین بازگشت آب، چربی با خود حمل کرد به داخل Samp واد نکند و همان جا باقی بماند. به این ترتیب می توانیم از آب به صورت یک سیکل جریانی استفاده کرد .



(شکل شماره 1-15) استفاده از مصالح ریز دانه برای استقرار و زهکشی آب به داخل samp

۲۰-۱- پتوی زهکش یا Dirinag :

پتوی زه کش به لایه ای از مصالح ریز دانه ای از جمله شن و ماسه و سنگ های کوچک رودخانه ای که عمل زهکش را انجام می دهند گفته می شود تا آب هایی که از بدنه سد عبور کرده را خارج کند تا خساراتی را به سد وارد نسازد. در سد آزاد این لایه زهکش به دو طریق افقی و عمودی اجرا شده است و بر روی یک لایه از مصالح rock fill کوبیده شده پهن شده است تا آب هایی که از بدنه سد گذشته را خارج کند. در ابتدا آب به زهکش عمودی وارد و سپس از زهکش افقی خارج می شود بر روی پتوی زهکش همچون قبل مصالح Rock fill ریخته می شود و کار ادامه پیدا می کند.

۲۱-۱- Rip-Rap :

به بولدر هایی گفته می شود که جهت استحکام مصالح Rock fill که در روی نشیب بند ساخته می شود. در فاصله ۱.۵-۱ از انتهای باند به کمک بیل مکانیکی چیده می شود تا استحکام مصالح افزایش یابد. این Rip-Rap تا تاج سد ادامه پیدا می کند .



(شکل شماره ۱-۱۶) rip-rap که در جلوی مصالح rock fill چیده می شود



مکانیکی در حال چیدن

(شکل شماره ۱-۱۷) بیل

Rip – Rap پوسته پایین دست



(شکل شماره ۱-۱۸) بیل مکانیکی در حال چیدن Rip – Rap پوسته پایین دست

فصل دوم: معدن و قرضه

معدن :

معدن از دو قسمت تشکیل شده است سمت راست BKH و سمت چپ 1 BKH در معدن BKH سنگ موجود در این معدن ماسه سنگی (Sand stone) می باشد که ماسه سنگ یک نوع رسوبی است. به دلیل این که دست رسی به معدن BKH به طول انجامید، تصمیم به ایجاد معدن جدیدی کردند به همین منظور به ساخت جاده هایی به صورت پله ای با شیب ۱۰ درصد، ارتفاع 10m و عرض 8m برای دست رسی به معدن جدید را آغاز نمودند . در قلّه هر دو معدن مصالح ماسه سنگی موجود است که برای مصرف مصالح پوسته بالا دست و پایین دست سد قرار می گیرد. Level پله های معدن هر 10m-10m است که با شیب پایه دار ۳ به ۱ ساخته شده، شیب پایدار ترانشه ها که ۳ به ۱ در نظر گرفته اند به این منظور است که خاک و سنگی که در شیب قرار گرفته است بدون هیچ گونه محافظی در جایش ثابت بایستد.



(شکل شماره ۲-۱) شکل tipic معدن

برای استخراج معدن پس از این که چاله ها توسط drill wagon زده شد با آمفو(کود شیمیایی+گازوئیل) پر شده و بعد از انفجار مصالح در پله پایینی ریزش می کند و به وسیله بیل مکانیکی با هم مخلوط شده و برای مصرف به طرف پوستانه بار گیری می شود .



(شکل شماره ۲-۲) بیل مکانیکی در حال مخلوط کردن مصالح

شکل معدن به صورت tipic است با ارتفاع ترانشه های 10m بعد از هر پله چال زده شده و آماده انفجار مجدد برای استخراج مصالح از معدن می شود، ولی برای چاله هایی که در جاده های دست رسی به معدن زده می شود هدف دیگری وجود دارد و آن این است که ما بتوانیم به عرض جاده ای که مد نظر است برسیم.



(شکل شماره ۲-۳) جاده های دسترسی به معدن

برای ماشین هایی که در جاده دست رسی به معدن در حال تردد هستند نیاز به 8m عرض جاده خواهیم بود. جاده هایی که برای دسترسی به معدن زده می شود بیشتر برای ماشین آلات سنگین به خصوص دامپ تراک طراحی و ساخته می شود، چون بیشترین حجم مصالح را به بیرون از معدن انتقال می دهد .



(شکل شماره ۲-۴) دامپ تراک در حال حمل مصالح و تخلیه آنها بر روی باند

قطر مصالح مورد استفاده در معدن :

در مورد مصالح مورد استفاده در پوسته بالا دست و پایین دست سد که در معدن تهیه می شود باید گفت که قطر بزرگ ترین دانه باید برابر 60cm باشد و بقیه بولدرهای موجود که در اثر انفجار خرد نشده اند توسط hammer شکسته شده و از آنها استفاده خواهد شد . (عکس)

Dmax rock fill = 600 mm



(شکل شماره ۲-۵) بولدر های ۶۰۰ mm مورد استفاده در معدن

برای این که مصالح مورد مصرف در پوسته به بهترین وجه با یکدیگر joint شوند باید از همان مصالح تهیه شده در معدن Rock (fill) در اندازه های کوچک تر از 60cm به همراه کمی ریز دانه بار، توسط بیل مکانیکی مخلوط شده و بار کامیون و دامپ تراک شود. زمانی که مصالح بر روی باند تخلیه می شود به وسیله جت آب مصالح شسته می شود تا ریز دانه های موجود در مصالح به همراه آب داخل خلل و فرج شده و تمام خلل و فرج ها را پر می کند و پس از حرکت غلتک در چند پاس بر روی مصالح، مصالح کاملاً با یکدیگر Compact می شوند .



(شکل شماره ۲-۶) پخش مصالح توسط بولدوزر



(شکل شماره ۲-۷) کوبیده شدن مصالح Rock fill توسط غلتک فلزی

ماشین آلات معدن :

۱- دریل واگن پنوماتیک (drill wagon) : در معدن چون حجم حفاری برای ایجاد چاله های انفجار زیاد می باشد از دریل واگن پنوماتیک استفاده می شود. این دستگاه بسیار کم صدا بوده و به طور خود کار عمل کرده و راد را تعویض می کند و راد به صورت خودکار بر روی راد موجود در زمین قرار می گیرد چون سر راد ها رزوه شده و به همدیگر وصل می شوند. و نسبت به سایر دریل واگن های هم نوع خود از بازده ای بیشتری برخوردار است. در این گونه از دریل واگن ها، راد همان طور که ذکر شد به طور خودکار تعویض میشود و دستگاه با راننده ای که دارد تمام کار خودش را انجام می دهد و مثل دریل واگن هیدرولیکی دیگر نیاز به مولد برق و قدرت و اوپراتور نیست.



(شکل شماره ۲-۸) دریل واگن پنوماتیک

مشخصات راد :

راد لوله ای فلزی است که به سر مته بسته می شود تا دستگاه بتواند عمق های بیشتری را حفر کند

۱- انتقال نیروی دستگاه به سر مته

۲- انتقال آب به سر مته : استفاده آب به این منظور است که سر مته داغ می شود و مقطعی که سر مته می برد به وسیله آب از راد عبور داده می شود و به خارج انتقال پیدا می کند

۳- جنس راد جنس محکم و سنگینی باید باشد و علت این سنگینی ب خاطر این است که اگر از لوله های دیگر استفاده شود تنها باعث چرخیدن سر مته می شود. زیرا اگر این سنگینی وجود نداشته باشد کار پیش نمی رود و سر مته در جای خود اصطلاحاً در جا می زند و کار پیش نمی رود .



(شکل شماره ۲-۹) راد ها را بر روی چهار پایه سوار می کنند تا به یکدیگر متصل کنند
 ۲- دریل واگن هیدرولیکی : این نوع از دریل واگن ها با استفاده از مولد و پمپ انرژی کار می کنند و استحلاک بالایی برخوردار هستند و بیشتر برای حفر آنکر ها (به میلگرد هایی که سر آنها پیچ یا رزوه شده اند گفته می شود) مورد مصرف قرار می گیرند .



(شکل شماره ۲-۱۰) دریل واگن هیدرولیکی در حال چال زدن می باشد
 ۳- دامپ تراک : ماشین های بسیار بزرگ حمل مصالح از قبیل سنگ و خاک، که بیشتر در معادن و سد ها مورد استفاده قرار می گیرد. چون این ماشین ها در اندازه های بسیار بزرگ ساخته می شوند امکان استفاده از این نوع ماشین ها در شهر ها نیست .



(شکل شماره ۲-۱۱) دامپ تراک

- ۴- لودر : بعضی اوغات برای بار گیری مصالح از معدن به کامیون و انتقال به پوسته و جا به جایی سنگ های بزرگ افتاده شده از کامیون در جاده ها
- ۵- کامیون : انتقال مصالح از معدن به پوسته
- ۶- بیل مکانیکی : بار زدن مصالح به کامین و مخلوط کردن مصالح ریز دانه و درشت دانه با هم، تمیز کاری دیوار از مصالح اضافه



مکانیکی در حال برداشت
پائین دست
مصالح انفجاری به طرف

(شکل شماره ۲-۱۲) بیل
خاک سست دیواره پوسته
۷- بولدوزر : حول دادن

- محل استقرار بیل مکانیکی ، ایجاد جاده های دست رسی به معدن، باز کردن راه
- ۸- گریدر : برای تسطیح سطوح و رگلاژ کردن جاده



(شکل شماره ۲-۱۳) گریدر

۸- کمپرسور هوا : تولید نیروی مکانیکی



(شکل شماره ۲-۱۴) کمپرسور هوا

۹- hammer : خرد کردن بولدر ها (سنگ های بزرگ) که از انفجار حاصل شده اند و امکان استفاده از آنها نیست را با استفاده از آن خرد کرده و مورد استفاده قرار می دهند



(شکل شماره ۲-۱۵) hammer

نحوه انفجار در معدن :

در مورد انفجار سنگ های معدن که به مصرف پوسته بالا دست و پایین دست می رسد این مطلب قابل ذکر است که، برای استفاده از سنگ های معدن نیاز به حفاری چاله هایی هستیم که داخل آنها را از آمو پر کنیم تا بتوانیم آنها را انفجار داده و به مصرف برسانیم با توجه به این که نیاز به چه عمقی برای انفجار داشته باشیم چاله ای برای انفجار حفر می کنیم و یک مقدار اضافه حفاری (subdrilling) انجام می دهیم که بتوانیم راحت تر کار کنیم .



(شکل شماره ۲-۱۶) محل حفر چاه های انفجار

در ابتدا بوستر یا دینامیت را به همراه چاشنی (detonator) به وسیله یک سر سیم بسته و سر دیگر آن را به بیرون از چاله انتقال می دهیم تا بتوانیم چاله ها را با و صل کردن به سیستم انفجار، منفجر کنیم. بر روی بوستر و دینامیت آمو ریخته می شود و در نهایت دهانه چاله را گل گذاری (stemming) کرده و می بندیم. البته باید ذکر کرد که قبل از انفجار آژیوری در منطقه داده می شود تا افراد حاضر در محل متوجه شوند و از آسیب بر حضر بمانند و فردی که این انفجار را صورت می دهد در جای امنی پناه می گیرد تا آسیبی نبیند .

فصل سوم: زمین شناسی و ژئوتکنیک

زمین شناسی و ژئوتکنیک :

واحد ژئوتکنیک مستقر در سد آزاد کار مطالعات زمین شناسی و نظارت بر نحوه عملیات حفاری- تزریق و نفوذ پذیری آب (لوژان) را بر عهده دارد .

جنس سنگ ساختگاه سد آزاد :

به طور کلی ساختگاه سد آزاد متشکل از سنگ های فیلیتی به رنگ خاکستری تیره و سیاه، به همراه رگه هایی است از جنس کلسیت و کوارتز است . در میان توده های سنگهای دگر گونه فیلیتی توده هایی از سنگ های آذرین در هر دو تکیه گاه نفوذ نموده اند .

عملیات حفاری- تزریق :

هدف از تزریق پر نمودن درزه ها و شکاف ها، حفره های ایجاد شده در سنگ از طریق حفاری و گمانه زنی، تزریق با فشار جهت آب بندی و پر کردن فواصل خالی، جلوگیری از ایجاد فشار بر کنش در پی و سازه های وابسته و شناسایی کامل پی در نقاط عمیق می باشد. چون حدود عملیات تزریق تحکیمی و آب بند تقریبی بوده، دستگاه نظارت این حق برای خود محفوظ می دارد، هر قسمت از عملیات حفاری- تزریق را بر حسب اقتضای شرایط، افزایش یا کاهش دهد .

تعاریف فنی :

۱- پرده آب بند : به مجموعه ای از گمانه ها اطلاق می گردد که جهت جلوگیری از نشت آب از مخزن سد به پائین دست حفاری و تزریق می گردند .

۲- پرده زهکش : به مجموعه ای از گمانه ها که در پائین در دست بوده و به موازات آن جهت زهکش نمودن آب نشت یافته از این پرده حفر می گردد .

۳- پیزومتر ها : گمانه هایی هستند که برای اندازه گیری و تعیین فشار پیزومتریک در نقاط مختلف بدنه سد حفاری می گردد .

۴- دوغاب : عبارت است از مخلوطی با نسبت های مختلف از آب، سیمن، بنتونیت، ماسه و مواد افزودنی (شامل فوق روان کنند، زود گیر ها و مواد بهبود دهنده کیفیت دوغاب) و مواد افزودنی دیگر طبق نظر دستگاه نظارت .



(شکل شماره ۳-۱) دوغاب در حال مخلوط شدن در میکسر ثانوی

۵- تزریق تماسی : عبارت است از حفر و تزریق یک سری گمانه در سنگ و یا بتن بر طبق یک الگوی حفاری منظم به منظور پر نمودن فاصله بین پوشش بتنی و سنگ و ایجاد اتصال و یکنواختی بین آنها .

۶- تزریق تحکیمی : عبارت است از حفر و تزریق یک سری گمانه در سنگ و یا بتن بر طبق یک الگوی

حفاری منظم. هدف مهم تزریق تحکیمی افزایش ظرفیت باربری سنگ و ایجاد اطمینان از بسته شدن و پر شدن تمامی درزها یا حفرات سنگ می باشد .

۷- تزریق رو به بالا : روشی است که در آن یک گمانه تا عمق نهایی حفر و سپس شسته و تزریق انتهای گمانه رو به سمت زمین در قطعات متوالی و با نصب مسدود کننده (packer) در اعماق معین انجام می شود .

۸- تزریق رو به پایین : روشی است که در آن هر مقطع از گمانه بلافاصله پس از حفاری و انجام آزمایش های لازم تزریق می گردد. در ادامه پس از گیرش لازم با حفاری مجدد تا انتهای مقطع بعدی عملیات ادامه می یابد .

۹- خوردن دوغاب : عبارت است از مقدار مصالحی که به داخل گمانه تزریق و توسط آن جذب شده است. میزان آن به صورت مقدار کیلوگرم سیمان و ماسه به ازای متر طول گمانه تزریق شده بیان می شود .



(شکل شماره ۳-۲) گمانه با پکر مسدود شده و در حال تزریق است

۱۰- نسبت آب به سیمان : عبارت است از نسبت آب به وزن سیمان (سیمان و مواد کمکی) $(\frac{w}{c})$ در این متن وزن سیمان به

عنوان مبنا یک در نظر شده و کلیه مقادیر به صورت وزنی است . ۱۱- حفاری مجدد : حفاری قطعه ای از گمانه است که قبلاً تزریق شده و سیمان تزریق شده در آن گیرش نهایی حاصل نموده و سخت شده باشد .

۱۲- شستشوی گمانه ها : کلیه گمانه های حفاری شده (به جز گمانه های تزریق تماسی و تحکیمی تونل و گمانه ها) پس از حفاری آن قدر با آب زلال و صاف شستشو داده شده تا آب برگشتی صاف و بدون خرده سنگ باشد و گمانه برای انجام آزمایش نفوذ پذیری و تزریق آماده گردد .



(شکل شماره ۳-۳) شستشوی گمانه ها به وسیله فشار آب

شستشوی گمانه ها به یکی از دو روش ذیل انجام می شود :

a : شستشوی ویژه :

وقتی که حفاری گمانه در سنگ های هوازده و حاوی رگه های رس باشد، شستشوی ویژه ای باید انجام می گیرد تا کیک رسی تشکیل شده بر روی دیواره گمانه های حفاری شده با آب کم شسته شود. در این حالت سرمته مخصوص یا ابزار ویژه ای که سبب پا شیده شدن و شستشوی مستقیم دیواره گمانه گردد، مورد مورد نیاز خواهد بود. این ابزار که به انتهای لوله آب و صل خواهد شد، باید دارای قطری معدل با 60٪ قطر گمانه باشد .

b : شستشوی با فشار :

در هنگامی که نشت دوغاب به سطح زمین و یا نشت دوغاب به گمانه های مجاور مشاهده شود، شستشوی با فشار سودمند می باشد. در این حالت پکر در بالای قطعه ای که نیاز به شستشو دارد تنظیم شده و مخلوط آب و هوا با فشار کنترل شده ای به داخل قطعه تزریق می گردد. در این حالت مواد سستی که مانع نفوذ دوغاب به داخل درز و شکاف ها شده و یا مانع تشکیل پیوند بین سنگ و دوغاب می گردد، شسته می شوند. این حالت به دلیل وجود یک نقطه ورودی و خروجی آب فقط در مواردی که ارتباط و سیعی بین گمانه ها وجود دارد قابل استفاده خواهد بود. در این مورد نیز شستشو باید تا زمانیکه کاهش قابل ملاحظه ای در مقدار مصالح ریز دانه مشاهده گردد، ادامه یابد .



(شکل شماره ۳-۴) شستشوی سطح گمانه ها به وسیله فشار آب

ماشین آلات و تجهیزات :

به منظور انجام بهینه عملیات حفاری و تزریق، نیازهای تجهیزاتی با توجه به نوع سنگ و شرایط کارگاهی و همچنین کارکرد هر یک از تجهیزات حفاری مشخص می گردد. در این راستا بری انتخاب دستگاه ها و تجهیزات حفاری باید موارد زیر مد نظر قرار گیرد :

- انتخاب دستگاه ها و لوازم درون چاهی متناسب با نوع سنگ و شرایط ژئوتکنیکی ساخته باشد .
- تجهیزات به کار رفته متناسب با فضای کاری و نیز موقعیت های حفاری باشد .
- دستگاه ها و لوازم درون چاهی با عمق زاویه گمانه ها و قطر تعیین شده متناسب باشد .

وسایل حفاری (Drill Equipment) :

دستگاه های حفاری از نوع مته دورانی بوده و حفاری ها باید بر اساس نوع حفاری به شرح زیر باشد :

- حفاری با نمونه گیری : شامل حفاری دورانی توام با نمونه گیری با استفاده از نمونه گیرهای دو جداره یا سه جداره برای گمانه های اکتشافی و کنترل یا سایر گمانه ها

- حفاری بدون نمونه گیری : شامل حفاری بدون نمونه گیری می باشد که با استفاده از سر مته توپر صورت می گیرد .

تحت هیچ شرایطی از حفاری ضربه ای در حفر گمانه های تزریق استفاده نخواهد شد .

جهت کنترل راستای حفاری در گمانه های قائم و زاویه دار باید از دستگاه انحراف سنجی که قابلیت اندازه گیری جهت شیب و شیب گمانه را داشته باشد استفاده گردد.

دستگاه های حفاری باید قادر به حفر گمانه هایی تا 100 متر برای پرده آب بند و 150 متر برای گمانه های پیژومتری باشند. همچنین در مواقع برخورد به حفرات انحلالی احتمالی، دستگاه های حفاری باید قادر به برقر کردن (گشاد کردن) گمانه ها باشند .



(شکل شماره ۳-۵) دستگاه حفر گمانه XY1

جهت حفر گمانه های پیژومتر بهتر است از دستگاه های دارای قابلیت حفاری و نمونه برداری به روش وایر لاین (Wire Line) استفاده کرد .

حد اقل و حد اکثر قطر حفاری گمانه ها :

حد اقل قطر گمانه های حفاری 56 mm و حداکثر قطر آنها 146 mm است. تفکیک هر یک از گمانه ها بر اساس قطر آنها به شرح زیر می باشد :

- ۱- گمانه های تزریق تحکیمی و تماسی با قطر 56 mm
- ۲- گمانه های اکتشافی با قطر 76 mm
- ۳- گمانه های تزریق پرده آب بند با قطر حداقل 56 mm
- ۴- گمانه های کنترل تزریق با قطر حداقل 76 mm
- ۵- گمانه های پرده زهکش با قطر حداقل 101 mm
- ۶- در گمانه هایی از پرده آب بند که با حفرات کارستی مناطق گسله برخورد می نمایند ممکن است طبق نظر دستگاه نظارت لازم باشد حداقل قطر گمانه 10 mm در نظر گرفته شود .

مسدود کننده ها (Packer) :

مسدود کننده ها از نوع پنوماتیک آبی و یا بادی و از نوع مرغوب بوده و مناسب که در حالت انبساط تاب تحمل فشار آب را جهت انجام آزمایش لوژان تا 30 بار و دوغاب را جهت انجام تزریق تا 60 بار بدون نشت داشته باشند. شایان ذکر است که علاوه بر خود مسدود کننده باید سنسور های مورد استفاده در آن نیز قابلیت تحمل فشار های اعلام شده را داشته باشند. برای آزمایش نفوذ پذیری در تمامی طول گمانه ها از مسدود کننده منفرد (single) و یا در صورت لزوم دو گانه (Double) استفاده خواهد شد. (به جز مسدود کننده پنوماتیک نباید از هیچ نوع مسدود کننده دیگری استفاده گردد) مسدود کننده ها باید مجهز به تلمبه های دستی آب، مخازن هوا همراه با شلنگ های فشار قوی باشند. به منظور تسریع و تسهیل در تخلیه آب و هوای داخل مسدود کننده لزوماً از مسدود کننده های مجهز به دو فنر استفاده شود. چنانچه قابلیت تخلیه آب، فنر های مورد استفاده در مسدود کننده های آبی ضعیف بوده و عملیات تزریق را دچار اشکال نماید، استفاده از مسدود کننده های بادی الزامی است .



شکل شماره ۳-۶) پکر آبی

فشار سنج ها (Gage) :

فشار سنج ها باید با تقسیمات تا 30 بار برای آزمایشات نفوذ پذیری و تا 60 بار برای تزریق فراهم گردند. این دستگاه ها باید مجهز به دیافراگم های محافظ گریس یا روغن بوده و دقت آنها باید تا نیم بار باشد. باید در عملیات حفاری و تزریق گمانه های کم عمق نظیر گمانه های تزریق تحکیمی و تماسی یا به طور کلی بخش های کم عمق گمانه های دیگر که فشار مورد نیاز تزریق یا آزمایش نفوذ پذیری در آنها کمتر از 10، 20 و یا 30 بار می باشد فشار سنج های مورد استفاده با تقسیماتی تا حدود اعلام شده، استفاده گردد .



(شکل شماره ۳-۷) فشار سنج

حفاری گمانه های اکتشافی در طول پرده آب بند :

تعداد گمانه های اکتشافی به فواصل ۲۴ متر در امتداد پرده آب بند و از طریق گالری های تزریق و گالری سراسری حفر می گردد. این گمانه ها به منظور بررسی دقیق تر سنگ پی در محدوده پرده آب بند و تعیین نفوذ پذیری توده سنگ و شناسایی حفرات انحلالی حفر خواهد شد .

مغزه گیری :

حداقل درصد بازیافتی (Core Recovery) مغزه های حفاری نباید از ۹۰ درصد کمتر باشد. بیشینه طول هر نوبت حفاری (Run) ۳ متری خواهد بود .

نگه داری مغزه ها :

مغزه های بازیافتی از گمانه های اکتشافی به منظور بررسی های بعدی در جعبه های چوبی قرار داده می شود چوب جعبه ها از نوع مرغوب با کیفیت عالی و به ضخامت ۲,۵ سانتیمتر و لولای در آن یکسره خواهد بود. جهت حمل و جا به جایی جعبه های مزبور از دستگیره های فلزی استفاده می شود .

بر روی وجوه بیرونی و داخلی جعبه ها ینمونه بایی مشخصات زیر به طور کلی و با کمک رنگ و اسپری و شابلون قید گردد - دست کم بر روی سه وجه کناری جعبه های نمونه باید به ترتیب : شماره جعبه، نام پروژه، محل حفر گمانه، تاریخ حفاری و عمق حفاری درج گردد .

- بر روی وجه داخلی درب جعبه های نمونه باید کلیه اطلاعات درج شده در بیرون جعبه همراه با زاویه حفاری نسبت به قائم و همچنین مشخصات از قبیل : شماره نوبت های حفاری به همراه عمق مربوط به همراه عمق مربوط به هر نوبت حفاری (RUN)، CR، RQD، قطر حفاری و توضیحات ضروری نظیر موارد افت راد، آبستگي، عمق نمونه برداری و غیره ثبت گردد .



(شکل شماره ۳-۸) نگه داری مغزه ها در جعبه های چوبی و نوشتن مشخصات بر روی آنها

جدول (۳-۱) مشخصات کور خارج شده از گمانه

Project: azad dam		RUN NO :	DEPTH	C.R :%	RQD	M.C	SIZE
Station : openpit							
Depth:	from						
	to						
B.h.no :							
Box no:							
Run no :							

Project : نام پروژه (سد آزاد)

Station: ایستگاه سد (openpit)

Depth: از چه عمقی تا چه عمقی حفاری صورت گرفته است .

B.h: گمانه اکتشافی (Bore holl)

Box: شماره جعبه ، Run: تعداد دفعات حفاری

C.R: میزان کری که از گمانه خارج شده است بر حسب cm (core recovery)

RQD: برای بدست آوردن جنس سنگ این عمل صورت می گیرد (Rock quality designation)

M.C: میزان مصالحی که در حین حفاری به وسیله آب شسته شده و از دست رفته (Missing core)

SIZE: اندازه کر بدست آمده

سایز های حفاری در فعالیت ژئوتکنیک معمولاً 76 mm، 86 mm و 101 mm می باشد

$$\frac{\sum L > 10cm}{\sum L} \text{ RQD} = \times 100 = \times \%$$

عالی	$x > 90$
خیلی خوب	$75 < x < 90$
خوب	$75 < x < 75$
متوسط	$25 < x < 50$
ضعیف	$x < 25$

آزمایش لوژان :

نفوذ پذیری زمین ساخت گاه، یکی از پارامتر های مهمی است که برای طراحی سازه های بزرگ به ویژه سازه های آبی مورد نظر می باشد. در برر سیپهای ژئوتکنیکی به ضریب ضریب نفوذ پذیری توده سنگ بر جا، جهت تعیین میزان نشت آب، برآورد فرسایش پذیری توده سنگ، برآورد تزریق پذیری توده سنگ، تعیین میزان آب ورودی به گود برداری ها، ارزیابی و کنترل کیفیت تزریق و طراحی سیستم های زهکشی به کار می رود. توده های سنگ دارای ناهمسانی های متعددی می باشند که ناشی از عوامل مانند ناهمگونی ذاتی سنگ، مشخصات ناپیوستگی مانند طول باز شدگی ها، مواد پرکننده و فراوانی آنها و یا ناشی از پدیده های ثانوی مانند هوازدگی و دگرسانی می باشد. این موارد در ویژگی های فیزیکی و مکانیکی سنگ بازتاب داشته و موجب پرکنندگی داده ها و پارامتر های ژئوتکنیکی سنگ می شود. میزان نفوذ پذیری در سنگ هایی که به ابعاد فضاهای موجود در سنگ و نحوه ارتباط آنها و میزان اشباع سنگ بستگی دارد. مناسب ترین روش برای تعیین ضریب تراوایی سنگ درزه دار، انجام آزمون های صحرایی است. جریان آب در توده سنگ عمدتاً به ویژگی های سیستم ناپیوستگی آن بستگی دارد. چنانچه بتوان باز شدگی درزها و میزان ارتباط میان آنها را به صورت برجا اندازه گیری نمود، می توان میزان نفوذ پذیری را محاسبه کرد. به دلیل اینکه انجام چنین اندازه گیری هایی در شرایط برجا مقدور نیست برای تعیین نفوذ پذیری از روش های غیر مستقیم استفاده می شود. یکی از روش های برای این منظور، آزمایش فشار آب موسوم به لوژان می باشد که در سال ۱۹۳۳ میلادی توسط آقای (موریس لوژان) معرفی شد. در این روش پس از آماده سازی و اشباع قطعه مورد نظر، فشار آب به گونه ای فزاینده و سپس کاهنده در چند پله اعمال شده و سپس با توجه به میزان آب گذری، ضریب نفوذ پذیری توده سنگ (با واحد لوژان) محاسبه می گردد.



(شکل شماره ۳-۹) در حال تزریق آب به داخل گمانه

در سنگ های درزه دار همبستگی میان آبگذری و فشار، خطی نبوده و فشار های بالا موجب پدید آوردن تغییراتی در توده سنگ می شود، به همین دلیل در تعیین پله های فشار و عدد بیانگر نفوذ پذیری قطعه مورد آزمایش، دیدگاههای متفاوتی وجود دارد که به بیان آنها می پردازم :

اندازه گیری میزان نفوذ پذیری توده سنگ با آزمایش لوژان :

بنا به تعریف، یک واحد لوژان میزان نفوذ پذیری سنگی را نشان می دهد که قادر است به جذب یک لیتر آب در مدت دقیقه، در یک متر طول گمانه با فشار ۱۰ اتمسفر باشد. نحوه آماده سازی قطعه مورد آزمایش، روش انجام آزمایش و محاسبات مربوطه به آن، در منابع متعددی شرح داده شده است.



(شکل شماره ۳-۱۰) در حال تعیین میزان نفوذ آب گمانه از روی گیج دستگاه

این آزمایش معمولاً در ۵ پله رفت و برگشت انجام می گیرد (گاهی نیز از ۷ پله یا بیشتر استفاده می شود) فشارهای مورد استفاده در هر پله در حالت کلی به صورت کمینه، میانی، بیشینه اعمال می شود تا از شکستن یا فرسایش ناگهانی سنگ تا حد ممکن جلوگیری بشود، نفوذ پذیری برای هر پله با استفاده از رابطه لوژان محاسبه می گردد :

$$LU = \frac{10Q}{Pe.L} \quad \text{که } LU : \text{واحد لوژان ، } Q : \text{حجم آب جذب شده در قطعه مورد آزمایش بر حسب لیتر بر دقیقه} \left(\frac{Lit}{min} \right) ,$$

Pe : فشار موثر بر حسب بار ، L : طول قطعه مورد آزمایش بر حسب متر (m) است .

با توجه به مطالب فوق ۵ یا ۷ عدد برای نفوذ پذیری قطعه مورد آزمایش بدست می آید. اعداد بدست آمده در بیشتر مواقع با هم برابر نموده و گاه تفاوت زادی با یکدیگر دارند؛ زیرا در سنگ های درزه دار، همبستگی میان آبگذری و فشار خطی نبوده و الگوی رفتاری آبگذری غالباً به شکل یکی از ۵ حالت جریان آرام (laminar flow)

جریان آشفته (turbulent flow)، اتساع یا انبساط (dilation)، آب شستگی (wash-out)، و یا پرشدگی خلل و فرج (void-filling) بیان می شود. در معیار لوژان، مبنای محاسبه نفوذ پذیری، آبگذری در فشار ۱۰ اتمسفر و یا بیشترین فشار می باشد. به بیان دیگر، برای محاسبه عدد نفوذ پذیری، صرفه نظر از هر گونه تغییر شکل در سنگ و بدون توجه به رفتار سنگ در فشارهای کمینه و میانی، آبگذری در فشار بیشینه در رابطه لوژان به کار گرفته می شود. همان طور که بین گردید در این آزمایش توده سنگ تحت فشارهای فزاینده قرار گرفته تا به فشار بیشینه برسد. در بیشتر موارد در فشارهای بالا توده سنگ وضعیت طبیعی خود را از دست می دهد و آبگذری به ویژه در فشار بیشینه معیار مناسبی برای نفوذ پذیری سنگ نخواهد بود. با توجه به این نکته لازم است که آبگذری همراه با فشار متناسب نمی باشد، به ویژه در سنگ های نرم و یا دارای درزه های باز و یا در پر شده با ذرات ریز دانه، با تغییرات بسیاری همراه است. تجربه نشان داده است که فشارهای اعمال شده در سنگ ضعیف، در بسیاری از موارد بیشتر از توان سنگ بوده و باعث شکست هیدرولیکی سنگ می شود و به طور کاذب، موجب افزایش جذب آب می گردد. در مورد سنگ های سخت فشار بالا، تغییر شکل چندانی پدید نمی آورد ولی در سنگ های نیمه سخت و نرم، درز و شکاف ناشی از فشار

آب موجب افزایش آبگذری سنگ می شود . همچنین در سنگ هایی که بر اثر فرایند های زمین ساختی دچار خرد شدگی شده اند توده سنگ دست خوش آب شستگی شده و به آبگذری آن افزوده می شود. با توجه به موارد فوق، برای تعیین الگوی رفتاری و مناسب ترین عدد بیان گر نفوذ پذیری قطعه مورد آزمایش، روش های متعددی پیشنهاد شده است که در زیر به طور خلاصه آورده شده است :

۱- تعیین نفوذ پذیری با استفاده از نمودار فشار- آبگذری (P-Q) که چگونگی جریان آب و رفتار سنگ در برابر فشار هیدرولیکی را نشان می دهد. برای تعبیر و تفسیر این نمودار، شکل ظاهری منحنی و آهنگ تغییرات دبی و فشار به یکدیگر در نظر گرفته می شود .

۲- تعیین نفوذ پذیری به روش پیشنهادی هولسی : این روش از مقادیر لوژان محاسبه شده و برای هر پله فشار برای تعیین نوع جریان استفاده می نماید .

انتخاب مناسب ترین عدد بیان گر نفوذ پذیری توده سنگ :

برای تعیین مناسب ترین روش جهت تعیین نفوذ پذیری قطعه مورد آزمایش، ابتدا باید به چگونگی نفوذ پذیری سنگ پرداخت. در آزمایش لوژان، آب با فشار به درون گسستگی ها و خلل و فرج سنگ رانده شده و بر اساس میزان آبگذری می توان نفوذ پذیری سنگ را در واحد لوژان محاسبه نمود. همان گونه که ذکر شد، تغییر میزان نفوذ پذیری در اثر باز شدن گسستگیها، شسته شدن مواد پر کننده و یا آب شستگی ذرات سنگ از یک سو و بسته شدن و یا اشباع گسستگیها از سوی دیگر، منجر به تغییر نفوذ پذیری طبیعی سنگ می گردد. به همین منظور تعریف فوق بر د ستیابی به میزان نفوذ پذیری، تنها در وضعیت طبیعی توده سنگ و یا نزدیک به آنها امکان پذیر می باشد. بدین معنی که آب از درون گسستگیهای موجود در تود سنگ عبور نمده و ساختار آنها را تغییر ندهد. به همین دلیل باید از اعدادی که نشانه گر تغییرات سنگ و یا آشفستگی جریان می باشند، صرفه نظر از اعدادی که بیانگر وضعیت طبیعی سنگ و جریان نسبتاً یکنواخت می باشند، استفاده نمود .

جدول (۲-۳) نوع و چگونگی جریان آب و شرح رفتار سنگ

نوع و چگونگی جریان آب و شرح رفتار سنگ	فشار های آزمایش	گزینش عدد لوژان به روش هولسی	منحنی فشار-آبگذری
laminar flow : در این جریان آب در ناپیوستگی های توده سنگ (در مقطع آزمایشی)، غیر معشوشی دارد و میزان نفوذ پذیری برای کلیه فشار ها، تقریباً یکسان می باشد			
turbulent flow : مقادیر نفوذ پذیری با کاهش فشار افزایش می یابد و کوچک ترین عدد نفوذ پذیری در فشار بیشینه بدست می آید			
Dilation : در فشار های بالا درزهای توده سنگ در اثر فشار آب به طور موقت باز شده و موجب انبساط آن می شوند. در این حالت بزرگ ترین عدد نفوذ پذیری در فشار بیشینه بدست می آید			

			wash-out: مواد پر کننده ناپیوستگی سنگ، در اثر جریان آب شسته شده و آبگذری روزی فزاینده دارد
			vaid-filling: در اثر پر شدن گسستگیها و حفرات توده سنگ توسط ریز دانه ها، آبگذری روزی کاهش یافته و مقادیر نفوذ پذیری با افزایش فشار، کاهش می یابد

در صورت استفاده از نمودار فشار – آبگذری برای تحلیل نشت آب باید طول نقطه تلاقی خط مماس بر اولین پله، فشار در منحنی فشار – آبگذری . خط $P = 10 \text{ atm}$ به کار برده می شود (طول نقطه a)، برای تعبیر وضعیت تزریق پذیری و جذب دوغاب در توده سنگ باید از طول نقطه تلاقی منحنی در فشار تزریق مورد نظر و خط $P = 10 \text{ atm}$ استفاده نمود (طول نقطه b)

نحوه محاسبه نفوذ پذیری مقطع آزمایش با استفاده از منحنی فشار – آبگذری :

در شرایطی که آبخوری گمانه، طوری باشد که فشار مورد نظر تأمین نگردد، می توان مقادیر P, Q در فشارهای پایین را برای ارزیابی مقادیر لوژان به کار برد. در عین حال با توجه به اینکه آبگذری در فشار 10 atm خالی از اشکال نمی باشد. در صورتیکه روش هولسبی برای تعیین نوع جریان مورد نظر باشد. برای میزان نفوذ پذیری سنگ مطابق توضیحات شکل صفحه قبل عمل می گردد. در هنگام استفاده از این روش، نیازی به رسم نمودار فشار – آبگذری نیست. هر چند این نمودار در بسیاری موارد به کار گرفته می شود ولی در صورت استفاده همزمان با روش هولسبی ممکن است برای تفسیر نوع جریان گمراه کننده باشد. نکته قابل ذکر اینکه در هر یک از دو روش فوق، مواردی رخ می دهد که نمودار فشار – آبگذری و یا مقادیر لوژان با شرایط و حالات ۵ نوع اصلی جریان نشان داده شده تفاوت دارد که تعبیر و ارائه نتایج نهایی را مشکل می سازد (مثل شکل زیر) در چنین شرایطی یک متخصص مجرب با توجه به میزان آبگذری سنگ در هر پله فشار و یا براساس تغییرات مقادیر لوژان در پله های فشار، می تواند رفتار کلی سنگ را بررسی نموده و نوع جریان را تعیین و عدد لوژان مناسب را انتخاب نماید. امکان رخ دادن چنین شرایطی با افزایش تعداد پله های فشار بیشتر می شود

جدول (۳-۳) فشار های آزمایش

فشار های آزمایش			اعداد لوژان پله های فشار

سد تلمبه ذخیره ای Openpit :

مخزنی است که در بالا دست سد آزاد ساخته خواهد شد و به سد تلمبه ذخیره ای مشهور است. سد تلمبه ذخیره ای همان طور که از اسمش پیداست به کمک یک پمپ قوی از طریق لوله های بزرگی که بین این دو سد ساخته خواهد شد، آب را از پشت سد اصلی پمپاژ می کند و به مخزن خود انتقال می دهد. علت این امر به خاطر این است که برق تولید شده قابل ذخیره کردن نیست

به همین دلیل برای مصرف این برق آب را در زمان های که پیک مصرف در کمترین میزان خود است مانند صبح ها انجام می گیرد تا زمانی که مصرف به اوج خود می رسد آب دوباره از مخزن openpit به طرف توربین های نیروگاه روانه شود تا دوباره برقی، بیش تر از آن چه که مصرف شده است تولیدکند



(شکل شماره ۳-۱۱) نمایی از openpit

فصل چهارم: راه وابنيه

کلیات :

وقتی که قرار است یک جاده ساخته شود مطالعاتش شامل چند فاز است :

- ۱- فاز صفر: در فاز صفر مطالعات، بررسی می شود که اصلاً نیاز به ساخت این جاده هست یا نه؟
 - ۲- فاز اول: در فاز اول از نقشه ها و عکس های هوایی که از منطقه مورد نظر موجود است مطالعاتی صورت می گیرد و در ادامه بر روی نقشه های توپوگرافی تحقیقاتی به عمل می آید تا با وضعیت جغرافیایی منطقه آشنا شوند و شرایط نقاطی که جاده قرار است از آن مناطق عبور کند بررسی کرده باشند .
- به عنوان مثال می توان به احداث جاده ای اشاره کرد که از نقطه ای باید عبور کند که در آن محل کارخانه یا منطقه مسکونی ساخته شده و با احداث این جاده موجب رونق آن منطقه خواهد شد و به آن منطقه نقطه اجباری گفته می شود.



(شکل شماره ۴-۱) روستای خانقاه جوجو که جاده دسترسی به معدن از کنار آن عبور کرده است

هم چنین در ادامه مسیر، جاده می تواند از مناطق مختلفی عبور کند، اما در کل این هدف حائز اهمیت است که باید با احداث این جاده در امر حمل و نقل رونقی به وجود آید. امکان دارد که جاده در ادامه مسیری از مناطقی عبور کند و فضاهای بسیار زیبایی را به بیننده نشان دهد. به این نقاط خوش آب و هوا نقاط اختیاری گفته میشود.

نقشه های مورد استفاده در طراحی جاده :

در کار طراحی جاده در ابتدا نقشه های 1/2000 منطقه به صورت زمینی تهیه می کنند. مطالعات اولیه بر روی این نقشه ها انجام می گیرد تا یک نقشه نواری تهیه گردد. برای این که بتوانیم نقشه جاده را ترسیم کنیم نیاز است تا به فاصله مشخص یک نقشه 1/500 تهیه می کنند تا تمام عوارض، پستی و بلندی و شیب ها بر روی آن نمایش داده شود و تمام پلان های طولی و عرضی و تمام شیب های طراحی شده بر روی آن پیاده شود. برای طراحی جاده نیاز به رسم پلان و رسم پروفیل های طولی و عرضی خواهیم بود. پروفیل های طولی و عرضی دید کناری جاده را به بیننده می دهد تا عوارض موجود در روی زمین به صورت خط های شکسته ای نمایان گردند و نیم رخ ها به صورت قوس های قائم و یا خط های شکسته دیده شوند.

پروفیل طولی را معمولاً سعی می کنند جوری طراحی کنند که خاک برداری و خاک ریزی در جاده به حداقل برسد و علت این امر به خاطر مسائل اقتصادی است. چون احداث جاده یک امر پرهزینه است عملکردهای اقتصادی نقش بسزایی را به خود اختصاص داده اند و باید به دقت به آنها توجه کرد و باید طوری انتخاب شود که از خاک، خاک برداری به عنوان خاک مورد مصرف در خاک ریزی استفاده شود. در طراحی باید به هدفی که از ساخت جاده وجود دارد توجه کرد تا متوجه آن باشیم که که مصرف جاده به کدام سمت می باشد: مسافربری، ترانزیت، حمل و نقل روستایی و... که منجر به مقاطع و شیب های مختلفی در طرحی خواهد شود. تمام این مسائل، نکاتی است که در احداث یک جاده باید مورد توجه قرار گیرد و در نشریه ۱۰۱ به طور کامل به این نکات پرداخته است و تمام شیب ها، عرض و پهنای جاده که به صورت استاندارد میبایست در ساخت توجه شود ذکر شده است. معیار انتخاب شیب ها بستگی به توپوگرافی زمین دارد. مثلاً: تپه ماهوری، کوهستانی، غیر کوهستانی و... در مورد پروفیل عرضی به این مطالب اشاره می کنیم که چه مقدار خاک برداری و خاک ریزی در طول جاده با آن رو به رو هستیم. در اول قوس قائم و اول قوس افق و محل تغییر شیب ها باید مقطع عرضی داشته باشیم با توجه به مقطعی که در فاصله های برداشت شده داریم به حجم سطحی از خاک برداری و خاک ریزی می رسم که اصطلاحاً پیکتاژ گفته می شود. پیکتاژ یعنی این که ما عین مسیر را بر روی نقشه پیاده کنیم، آکس جاده و دو سمت جاده را مشخص کنیم، جایگاه میخ کوبی های لازم توسط نقشه بردار مشخص گردد، تا با کشیدن خط پروژه به میزان شیب موجود در جاده و خاک برداری و خاک ریزی برسیم. شایان ذکر است که فاصله این پیکتاژ بستگی کامل با وضعیت مسیر دارد. مثلاً به مقطعی برسیم که همه آنها نیاز به خاک برداری و خاک ریزی داشته باشند، و یا به عوارضی و مقاطع مرکبی (قسمتی خاک برداری و قسمتی خاک ریزی) برخورد کنیم باید تمام این نکات در طراحی درج شود. پس از این که پروفیل های طولی و عرضی بدست آمد، به حجم عملیات خاک برداری و خاک ریزی می رسم اگر در مسیر با آب روهایی برخورد کردیم با احداث کالورت می توانیم از تخریب جاده جلوگیری به عمل آوریم. کالورت سازه بتنی است که در زیر جاده، در محل تلاقی مسیر آب رو با جاده ساخته می شود. که اگر باران ببارد آب های باران از آنجا جاری می شوند و در محل تلاقی جاده و خط القعر قرار دارد. به همین منظور است که کالورت هایی تعبیه می کنند تا هم آب به مسیر خود ادامه دهد تا با استفاده از این آب جاری شده، آب اهالی تأمین شود و هم از تخریب جاده جلوگیری به عمل آید.

زیر سازی :

در قسمت زیر سازی ما باید به کد و عرضی که برای جاده مورد نظر است برسیم. در حقیقت زیر سازی، طرح هندسی جاده است و باید به آن توجه ویژه شود. در جاده برای این که به کد جاده برسیم نیاز به خاک برداری و خاک ریزی است و این کار توسط بولدوزر و گریدر انجام می شود. در حقیقت گریدر و بولدوزر سطحی را که برای ساخت جاده مورد نیاز است ایجاد می کنند و به کمک مهندس نقشه بردار کد مورد نظر برای جاده پس از عملیات فوق تأیید می شود.

روسازی:

در روسازی ما باید به ترکم هایی که مد نظر است ۹۰ یا ۹۵ است برسیم که این کار را با آب پاشی و هموار کردن خاک به وسیله گریدر و کوبیدن خاک به وسیله غلتک های فلزی و غلتک های پلچه فیلی به تراکم خاک می پردازیم. در ادامه باید به کمک تست هایی که از جاده گرفته می شود به تراکم مورد نیاز پی ببریم تا اجازه ساخت دیگر لایه ها را داشته باشیم (سایر لایه ها base و sub base و خود آسفالت) .

موارد ذکر شده در بالا طبق طراحی های انجام شده و ترافیک موجود در محل و شرایط منطقه به اجرا می رسد. لایه های base و sub base به ضخامت 15cm اجرا شده، کوبیده می شود و با حرکت غلتک های فلزی روی آنها به تراکم مورد نظر می رسند، شیب های عرضی هم از وقتی که sub grade به وجود آمد اجرا می شود و معمولاً 2٪ به دو طرف بیرون جاده است. برای آب هایی است که به داخل جاده وارد می شود و باید آنها را خارج و به طرف کانال های طراحی شده هدایت کنیم. وقتی که base و sub base همان طور که گفته شد در لایه های 15 cm ریخته شد، قیر پاشی صورت می گیرد. پس از انجام مراحل فوق پریم کوت اجرا می شود. پریم کوت در حقیقت اولین قیر نفوذی است که بر روی جاده ریخته میشود تا یک چسبانندگی بین آسفالت و لایه اساس به وجود آید و مانع از نفوذ آب باران به لایه اساس می شود. بعد از مراحل ذکر شده می توانیم آسفالت را بریزیم. اگر حجم آسفالت زیاد باشد باید در مراحل مختلف ریخته شود. معمولاً لایه های پایینی binder است و از دانه بندی نسبتاً درشت تری برخوردار هستند و همچنین مشخصات ضعیف تری نسبت به لایه های بالایی خود برخوردار است. لایه بعدی Topeka نام دارد که از بهترین دانه بندی و مشخصات فنی در خصوص مصالح آسفالت برخوردار است و علت این امر به دلیل تماس مستقیم با وسایل حمل و نقل عبوری است

احداث ترنشه ها:

در مورد دیواره جاده و ترانشه ها برای رسیدن به سطح مورد نظر تا جایی که امکان دارد به کمک وسایل و ماشین آلات، خاک ها و مصالح اضافه برداشته می شود .

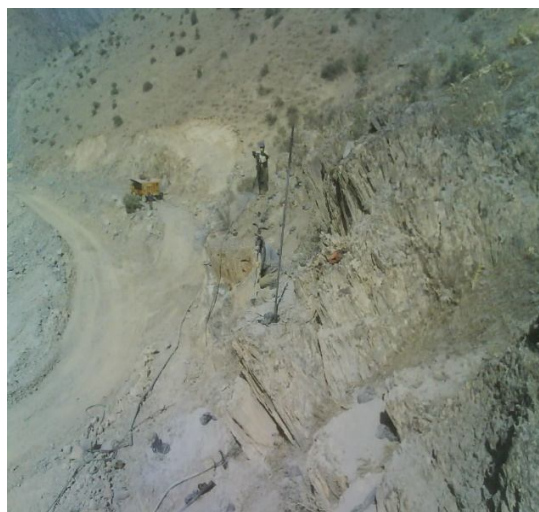


(شکل شماره ۴-۲) بولدوزر در حال جمع کردن خاک کنار جاده است



(شکل شماره ۳-۴) بولدوزر در حال صاف کردن جاده است

اگر در مسیر جاده محدوده ای نیاز به تخریب داشت به کمک چکش دستی، حفر چاله صورت می گیرد تا با پر کردن حفرات حفر شده از مواد انفجاری (آمفو)، و انفجار آنها سنگ های اضافه برداشته می شود. ترانشه ها موجود در جاده ها می بایست از ایمنی خوبی برخوردار باشند به بدین منظور هنگام حفر چاه انفجار باید در زاویه مناسب این امر صورت گیرد تا پس از انفجار، ترانشه شیب منفی نداشته باشد و ریزش نکند. در ترانشه ها باید شیب 3 به 1 رعایت شود تا پس از بارش باران، ترانشه ها ریزش نکند و جاده را مسدود نکند.



(شکل شماره ۴-۴) کارگران در حال حفر چاله های انفجار



(شکل شماره ۴-۵) بارگیری مصالح ترانسه ها توسط لودر



(شکل شماره ۴-۶) بارگیری مصالح اضافی از جاده ها توسط بیل مکانیکی

هم چنین از دریل واگن های پنوماتیکی و هیدرولیکی برای حفر چاله های عمیق تر استفاده می شود. این کار در زمانی صورت می گیرد که نیاز به حفر چاله های عمیق تری باشیم .



(شکل شماره ۷-۴) حفر چاه های انفجار توسط دریل واگن پنوماتیکی

در جاده اگر سنگ های بزرگ وجود داشته باشد به کمک ریپر بولدوزر، برداشته می شود و از مسیر جاده کنار گذاشته می شود.



(شکل شماره ۸-۴) خارج شدن سنگ های بزرگ از داخل زمین به کمک ریپر بولدوزر

فصل پنجم: نقشه برداری

مقدمه :

نقشه برداری به علم اندازه گیری دقیق و تعیین موقعیت نسبی عوارض روی سطح زمین اطلاق می شود. عوارض می توانند به صورت طبیعی و یا مصنوعی باشند، این اندازه گیریها به وسیله شخص عامل یا اپراتور که در اینجا به نام نقشه بردار خوانده می شود، انجام می گیرد. اهداف و مقاصدی که از این اندازه گیری ها دنبال می شود، معمولاً جهت تهیه نقشه های موردی و یا

کاربرد با مقیاس های مختلف، یا جهت پیاده کردن عوارض با مختصات تعیین شده قبلی بر روی سطح زمین که برای اجرای هر گونه پروژه های عمرانی مفید و لازم خواهد بود. برای شناخت بهتر و اهمیت موضوع نقشه و نقشه برداری به تعریف بعضی از انواع نقشه برداری و کاربردهای آن در طرح های مختلف می پردازیم :

۱-۵- نقشه برداری شهری- طرح های جامع و تفضیلی شهرها :

تهیه و اجرای طرح های جامع و تفضیلی و هادی شهرها که امروزه نقش عمده و اساسی در روند توسعه و عمران شهری را دارند، در ابتدا لازم است کارشناسان و محققان، مطالعات جغرافیایی، آماری و توصیفی دقیق، منطقه را توأمأ مورد مطالعه قرار دهند تا این که مهندسین مشاور و طراحان شهری بتوانند نسبت به تهیه و اجرای طذح اقدام کنند، برای کسب این نتیجه نیاز به نقشه و فعالیت های نقشه برداری خواهد بود .

لذا برای دستیابی به این مهم، لازم است که نقشه های شهری و نقشه های مناطق مورد نیاز طراحان با مقیاس مناسب طرح، توسعه نقشه برداران تهیه و در اختیار آنان گذارده می شود. بنابراین نیاز به توسعه و عمران امروزی در گرو تهیه نقشه و فعالیت های نقشه برداری است. شکل شماره (۱) نمایش قسمتی از این نقشه شهری است .

۲-۵- نقشه برداری و تهیه نقشه های ژئومورفولوژی :

موضوع ژئومورفولوژی^۱ در این واقع دانش پیکر زمین، مطالعه و پژوهش عارضه های جغرافیایی و طبیعی است که بر سیر تغییر و تحول ناشی از تغییرپذیری مداوم لندفرم ها^۲ و تأثیرات ناهمواری های سطح زمین تأکید و بحث می کند.

بنابراین برای مطالعات بنیادی و کاربردی نیازمند به تهیه نقشه های موضوعی از پیکر زمین به نام نقشه های ژئومورفولوژی می باشیم. تهیه این نقشه ها امروزه کاربرد وسیعی در حوزه مدیریت و عمران محیط داشته، که توسط نقشه برداران و کارتوگرافها تهیه و در اختیار ژئومورفولوگها برای مقاصد و مطالعات پژوهشی قرار داده می شود .

۳-۵- نقشه برداری از معادن- طرح های اکتشافی از منابع زیر زمینی :

مطالعات زمین شناسی در مرحله اکتشاف معادن بررسی دقیق وضعیت زمین شناسی منطقه است. برای بررسی دقیق و شناختن منطقه عملیات ابتدا نقشه زمین شناسی محل را تهیه می نمایند، معمولاً مقیاس این گونه نقشه ها بسته مشخصات منطقه متفاوت بوده و از مقیاس ۱/۲۵۰۰۰۰ تا ۱/۱۰۰۰۰۰ به صورت توپوگرافی^۱ تهیه می شوند. در بررسی بعدی، مناطقی که از نظر وجود ماده معدنی جلب توجه می کنند مورد بررسی دقیق تر قرار گرفته و نقشه های توپوگرافی با مقیاس بزرگ تر از ۱/۵۰۰ تا ۱/۵۰۰ توسط عاملان نقشه بردار به روش های مختلف، از جمله تخته و سه پایه تهیه و در اختیار زمین شناسان فن قرار می گیرد .

۴-۵- نقشه برداری آبی- بهره برداری آبی :

بخش اعظمی از بهره برداری آبی استفاده از منابع عمق دریاها، تعیین مسیر عبور کشتیهای تجاری، نفت کشتیهای بزرگ و غول پیکر، ناوگان های جنگی و زیر دریاییها، محل عبور لوله های نفت و گاز در اعماق دریاها، ایجاد اسکله های جدید و مکانیزه، احیای بنادر و تأسیسات ساحلی متعلق به آنها و همچنین بهره برداری صحیح و بهینه از دریاچه ها و سدها برای مقاصد و اهداف مختلف می باشد که همه و همه نیازمند به نقشه های آب نگاری یا هیدروگرافی^۲ (تعیین فرم زمین در زیر آبها) بوده و توسط متخصصان نقشه بردار با استفاده از وسایل خاص نقشه برداری آبی تهیه می گردند. این نوع نقشه ها را، چارت های دریایی نیز می گویند شکل شماره (۲-۱) نمونه ای از چارتهای دریایی را نشان می دهد .

۵-۵- نقشه برداری ثبتی- طرح های ثبت اسنادی :

در سرزمین های مصر باستان حدود ۳۰۰۰ سال قبل از میلاد مسیح، مالکیت و تعیین حدود اراضی و املاک برای دسترسی انسان به منابع مواد خام و ثروت های سرشار زمین مطرح بوده است. لذا برای تعیین حدود مالکیت در آن زمان از ابزارآلات زمان خود استفاده می شد و شاخص های مخصوصی برای نشانه گذاری ها و تعیین حدود به کار می رفت.

امروزه در نقشه برداری و تهیه نقشه های ثبتی^۳ اهدافی از قبیل: تعیین حدود اراضی، تقسیم و افراز اراضی، محاسبه پلاکها، جهت وصول مالکیت های سالیانه و عوارض شهرداری ها و سایر اماکن دنبال می شود . این نوع نقشه برداری بیشتر وضعیت و موقعیت

مسطحاتی عوارض زمین را مورد توجه قرار می دهد. نقشه شهر های ایران با مقیاس بزرگ ۱/۵۰۰ و در حومه شهر با مقیاس ۱/۱۰۰۰ تهیه می شوند. روش تهیه آنها با در نظر گرفتن سرعت، اقتصاد و داشتن دقت کافی از طریق فتوگرامتری است و نقشه برداری در نوحی که در پناه درختان و یا به دلیلی در عکس دیده نمی شوند، باید با عملیات زمینی انجام گیرد .

۶-۵- نقشه برداری مسیر- طرح های ارتباطی :

تهیه و اجرای طرح های راه و راه آهن و توسعه شبکه ارتباطی و مواصلاتی، ایجاد و احداث بستر های آسفالتی و ریلی نقش عمده ای در امور اقتصادی و بازرگانی و همچنین حمل و نقل کالاهای هر کشور را خواهد داشت. لذا امکان دسترسی به این امر مهم بدون تهیه نقشه های اجرایی با مقیاس بزرگ اقدام می نمایند. نقشه برداران در اجرای طرح راه از ابتدای عملیات راه سازی تا خاتمه کار، طرح های راه سازی را کنترل می کند.

۷-۵- نقشه برداری ابنیه های تاریخی- طرح های احیا و مرمت ابنیه های باستانی :

احیا و مرمت آثار باستانی و حفظ و نگهداری این آثار در صنعت توریسم کشور نقش ارزنده ای خواهد داشت. بنابراین تهیه نقشه های مربوط به فرهنگ قدیمی اهمیت خاصی پیدا نموده است. امروزه از نقشه برداری زمینی و عملیات فتوگرامتری زمینی برای این طرحها استفاده می شود .

۸-۵- نقشه برداری نظامی :

از این نوع نقشه برداری برای تهیه نقشه های نظامی و تعیین نقاط مهم استراتژیکی در منطقه، برای اهداف نظامی و آرایش و استقرار نیروهای رزمنده و مواضع تعرضی و دفاعی با مقیاس بزرگ استفاده می شود . به طور کلی نقشه هایی که تهیه می شوند به دو دسته تقسیم بندی می گردند:

الف) نقش های توپوگرافی ، ب) نقش های پلانیمتری

الف) نقش های توپوگرافی-نمایش پستی و بلندی زمین :

منظور از آن برداشت و نمایش شکل قطعات زمین و محایه مساحت آنها و تعیین شکل و موقعیت عوارض طبیعی و مصنوعی از قبیل: رودخانه ها، جنگل ها، شهرها، راهها، باغ ها و مزارع و غیره است .

در نقشه های توپوگرافی، پستی و بلندی های زمین را به شیوه های مختلفی مثل هاشور زدن، سایه زنی رسم خطوط

تراز و یا به صورت نقشه های برجسته رلیف نمایش می دهند. شکل شماره (۳-۱) نمونه ای از یک نقشه توپوگرافی

را نشان می دهد .

شکل شماره (۵-۳) نمونه ای از یک نقشه توپوگرافی

ب) نقش های پلانیمتری-نمایش وضعیت مسطحاتی زمین

فرق این نقشه ها با توپوگرافی آن است که در پلانیمتری ارتفاعات مشخص نمی شود و فقط به برداشت های

مسطحاتی اکتفا می گردد، مثل پلان های ثبتي

۹-۵- نقش های هوایی-فتوگرامتری

امروزه برای نقشه برداری از مناطق وسیع و یا نقشه برداری از مسیر راهها با توجه به صرفه جویی هزینه ها و تسريع در انجام کار از روش عکس برداری هوایی و یا فتوگرامتری استفاده می کنند^۱ .

برای استفاده از روش فتوگرامتری از یک منطقه در یک امتداد معینی به نام مسیر رفت، هواپیمای عکس برداری در یک ارتفاع و سرعت ثابت روی منطقه به پرواز درآمده و به طور پی در پی در فاصله زمان های معلوم، به صورت عمودی عکس برداری می کنند. عکس هایی که پیاپی گرفته می شود دارای پوشش طولی حدود ۶۰٪ خواهد بود. پس از خاتمه عکس برداری در مسیر رفت، هواپیما در مسیر برگشت مجدداً به همان شیوه و همان پوشش طولی ۶۰٪ و پوشش عرضی حدود ۳۰٪ عملیات عکس برداری را ادامه داده و بدین ترتیب تمامی منطقه عکس برداری خواهد شد. شکل شماره (۴-۱) مسیر رفت و برگشت هواپیمای عکس برداری کننده را نشان می دهد. هر دو عکس متوالی که از منطقه گرفته می شود یک زوج عکس^۲ بوده و برای آنکه عکس های هوایی قابل

تبدیل به نقشه گردند، لازم است روی هر دوعکس متوالی نقاط نشانه و یا کنترل زمینی که مختصات آنها قبلاً توسط نقشه برداری زمینی به دست آمده، وجود داشته باشد. یا می توان نقاط مشخصی از بین عوارض و نشانه های طبیعی منعکس شده در عکس ها را به عنوان نقاط کنترل زمینی انتخاب کرد. با استفاده از نقاط کنترل زمینی عکس های گرفته شده، پس از یک سری عملیات مقدماتی که در لابراتوار فتوگرامتری انجام می شود، توسط دستگاه تبدیل، به نقشه توپوگرافی که پستس و بلندی منطقه را به صورت خطوط منحنی میزان نمایش می دهند تبدیل می گردند. مقیاس نقشه های به دست آمده بستگی به مقیاس طرح عکس برداری ابتدایی داشته و ارتفاع پرواز هواپیما بر اساس مقیاس نقشه محاسبه و تنظیم می شود. هر چه ارتفاع پرواز زیادتر باشد مقیاس کوچکتر و بر عکس، هر چه مقیاس عکس بزرگ تر باشد باید هواپیما در ارتفاع پرواز کمتری به پرواز در آید .

۱۰-۵- شاخه های اصلی نقشه برداری :

نقشه برداری در حالت کلی به دو شاخه تقسیم بندی و مجزا می شود :

نقشه برداری مستوی یا مسطحاتی ، ۲) نقشه برداری ژئودزی

۱۰-۵- نقشه برداری مستوی یا مسطحاتی

نقشه برداری علم اندازه گیری است که نتیجه آن آزمایش تصویر افقی از منطقه یا قطعاتی از زمین بر روی صفحه کاغذ به نام نقشه می باشد. سطح منطقه یا پوسته زمینی را که می خواهیم نقشه برداری کنیم، چنانچه کوچک و محدود باشد، می توانیم سطح پوسته را یک سطح صاف در نظر بگیریم. در این صورت چنانچه سه عارضه A, B, C را روی این پوسته انتخاب کنیم و این نقاط را با خطوط فرضی به یکدیگر متصل نمائیم، این خطوط به صورت خطوط مسقیمی خواهد بود و شکل حاصله ABC یک مثلث مستوی یا مثلث مسطحاتی^۳ می باشد. در مثلث مسطحاتی رابطه ساده ای بین زوایا برقرار است :

$$A + B + C = 180^\circ \text{ گراد یا درجه}$$

تصویر این مثلث روی نقشه مثلثی خواهد بود که زوایا به اندازه خودشان ترسیم شده است و اضلاع مثلث با مقیاس معین و معلوم که همگی به یک نسبت کوچک شده اند، ترسیم می شود .

این نقشه برداری را نقشه برداری مستوی یا مسطحاتی می نامند، به طوری که ملاحظه شد در این نوع نقشه برداری سطح پوسته زمین را صاف در نظر گرفته ایم و لذا حدی را که می توان سطح پوسته یا منطقه عملیات نقشه برداری را مسطح در نظر گرفت حدود ۲۵۰ کیلومتر مربع است .

فصل ششم: آزمایشگاه

آزمایش چاه دانسیته :

چاه دانسیته ی یک راهی است برای بدست آوردن تراکم (اندازه گیری تراکم) و در مورد ریز دانه و درشت دانه فرق می کند و این آزمایش برای پوسته و هسته هم وجود دارد ولی روند کار کاملاً متفاوت است .

آزمایش چاه دانسیته برای هسته رسی sand battle است و از مخروط ماسه استفاده می شود و در مورد پوسته سنگ ریزه ای water replacement است که از جایگذاری با آب استفاده می شود .

نحوه انجام آزمایش چاه دانسیته :

برای انجام آزمایش چاه دانسیته، چاهی کنده می شود که مقدار آن بستگی به ضخامت لایه ریخته شده دارد. در ابتدا دایره ای زده می شود که قطر این لایه برابر ۳ برابر بزرگ ترین دانه موجود در پوسته که برابر ۱۶۰۰ mm است زده می شود. عمق این چاه برابر عمق لایه پوسته که برابر 80cm است.



شکل شماره (۱-۶) کشیدن دایره ای به قطر ۳ برابر بزرگ ترین دانه
برای انجام این آزمایش با نظر مهندس ناظر مکانی برای این آزمایش تعیین می شود که موجب تعلل در کار نشود. برای رسم خط قطر آزمایش، یک نخ به یک میخ بسته می شود و به مقدار مورد نظر زده می شود .



شکل شماره (۲-۶) کشیدن دایره به کمک متر و اسپری رنگ
در ادامه کار می بایست مصالح موجود در داخل خط رسم شده توسط کارگران به بیرون از چاه انتقال داده شود. باید تمام خاک ها و سنگ های بزرگ و کوچکی که از داخل چاه به بیرون انتقال داده می شود دانه بندی و طبقه بندی شود، و تمام این مصالح باید وزن شود .



شکل شماره (۶-۳) تخلیه مواد داخل چاه

در مورد مصالح کنده شده همان طور که گفته شد باید آنها را در روی باند دانه بندی کرد. مصالحی که از الک ۳" رد نشود وزن می شود و بر روی باند باقی می ماند و از بقیه مصالح که در مراحل متفاوت تخلیه شده نمونه ای به آزمایشگاه برده می شود .

$$\text{وزن مصالح داخل چاه} = \frac{\text{وزن}}{\text{حجم}}$$



شکل شماره (۶-۴) وزن کردن مصالح به کمک باسکول

زمانی که کارگر به اندازه ضخامت لایه مصالح را خارج کرد و به لایه قبلی رسید و این امر را از سفت بودن خاک زیر پای خود متوجه می شود کنند به پایان می رسد و ادامه آزمایش باید انجام شود .

در ادامه کار باید نایلونی که کمی بزرگ تر از چاه است به طوری بر روی چاه پهن کنیم که تمام داخل چاله آزمایش را در بر بگیرد. برای بدست آوردن میزان حجم مصالح داخل چاله با استفاده از آباین کار صورت می گیرد. چون میزان آب مورد استفاده مهم می باشد به همین دلیل از یک کامین آب استفاده می کنیم. آب را داخل سطل هایی که از قبل حجم آنها را می دانیم می ریزیم و آب داخل آن را به داخل چاله پوشیده شده از نایلون خالی می کنیم و تعداد سطل های خالی شده در چاله را شمارش می کنیم .



شکل شماره (۵-۶) پر کردن چاه از آب

به وسیله سطل

چاله را آن قدری از آب پر می کنیم که سطح آب با سطح باند هم تراز شود. زمانی که چاله از آب پر شد می بایست به وسیله متر عمق چاله اندازه گرفته شود تا با دقت بیشتری کار خود را ادامه دهیم. و به این ترتیب ما می توانیم به حجم مصالح داخل چاله برسیم :

$$\text{وزن} \\ \text{واحد حجم} = \text{دانسیتة در محل}$$



شکل شماره (۶-۶) پر شدن چاه از

آب تا سطح همتراز زمین

در محل کمتر از 2.25 gr/cm^3
ناظر حاضر در محل دستور
غلطک دوباره تمام باند را بکوبد تا

طبق مشخصات فنی، نباید دانسیته باشد در غیر این صورت طبق نظر Recompect داده می شود و باید زمانی که به تراکم مورد نظر برسیم .

در کارگاه بیشتر با دانسیته خشک کار می شود، بین دانسیته در محل و دانسیته خشک یک رابطه ای است که با درصد رطوبت اندازه گیری می شود. برای بدست آوردن درصد رطوبت باید از لحظه ای که چاله از آب کاملاً پر است تا زمانی که نایلون داخل چاله را خارج می کنیم به وسیله timer اندازه گیری کنیم تا زمان فروکش کردن آب بدست آید. به این ترتیب به درصد رطوبت خواهیم رسید. دانسیته کل از تقسیم دانسیته خشک بر درصد رطوبت + ۱ بدست می آید تجربه نشان داده است که اگر دانسیته در محل ۲,۳۰ به بالا باشد آزمایش درست است و لایه از نفوذ پذیری مناسبی برخوردار است و کمپکت آن به درستی انجام شده .

این آزمایش در یک باند اجرا می شود و نسبت به کل باند تعمیم داده خواهد شد و تلورانس موجود در این آزمایش که قابل قبول است (± 10) می باشد.

آزمایش مارش ویسکوزیته:

هدف: این آزمایش جهت تعیین غلظت دوغاب سیمان می باشد

وسایل شامل:

۱- قیف مارش

۲- پاچ مارش به ظرفیت 1000 cc

۳- دماسنج

۴- پارچ ۳ لیتری

۵- کرنومتر

نحوه انجام آزمایش:

آزمایش مارش ویسکوزیته به این صورت انجام می شود که در ابتدا دوغاب سیمان شامل (آب-سیمان-بنتونیت) با زمان مشخص در میکسر با هم میکس میشوند.



شکل شماره (۶-۷) دوغاب در حال مخلوط شدن در میکسر

سپس با یک پارچ مقداری از دوغاب داخل میکسر را برداشته و در یک سطل می ریزیم و دمای دوغاب را میگیریم . این کار به این خاطر است که در این آزمایش دمای دوغاب سیمان بسیار مهم است.



شکل شماره (۶-۸) بدست آوردن دمای دوغاب

پس از این که دمای دوغاب مشخص شد دوغاب را بر روی صافی قیف مارش میریزیم تا اگر مصالحی با هم مخلوط نشده باشد به داخل قیف وارد نشود. هم زمان با ریختن مصالح به داخل قیف انگشت خود را در انتهای دیگر قیف قرار داده تا مصالح به بیرون نریزد. در این زمان قیف را به پارچ مارش نزدیک کرده و انگشت خود را بر میداریم. از لحظه ای که انگشتمان را بر میداریم با کرنومتر زمان میگیریم تا چه زمانی طول میکشد تا دوغاب، پارچ مارش را تا 945 cc پر می کند. این عدد به خاطر این است که تا این رنج حد استاندارد تعریف شده است. در این آزمایش 37 s زمان طول کشید تا دوغاب از قیف به داخل پارچ ریخته شود و همین عدد به عنوان عدد مارش این آزمایش انتخاب می شود.



شکل شماره (۶-۹) بدست آوردن زمان آزمایش مارش

کپینگ کردن :

برای این که بتوانیم به مقاومت فشاری بتن برسیم نیاز است تا نمونه های استوانه ای از بتن داشته باشیم تا بتوانیم در زیر فک هیدرو لیکی قرار داده و مقاومت بتن را محاسبه کنیم. دو سر نمونه بتنی استوانه ای که در زیر فک قرار می گیرد بسیار مهم است، زیرا اگر این سطح نا منظم باشد، تقسیم نیرو به هنگام اعمال نیرو به یک اندازه نمی باشد و میزان واقعی مقاومت بتن بدست نخواهد آمد و عدد بدست آمده همراه با خطا است. به همین منظور دو طرف نمونه بتن استوانه ای نیاز است تا عمل کپینگ بر روی آنها اعمال گردد.

نحوه این کار به شرح زیر است :

در ابتدا گوگرد جامد را در دستگاه مخصوص این کار می جوشانیم تا به حالت مایع در آمده و آماده استفاده قرار گیرد.



شکل شماره (۶-۱۰) برداشتن مقداری گوگرد مایع از داخل دستگاه با ملاقه

سپس سینی قالب کپینگ را با روغن چرب کرده تا نمونه بتن به دستگاه نچسبد، با ملاقه مقداری از گوگرد مایع را در کف قالب ریخته .



شکل شماره (۶-۱۱) تخلیه گوگرد داغ در بشقاب دستگاه کپینگ
در ادامه نمونه استوانه ای را از وسط می گیریم و خیلی سریع و با دقت نمونه را در گوگرد طوری قرار می دهیم که چهار گوشه استوانه با چهار گوشه قالب تماس پیدا کند، فشار اندکی به سر نمونه وارد کرده تا استوانه در گوگرد فرو برود .



شکل شماره (۶-۱۲) قرار دادن نمونه بتنی در داخل بشقاب
در زمان انجام این آزمایش باید مراقب باشیم تا گوگرد به لباس نپاشد و در حین اینکه، در دستگاه حاوی گوگرد را باز می کنیم از غبار بلند شده از آن استشمام نکنیم . پس از اینکه گوگرد مقداری خودش را گرفت با کاردک دور قالب را می تراشیم و با ضربه آرامی که با یک میله به کنار سینی قالب کپینگ میزنیم نمونه استوانه ای را خارج می کنیم .
سر دیگر نمونه را به همین صورت کپینگ می کنیم تا نمونه آماده تست شود . با این عمل دو سر نمونه صاف و یک دست خواهد شد .



شکل شماره (۶-۱۳) تراشیدن گوگرد سرد شده از دور قالب



شکل شماره (۶-۱۴) قالب های بتنی آماده شده

اسامی ماشین آلات و دستگاههای مورد استفاده در کارگاه

ردیف	نوع ماشین	ردیف	نوع ماشین
۱	بولدوزر	۲۰	تسمه نقاله
۲	لودر	۲۱	بچینگ پلانت
۳	گریدر	۲۲	کمپاس
۴	کامیون کمپرسی	۲۳	دوربینهای نقشه برداری
۵	دامپ تراک	۲۴	تراکتور و یدک کش

۶	بیل مکانیکی	۲۵	مینی بوس
۷	دریل واگن	۲۶	آمبولانس
۸	کامیون تانکر آب پاش	۲۷	سیلوی سیمان
۹	کمپرسور (دیژل)	۲۸	ست تولید مصالح
۱۰	تراک میکسر	۲۹	دستگاه ماسه شویی
۱۱	غلتکهای چرخ فولادی و پاچه بزی	۳۰	پمپ بتن
۱۲	تانکر آبپاش	۳۱	دستگاه حفاری
۱۳	تانکر گازوئیل رسان	۳۲	ست تزریق
۱۴	جرثقیل ۲۵ تن	۳۳	جت فن تهویه تونل
۱۵	جرثقیل ۱۰ تن	۳۴	چکش سه پایه
۱۶	پمپ بتن	۳۵	ژنراتور
۱۷	پمپ شاکریت	۳۶	دریل واگن
۱۸	ویبراتور	۳۷	جامبو دریل
۱۹	چکش سه پایه	۳۸	پمپ آب و کف کش

سد و سازه های آبی

تألیف و ترجمه: حسین میسمی - سعیده سعیدی - شراره شجاعی - محمد مینائی فرد

فهرست مطالب کتاب	
عنوان	صفحه
فصل اول: سد و ابنیه آبی	۵
فصل دوم: رفتار لرزه ای سدهای بتنی	۵۸
فصل سوم: رفتار لرزه ای سدهای خاکی	۷۰
فصل چهارم: بهینه سازی حجم مخازن سد	۷۸

فصل اول: سد و ابنیه آبی

فصل اول : سد و ابنیه آبی

مقدمه

در میان سازه های ساخته شده به دست بشر، سدها به دلایل مختلف از جمله اهمیت اهداف ساخت و نیز شدت و حساسیت خطرات و صدمات ناشی از خرابی احتمالی آنها از موقعیت منحصر به فردی برخوردار است. هزاران کارگر مهندس و متخصص چند سال کار می کنند تا سازه یک سد را به اتمام رسانند. هزینه های نسبتاً بالا و تنوع و پیچیدگی عوامل دخیل در طرح و بررسی صدها و نیز نیاز به افزایش روز به روز ارتفاع باعث گردیده تا ضمن در نظر گرفتن ضریب اطمینان کافی توسعه فزاینده ای در روش های طرح و اجرا به خصوص در چند دهه گذشته صورت پذیرد.

تاریخ ساخت سد را بایستی به تاریخ تمدن بشر نسبت داد. قدیمی ترین سد شناخته شده سد el.kafara در مصر بر روی رودخانه Wadie-Garawi است که در ۲۸۰۰ سال قبل از میلاد برای تامین آب آشامیدنی و کشاورزی ساخته شده است. بدنه سد مذکور را سنگ بدون ملات تشکیل می داد که وزن سنگ مقاومت و تعادل سنگ ها را در مقابل نیروی وارده ایجاد می نمود و لذا این سد که آب بندی لازم را نداشت پس از مدت کوتاهی خراب شد. حدود ۱۰۰۰ سال بعد تمدن های به وجود آمده در زمینهای حاصلخیز بین رودخانه Tigres و Euphrates، بساخت یک سیستم پیچیده از سدهای انحرافی و کانالهای آبیاری نیازهای آبی خود را جهت کشاورزی تامین می نمودند. بسیاری از این سدها کوتاه و عموماً خاکی یا چوبی بوده تعداد کمی از آنها برای ذخیره آب ساخته شده بودند. در بررسی تمدنهای ایران باستان و روم قدیم نیز پیشرفتهای قابل ملاحظه ای در صنعت سدسازی مشاهده می شود. استفاده از سیمان، بتون و بتون ملح برای ساخت سدها به اوایل قرن بیستم بر می گردد و از آن تاریخ به بعد ساخت سدهای بتونی به سرعت توسعه پیدا کرد. پیشرفت علم و فناوری ساخت باعث شد تا سخت ترین مکان و حتی زلزله خیزترین مناطق نیز سدهای با ارتفاع بلند به اجرا درآیند که در این زمینه می توان به تجربیات آمریکا و ژاپن نظیر ساخت سدهای pon pedro با ۱۷۳ ارتفاع New melonos با ۱۹۱ متر ارتفاع Shasta با ارتفاع ۱۸۳ متر اشاره نمود.

تعریف سد:

هر مانعی که در مسیر جریان آب قرار گیرد و باعث شد تا ارتفاع آب در بالا دست آن افزایش یافته مقداری آب ذخیره گردد «سد» نامیده می شود. پس سد عبارت است از سازه ای که در عرض رودخانه جهت ذخیره و افزایش ارتفاع آب ساخته می شود.

ارتفاع از ساخت سد:

در یک تقسیم گسترده هدف از ساخت سد را یک یا چند مورد از موارد زیر تشکیل می دهد.

۱- کشاورزی (تامین آب مورد نیازی کشاورزی، احیاء آرازی موات و نیمه موات)

۲- تامین آب شرب و بهداشتی مردم

۳- مصارف صنعتی در رفع- نیازهای مربوط

۴- کنترل سیلاب و تنظیم جریان رودخانه ها و سیلاب ها

۵- نیروگاه های برق- آبی

۶- افزایش ارتفاع جهت انحراف آب

۷- کشتیرانی و حمل و نقل

۸- حفظ محیط زیست حیوانات وحشی

انواع سدها:

سدها را می توان براساس معیارهای مختلف تقسیم بندی نمود ازجمله این معیارها عبارتند از:

- | | |
|------------------------------|--------------------|
| ۱- نوع استفاده و بهره برداری | ۲- طراحی هیدرولیکی |
| ۳- مصالح بدنه | ۴- سختی |
| | ۵- رفتار سازه ای |

انواع سدها بر اساس نوع بهره برداری:

- | | |
|---------------------------|------------------|
| ۱- سدهای مخزنی (ذخیره ای) | ۲- سدهای انحرافی |
| ۳- سدهای تاخیری | ۴- سدهای موقتی |

سدهای مخزنی (ذخیره ای) Storage dams:

آب را در موسمه های بارانی و در زمان های پر آبی رودخانه که مازاد بر مصرف در آن جاری است ذخیره کرده تا در طول سال به تناسب افزایش مصرف مورد نیاز مورد استفاده قرار گیرد. این نوع سد معمولترین و رایجترین آن بوده خود می تواند بر حسب هدف از ذخیره نظیر تامین آب کشاورزی با صنعت و شرب، پرورش ماهی و حفظ محیط زیست حیوانات، تولید برق آبی و طبقه بندی می گردد.

سدهای انحرافی Diversion Dams:

در این حالت با ایجاد سد و افزایش ارتفاع، امکان انحراف آب از یک مسیر فعال به کانال یا مسیر غیر فعال مورد نظر را فراهم نماید عموماً برای توسعه کشاورزی و تامین مصارف شهری و صنعتی به کار می رود سرریزها از جمله این گروه هستند.

سدهای تاخیری Delention Dams:

این نوع سدها برای کنترل سیلاب و ایجاد تاخیر و تعویض در جریان ساخته می شوند. لذا با ذخیره مقداری از سیلاب مقدار دبی اوج سیلاب تقلیل و زمان رسیدن آن به نقطه مورد نظر را افزایش می دهند. سدهای تاخیری معمولاً دارای ارتفاع و حجم ذخیره کم بوده که آب محبوس شده در بالا دست منتقل شده منطقه پایین دست از صدمه احتمالی سیلاب در امان می ماند.

سدهای موقتی Tempoary Dams:

سدهای موقتی یا coffer Dams در حقیقت عبارتند از یک حصار موقت در اطراف محوطه کارگاهی تا به جلوگیری از ورود آب و سیلابهای محتمل به محوطه کارگاهی بتوانند محیطی خشک برای اجرای عملیات سد سازی را فراهم آورند. معمولاً این نوع سدها تحت عنوان «فرازبند» در بالا دست سد اصلی (و گاه به عنوان قسمتی از سد اصلی) و جهت انحراف آب به داخل تونل (یا کانال) انحراف ساخته شده و گاه لازم است تا در پایین دست سد اصلی نیز به منظور جلوگیری از برگشت آب به سمت بالا دست در محوطه کارگاه تحت عنوان «تشیب بند» ساخته شوند.

در مواقعی که جریان رودخانه در زمان سخت قابل ملاحظه نباشد آب به وسیله یک مسیر فرعی از کنار محوطه کارگاه و یا بوسیله یک فرازبند و پمپاژ از منطقه خارج می گردد.

انواع سدها بر اساس طراحی هیدرولیکی:

۱- سدهای آبریز overflow Dams

۲- سدهای غیر آبریز Non-overflow Dams

سدهای آبریز overflow Dams:

که در این صورت اجازه داده می شود تا آب از روی تاج سد عبور نماید اینچنین سدها بایستی از مصالحی ساخته شوند که در اثر عبور جریان آب شسته نشده بتوانند پایداری سد را حفظ نمایند. نظیر بتن، مصالح بنایی، فولاد و چوب، در اکثریت سدهای وزنی، قسمتی از طول تاج به صورت آبریز (سرریز سد) و بقیه به صورت غیر آبریز عمل می نماید. گاهی نیز در سدهای کوتاه تمام طول تاج سد در حالت آبریز عمل می کند.

سدهای غیر آبریز Non-overflow Dams:

یک سد غیر آبریز به گونه ای طراحی می گردد که آب از روی تاج آن عبور ننماید و دراین صورت می توان هر مصالحی نظیر بتن، مصالح بنایی، خاک، سنگریزه و چوب (الوار) را در ساخت آن بکار برد. در این حالت نیز برخی از سدها (نظیر اکثریت سدهای وزنی) به گونه ای ساخته می شود که قسمتی از آنها غیر آبریز و مابقی آبریز باشد. گاهی طراحی سد به گونه ای انجام می پذیرد که تا طغیان های خاصی از رودخانه فقط سرریز سد عمل نماید و برای طغیان بالاتر سرریز و سد (تاج سد) توأمآ آب را از روی تاج خود عبور دهند نظیر برخی از سدهای موتی.

انواع سدها بر اساس نوع مصالح بدنه:

در این حالت که یکی از رایجترین انواع مهم تقسیم بندی می باشد. انواع سدهای زیر معرفی می شوند:

۱- سدهای خاکی: که از خاک ساخته شده اند.

۲- سدهای سنگی (سنگریزه ای): که مصالح تشکیل دهنده بدنه آنها، سنگهای درشت دانه هستند.

۳- سدهای بتنی: در این نوع بدنه سد از بتن و یات بتن ملح ساخته شده است.

۴- سدهای با مصالح بنایی: که از مصالح بنایی نظیر سنگ و ملات ماسه سیمان و گاه رویه بتنی برای ساخت سد استفاده می شود.

۵- سدهای چوبی (الواری) و فولادی: که به ندرت برای ارتفاع محدود یا استفاده از مصالح چوب و یا فولاد ساخته می شود.

۶- سدهای لاستیکی: سدهایی با ارتفاع کم (حدود ۶م) هستند که اخیراً و به صورت محدود مورد استفاده قرار گرفتند. سد لاستیکی از ورقه لاستیکی با مقاومت کششی بالا ساخته شده که با دمیده شدن هوا و یا وارد کردن آب به داخل آن متورم شده و به صورت مانعی جلوی آب قرار می گیرد و هرگاه سیال مذکور از داخل دو لایه لاستیکی خارج گردد به صورت یک کفپوش در بستر رودخانه قرار گیرد.

انواع سدها بر اساس سختی:

۱- گروه سخت Rigid Dams

۲- گروه غیر سخت Pon-Rigid Dams

۱- گروه سخت:

بدنه امن سدها کاملاً سخت بوده تغییر شکل آنها در مقابل فشار آب و سایر نیروهای وارده بر سد بسیار کم است. سدهای سخت از مصالحی نظیر بتن، مصالح بنایی، فولاد و الوار ساخته می شوند.

۲- گروه غیر سخت:

این سدها در مقایسه با سدهای سخت از تغییر شکل پذیری بیشتری در اثر نیروهای وارده برخوردارند نظیر سدهای خاکی و سنگ ریزه ای.

انواع سدها بر اساس رفتار سازه ای:

تقسیم بندی حاضر، مهمترین تقسیم بندی سدهاست که در این حالت انواع سدها عبارتند از:

۱- سدهای خاکی: که مقاومت برشی خاک، ایستایی آن را در مقابل نیروهای وارده تامین می نماید عموماً برای جلوگیری از نشت آب از هسته های غیر قابل نفوذ یا نیمه نفوذپذیر نظیر هسته های رسی در داخل بدنه سد استفاده می کنند.

۲- سدهای سنگریزه ای: که شمایه سدهای خاکی است با این تفاوت که ابعاد دانه ها به مراتب درشت تر و به صورت سنگ می باشد با توجه به هدف از ساخت سد می تواند در داخل بدنه یا روی وجه بالا دست دارای یک پوسته مقاوم در مقابل نفوذ آب باشد و یا نباشد.

۳- سدهای وزنی: که وزن بدنه سد تعادل آن را در مقابل مجموعه نیروهای وارده حفظ می نماید:

۴- سدهای پایه دار: که بارهای وارده بر سد توسط یک پوسته به پایه ها و از آنجا به پی تو زمین منتقل می گردد.

۵- سدهای قوسی: که نیروهای وارده بر سد توسط یک بدنه انحناء دار به فونداسیون و سپس به سنگ زمین منقل می گردد.

۶- سدهای فولادی: که از یک قاب فولادی و یک صفحه فولادی روی وجه بالا دست آن تشکیل شده است این نوع سدها می توانند در شکل های گوناگون سازه ای ساخته شوند.

۷- سدهای چوبی (الواری): که نظیر سدهای فولادی از یک قالب چوبی و یک صفحه ساخته شده از الوار تشکیل شده اند. برای انتقال نیروهای وارده بر سد به زمین از سیستمهای مختلف می تواند استفاده گردد.

انواع سدهای بتنی:

آنچه که انواع سدهای بتنی را بیشتر از موارد از یکدیگر متمایز می سازد تقسیم بندی بر اساس نوع طراحی در رفتار سازه ای آنهاست که ذیلاً به آن پرداخته می شود:

۱- سد وزنی تو پر (یکپارچه)

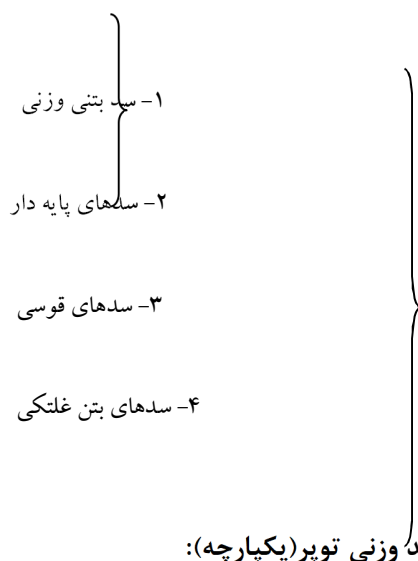
Solid Gravity Dam

۲- سد وزنی تو خالی (مجوف)

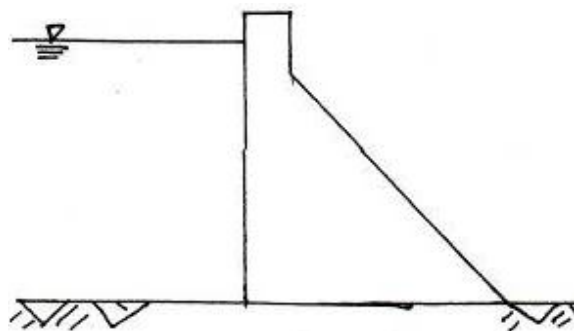
Hollow Gravity Dam

۳- سر وزنی دارای هسته (هسته دار)

Cored Gravity Dam



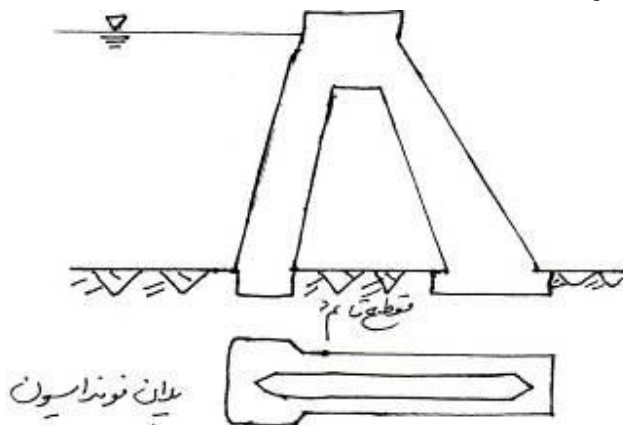
این نوع سد بدنه آنها به استثنای محل زهکشها و گالریها توپر و یکپارچه می باشد. بر این اساس وزن آنها نسبتاً سنگینتر اما اجرای ساده تری دارند. سد وزنی با این خصوصیات مهمترین و معمولترین نوع سدهای وزنی بوده کمترین هزینه تعمیرات را لازم دارد. سدهای وزنی توپر برای هر موقعیت مکانی مناسب هستند ولی ارتفاع آنها تابعی است از مقاومت سنگ کن.



مقطع یک سر وزنی تو پر

۲- سد وزنی تو خالی (مجوف):

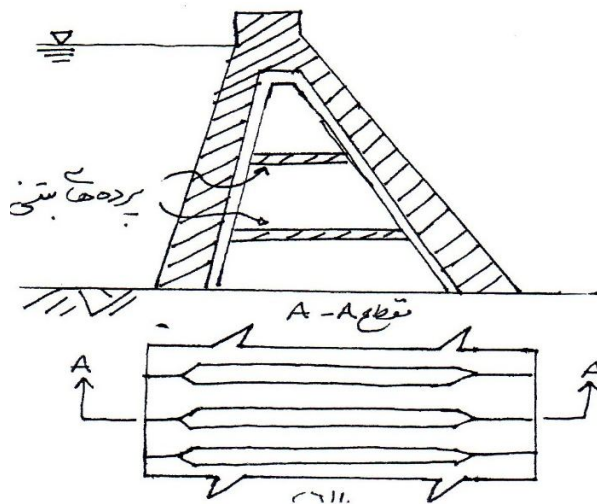
گاه برای کاهش وزن بتن مصرفی در سد و در مناطقی از بدنه سد وزنی که تنش کمتری به آن وارد می شود فضاهای خالی ایجاد می کنند که در این صورت سد را «سد وزنی تو خالی یا مجوف» می نامند این نوع سدها شبیه سدهای پایه دار بوده بیشترین آنها از بتن سطح ساخته شده اند. فضای خالی موجود در بدنه یا پایه ها می تواند برای قرار دادن دستگاه و سیستمهای احتمالی نظیر توربین ها و ... مورد استفاده قرار گیرد اگرچه سدهای وزنی مجوف بتن کمتری در مقایسه با سدهای وزنی توپر نیاز دارند اما مسائل اجرایی و امکان نیاز دارند اما مسائل اجرایی و امکان نیاز به ملح کردن بتن نسبت به سدهای وزنی توپر هزینه بیشتری را در بر دارد.



شمای یک سد وزنی تو خالی

۳- سد وزنی دارای هسته (هسته دار):

در اصل همان سد وزنی تو خالی است با این تفاوت که فضای خالی به جای آنکه در وسط قطع قرار گیرند در حد فاصل درزهای اجرایی ساخته می شوند و لذا مقطع هر بلوک بین دو درز اجرایی به شکل ۱ خواهد بود با دو بال در بالا دست و پایین دست.



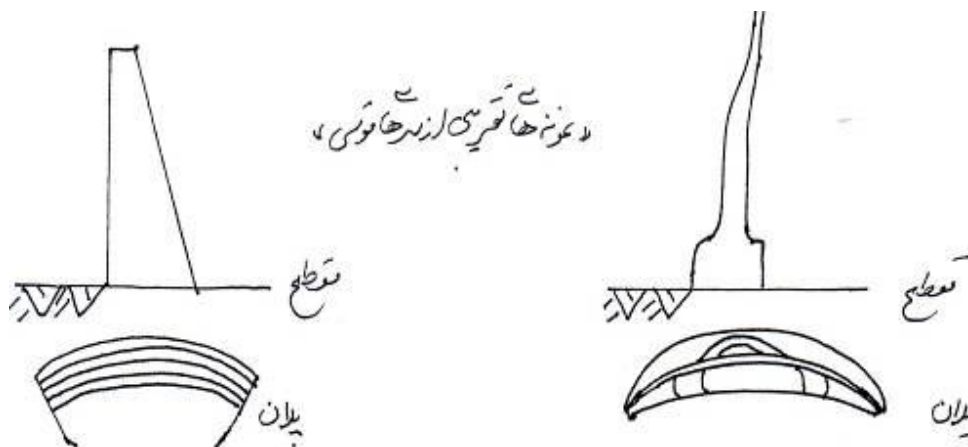
یک جان در وسط. شایان ذکر است که با توجه به مشکلات اجرایی سدهای وزنی تو خالی هسته دار و افزایش هزینه های آنها از برخی جهات و گاهدر مجموع در حال حاضر عموماً سدهای وزنی تو پر ساخته شده و لذا هرجا صحبت از سد وزنی شد مقصود سد وزنی تو پر می باشد.

سدهای پایه دار (پشت بند دار):

اگر بالهای پایین دست وزنی تو خالی یا هسته دار را حذف کنند سد پایه دار با پشت بند دار تشکیل می گردد. این نوع سد مرکب است از بال (پوسته) بتنی (مسطح یا چند قوسی) و تعدادی پایه که بارهای وارده بر بال یا پوسته را به فونداسیون و سنگهای کف منتقل می کنند. اگرچه بتن مصرفی در این سدها در حدود ۶۰ درصد بتن مصرفی در سدهای وزنی توپر است اما هزینه های ساخت و ملح کردن بتن و مشکلات سازه ای معمولاً جایگزین مصرف کمتر بتن می گردد. این سدها به خصوص برای مناطقی که سنگ کف از مقاومت یکپارچه برخوردار نیست مناسب هستند. انواع و جزئیات بیشتر سدهای پایه دار در فصل مربوطه توضیح داده می شود.

سدهای قوسی:

این سد در پلان دارای انحنا بوده به گونه ای که تحذب منحنی به سمت بالا دست می باشد. این نوع سد که برای دره های تنگ بسیار مناسب هستند عموماً بیشترین نیروهای وارده بر سد را به جناحین و قسمت کمی از آنها را به سنگ کف در بستر رودخانه منتقل می نماید. سدهای قوسی دارای انواع مختلف بوده و مقطع آنها نیز می تواند از یک مقطع تقریباً مثلثی تا یک قطع دارای انحنا تغییر کند. از قطر سازه ای گاه سد قوسی به صورت دو سد گیردار (و جناحین) و گاه به صورت سد طرف گیردار ساخته می شود که تمام این موارد تابعی از موقعیت دره و مجموع هزینه های لازم می باشند.



نمونه های تقریبی از سدهای قوسی

سدهای بتن غلتکی:

سدهای غلتکی R.C.C از جمله سدهای بتنی هستند که از حدود سال ۱۹۷۰ بیشتر به عنوان یک روش جدید در ساخت سدهای بتنی وزنی مطرح و به کار گرفته شده اند. از این روش همچنین می توان در باز سازی سدهای موجود استفاده نمود بتن غلتکی یا R.C.C عبارتست از بتنی که اسرامپ آن صفر بوده و به منظور حمل و پخش و تراکم آن از ماشین آلات عملیات خاکی استفاده می شود. این بتن باید آنقدر خشک باشد که بتواند تقریباً نظیر دانه های خاک به راحتی پخش شده و به وسیله ماشین آلات متراکم کننده نظیر غلتک متراکم گردد. از طرفی به منظور ایجاد چسبندگی بین سنگدانه ها بایستی به مقدار کافی مرطوب باشد تا شیره بتن پوشش لازم برای کلیه سنگدانه ها را فراهم نماید. لذا بتن غلتکی در حالت متراکم نشده تفاوت فاحشی با بتن معمولی داشته به گونه ای که در این حالت هیچگونه اثری از شیره بتن در مخلوط نمایان نیست. و مانند مصالح خاکی عمل می نماید ولی پس از متراکم شدن و سخت شدن همان بتن معمولی رفتار خواهد نمود.

بررسی و ارزیابی عمومی ساختگاه (انتخاب محل سد):

الف) توپوگرافی منطقه و ظرفیت مخزن: اولین عامل برای تعیین محل محور سد وجود دره ای مناسب است که بتوان سد را با طول محدود در داخل آن اجرا نمود. برای اقتصادی بودن و کاهش هزینه ها لازم است تا برای یک ارتفاع معین طول تاج تا حد امکان کوتاه و در مقابل ظرفیت مخزن حتی المقدور زیاد باشد بنابراین از لحاظ توپوگرافی منطقه ای مناسب خواهد بود که در محل محور تنگه سد کاملاً بسته و بالا دست آن کاملاً باز گردد. در صورتی که دو رودخانه در نقطه ای به هم پیوسته و تشکیل یک رود واحد را بدهند بهتر است که محور سد در پایین دست محل اتصال واقع گردد.

ب) فونداسیون، شرایط زمین ساخت ژئوتکنیکی

ج) هیدرولوژی و میزان رسوب

د) محل سرریز

محل سرریز:

سرریز سدها به طور معمول گرانترین و پر هزینه ترین سازه جانبی سد به شمار می آید هرچند که در اغلب سدهای بتنی می توان سرریز را بر روی خود بدنه ساخت اما وجود مناطق دیگری در منطقه که بتوان به راحتی سرریز را در آن قرار داد و یا از آنها برای ساخت سرریز اضطراری استفاده نمود. می تواند امتیازی برای محل احداث سد به شمار آید و لذا در مطالعات باید موقعیتهای مناسب برای احداث سرریز در قطر قرار گرفته شود.

ه) وجود مصالح ساختمانی مناسب

و) انحراف مسیر رودخانه

ز) آب بندی مخزن و پایداری دیواره ها: یکی از مهمترین اهداف سد نگهداری و ذخیره آب می باشد. به طور کلی ارزیابی کامل زمین شناسی برای این منظور به ویژه در سازنده های کارستی و موارد مشابه و همچنین در مناطقی که سابقه معدن کاری وجود دارد لازم است. بر حسب ضرورت لازم است که کناره های مخزن خصوصا مناطقی که با اشباع شدن سطوح زیرین آنها امکان ناپایداری دارد از نظر پایداری کاملا بررسی شوند ناپایداری در دیواره های مخزن می تواند خطرات بالقوه زیادی از جمله کاهش حجم ذخیره و یا تولید امواج بزرگ در مخزن را سبب گردد.

ح) خسارت مخزن محل مناسب برای تجهیز کارگاه و امکانات رفاهی

ط) پیامدهای زیست محیطی

بررسی عوامل موثر بر انتخاب نوع سد:

از جمله عوامل موثر مهم که در انتخاب سد تاثیر می گذارند عبارتند از:

الف) شرایط زمین شناسی و پی سد، عمق آبرفت (ب) مصالح ساختمانی

ج) عوامل هیدرولیکی (د) اقتصاد طرح

الف) شرایط زمین شناسی و پی سد:

از جمله موارد مهم در این مبحث میزان تغییر شکل پذیری، میزان باربری آن و عمق آبرفت می باشد. تنش بوجود آمده در پی سد باعث تغییر شکل آن گردیده و بستگی تام به میزان باربری و پی و خصوصیات ژئومکانیکی آن دارد. در حالت کلی دره ها را بر

حسب نسبت عرض دره در تراز تاج سد (B) به ارتفاع کلی سد (H) به سه گروه تقسیم می کنند که بر این اساس اگر $\frac{B}{H} > 6$

باشد دره را عریض و در حالت $3 \leq \frac{B}{H} \leq 6$ دره را باریک و در موقعیت $\frac{B}{H} < 3$ دره را تنگ (گلوگاه) می نامند. سدهای قوسی

را باید در دره های تنگ و بستر تنگی سالم احداث نمود و جناحین باید قادر به تحمل و جذب نیروهای رانشی وارده باشند در صورتی که در دره های عریض و به دلیل عدم امکان بروز عملکرد قوسی سازه شرایط مناسب احداث سد قوسی وجود خواهد داشت لذا دو شرایط عمده و اساسی برای احداث سد قوسی یک تنگ بودن دره و دیگری سالم و مقاوم بودن سنگ بستر و جناحین می باشد. در این راستا تجربه نشان داده که در مناطقی که نسبت عرض دره در تراز تاج سد (B) به ارتفاع کلی سد (H) کمتر از ۳ باشد عموما سد قوسی مناسب ترین گزینه است ولی با توجه به سایر شرایط حاکم بر اقتصاد سد گاه در دره های عریض تر و تا نسبت

$\frac{B}{H} = 10$ نیز از سد قوسی استفاده شده است. در صورتی که شرایط مناسب برای احداث سد قوسی وجود نداشته باشد بایستی سد

وزنی را مورد مطالعه قرار داد که معمولا در دره های با نسبت B به H بیش از ۳ و حتی بیش از ۲/۵ مطرح می شوند و در اکثر موارد برای نسبت عرض دره در تراز تاج به ارتفاع بیش از ۶ اقتصادی هستند. با توجه به اینکه در این نوع سدها وزن سد عامل تعدادی سد در مقابل نیروی وارده هست می بایست سنگ کف دارای مقاومت مناسب و تقریبا یکسان باشد و در صورت ضعیف بودن فونداسیون، امکان تقویت آن بررسی شود. همچنین عمق آبرفت باید در حد معقولی باشد (کمتر از حدود ۶ تا ۹ متر) و برای اعماق زیاد آبرفت، گزینه های سد خاکی یا سنگریزه ای مطرح می شوند. در صورتی که پی سد دارای مقاومت مناسب ولی غیر یکسان باشد می توان انواع سدهای پایه دار یا پشت بند دار را مورد نظر قرار داد و متناسب با تغییرات باربری پی موقعیت و محل پایه ها را تعیین نمود و به طور کلی در حالاتی که طول سد وزنی نسبتا زیاد باشد سدهای پایه دار عموما اقتصادی تر می باشند.

ب) مصالح ساختمانی:

وجود مصالح ساختمانی مناسب جهت تامین سن و ماسه بتن در نزدیکی محل سد می تواند عامل تعیین کننده نوع سد بتنی باشد در هر حال این عامل به عنوان یک عامل اقتصادی می تواند مطرح شود که اقتصاد طرح تعیین کننده است.

ج) عوامل هیدرولیکی:

گاهی اوقات مجموعه عوامل هیدرولیکی نظیر وجود گردایان هیدرولیکی، مشخصات سرریز سیستم انحراف و ... می توانند بر روی نوع سد تاثیر بگذارند به عنوان مثال در سدهای خاکی که مقادیر گردایان هیدرولیکی باید کم باشد در حالیکه مقدار آن برای سدهای وزنی، قوسی، پشت بند دار می تواند بزرگتر انتخاب شود و یا مشخصات سرریز برای هر نوع سد باعث تغییر هزینه ها خواهد گردید که می تواند به عنوان یکی از عوامل موثر بر اقتصاد طرح بررسی گردد.

د) شرایط اقتصادی:

مهمترین عامل و به عبارتی شاید عامل نهایی تعیین کننده نوع سد بتنی میزان هزینه احداث سد می باشد که عوامل مختلفی بر آن اثر می گذارد به عنوان مثال حجم بتن در سدهای وزنی نسبت به سدهای پشت بند دار و قوسی بسیار بیشتر است ولی هزینه های مربوط به قالب بندی و اجرای آن کمتر می باشد. از آنجا که مجموع عواملی که بر اقتصاد طرح تاثیر می گذارند بسیار متنوع می باشد. لازم است برای هر نوع سد و با توجه به چگونگی تاثیر و یا مشخصات هر عامل مجموع هزینه احداث برابر گردیده و پس مقایسه بین گزینه های مختلف به عمل آید.

ارتفاع نرمال و یا تراز عادی Normal Reservoir level:

حداکثر سطح آب در تراز تاج سرریز (و یا بالاترین تراز دریاچه روی سرریز اگر سرریز دارای دریاچه باشد) ارتفاع نرمال یا تراز عادی آب می نامند که اگر سطح آب در مخزن از این بالاتر رود از روی سرریز (و یا از روی دریاچه کنترل کننده ارتفاع آب در روی سرریز) به سمت پایین دست سد جاری می گردد بنابراین رقوم آب در تراز بلایا فاصله پایین تر از آستانه سرریز (یا آستانه دریاچه روی سرریز) به این نام موسوم است.

تراز حداکثر آب:

بالاترین تراز آب در زمان سیل طرح که پایداری سد بر اساس آن مورد مطالعه قرار می گیرد تراز حداکثر آب نامیده می شود.

تراز حداقل آب Minimum Reservoir Level:

عبارتست از: پایین ترین تراز که آب مخزن می تواند در شرایط بهره برداری عادی به آن برسد این تراز حد زیرین ذخیره قابل استفاده به شمار می رود.

ارتفاع آزاد Freeboard:

ارتفاع آزاد یا ارتفاع قائم آزاد (که گاه پیشانی سرریز نامیده می شود) عبارت است از فاصله قائم بین یک تراز مشخصی از آب تا تاج سد. عموماً در سدها ارتفاع آزاد را فاصله قائم بین حداکثر تراز آب مخزن (در زمان سیل طرح) و تاج سد در نظر می گیرند یا به عبارتی ارتفاع خالی مخزن از محل حداکثر سطح آب تا بالاترین نقطه ای که مانع خروج آب از روی سد می گردد ارتفاع آزاد نام دارد. در عمل معمولاً تراز تاج سد یا مقطع بدون روگذاری را برتر از حداکثر سطح آب مخزن منطبق گرفته و از دیواره ای (Parapet) در بالا دست تاج سد به ارتفاع ۱۱۰cm (۳/۵ فوت) به عنوان ارتفاع آزاد استفاده می نماید. مقادیر بیشتر از ۱۱۰cm نیز حسب مورد و بر اساس محاسبات مربوط به ارتفاع موج می تواند انتخاب می گردد. گاه دو نوع ارتفاع آزاد برای سدها تعریف می شود که بر این اساس فاصله بین تراز نرمال تا تاج سد را (ارتفاع آزاد ناخالص) و (یا ارتفاع آزاد نرمال) و فاصله بین حداکثر تراز آب

تا تاج سد یا بالای Parapet را (حداقل ارتفاع آزاد) می نامند. به طور کلی ارتفاع آزاد به منظور جلوگیری از سر ریز شدن و پاشیده شدن آب بر روی تاج سد و بدنه آن در پایین دست در نظر گرفته می شود به گونه ای که بدین وسیله چنانچه در زمان حداکثر سطح آب بر مخزن موجی اتفاق افتد و یا دبی سیلاب به اندازه مختصری نسبت به دبی طرح افزایش یابد از تاج و بدنه سد در پائین دست محافظت به عمل می آید.

ارتفاع مرده Dead capacity level:

ترازی از مخزن که به حجم رسوبات وارد شده به مخزن را در طول زمان بهره برداری سد نشان می دهد به این نام موسوم است.

حجم کل مخزن Total capacity:

کل حجم آبی که در حد فاصل بستر رودخانه (در شروع بهره برداری) و تراز نرمال آب می تواند جمع شود و قابل ذخیره است را حجم کل مخزن یا (ظرفیت کلی) نامند.

حجم مرده Dead capacity:

حجمی از مخزن که در نهایت توسط رسوبات اشغال می گردد. و در زمانهای قبل امکان خروج آب آن قسمت به صورت ثقیلی نمی باشد به حجم مرده یا «ذخیره مرده» موسوم است.

حجم زنده Live capacity (storage):

قسمتی از حجم آب مخزن که در حد فاصل ارتفاع مرده و تراز نرمال آب قرار دارد و می توان آن را به صورت ثقیلی خارج نمود حجم زنده یا حجم مفید یا ظرفیت مفید نامیده می شود و بدیهی است این حجم معادل حجم کل منهای حجم مرده می باشد.

حجم اضافی یا سربار Surcharge storage:

عبارت است از حجمی از مخزن که در حد فاصل تراز نرمال آب و تراز حداکثر آب قرار دارد و در زمان سیل طرح، باعث ذخیره اضافی آب در مخزن و کنترل سیل می گردد.

حجم غیر فعال Inactive capacity:

حجمی از مخزن در بالای ارتفاع مرده است که آب در آن ذخیره شده و در شرایط عادی و طبیعی مورد استفاده قرار نمی گیرد بلکه در شرایط استثنایی و نظیر کم آبی شدید یا لزوم تعمیرات ساختمانی مورد استفاده واقع و سپس مجدداً پر می شود.

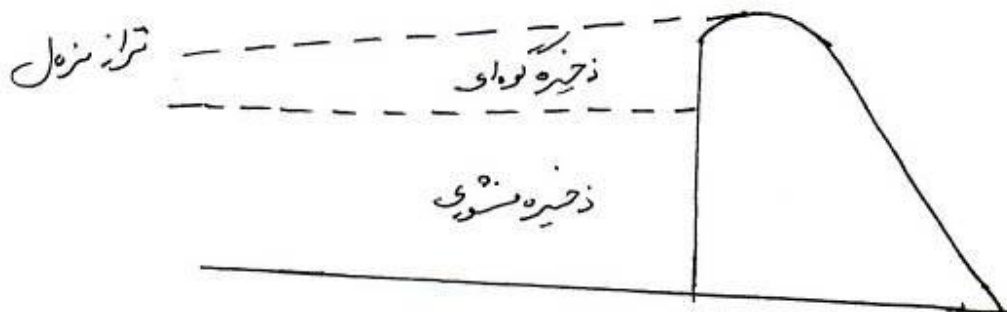
حجم فعال Active capacity و تقسیم بندی:

در یک تقسیم بندی حجم کل مخزن به دو قسمت «ذخیره منشوری» و «ذخیره گوه ای» تقسیم می شود بر اساس این نوع تقسیم بندی حجم ذخیره شده در حد فاصل بستر رودخانه و سطحی موازی بستر (از محل شروع دریاچه) را ذخیره منشوری و مازاد بر آن را ذخیره گوه ای می نامند.

حجم فعال: حجم یا ذخیره فعال قسمتی از حجم مخزن است که می تواند جهت استفاده های معمولی و نیز تنظیم دبی رودخانه و به تناسب نیاز و موقعیت مورد استفاده قرار گیرد و مجدداً پر می شود.

در حالت کلی ذخیره فعال می تواند به سه گروه تقسیم گردد: ۱- قسمت که در بالا قرار دارد برای وقوع سیل استثنایی استفاده می شود که معمولاً قبل از وقوع سیلاب تخلیه شده و مجدداً توسط سیلاب پر می شود که بدین وسیله حجم بیشتری از سیلاب در پشت سد ذخیره شده و با کاهش حداکثر دبی آن (برای پایین دست) و به تاخیر انداختن زمان این حداکثر دبی باعث کنترل بیشتر سیل و کاهش صدمات احتمالی ناشی از آن می گردد. این قسمت به «ظرفیت کنترل سیل استثنایی» و یا ظرفیت سیل استثنایی معروف است. منطقه دوم که «ظرفیت استفاده الحاقی» نامیده می شود هم برای استفاده های معمولی و هم برای تله اندازی سیلاب در فصول خاص استفاده می شود. منطقه سوم که پایین ترین منطقه بوده و «ظرفیت فعال حفظ محیط زیست» Active conservation capacity نامیده می شود و عبارت است از حجمی از ذخیره فعال مخزن که برای حفظ محیط زیست، پرورش

ماهی، حیات وحش، کشتی رانی، تفریحات و ... بکار برده می شود و در مواقع نیاز می تواند به مصارف شرب، کشاورزی، تولید برق، مصارف صنعتی و ... برسد.



ذخیره منشوری و ذخیره منشوری

نیروهای وارده بر سدهای بتنی:

اولین بررسی جهت طراحی سدها عبارت است از: تعیین کمیت و کیفیت نیروهای وارده بر سد که در حالت کلی عبارتند از:

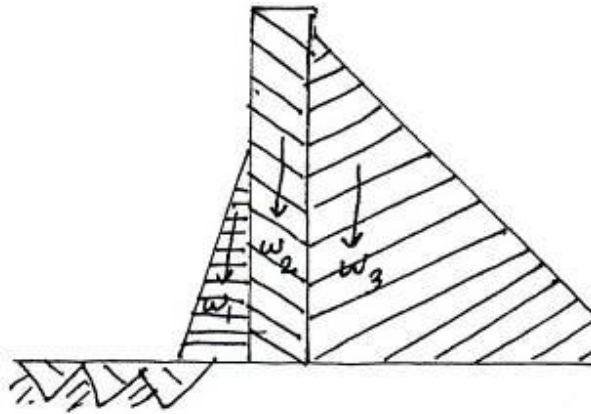
- ۱- نیروی وزن سد (وکاملا بار مرده)
- ۲- نیروی ناشی از فشار آب (سرآب و پایاب)
- ۳- نیروی ناشی از فشار خاک و لای (رسوبات)
- ۴- نیروهای بالا برنده
- ۵- نیروی ناشی زلزله
- ۶- نیروی موج
- ۷- نیروی ناشی از فشار یخ
- ۸- نیروی ناشی از تغییرات درجه حرارت
- ۹- نیروی باد

نیروی وزن سد (بار مرده) (Weight of Dam (Dead load):

بار مرده با توجه به وزن مصالح به کار رفته شده و در سد نظیر بتن، مصالح بنایی و نیز وزن سیستم ها و تاسیساتی نظیر دریچه ها، پل ها و ... به دست می آید. وزن مخصوص بتن یا مصالح بنایی با توجه به اطلاعات به دست آمده از نمونه هایی که برای ساخت سد

طرح می گردد معین شده و یا به طور تقریبی بین $\frac{2}{3}$ تا $\frac{2}{4}$ تن بر متر مکعب ($\frac{22}{5}$ تا $\frac{23}{5}$ $\frac{km}{m^3}$) در نظر گرفته می شود.

چنانچه بدنه سد دارای مصالح با مشخصات متفاوت باشد و به طور کلی در صورت عدم یکپارچگی در توزیع بار مرده، وزن هر قسمت در مرکز ثقل (و یا مرکز سطح در فضای دو بعدی) مربوط اثر کرده و مجموع آنها W در مرکز ثقل (و یا مرکز سطح) کل اثر می نماید. مرکز ثقل (مرکز سطح) کل را می توان با استفاده از مقادیر وزنهای جزئی و مختصات مرکز ثقل (مرکز سطح) هر یک به دست آورد همچنین در صورت نامشخص بودن مرکز سطح مقطع سد و علی رغم یکسان بودن وزن مخصوص مناسبتر است که مقطع را به اشکال هندسی ساده با وزن و مرکز سطح معین (نظیر مستطیل و مثلث) تقسیم نمود که وزن هر یک در مرکز سطح مربوط به خود اثر می نماید.



تقسیم بندی مقطع سد به اشکال هندسی ساده با مشخص کردن نیروی ثقل هر قسمت

نیروی ناشی از فشار آب:

الف) مقاطع غیر آبریز Non overflow sections

ب) مقاطع آبریز overflow sections

الف) مقاطع غیر آبریز:

فشار آب وارده بر سطح ها می تواند از قانون فشار هیدرو استاتیکی محاسبه گردد که بر اساس آن فشار وارده بر هر نقطه و هر عمقی از سد نظیر h ، معادن ارتفاع آب واقع در بالای آن. ضربدر وزن مخصوص آب (γ_w) می باشد که به صورت عمود بر سطح

تاثیر می نماید پس $P = \gamma_w h$

P : فشار عمود بر سطح در فاصله h از سطح آب است. اگرچه وزن مخصوص آب با تغییرات درجه حرارت تغییر می کند اما به علت

تغییرات کم از آن صرفنظر نمود و عموماً معادل $1000 \frac{kg}{m^3}$ و یا $(9/8 kn/m^3)$ در نظر گرفته می شود. در صورتی که بدنه سد

در بالا دست یا پایین دست قائم نباشد فشار آب می تواند به دو مولفه افقی و قائم تجزیه گردد که در این صورت مولفه قائم (p_v) عبارت خواهد بود از وزن حجم آبی که در بالا (یا پایین) بدنه قرار دارد و تاثیر آن به صورت قائم و رو به پایین (یا رو به بالا) خواهد بود و از مرکز ثقل حجم (یا مرکز سطح) مربوط می گذرد. بدیهی است مولفه افقی P_H و برای قطعه ای از سطح به طول واحد از

رابطه $P_H = \frac{1}{2} \gamma_w$ به دست می آید.

برای اعمال فشار ناشی از پایاب لازم است تا حداقل تراز محتمل در نظر گرفته شود. ارتفاع آب در بالا دست سد متغیر است که معمولاً دو حالت آن بیشتر مورد استفاده قرار می گیرد یکی زمانی که سطح آب در بالادست در تراز تاج سرریز می باشد و دیگری در حالتی که در زمان طغیان رودخانه سرریز با حداکثر ظرفیت خود عمل نموده و سطح آب در بالاترین موقعیت خود قرار دارد.

ب) مقاطع آبریز:

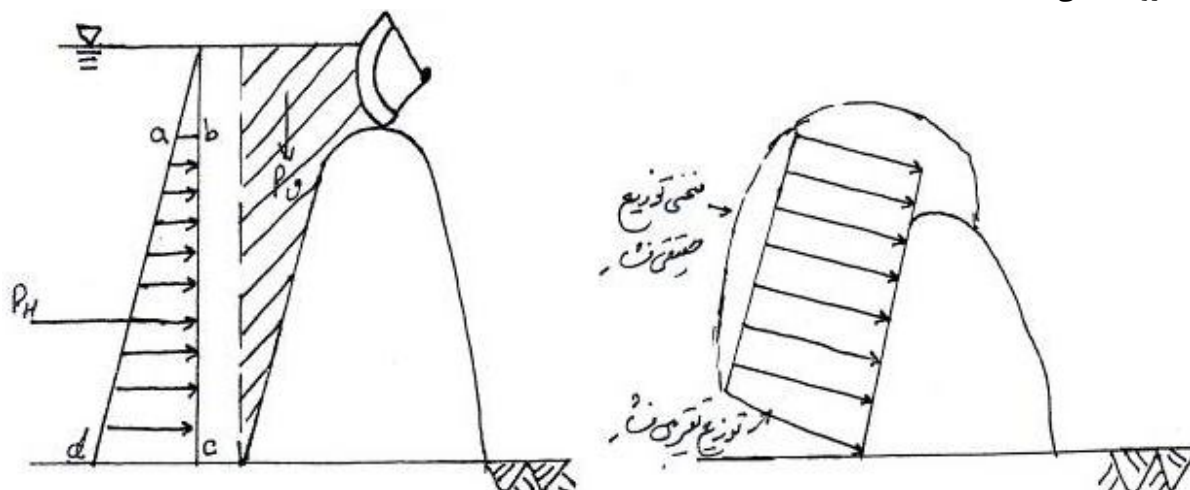
در مقاطعی از سد که به عنوان سرریز عمل می نماید دو حالت می تواند اتفاق افتد:

حالت اول زمانی است که سطح آب در مخزن سد در تراز نرمال یا معمولی (تراز تاج سرریز) در نظر گرفته می شود که در این صورت هیچ فرقی از نظر محاسبات با آنچه که در قسمت قبل گفته شد نمی باشد.

حالت دوم: چنانچه سطح آب در تراز بالاتر از تاج سرریز قرار داشته باشد در این حالت:

۱- اگر به دلیل بسته بودن دریچه های بالای سرریز، جریان آب خروجی وجود نداشته باشد مقدار نیروی افقی ناشی از فشار آب عبارت خواهد بود از نیروی حاصل از دوزنقه abcd که ضلع ab در تراز تاج سرریز قرار دارد و مقداری نیروی قائم P_v (در صورت شیب دار بودن بدنه بالا دست سرریز) وزن آب قرار گرفته در روی قسمت شیب دار می باشد.

۲- در صورت عبور جریان از روی سرریز (که معمولاً در زمان طغیان رودخانه صورت می گیرد) به دلیل انحنایی که در خطوط جریان در روی تاج سرریز وجود دارد توزیع فشار به صورت هیدرواستاتیکی نبوده و مقدار فشار ناچیزی نیز بر روی سرریز اثر می نماید. اما در این حالت هم برای سادگی و با تقریب کافی ضمن صرف نظر کردن از وزن آب روی تاج فرض می گردد. توزیع فشار هیدرواستاتیکی است.



چگونگی توزیع فشار روی یک سرریز
نیروی ناشی از فشار آب بر سرریز در حالت عدم خروج آب

برای محاسبه مقادیر فشار وارده بر سرریز و نیروهای مربوط در این حالت موقعیت کلی سرریز در نظر

گرفته می شود. چنانچه V_a سرعت نزدیک شدن آب سرریز باشد خط انرژی کل در فاصله $H_a = \frac{V_a^2}{2g}$ نسبت به سطح آب قرار

دارد لذا مولفه افقی نیروی ناشی از فشار آب که بر بالا دست سرریز و در واحد طول آن اثر می کند عبارت خواهد بود از

$$P_H = \gamma_w (H_1 + H_a)(H_2 - H_1) + \frac{1}{2} \gamma_w (H_2 - H_1)^2$$

بدیهی است که می توان دوزنقه abcd را به یک مستطیل و یک مثلث تقسیم نمود که در این صورت $P_H = P_{H1} + P_{H2}$ و محل

اثر آن تا کف از رابطه زیر بدست می آید $y = \frac{1}{3} (H_2 - H_1) \left(\frac{H_2 + 2H_1 + 3H_a}{H_2 + H_1 + 2H_a} \right)$ که تعیین مقدار و محل اثر هر یک از دو

نیروی PH_1, PH_2 نیز به راحتی سیر می باشد.

چنانچه V_a کوچک و قابل صرف نظر کردن باشد مقدار H_a در روابط فوق معادل صفر در نظر گرفته می شود. مقدار P_v که به عنوان مولفه قائم نیروی ناشی از فشار آب نشان داده شده است می تواند معادل وزن آب منشور گرفته شود که مقطع آن مثلث ABC و عمق آن واحد است و بر مرکز سطح مثلث ABC اثر می کند شایان ذکر است که وزن آب قسمتهای بالاتر از آن BC نظیر قسمت BC'DE به جهت حرکت آب به سمت سرریز بسیار ناچیز بوده و در محاسبات در نظر گرفته نمی شود. برای محاسبه نیروی ناشی از فشار آب در پایین دست باشد مقطع سرریز اگر حداکثر ارتفاع آب پایاب متصل به بدنه پایین دست باشد و جریان آب ضمن عبور از روی سرریز باعث دور راندن آن از بدنه سرریز نگردد عیناً مشابه به قسمت الف عمل می شود اما چنانچه حرکت

آب و پرش هیدرولیکی به وجود آمده باعث فاصله داشتن عمق H_4 از سرریز گردد فشار وارده H_4 را مد نظر قرار می دهند. می توان به صورت تقریب مولفه های افقی و قائم نیروی ناشی از این فشار دینامیکی را از روابط زیر به دست آورد:

$$P'_H = \frac{\gamma_w}{g} \cdot q \cdot v (1 - \cos \varphi) + \frac{\gamma_w H_3^2}{2}$$

$$P'_v = \frac{\gamma_w}{g} \cdot q \cdot v \sin \varphi + w$$

φ : زاویه وجه پایین دست

q : دبی در واحد طول

w : وزن آب محصور در حجم کنترل $a'b'c'd'$ ، سرعت متوسط آب روی سطح انحنا می باشد مقدار سرعت متوسط v تابعی از عوامل مختلف از جمله H_2, H_a, H_1, q و ضریب شدت جریان سرریز است و به صورت تقریبی می تواند از رابطه زیر به دست می آید:

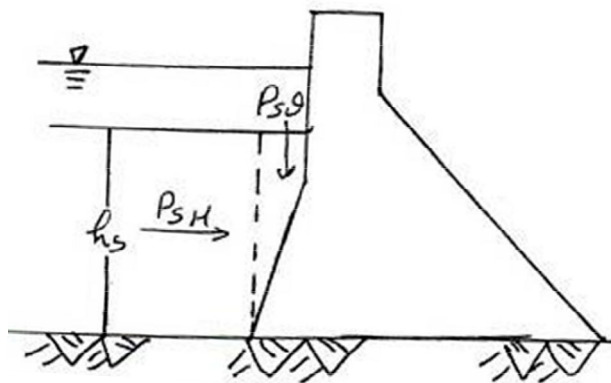
$$v \approx \sqrt{2g(H_2 - H_1)} \approx \sqrt{2gh}$$

h : ارتفاع سرریز

نیروی ناشی از فشار خاک و لای:

به طور کلی تمام رودخانه ها مقدار قابل ملاحظه ای لای (سیلت) را در مواقع سیلابی جمع کرده و در مخزن سد بدلیل کاهش سرعت و کم شدن قابلیت حمل رسوب ته نشین می کنند. چنانچه مقدار رسوبات جمع شده در پشت سد و در طول عمر مفید آن قابل ملاحظه باشد بایستی نیروهای وارده از آنها را برسد مد نظر قرار داد. در محاسبه نیروی ناشی از رسوبات فرض می گردد و لای به صورت اشباع کامل و غیر چسبنده بوده فشار بالابرنده، کامل و اصطکاک داخلی آن در اثر استغراق از بین نرفته است. فشار رسوبات به صورت افقی و وزن آنها به صورت قائم روی کناره های مایل بدنه بالا دست سد اثر می کند که بایستی به فشار وزن آب مربوط اضافه شود محاسبه نیروی رسوبات به دو طریق صورت می پذیرد چنانچه ارتفاع رسوبات پشت سد h_s فرض گردد مولفه های افقی نیروی مربوط از معادله Rankine به صورت زیر به دست می آید:

$$P_{sv}: \text{وزن رسوبات مستغرق روی قسمت شیبدار} \quad P_{sH} = \frac{\gamma'_s \cdot h_s^2}{2} \cdot \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi}$$



نیروی وارده بر سد ناشی از رسوبات

نیروهای بالا برنده:

آب موجود در بالا دست یا پایین دست سد که دارای فشار هیدرواستاتیکی می باشد می تواند به داخل خلل و فرج ترکها و درزها در قسمتهای مختلف بدنه سد و فونداسیون نفوذ نماید فشار آب در اعماق مختلف به صورت یک فشار هیدرواستاتیکی داخلی، بدنه و

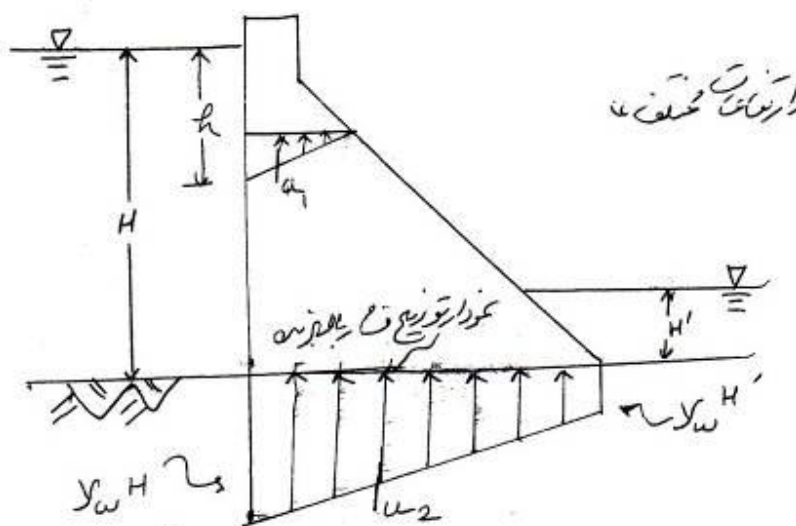
فونداسیون سد را از درون تحت تاثیر قرار داده و اگرچه فشار آب در تمام جهات عمل می نماید اما فشاری که در جهت پایین به بالا اثر می نماید به دلیل آنکه وزن سد را کاهش داده در جهت ناپایداری آن عمل می کند حساستر و با اهمیت تر است. آنچه در مقدار این فشار که به فشار بالا برنده موسوم است و نیروهای ناشی از آن موثر می باشد عبارت است از: خصوصیات مصالح به کار رفته در سد، جنس و خصوصیات سنگ فونداسیون، پرده های آب بند، شرایط و موقعیت زهکش ها و چگونگی ساخت سد و دقت در این امر به طور کلی می توان مقدار نیروی بالا برنده را تابع دو عامل اصلی دانست یکی ساخت یا در صد مساحتی از مقطع که نیرو روی آن اثر می کند و دیگری شدت فشار بالا برنده در نقاط مختلف که تغییرات فشار را از بالا تا پایین دست مشخص می نماید.

ضریب سطح Area factor:

پاره نظریات بر این استوارند که به دلیل عدم وجود خلل و فرج در تمام سطح مقطع افقی از سد فشار بالا برنده تنها در قسمتی از سطح افقی وجود داشته و نسبت این مقدار از سطح به کل سطح را ضریب سطح می نامند. در گذشته ضریب سطح را بین $\frac{1}{3}$ تا $\frac{2}{3}$ انتخاب می کردند.

شدت فشار بالا برنده:

شدت و میزان فشار بالا برنده در هر مقطع افقی از سد اعم از اینکه این مقطع در داخل بدنه سد و یا در حد فاصل بین سد و سنگ کف باشد تابع مستقیمی از عمق مقطع نسبت به سطح آب در بالا دست و پایین دست است. بر این اساس مقدار فشار در انتهای بالا دست مقطع معادل فشار هیدرواستاتیکی آب در آن عمق است و به همین دلیل مقدار فشار در انتهای پایین دست مقطع معادل فشار هیدرواستاتیکی آب پایین دست در عمق مربوط است. شکل پایین مطالب فوق الذکر را به صورت شماتیک نشان می دهد. که در این حالت مقدار کل نیروی بالا برنده و در هر مقطع می تواند به راحتی و با توجه به منحنی توزیع فشار محاسبه و محل اثر آن معین می گردد.

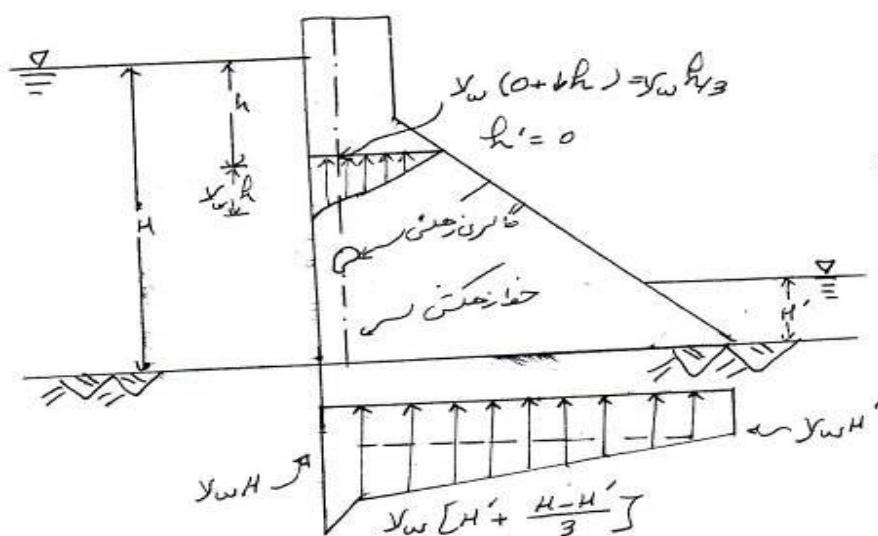


توزیع فشار بالا برنده در مقطع سد در ارتفاعات مختلف

در هر حال برای محاسبات و طراحی اولیه و یا با تقریبی برای محاسبات و طراحی نهایی معیار زیر توسط USBR برای حالت وجود زهکش فعال پیشنهاد و پذیرفته شده است.

۱- مقدار فشار بالا برنده در هر مقطع افقی از سطح و در راستای خط زهکش برابر است با فشار هیدرواستاتیکی پایاب در همان مقطع به اضافه $\frac{1}{3}$ تفاضل فشار هیدرواستاتیکی سراب و پایاب. در این صورت با توجه به منحنی های توزیع فشار مذکور در هر مقطع سد می توان با تقسیم شکل مربوط به اشکال هندسی ساده تر نظیر مثلث و مستطیل به راحتی مقدار کل نیروی بالا برنده و محل اثر آن را معین نمود.

۲- در صورتی که یک پرده آب بند را پرده تزریق در فونداسیون سد و در نزدیکی وجه بالادست آن ساخته می شود و این پرده تا اعماق فونداسیون ادامه یابد از مقدار شدت فشار بالا برنده به میزان قابل ملاحظه ای کاسته می گردد اگر مقدار فشار را درست در پایین دست پرده آب بند به صورت ضریبی از فشار بالا دست نشان دهیم مقدار آن معادل KH خواهد بود که K ضریب کاهش فشار معمولاً در فونداسیون سدها هم از پرده های آب بند و هم از زهکشها استفاده می شود که عملکرد توأم آنها باعث کاهش فشار بالا برنده می گردد.



چگونگی توزیع فشار بالا برنده در صورت وجود زهکش فعال

۳- چنانچه فشار بالا برنده در بالا دست سد $(k\gamma_w h)$ که ایجاد تنش کششی در سطح می نماید از مقدار برابند تنشهای فشاری سایر نیروها در آن نقطه بیشتر باشد. تنش کششی به وجود آمده باعث ایجاد ترک کششی در بالادست شده که با نفوذ آب از بالا دست به داخل ترک، توزیع فشار بالا برنده و در نتیجه مقدار نیروی ناشی از این فشار تغییر خواهد نمود و در طراحی سدها بایستی از ایجاد اینگونه ترکها جلوگیری نمود مگر برای حالت بار گذاری فوق العاده.

نیروی زلزله:

سدهایی که قرار است در نواحی زلزله خیز ساخته شوند بایستی به گونه ای طراحی گردند تا بتوانند در مقابل نیروهای ناشی از شدیدترین زلزله محتمل (mce) در طول عمر مفیدشان مقاومت کنند امواج به وجود آمده از زلزله باعث ایجاد نیروهای دینامیکی و لرزاندن زمین و پی سد گشته و نهایتاً می تواند در سد به عنوان یک سازه الاستیک تشدید ایجاد نماید. امواج زلزله ای که عموماً به علت حرکات پوسته زمین در امتداد گسل ها به وجود می آید از یک نقطه به نام مرکز زلزله در اعماق زمین شروع شده شتابی را در پوسته زمین باعث می شود و آن را در جهتی که موج حرکت می کند به حرکت در می آورند. در پاره ای موارد بخصوص برای ساخت سدهای بلند و حساس لازم است تا مطالعات لرزه زمین ساخت صورت پذیرد و پس شتاب زلزله برای طراحی معین گردد. شدت و شتاب زلزله معمولاً بر حسب ضریبی از شتاب ثقل (G) معین گردد و لذا اگر شتاب زلزله برابر αg در نظر گرفته شود α

ضریب زلزله نامیده می شود. برای سدها و با توجه به زلزله خیزی منطقه ضریب α از حداقل ۰/۰۲ تا حداکثر حتی ۰/۳ و معمولاً بین ۰/۱ تا ۰/۱۵ برای سدهای بلند در مناطق زلزله خیز تغییر می کند.

نیروی زلزله ناشی از وزن سد:

در اثر زلزله و امواج به وجود آمده از آن در جسم سد نوساناتی ایجاد شده که متناسب با وزن آن نیرویی به نام نیروی اینرسی به مجموعه نیروهای وارده بر سد اضافه شده خستگیهایی را در قسمتهای مختلف سد به وجود می آورد. به دلیل تقسیم شتاب به دو مولفه افقی و قائم نیروی اینرسی نیز دارای دو مولفه افقی و قائم است. نیروی اینرسی همیشه در جهت خلاف شتاب ثقل زلزله عمل می نماید. لذا چنانچه شتاب زلزله به سمت بالادست باشد نیروی اینرسی افقی به سمت پایین دست خواهد بود و بالعکس و همچنین برای شتاب قائم زلزله.

الف) اثر شتاب افقی زلزله:

از آنجا که سد برای بحرانی ترین حالت طراحی می شود و امواج برای زلزله خاصیت نوسانی دارند لازم است تا جهت نیروی افقی اینرسی برای بدترین شرایط در نظر گرفته شود در این صورت می توان دوقوعیت جداگانه برای سد در نظر گرفت: برای شرایط مخزن پر حالت بحرانی زمانی است که شتاب زلزله به سمت بالا دست و در نتیجه نیروی اینرسی ناشی از آن به سمت پایین دست باشد برای شرایط مخزن خالی بحرانی ترین حالت موقعی است که نیروی اینرسی به سمت بالا دست عمل نماید روشهای محاسبه نیروی کاذب را می توان به صورت زیر خلاصه نمود:

۱- روش اول: برای محاسبه نیروی اینرسی افقی عبارت است از $F_{eh} = \alpha_f W$

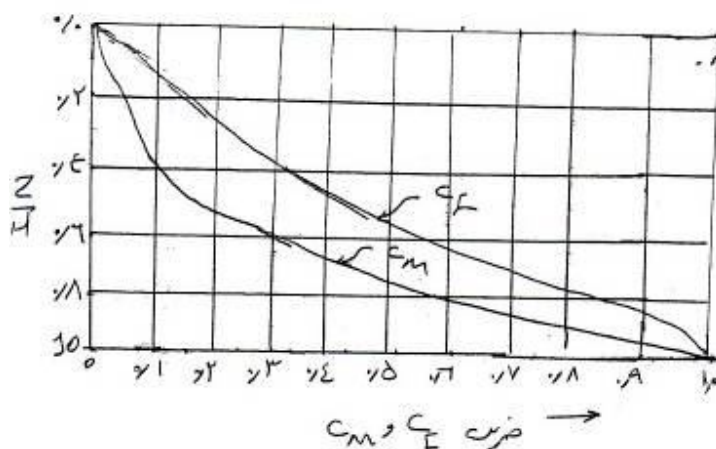
۲- روش دوم (ضریب لرزه ای): با این روش برای سدهای تا ارتفاع صد متری می توان مقدار ضریب α_h در ارتفاعات مختلف سد را متغیر فرض کرد که مقدار آن از $\alpha_f = 1/5a$ در تراز تاج سد شروع و به صورت خطی تا $\alpha_h = 0$ در پایه سد تغییر می نماید. مقدار نیروی اینرسی افقی برای هر قطعه از سد و برای کل سد می تواند به صورت انتگرال گیری محاسبه شود.

۳- روش سوم (طیف پاسخ): در این روش برای تحلیل سدهایی با ارتفاع بیش از صد متر به کار برده می شود مقدار α_h معادل α در نظر گرفته می شود. نیروی اینرسی افقی و لنگر مربوط حول پایین ترین مقطع بلوک برای هر قطعه از سد به ارتفاع Z از تاج آن از روابط زیر به دست می آید:

$$F_{hz} = 0/6 C_F \alpha_f W \quad M_z = 0/9 C_M \alpha_f . Z . W$$

که W: وزن مقطع Z: فاصله مرکز سطح بلوک تا تراز سطح آن

C_M, C_F ضرایبی هستند که بستگی بهمقدار $\frac{Z}{H}$ داشته.



تعیین نیروی اینرسی و لنگر مربوط

با توجه به شکل بالا مقدار کل نیروی اینرسی و لنگر آن حول پایهند عبارتند از:

$$F_{ch} = 0.6\alpha_f w$$

$$M = 0.9\alpha_f \bar{H} \cdot w$$

که \bar{H} فاصله مرکز سطح کل مقطع از بستر می باشد.

روش چهارم (روش دینامیکی): اگرچه روشهای مذکور به عنوان روشهای استاتیکی معادل برای تحلیل سدها در اثر نیروی زلزله پذیرفته شده است اما با توجه به ماهیت دینامیکی بدون این نوع نیروها توصیه می شود که پس از تحلیل اولیه سدها به روشهای فوق الذکر برای تحلیل نهایی از روشهای دینامیکی استفاده شود.

ب) اثر شتاب قائم زلزله:

تاثیر شتاب قائم زلزله در بدنه سد بتنی عبارت است از ایجاد یک نیروی اضافی درجهت بالا یا پایین که در محل مرکز ثقل قطعه (یا کل سد) و همراه با وزن آن اثر می نماید. روشهای محاسبه این مولفه هم درست شبیه روشهای تعیین مولفه افقی است با این تفاوت که به جای ضریب α_f بایستی ضریب α_v که شتاب قائم زلزله را نشان می دهد اعمال گردد. مقدار α_v در هر سه روش تقریباً

$$\text{معادل } \frac{1}{2}\alpha_h \text{ می باشد.}$$

لذا وزن اصلاح شده سد در حالت تاثیر نیروی قائم زلزله عبارت است از $w' = w \pm \alpha_v w = w(1 \pm \alpha_v)$.

نیروی زلزله ناشی از آب پشت سد:

۱- اثر مولفه افقی شتاب زلزله

۲- اثر مولفه قائم شتاب زلزله

۱- اثر مولفه افقی شتاب زلزله:

فشار اضافی وارد از آب به سد که در اثر شتاب افقی زلزله صورت می پذیرد فشار هیدرودینامیکی نامیده می شود. ارتعاشات ناشی از زلزله باعث ایجاد لرزش و حرکت در بدنه سد و فوندا سیون آن به سمت مخزن شده که آب موجود در مخزن به وسیله اینرسی خود در مقابل این حرکت مقاومت و فشار اضافی را بر سد وارد می نماید براساس پیشنهادات IS نشان می دهد که پخش فشار هیدرودینامیکی ناشی از زلزله بر بدنه سد تقریباً به صورت سهموی (نیمه سهموی- نیمه بیضوی) بوده و می توان از رابطه زیر برای پیدا کردن شدت فشار در هر مقطع به عمق Z از سطح آب استفاده نمود.

$$P_{ez} = C_e \alpha_f \gamma_w h$$

α_h : ضریب شتاب افقی زلزله نسبت به شتاب ثقل

h: کل ارتفاع آب در مقطع مطالعه و C_e : ضریب بدون بعدی که بستگی به ارتفاع آب، شیب بدنه بالا دست و مقدار Z دارد.

الف) در صورتی که شیب بدنه بالادست سد در تمام ارتفاع یکنواخت باشد مقدار C_e به وسیله معادله زیر تعیین می گردد:

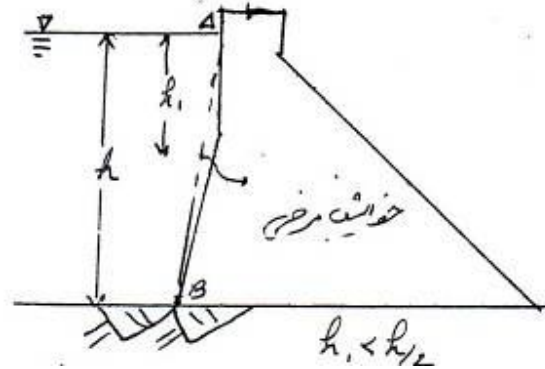
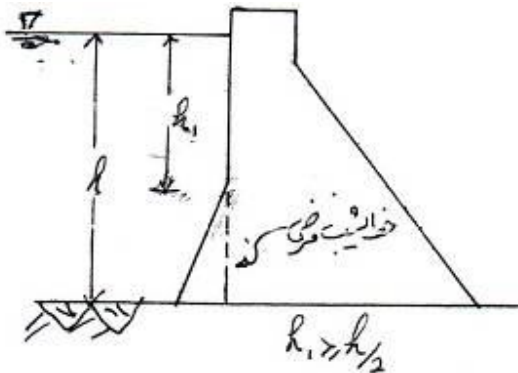
$$C_e = \frac{c_m}{2} \left[\frac{z}{h} \left(2 - \frac{z}{h} \right) + \left(\frac{z}{h} \left(2 - \frac{z}{h} \right) \right)^{1/2} \right]$$

C_m : حداکثر مقدار C_e برای یک شیب معین چراکه در عمق $z=0$ مقدار C_e معادل صفر بوده و در پایین ترین عمق جایی که

$z=h$ می شود $C_e = C_m$ خواهد شد.

$$c_m = 0.735 \left(1 - \frac{\phi}{90^\circ} \right)$$

ب) حال اگر قسمتی از بدنه بالا دست به ارتفاع h_1 از سطح آب قائم و مابقی آن شیب دار باشد در حالتی که $h_1 \geq \frac{h}{2}$ باشد مقدار C_m با فرض قائم بودن بالا دست تعیین می گردد. چنانچه $h_1 < \frac{h}{2}$ باشد برای تعیین C_m شیب فرضی خط مستقیم ab را که محل برخورد سطح آب ببدنه سد را به پاشنه سد متصل می کند ملاک قرار می دهند.



خط شیب فرضی برای وجه بالا دست سد در تعیین ضریب C_m

ج) باتوجه به مطالب فوق مجموع نیروهای افقی هیدرودینامیکی که در هر مقطع $a-a$ که به فاصله z از سطح آب اثر می کند پس از انتگرال گیری از رابطه زیر بدست می آید:

$$F_{ez} = 0.726 P_{ez}^z$$

نیروی F_{ez} تقریباً در فاصله $z = 0.141$ از مقطع $a-a$ و در بالای آن اثر می کند و در نتیجه سنگر ناشی از این نیرو حول مقطع مذکور عبارت می شود از:

$$M_{ez} = 0.299 P_{ez}^z z^2$$

د) اگر بدنه سد مایل باشد علاوه بر مولفه افقی مذکور، مولفه قائم نیروی هیدرودینامیکی نیز وجود خواهد داشت که باید محاسبه گردد. برای تعیین مقدار مولفه قائم این نیرو که بر قسمتی از بدنه سد واقع در بالای مقطع a اثر می کند از رابطه زیر بدست می آید:

$$v_e = (F_{e2} - f_{e1}) \sin \phi$$

ϕ : زاویه وجه بالا دست نسبت به خط قائم

F_{e2} : مولفه افقی که نیروی هیدرودینامیکی تا مقطع $a-a$

F_{e1} : مولفه افقی کل نیروی هیدرودینامیکی تا مقطعی که در آن شیب بدنه بالا دست شروع می شود.

اثر مولفه قائم شتاب زلزله:

آنچه در مورد اثر شتاب قائم زلزله بر بدنه سد گفته شد در مورد آب نیز صادق است بدین معنی که اگر بدنه بالا دست و یا پایین دست سد مایل باد وزن آب بالای قسمت مایل می تواند تحت تاثیر شتاب قائم زلزله افزایش و یا کاهش یابد این تغییر نیرو که محل اثر آن همان مرکز ثقل حجم آب قرار گرفته روی قسمت مایل است با آنچه در مورد مولفه قائم نیروی هیدرودینامیکی گفته شد متفاوت است. بایستی جداگانه محاسبه گردد.

نیروهای موج:

حرکت باد روی سطح آب دریاچه سد باعث ایجاد موج در برخورد با بدنه سد فشاری به نام فشار موج را بر آن وارد می کند. ارتفاع موج و نیز فشار حاصله از آن تابع عوامل مختلفی از جمله سرعت باد، وسعت دریاچه و عمق آب است که این عوامل در ارتفاع موج در میزان فشار مربوط موثر است.

حداکثر فشار موج که در فاصله $\frac{1}{8}h_w$ بالای سطح آرام آب اثر می کند بوسیله رابطه $P_w = 2/4 y_w h_w^2$ تعیین می گردد. و کل نیروی موج که بر واحد طول سد اثر می کند معادل است با:

$$F_w = 2y_w h_w^2$$

$$F_w = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{3} h_w + \frac{4}{3} h_w \right] . P_w = \frac{1}{2} \times \frac{5}{3} h_w \times 2/4 y_w h_w^2$$

روابط زیر می توانند برای تعیین ارتفاع موج مورد استفاده قرار گیرند:

$$h_w = 0/0322 \sqrt{F \cdot v} \quad F > 32km$$

$$h_w = 0/0322 \sqrt{F \cdot v} + 0/763 - 0/274 F^{1/4} \quad F \leq 32km \text{ برای}$$

نیروی ناشی از یخ:

در نتیجه هوای بسیار سرد دریاچه سد را پوششی از یخ فرا می گیرد که ضخامت آن تابعی از سردی هوا و شرایط جغرافیایی منطقه است با افزایش ناگهانی دریچه هوا، صفحه یخ که در روی دریاچه شکل گرفته است منبسط شده و از آنجا که ضریب انبساط یخ حدود ۵ برابر ضریب انبساط بتن است بدنه سد در مقابل انبساط اضافی یخ مقاومت کرده این امر باعث ایجاد فشار و خستگی هایی در بتن سد می شود مقدار نیروی ناشی از یخ تابعی است از ضخامت یخ قابلیت انعطاف پذیری دیواره های مخزن و نیز میزان شدت افزایش درجه حرارت. همچنین میزان شدت افزایش درجه حرارت و ناگهانی بودن آن در مقدار فشار وارده بر یخ و بر سد موثر است و به طور کلی افزایش های ناگهانی و زیاد فشارهای بیشتری را وارد می کند و در مقابل تدریجی بودن افزایش درجه حرارت، از مقدار فشار یخ می کاهد.

نیروی ناشی از تغییرات درجه حرارت:

تغییرات دما باعث تغییر در ابعاد و حجم سد شده که اگر سد از طرفین محصور باشد و یا تغییر ابعاد و تغییر شکل ها به یک میزان نسبت انجام نپذیرد در یک سری بارهای حرارتی بر سد وارد شده لازم است تاننش های حرارتی مربوط محاسبه و در تجزیه و تحلیل ها مد نظر قرار گیرد تنش های حرارتی می تانند در اثر عمل هیدراسیون سیمان در همان ابتدای ساخت سد نیز بوجود آیند و باعث ایجاد ترک هایی در بدنه آن گردند که برای جلوگیری از این امر و یا کاهش اثرات تخریبی آن لازم است تا تمهیداتی نظیر استفاده از سیستم خنک کننده به کار برده شود.

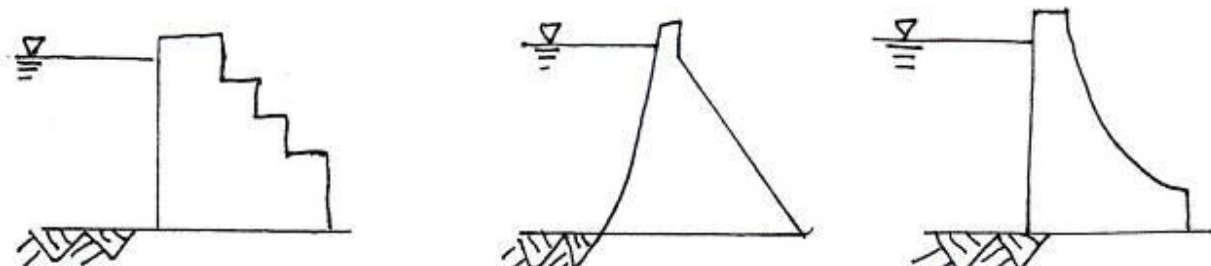
نیروی باد:

در صورت وزن باد فشاری از ناحیه باد بر قسمت هایی از بدنه سد که در بالا سطح آب قرار دارد وارد می شود. معمولاً در طراحی سدها از تاثیر نیروی ناشی از فشار باد صرف نظر می گردد اما در صورت قابل ملاحظه بودن می توان فشار مذکور را معادل ۱۰۰ تا ۱۵۰ kg بر متر مربع برای سطحی از سد که در مقابل باد قرار دارد (ارتفاع قائم آزاد) و نیز به خصوص برای پل و دریچه ها و سیستم هایی که به نیروی باد حساس هستند در نظر گرفت.

سدهای وزنی:

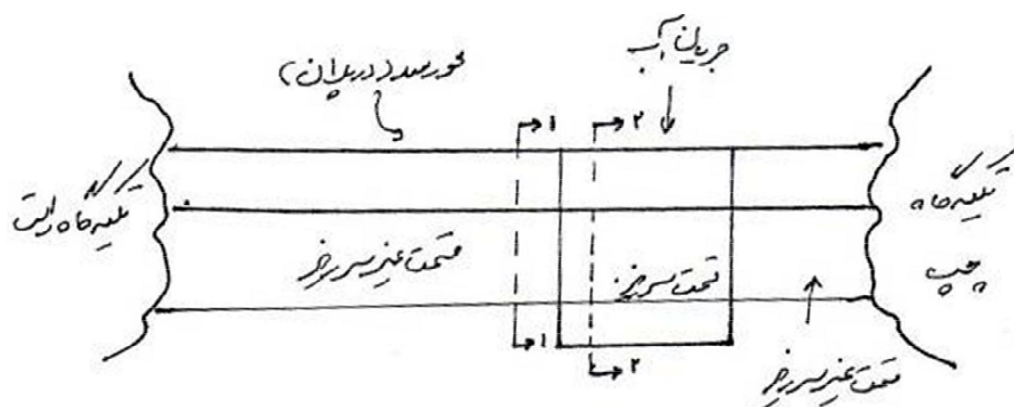
سدهای بتنی وزنی از جمله رایج ترین انواع سدهای بتنی هستند که بدلیل سادگی نسبی در طراحی و اجرا و همچنین به جهت آنکه معمولاً دره مناسب برای ساخت این سدها نسبت به سدهای قوسی بیشتر است مورد توجه خاص قرار گرفته اند. یک سد وزنی عبارت است از سازه ای سنگین ساخته شده از بتن یا مصالح بنایی که در عرض رودخانه به منظور افزایش حجم و ارتفاع آب در بالا دست خود ساخته می شود و شکل و طراحی آن به گونه ای است که وزن آن برای پایداری سازه در مقابل کلیه نیروهای وارده کافی

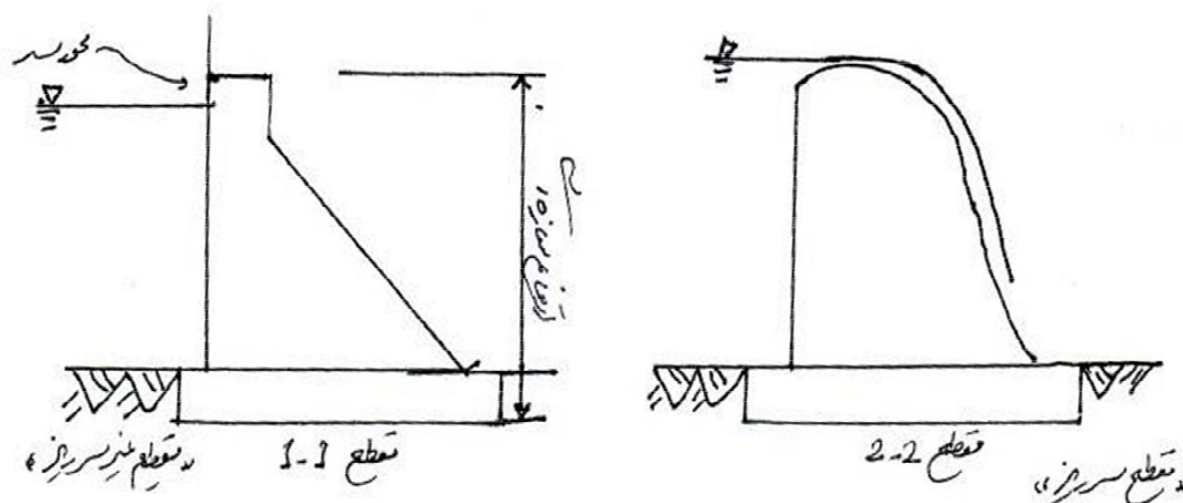
می‌باشد. اگرچه سدهای وزنی با شکل‌های مختلفی در مقطع ساخته شده‌اند. اما امروزه عموماً دارای مقطعی تقریباً مثلثی بوده که راس مثلث در بالا و قاعده آن در پایین قرار دارد. سدهای وزنی عموماً در پلان و در حد فاصل دو کناره دره به صورت مستقیم ساخته می‌شوند و لذا گاه آنها را سدهای وزنی مستقیم می‌نامند. چنانچه در مواقع محدود و به منظور افزایش پایداری و مقاومت مقداری در پلان به سد وزنی انحنا داده می‌شود (تحدب به سمت بالا، آن را «سد وزنی قوسی» می‌نامند که طراحی آنها مشابه سدهای قوسی بوده و همچنین سدهای وزنی را می‌توان بر حسب ارتفاع آنها به سدهای کوتاه تا (30m) متوسط بین (30m تا 100) و بلند (بیش از 100 متر) تقسیم نمود.



برخی از مقاطع سدهای وزنی که در گذشته مورد استفاده قرار گرفته است

سدهای بتنی وزنی عموماً از نظر اقتصادی نسبت به سایر انواع سدهای بتنی مناسب‌تر بوده و اجرای آنها ساده‌تر می‌باشد و گاه در پاره‌ای محل‌ها نظیر دره‌های نسبتاً تنگ و یا دره‌های دارای شیب تند و همچنین در مواقعی که خاک مناسب و کافی برای ساخت سدهای خاکی نباشد نسبت به آنها نیز مناسب‌تر و اقتصادی‌تر است در بیشتر سدهای وزنی سرریز سد در طول سد ساخته شده و لذا سد دارای دو نوع مقطع می‌باشد. مقطع «غیر سرریز» و مقطع «سرریز» که طراحی هر یک از آنها بدلیل تفاوت در بارهای وارده بایستی به صورت جداگانه صورت پذیرد. نسبت طول قاعده به ارتفاع در اکثر سدهای وزنی کمتر از ۱ بوده بدنه بالا دست قائم و یا دارای شیب بسیار کم و بدنه پایین دست عموماً دارای شیبی بین ۱:۰/۷ تا ۱:۰/۸ می‌باشد.

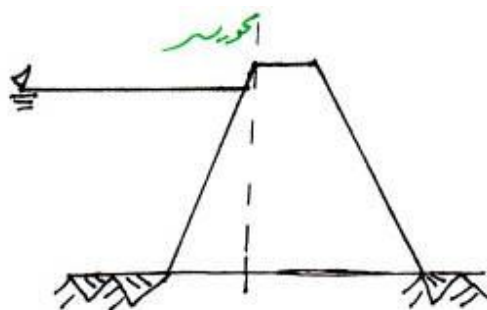




« پلان و مقاطع سر ریز »

محور سد Axisoh Dam:

محور سد عبارت است از صفحه قائمی که بر کناره بالا دست تاج سد بگذرد. بر این اساس چنانچه بدنه بالا دست سد قائم باشد محور سد بر بدنه بالا دست منطبق باشد. لذا محور سد در پلان همان خط لبه بالا دست تاج و در مقطع خط قائم عبور کننده از گوشه تاج در بالا دست خواهد بود.



محور سد وزنی در مقطع

ارتفاع سازه‌ای سد Structural Height of Dam:

ارتفاع سازه‌ای سد، اختلاف رقوم تاج سد و پایین‌ترین نقطه حفاری شده جهت فونداسیون می‌باشد شایان ذکر است ارتفاع سازه‌ای سد که عموماً ارتفاع سد نامیده می‌شود قسمت‌های خاصی از فونداسیون را که به دلیل ضعف‌ها و شرایط زمین شناسی مورد تقویت قرار می‌گیرند (نظیر قسمت‌های باریکی در زیر فونداسیون اصلی) در بر نمی‌گیرد.

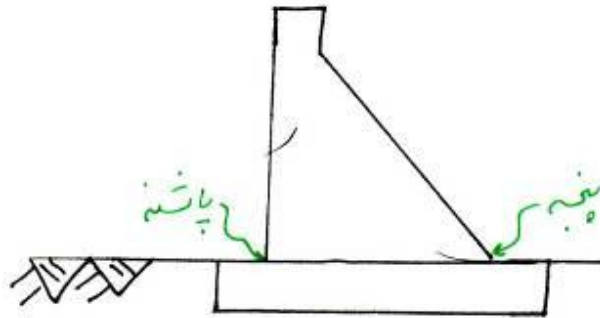
طول سد Length of Dam:

فاصله بین جناحین دره و یا تکیه‌گاه‌های چپ و راست در تراز تاج سد (شامل طول سرریز و سایر تاسیسات موجود) و در طول محور سد را طول سد می‌نامند. تکیه‌گاه‌های چپ و راست براساس موقعیت جناحین نسبت به فردی که در جهت جریان رودخانه

حرکت می‌کند نامگذاری می‌شوند. چنانچه سازه‌ها و تاسیسات وابسته نظیر سرریز، در یک سمت سد و متصل به یکی از تکیه‌گاه‌ها باشد در محاسبه طول سد طول سایر سازه‌ها به حساب نمی‌آید.

عرض بزرگترین قاعده Maximum Base width of Dam:

این عامل عبارت است از حداکثر فاصله افقی بین پنجه و پاشنه سد در بزرگترین مقطع آن در وسط دره



شمای کلی یک مقطع از سد وزنی

ارتفاع هیدرولیکی سد Hydraulic Height of Dam:

اختلاف بین حداکثر تراز آب کنترل شده یا تراز آب نرمال که همان تراز تاج سرریز نیز می‌باشد و پایین‌ترین نقطه از بستر رودخانه در محل سد را ارتفاع هیدرولیکی سد می‌نامند.

طراحی سدهای وزنی:

منظور از طراحی یک سازه عبارت است از تعیین مناسب‌ترین ابعاد و شکل به گونه‌ای که بتواند ضمن برآوردن اهداف ناشی از ساخت آن در مقابل کلیه نیروهای وارده مقاومت نمود پایداری خود \pm تا پایان زمان در نظر گرفته شده در اهداف حفظ نماید. بر اساس طرح و محاسبه یک سازه و به طور خاص یک سد بتنی وزنی شامل دو مرحله طرح اولیه یا مقدماتی و طرح نهایی می‌گردد. بدین معنا که اولین گام در طرح یک سد وزنی تعیین حدودی ابعاد و شکل هندسی سد است که با توجه به تجربیات و روش‌های تقریبی معین شده و سپس تحلیل سازه به منظور تعیین توزیع تنش‌ها و پایداری و نیز محاسبه ضرایب انجام می‌پذیرد. اگر نتایج حاصل از تحلیل جدید در محدوده‌های قابل قبول قرار نگیرد و یا نقش‌های وارده بر نواحی مختلف از حد خاصی کمتر یا بیشتر گردد و نیز چنانچه سایر عوامل کنترل کننده پایداری از مرزهای معین شده خارج شوند لازم است تا با تغییر ابعاد و شکل سد مناسب‌ترین حالت را پیدا نمود بدیهی است که این امر از طریق تکرار و با تغییر متوالی ابعاد و بررسی نتایج به دست آمده در هر تحلیل قابل دستیابی خواهد بود اضافه می‌نماید که همانگونه که طرح نهایی سد متکی به طرح اولیه آن می‌باشد طرح اولیه نیز بدون در نظر گرفتن عوامل موثر در تحلیل نهایی نمی‌تواند قابل قبول باشد. سد وزنی ممکن است به یکی از سه علل زیر سقوط نماید:

۱- لغزش روی یک صفحه افقی

۲- چرخش روی پنجه

۳- ضعف و مصالح ساختمانی

این لغزش و خرابی می‌تواند در محل اتصال سد به فونداسیون در پایین فونداسیون و را در هر سطح بالاتر از پی ایجاد شود لغزش و یا شکست برشی موقعی به وجود می‌آید که برآیند نیروهای افقی وارده بر هر صفحه افقی از سد از مقاومت برشی آن مقطع افقی تجاوز نکند. با انتخاب سطح مقطع مناسب می‌توان از چرخش سد و از تنش‌های فشاری و (احتمالاً کششی) اضافی جلوگیری نمود.

پایداری در مقابل چرخش و واژگونی:

اگر نتیجه تمام نیروهای وارده بر سد از خارج از قاعده (یا مقطع افقی) مربوط بگذرد سد واژگون خواهد شد مگر آنکه بتواند در مقابل تنش‌های کششی مقاومت نماید برای بررسی پایداری سد در مقابل واژگونی از ضریب اطمینان واژگونی (F_m) استفاده می‌شود و آن عبارت است از نسبت لنگر نیروهای مقاوم در مقابل واژگونی حول پنجه سد (یا مقطع) به لنگر نیروهای واژگونی نسبت به همان نقطه

$$F_m = \frac{\text{مجموع لنگرهای پایداری}}{\text{مجموع لنگرهای واژگونی}} = \frac{\sum M_R}{\sum M_o}$$

حداقل ضریب اطمینان مذکور برای سدهای وزنی معادل ۱/۵ در نظر گرفته می‌شود و چنانچه ایمنی سد در مقابل لغزش و تنش تامین می‌گردد معمولاً ضریب اطمینان واژگونی بین ۱/۵ تا ۲/۵ به دست می‌آید USBR اعلام می‌دارد که نیروهای ناشی از زلزله به علت طبیعت نوسانی بودنشان در محاسبه لنگر واژگونی به حساب نمی‌آیند. از آنجا که سدهای وزنی معمولی برای حالتی طراحی می‌شوند که هیچگونه تنش کششی بر آنها وارد نشود نتیجه گرفته می‌شود که نتیجه نیروها بایستی از منطقه $\frac{1}{3}$ میانی قاعده عبور نماید (که برای این حالت ضریب اطمینان واژگونی معادل ۲ را می‌توان داشت) در غیر این صورت بسته به اینکه نتیجه مذکور از $\frac{1}{3}$ پایین دست یا از $\frac{1}{3}$ بالا دست بگذرد تنش کششی به ترتیب به منطقه بالا دست یا پایین دست وارد شده و می‌تواند باعث ایجاد ترک در مناطق مذکور گردد. ترک در بالا دست باعث ورود آب تحت فشار به داخل بدنه سد و افزایش نیروی بالا برنده و نهایتاً افزایش لنگر واژگونی می‌گردد. بنابراین در سدهای بتنی وزنی تنش کششی قبل از چرخش و واژگونی ایجاد می‌گردد. همچنین واژگونی سد می‌تواند در اثر افزایش تنش فشاری در پایین دست و خرد شدن و از بین رفتن قسمتی از پایین دست گردد که در این حالت با حذف قسمت خورد شده که به صورت غیر موثر در آمده است عرض موثر مقطع کاهش یافته و اگر برآیند نیروها از خارج عرض موثر بگذرد امکان واژگونی سد حاصل نخواهد شد. بنابراین شکست سد در اثر واژگونی عموماً در اثر توسعه ترک‌های کششی در بالا دست و پایین دست و یا از بین رفتن مصالح به جهت افزایش تنش فشاری در پایین دست می‌باشد و لذا چنانچه بتوان معیار عدم وجود تنش کششی در کلیه نقاط سد و عدم افزایش تنش‌های فشاری از حد مجاز را اعمال و کنترل نمود سد وزنی در مقابل واژگونی نیز ایمن خواهد بود.

پایداری در مقابل لغزش:

خرابی سد وزنی می‌تواند در اثر لغزش سد روی قاعده و یا در اثر لغزش هر قطعه از سد روی سطح افقی قطعه پایینی (که جدا کننده دو قطعه از یکدیگر است) اتفاق افتد. عواملی که می‌توانند در مقابل لغزش مقاومت کنند عبارتند از: اصطکاک و مقاومت برشی موجود بین دو قطعه یا بین سد و سنگ فونداسیون در محل قاعده که مجموعاً نیروهای مقاومت در مقابل لغزش را تشکیل داده و سد باید به گونه‌ای طراحی گردد که این نیروها از نیروهای لغزش بیشتر باشند بر این اساس ضریب اطمینان در مقابل لغزش (F_s) عبارت خواهد بود از نسبت کل نیروهای افقی مقاوم در مقابل لغزش به نیروهای افقی لغزشی که در دو حالت زیر قابل بررسی است:

۱- با فرض صرفنظر کردن از مقاومت برشی مقطع تنها نیروی مقاوم عبارت خواهد بود از اصطکاک بین دو قطعه که در این صورت ضریب اطمینان در مقابل لغزش از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$F_s = \frac{M \sum F_v}{\sum F_h}$$

در معادله بالا $\sum F_v$ مجموع نیروهای قائم وارده بر مقطع $\sum F_h$ مجموع نیروهای افقی وارده بر مقطع و M ضریب اصطکاک بین مصالح دو قطعه بالایی و پایینی است. مقدار μ برای بتن و بتن، مصالح بنایی و مصالح بنایی و مصالح بنایی، بتن و سنگ خوب و یا مصالح بنایی و سنگ خوب بین ۰/۶۵ تا ۰/۸۰ تغییر کرده که عموماً ۰/۷۵ انتخاب می شود. ضریب اطمینان در مقابل لغزش بایستی بزرگتر از ۱ باشد اگرچه مقادیر کمتر از ۱ نیز بدلیل آنکه از مقاومت برشی مقطع صرف نظر شده است قابل قبول باشد. به عبارت دیگر چنانچه مقاومت برشی نیز مد نظر قرار گیرد مقدار F_s که مقدار واقعی آن می باشد به مراتب از ۱ بیشتر خواهد بود. گاهی اوقات به جای ضریب اطمینان در مقابل لغزش از ضریب لغزش (SF) برای کنترل پایداری سد در مقابل لغزش

$$S_F = \frac{\sum F_h}{\sum F_v} = \tan \theta$$

که θ زاویه راستای برآیند نیروهای وارده بر مقطع با خط قائم باشد در این صورت ضریب لغزش SF بایستی حداکثر مساوی و یا کوچکتر از ضریب اصطکاک باشد یعنی $S_F = \tan \theta \leq \mu$ ملاحظه می شود که دو معادله بالا قابل تبدیل به این رابطه می باشند

$$S_F = \frac{\sum F_h}{\sum F_v} \leq \mu \quad \frac{\mu \sum F_v}{\sum F_h} \geq 1 \Rightarrow F_s \geq 1$$

یعنی ضریب لغزش کمتر از μ نشان دهنده وجود ضریب اطمینان در مقابل لغزش (F_s) بزرگتر از ۱ می باشد همانگونه که اشاره گردید چنانچه ضریب اطمینان F_s کمتر از واحد گردد این بدان معنا نیست که سد در مقابل لغزش پایداری خود را از دست داده سقوط نماید بلکه لازم است تا در این حالت با اضافه کردن مقاومت برشی مقطع، ضریب اصطکاک برشی را از رابطه زیر بدست آورد:

$$SFF = \frac{\mu \sum F_v + IA}{\sum F_h}$$

در معادله فوق A سطح مقطع و T مقاومت برشی متوسط مصالح در مقطع مورد نظر است که مقدار آن از $140 \frac{t}{m^2}$

برای سنگ های ضعیف تر تا $500 \frac{t}{m^2}$ $\left(5000 \frac{KN}{m^2} \right)$ برای سنگ های مقاوم تغییر می کند و برای طرح نهایی

بایستی از طریق آزمایش های لازم معین شود مقدار T برای بتن معمولاً معادل $\frac{1}{4}$ مقاومت گسیختگی آن در نظر گرفته می شود بر

اساس پیشنهاد SBR مقدار SFF نبایستی برای بارگذاری عادی کمتر از ۵ و برای بارگذاری غیر عادی کمتر از ۴ باشد از آنجا که این پیشنهاد برای سدهای بلند به مقاطع غیر اقتصادی منتهی می شود لذا عدد مذکور برای سدهای بلندتر از $150m$ به ترتیب به ۴ و ۳ کاهش می یابد همچنین استاندارد هندوستان مقادیر جدول زیر را برای SFF توصیه می نماید.

مقادیر SFF براساس استاندارد هندوستان

نوع بار گذاری	ضریب اصطکاک برش SFF
A.B.C	۴/۰
D.E	۳/۰
F.G	۵۰۱

سدهای پایه‌دار:

سدهای پایه‌دار عبارت است از یک سازه مانع در مقابل آب که فشار آب نیروی ناشی از پوشش یخ و سایر نیروهای وارده به وسیله یک وال در بالا دست که به تعدادی پایه تکیه دارد تحمل شده و از آن طریق نخست به پایه‌ها و سپس به فونداسیون منتقل می‌گردند. در میان سدهای پایه‌دار شناخته شده اولین سد در اسپانیا قرن ۱۶ میلادی بنام Elche ساخته شد که دارای 23m ارتفاع بوده و از مصالح سنگی با دهانه‌های قوسی (در حد فاصل پایه‌ها) تشکیل شده است سدهای پایه‌دار نظیر سدهای وزنی در شرایط مختلف طبیعی، روی پی‌های سنگی و نیمه سنگی و تحت شرایط پیچیده زمین شناسی زلزله خیزی و آب و هوایی ساخته شده‌اند. سدهای پایه‌دار به دلیل فضای خالی بین پایه‌ها به مصالح ساختمانی کمتری نسبت به سدهای وزنی تو پر هم ارتفاع نیاز داشته و لذا دارای وزن به مراتب کمتری می‌باشند. مسائلی نظیر اجرای جاده، سرریز آبگیر، سایر تاسیسات لازم همراه و مرتبط با بدنه سد مشکل خاصی را ایجاد نکرده در پاره‌ای حالات و بدلیل وجود پایه‌ها در پایین دست سد لازم است تا نحوه طراحی سیستم‌های مذکور متناسباً اصلاح شود. در قسمتی از بدنه سد که سرریز قرار می‌گیرد تاج سرریز و بدنه پایین دست آن می‌توانند به وسیله پایه‌هایی به عنوان پایه‌های پل بر روی تاج سرریز ساخته می‌شوند استفاده نمود. همچنین برای آبگیری از سد سازه‌ی آبگیر که از درون دال بالا دست می‌گذرد می‌تواند از حد فاصل بین پایه‌ها و یا از درون یک پایه ضخیم عبور نماید.

انواع سدهای پایه‌دار:

انواع این نوع سدها عبارتند از:

۱- سد پایه‌دار با دال مسطح Flat slab Type

۲- سد پایه‌دار نوع کله‌گردی و کله‌الماسی Round-head and Diamond-head Type

۳- سد پایه‌دار چند قوسی Multiple Dome Type

۴- سد پایه‌دار چند گنبدی Multiple Dome Type

۵- سد پایه‌دار ستونی Columnar Type

۶- سد پایه‌دار خرپایی Truss Type

۷- سد پایه‌دار ترکیبی hybrid Type

۱- سد پایه دار با دال مسطح:

در این حالت دال سد یک دال مسطح و ساخته شده از بتن مسلخ است که بر روی پایه‌ها تکیه دارد. سدهای با دال مسطح از جمله مشهورترین و پرکارترین انواع سدهای پایه‌دار هستند مثل سدهای Escaba آرژانتین و Rodriguos در برزیل.

۲- سد پایه‌دار نوع کله‌گردی و کله‌الماسی:

در این نوع از سدها که در حالت کلی «سدهای پایه‌دار کله سنگین» نامیده می‌شوند قسمت بالا دست پایه‌ها به صورت گرد یا الماسی شکل و بسیار بزرگ و سنگین ساخته می‌شود. به گونه‌ای که کله‌های پایه‌های متوالی به یکدیگر مماس گشته خود تشکیل عضو نگاه دارنده و آب می‌دهند و لذا نیازی به یک پوسته جداگانه در بالا دست نمی‌باشد سدهای مذکور گاهی از اوقات در مناطقی که دارای سنگ کف نسبتاً ضعیف هستند بکار گرفته می‌شوند. در سدهای پایه‌دار کله گردی که از جمله آنها می‌توان به سدهای Don Martin در مکزیک و Laurasten در ایتالیا و Elmali در ترکیه اشاره نمود. قسمت بالا دست پایه‌ها کاملاً گرد بوده و منحنی مربوط به گونه‌ای انتخاب می‌گردد که اثر نیروی آب بر روی پایه‌ها به صورت فشار خالص باشد. در حد فاصل قسمت‌های بزرگ شده پایه‌ها در بالا دست که با یکدیگر در تماس هستند و برای جلوگیری از خروج آب، از آب‌بند نظیر آب‌بندهای لاستیکی یا مسی به همراه آسفالت استفاده می‌شود همچنین لازم است تا در قسمت کله پایه‌ها از زهکش‌های قائم برای کاهش نیروی بالا برنده استفاده نمود. در نوع کله الماسی سیستم کلی پایه‌ها فرقی با حالت کله‌گردی ندارد فقط شکل قسمت بزرگ شده و بالا دست پایه‌ها به جای انحنای کامل به صورت چند ضلعی بوده که از نظر اجرایی راحت‌تر می‌باشند در این حالت تنش‌های کششی محدودی به پایه‌ها وارد می‌شوند که بایستی مد نظر قرار گیرد. سدهای Howeswate در انگلستان و Errochy در اسکاتلند از

این نوع هستند شایان ذکر است که سدهای پایه‌دار کله سنگین گاهی اوقات با بالا دست مسطح نیز ساخته می‌شوند که در این صورت شکل پایه به صورت حرف آ خواهد بود نظیر سد Krang در سوئد و سد Scais در ایتالیا.

۳- سد پایه‌دار چند قوسی:

در این حالت سدهای پایه‌دار و سدهای قوسی به شکل یک سازه متحد درآمده به این ترتیب که تعدادی قوس افقی به وسیله پایه‌های نگهداری شده و مجموعاً به عنوان مانعی در مقابل آب جهت افزایش ارتفاع و ذخیره آن بکار می‌روند زاویه مرکزی قوس‌ها معمولاً بین ۱۵۰ تا ۱۸۰ درجه تغییر می‌کند قوس‌های نیم دایره (زاویه مرکزی = 180°) باعث می‌شوند که نیروهای محوری دارای مولفه افقی نباشند و بدین جهت گاهی نسبت به سایر سدهای چند قوسی ترجیح داده می‌شوند این نوع از سدها برای جاهایی که از بستر از سنگ مقاوم تشکیل شده و ارتفاع سد نیز خیلی زیاد است بسیار مناسب می‌باشند.

۴- سد پایه‌دار چند گنبدی:

مشابه سد چند قوسی است ولی در این حالت پوسته شیب‌دار از یک سری گنبدهای بتنی مسطح تشکیل یافته است.

۵- سد پایه‌دار ستونی:

این سد مشابه سد پایه‌دار بادال مسطح است با این تفاوت که در این حالت دال مسطح ساخته شده از بتن مسطح به وسیله تعدادی از ستون‌های بتنی مایل (به جای پایه) نگهداری می‌شود. این ستون‌های اصلی به وسیله یک سری ستون‌های شیب‌دار دیگر که عمود بر ستون‌های اصلی هستند محکم می‌شوند این نوع سد احتیاج به پی‌های بسیار مقاوم و محکم داشته و ساخت پایه‌ها مهارت بیشتری را می‌طلبد.

۶- سد پایه‌دار خرپایی:

در این حالت دال مسطح و ممتد ساخت شده از بتن مسلح بوسیله تعدادی خرپای بتنی مسلح نگهداری می‌شود.

۷- سه پایه‌دار ترکیبی:

ترکیبی است از یک سد قوسی و یک سد وزنی که بوسیله پایه نگهداری می‌شود.

انتخاب نوع سد پایه‌دار:

انتخاب یکی از انواع سدهای پایه‌دار از میان مجموعه آنها بیشتر تابعی از شرایط بارگذاری پی و مشخصات سنگ کف است. در حالتی که سنگ کف دارای مقاومت خوب و یکنواخت باشد بیان اینکه کدامیک از انواع بهتر است مشکل می‌باشد و لازم است تا بررسی‌های اقتصادی که متأثر از عواملی همچون وجود مصالح سنگی، سیمان، آیتور، وجود نیروهای متخصص و امکانات فنی، موقعیت و امکان ساخت سرریز و سایر تاسیسات لازم است صورت پذیرد. سدهای پایه‌دار با دال مسطح و پایه‌های دیواری شکل بیشتر برای مناطقی که سنگ کف دارای درز و شکاف بوده و از مقاومت یکسانی برخوردار نیست و نیز برای حالتی که امکان نشت ناهماهنگ در اثر بروز زلزله می‌باشد مناسب هستند. همچنین می‌توان این نوع از سدهای پایه‌دار را روی بسترهای نفوذپذیر اجرا نمود که در اینصورت پایه‌ها بر روی یک پی گسترده بتنی می‌نشینند. سدهای پایه‌دار چند قوسی فقط در روی سنگ‌های با نشت یکسان قابل اجرا هستند و در ارتفاعات بالا عموماً نسبت به سدهای نوع قبل اقتصادی‌تر می‌باشند. سدهای پایه‌دار کله سنگین روی پی‌های با مشخصات متفاوت ساخته شده‌اند کیفیت و مقاومت سنگ کف، شیب پایه‌ها و سطح مقطع آنها را در محل تماس با پی دیکته می‌کنند. در هر حال لازم است تا با انجام عملیات ژئوتکنیک، مطالعات مورد نیاز جهت بررسی وضعیت سنگ کف در اعماق صورت پذیرد و در قسمت بالا دست پایه‌ها که به صورت ناگهانی بزرگ می‌شود با ایجاد زهکش‌های قائم نشت آب و نیروهای بالا برنده مرتبط را کاهش داد.

سدهای قوسی:

در میان سدهای بتنی، سدهای قوسی از ظرافت و حساسیت ویژه‌ای برخوردار هستند و به تناسب، طراحی محاسبه و اجرای آنها نیز ویژگی‌های خاص خود را دارد یک سد قوسی عبارت است از یک سازه‌ی عموماً بتنی و گاه ساخته شده از مصالح بنایی که در پلان

و به سمت بالا دست رودخانه دارای انحنا و قوس بوده بارهای وارده از آب را به تکیه گاه‌های دو طرف خود و به جناحین دره منتقل می‌کند و در عین حال حداکثر استفاده مفید از مقاومت فشاری مصالح را میسر می‌سازد. احتمالاً اولین سد قوسی جهان در ایران در اواسط قرن ۱۹ و اوایل قرن ۲۰ میلادی بتن به عنوان یکی از مصالح بسیار مفید و موثر در ساخت سازه‌های حساس به صورت گسترده‌ای در احداث سدهای قوسی بکار رفته، تعداد بسیار زیادی سد قوسی در سرتاسر جهان ساخته شد.

سد قوسی و انواع آن:

سد قوسی سدی است که در پلان دارای انحنا بوده و قسمت اعظم بارهای ناشی از آب را به صورت افقی به تکیه‌گاه‌های کناری خود منتقل می‌کند که این امر ناشی از عملکرد قوس می‌باشد مابقی بار و بوسیله عملکرد کنسول (نظیر سدهای وزنی) به فونداسیون کف منتقل می‌گردد. بنابراین در سدهای قوسی، هم وزن سد در مقابل نیروهای وارده از سوی مخزن مشارکت جناحین در تحمل بارها بستگی کامل به انحناء سد و شکل دره دارد. ضمن آنکه سنگ موجود در کناره‌های دره بایستی به اندازه کافی جهت تحمل نیروها مقاوم باشد. برای احداث سدهای قوسی دره‌های ۷ شکل بهترین و ایده آل ترین حالت هستند اگر چه دره‌های u شکل نیز برای این امر کاملاً مناسب می‌باشند. سدهای قوسی قدیم که فقط در دره‌های ۷ شکل ساخته می‌شدند دارای نسبت L/H در طول تاج به ارتفاع؛ کمتر از ۱/۵ هستند ولی به تدریج سدهای قوسی با نسبت L/H حدوداً ۲ تا ۳ نیز ساخته شدند و در حال حاضر نسبت‌های بالاتر حتی ۴ تا ۶ نیز قابل بررسی هستند. سدهای قوسی را از نظر ضخامت؛ بر حسب نسبت ضخامت پایه کنسول مرکزی (B) به ارتفاع سازه‌ای آن (H) به انواع زیر تقسیم بندی می‌کنند:

۱- سد قوسی لاغر اگر $\frac{B}{H} \leq 0/2$ باشد Thin Arch Dam

۲- سد قوسی متوسط یا نیمه ضخیم اگر $0/2 < \frac{B}{H} < 0/3$ باشد Medium-thick Arch Dam

۳- سد قوسی ضخیم اگر $\frac{B}{H} > 0/3$ باشد Thick Arch Dam

۴- سد قوسی وزنی اگر $\frac{B}{H} > 0/5$ باشد Arch Gravity Dam

همچنین سدهای قوسی را نسبت به ارتفاعشان به صورت زیر طبقه بندی می‌نمایند:

۱- سد قوسی کوتاه وقتی که $H < 30m$ باشد Low Arch Dam

۲- سد قوسی متوسط یا نیمه بلند وقتی که $30m \leq H \leq 90m$ باشد Medium Hight Arch Dam

۳- سد قوسی بلند وقتی که $H > 90m$ باشد High Arch Dam

از نقطه نظر طراحی و شکل سد؛ سدهای قوسی را می‌توان به انواع مختلف زیر تقسیم نمود:

۱- سد قوسی تک انحنائی یا سد یک قوسی

۲- سد قوسی دو انحنائی یا سد دو قوسی

۳- سد قوسی وزنی

۴- سد قوسی ترکیبی (مرکب)

۵- سد چند قوسی

۱- سد قوسی تک انحنائی: تنها در پلان دارای انحنا بوده و به تغییری فقط یک انحنا در صفحه افق دارد.

۲- سد قوسی دو انحنائی: سد هم در پلان و هم در مقاطع قائم دارای انحناء می‌باشد.

۳- سد قوسی وزنی: سدی ضخیم که رفتار سازه‌ای آن قسمتی به صورت قوسی و قسمتی به صورت وزنی است.

۴- سد قوسی ترکیبی: دارای شکل و طراحی ترکیبی از موارد مختلف است که بر حسب شرایط منطقه می‌تواند انتخاب شود.

۵- سد چند قوسی: در حقیقت همان سدهای پایه دار هستند که در آنها دال شیبدار به صورت قوسی طراحی و اجرا میگردد.

سدهای قوسی تک انحنائی:

۱- سدهای قوسی با شعاع ثابت Constant Radius Arch Dam

۲- سدهای قوسی با شعاع متغیر Varialde Radius Arch Dam

۳- سدهای قوسی با زاویه ثابت Constant Angle Arch Dam

۱- سدهای قوسی با شعاع ثابت:

در این سد بدنه بالادست تشکیل قسمتی از سطح استوانه ای با شعاع ثابت را میدهد یعنی شعاع منحنی های بالادست سد (قوس بیرونی) از بالاترین تراز تا پائین ترین نقطه ثابت است و مرکز آنها روی یک خط قائم قرار دارد شعاع منحنی های بدنه پائین دست (قوس داخلی) بتدریج که از تاج سد به سمت پائین حرکت می شود با افزایش ضخامت کاهش می یابد ولی مراکز این منحنی ها بازهم روی یک خط قائم و همان خطی که مراکز منحنی های بالادست روی آن قرار داشتند می باشد. بنابراین کاهش شعاع در این قسمت افزایش ضخامت لازم برای قسمت های پائین تر را تضمین می کند و از طرفی ضرورت افزایش ضخامت در ترازهای پائین تر؛ کاهش شعاع منحنی های پائین دست را ایجاد می نمایند. از آنجا که در این نوع سدهای قوسی مراکز دواير مختلف قوس های داخلی و بیرونی روی یک خط قائم قرار دارند سد قوسی با شعاع ثابت را سد قوسی با مرکز ثابت نیز می نامند. مقطع یک سد قوسی با شعاع ثابت در بالادست قائم بوده و ضخامت آن به تناسب افزایش عمق؛ افزایش می یابد. بنابراین مقطع مذکور تقریباً مثلی است مگر در ترازهای بالاتر که لازم است تا حداقلی برای ضخامت منظور شود. در این نوع سد زاویه مرکزی قوسی بتدریج که بر عمق درزی تاج سد افزوده می شود کاهش می یابد و لذا عملکرد و قوسی سازه در ترازهای پائین تر کمتر است از ترازهای بالاتر این امر باعث می شود تا مقداری ارزیابی از کل بار وارده بر قسمت های پائینی سد بوسیله عملکرد کنونی سازه تجمل شود و در نتیجه حلقه های استوانه ای پائینی کاملاً ضخیم و طراحی بطور نسبی غیر اقتصادی گردد. این سدها بیشتر برای دره های U شکل مناسب هستند چراکه در این حالت کاهش زوایای مرکزی پائینی محدوده بوده و عملکرد قوسی سازه بیشتر می شود برعکس دوره های V شکل بدلیل کاهش قابل ملاحظه ای زوایای مرکزی پائینی ساخت سد قوسی با شعاع ثابت از مناسبت کمتری برخوردار است اگر چه در این دره ها نیز ساخته می شود.

۲- سد قوسی با شعاع متغیر:

در این نوع سد شعاع قوس های بیرون و داخلی از بالا به سمت پائین تغییر کرده که معمولاً حداکثر آن در بالا و حداقل آن در محل پایه است. در یک تراز اگر چه شعاع های داخلی و خارجی متفاوت می باشند اما مرکز در قوس بر یکدیگر منطبق است بنابراین مراکز قوس های بیرونی و داخلی از تاج سد تا پایه آن روی یک منحنی قرار می گیرد که سعی می شود این منحنی به صورت نرم و پیوسته ایجاد شود زاویه مرکزی قوس های مختلف نیز ثابت نبوده معمولاً از 80° تا 150° تغییر می کند این نوع سدها که نه زاویه مرکزی و نه شعاع آنها ثابت است به سدهای قوسی با مرکز متغیر نیز موسومند بدنه بالادست سد در محل کنون مرکزی عموماً قائم است. این سدها برای هر دو نوع دره U و V شکل مناسب هستند چرا که با تنظیم شعاع ها و زوایای مرکزی می توان عملکرد قوسی سازه را به میزان قابل ملاحظه ای حتی برای حلقه های موجود در ترازهای پائین فعال نمود. این نوع از سدهای قوسی معمولاً اقتصاد یتر از سدهای قوسی با شعاع ثابت بوده مقدار بتن لازم حدود 83% بتن مورد نیاز سدهای قوسی با شعاع ثابت بوده و در مقابل نسبت به سدهای قوسی با زاویه ثابت حدود 17% مصالح بیشتری نیاز دارند.

۳- سد قوسی با زاویه ثابت:

این نوع سد با زاویه ثابت حالت خاصی از سد قوسی با شعاع متغیر است که در آن زوایای مرکزی قوس ها در تمام ترازها یکسان و ثابت ولی شعاع ها متغیر است. عموماً زمانی یک سد قوسی اقتصادی تر است که زاویه مرکزی آن ثابت و حدود 133° باشد ولی در عمل و با توجه به شکل دره این زاویه حدود 100° تا 150° است بخصوص در دره های V شکل که در ترازهای پایین زوایای کوچکتری میدهد علت اختلاف بین مقدار تئوری با مقدار عملی را باید در مجموع هزینه های سد ناشی از هزینه مصالح و هزینه اجرا جستجو کرد. ضمن آنکه تئوری استوانه های جدار نازک برای تحلیل سدهای قوسی بسیار تقریبی است. با افزایش عمق سد

نسبت به تاج آن؛ شعاع حلقه های مربوط به سد قوسی با زاویه ثابت کاهش می یابد و علاوه بر آن انحنا حلقه های مختلف متفاوت است. این حلقه ها در ترازهای مختلف می توانند به گونه ای تنظیم گردند که تاج منحنی یا در قوس بیرونی و یا در قوس داخلی در یک امتداد باشند.

سدهای قوسی دو انحنائی (سدهای دو قوسی):

این نوع از سدهای قوسی هم در پلان و هم در مقطع دارای انحنا هستند. این سدها دارای ضخامت کمتر و ساختمان اقتصادی تری هستند سدهای قوسی پوسته ای نیز می نامند. بلندترین سدهای قوسی جهان نظیر سد Ingurskaya در شوروی سابق با ۳۰۱ متر ارتفاع و سد vajaont در ایتالیا با ارتفاع ۲۶۱/۶ متر جزو سدهای دو قوسی هستند که به عنوان مثال بیشترین ضخامت سد vajont فقط متر می باشد.

سد قوسی وزنی:

سدهای قوسی ضخیم به این نام خوانده می شوند سد وزنی که ترکیبی از سدهای قوسی و سدهای وزنی است تنها اختلاف محدودی در صرفه جویی مصالح نسبت به سدهای وزنی دارد. در این حالت به دلیل انحنا و کم قوس ها و زیاد بودن نسبی شعاع آنها بتدریج که به سمت قسمتهای پائین تر دره حرکت می شود بخصوص در ترازهای کاملاً پائین ضخامت سد به طور محسوس افزایش می یابد از جمله سدهای قوسی وزنی مشهور سد Hoover در آمریکا با ارتفاع ۲۲۱/۶ متر است که ضخامت قوس در تراز تاج سد برابر ۱۳/۷ متر و در محل پایه ۲۰۱ متر می باشد.

سد قوسی مرکب:

در این حالت با توجه به موقعیت توپوگرافی منطقه و با نظر طراح می توان از انواع مختلف سدهای قوسی مرکب (ترکیبی) را ارائه نمود بدین معنی که سد طراحی شده در قسمت های مختلف دارای خصوصیات متفاوت از سدهای متنوع باشد بعنوان مثال می توان به سد Roselend در فرانسه اشاره نمود که قسمت پائینی آن دارای قوس استاندارد با تکیه گاههای معمولی در جناحین است. در بالای این قسمت قوس بدون تکیه گاه کناری و شیبدار قرار دارد همچنین در Beauregard در ایتالیا با ارتفاع ۱۳۲ متر و طول تاج ۴۰۸ متر از جمله این سدهاست.

سدهای چند قوسی:

طراحی دال این سدها مطابق اصول حاکم بر قوس ها انجام می پذیرد و در سایر موارد عیناً مشابه سدهای پایه دار مورد بررسی قرار می گیرد از جمله سدهای چند قوسی؛ سد Florence در آمریکا به طول ۹۶۲ متر است که از ۵۸ قوس و ۵۹ پایه ساخته شده است.

بارهای وارده بر سدهای قوسی:

از آنجا که سدهای قوسی نسبتاً نازک هستند نیروهای ناشی از فشار بالابرنده از اهمیت کمتری برخوردارند مگر آنکه در تحلیل سد به مناطقی با ترک های افقی در بالادست برخورد شود که در اینصورت مقدار نیروی مذکور تغییر و افزایش پیدا خواهد کرد. هنگامی که ترک افقی در وجه بالادست سد ایجاد می شود فشار بالا برنده در داخل ترک برابر فشار هیدرواستاتیکی آب در مخزن و در تراز مربوط شده پس از انتهای ترک تا بدنه پائین دست به صورت خطی (از فشار مخزن تا فشار پایاب) تغییر می کند. در این نوع سدها تنش های بوجود آمده در اثر فشار یخ و تغییرات درجه حرارت از اهمیت بسیار بالائی برخوردارند فشار یخ نیروی سنگینی را در ترازهای بالای سد قوسی بر آن وارد می کنند و می توان آن را بر ضخامت 60cm یا بیشتر برابردر سطح تماس یخ و سد در نظر گرفت. تنش های حرارتی باعث حرکت سد در تابستان به سمت بالادست و در زمستان به سمت پائین دست می شود از طرفی اختلاف درجه حرارت بالادست و پائین دست سد نیز می تواند تغییر شکل ها و تنش های حرارتی ایجاد نماید که به نوبه خود از اهمیت قابل ملاحظه ای برخوردار است.

طراحی و محاسبه سدهای قوسی:

برای این امر طراح یک طرح تقریبی و کاملاً اولیه را بر اساس موقعیت توپوگرافی منطقه و نیازهای پروژه ارائه می نماید و سپس محاسبات را روی آن انجام داده توزیع تنش را در تمام سازه بدست می آورد و ضرایب ایمنی را کنترل می نماید. مجدداً با توجه به نتایج محاسباتی که بدست آمده ابعاد و مشخصات جدیدی را برای سد در نظر می گیرد و احتمالاً در موقعیت مکانی سد نیز تغییرات مختصری بوجود می آورد و بعد محاسبات را تکرار می کند این امر تا آنجا ادامه می یابد که توزیع تنش ها و مقادیر ضریب اطمینان در محدوده مجاز و قابل قبول قرار می گیرند طبیعی است که در تمام این مراحل یافتن مشخصات سازه ای که ضمن برآوردن نیاز حداقل هزینه ممکنه را دارا و اقتصادی ترین حالت باشد مد نظر خواهد بود.

طرح مقدماتی و انتخاب ابعاد اولیه سد عموماً بر اساس تجربیات و روش های تقریبی سریع صورت می پذیرد و بدین معنا که یا از مشخصات سدهای مشابه و یا ارزش های تقریبی ارائه شده جهت تحلیل سازه حدود احتمالی ابعاد سازه معین می گردد. روش های تقریبی خود یا بر اساس تجربیات بدست آمده از سدهای ساخته شده پیشنهاد گردیده اند و یا روش های عموماً دستی هستند که تا حدود عملکرد سازه را در مقابل نیروهای وارده مشخص می سازند پس از این مرحله از روش های دقیق تر موجود برای شروع طرح نهائی سد استفاده می گردد که در هر حال عموماً تکرار محاسبات برای رسیدن به ابعاد بهینه لازم است. از جمله روش های مقدماتی برای طرح و تحلیل سدهای قوسی عبارتند از: ۱- معیارهای usbp برای طراحی مقدماتی ۲- معیارهای R.S.Varshney برای طراحی مقدماتی ۳- تئوری استوانه ای جدار نازک ۴- تئوری استوانه های جدار ضخیم ۵- تئوری الاستیسته (روش قوس های مستقل).

همچنین روش های همچون ۱- روش بار آزمونی ۲- تئوری پوسته ۳- روش اجزای محدود از جمله روش های دقیق و یا کاملاً دقیقی هستند که جهت طرح نهائی سدهای قوسی بکار گرفته می شود.

سیستم انحراف:

در هنگام طراحی یک سد که بر روی رودخانه ساخته می شود و به منظور خشک نگه داشتن محیط کار در زمان احداث سد می بایست وضعیت انحراف جریان رودخانه را طول مدت اجراء بدنه اصلی سد بررسی نمود بررسی و تعیین وسعت و میزان مسائل ناشی از انحراف رودخانه بستگی مستقیم به اندازه جریان و پتانسیل جریان رودخانه داشته. انتخاب مناسبترین روش برای انحراف جریان رودخانه در زمان ساخت بدنه اصلی سد تا تاثیر مهمی بر اقتصاد و ایمنی کار داشته بطور معمول بین هزینه تاسیسات انحراف و امکان ایجاد خطر یک رابطه خطر نسبی حاکم می باشد عواملی که در تعیین سیستم انحراف نقش داشته و می بایست در هنگام طراحی در نظر گرفته شوند شامل موارد زیر می باشند:

الف: خصوصیات و وضعیت جریان رودخانه

ب: دوره بازگشت و اندازه سیلاب انحراف

ج: بررسی تاثیرات ناشی از سازه های هیدرولیکی تنظیم کننده جریان در بالادست

د: کنترل میزان آلودگی و تیرگی جریان رودخانه

ه: روشهای انحراف

وضعیت جریان رودخانه:

در ارتباط با موقعیت جغرافیایی حوزه مورد بررسی سیلابها می توانند ناشی از ذوب برفی و بارش باران بر روی برف باران فصلی و یا رگبارها باشند هریک از این موارد دارای خصوصیات انحصاری بوده و می بایست در مطالعه مورد نظر قرار گیرند برای نقاطی که در آنها بارانهای فصلی یا رگبارها رخ می دهند در طی فصل خشک نیاز به کمترین حد تاسیسات حفاظتی می باشد در حالیکه برای سیلابهای ناشی از ذوب برف یا باران روی برف تداوم جریان در مدت زمان طولانی در طی سال وجود دارد بهر حال جریان ناشی از رگبارها در هر زمان می تواند رخ دهد و زمان آن تقریباً غیر قابل پیش بینی می باشد لذا طرح می بایست بگونه ای باشد که بتواند هم جریانهای کم و هم جریانهای سیلابی را در طی دوره ساخت کنترل نماید.

ب- دوره بازگشت و اندازه سیلاب انحراف: در انتخاب سیلاب طرح می بایست موارد زیر مورد توجه قرار گیرند:

- مدت زمان لازم برای اجرای کامل و تعداد فصول سیلابی در طی دوره
- تعیین هزینه ناشی از خسارات وارد آمده توسط سیلاب
- تعیین زمان توقف کار در اثر وجود سیلاب و تعیین اثرات آن بر هزینه ها و همچنین تعیین تاثیرات تاخیر در تکمیل کار و خسارات وارده بر نیروها و تجهیزات پیمانکار
- بررسی میزان ایمنی کارگران و تامین امنیت اهالی ساکن در پایاب در صورتیکه سیستم انحراف بر اثر وقوع یک سیلاب استثنائی تخریب گردد و یا کارائی خود را از دست دهد:
- بهرحال برای سدهای کوچک که در طی یک فصل ساخته می شوند می توان سیلاب انحراف را متناسب با سیلابهایی که در طی آن فصل رخ می دهند در نظر گرفت. با توجه به خصوصیت اصلی سیلابها که تصادفی هستند و ممکن است مجدداً تکرار گردند لذا اگر سیستم انحراف برای جریانهای ناشی از یک رگبار شدید ناگهانی طرح شده باشد لازم است راهکارهایی جهت ذخیره حجم آب ناشی از رگبار را برای چند روز در نظر گرفت.

ج: بررسی تاثیرات ناشی از سازه های هیدرولیکی تنظیم کننده جریان در بالادست:

با استفاده از یک برنامه بهره برداری تغییر یافته برای سازه موجود در طی سالهای ساخت سازه جدید می توان حداکثر مقدار سیلاب طرح را کاهش داد در نتیجه تاسیسات انحراف، کوچکتر خواهند گردید در هر حال حداکثر دبی طرح برای طراحی سازه و سیستم انحراف آب بر اساس عملیات روندیابی بدست آمده که کمتر از حد حداکثر دبی سیلاب در نظر گرفته شده می باشد. همچنین عملیات کنترل (قطع و وصل) جریان در بالادست را می توان توسط سازه های تنظیم کننده جریان در طی زمان ساخت فراز بند مسدود کردن سیستم انحراف و یا برداشتن فراز بند انجام داد.

د: کنترل میزان آلودگی و تیرگی (گل آلودگی) جریان رودخانه:

یکی از عوامل مهم و تاثیرگذار بر روی سیستم انحراف، کنترل میزان آلودگی و تیرگی است که در اثر ساخت سیستم انحراف بوجود می آید از آلودگیهایی که با میزان آلودگی محدود می شوند و کمترین زمان ساخت و آلودگی را دارند می بایست در نظر گرفته شوند عواملی که بر روی آلودگی رودخانه در طی زمان اجرا موثر هستند عبارتند از اجراء و حذف فرازبند کارهای خاکی انجام شده در مجاورت جریان آب؛ شمع کوبی و تخلیه مواد زاید و بدین لحاظ می بایست در همه طرحهای انحراف، اثرات آلودگی جریان، گل آلودگی و تیرگی جریان و عوامل موثر در آن مورد بررسی قرار گیرند.

روش های انحراف:

روش و الگوی انحراف سیلاب در طی زمان اجرای سد به عواملی نظیر خصوصیات فیزیکی، محل و اندازه و شکل سدی که باید ساخته شود حدود کارهای تاسیسات جانبی نظیر سرریز، پن استاک و سیستم تخلیه کننده و آگیری و عملیات ساختمانی که پشت سرهم اجرا می شوند بستگی دارد و هدف می بایست انتخاب یک الگو و روش بهینه با در نظر گرفتن عواملی نظیر عملی بودن روش کاهش هزینه ها؛ کنترل آلودگی جریان و میزان ریسک باشد.

به طور کلی در انحراف جریان رودخانه در طول زمان اجرا سد می توان یک یا ترکیبی از روشهای زیر را مورد استفاده قرار داد:

- تونل انتقال در داخل تکیه گاهها

- مجرا و آبراه های روباز احداث شده در محدوده سد

- انحراف چند مرحله ای جریان از روی بلوکهای نیمه تمام سد.

یک مشکل مشترک در تمام طرح های سیستم انحراف تامین نیازهای پایاب در طول دوره اجرایی می باشد و این امر خصوصاً زمانی که عملیات انسداد سیستم انحراف انجام می گیرد بصورت بارز دیده می شود.

تونلها:

در موادی که کمبود فضای مناسب یا فضای اشغال شده توسط نیروگاه سبب گردد که نتوان از مجراها یا آبروها استفاده نمود تونل می تواند به عنوان یک گزینه مناسب مطرح گردد. ممکن است طول نمودن تونل به جهت ایجاد فضای کافی جهت استقرار تاسیسات اجرائی سودمند باشد لکن از سوی دیگر طول کوتاه تونل از دیدگاه اقتصادی هیدرولیکی مطلوبتر می باشد اندازه انحراف وابسته به بزرگی سیلاب؛ ارتفاع فرازبند و حجم مخزنی که توسط فراز بند ایجاد شده است می باشد و لذا ارزیابی اقتصادی برای ارتفاع فرازبند برحسب سطح مقطع تونل می تواند صورت پذیرد و اقتصادی ترین حالت انتخاب گردد. در واقع با افزایش ارتفاع فرازبند؛ ابعاد مقطع تونل کاهش می یابد و این بدان معنی خواهد بود که با افزایش هزینه احداث فرازبند هزینه احداث تونل ممکن است کاهش یابد و بدین ترتیب هزینه احداث مجموعه فرازبند و تونل برای بارهای هیدرولیکی متفاوت می تواند تعیین و طرحی که حداقل هزینه را داشته باشد انتخاب گردد. انسداد نهایی تونل انحراف بطور معمول با بتن ریزی در محل انسداد صورت می گیرد که ممکن است در بالادست یا در محل پرده آب بند واقع شده باشد در صورتیکه تونل انحراف به تونل دیگری متصل گردد بطور معمول محل انسداد در بالادست محل تقاطع خواهد بود. زمانیکه بتن ریزی محل انسداد صورت پذیرفت دلیل بروز پدیده انقباض بتن (shrinkage) لازم است با تعبیه ابزاری برای تزریق حد فاصل بدنه تونل و بتن ریخته شده درز بوجود آمده توسط مصالح مناسب و با فشار پر گردد تا از عدم امکان حرکت آب در محل انسداد اطمینان حاصل شود.

مجرا و آبرو در داخل بدنه سد:

مجراهای انحراف هم سطح با رودخانه بوده و داخل بدنه سد سازی جانمایی می گردند مجرا می تواند فقط برای انحراف جریان آب در حین ساخت سد و یا به عنوان قسمتی از تاسیسات آبیگری یا لوله انتقال آب به نیروگاه در نظر گرفته شودو بهر حال می بایست بعد از انجام انسداد اولیه تمامی طول مجرا توسط بتن پر گردد. همچنین می بایست با نصب کلید آب بندی فلزی یا لاستیکی و نیز پیش بینی سیستم تزریق؛ اطمینان کافی از عدم تراوش از داخل مجرا را بوجود آورد انقباض بتن و تاثیرات حرارتی بتن حجیم استفاده شده در سیستم انسداد می بایست با احداث سیستم سرد کننده بتن کنترل گردد.

آبراهه های روباز:

برای دره های عریض، اقتصادیترین روش انحراف استفاده از یک آبراهه است که از محدوده ساختمانی و کارگاه عبور می نماید. برای تعیین مشخصات آبراهه لازم است که رابطه ظرفیت تخلیه آبراهه و ارتفاع فرازبند تعیین و برآن اساس محاسبات اقتصادی صورت پذیرد. گزینه ای که حداقل هزینه را دارد انتخاب شود. آبراهه را می توان بسته به بزرگی ابعاد در یک یا چند محل و یا در یک بلوک که دارای ارتفاع کم است اجرانمود و همچنین می توان با توجه به پیشرفت عملیات اجرائی محل آن را تغییر داده متناسب با امکانات موجود آن را بهنگام نمود.

انحراف چند مرحله ای:

در روش انحراف چند مرحله ای از انحراف و هدایت جریان از روی بلوکهای با ارتفاع کم و یا آبراهه انحراف سود برده می شود. در این حالت در حین اجرای عملیات اصلی سد ممکن است فرازبند از یک طرف رودخانه به سمت دیگر آن انتقال داده می شود. در طی مرحله اول، جریان توسط یک بخش از روخانه به سمت پائین دست هدایت شده و همزمان عملیات اجرائی سد در قسمت باقی مانده شروع و تا رسیدن به یک ارتفاع ایمن ادامه می یابد. در مرحله دوم فرازبند به قسمت دیگر منتقل شده و جریان از روی بلوکهایی که در مرحله قبل ساخته شده اند به پایاب منتقل می گردد. و در عین عملیات اجرائی کارهای باقی مانده صورت می گیرد. بدین ترتیب با هدایت متناوب آب از بلوکهای پائین و ساخت بلوکهای بعدی بتدریج ارتفاع سد افزایش یافته تا حدیکه بتوان از طریق تاسیسات آبیگری. سرریز و تاسیسات دیگر آب را به پائین دست منتقل نمود. بدیهی است این حالت خاص سدهای بتنی می باشد.

فرازبند:

فرازبند یک سد موقت یا یک مانع می باشد که برای انحراف رودخانه یا برای حفاظت و محصور کردن یک منطقه در طول عملیات اجرائی استفاده می گردد. در طراحی فرازبند مسائل اقتصادی طرح می بایست در نظر گرفته شود.

اصلاح پی:

الف- حفاری: کل ناحیه ای توسط سد بتنی اشغال می گردد و باید تا رسیدن به یک بستر سنگی مناسب که قادر به تحمل نیروهای وارده از طرف سد، مخزن و تاسیسات جانبی باشد حفاری گشته؛ قسمت بالایی برداشته شود. در انجام این عملیات که به وسیله انفجار صورت می گیرد بایستی شدت انفجار به حدی باشد که از بروز پدیده های نظیر خورد شدن سنگ پی . لق شدن و یا دیگر مسائلی که سبب کاهش قدرت باربری پی میگردد کاملاً جلوگیری شود. کلیه حفاریها بایستی مطابق با نقشه های اجرایی باشند میانیکه مصالح تشکیل دهنده پی شیل. گچ . گل سنگ یا سنگ سیلتی لازم است که عملیات حفاظتی در مقابل هوا و فرسایش آبی و در برخی محیط ها در مقابل یخ زدگی صورت پذیرد این گونه سطوح حفاری شده می تواند توسط یک لایه به ضخامت چند دسی متر از مصالح غیر حفاری شده حفاظت گردد.

ب- شکل دره: در صورتیکه پروفیل (نیمرخ) دره محل سد نسبتاً باریک با شیب های تند تکیه گاهی باشد ارتفاع سد با حرکت از مرکز آن به سمت جناحین بتدریج کاهش می یابد و در نتیجه تغییر شکل ناشی از بار وارده از طرف مخزن در مقاطع مرکزی بیش از مقاطع کناری خواهد بود از طرفی از آنجا که در اغلب سدهای بتنی؛ بلوکها از طریق کلید و تزریق به یکدیگر متصل شده اند بر اثر اعمال تغییر شکل های فوق الذکر که یک اثر پیچشی در سازه بوجود می آید که به پی منتقل می گردد. در صورت وجود شکستگی تیز در پروفیل حفاری شده دره و لذا تغییر ناگهانی در ارتفاع سد این نامنظمی در سنگ پی سبب بروز تغییرات شدید تنش در سد و پی و میزان پایداری آن خواهد گردید. بدین خاطر نیمرخ سنگبری شده می بایست بدون تغییرات و نامنظمی شدید بوده و تا حد امکان از تغییرات نرم و یکنواخت پیروی نماید. برای مقاطع عرضی به طور معمول بهتر است سطح پی بصورت شیبدار طراحی گردد که با شیبدار نمودن سطح پی از پاشنه به سوی پنجه سد مقاومت برش پی افزایش می یابد این امر خصوصاً در سنگهای رسوبی بسیار مناسب است.

بهسازی گودی ها:

در بسیاری از موارد حفاریهای اکتشافی، گسل ها، شکستگی ها و درزها را نشان نمی دهند در حالیکه بهسازی این مناطق ضعیف و برداشت مواد ضعیف و جایگزینی آن با مصالح مناسب (بتن) لازم می باشد بر اساس تحقیقات انجام شده توسط USBR لازم برای بهسازی پی بصورت زیر تعیین می شود و در هر حال قضاوت مهندس طراح تعیین کننده خواهد بود.

$$d = 0.0066/H + 1/52 \quad \text{برای } H \geq 45/7m$$

$$d = 0.03bH + 1/52 \quad \text{برای } H < 45/7m$$

H ارتفاع سد از روی سطح پی (متر)

B عرض منطقه ضعیف (متر)

D عمق منطقه ضعیف نسبت به زیر سطح سنگ سالم مجاور (متر) که باید برداشته شود.

حفاظت در مقابل رگاب:

روش های محاسباتی اعم از تحلیلی یا تقریبی ممکن است برای تشریح ضرایب اطمینان، تنش ها و تغییر شکل های پی مناسب باشند ولی معمولاً نمی توانند پدیده رگاب را پیش بینی نمایند. گسل ها یا درزه ها ممکن است توسط مصالحی پر شده باشند که در اثر جریان آب شسته شوند و تولید یک مجرای انتقال را بنمایند که خطر ساز خواهد بود لذا برای هر گسل یا درزه می بایست با ایجاد یک حفره و پر نمودن آن با بتن راه جریان را کاملاً مسدود نمود. ابعاد این حفره در جهت عمود بر درزه برابر عرض منطقه ضعیف بعلاوه 30cm از هر طرف برای اتصال به سنگ سالم خواهد بود و در جهت موازی با درزه بعد حفره مذکور معادل ۱/۵ برابر بعد دیگر آن می باشد از نظر اجرایی لازم است که حداقل بعد حفره ۱/۵ در نظر گرفته شود برای تعیین عمق حفره مذکور می توان از روش های محاسباتی تراوش استفاده نمود.

تزریق:

هدف اصلی از انجام عملیات تزریق در سنگ پی، پر کردن درزها و شکافهای احتمالی بوجود آوردن یک مانع موثر در مقابل تراوش از زیر بدنه سد و تحکیم پی می باشد برای این امر از چاه های تزریق کمک گرفته می شود که فاصله طول و امتداد آنها و نیز شیوه انجام عملیات تزریق بستگی به ارتفاع سازه و مشخصه های زمین شناسی پی دارند. با توجه به وسعت تغییرات پارامترهای فوق در هر محل لازم است برای هر موقعیت، مطالعات خاص صورت پذیرد در سدهای بتنی تزریق به سه گروه کلی تزریق پرن آب بند و تزریق بین درزه ها تقسیم بندی می گردد که بشرح زیر می باشند:

۱. تزریق تحکیمی ۲. تزریق پرن آب بند

۱- تزریق تحکیمی:

برای پر نمودن حفره ها، مناطق شکسته و ترکهایی که در زیر سطح نهانی سنگبری شده وجود دارند از تزریق با فشار کم استفاده می شود و در طی آن از طریق حفاری چاک ها (موسوم به چاک B) و تزریق آن، بهسازی سنگ صورت می پذیرد و سعت ناحیه تزریق شده به عمق گمانه و شرایط محلی بستگی دارد. برای همپوشانی بهتر گمانه بصورت متناوب جانمایی می شوند. عمق گمانه ها از ۶ تا ۱۵ متر با توجه به وضعیت سنگ و ارتفاع سد متغیر می باشد برای سدهای با ارتفاع کمتر از 30cm و با توجه به شرایط محلی، گمانه های B می توانند فقط در محدوده پاشنه سد حفاری گردند. حفاری گمانه های B عمود بر سطح زمین انجام پذیرفته دگر آنکه در اثر وجود درز شکستگی یا گسل لازم باشد که امتداد آن تغییر نماید. همچنین حفاری عمدها از روی سطح سنگبری شده انجام شده در برخی موارد از روی سطح بتن و در پاره ای موارد نادر از داخل گالری پی صورت می گیرد. در صورتیکه تزریق از روی سطح بتن صورت پذیرد، باید دقت داشت که فشار تزریق سبب شناوری سازه و حذف چسبندگی بتن با سنگ نگردد.

۲- تزریق پرده آب بند:

ساخت پرده آب بند در نزدیکی پاشنه سد و با هدف کنترل تراوش از طریق حفاری گمانه های عمیق و تزریق با فشار بالا صورت می گیرد. این گمانه ها به گمانه های A مشهور بوده و معمولاً از داخل گالری حفاری می شوند. جانمایی گمانه ها باید به نحوی باشد که قاعده پرده تزریق در محدوده تصویر قائم پاشنه سد واقع گردد در صورتیکه حفاری از داخل گالری صورت پذیرد و از آنجا که گالری در ارتفاع بالاتری نسبت به کف رودخانه قرار دارد حفر چاهکهای قائم باعث فاصله گرفتن پرده آب بند از پاشنه سد می گردد و لذا می توان حفاریها را با زاویه ۱۵ به سمت بالا دست متمایل نمود مگر آنکه گالری نزدیک به وجه بالادست باشد که در این صورت می توان حفاری را قائم انجام داد. عمق هر گمانه بسیار متغیر بوده و بسته به مشخصات پی و فشار آب مخزن دارد در پی های سخت این عمق در حدود ۳۰ تا ۴۰٪ عمق آب و برای پی های ضعیف این عمق بیشتر شده و حدود ۷۰٪ عمق آب خواهد بود. در هنگام انجام عملیات تزریق می توان مشخصات دقیق هر گمانه را تعیین نمود برای سدهای بلند که گالری پی در فاصله نسبتاً دور از وجه بالادست قرار دارد گمانه های ردیف A توسط گمانه های ردیف C که از داخل مخزن و بصورت مایل به سمت پایاب حفاری می شوند تقویت خواهند شد. این گمانه ها مشابه گمانه های A می باشند.

زهکشی پی:

اگر چه در اثر اجرای مناسب پرده تزریق مقدار تراوش کاهش می یابد اما گاهی بدلیل نفوذ جریان از اطراف پرده میزان زیر فشار در زیر بدنه سد زیاد خواهد شد. به این دلیل و برای کاهش فشارهای بالا برنده در پی از تعدادی چاهک زهکشی سود برده می شود که در یک یا چند ردیف و در پائین دست پرده آب بند حفاری می شوند اندازه، فاصله و عمق این گمانه ها نیاز به قضاوت فنی از خصوصیات سنگ داشته و معمولاً درزای قطر 7/5cm می باشد.

درزهای سازه:

تشکیل ترک در سدهای بتنی نامطلوب است و بروز ترک در نقاط مختلف می تواند یکپارچگی سازه را از بین برده باعث زوال و خرابی سد می گردد. سه گونه اصلی درز در سازه های بتنی مرسوم است که به درز انقباض، درز انبساط، درز ساختمانی مشهور است.

درز انقباض:

به منظور کنترل ترکهای بوجود آمده در بتن های حجیم، روش معمول، احداث سد در چند بلوک که توسط درزهای عرضی جدا شده اند می باشد. درزهای انقباض (ناشی از جمع شدگی بتن) قائم بوده و معمولاً از پی سد تا تاج ادامه می یابند همچنین درزهای عرضی بر محور طولی سد بوده و بصورت پیوسته از سراب تا پایاب ادامه می یابند بسته به ابعاد سازه ممکن است نیاز به احداث درزهای طولی انقباض نیز احساس گردد. درزهای طولی قائم بوده موازی با محور سد اجرا می گردند. چنانچه یک درز طولی با بدنه پائین دست و یا بدنه بالا دست سد برخورد نماید لازم است که امتداد درز به نحوی تغییر یابد که عمود بر سطوح خارجی باشد. طول حداقل این تغییر امتداد یک الی ۱/۵ متر باشد و یا آنکه درز در فاصله ای در حدود ۴/۵ الی ۶ متر از وجه تمام گردد. درزهای انقباض باید دو بلوک را کاملاً جدا نمایند و هیچگونه چسبندگی بین آنها وجود نداشته باشد لذا آرماتورها در محل درز کاملاً قطع می گردند به منظور کاهش صدمات خورد شدن بتن در محل برخورد درز با سطوح نما زیبا سازی آن بهتر است لبه ها دارای پخی باشند. نحوه شماره گذاری عمودی بلوکها از جناح راست به سمت چپ بوده و بلوکهایی که دارای درز طولی می باشند از سمت بالا دست به طرف پایاب با حروف نشان داده می شوند.

درز انبساط:

درزهای انبساط به منظور اجاره دادن به افزایش حجمی سازه در اثر افزایش درجه حرارت و اغلب برای جلوگیری از انتقال تنش از یک سازه به سازه مجاور آن احداث می شوند مشابه درزهای انقباض، این درزها نبایستی دارای چسبندگی بوده و معمولاً توسط مصالحی نظیر چوب پنبه، ماستیک و لاستیک های اسفنجی که قابل تراکم بوده و تنش را منتقل نمی کنند پر می شوند.

درز ساختمانی (اجرایی):

درز ساختمانی در سازه های بتنی قسمت ریخته شده قبلی است که بر روی آن بتن جدید ریخته می شود و بتن جدید در محل درز کاملاً به بتن قبلی چسبیده و سخت می شود و معمولاً پیمانکاران برای سهولت اجرایی از آن استفاده می کنند. قبل از بتن ریزی بر روی یک درز ساختمانی باید مصالح مثل ولق را از سطح درز کنده و سطح را کاملاً توسط هوا یا جت تمیز نمود در صورت لزوم می توان از شن پاشیدنی مرطوب استفاده کرد. سطح قبل از بتن ریزی کاملاً با آب شسته می شود ولی در هنگام بتن ریزی سطح آن باید کاملاً خشک باشد کلیه سنگهایی که بر روی سطح نمایان هستند باید کاملاً اشباع با سطح بیرونی خشک تمیز و عاری از مصالح شنی باشند. سطوح سنگی با تخلخل زیاد و سطوح افقی یا تقریباً افقی با جذب آب بالا بایستی با ملات مناسب کاملاً پوشانده شوند.

فواصل درزها:

موقعیت و فاصله بین درزهای انقباض بستگی به خصوصیات فیزیکی محل احداث سد جزئیات سازه های وابسته سد نتایج بررسی حرارتی، روش های اجرایی و ظرفیت پیش بینی شده برای سیستم بتن ساز دارد.

آب بندی درزها:

گشودگی موجود در بین درزها می تواند مسر مناسبی برای عبور آب از سراب به سمت پایاب به وجود آورد و بدین لحاظ لازم است از نوار آب بند در بالا دست جهت کنترل این تراوش استفاده گردد و همچنین به منظور ایجاد یک محیط بسته برای انجام عملیات تزریق بین درزها و یکپارچه نمودن سازه لازم است از آب بندها در تمام مرزهای درزه استفاده شود تا سیال تزریق شود کاملاً به تله افتاده و نتواند از درز خارج شود از انواع مختلف آب بندها می توان آب بندهای فلزی، لاستیکی، PVC اشاره نمود. که عرض حدود 30cm، دندانه دار با یک حباب در ربط برای سدهای بلند و با شکل مشابه و به عرض 25cm برای سدهای کوتاه مناسب می باشند.

کنترل درجه حرارت در سازه های بتنی حجیم:

یکی از مهمترین مشخصه های سازه های بتنی حجیم نظیر سدهای بتنی رفتار حرارتی آنها می باشد. مهمترین هدف در کنترل درجه حرارت بتن کنترل اندازه و فواصل ترکها بتن می باشد اندازه و حدود کار تابعی از اهمیت سازه، روش ساخت و درجه حرارت محیط است. بطور کلی بروز ترک در بتن بدلیل تاثیر روی قابلیت آب بندی تنش های داخلی، دوام و شکل ظاهری نامطلوب می

باشد. روش های کنترل درجه حرارت می تواند بصورت پیش سرمایش (precooling) و یا پس سرمایش (postcooling) باشد که بهر حال کاهش میزان سیمان مصرفی، استفاده از سیمان کم حرارت را استفاده از پوزولانها و جایگزینی آن با سیمان نیز می تواند ما را در کنترل درجه حرارت بتن یاری نماید.

ابزار دقیق در سدهای بتنی:

سدها به عنوان منابع ذخیره سازی آب طراحی و ساخته می شوند لذا این سازه ها عامل مهمی در توسعه ظرفیت رودخانه با اهداف کشاورزی، تامین آب شرب، نیروگاهها و تولید انرژی، کنترل سیلاب، تفریحات و سایر پروژه های اقتصادی سودمند محسوب می گردند.

حکمت و فلسفه نصب ابزار دقیق:

عوامل مهم و متغیرهای که در یک سد بتنی می بایست مورد مشاهده قرار گیرند و سیر تغییرات آنها بدقت کنترل گردد عمدتاً شامل جابجایی ها، تغییر شکلها، نشست ها، تراوش، سطوح پترومتری در پی سازه و زیر فشارهای وارده به بدنه سد می باشد اضافه می نماید که جابجایی کلی و جابجایی نسبی بین بخش های مختلف سازه می بایست بدقت مورد بررسی و کنکاش قرار گیرد. بدین لحاظ اهداف کلی ابزار گذاری شامل تشخیص، پیش بینی، استفاده در مسائل حقوقی و موضوعات تحقیقاتی خواهد بود.

الف: تشخیص:

۱. ارزیابی پارامترهای طراحی
۲. ارزیابی مطلوبیت تکنیکهای جدید ساختمانی
۳. ارزیابی عملکرد رضایت بخش در دراز مدت

ارزیابی پارامترهای طراحی:

ابزار گذاری غالباً نقش اصلی را در ارزیابی پارامترهای طراحی ایفا می کند بخصوص آنکه در طی ساخت مهند سین تا در خواهند بود که با اطلاعات بدست آمده صحت طراحی در هر مرحله را کنترل نمایند. علاوه بر این اطلاعات بدست آمده کمک می کنند تا فرضیات تئوریک اولیه که در طرح سازه بکار رفته است در مقایسه با شرایط واقعی تصحیح گردند.

ارزیابی مطلوبیت تکنیکهای جدید ساختمانی:

تجربه نشان داده است که تکنیکهای ساختمانی جدید یا اصلاح شده تا زمانیکه بر اساس کارکرد عملی به نحو مطلوب و ارضا کننده آزمایش نشده اند نمی توانند با اطمینان کافی مورد پذیرش متخصصان و مهندسان عمران قرار گیرند. داده ها و اطلاعات بدست آمده از ابزار دقیق می تواند به ارزیابی مطلوبیت روشهای جدید و یا تصحیح آنها کمک موثر نماید.

ارزیابی عملکرد رضایتبخش در دراز مدت:

هنگامی که اطلاعات بدست آمده از یک سیستم ابزار گذاری با مقادیر پیش بینی شده سازگاری مناسب داشته باشد و نشان دهنده رفتار مطلوب سازه باشد ممکن است که وجود ابزار ضروری به نظر نرسد اما همین اطلاعات ثابت می کند که تغییرات قابل توجه بعدی می تواند سبب بروز اشکال در سیستم گردند و بهمین دلیل آگاهی از عملکرد رضایتبخش سد به تنهایی برای استفاده در طراحی های بعدی ارزشمند است.

ب) پیش بینی:

داده های بدست آمده از تجهیزات ابزار دقیق نصب شده در داخل بدنه سد و جناحین می تواند جهت پیشگویی و پیش بینی رفتار سد در آینده مورد استفاده قرار گیرد این پیشگویی ممکن است حاکی از عملکرد رضایتبخش سد یا خرابی جدی آن باشد که سینی و بقای سد را به خطر انداخته و لذا نیازمند اقدامات پیشگیری کننده و چاره جویانه باشد.

ج) مسائل حقوقی:

اطلاعات بدست آمده از قرائت ابزار دقیق نصب شده می توانند برای تخمین اولیه پارامترهای عملکرد سازه تا تا سیس یک بانک اطلاعاتی قوی برای استفاده احتمالی آتی سودمند باشند در هنگام بروز صدمه جدی به سد و یا وقوع دعوی قضایی و مطالبات خسارت ناشی از احداث سد یا بروز حوادث نامطلوب اطلاعات به دست آمده از ابزارها قادرند در تعیین عوامل موثر در حادثه و در قضاوت حقوقی صحیح مورد استفاده قرار گیرند.

(د) تحقیقات:

برای آگاهی از طبیعت پیچیده نیروهای مختلف که به سد اعمال شده و در رفتار آن موثر هستند مطالعه رفتار سازه های موجود بسیار مناسب و مفید می باشد و اطلاعات بدست آمده از ابزارها و می توانند به عنوان داده های مفید و ارزنده ای برای استفاده در طرح های آتی بکار گرفته شوند در واقع این اطلاعات باعث پیشرفت در تکنیک های اجرایی، آنالیز، و طراحی شده باعث توسعه روشهای طرح نوآوری و درک بهتر از مکانیزم خرابی سد خواهند گردید.

تعداد، نوع، و موقعیت ابزار دقیق:

دلایل مختلف برای نصب ابزار دقیق در سدهای جدید یا قدیم وجود دارد. در حالت کلی سوالات اساسی در این زمینه که باید به آنها پاسخ داده شود عبارتند از: تعداد، نوع و موقعیت هر ابزار که پاسخ مربوط می تواند بصورت تابعی از ترکیبات احتمالی حوادث، درک مستقیم یک حادثه و یا حس عمومی مشترک باشد ولی باید توجه داشت که هر سد دارای موقعیت منحصر به فرد بوده و می بایست طراحی و نصب ابزارهای اندازه گیری در آن مختص خود آن سد باشد که مهمترین عامل مورد نظر، مشخصات سازه ای و ژئوتکنیکی سد و تکیه گاههای آن است.

حداقل ابزار مطلوب:

بر اساس مطالعات انجام شده تعیین حداقل ابزارهای قابل نصب به دوره کلی سدهای موجود (یا قدیمی) و سدهای جدید طبقه بندی میگردد و این بدلیل وجود تفاوتها و سائلی است که اهم آنها عبارتند از:

- روشهای نصب مختلف در طی زمان ساخت را برای سد که در سدهای ساخته شده استفاده از این روشها امکانپذیر نمی باشد.
- سدهای جدید نیاز به بررسی ویژه در حالات زمان ساخت، اولین آگیری و چند سال اول بهره برداری دارند.
- در سدهای قدیمی پدیده هایی نظیر تغییر شکل سد و فونداسیون در گذشته رخ داده است که در حال حاضر غیر قابل تشخیص می باشند.

- بسیاری از سدهای قدیمی با استانداردهای متفاوت با آنچه با آنچه در حال حاضر مرسوم است ساخته شده اند.

در حال عوامل مهمی که بر روی تجهیزات ابزار دقیق اثر می گذارند را می توان برای سدهای جدید بصورت زیر بیان نمود:

الف- سدهای بتنی قوسی ب- سدهای بتنی وزنی ج- سرریز و تاسیسات آگیری

طبقه بندی ابزارهای اندازه گیری:

۱- وسائل اندازه گیری فشار هیدرواستاتیک: وسائل متنوعی برای اندازه گیری فشار هیدرواستاتیک وجود دارد که به صورت عمده به سه دسته تقسیم می شود. ۱- باز ۲- بسته ۳- سیستم بسته نوع بودن سیستم بسته ← ۱- سیستم لرزان ۲- کارسون و سیستم های باز معمولا بنام چاههای مشاهده ای نامیده می شوند.

۲- وسائل اندازه گیری تنش:

اقسام مختلف وسائل اندازه گیری تنش وجود داشته که جزئیات تیپ برای تنش سنج ها ارائه شده است که چهار نوع معروف آن عبارتند از:

۱- سلول گلوترن ۲- بارکالسون ۳- تار مرتعش ۴- جک صفحه ای

۳- وسائل اندازه گیری تغییر شکلهای داخلی:

اندازه گیری تغییر شکل داخلی یک سد در هر صفحه و امتداد و کنترل و مقایسه آنها با تغییر شکلهای مجاز و محاسبه شده از اهمیت ویژه ای برخوردار است که شامل مولفه های اصلی قائم و افقی می باشد. برای اندازه گیری تغییر شکل داخلی سازه وسایل

مختلفی در دسترس می باشد که مشتمل بر نوار اندازه گیری، کشش سنج گمانه ای یک نقطه ای و چند نقطه ایی درزه سنج پاندول، ابزارهای سنجش، اندازه گیر وایت مور، اندازه گیری مقاومتی، اندازه گیری میزان کج شدن و شیب سنج تغییر مکان سنج است. پاندولها در سدهای بتنی برای تخمین تغییر مکانهای افقی دو یا چند نقطه که بر روی خط عمودی ثابت قرار دارند مورد استفاده قرار می گیرند و به دو گروه عمده پاندول مستقیم و معکوس تقسیم بندی می گردند که می تواند بصورت نوری یا مکانیکی (سیم) باشد.

پاندولهای مستقیم:

از یک سیم فولادی با ترکیب ویژه که در انتهای بالایی به نقطه ای ثابت بسته شده یک ظرف محتوی روغن برای تسریع در مسیر این و ساکن شدن وزنه آویزان در انتهای پائینی پاندول و یک سیستم قرائت برای ارزیابی جابجایی سیستم پاندول در ترازهای مختلف سد تشکیل شده است. وزنه های استفاده شده در انتهای پائینی سیستم پاندول برای پیش تنیده کردن سیم پاندول تا میزان از پیش تعیین شده بکار می روند.

پاندول معکوس:

سیستم پاندول در انتهای پائینی به نقطه ای ثابت بسته شده و در انتهای بالایی به یک شناور غوطه ور در یک ظرف مایع متصل شده که حرکت آزاد آن را تضمین می کند. مزیت پاندول معکوس نسبت به پاندول مستقیم در این است که نقطه ثابت سیم را می توان با حفر گمانه در اعماق پی سد ثابت نمود لذا اندازه گیری دقیق تر خواهند بود بهرحال در سدها معمولا از ترکیب پاندولهای مستقیم و معکوس استفاده شده و تمام جابجاییها بر اساس قرائت های انجام شده با پاندول معکوس ارزیابی شده و با آن مقایسه می شوند.

۴- وسایل اندازه گیری تغییر شکل سطحی:

تغییر شکلهای افقی یا قائم بوجود آمده بر روی سطوح خارجی بدنه بتنی سد برای محاسبه کل تغییر مکان در مقایسه با یک سطح مبنا باید اندازه گیری شود. تغییر مکان سطحی معمولا با روش های متعارف و نقشه برداری تعیین می شود. نقشه برداری و تعیین موقعیت می تواند با مثلث بندی و ... انجام پذیرد. وسایل جانبی مورد نیاز شامل مسیر، دوربین، تئودولیت، متر یا اندازه گیری طول الکترونیکی و ... می باشد.

۵- وسایل اندازه گیری لرزه (لرزه سنج):

لرزش های شدید در محل سد امکان ایجاد ترک در بتن یا روتگرایی پی و نیز بروز مشکلات پایداری در خاکریزها را فراهم می سازد این لرزش ها می تواند ناشی از وقوع زمین لرزه یا انفجار باشد اندازه گیری حرکات ناشی از زمین لرزه قادر است تا میزان مقاومت سد طراحی شده را در مقابل حرکات زمین و یا تا حد یک زلزله مشخص معین نماید.

از لرزه سنجها یا ابزار اندازه گیری برای نشان دادن پاسخ سازه، پی یا تکیه گاهها به زلزله ای که اتفاق افتاده است استفاده می شود عنوان کلی زلزله نگار به ابزارهایی اطلاق می گردد که به صورت اتوماتیک و پیوسته حرکات زمین را معین و ثبت می کنند. پیکره اصلی یک دستگاه زلزله نگار شامل یک قاب است که به زمین یا بدنه سد مها می گردد. در صورت حرکت قاب حرکات افقی و قائم می توانند بصورت الکتریکی، نوری یا مکانیکی ثبت شده و پس به صورت شتاب، سرعت یا جابجایی تفسیر گردند.

خودکارسازی سیستم ابزار دقیق:

لرزم افزایش کیفیت داده های دستگاه ها، اخذ سریع، مخابره و تحلیل اطلاعات، حذف خطاهای انسانی (ثبت و قرائت و قابلیت تطابق برنامه ریزی کامپیوتری از جمله مواردی هستند که اهمیت خودکار سازی سیستم های اندازه گیری را نشان می دهند. به طور کلی سیستم اخذ اطلاعات بعنوان مهمترین عامل در خودکار سازی اندازه گیری محسوب می گردد بهرحال خودکارسازی دستگاههای سنجش رفتار سازه به دلایل مختلف از جمله عدم دسترسی به نیروی کاری مجرب، فواصل زمانی کوتاهتر بین اندازه گیریها، ضرورت کنترل شبانه روزی سد دوری محل و عدم امکان دسترسی آسان به بعضی سدها روز به روز افزایش می یابد و با توجه به کاهش هزینه های جنبی و افزایش قابلیت اعتماد به دستگاهها، استفاده از آنها مقرون به صرفه خواهد بود.

سد لاستیکی:

سد لاستیکی از دو واژه انگلیسی rubber یعنی لاستیک و dam یعنی سد تشکیل شده است. سد لاستیکی سدی است متشکل از یک ورقه لاستیکی دوجداره لوله ای شکلی که در مقطع عرضی رودخانه یا آبراهه به منظور بالا آوردن سطح آب و تثبیت آن نصب شده است. از این طریق آب را به اراضی اطراف یا کانالهای انتقال و توزیع آب با دهانه آبیگری فرستند.

درون سد لاستیکی با هوا یا آب پر می شود. پائین آوردن تاج سد با خارج کردن هوا یا آب از داخل رودخانه قرار می گیرد و آب کاملاً از مقطع عبور می کند و به پائین دست منتقل می شود. بنابراین درباره ی سدهای لاستیکی دو مفهوم قابل بحث است:

۱- جنس بدنه سد: جنس بدنه لاستیکی و از یک ماده انعطاف پذیر می باشد.

۲- تنظیم فشار، تنظیم شکل خود سد توسط یک سیال تحت فشار مثل آب با هوا انجام می شود.

سد لاستیکی از نوع سد انحرافی و تنظیم آب می باشد که در دنیا مطرح شده و طی ۲۰ سال یا ۳۰ سال گذشته در برخی از کشورهای دنیا به اجرا در آمده است در حال حاضر نیز مورد استفاده قرار می گیرد.

تاریخچه:

سد لاستیکی مقوله تقریباً جدیدی است که تجربه آن در ایران فقط به یک مورد در شهرستان بابلسر بر روی رودخانه بابلرود بر می گردد و موارد مشابه به کشورهای دیگر نظیر ژاپن، آلمان و آمریکا یافت می شود.

شخصی به نام ایپر سون در سال ۱۹۵۶ در شهر لوس آنجلس آمریکا استفاده از سد لاستیکی را برای تنظیم آب به منظور تغذیه مصنوعی در دشت لوس آنجلس مطرح نمود. این سد بوسیله فشار آب تنظیم می شود و به گونه ای طراحی شده بود که از فشار آب پشت سد بدنه سد نیز پر می شد و بوسیله شناور در سطحی می ایستاد و تنظیم آب به صورت اتوماتیک صورت می گرفت. پس از مشاهده مشکلات ناشی از فشار در اجرا و عملکرد بحث جایگزین کردن آب با هوا را مطرح کردند و از این روش به عنوان روشی برتر استفاده می کنیم.

بدین منظور از یک دستگاه کمپر سور کمکی استفاده می کنیم. تا فشار درون را بروی وابستگی کامل به سطح کامل آب پشت تنظیم کنند. حتی در مواردی می توان ارتفاع سد را بیش از آنچه که نیاز است با کمک کمپرسور تنظیم کرد. به نحوی که ارتفاع در سطحی بالاتر قرار گیرد.

مورد کاربرد:

کاربرد سدهای لاستیکی عبارت است از:

- دریچه کنترل سطح آب در سیستم های آبیاری و تامین آب

- دریچه کنترل آب سطح آب در سیستم های برقی آبی

- بالا بردن ارتفاع تاج سدها

- محدود ساختن مناطق جزر و مدی

- ایجاد حوضچه های تفریحی

- تصفیه فاضلاب

- سرریز مخازن

- دریچه تخلیه رسوب

- تغذیه سفره های آب زیر زمینی

- ایجاد اسکله قایقرانی

مقایسه سدهای لاستیکی با دریچه های فولادی:

نزدیکترین سازه ائی که مشابهت عملی با سد لاستیکی دارد سد انحرافی دریچه دار است زیرا در سدهای انحرافی غیر دریچه ائی تنظیم سطح آب در یک رقوم ثابت است نمی توان در رقوم سطح آب تغییراتی داشت. مگر اینکه از دریچه متحرک استفاده شود بنابراین سدهای دریچه دار فولادی رقیب سدهای لاستیکی است.

مزایای سد لاستیکی نسبت به سدهای دریچه دار فولادی:

الف- هزینه نصب: با توجه به موارد زیر می توان گفت که هزینه کلی ساخت و نصب سدهای لاستیکی یک چهارم یا یک سوم هزینه ساخت سدهای دیگر است.

۱- دهانه بزرگتر، تعداد پایه کمتر: در سدهای دریچه دار هر ۲۰-۱۵ متر یک پایه قرار میدهم و دریچه فلزی نصب می کنیم که هزینه بر است ولی در سدهای لاستیکی تقریباً نیاز به پایه زیاد نیست و می توان این سد را تا عرض ۱۵۰ متر هم بدون پایه وسط به کار برد.

۲- ساخت ساده تر پی نسبتاً ساده: این سد تقریباً وزن ندارد و نسبت به سازه های بتنی وزنش تقریباً برابر صفر است چون یک ورقه لاستیکی می باشد که مثل بادکنک باد شده است و به هیچ وجه فشار غیر قابل تحملی را به پی وارد نمی کند و در نهایت می توانیم از پی خیلی ساده ائی که بتوان جداره لاستیکی را در آن مهار کرد استفاده کنیم. در این صورت نیاز به استفاده از پی های سنگین و پر هزینه از بین می رود.

۳- قابلیت نصب روی هر شیب جانبی، هزینه کمتر دیواره های جانبی:

در سدهای دریچه دار لازم است که تکیه گاه کناری دارای جداری با شیب قائم ساخته و نصب شود. ولی در سدهای لاستیکی با هر شیبی که بدنه سد داشته باشد حتی ۴۵ درجه یا کمتر می توان با مختصر تغییراتی در بستر، سد را نصب کرد و بدین طریقه نیاز به هیچ نوع تنظیم پر هزینه دیگری نیست.

۴- عدم نیاز به سازه فوقانی روی بدنه سد: در سدهای دریچه دار به جرثقیل و تجهیزات الکترومکانیک نیاز است تا بتوان سیستم را مانور و دریچه را باز و بسته کرد که هم به دلیل بار استاتیکی وارد به سازه و هم پر هزینه بودن مشکل ایجاد می کند ولی در سدهای لاستیکی تقریباً تمام این موارد حذف وارد و هزینه کمتر می شود.

۵- دوره کوتاهتر ساخت: ساخت سد انحرافی دریچه دار در شرایطی که فعلاً در ایران موجود است به ۲ تا ۳ سال زمان نیاز دارد. مشروط بر آنکه در کارخانه ساخته شده باشد. ولی بر اساس تجربیات موجود در دنیا تمام عملیات ساخت سد لاستیکی را در ۳ تا ۴ ماه می توان انجام داد. بیشترین زمان مصرف شده در ساخت آن، بخش مربوط به انحراف آب و ساختن پی سلامت و عملیات نصب را می توان در مدت کمتر از یک ماه انجام داد.

ب- هزینه های بهره برداری و زیست محیطی:

در این موارد نیز سدهای لاستیکی مزایایی دارد که عبارت است از:

عدم نیاز به روغن کاری سیستم یا نگهداری سیستم هیدرولیکی و عدم نیاز به رنگ آمیزی و نیاز به موتور با قدرت کمتر.

پ- مسائل بهره برداری و زیست محیطی:

بهره برداری از مسائل زیست محیطی موارد زیر قابل توجه است:

حداقل به هم خوردگی در جریان نرمال آب (در سدهای دریچه دار به دلیل وجود پایه زیاد شرایط نرمال آب رودخانه به لحاظ هیدرولیکی تغییر می کند و مشکلاتی را برای طراحی ایجاد می کند ولی در سدهای لاستیکی این مشکل وجود ندارد.)

- اطمینان از تخلیه به موقع بدنه سد بدون نگرانی از عمل نکردن دریچه ها

- عدم نیاز به ایجاد تغییر در مقطع طبیعی رودخانه

معایب سدهای لاستیکی:

- امکان ایجاد خسارت در جداره سد بر اثر خار و خاشاک و ذرات نوک تیز شناور در آب (با توجه به لاستیکی بودن بدنه سد)

- امکان ایجاد خسارت در اثر دستبرد

- عمر کمتر به سدهای دیگر (در صورت نگهداری و بهره برداری عمر مفید آن بیش از ۵۰ سال خواهد شد).
- امکان سایش سد پائین دست روی مهد بر اثر نوسانات بدنه.

نحوه عملکرد اجزای سد:

روی یکی از تکیه گاه ها در کنار سد اتاتک کوچکی در حدود ۲ در ۳ متر به نام اتامک کنترل وجود دارد. در لوله وارد اتامک کنترل شود که از طرف دیگر به بدنه سد متصل می گردد. یکی از این لوله ها انتقال سطح آب بالادست و تنظیم شناور را به عهده دارد. و دیگری هوایی را که کمپرسور بیرون می آید به داخل سیستم برده، بدنه را باد می کنند. محفظه بالائی اتاقک کنترل، تنظیم کننده فشار هوا است در آن کمپرسور و شیرهای تنظیم قرار می گیرد. یک شناور که در داخل حوضچه ائی قرار دارد توسط یکی از لوله ها به آب بالادست مرتبط است و با کمک کابل دریچه های مربوطه را باز و بسته می کند و با تحریک این دریچه ها و شیر مقطع و وصل فشار داخل کمپرسور تنظیم می شود. کمپرسور شروع به کار می کند و هوای فشرده از طریق سیستم به داخل لوله برده شده، لوله هوای فشرده را به داخل بدنه منتقل می کند و سد در ارتفاع دلخواه تنظیم می شود. مهمترین قسمت در احداث سد قسمت پیچ است که بدنه را بطور آب بند به پی وصل می کند بعضی اوقات بدنه با یک سیستم خطی فشار را به زمین وارد می کند. یعنی در یک ردیف بدنه به پی پیچ می شود که در ردیف در کنار لبه سد است و یک ردیف هم در داخل به زمین مهار می شود که به آن - Anchor line duol گفته می شود. و در مواردی استفاده می شود که طغیان های زیادی وجود دارد. ضخامت سد متناسب است با ارتفاع آن است و برای سدهایی با ارتفاع ۱ تا ۴ متر مقادیر ۱۰ تا ۱۶ میلیمتر محاسبه شده است.

- مطالعه موردی - سد لاستیکی بابلسر:

با توجه به بازدیدی که از سد لاستیکی انجام شده است مطالب گفته شده توسط مسئول فنی سد و همچنین آمار اطلاعات داده شده توسط اداره آب شهرستان بابلسر و اداره آب کل استان مازندران مطالب زیر قابل توجه است:

سد لاستیکی بابلسر بر روی رودخانه بابلرود در مسیر جاده بابل به بابلسر قرار دارد. این سد تنظیمی انحرافی بوده و در واقع یک سد دو منظوره است و برای دو هدف ساخته شده است:

۱- بالا آوردن سطح رودخانه بابلرود و ذخیره سازی کوتاه مدت جریانهای پایه رودخانه با توجه به نیاز آبی منطقه و تامین آب کافی برای پمپاژ پمپ های منطقه و آبیاری اراضی اطراف.

۲- جلوگیری از پیشروی آب شور دریای خزر به آب رودخانه در فصلهای کم آب نظیر تابستان

یکی از قواعد این سد این است که در زمان سیلابی، لاستیک کف رودخانه می خوابد و مانع جمع شدن رسوب می شود و به این طریق از وارد شدن خسارت به سازه های جانبی جلوگیری می کنند.

علل انتخاب سد لاستیکی نسبت به دیگر انواع سد:

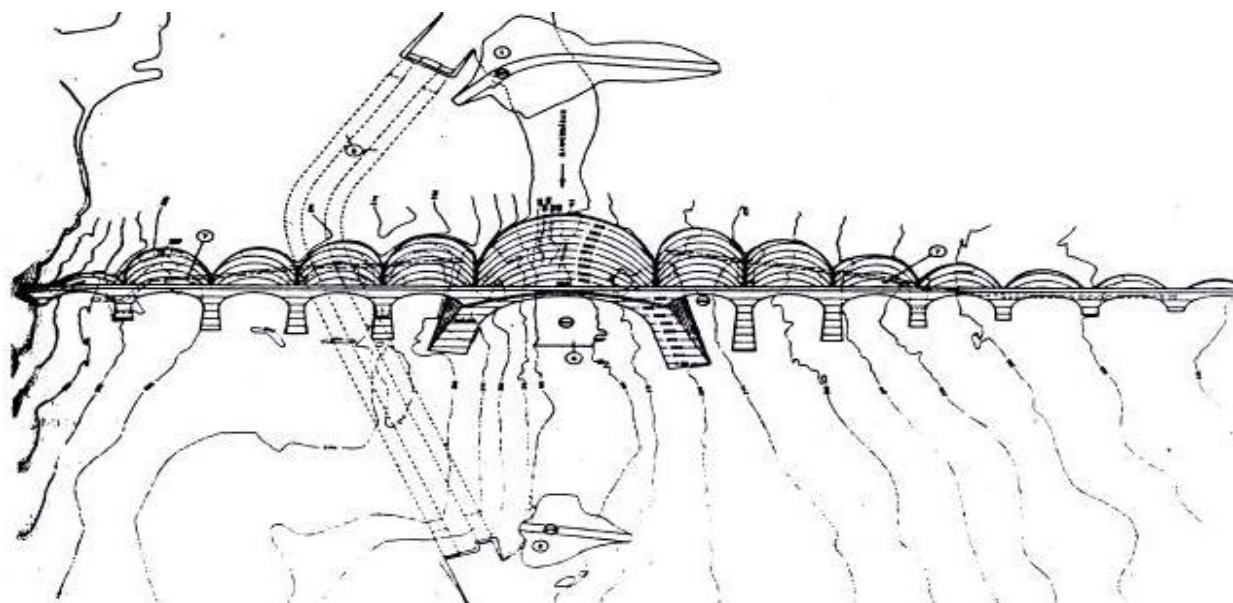
شوری آب دریا: چون اینگونه سدها در نزدیکی دریا دارای کیفیت بالاتری دارد و مانع پیشروی آب شور دریا به رودخانه می شود.

- چون شیب رودخانه کم است نمی تواند سنگ یا ذرات معلق و نوک تیز را با خود همراه آورد. بنابراین سد لاستیکی هیچ گونه خسارتی نمی بیند.

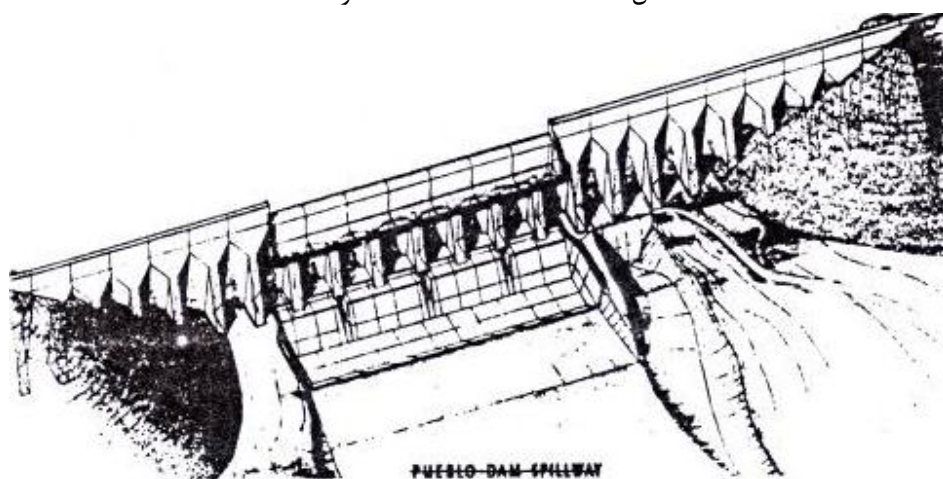
بستر سد لجنی است و امکان ساخت سد بتنی به علت نشست آن وجود ندارد.

ساخت این سد از سال ۱۳۷۴ شروع شد. در ابتدا قرار بود لاستیک از ژاپن خریداری گردد که به دلیل بالا بودن قیمت پیشنهادی طرح به عقب افتاد. در اواخر سال ۱۳۷۶ لاستیک را از کشور فرانسه خریداری نمودند. در اوایل سال ۱۳۷۷ نصب گردید و سد مورد بهره برداری قرار گرفت. ساخت سد ۵۰۰ میلیون تومان هزینه در برداشته است. این سد آب لازم را برای آبیاری ۹۰۰ هکتار از راضی را فراهم می کند. مخزن آن دارای حجم ۱۰۰۰ مترمکعب و طول سه کیلومتر است و در محل احداث رودخانه دارای عرض ۱۰۰-۱۲۰ متر می باشد. سد دارای طول ۶۰ متر در قسمت کف ۷۲ متر در قسمت تاج و حداکثر ارتفاع ۲/۸ میلیمتر با ضخامت لاستیک ۶/۸ میلیمتر می باشد و بصورت دو ردیفه به پی پیچ شده است. پی سد بتنی است که به عرض ۱۵ متر و ضخامت ۶۰

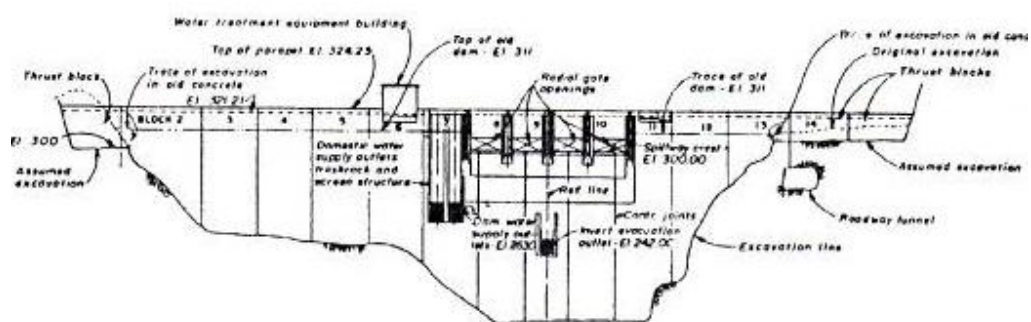
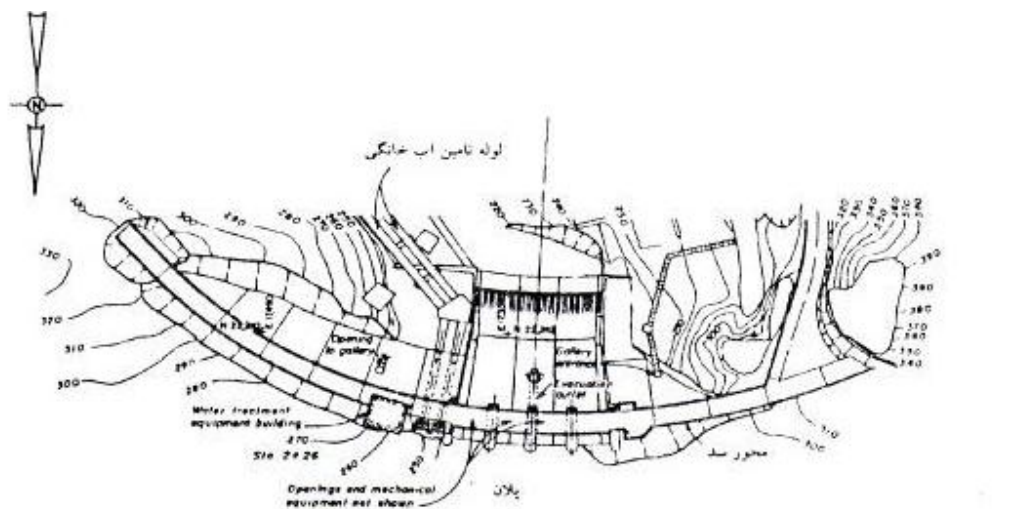
سانتی متر بتن ریزی شده و در قسمت پائین دست و بالا دست به میزان ۱۰ متر سنگ چین شده است وقتی ارتفاع آب بالای سد ۲۰-۳۰ سانتی متر بیشتر شود. باد سد خالی می شود. زمان تخلیه سد نیم ساعت است. و پی از پائین آمدن سطح آب سد باد می شود که مدت زمان بادگیری آن ۴۵ دقیقه است. با شروع اولیه ۷۰ واحد بار می گیرد. کمپر سور خاموش می شود و بقیه بادگیری متناسب با فشار آب پشت سد است که بطور خودکار حدود ۲۲۰ تا ۲۵۰ واحد از فروردین ماه تا مرداد ماه به علت بالا بودن نیاز آبی زمینه های کشاورزی اطراف سد باد شده است. ولی در بقیه مواقع سد روی کف خوابیده است.



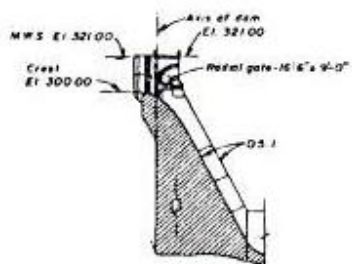
شکل ۱ سد Daniel Johnson در کانادا



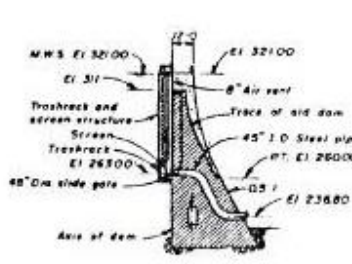
شکل ۲ سرریز سد Pueblo بر گرفته از USBR



نمای بالا دست (توسعه یافته در طول محور سد)

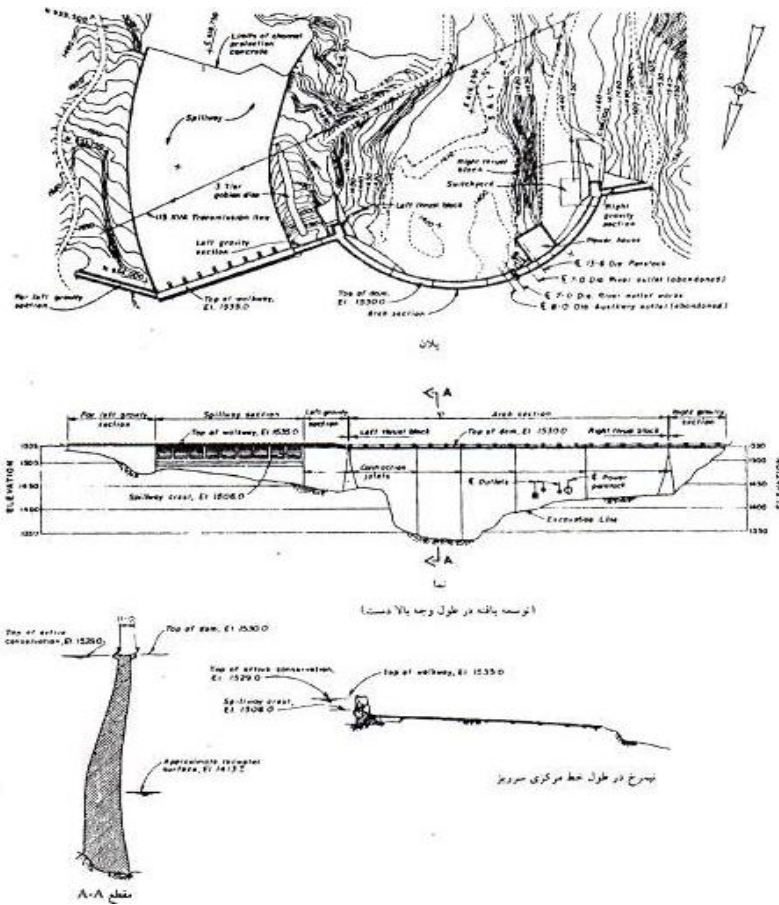


مقطع سرریز

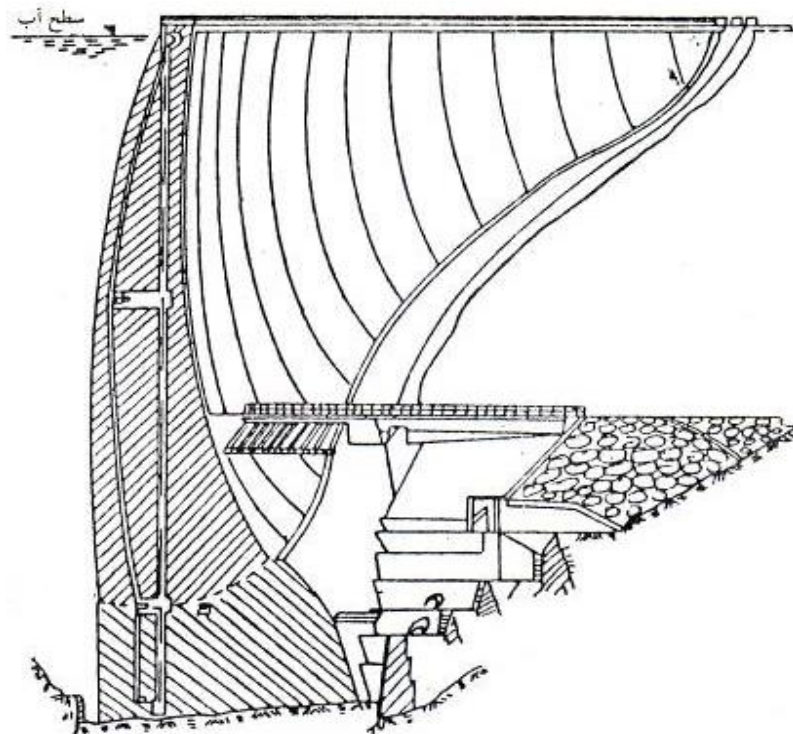


مقطع محل خروجی آب خانگی

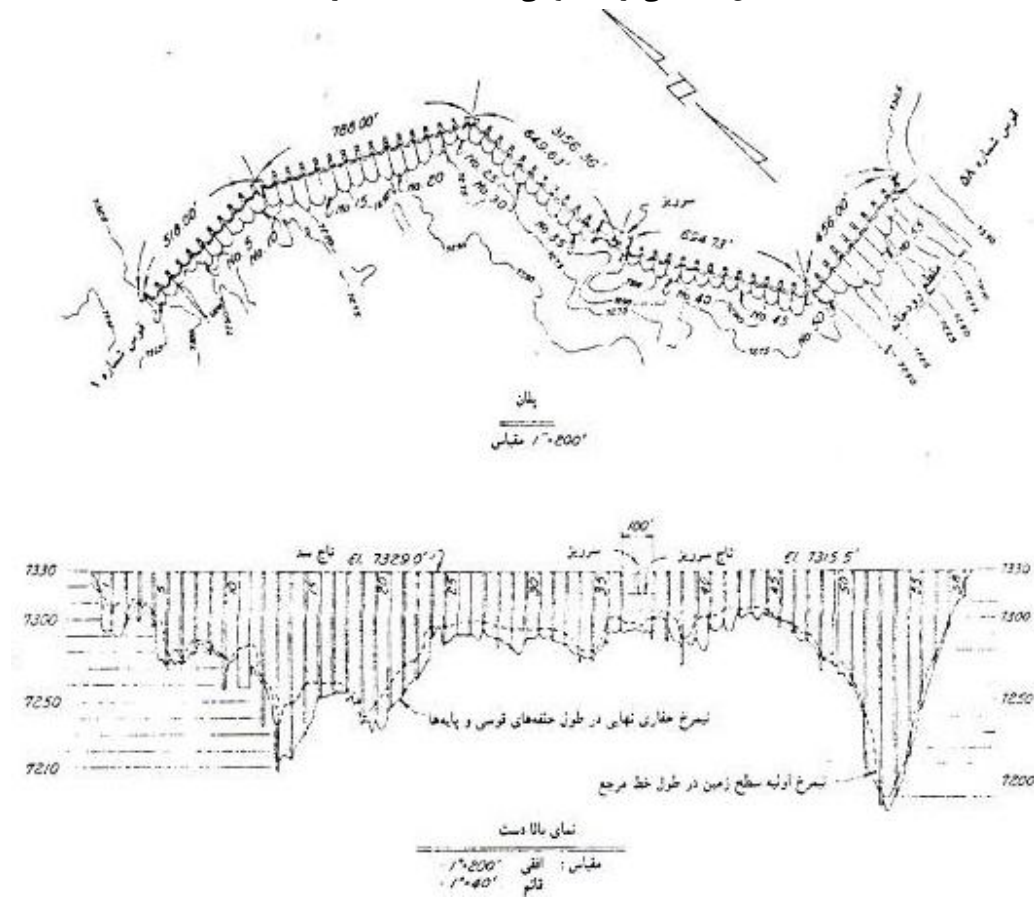
سد قوسی Klang Gates در مالزی (پلان و نما)



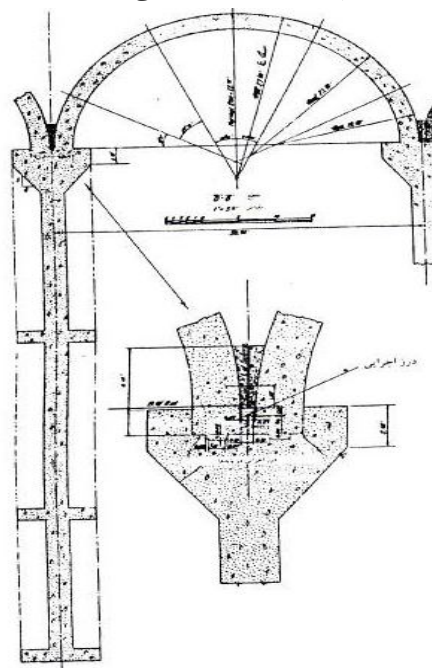
شکل ۴ پلان، نما و مقاطع سد قوسی Stewart Mountain



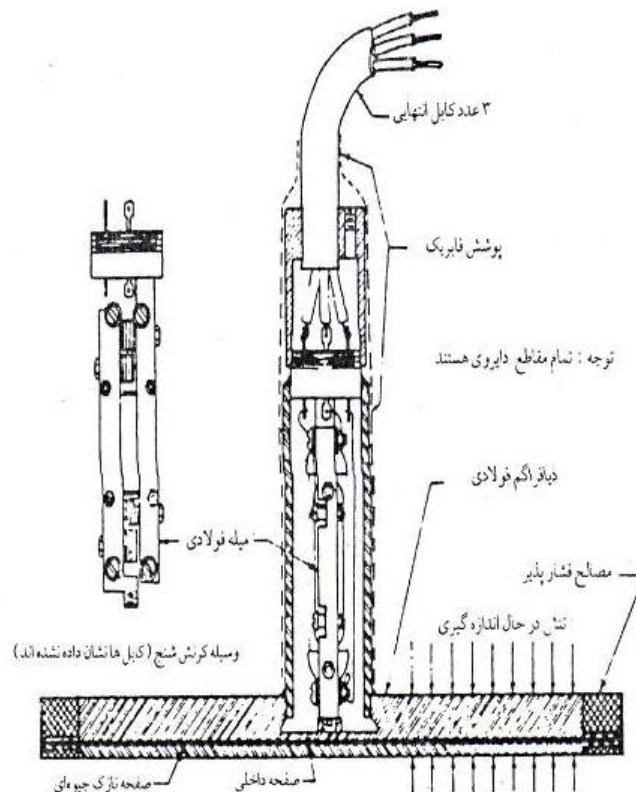
شکل ۵ نمایی از سد قوسی Beauregard در ایتالیا



شکل ۶ پلان و نمای سد قوسی Florence



شکل ۷ ادامه شکل شماره ۶



شکل ۸ جزئیات تیپ یک تنش سنج

روشهای بهسازی و مقاوم سازی سد ها و راهکارهای پیش رو در برابر زلزله

پایداری سد ها در برابر بارهای وارده دینامیک یو استاتیکی به دلیل اهمیت این گونه سازه ها چه از نظر کاربرد آنها و چه از نظر آثار و صدماتی که از خرابی آنها ایجاد می گردد از اهمیت بالائی برخوردار است. در این مقاله سعی شده با بررسی پایداری و باربری سد های مختلف و حد شکست آنها شاخصه هائی جهت برآورد باربری سد ها در اختیار محققین قرار دهد.

ابنیه آبی نظیر سد و پایداری لرزه ای:

سد هایی که قرار است در نواحی زلزله خیز ساخته شوند بایستی به گونه ای طراحی گردند تا بتوانند در مقابل نیروهای ناشی از شدیدترین زلزله محتمل (MCE) در طول عمر مفیدشان مقاومت کنند. امواج به وجود آمده از زلزله باعث ایجاد نیروهای دینامیکی و لرزاندن زمین و پی سد گشته و نهایتاً می تواند در سد به عنوان یک سازه الاستیک، تشدید ایجاد نماید. امواج زلزله که عموماً به علت حرکات پوسته زمین در امتداد گسلها به وجود می آید، از یک نقطه (یا یک منطقه کوچک) به نام «مرکز زلزله» در اعماق زمین شروع شده، شتابی را در پوسته زمین باعث می شوند و آن را در جهتی که موج حرکت می کند، به حرکت در می آورند. برای بررسی موقعیت گسلها، طول آنها و فعال بودنشان لازم است تا از بررسی های زمین شناسی کمک جست و رکوردهای زلزله های گذشته در منطقه مورد مطالعه، می تواند برای تعیین محل وقوع زلزله و بزرگی شدت آن مورد استفاده قرار گیرد. در هر حال معمولاً براساس مطالعات قبلی انجام شده، هر کشور به مناطقی بر حسب تغییرات شدت زلزله تقسیم شده و نقشه هایی برای آن رسم می شود، نهایتاً با توجه به این ناحیه بندی و حساسیت سازه ای که قرار است ساخته شود، شتاب زلزله طراحی تعیین می گردد. در پاره ای موارد و بخصوص برای ساخت سد های بلند و حساس، لازم است تا مطالعات لرزه زمین ساخت صورت پذیرد و سپس شتاب زلزله برای طراحی معین گردد. شدت و شتاب زلزله معمولاً بر حسب ضریبی از شتاب ثقل (g) معین می گردد و لذا

اگر شتاب زلزله برابر αg در نظر گرفته شود، α ضریب زلزله نامیده می شود. برای سدها و باتوجه به زلزله خیزی منطقه ضریب α از حداقل $0.20/$ تا حداکثر حتی $0.3/$ و معمولاً بین $0.1/$ تا $0.15/$ برای سدهای بلند در مناطق زلزله خیز تغییر می کند. شایان ذکر است که بزرگی نیروی زلزله تابع عوامل مختلفی از جمله بزرگی زلزله، وزن سد و میزان خاصیت ارتجاعی مصالح تشکیل دهنده سد می باشد. از آنجا که موج ناشی از زلزله ممکن است در هر جهتی حرکت نماید (برحسب نوع زلزله و مرکز آن)، برای سادگی دو مولفه افقی و قائم برای شتاب زلزله در نظر می گیرند که معمولاً شتاب قائم، $\frac{2}{3}$ شتاب افقی بوده، می تواند تا $\frac{1}{2}$ آن نیز تقلیل یابد. براین اساس، نیروهای زلزله در دو جهت افقی و قائم در اثر وزن سد و نیز آب موجود در مخزن سد و نیز آب موجود در مخزن تاثیر خواهند کرد که با توجه به خاصیت نوسانی زلزله، نیروهای افقی می تواند به سمت بالا دست یا پایین دست و نیروی قائم می تواند به سمت بالا یا پایین اثر کند که در بین حالات مختلف، شرایطی که بحرانی ترین حالت را برای طراحی نشان دهد، مورد بررسی و انتخاب قرار می گیرد.

۱- نیروهای وارد بر سد

۱-۱- نیروهای زلزله ناشی از وزن سد

در اثر زلزله و امواج بوجود آمده از آن در جسم سد نوساناتی ایجاد شده که متناسب با وزن آن، نیرویی به نام نیروی اینرسی به مجموعه نیروهای وارده به سد اضافه شده، خستگی هایی را در قسمتهای مختلف سد به وجود می آورد. همانگونه که اشاره گردید، به دلیل تقسیم شتاب زلزله به دو مولفه افقی و قائم (که مولفه افقی نیز می تواند در صفحه افق دارای جهات متفاوتی باشد)، نیروی اینرسی نیز دارای دو مولفه افقی و قائم خواهد بود. اضافه می نمائیم که نیروی اینرسی همیشه در جهت خلاف شتاب افقی زلزله به سمت بالادست باشد، نیروی اینرسی افقی به سمت بالا دست باشد، نیروی اینرسی افقی به سمت پایین دست خواهد بود و بالعکس و همچنین برای شتاب قائم زلزله نیز چنین است.

۱-۲- نیروی زلزله ناشی از آب پشت سد

آب پشت سد نیز در صورت وجود می تواند متاثر از دو مولفه افقی و قائم شتاب زلزله شده و متناسباً دو نیروی افقی و قائم بر سد وارد کند.

۲- عوامل خرابی سد

سد بتنی ممکن است به یکی از سه علل زیر سقوط نماید:

۱- لغزش روی یک صفحه افقی

۲- چرخش روی پنجه خود

۳- ضعف مصالح ساختمانی (افزایش تنش وارده نسبت به تنش مجاز)

۲-۱- پایداری در مقابل چرخش یا واژگونی

اگر منتهی تمام نیروهای وارده بر سد، از خارج از قاعده (یا مقطع افقی) مربوط بگذرد، سد واژگون خواهد شد، مگر آنکه بتواند در مقابل تنش های کششی مقاومت نماید. برای بررسی پایداری سد در مقابل واژگونی، از ضریب اطمینان واژگونی (F_m) استفاده می شود و آن عبارت است از نسبت لنگر نیروهای مقاوم در مقابل واژگونی حول پنجه سد (یا مقطع) به لنگر نیروهای واژگونی نسبت به همان نقطه:

$$F_m = \frac{\sum M_R}{\sum M_O}$$

حداقل ضریب اطمینان مذکور برای سدهای وزنی معادل $1/5$ در نظر گرفته می شود و چنانچه ایمنی سد در مقابل لغزش و تنش تامین گردد، معمولاً ضریب اطمینان واژگونی بین $1/5$ تا $2/5$ به دست می آید.

۲-۲- پایداری در مقابل لغزش

خرابی سد وزنی می تواند در اثر لغزش روی قاعده و یا در اثر لغزش هر قطعه از سد روی سطح افقی قطعه پایینی (که جدا کننده دو قطعه از یکدیگر است) اتفاق افتد. عواملی که می توانند در مقابل لغزش مقاومت کنند عبارتند از اصطکاک و مقاومت برشی موجود بین دو قطعه پایین سد و سنگ فونداسین در محل قاعده که مجموعاً نیروهای مقاومت در مقابل لغزش را تشکیل داده و سد باید به گونه ای طراحی گردد که این نیروها از نیروهای لغزشی بیشتر باشند.

براین اساس ضریب اطمینان در مقابل لغزش (F_S) عبارت خواهد بود از:

نسبت کل نیروهای افقی مقاوم در مقابل لغزش به نیروهای افقی لغزشی

$$F_S = \frac{\mu \sum F_v}{\sum F_h}$$

سدهای قوسی از انواع سدهای با اضافه ظرفیت باربری بالا و خصیصه ی خود انطباقی و برتری نسبت ایمنی به قیمت بهره می برند. هر چه سد قوسی مرتفع تر و بزرگتر باشد، به همان نسبت شرایط زمین شناسی محل سد پیچیده تر بوده و ظرفیت مخزن نیز بزرگ تر خواهد بود. بنابراین، در صورت وقوع هر گونه خرابی در این سدها، اقتصاد ملی متحمل زیان فراوان شده و زندگی و دارایی مردم در معرض خطر قرار خواهد گرفت. در نتیجه، خسارت بالای ناشی از فروریزی سد نشان دهنده ی اهمیت بالایی است که باید به ارزیابی و نظارت بر مسائل امنیتی سد اختصاص داده شود. در حال حاضر، مهمترین اهداف در بررسی های امنیتی در این زمینه شامل، تئوری مقاومت، تئوری پایداری، تئوری قابلیت اتکاء، تئوری صدمات شکستگی به همراه تحلیل های شبیه سازی عددی، تست مدل ژئوهندسی، ارزیابی و تحلیل بالعکس داده ها و غیره می باشد. با این وجود، این اهداف، دور از اصول تئوریکال علمی و اقبال از سوی چرخه ی مهندسی سد می باشد. این مقاله درباره ی پیشرفت های صورت گرفته در زمینه ی سدهای قوسی و زیان و خسارت ناشی از فروریزی این سدها و خلاصه ای بر تئوری های اصلی موجود و اهداف ارزیابی های امنیتی سدهای قوسی بوده و نقاط ضعف این تئوری ها و اهداف را تحلیل کرده و مشکلات موجود بر سر راه تحقیقات آینده را مورد اشاره قرار داده و نهایتاً به مسائل و موضوعات حیاتی و نقاط مشکل ساز به عنوان ارزیابی های امنیتی سدهای قوسی می پردازد.

سدهای قوسی:

سدهای قوسی گونه ای از سدهای امن و اقتصادی می باشند. از زمان ساخت اولین سد قوسی در جهان (سد زولا) در فرانسه در سال ۱۸۵۴ و اولین سد قوسی بلند در جهان (سد هاور) (به ارتفاع ۲۲۱ متر و طول تاج ۳۷۲ متر) در آمریکا در سال ۱۹۳۶، سدهای قوسی به لطف اضافه ظرفیت باربری منحصر بفرد و خصیصه ی خود-تنظیمی، به وفور مورد توجه مهندسی سد در زمینه ساخت سد در سراسر جهان قرار گرفته اند. در حال حاضر بیش از نیمی از سدهای عظیم ساخته شده در سراسر جهان با ارتفاعی بیش از ۲۰۰ متر از نوع سدهای قوسی می باشند. در نواحی غربی چین گروهی از سدهای قوسی ممتاز جهان با ارتفاعی بیش از ۳۰۰ متر در دست ساخت بوده و یا ساخته خواهند شد. سد سازی در تمام کشورهای جهان این موضوع را به اثبات رسانیده است، که هر چه سد بلندتر و مرتفع تر باشد، اهمیت اقتصادی و جنبه های امنیتی آن بیشتر خواهد بود. بطور کلی، سدهای قوسی با مخازن عظیم مانند سد قوسی مالپاست فرانسه، سد قوسی وایونت ایتالیا و غیره ثابت کرده اند که در صورت فروریزی و خرابی، عواقب این مسئله کاملاً جدی بوده و نه تنها اقتصاد ملی را متحمل زیان قابل توجهی می کنند، بلکه جان و مال مردم را شدیداً به خطر خواهند انداخت. در سال ۱۹۵۹ سد قوسی مالپاست فرانسه به دلیل لغزش بدنه سد به همراه لایه ی عمیق سنگی شالوده، فرو ریخت که این اتفاق منجر به مرگ ۴۰۰ نفر و از دست رفتن سد مایه ی اقتصادی هنگفتی گردید. بنابراین اهمیت بالایی باید به مسائل امنیتی سدهای قوسی داده شود و بررسی های عمیقی باید به سمت تنش، تغییر شکل و مکانیزم تخریب در حین بهره برداری از این سدها سوق داده شود و همچنین ارزیابی هایی در ارتباط با ضریب اطمینان سدهای قوسی باید صورت پذیرد. (به این معنی که فاصله ی بین حالت طراحی شده و حالت تخریبی سد قوسی باید ارزیابی شود). به طور کلی اکثر سدهای قوسی دارای شرایط ژئولوژیکی پیچیده، شرایط محیطی ناسازگار، عدم قطعیت فیزیکی (تصادفی)، پارامترهای مکانیکی و غیره می باشند. تمام این فاکتورها باعث

عدم قطعیت در تحقیقات صورت گرفته در زمینه ی امنیت سدهای قوسی شده است. تمام تئوری ها و اهداف حال حاضر دارای هم نقطه ی ضعف و هم نقطه ی قوت بوده که باید پیشرفت ها و تکمیلات مربوطه به سرعت صورت پذیرد.

بارپذیری سد با تئوری مقاومت:

بر طبق تئوری مقاومت، خرابی یک سد قوسی به جهت ترک های قوسی ایجاد شده بر اثر تنش های کششی اضافی، تسلیم شانه و یا بدنه ی سد بر اثر تنش های فشاری اضافی، لغزش بدنه ی صخره ای سد در امتداد سازه ی نرم و ضعیف بر اثر تنش های برشی اضافی و... به وقوع می پیوندد. با مقایسه ی مقاومت تحت شرایط محدود شده و اثر بار طراحی می توان مشخص نمود، که آیا سازه به مقاومت تخریبی (مقاومت نهایی) خود رسیده است یا خیر. در کشورهایی مانند ایالات متحده، ژاپن، چین و... رسم بر این است که ضریب اطمینان مقاومت کششی و فشاری از طریق آنالیز تنش — کرش سد قوسی توسط فرایند تقسیم بار تیر قوسی بدست آمده و سپس ضریب اطمینان مقاومت برشی بر اساس اصل تعادل حد بدنه ی صلب محاسبه شود. در محاسبات عددی توسط فرآیند المان محدود و... مقیاس مور- کولمب و دراگر — پراگر به طور معمول به عنوان میزان تسلیم برای مصالح سنگی خاکی مورد استفاده قرار می گیرند. در حالی که برای بتن مقیاس پارامتری چهارگانه به طور معمول مورد استفاده قرار می گیرد.

مزایای ضریب اطمینان مقاومت عبارت است: از محاسبات ساده، قرارگیری بر پایه ی سال ها تجربه و فعالیت مهندسين سد، متداول در بین مهندسين و متخصصين سد و همچنین قابلیت انطباق با ضرائب اطمینان مجاز مشخص شده در کشورهای مختلف. مشکل این راه حل آن است که نارسایی مقاومت موضعی ممکن نیست باعث تخریب کلی سد قوسی شود و تنها زمانی که سطح تماس لغزش، یک صفحه و یا یک قوس دایروی باشد و از قبل داده شده باشد، می توانیم یک نتیجه ی محاسباتی منطقی از ضریب اطمینان تنش برشی بدست آوریم. به علاوه روش تئوری مقاومت، بدنه، شانه و شالوده ی سد را به عنوان یک تسلیم جامع و کلی در نظر نمی گیرد. برای کامل کردن فرآیند آنالیز ضریب اطمینان مقاومت، بسیاری از دانشجویان از جنبه های مختلف به تحقیق پرداخته اند. مینگ کووان، ژانگ جینگ جیان و... ضریب اطمینان نقطه ای را بررسی و پیشنهاد کرده اند. چن جیان پینگ، وانگ لیانکوی و... تأثیر و طول ترک ها را بر روی تخریب سدهای قوسی مورد مطالعه قرار داده و یک مقدار بحرانی را برای ترک و طول ترک ها پیشنهاد کرده اند. چن جین، هووانگ وی و... تحلیل هایی را بر روی اندازه سطح ترک خورده انجام داده و فرضیه ی سطح ترک را پیشنهاد کرده و دامنه ی بحرانی را نیز به دست آورده اند. تمام تحقیقات و مطالعات فوق الذکر به مفاد آنالیز تئوری مقاومت سدهای قوسی اضافه شده است. با این وجود قبول و انتخاب این مفاهیم نیازمند مطالعات بیشتری می باشد.

بارپذیری سد با تئوری پایداری:

طبق مکانیک سنتی، هیچ گونه مشکل پایداری وجود ندارد، و لغزش سد قوسی در امتداد سطح تماس فونداسیون، ناپایداری شانه های سد، و لغزش بلوک سنگی در امتداد سطح تماس سازه، همگی مرتبط با تخریب مقاومتی می باشند. اما با توجه به تعریف پایداری کینماتیک، هر گونه تغییر در یک حالت و یا یک شیء، یک حرکت به حساب آمده و موضوع پایداری مطرح می شود. زمانی که تمام بدنه سد به دلایل مختلف در حالت پایداری محدود شده به سر می برد، تنها یک آشفتگی جزئی باعث انحراف سد از حالت تعادل اولیه خود شده و باعث تخریب غیر قابل بازگشت می شود. با توجه به این اصل که زمانی که تخریب کامل سد قوسی اتفاق می افتد، حالت سکون سد به حالت قابل حرکت تغییر می کند، رن دینگ ون با توجه به منبع مطالعات تغییر حالت سیستم، پیشنهاد کرد که تخریب کامل سدهای قوسی ممکن است در ارتباط با پایداری باشد. اما بر خلاف ناپایداری کمانشی، این نوع ناپایداری مربوط به ناپایداری حد نقطه ای بوده و شاخص تعیین کننده ی امنیت سد قوسی همان اتکاء سد می باشد. با توجه به تحقیقات صورت گرفته در ارتباط با ناپایداری سد قوسی تا هم اکنون هیچگونه پیشرفتی نه بر پایه ی تئوری مکانیکی دقیق حتی به شکلی ساده و عملی صورت نگرفته است. در حال حاضر، پیشرفت هایی در زمینه های تحقیقاتی در ارتباط با پایداری کلی سد قوسی به قرار زیر صورت گرفته است: روش اضافه بار، ذخیره ی مقاومت، روش ترکیبی اضافه بار و ذخیره ی مقاومت و غیره.

— روش اضافه بار

طبق این روش با فرض ثابت بودن پارامترهای مقاومت مصالح و تحت عمل ترکیبی بارهای عملی نرمال، بار افقی با افزایش حجم مخزن (بالا تر رفتن تراز آب) تا آنجا افزایش می‌یابد، که ناپایداری و تخریب سد قوسی واقع شود. ثابت اضافه بار عبارت است از نسبت بار تخریبی به بار قائم (نرمال)، ضریب اطمینان اضافه بار غالباً بسیار بالا بوده و می‌تواند به روش مدلسازی ژئومکانیکی و یاشبیه سازی حساسی بدست آید. با این حال در عین فعالیت طبیعی سد قوسی اضافه بار بیش از اندازه بسیار غیر محتمل می باشد، بعلاوه، اثر عواملی همچون پی سنگی، خوردگی، نشست و قلیایی شدن مصالح سازه‌ای به دلیل وجود آب بر روی مقاومت در نظر گرفته نشده است (الخصوص ناحیه ی ضعیف پی سنگی). بهر حال، خطر واقعی به خاطر تشدید بار نمی باشد، بلکه بخاطر کافی نبودن مقاومت مصالح می باشد.

– روش ذخیره ی مقاومت

بر طبق این روش، تحت شرایط عدم تغییر بار عمودی، مقاومت بدنه سد و پی سنگی به تدریج کاهش می‌یابد، تا زمانی که ناپایداری و تخریب سد قوسی وقوع یابد و ضریب ذخیره ی مقاومت عبارت است از تعداد دفعات کاهش نیمه. با این حال، در این روش به تعدادی مدل نیاز است. به طور کلی این آزمایش بر طبق اصل تعادل انجام می‌شود، بدین معنا که به جای ثابت نگه داشتن بار خارجی و کاهش تدریجی مقاومت مصالح، مقاومت مصالح ثابت نگه داشته می‌شود و همزمان بار خارجی و بار مرده ی خود سد افزایش می‌یابد، تا آنجا که تخریب صورت پذیرد. برای آزمایش به روش ذخیره ی مقاومت معادل، مشکل اساسی که همزمان بودن افزایش بار خارجی پی سنگی و بدنه ی سد می باشد باید حل گردد.

گو چونماو، گونگ ژاویاگ و... بر طبق اصل ارضاء تشابه مدل فیزیکی و با استفاده از دستگاه گریز از مرکز* بعنوان دستگاه بارگذاری و جایگزین کردن میدان ثقلی با میدان نیروی گریز از مرکز، متوجه ی افزایش همزمان بار خارجی پی سنگی و بدنه سد شدند و آزمایش به روش ذخیره ی مقاومت معادل را بر روی یک مدل انجام دادند. نتیجه آزمایش نشان داد که گرایش بزرگی تنش و بزرگی تنش های کششی و فشاری به طور اساسی به سمت قانون عمومی می باشد. برای انجام آزمایش به روش ذخیره ی مقاومت بر روی یک نمونه، نیاز به ایجاد مصالح جدیدی می باشد که بتواند تغییر تدریجی مقاومت برشی پی سد، سطح نرم و ضعیف سازه بر روی پی سنگی را آشکار ساخته و همچنین تکنیک های آزمایش را پاسخ گو باشد. لو جینچی، لی چاوگو و... بعد از سالها بررسی “ مصالح با تغییرات مشابه دما” را توسعه داده اند که برای مدلسازی گسل های بین لایه‌ای و بدنه های صخره ای قابل استفاده می‌باشد. این مصالح از بلنک فیکس*، روغن موتور، مصالح و مخلوطهای حل شدنی پلیمری که به میزان معینی با هم ترکیب شده‌اند، ساخته شده است. در حین آزمایش با افزایش دما، مقاومت مصالح بتدریج کاهش می‌یابد. با وجود اینکه ضریب ذخیره ی مقاومت یک تصویر واضح را ارائه می کند، اما علت اصلی تخریب سد قوسی نمی‌باشد. بنابراین کاهش مقاومت به نسبت نامساوی منطقی تر می باشد و فرآیند تضمین برابراغلب مورد استفاده قرار می‌گیرد.

– روش ترکیبی

تخریب یک سد قوسی تنها به دلیل اضافه بار و یا کاهش مقاومت مصالح نمی باشد، بلکه به دلیل اثر توأمان دو فاکتور مذکور است. بر طبق روش ترکیبی، با ترکیب کردن اضافه بار با ذخیره مقاومت، زمانی که سد قوسی به یک ضریب اضافه بار مشخصه می رسد، مقاومت باید به اندازه ی آن مرتبه کاهش داشته شود، که باعث تخریب سد قوسی می شود. روش ترکیبی از لحاظ تئوری معقول می باشد، اما عملکرد واقعی نسبتاً کامل شده می باشد. خصوصاً هیچ گونه استاندارد استواری در ارتباط با اینکه تا چه اندازه باید اضافه بار ایجاد شود، قبل از اینکه مقاومت مصالح کاهش پیدا کند، وجود ندارد. در حال حاضر، مطالعه ی کلی تخریب ناپایداری، تنها توسط آزمایش‌های مدل هندسی صورت می پذیرد و موفقیت‌هایی در شبیه سازی کامپیوتری و محاسبات عددی روند خرابی سدهای قوسی صورت پذیرفته است.

کاربرد تحلیل پایداری سدهای قوسی در ارزیابی ایمنی سدهای قوسی

همانطور که در جهان مادی به طور چشمگیری دیده می‌شود، تصادفی بودن، احتمال وقوع یک پدیده در یک حالت خاص را منعکس می‌کند. در مورد سدهای قوسی این موضوع در عدم قطعیت در ارتباط با خصوصیات مصالح و بارگذاری خارجی دیده

می‌شود. تحلیل پایداری طبق تئوری احتمال و آمار ریاضیاتی، روش منطقی تر و پیشرفته تری را در ارزیابی ایمنی سدهای قوسی ارائه می‌کند. تحلیل پایداری در زمینه ی احتمال به ما پاسخ می‌دهد، بدین معنا که اعتبار عملکرد نرمال سد قوسی تحت شرایط کاربری خاص و محیط اطراف در طول عمر سازه تحت مطالعه قرار می‌گیرد. گو هواژی، چن زوپینگ، لیو نینگ و... با فرض تصادفی بودن بارگذاری (شامل تغییرات درجه حرارت) و پارامترهای مصالح، بررسی‌های خود را به سوی تغییرات زمانی سد قوسی بتنی و توده سنگی شانه سد معطوف کرده‌اند. وانگ سیجینگ، هوانگ ژیکوان و... اثر احتمال ناپایداری توده سنگی و تغییر پذیری پارامتر مکانیکی بر روی سازه را تحت مطالعه قرار داده‌اند. لیان جیجان، یانگ لینگ کیانگ و... با در نظر گرفتن بارگذاری و پارامتر مصالح به‌عنوان متغیرهای تصادفی و با کمک المان محدود تصادفی توزیع شاخص پایداری سد قوسی را بررسی کرده‌اند. با وجود اینکه تئوری‌های پایداری، کاربردهای نسبتاً گسترده‌ای را در آنالیز ایمنی سدهای قوسی پیدا کرده است، اما تنها در پایداری نقطه‌ای قابل استفاده می‌باشند. تلاش‌های بیشتری در جهت شناسایی طرح مهندسی بر پایه ی آنالیز پایداری سیستماتیک باید صورت پذیرد، مخصوصاً برای بررسی و حل یک سری از مشکلات تکنیکی و تئوریکال مانند روش آنالیز پایداری سیستماتیک، تکنیک آنالیز شبکه ی احتمال کاربردی، سیستم تصمیم‌گیری، پارامترهای آماری قانون توزیع و غیره.

تئوریهای دیگری در زمینه ی ارزیابی ایمنی سد قوسی

عده‌ای از پژوهشگران معتقدند که تخریب یک سد و توده ی سنگی به دلیل گسترش مستمر ترک‌های ایجاد شده بر اثر تجمع دائمی آسیب اولیه می‌باشد و بنابراین فرآیندهای مکانیک آسیب و مکانیک شکست را می‌توان برای مطالعه ی تخریب سدهای قوسی انطباق داد. هوانگ یون و دیگران پایداری و تمایل گسترش ترک‌های پاشنه ی سد در طرف بالا دست سدهای قوسی را به کمک فرآیند المان شکست سه بعدی و تئوری فاکتور تراکم انرژی کرنش حداقل مورد مطالعه قرار داده و متوجه شده‌اند که شکافتن بر اثر آب، فاکتور اصلی در جهت انتشار ترک‌های ابتدایی می‌باشد. پژوهشگران دیگر به سد قوسی به عنوان یک سیستم دینامیکی توجه کرده و خرابی را از نقطه نظر تغییر شکل غیر خطی مورد بررسی قرار داده‌اند. زمانی که تخریب تجمعی و تغییر شکل سیستم سد قوسی از بی‌نظمی به انتظام گسترش می‌یابد، و منحنی تغییر شکل سیستم از روال مساوی و خطی به شتاب و غیر خطی گسترش می‌یابد، خرابی کلی در حال صورت پذیرفتن می‌باشد. طبق بررسی‌های صورت گرفته در زمینه ی علل خطاهای صورت گرفته در سد دو قوسی "کن" واقع در اتریش، لومباردی متخصص و مهندس سد سویسی، نظریه ی ضریب لاغری سدها را در سال ۱۹۸۶ بیان و منحنی لومباردی* را ارائه کرد، که این منحنی یک خط صاف می‌باشد که تنها بستگی به ارتفاع سد دارد. رن کویینگ ون و دیگران شکل و علل ایجاد این منحنی آسیب را به کمک تئوری پایداری کمانشی و مقاومت بدنه سد مورد مطالعه قرار داده و پیشنهاد کردند که منحنی لومباردی به دو دسته تقسیم شود: دسته اول هذلولی‌هایی با در نظر گرفتن مقاومت بتن بدنه سد به عنوان پارامتری باشند، که بستگی به ارتفاع سد و مقاومت بتن بدنه سد دارند، دسته دوم منحنی‌های توانی می‌باشند، که بستگی به کمانش بدنه ی سد دارند، به این معنا که بستگی به مدول الاستیسیته ی بتن بدنه سد، ارتفاع سد و... دارند.

پیش‌بینی‌ها

خصوصیاتی از قبیل ذخیره ی سرمایه گذاری، ظرفیت باربری و ایمنی بالا، باعث شده است که سدهای قوسی، مخصوصاً سدهای بلند قوسی مورد توجه تمام کشورهای جهان قرار گیرند. سدهای قوسی به طور فزاینده‌ای بلندتر ساخته می‌شوند و شالوده‌ها نیز به طور فزاینده‌ای پیچیده تر می‌شوند. شرایط ژئولوژیکی پیچیده و متغیر، به همراه تلفات سنگین در صورت تخریب سدهای قوسی، دانشمندان را بر آن داشته تا به بررسی و حل مشکلات تکنیکی ساخت سدهای قوسی بپردازند. شکافتن و تسلیم شدن به دلیل تنش موضعی بیش از حد پاسخ طبیعی هر سد قوسی می‌باشد. بی شک قبل از تخریب سد قوسی، یک فرآیند شکافت و تسلیم بوجود می‌آید و در طی این فرآیند پتانسیل سد قوسی پایدار مانده و بنابراین کارکرد ایمن ادامه می‌یابد. بنابراین بررسی عملکرد و مکانیزم سدهای قوسی در طی فرآیندی که از تسلیم موضعی مقاومت شروع و تا تخریب کامل سد به طول می‌انجامد، بسیار لازم و ضروری است. در بعضی کشورها مانند چین معتقدند که تئوری پایداری سازه باید در طراحی سدهای قوسی استفاده

شود. با این وجود، در ارزیابی حال حاضر، پایداری سدهای قوسی به کمک تئوری پایداری، توابع و عملکردهای انتخاب شده ی بیشتر بر اساس خصوصیات تخریبی مقاومت سدهای قوسی بوده و آنچه در حال حاضر در حال بررسی می باشد، همچنان پایداری موضعی است. یکی از مباحث عمده در مطالعات آینده چگونگی انتخاب متغیرهای تصادفی به گونه ای است که منعکس کننده ی حالت سیستم سد قوسی به عنوان متغیرهای اصلی برای آنالیز پایداری کلی سدهای قوسی باشد. با وجود اینکه موفقیت های چشمگیری در زمینه ی بررسی پایداری لغزشی سدهای قوسی در طول سطح تماس شالوده و همچنین در زمینه ی ناپایداری بدنه ی سنگی شانه ی سد به کمک تئوری پایداری جنبشی صورت پذیرفته است، اما اجزاء یک سد قوسی شامل بدنه و شانه سد و شالوده ی سنگی و تغییر شکل هایشان بر روی هم اثر متقابل گذاشته و جدا نشدنی می باشند. بنابراین در نظر گرفتن بدنه و شانه ی سد و شالوده ی سنگی به عنوان یک مجموعه ی واحد جهت بررسی مکانیزم خرابی سدهای قوسی ارزش بررسی را داشته و یک معیار ناپایداری کلی را بدست داده و ایمنی کل سد را مشخص می سازد. بدنه سدهای قوسی و مصالح فونداسیون که اغلب بتنی، سنگی و خاکی می باشند جزء مصالح با کشش پایین و یا غیر کششی می باشند. در حال حاضر، معیارهای تسلیم مور — کولمب و دراکر — پراگر و معیار چهار پارامتری به طور معمول مورد پذیرش مصالحی مانند مصالح سنگی — خاکی و بتنی می باشد. تفاوت عمده ای بین نسبت های تنش — کرنش اندازه گیری شده سدهای قوسی و روابط مذکور وجود دارد. از لحاظ اقتصادی این موضوع عملی نمی باشد که به طور نامحدودی نقاط اندازه گیری شالوده سد را برای بررسی مدل ساختمانی مصالح افزایش دهیم. در عوض، بسیار واقع بینانه و منطقی است که یک مدل ساختمانی از مصالح بر اساس اطلاعات اندازه گیری شده صریح به کمک فرآیند آنالیز معکوس و یا تکنیک تطبیق شبکه ی عصبی بدست آوریم. به لطف خصوصیات مانند مخارج پایین آزمایش کردن، غیر تخریبی بودن و... تکنولوژی اندازه گیری میکروویو و تکنولوژی بررسی لیزری، در ارزیابی ایمنی سدهای قوسی کاربردهای وسیعی را پیدا کرده اند. اطلاعات نشان دهنده ی آن است که کاربری بیش از ۳۰ درصد از سدهای قوسی متناقض با کاربری های پیش بینی شده توسط الگوهای طراحی است. در حین مطالعه ی ایمنی طراحی سدهای قوسی، لازم است که بررسی ها را معطوف به ایمنی کارکرد واقعی سدهای قوسی کنیم.

فصل دوم :

رفتار لرزه ای سدهای بتنی

فصل دوم : رفتار لرزه ای سدهای بتنی

۱-۲- اهمیت بهسازی:

از میان سدهای زیادی که در طول تاریخ دچار شکست و خرابی شده اند، فقط تعداد معدودی به علت وقوع زلزله بوده است و هیچکدام از آنها نیز سد بتنی مهمی نبوده است. طی قرن حاضر سدهای بتنی زیادی ساخته شده و انتظار می رود که تعداد زیادتری نیز در مناطق زلزله خیز ساخته شود. این سدها دیر یا زود علاوه بر عوامل زیان آور معمولی در معرض زمین لرزه های مهمی نیز قرار خواهند گرفت. از آنجا که میلیون ها نفر در دشت های سیلابی پایین دست این سدها زندگی می کنند، لازم است توجه فزاینده ای به ایمنی آنها در مقابل زلزله مبذول شود. برای ارزیابی ایمنی و پایداری سدهای موجود، تعیین کفایت اصلاحات مورد نظر برای بهسازی و ارتقاء سدهای قدیمی و برای ارزیابی طرح های پیشنهاد شده جهت احداث سدهای جدید، ضروری است اثرات زلزله (earthquake ground motion) بر روی این سدها ارزیابی شود.

پیش بینی رفتار سدهای بتنی در زمان وقوع زلزله یکی از پیچیده ترین و سخت ترین مسائل در دینامیک سازه ها است. عوامل زیر هم به این پیچیدگی می افزاید:

۱- سدها و مخازن شکل های پیچیده ای دارند که ناشی از پستی و بلندی های طبیعی (توپوگرافی) ساختگاه است.

۲- پاسخ سدها ممکن است به میزان زیادی متأثر از تغییرات شدت و مشخصات حرکت زمین در عرض و ارتفاع تنگه باشد که البته به دلیل نبود گزارش های دستگاهی مناسب و صحیح، تغییرات فضایی حرکت زمین را در حال حاضر نمیتوان با اطمینان تعریف نمود.

۳- پاسخ سد معمولا بستگی زیادی به حرکت آب مخزن در اثر زلزله، تغییر شکل پذیری سنگ کف که همیشه بوسیله درزها و شکافها قطعه قطعه می شود، و تاثیر متقابل حرکات آب، سنگ کف و خود سد بر همدیگر دارد.

در زمان حرکات شدید زلزله، درزهای ساختمانی قائم ممکن است بلغزد یا باز شود. بتن ترک بخورد و آب مخزن در بعضی قسمت‌ها از سطح سراب جدا شده و منجر به کاویتاسیون شود. این پدیده‌ها خطی نبوده و شبیه‌سازی و توضیح صحیح علل آنها بی‌نهایت مشکل می‌باشد.

تحلیل و طراحی سد برای شرایط ناشی از زلزله از روش‌های ساده تجربی به روش‌های نیروی استاتیکی با استفاده از ضرایب زلزله و سپس به روش‌هایی تحول یافته که امروزه به کمک آنها می‌توان ماهیت دینامیکی مسئله (dynamic nature) را شناسایی کرد. بزرگترین موفقیت در مورد سدهای وزنی بدست آمده است و علت آن هم در درجه اول این است که آنها به تحلیل دو بعدی جواب می‌دهند. قابل اعتماد بودن روش‌های تحلیل بدست آمده با نشان دادن اینکه آنها نتایج را پیش‌بینی می‌کنند که عموماً با مشاهدات صحرایی محدود سازگار است، به اثبات رسیده است. برای مثال می‌توان به خسارات وارده به سد کوینا در اثر زلزله و پاسخ‌های اندازه‌گیری شده در آزمایش‌های ارتعاش اجباری (forced vibration) بر روی چند سد اشاره کرد.

مطالعات پاسخ پارامتری هم امکان نشان دادن اثرات برهم‌کنش آب مخزن و سنگ کف بر روی پاسخ سدهای وزنی را فراهم آورده است. امروزه تحلیل دینامیکی سدها دیگر کاملاً جا افتاده و به رسمیت شناخته شده است.

تحلیل و طراحی سدهای قوسی پیشرفت خیلی کمی داشته است و علت آن در درجه اول این است که این نوع سدها باید به عنوان سیستم‌های سه‌بعدی تلقی شوند. اخیراً در ابداع روش‌های منطقی برای ارزیابی اثرات هیدرو دینامیکی و در نظر گرفتن اثرات برهم‌کنش، پیشرفت چشمگیری حاصل آمده اما یافتن راه‌های قابل اعتماد برای منظور کردن اثرات برهم‌کنش بین سد و سنگ کف نگهدارنده آن، هنوز مشکل است. آنچه بر این مشکل می‌افزاید آن است که تغییرات فضائی حرکت زمین را امتداد مرز سد نمی‌تواند بطور قابل اعتمادی تعریف نماید.

در مورد سدهای پشت بند دار که لتیان و سفید رود از این نوعند. تحقیقات بسیار اندکی نسبت به پاسخ این سدها به زلزله انجام گرفته است شاید به این علت که این نوع سدها کمتر از سدهای وزنی و قوسی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

سدهای پشت بند دار متشکل از دال تخت (flat deck) و سازه چند قوسی است. این سدها حدود ۶۰ درصد کمتر از سدهای وزنی سیمان نیاز دارند.

به دلیل نبود مطالعات پاسخ پارامتری و جامع میزان اهمیت عوامل مختلف، مثل برهم‌کنش سد و آب از یک سو، و سد و سنگ کف از سوی دیگر، در پاسخ زلزله این نوع سدها چندان مشخص نمی‌باشند.

در مورد سد کوینا در هندوستان با فرض رفتار سازه‌ای خطی، پاسخ دینامیکی بلندترین بلوک غیر سرریز سد کوینا به حرکت زمین تحلیل شده و نتایج حاصل، نشانگر تنش‌های کششی بیشتری در قسمت‌های بالای سد، بخصوص در تراز که شیب سطح پایاب به صورت ناگهانی تغییر می‌کند. (همین نتیجه در مورد سفید رود نیز عیناً صادق است)

۲-۲- لرزه خیزی القایی در سدها:

فرآیند آبیگری و تخلیه مخزن سدها، انفجار در معادن، انفجارات اتمی و... بعضاً موجب تغییرات محلی در میدان تنش ناحیه اطراف آنها گشته و الگوی لرزه‌خیزی منطقه را تحت تاثیر قرار می‌دهد. مواردی از لرزه‌خیزی القایی در گستره سدها گزارش شده است که در برخی موارد توام با وارد آوردن خسارت به سازه سد و پایین دست آن بوده است. مهمترین مثال به سد کوینا در هندوستان مربوط می‌شود که زمین‌لرزه القایی با ۶/۵ ریشتر را بخود دیده است. سد از نوع بتنی وزنی و به ارتفاع ۱۰۳ متر بوده و رویداد زمین‌لرزه موجب بوجود آمدن شکاف‌های بزرگ در بدنه آن گردیده است. ملاحظه می‌شود که زمین‌لرزه‌های القایی از دیدگاه مهندسی سد نیز حائز اهمیت می‌باشند. برای یافتن الگوی لرزه‌خیزی القایی مخزن یک سد لازم است که دست کم دو سال قبل از آبیگری آن، منطقه مورد رفتارنگاری خرد لرزه ای (Microseismic monitoring) قرار گیرد. این رفتار نگاری به کمک یک شبکه لرزه‌نگاری محلی پیوند کوتاه قابل انجام می‌باشد. همچنین داشتن برخی از داده‌ها نظیر افت تنش (stress drop) مربوط

به زمین‌لرزه‌های منطقه، ساز و کار گسل‌های موجود در مخزن سد و رژیم هیدروژئولوژیک مخزن و وضعیت زمین‌ساختی جایگاه سد ضروری می‌باشد.

لازم به ذکر است که لرزه‌خیزی بالقایی تاکنون در سدهای با ارتفاع بیش از یکصد متر، حجم مخزن بیش از پانصد میلیون متر مکعب و یا قرار گرفته در جایگاه زمین‌ساختی فعال گزارش شده است.

۳-۲- مطالعات لرزه زمین ساخت ویژه ساختگاه (site specific) سازه‌های خاص (بویژه سدها)

مهمترین نتایج مطالعات لرزه زمین ساخت شامل مدل چشمه‌های لرزه‌ای ناحیه، دوره بازگشت زمین لرزه‌ها (بعضاً با استفاده از داده‌های پارینه زلزله شناسی، مدل لرزه زمین ساختی و برآورد خطر گسلش در ساختگاه سازه مورد نظر می‌باشد. برای نیل به نتایج ذکر شده لازم است که لرزه‌خیزی گستره طرح، زمین ساخت صفحه‌ای، زمین ساخت ناحیه‌ای و زمین شناسی محلی ساختگاه مورد بررسی واقع شود و بعضاً نیاز به انجام برخی آزمایشات سن سنجی، تعبیه شبکه لرزه نگاری محلی و مطالعات ژئودیتیک و میکروژئودزی نیز وجود خواهد داشت. لازم به ذکر است که جزئیات مورد لزوم مطالعات برای هر ساختگاه و هر سازه باقضاوت کارشناسی متکی بر اهمیت سازه، جایگاه لرزه زمین ساختی آن، فاز مطالعاتی مورد نظر و... تعیین خواهد گردید.

۳-۲-۱- گردآوری و تحلیل کارشناسی داده‌های زمین لرزه‌ای

می‌توان بر حسب ثبت و یا عدم ثبت زمین‌لرزه‌ها توسط دستگاه‌های لرزه‌نگار آنها به دو گروه زمین‌لرزه‌های تاریخی و دستگاهی تقسیم نمود. برای زمین‌لرزه‌های تاریخی با استناد به شواهد غیرمستقیم نظیر وسعت منطقه کلان لرزه‌ای (Meizoseismal region)، شدت‌های مشاهده شده و... برآورد بزرگا و رومرکز انجام می‌گردد.

برای هر زمین‌لرزه با اهمیت تاریخی می‌بایست موارد زیر را گردآوری نمود (ICOLD, 1989)

الف) مختصات رومرکز مه‌لرزه ای (Macroseismic, epicenter)

ب) بزرگا (M) و یا شدت رومرکزی (Epicentral intensity) ترجیحاً همراه با نقشه خطوط هم‌لرزه (Isoseismal map)

پ) ساز و کار گسلش لرزه‌ای

ث) ویژگی‌های گسلش مشاهده شده، نظیر طول، عرض زون خردشده و...

ج) ناحیه ای که رویداد در آن حس شده (مساحت ناحیه و...)

چ) اثرات سطحی ثانوی (شامل زمین لغزش، روانگرایی و...)

ح) شدت زمین لرزه در ساختگاه (برحسب مقیاس مرکالی اصلاح شده یا مقیاس مشابه)

خ) قابلیت اعتماد و کیفیت گزارش رویداد

د) فاصله رومرکز تا ساختگاه

ذ) منبع یا منابع گزارش

۳-۲-۲- بررسی زمین ساخت ناحیه و ساختگاه

۳-۲-۱- گردآوری و مقایسه مدل‌های زمین ساخت صفحه‌ای و انتخاب مناسب‌ترین مدل و تشریح آن

برای خاورمیانه و فلات ایران مدل‌های زمین ساخت صفحه‌ای متعددی ارائه شده است. برخی از این مدل‌ها عبارتند

از (Minister and Jordan (1978), McKenzie (1972), Nowroozi (1972)

(Francheteau (1983)

در هر مطالعه لرزه‌زمین ساخت بهتر است که این مدل‌ها مورد بررسی واقع شده و کمی وکاستی‌های آنها مشخص شود. سپس

مناسب‌ترین مدل انتخاب شده و ویژگی‌های آن در گزارش تشریح شود. برخی از مهمترین ویژگی‌های مدل مورد استفاده در تحلیل

عبارتند از:

۱- جایگاه ساختگاه سد در مدل مورد استفاده

۲- وضعیت میدان تنش (stress field) و توزیع تنش‌ها

۳- ساز و کارهای گسلی قابل انتظار در هر صفحه زمین ساختی

۴- حرکات نسبی صفحات محل زون های فرورانش (Subduction zonos) و توان لرزه زایی آنها و...

یک صفحه زمین ساختی از نظر هندسی حد بالایی یک استان لرزه زمین ساختی را بوجود می آورد. یعنی هیچ استان لرزه زمین ساختی نمی تواند از یک صفحه زمین ساختی بزرگتر باشد. بنابراین از نتایج مدل زمین ساخت صفحه ای می توان در تقسیم بندی لرزه زمین ساختی گستره مورد نظر استفاده نمود.

۳-۳-۲ پارامترهای مورد نیاز ارزیابی لرزه ای

انجام مطالعات آنالیز خطر زمین لرزه و برآورد ویژگی های جنبش زمین بستگی به سطوح مختلف طراحی مورد نیاز با توجه به میزان لرزه خیزی منطقه و اهمیت سازه دارد که در ابتدا به آن پرداخته میشود.

۱-۳-۳-۲ سطوح مختلف طراحی

معمولا برای سازه های خاص چندین سطح مختلف طراحی به شرح زیر در نظر گرفته می شود.

۱-۱-۳-۳-۲ سطح مبنای طراحی (DBL : Design basis level)

مقادیر مناسب به این سطح طراحی می تواند حداقل یکبار در طول عمر مفید سازه روی دهد. دوره بازگشت مقادیر جنبش زمین در این سطح بیشتر از عمر مفید سازه می باشد. احتمال فزونی جنبش زمین را می توان کمتر در نظر گرفت. به عنوان مثال برای سازه هایی که صدمه دیدن آنها می تواند پیامدهای فاجعه بار داشته باشد احتمال فزونی مقادیر را در طول عمر مفید آنها ۱۰ درصد توصیه نموده اند.

۲-۱-۳-۳-۲ سطح بالای طراحی (MDL : maximum design level)

برای سازه هایی که شکست آنها باعث بروز خطر اجتماعی می شود MDL را معادل MCL در نظر می گیرند. معمولا MDL به میزان قابل ملاحظه ای از DBL بیشتر می باشد. میزان احتمال فزونی مقادیر در این سطح بستگی به میزان پذیرش تخریب سازه دارد و فرض می شود در این از طراحی، سازه دچار آسیبهای سازه ای عمده نشود.

۳-۱-۳-۳-۲ سطح بیشینه قابل قبول (MCL : Maximum credible level)

در این سطح از طراحی سازه می تواند دچار آسیبهای عمده سازه ای شده و غیر قابل استفاده گردد. ولی نباید باعث بروز فاجعه و خطرات اجتماعی گردد.

برآورد MCL از هر دوروش تحلیلی و احتمالاتی امکان پذیر است ولی بهتر است که از روش تحلیلی استفاده شود. در صورتی که از روشهای احتمالاتی استفاده می شود دوره بازگشتهای طولانی یا احتمال فزونی سالیانه بسیار کم انتخاب می گردد. برای سازه هایی که شکست آنها باعث بروز فاجعه می گردد، احتمال فزونی سالیانه را حتی تا ۱/۱۰۰ در نظر گرفته اند.

۴-۱-۳-۳-۲ سطح بنا (CL: construction level)

این سطح برای بازه زمانی ساخت سازه مورد نظر حائز اهمیت است. جنبش زمین در این سطح را معمولا ۸۰ درصد مقادیر DBL در نظر می گیرند.

۲-۳-۳-۲ = میزان لرزه خیزی منطقه و مراحل مورد نیاز آنالیز خطر زمین لرزه

- خطر لرزه ای کم : برآورد بیشینه مقادیر جنبش زمین با روش های ساده کافی میباشد. اکثر سازه هایی که در این موقعیت قرار دارد تحت مقادیر کمتر از MDL نباید آسیب ببینند. اگر سازه برای MDL کنترل شده باشد احتساب DBL الزامی نیست.

- خطر لرزه ای متوسط : برآورد بیشینه مقادیر جنبش زمین، طیف پاسخ و سری زمانی شتاب (با توجه به نوع سازه، نرخ ریسک و مودهای شکست آن) کافی است. سازه در مقابل MDL با آسیب جزئی باید مقاومت کند، در این حالت احتساب DBL الزامی نیست.

- خطر لرزه ای بالا : ترجیحا شامل برآورد طیف پاسخ و سری زمانی شتاب می باشد اگر چه برآورد طیف پاسخ می تواند برای بعضی از سازه ها (مانند سدهای بتنی و تجهیزات وابسته) کافی باشد، احتساب جداگانه MCL, MDL, DBL الزامی است.

- خطر لرزه ای بسیار بالا: اجبارا شامل برآورد سری زمانی شتاب می باشد به نحوی که پدیده های خاص گسلش مانند اثر گستره نزدیک (Near field) و... در نظر گرفته شود.

۴-۳-۲- رده بندی سازه ای و تجهیزات وابسته:

سازه و تجهیزات براساس اهمیت آنها و به منظور کارکرد امن و مداوم در عمر مفید خود رده بندی می شوند. ارزیابی سازه ها و تجهیزات وابسته توسط بررسی خطر پذیری موجود به هنگام شکست آنها انجام می گیرد. رده بندی سازه ها به شرح زیر است.

رده ۱- سازه های بحرانی، شکست آنها ممکن است اثرات فاجعه آمیزی داشته باشد.

رده ۲- سازه های خیلی مهم، شکست آنها ممکن است اثرات اقتصادی شدید داشته باشد.

رده ۳- سازه های مهم

رده ۴- سازه هایی که پایداری آنها فقط در فاز ساخت اهمیت دارد

رده ۵- سازه های خیلی مهم

۵-۳-۲- معیارهای عمومی طراحی رده های مختلف سازه ای :

در نظر گرفتن معیارهای زیر برای رده های مختلف الزامی است.

رده ۱- سازه ها و تجهیزات در این رده باید بتوان پایداری بدون شکست در پایداری بدون شکست در برابر جنبش MCL را داشته باشند. رفتار غیر الاستیک و خسارات قابل جبران همراه برای این رده به هنگام رویداد جنبش در سطح MCL مجاز است. طراحی سازه ها در این رده مستلزم یک آنالیز دقیق با استفاده از طیف پاسخ و شتاب نگاشت می باشد.

رده ۲- سازه ها و تجهیزات مربوط به این رده باید بتوان پایداری در برابر جنبش MDL را بدون شکست سازه و تجهیزات داشته باشند. رفتار غیر الاستیک و خسارات قابل جبران همراه برای این رده به هنگام رویداد جنبش زمین در سطح MDL مجاز است. طراحی سازه ها در این رده مستلزم آنالیز دقیق با استفاده از طیف پاسخ است.

رده ۳- سازه ها و تجهیزات مربوطه این رده باید بتوان پایداری در برابر جنبش زمین در سطح DBL را بدون خسارت قابل توجه یا از کار افتادگی داشته باشند.

رده ۴- برای سازه هایی که پایداری آنها در فاز ساختمان مهم در نظر گرفته شده، باید اجزاء مربوطه بتوان پایداری در برابر جنبش زمین حداقل به مقدار ۸۰ درصد مقادیر DBL بدون هرگونه خسارت قابل توجه و یا از کار افتادگی را دارا باشند. پایداری سازه ها در فاز ساختمان که در نهایت بخشی از یک سازه دائم را تشکیل میدهند. باید توسط جنبش زمین در سطح بنا بررسی شود. هرچند سازه نهایی ممکن است برای یک سطح بالاتر طراحی شود.

رده ۵- برای سازه ها و تجهیزات رده ۵، طراحی لرزه ای لزومی ندارد.

۴-۲- برآورد ویژگی های لرزه خیزی

۱-۴-۲ تهیه لیست رویداد زمینلرزه ها

در برآورد خطر زمین لرزه لیست رویداد زمین لرزه ها با توجه به موارد زیر تهیه می شود.

الف- محدوده جغرافیایی: محدوده های جغرافیایی مطرح در آنالیز خطر زمین لرزه معمولا به شرح زیر است.

- محدوده ای به صورت یک نوار اطراف یک گسل
- محدوده چشمه های ناحیه ای لرزه زا
- محدوده شعاعی اطراف ساختگاه
- استانهای لرزه زمین ساخت

ب- بازه های زمانی لیست رویداد زمین لرزه ها : با توجه به ناهمگن بودن دقت اطلاعات زمین لرزه ها، نظر دقت برآورد بزرگا، مکانیابی و همچنین متغیر بودن بزرگای آستانه ، باید لیست رویداد زمین لرزه ها را به بازه های زمانی متفاوت و مناسب دسته بندی نمود. دسته بندی ها باید با توجه به ناهمگنی های موجود باشد.

ج- مراکز اعلام کننده اطلاعات زمین لرزه : استخراج اطلاعات مورد نیاز از لیست رویداد زمین لرزه ها ، با توجه به اولویت های زیر عمل می شود.

۱- اطلاعاتی که به صورت مطالعه موردی و بررسی های صحرایی درباره برخی از زمینلرزه ها تهیه شده است.

۲- اطلاعات ایستگاههای لرزه نگاری محلی و نزدیک (در صورت وجود و اطمینان کافی به دقت اطلاعات آنها)

۳- اطلاعات ایستگاههای شبکه لرزه نگاری جهانی با توجه به درجه اعتبار ودقت اطلاعات آنها

- ترک خوردگی جدید معمولا از محل درزها بین واریزهای بتن ریزی بین بتن و پی سد و یا درز بین کنسولها شروع میشود زیرا مقاومت کششی در محل درز کمتر از مقاومت کششی بین بتن یکپارچه میباشد حتی در شرایطی که درزها جهت بهبود اتصال بتن کاملا آماده شده باشند مقاومت کششی تک محوری در محل درز ۱۰ الی ۲۰ درصد کوچکتر از مقاومت کششی بتن دست نخورده است در نتیجه مقاومت کششی درز در حدود $0.15f_c$ خواهد بود .

- احتمال ترک خوردگی در سدهای وزنی در قسمت فوقانی سد و در سدهای قوسی در نزدیکی تکیه گاه و بالای قوس بیشتر است . سدهای بتنی قوسی یا وزنی طوری طراحی می شوند که بار وزن و فشار هیدرو استاتیک آب را با حداقل تنش کششی به تکیه گاهها منتقل نمایند تنشهای فشاری پدید آمده در سدها معمولا تا مقاومت فشاری بتن فاصله زیادی دارند زیرا تنش مجاز که مبنای کنترل طرح می باشد محدود به مقداری کمتر از مقاومت فشاری می باشد بهنگام زلزله تنشهای تناوبی در نقاط مختلف سد بوجود می آید در نواحی که تحت تنش فشاری بزرگی هستند مجموع تنشهای دینامیکی و استاتیکی معمولا تا مقاومت فشاری بتن فاصله دارند و لذا غالبا پس از زلزله خرد شدگی ناشی از تنشهای فشاری دیده نمی شود و یا در صورت وقوع بصورت موضعی و در اطراف سازه های جنبی می باشد در مقابل بدلیل کوچکی مقاومت کششی بتن که حدود 0.1 مقاومت فشاری است تنشهای دینامیکی میتواند در نواحی خاصی منجر به گسیختگی کششی و گاه برشی شوند نواحی مستعد ترک خوردگی کششی بخشهایی از سد هستند که در حالت تحت تنش فشاری کوچکی هستند ولی بهنگام زلزله تنشهای دینامیکی بزرگی را تجربه می کنند. در سدهای وزنی پشت بند دار مثل لتیان و سفید رود در بخش فوقانی سد بخصوص محلی که شیب پایین دست تغییر می کند از جمله نواحی مستعد ترک خوردگی هستند زیرا در این ناحیه وزن بتن فوقانی کم است در نتیجه بار مرده کوچک است (اسلاید نشان داده شده است) در مقابل بدلیل پاسخ دینامیکی این سدها معمولا شتاب شتاب افقی این نواحی معمولا چندین برابر شتاب افقی در پی سد بوده در نتیجه بارهای دینامیکی بسیار بزرگی به این بخش وارد میشود مجموع دو عامل فوق الذکر سبب می شود که ترک خوردگی کششی یا برشی پس از زلزله های بزرگ در این نواحی مشاهده شود برای مثال در سدهای سفید رود و کوینا چنین کیفیتی بعد از زلزله مشاهده شده است علاوه بر مسئله تنشها عوامل دیگری بر ترک خوردن بتن تاثیر دارند مهمتر از همه درزها هستند زیرا درزهای ساختمانی بین بلوکهای مجاور درزهای انقطاع بتن ریزی و درز بین پی و بدنه سد دارای مقاومت کمتری نسبت به بتن یکپارچه هستند در نتیجه در هنگام زلزله به سرعت ترک خورده و به امر گسترش ترک کمک می کنند در نتیجه فرض بتن همگن و یکپارچه به تخمین کمتر از واقع ترک خوردگی منجر می شود از دیگر عوامل آسیب های سدهای بتن در زلزله مسئله انقباض بتن و تنشهای حرارتی ناشی از آن می باشد که میتواند سبب کشش در بتن شود و این نقاط را برای ترک خوردگی آماده نمایند با توجه به آنکه تنشهای حرارتی تابع دما می باشند این نکته که زلزله در چه فصلی رخ دهد حائز اهمیت است علاوه بر آن مسئله خزش در بتن که باعث التیام تنشها می شود و به توزیع یکنواخت تر تنشهای کمک میکند را در صورت امکان باید در نظر گرفت در نتیجه فاصله زمانی بین ساخت سد تا وقوع زلزله عامل مهم دیگری است که در میزان ترک خوردن بتن تاثیر دارد علاوه بر مسئله خزش ، مقاومت و سختی بتن تابع عمر آن میباشد . آزمایشات انجام شده موید آن است که رفتار بتن تحت تنشهای متناوب فشاری تا ۶۰ درصد مقاومت فشاری ارتجاعی خطی است از طرف دیگر آنالیز دینامیکی سدهای بتنی مبین آنست که

تنشهای فشاری طی زلزله جز در بخشهای کوچکی از سد بندرت از این حد فراتر می رود زیرا همانگونه که گفته شد تنشهای فشاری بتن تحت بارهای سرویس به مقاومت مجاز محدود میگردند که خود کسری از مقاومت فشاری بتن میباشند در نتیجه رفتار غیر خطی بتن در فشار شامل جذب انرژی در فشار در حلقه پس ماند و تغییر در سختی سازه قابل اغماض می باشد. رفتار بتن در محدوده تنشهای کششی نیز غیر خطی است ولی چون مقاومت کششی بتن نسبت کوچکی از مقاومت فشاری آن است و از طرف دیگر با افزایش کرنش ها و ترک خوردگی بتن این مقاومت به مقادیر ناچیزی نقصان می یابد در محاسبات دینامیکی سدها با دقت قابل قبول رفتار بتن را در کشش ارتجاعی خطی در نظر می گیرند و نمودار تنش - کرنش مماس بر منحنی تنش - کرنش در کرنش صفر در نظر گرفت علاوه بر بتن آب موجود در ترکها و درزها نیز بر توزیع تنش اثر گذاشته و شروع و توسعه ترک خوردگی تحت الشعاع قرار می دهد این امر مخصوصا در بخشهای پایینی سد و محل تاج سد تاپی سنگی اهمیت بیشتری دارد عموما فقط فشار حفره های استاتیکی به هنگام آنالیز زلزله در نظر گرفته میشود (به جای آنکه اثر تواما استاتیکی و دینامیکی در نظر گرفته شود) زیرا هر چند که پاسخ در هنگام زلزله تحت تاثیر تنشهای موثر و فشار حفره ای است اما معمولا فرض می شود آب حفره ای به هنگام سیکل های فشار حرکت نمی کند این بدان علت است که به هنگام زلزله تنشهای دینامیکی به سرعت تغییر نموده و آب حفره ای زمان لازم برای حرکت را پیدا نمی کند در نتیجه می توان مجموعه بتن و آب حفره ای را به عنوان یک جسم در نظر گرفته و پدیده ترک خوردگی را بر حسب تنشهای کل بیان نمود بنا بر این یک مدل واقعی برای پیش بینی رفتار بتن می تواند مبتنی بر رفتار ارتجاعی تا مرحله شکست و گسیختگی ترد شامل پیش بینی محل شروع ترک خوردگی و نحوه گسترش آن باشد.

۵-۲- اشکال و علل احتمالی شکست سد:

ضعف سد یا پی ممکن است اشکال گوناگون داشته باشند. بعضی از رایج ترین علل شکست سد و نمونه هایی از شرایط نامطلوب در این قسمت مورد بحث قرار گرفته است. شرایطی که می تواند به شکست سد منجر گردد به قرار زیر دسته بندی شده است:

دلائل	کاتاگوری شکست
<ul style="list-style-type: none"> - روان گرایی - لغزش زمین - فرونشست - آبستنگی مواد جامد یا انحلال مواد محلول در آب - حرکت در گسلهای زیر یا مجاور سد 	- نا پایداری پی
<ul style="list-style-type: none"> - انسداد - شکستگی پوشش - آسیب دیدگی دریچه ها و بالابرها - حرکت دال ها 	نقص سرریز
<ul style="list-style-type: none"> - انسداد - آسیب دیدگی دریچه ها و بالابرها - شکستگی پوشش 	نقص تاسیسات تخلیه
<ul style="list-style-type: none"> - زیاد بودن فشار برکنش (زیر فشار) 	کاتاگوری شکست بر حسب نوع سد

<ul style="list-style-type: none"> - توزیع پیش بینی نشده فشار برکنش - حرکات و واخمش های غیر یکنواخت - تمرکز تنش خصوصا در پنجه پایاب که نشانی آن ترک خوردگی خرد شدن بتن می باشد . 	سد بتنی
<ul style="list-style-type: none"> - روان گرایی - ناپایداری شیب - نفوذ بیش از حد آب - انتقال و انحلال مواد جامد و محلول - فرسایش خاک - پیدایش ترک ها در اثر فعالیت های زلزله 	معایب سد خاکی
<ul style="list-style-type: none"> - ناپایداری شیب - سستی موانع طبیعی - سوراخ های ایجاد شده به وسیله زلزله 	معایب حاشیه مخزن

۶-۲- بازرسی اجزاء اصلی طرح بعد از زلزله

بعد از وقوع زلزله ، کلیه اجزاء اصلی طرح باید مورد بازرسی قرار گیرد تا مشخص شود زلزله چه عوارضی بر جای گذاشته است. نقشه های کروکی می تواند به تشریح نوع و میزان خسارتهای وارده کمک کند. در اسرع وقت باید از نتایج عینی فعالیت زمین لرزه عکس برداری شود. این اسناد برای پی بردن به اینکه آیا شرایط حاد دیگری نیز در سازه ها در حال وقوع است یا خیر ، ارزش فوق العاده دارد. اندازه گیری باید بوسیله کلیه وسایل و دستگاههای نصب شده در سد و پی اطراف آنها انجام و قرائت شود. نقشه برداری های تکمیلی و دقیق ، نصب لرزه نگارهای موقتی برای ثبت حرکات قوی و سایر دستگاههای اندازه گیری، برای کنترل سازه ها و تعیین محل خسارتهای می تواند مورد استفاده قرار گیرند.

باید تدابیر خاصی اتخاذ شود تا اطلاعات حاصل از لرزه نگارها به طور صحیح استخراج و برای تفسیر به مسئول ذیربط ارائه شود.

۷-۲- گسله های بنیادی و شکستگیهای مهم :

مسئله گسلش در محدوده سدها همواره از جنبه های مختلف مدنظر قرار داشته است. گسلها به عنوان مناطقی ضعیف در پوسته زمین می باشند که اعمال نیروهای زمین ساختی موجب حرکت و جابجایی یا تولید زمین لرزه توسط آنها می شود. ریخت زمین ساخت فعلی پوسته کره زمین نمایانگر وجود این ساختارها در تمامی بخشهای پوسته می باشد اما این امر به معنی فعال بودن تمامی این گسلها در رژیم های لرزه زمین ساختی حاکم بر پهنه های مختلف کره زمین نمی باشند. درجه اهمیت گسلها در گستره پیرامون ساختگاه سد بستگی به پارامترهایی نظیر درجه فعالیت ، نوع فعالیت (لرزه زا یا بی لرزه بودن)، توان لرزه زایی و فاصله تا ساختگاه مورد بررسی دارد کلیه گسلهای با اهمیت دارای پتانسیل جابجایی هستند این جابجایی می تواند به صورت لرزه زا (همراه با رویداد زمین لرزه) یا بی لرزه (دارای خزش زمین ساختی) باشد. مکانیزم های ایجاد گسیختگی در سطح زمین توسط گونه های مختلف گسل به شرح زیر میباشد .

الف- گسل راستا لغز (Strike slip fault)

این گسل معمولا دارای شیب نزدیک به قائم می باشد و جنبش آن منجر به لغزش در صفحه افقی می گردد بطوریکه مولفه جنبش قائم آن ناچیز است .

ب- گسل هنجار (Normal fault)

بردار لغزش در این حالت در جهت مولفه ثقل زمین روی صفحه گسل می باشد .
آسیب های ناشی از جابجایی و گسیختگی زمین در بلوک فرو افتاده متمرکز است و بلوک بالا آمده ، تقریباً دست نخورده باقی مانده است .

ج- گسل رانشی

۱-۷-۲ نگاهی اجمالی به طراحی سد بر روی گسل فعال

هرگاه تنها ساختگاه ممکن برای احداث سد دارای گسل یا گسلهای فعال باشد (گسل در زیر بدنه سد قرار دارد) لازم است سد و بدنه های جانبی متناسب با حرکت های احتمالی گسل یا گسلهای فعال طراحی گردد لذا شرایط ویژه ای در طراحی سد روی گسلهای فعال مطرح میگردد جهت طراحی سد روی گسلهای فعال در محل سد لازم است اطلاعات زیر در مطالعات زمین شناسی و لرزه خیزی مشخص گردد.

۱- موقعیت گسلهای فعال در محل سد و سازه های جانبی ، عرض ناحیه خرد شده

۲- نوع گسل و جهت حرکت گسل (سازو کار گسل)

۳- میزان جابجایی احتمالی سطح زمین در اثر حرکت گسل

۲-۷-۲ توصیه های طراحی

نظر به اینکه زلزله بهره برداری (OBE) که احتمال وقوع آن در عمر مفید سد (حدود ۱۰۰ سال) ۵۰ درصد می باشد لازم است بهره برداری از سد به خطر نیفتد در نتیجه لازم است اطمینان کافی نسبت به عدم ترک خوردگی و خرابی موجود باشد برای این منظور لازم است تنشهای پدید آمده بهنگام زلزله کمتر از مقدار نهایی باشد بدین منظور برای آنالیز سد برای زلزله بهره برداری مدل ارتجاعی خطی کافی خواهد بود

به هنگام زلزله حداکثر (MDE یا MCE) ترک خوردگی مجاز بوده ولی لازم است گسترش ترک خوردگی به گونه ای نباشد که سبب انهدام بخشی از سد شود به این ترتیب به یک باره حجم بزرگی از آب دریاچه سد رها گردد در این تحلیل چون ترک خوردگی مجاز شمرده می شود لازم است به طرز مناسبی در تحلیل ملحوظ شود علاوه بر این ترک خوردگی سبب جذب انرژی می شود و در میرایی سازه موثر است به همین دلایل ، تحلیل پایداری سد در برابر زلزله حداکثر از پیچیدگی بیشتری نسبت به زلزله بهره برداری برخوردار است .

۳-۷-۲ توصیه های جهت افزایش پایداری سازه سد بتنی در مقابل زلزله

۱- سدهای وزنی :

۱-۱ (نواحی صدمه پذیر

نقاط صدمه پذیر این نوع سدها به شرح ذیل خواهد بود:

الف - قسمت ثلث فوقانی سازه سد و قسمتی از سر ریز که تجهیزات مکانیکی مستقر می باشند

ب- در محل تغییر ناگهانی شیب شیروانی پایین دست و بالا دست

ج- در مجاورت گالری ها و فشار درون سازه سد

د- در محل تماس سازه سد و پی

ه- پرده تریق در پنجه سد

۱-۲ (توصیه های افزایش ایمنی : به عنوان یک توصیه کلی می باید از انتخاب محلهایی که ناپیوستگی زمین شناسی قابل ملاحظه ای دارد یا مورفولوژی تکیه گاههای آن کاملاً نامتقارن می باشد اجتناب ورزید بنا براین باید به منظور افزایش ایمنی سد های بتنی در مقابل زلزله

۱- از تغییر ناگهانی شیب در وجوه سد باید اجتناب نمود در صورتی که به منظور حفظ پایداری استاتیکی سازه سد این تغییرات ضروری باشد می باید از شبکه آرماتور در حد کفایت بهره جست و یا تغییر شیب را به نحو تدریجی انجام داد .

- ۲- در سدها از تعداد و طول گالریها در حد امکان کاسته شود شکل گالری ها بنحوی انتخاب گردد که تمرکز تنش حداقل گردد و در طول مرز گالریها آرماتور مناسب تعبیه شود.
- ۳- در پایه های مرتبط کننده سرریز به سازه سد آرماتور کافی ملحوظ شود
- ۴- به منظور ایجاد چسبندگی و اصطکاک کافی در محل تماس پی و دیواره ها با سد، اصلاحات مناسب صورت پذیرد
- ۵- تعدیل شمای سد با انتخاب شیبههای مناسب در وجوه و عریض کردن در مجاورت پی
- ۶- استفاده از دریچه های فلزی با سختی بالا (نظیر دریچه های قطاعی) در سرریزها و آبگیرها
- ۷- به منظور کاهش تراوش از پرده تزریق و بدنه سد از زهکش کارا استفاده شود
- ۸- افزایش عمق آزاد در تاج سد:
- این عمق آزاد جهت ملحوظ داشتن امواج ایجاد شده در مخزن ناشی از زلزله می باشد عمق آزاد متعارف برای این سدها در جدول زیر آورده شده است.

ارتفاع سد	عمق آزاد(متر)
کمتر از ۵۰ متر	۱
۵۰-۱۰۰ متر	۲
بیشتر از ۱۰۰ متر	۲/۵

۲- سدهای پشت بند دار:

- ۱-۲) نواحی صدمه پذیر
- رفتار این نوع سدها مشابه سد های وزنی میباشد در بررسی های انجام شده از این نوع سد ها مشخص شده است که نواحی صدمه پذیر عبارتند از :
- الف- اتصالات بالا دست پشت بندها
- ب- نواحی که آبگیرها عبور می نمایند
- ج- اتصالات بین دالهای مسطح از نوع Ambursen و یا قوسها در سد های چند قوسه یا پشت بند ها
- د- ناحیه مجاور پی در پشت بندها
- ۲-۲ توصیه های افزایش ایمنی
- در کل توصیه می گردد که از ساخت این سدها در نواحی فعال زلزله اجتناب گردد و یا اینکه تمهیدات کافی جهت ساخت آنها چه در مرحله ساخت به عمل آید همان طوریکه ذکر گردید رفتار این نوع سدها مشابه سدهای وزنی میباشد ولی در عین حال به توصیه کلی جهت افزایش پایداری در جهت عرض پشت بندها توجه گردد دیگر موارد بشرح ذیل می باشد :
- ۱- ایجاد حائل پیوسته در پشت بندها در پایین دست که این امر به منظور ایجاد تکیه گاه پیوسته برای صفحه پشت بند انجام می یابد .
- ۲- از درزهای مجزا در کفبرای پشت بندها در نواحی ای که پی ضعیف می باشد استفاده گردد
- ۳- ابعاد پشت بندها در مجاورت پی افزایش یابد.
- ۴- به کارگیری تیرهای افق با سختی کافی در مقابل کمانش به عنوان بادبند افقی این عناصر باید به پشت بندها و به سنگ تکیه گاهها بصورت مناسبی متصل گردد و یابلوکهای بتنی ایجاد شده در تکیه گاهها مهار گردند.
- ۵- از دیوارهای برشی قائم و یا مایل که سختی پشت بند را افزایش می دهد استفاده گردد.
- ۶- فراهم نمودن درزهای انقباضی در جهات تنش اصلی در صفحه دال پشت بنددار را افزایش می دهد استفاده میگردد

۷- افزایش ضخامت صفحه

۸- فراهم نمودن سیستم زهکشی مناسب

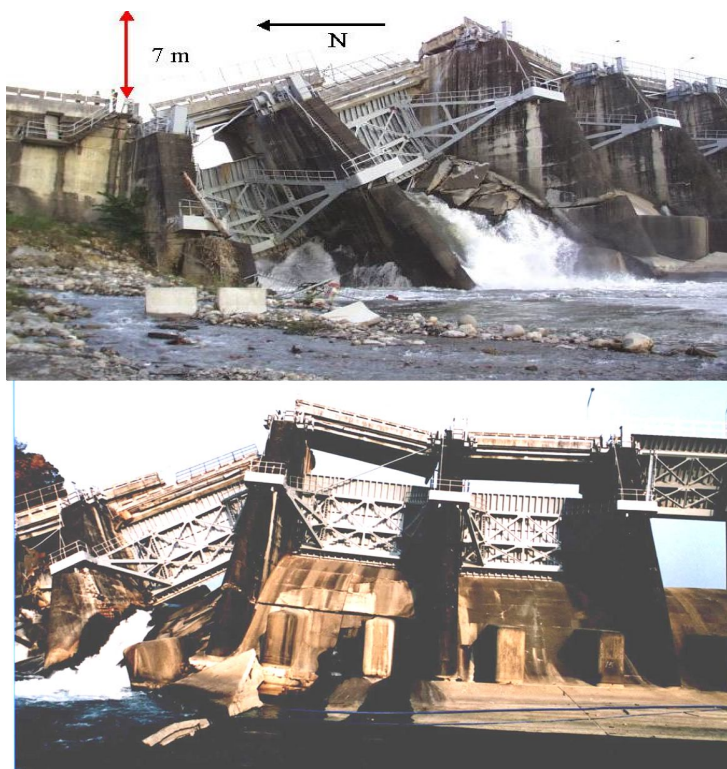
۹- ایجاد گالری های زهکشی و تجسس در امتداد درزهای بین پشت بندهای مجاور

۱۰- فراهم نمودن ابعاد لازم برای وجوه بالا دست پشت بند به منظور تقلیل کشش در بتن در اثر زلزله

۳- سدهای پشت بنددار آسیب دیده در اثر وقوع زمین لرزه

همانگونه که عنوان شد تاحال هیچ سد بتنی نبوده که در برابر زلزله دچار انهدام کلی گردیده و یا با رها شدن آب درون مخزن به طور همزمان خسارتهای عظیمی را ایجاد کند اما مواردی از سد بتنی بوده است که در اثر زلزله دچار خسارت شده اند منجمله:

۱- سد وزنی (koyana) به ارتفاع ۱۰۰ متر که تحت اثر زلزله ای با بزرگی $6/5$ ریشتر که در محل سد بیهوشینه شتابهای $g/63$ در جهت عرض رودخانه و $g/45$ در امتداد رودخانه به ثبت رسیده است قرار گرفته و در وجوه بالا دست و پایین دست درست در محل تغییر شیب، ترکهایی ایجاد و به صورت مختصری نشت آب به سمت پایین دست صورت گرفته است.



۲- سد پشت بند دار (hsin feng kiang) در چین تحت اثر زلزله هایی به بزرگی $6/1$ ریشتر قرار گرفته و گرچه علت عدم وجود دستگاه شتاب نگاشت در حین وقوع زلزله مقدار بیشینه شتاب مشخص نبوده است ولی این سد که ارتفاعی حدود ۱۰۳ متر داشته است نیز متشابهها دچار ترک خوردگی گردیده است



۳- در نهایت شدیدترین خرابی در زلزله رودبار منجیل به بزرگی $7/6$ ریشتر بر روی سد سفیدرود با ارتفاع 106 متر اتفاق افتاده است. این سد از نوع بتنی پشت بند دار بوده که در حین وقوع زلزله مخزن پر بوده و فاصله آن تا کانون زلزله کمتر از 5 کیلومتر بوده است. شمای کلی خرابی این سد که بصورت ترک خوردگی می باشد در شکل زیر ارائه شده است.



فصل سوم: رفتار لرزه ای سدهای خاکی

فصل سوم: رفتار لرزه ای سدهای خاکی

۳-۱- مقدمه:

سدهای خاکی در مقایسه با انواع دیگر سدها (سدهای بتنی) بیشترین تعداد را در جهان دارا بوده و در مناطق لرزه خیزی مانند ایران تامین پایداری لرزه ای این سدها از اهمیت ویژه ای برخوردار است. بررسی دقیق پایداری سدهای خاکی در برابر زلزله از پیچیده ترین مسائل در حوزه سازه های خاکی است. علت پیچیدگی و عدم قطعیت در نتیجه گیری در حال حاضر این است که مجموعه معلومات و روابط بین آنها در تحلیل این مساله بسیار متنوع و متفاوت است. آسیب پذیری سدها در برابر زلزله از دیرباز مورد توجه بوده، زیرا شاهد ناپایداری آنها در هنگام زلزله های قوی و مخرب بوده ایم. در آمریکا از اواخر دهه 1950 توجه بیشتری به پایداری لرزه ای سدهای خاکی معطوف گردید. اساس طراحی سازه ها در برابر زلزله و بررسی ایمنی لرزه ای سازه های موجود عبارت است از بررسی زلزله های طرح مناسب و مدلسازی تامی پدیده هایی که ممکن است پاسخ لرزه ای را تحت تاثیر قرار دهند. اعتبار تحریکات و مدل های آنالیز مورد استفاده در ارزیابی رفتار سازه ها در برابر زلزله را تنها می توان از طریق مقایسه مشاهدات میدانی مربوط مورد بررسی قرار داد. این مورد در حال حاضر ناقص است و عام برای اندازه گیری های میدانی در طول زلزله و بطور خاص برای اندازه گیری تکان های شدید نیازهایی دیده می شود. اندازه گیری های مورد نیاز به تکان های میدان آزاد که از آن اطلاعات تکرار زلزله

و مشخصات آن (از جمله جنبه های انتشار موج) در سایت های مختلف بدست می آید، مربوط می شود و همچنین به تکانهای سازه ای که بوسیله آن جنبه های خاص رفتار لرزه ای انواع مختلف سازه قابل مطالعه و بررسی است ارتباط پیدا می کند. سدهای خاکی در مناطقی متداول هستند که شرایط فونداسیون برای هر نوع سد بتنی مناسب نباشد. سدهای خاکی دارای دو سطح بالادست و پایین دست با شیب خیلی کم می باشند و بنابراین بار وزن بر سطح خیلی بزرگ پخش می شود. حجم مصالح بکاربرده شده در سدهای خاکی ۱۰ تا ۲۰ برابر بیشتر از سدهای بتنی وزنی با همان ارتفاع می باشد.

۲-۳- سدهای خاکی و انواع آن:

سدهای ساخته شده از مصالح از خاکبرداری، بدون اضافه کردن هرگونه مصالح چسباننده مصنوعی، سدهای خاکریزه ای به دو دسته سدهای خاکی و سدهای سنگریزه ای تقسیم می شوند. یک سد خاکریزه ای، وقتی سد خاکی محسوب می شود که خاک متراکم شده بیش از ۵۰ درصد مصالح آن را تشکیل دهد. یک سد خاکی از خاک (در تعریف مهندسی) که در لایه های متوالی ریخته شده و در رطوبت مناسب متراکم شده است، تشکیل می یابد.

۳-۳- دلایل استفاده روز افزون از سدهای خاکی:

دلایل استفاده روز افزون از سدهای خاکی به قرار زیر می باشند:

- ۱-۳-۳- مناسب بودن برای دامنه وسیعی از عرض دره از دره های عریض تا گلوگاه های با شیبهای دامنه تند.
- ۲-۳-۳- مناسب بودن طیف وسیعی از وضعیت شالوده از بستر سنگی تا نهشته های نرم با قابلیت فشرده سازی یا خاک نسبتاً نفوذپذیر.
- ۳-۳-۳- استفاده از مصالح طبیعی که از منابع قرضه نزدیک محل گسل بدست می آید.
- ۳-۴-۳- قابلیت ماشینی کردن عملیات اجرایی
- ۳-۵-۳- پایین بودن بهای واحد کار و کم بودن نرخ رشد تورم آن

۴-۳- بارهای وارد بر سدهای خاکی

بارهای وارد بر سدهای خاکی عبارتند از : فشار آب، نیروی وزن، نیروهای ناشی از نشت آب، بار رسوب، فشار موج و نیروهای القایی ناشی از ارتعاشات زلزله. این بارها بر سدهای خاکی از لحاظ فلسفی متفاوت با یک سازه صلب (برای مثال سد بتنی) می باشد. همین مساله باعث می شود که تحلیل سدهای خاکی کمتر به صورت یک روش رابطه سازی شده در می آید.

۵-۳- تاثیر زلزله بر سدهای خاکی

هر چند موضوع آسیب پذیری سدهای خاکی در برابر زلزله از زمانهای قبل مورد توجه بوده است، ولی به دلیل اینکه تعداد اندکی از سدهای بزرگ در اثر زلزله آسیب دیده اند، از این رو نسبت به ماهیت تاثیر زلزله بر پایداری سدهای خاکی به طور جدی و قطعی برخورد نمی شد. با وجود این، با توجه به اینکه برخی از سدها و برخی خاکریزه ها در اثر زلزله آسیب دیدند و یا فرو ریختند، از اواخر دهه ۱۹۵۰ در ایالات متحده توجه بیشتری به موضوع پایداری سدهای خاکی مطعوف گردید و به تدریج روشهای بررسی این مساله گسترش یافت. بطور کلی، پیشرفت تحلیل ریاضی اثر زلزله بر سدهای خاکی را تا سالهای حدود ۱۹۷۰ باید در دو علت زیر توجیه نمود:

۱- عدم دسترسی به موارد واقعی و مشخص سدهای خاکی تخریب شده

۲- عدم شناخت دقیق مکانیسم تاثیر تخریبی جنبش زلزله بر جسم خاکی

۶-۳- اثرات زلزله بر پایداری سدهای خاکی:

آثار زیان بار زلزله بر سدهای خاکی به قرار زیر می باشد:

- ۱-۳-۶- شکست و ریزش سد به علت وجود گسل اصلی در زیر قاعده سد
- ۲-۳-۶- ایجاد روانگرایی در مصالح سد و پی که در نهایت باعث ناپایداری آنها می گردد.
- ۳-۳-۶- ایجاد نیروی اینرسی افقی در شیبهای جناحین و افزایش نیروهای رانش
- ۴-۳-۶- از بین بردن آب بندی سطح تماس و در نتیجه افزایش نشت از میان ترکها

۵-۳-۶- آسیب رساندن به سربز و سایر سازه ها و ادوات هیدرولیکی سد، مانند شکست سربز یا لوله های خروجی آب به علت های مختلف، انسداد لوله های خروجی و سربز و یا زهکش ها

۶-۳-۶- ایجاد موج های سطحی، نشت تاج، لغزش دامنه ها و عریض شدن سد و در نتیجه به مخاطره افتادن ارتفاع آزاد سد

۷-۳-۶- لغزش سد بر روی لایه های ضعیف

۸-۳-۶- سربز شدن آب از روی سد در اثر ایجاد امواج سطحی روی آب

علل تخریب سدهای خاکی:

علل تخریب سدهای خاکی می تواند به دلایل زیر باشد:

الف- سربز شدن آب از روی سد در اثر زمین لرزه ای ناگهانی در مخزن سد

ب- روانگرایی ماسه های اشباع یا تراکم پایین، و یا از بین رفتن مقاومت رس های اشباع در اثر ارتعاش زلزله، زیرا امواج فشار ناشی از زلزله در وهله نخست به آب منفذی وارد می شوند و ناگهان از تنش موثر خاک کاسته و موجب کم شدن مقاومت برشی می شوند.

۷-۳- آسیب های وارده به سدهای خاکی:

نمونه هایی از آسیب های وارده به سدهای خاکی به شرح ذیل است:

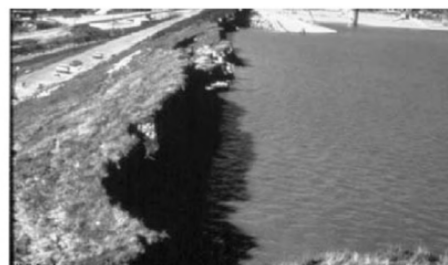
۱-۳-۷- سد سن فرناندو

دور نمای سد "سن فرناندو" که طول آن ۱/۶ مایل و ارتفاع آن ۱۳۰ فوت بوده است. این سد در زلزله سن فرناندو آسیب جدی دید. مخزن این سد ۸۰ درصد آب شهر لس آنجلس را تامین می نمود.



شکل ۱

شکل ۲ بازگو کننده وضعیتی است که در آن به علت لغزش پوسته بالادست در مخزن، تاج سد در زیر آب ناپدید شده است. لغزش اندکی پس از وقوع زلزله رخ داده است و به دلیل روانگرایی، مقاومت خاکریز ساخته شده از بین رفته است.

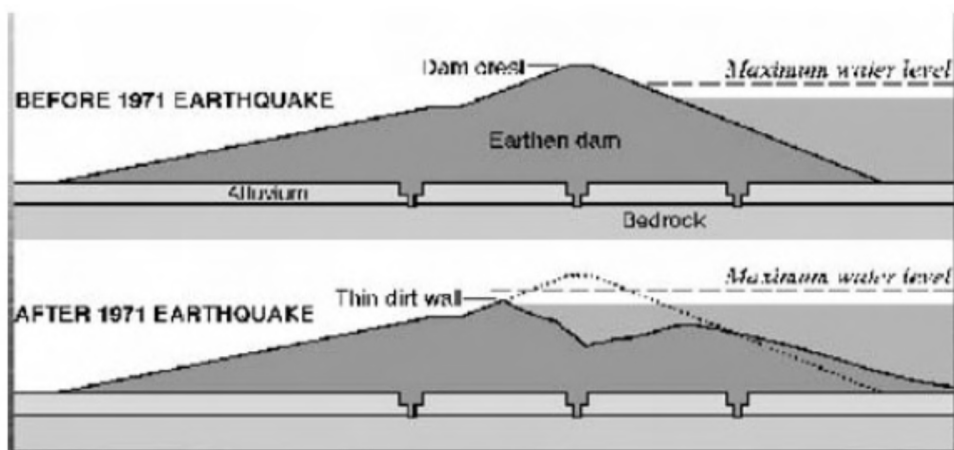


شکل ۲

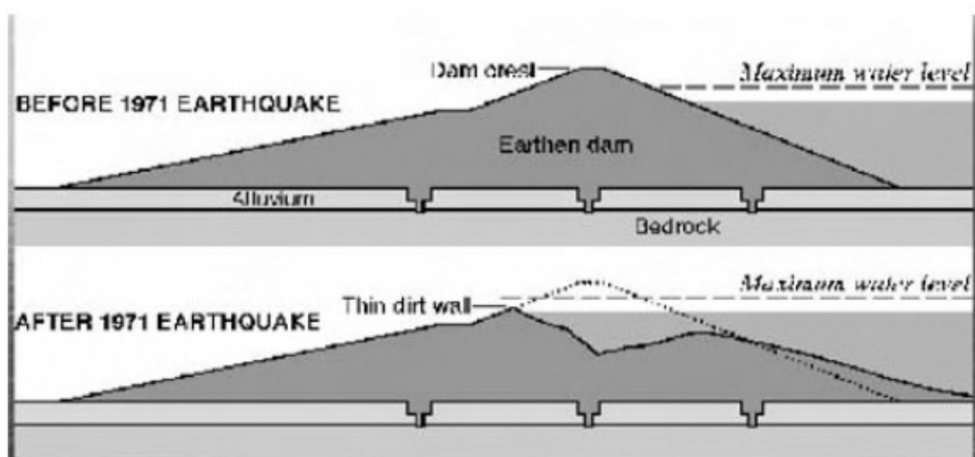
فروریزش پوسته بالادست در حالی که مخزن خالی شده است. سطح جاده بیانگر موقعیت قبلی تاج سد می باشد.



شکل ۳ مقطع سد قبل و بعد از زلزله سال ۱۹۷۱



شکل ۴



شکل ۵

سد و مخزن لس آنجلس بین حوضچه آب سطحی ایجاد شده توسط دو سد بالا و پایین قرار گرفته است.



شکل ۶



شکل ۷ مخزن سد لس آنجلس و سازه های الحاقی آن

زلزله سال ۱۹۹۴ نورچ منجر به بروز ترک در روسازی بالادست سد لس آنجلس گردید. سد در برابر لرزه های شدید پایداری نموده و خسارتهای بسیار جزئی دیده است.



شکل ۸ زلزله سال ۱۹۹۴ نورچ - بروز ترک در روسازی بالادست سد لس آنجلس

۸-۳- ویژگی های دینامیکی سدهای خاکی

تنوع خواص بدنه سدهای خاکی، مخصوصاً رفتار دینامیکی آنها، گوناگونی جنس، ضخامت و شرایط دیگر شالوده آنها، و تفاوت های اصولی در ویژگی های موثر زلزله ها مانند فاصله مرکز زلزله تا سد، شدت و طول زمان وقوع زلزله، نوع و امتداد امواج رسیده به سد، فرکانس امواج و میزان استهلاک از عوامل موثر بر رفتار دینامیکی سدهای خاکی هستند. جنس پی سد نقش مهمی در پایداری آن

دارد. انهدام سد، روی سنگهای سخت و محکم کمتر از سنگهای نرم است و بدترین حالت آن است که سد بر روی زمینهای رسی تحکیم نشده بنا گردد. دامنه امواج ارتجاعی زلزله به هنگام عبور از لایه های سست، زیاد شده و از سرعت امواج کاسته می شود. در زلزله های شدید، دامنه نوسانات به ۳۰ تا ۶۰ سانتی متر، و طول امواج به ۱۵ تا ۳۰ متر می رسد. نشست خاکهای ریز دانه بیش از خاکهای دانه ای است. در بعضی از انواع لای و رس که خاصیت روانگرایی دارند، انهدام سازه حتمی است. ماسه های با تراکم کم و سست در زیر آبهای یر زمینی در اثر افزایش فشار منفذی روان می شوند با کاهش سرعت امواج، دامنه نوسانات زیاد می شود. نیز سرعت امواج در مصالح گوناگون، متفاوت است.

۹-۳- تحلیل پایداری سدهای خاکی

در ابیات مهندسی، سدها را گاه به موجودات زنده تشبیه می کنند: زیرا به دلیل تغییر در وضعیت محیط زمین شناختی در طول زمان، شرایط حکمفرما در سد و مخزن بصورت متناوب در حال تغییر است. از این روست که سدها باید به گونه ای طراحی و اجرا شوند که در تمام طول مدت بهره برداری پایداری قابل قبولی از خود نشان دهند. تحلیل پایداری بر اساس سطح برشی که در آن خرابی ایجاد می شود استوار است. این سطح، سطحی در بدنه سد یا فونداسیون است که در آن تنش برشی ایجاد شده بیش از مقاومت برشی است و در نتیجه کل جرم بر روی آن سطح لغزشی حرکت خواهد کرد. خرابی ممکن است در اثر مسائل دیگری غیر از لغزش مانند تغییر مکانهای شدید یا روانگرایی نیز ایجاد گردد. مهمترین عامل در کنترل دقت روش پایداری سطح شیب دار، تخمین صحیح پارامترهای مقاومت خاک و تغییرات آنها می باشد. روشهای بررسی پایداری بدنه سد را در برابر زلزله می توان به ترتیب پیشرفت این روشها، در سه گروه طبقه بندی نمود:

۱- روشهای شبه استاتیک

در این گونه روشها، تحلیل پایداری بدون توجه به زمان، جابجایی لغزشی درون خاک و هرگونه تغییر در خواص خاک انجام می گیرد. نتایج این روش گاه (به عنوان مثال در مرحله نهایی طراحی) اطمینان بخش نیست.

۲- روشهای مبتنی بر تحلیل دینامیکی

نسبت به روشهای شبه استاتیک پیشرفته تر می باشند و به ویژه با استفاده از تکنیکهای محاسباتی اجزا محدود و تفاضل های محدود، نکات مهمی را در تحلیل مساله روشن می کنند. در این روشها مشخص بودن پارامترهای دینامیکی مصالح از اهمیت ویژه ای برخوردار است.

۳- روشهای جدید

در این روشها به ویژگی های واقعی محیط بررسی، توجه عمده و اساسی می شود.

۱۰-۳- ضریب زلزله در سدهای خاکی

در آمریکا، ضریب زلزله سدهای خاکی بین ۰.۵ تا ۱.۵ و بصورت استاتیکی در نظر گرفته گرفته می شود. آیین نامه ژاپنی کمیته ملی ژاپنی ساخت سدهای بزرگ در سال ۱۹۵۷ ضریب زلزله را بین ۱.۲ تا ۲.۵ در نظر گرفته است.

۱۱-۳- تحلیل دینامیکی سدهای خاکی

برای درک رفتار واقعی سدهای خاکی تحت اثر زلزله باید مدل دینامیکی مناسبی برای سد انتخاب نموده و پاسخ لحظه ای آن را مورد مطالعه قرار داد. تا کنون روشهای مختلفی برای تحلیل دینامیکی سدهای خاکی توسط محققان مورد استفاده قرار گرفته که مهمترین آنها به شرح زیر است:

۱- روشهای مبتنی بر حل معادلات حرکت سد

۲- روشهای مجزا سازی سد به لایه های موازی، و تحلیل دینامیکی آن به روشهای عددی

۳- روش اجزا محدود

۱۲-۳- کاربرد ابزار دقیق در سدهای خاکی:

ابزار دقیق که ترجمه کلمه Instruments می باشد، واژه ای است که در سالهای اخیر در مهندسی سازه های خاکی بسیار مورد توجه قرار گرفته است. آنچه اهمیت استفاده از این وسائل را بیشتر نموده و فناوری بهره برداری از آنها را گسترش داده عبارت است از، لزوم سیستم هشدار دهنده ای جهت جلوگیری از حوادث ناگهانی بصورت نابودی ابنیه و خسارات جانی در پایین دست سد، مقایسه کار انجام شده با طرح محاسبه شده، کنترل فرضیه های طراحی و کار پژوهشی جهت اصلاح عملکرد و بهینه نمودن سدهای آتی. اهداف یک برنامه ابزار بندی به شرح زیر می باشد:

۱- کنترل در حین عملیات ساختمانی: در طول دوره ساختمان کلیه پارامترهای بحرانی طرح

۲- کنترل بعد از اتمام عملیات ساختمانی:

در این مرحله میزان دستیابی به اهداف طراحی مورد بررسی قرار گرفته و اطلاعات مبنا قبل از بهره برداری تهیه می شود.

۳- کنترل در حین بهره برداری:

در این مرحله تغییراتی که در پارامترهای مختلف بعثت شروع عملیات بهره برداری رخ می دهد، مورد اندازه گیری قرار می گیرد.

۴- بهبود روشهای طراحی:

از جمله اهداف مهم ابزار بندی، اجرای پروژه های تحقیقاتی به منظور مقایسه نتایج طراحی با نتایج عملی و در صورت لزوم بهبود و اصلاح روشهای طراحی است. مهمترین ابزار برای کنترل طراحی لرزه ای سد های خاکی شتاب نگار می باشد که بطور معمول برای سدهایی که در مناطق زلزله خیز ساخته می شوند، در نزدیکی تاج سد و در قسمت پایین دست شیب، نصب می شوند و واکنش پی سازه و تکیه گاهها را در مقابل زلزله ثبت می کنند.

۱۳-۳- آزمایشات ارتعاش اجباری در سدهای خاکی

در سازه های مهم مانند سد های خاکی بررسی این نکته اهمیت دارد که آیا سدها در عمل نیز مانند آنچه در طراحی فرض شده است رفتار می کنند؟ برای مقابله با زلزله، باید بدانیم سدی که ساخته ایم تا چه حد مقاوم است. برای دانستن این موضوع بررسی نقشه های فنی سد، کیفیت مصالح بکار رفته مهم است ولی تحلیل واقعی مقابله یک سد خاکی در برابر زلزله قدری پیچیده تر به نظر می رسد. بهترین روش برای بررسی دقت مدلهای ریاضی و تئوریهای مربوط به آنها در پیشگویی رفتار لرزه ای سدها، استفاده از آزمایشهای با مقیاس کامل است. اندازه گیری مستقیم پارامترهای دینامیکی سدهای خاکی به دو روش کلی آزمایشگاهی و محلی صورت می گیرد. آزمایشهای محلی به دلیل مطالعه رفتار لرزه ای سد در مقیاس واقعی از اهمیت ویژه ای برخوردار است. آزمایشهای محلی به سه بخش تقسیم می شوند:

۱- آزمایشهای ارتعاش محیطی

۲- آزمایش ارتعاش اجباری

۳- آزمایش سد تحت لرزه قوی

۱-۱۳-۳- تاریخچه آزمایشهای ارتعاش اجباری :

آزمایش مدل واقعی سدها با استفاده از یک یا چند دستگاه لرزاننده از دهه ۱۹۵۰ آغاز شد. و طبق گزارشهای منتشر شده اولین سد خاکی به ارتفاع ۶۱ متر در سال ۱۹۶۶ در کالیفرنیا با چهار دستگاه لرزاننده تحت آزمایش ارتعاش اجباری قرار گرفت. در سال ۱۹۷۰ سد خاکی دیگری در مکزیک به ارتفاع ۱۴۵ متر با دودستگاه لرزاننده تحت آزمایش قرار گرفت و ۸ فرکانس اول سد و اشکال مدل مربوطه بدست آمد. در سال ۱۹۷۴ با انجام آزمایش ارتعاش اجباری با دو دستگاه لرزاننده روی یک سد خاکی به ارتفاع ۵۶ متر در اسکوپیه (در کشور مقدونیه) فرکانسها و اشکال مدی بدست آمد و با نتایج یک مدل الاستیک عددی مقایسه شد. در سال ۱۹۷۶ در کشور ژاپن آزمایش ارتعاش اجباری با یک دستگاه لرزاننده روی سه سد خاکی به ارتفاع ۹۵/۱۱۹ و ۶۴/۵ متر انجام گردید و فرکانسها، اشکال مدی میرایی های مدی بدست آمد.

۲-۱۳-۳- جایگاه آزمایش های ارتعاش اجباری و محیطی :

در آزمایش ارتعاش اجباری، به دلیل استفاده از ژنراتورهای ارتعاشی با قابلیت اعمال نیرو های قابل کنترل، وارد نمودن انرژی متمرکز بر تاج سد، نسبت بالای سیگنال به نوفه در داده های اندازه گیری شده و ثابت نگه داشتن فرکانس بارگذاری در حالت ارتعاش دائم سد، پارامترهای ارتعاشی بدنه سد با دقت بیشتری اندازه گیری می شود. قیود و محدودیتهای این روش عبارتند از:

۱- آزمایشهای ارتعاش اجباری نسبت به انواع دیگر آزمایشها از نظر زمان و هزینه آزمایش گرانتر تمام می شود. تعداد کم آزمایشهای انجام شده با این روش تصدیق کننده این مطلب است.

۲- هزینه های بالا

۳- مشکلات حمل و نقل

۴- دامنه کوچک ارتعاش ایجاد شده در بدنه سد نسبت به زمانی است که سد تحت تاثیر زمینلرزه قوی قرار می گیرد

۵- این آزمایش نمی تواند رفتار غیرخطی مصالح را مدل کند.

۳-۱۳-۳- مراحل انجام آزمایشهای ارتعاش اجباری در سدهای خاکی

مراحل انجام این آزمایش عبارتند از:

۱- قبل از شروع آزمایش، ابتدا محاسبات عددی بدنه سد انجام شود تا ایده ای از فرکانسهای تشدید و اشکال مدی مربوط بدست آید.

۲- دستگاه های مولد ارتعاش در موقعیت و جهتی که بیشترین تحریک را در بدنه سد ایجاد کند نصب گردد.

۳- پس از همزمان کردن دستگاه های مولد ارتعاش، کلیه دستگاه ها در یک جهت اصلی با فرکانس ارتعاش وزنه های دستگاه ها به تدریج کاهش نوسان می کنند و بصورت همزمان خاموش می شوند. هنگامی که فرکانس ارتعاش وزنه های دستگاه ها به تدریج کاهش می یابد به فرکانسهای تشدید پایین تر سد می رسد و در این فرکانسها حالت تشدید مختصری در دامنه سد ایجاد می شود. در این مرحله با قرار دادن تعداد زیادی لرزه نگار در طول تاج سد می توان ارتعاش آزاد سد را پس از خاموش کردن دستگاههای لرزاننده ثبت کرد و مقادیر پیک پاسخها را که فرکانسهای تشدید ارتباط دارند مشاهده نمود.

۴- دستگاه ها در جهت مورد نظر و با اختلاف فاز بدست آمده از مرحله قبل تحت فرکانس تقریبی نوسان می کنند و فرکانس تشدید در چندین پله کوچک در اطراف فرکانس تقریبی تغییر داده می شود و مقادیر پاسخ سد مانند مرحله سوم ثبت می گردد.

۵- با مشخص شدن دقیق فرکانسهای تشدید سد، سد تحت یکی از فرکانسها به ارتعاش در آمده و اشکال مدی اندازه گیری می شوند.

۶- هنگامی که دستگاه های لرزاننده تحت فرکانس تشدید معینی نوسان می کنند ناگهان خاموش می شوند و کاهش دامنه نوسان جهت محاسبه میرایی مدی اندازه گیری می شوند. این عمل جهت افزایش دقت چندین مرتبه تکرار می شود.

۷- مراحل پنجم و ششم برای کلیه فرکانسهای تشدید مورد نظر تکرار می شود.

فصل چهارم:

بهینه سازی حجم مخازن سد

فصل چهارم: بهینه سازی حجم مخازن سد:

۴-۱- مقدمه:

ایران در منطقه ای از دنیا واقع شده است که متوسط باران سالانه آن کمتر از $\frac{1}{3}$ متوسط باران سالانه جهان است. علاوه بر کمبود باران، توزیع زمانی و مکانی آن نیز بسیار نامناسب است. حتی پر بارانترین نقاط کشور ما، در فصل تابستان نیاز به آبیاری دارند. بنابراین به لحاظ توزیع مکانی و زمانی نیز بارندگی در ایران با نیاز بخش کشاورزی که مصرف کننده اصلی آب در کشور می باشد

مطابقت ندارد. اکثر شهرهای ایران نیز در مناطقی واقعند که به رودخانه‌هایی که جریان آب آنها مستقیماً از رواناب حاصله از بارندگی‌ها تامین شده باشد دسترسی ندارند. بنابراین باید پذیرفت که خشکی در ایران یک واقعیت اقلیمی است و این ما هستیم که باید خود را با آن سازگاری دهیم. برای زیستن در خشکی چاره کار، شناخت اقلیم و سازگاری با آن است نه مقابله با آن. البته با تمام خسارتهایی که از خشکسالی‌ها عاید کشور می‌شود هنوز براساس معیارهای موجود ایران جزء کشورهای کم آب دنیا قلمداد نمی‌شود. معیارهای که برای پرآبی یک کشور بکار برده می‌شود سرانه منابع آب قابل تجدید در آن کشور است. در حال حاضر با توجه به جمعیت جهان مقدار آب تجدید شونده دنیا حدود 6500 متر مکعب در سال برای هر نفر است. اما این مقدار به طور یکنواخت تقسیم نشده است. بطوریکه در بعضی مناطق دنیا مقدار آن زیاد و در برخی جاها کم می‌باشد. آستانه ۱۰۰۰ متر مکعب در سال برای هر نفر را مرز کم آبی برای هر کشور تعیین کرده‌اند. در ایران با در نظر گرفتن جمعیت کنونی کشور، مقدار سرانه آب تجدید شونده حدود ۱۵۰۰ متر مکعب در سال تخمین زده می‌شود که با این حساب نمی‌توان آنرا یک کشور کم آب تلقی کرد و بهتر است در حال حاضر آن را جزء کشورهای با تنش آبی در نظر بگیریم. اما توزیع آب در مناطق جغرافیایی کشور نامناسب است. یکی از راههای سازگاری با کم آبی استفاده بهینه از منابع آب و افزایش بهره‌وری آب است. باید سعی کرد تا حد ممکن از نزولات جوی، جریان آبهای سطحی و منابع زیرزمینی و رطوبت خاک به نحو مطلوب و بهینه استفاده نمود و این کار عملی نخواهد بود جز با اعمال یک مدیریت بهینه در استفاده از منابع آب.

۴-۲- وضعیت منابع آبهای سطحی

در میزان آبهای سطحی، نوسان شدیدی مشاهده می‌شود. در اواخر زمستان و اوایل بهار آب رودها و مسیلهای خروشان به دریاها، دریاچه‌ها و باتلاقها و کویرها می‌ریزد و به این طریق مقدار بسیار زیادی آب هدر می‌رود. اما با فرا رسیدن فصل گرما به ویژه تابستان، غالباً آنچنان آبها سریع کاهش می‌یابد و فروکش می‌کند که در اغلب رودها و مسیلهای دیگر قطره‌ای آب جریان پیدا نمی‌کند (رودها و مسیلهای فصلی و موقتی). آب رودهای دائمی هم آنقدر کم می‌شود که در بسیاری از موارد حتی به برخی از روستاهای پائین دست و دور افتاده نمی‌رسد و از این لحاظ خسارات زیادی به ویژه متوجه کشاورزان می‌شود. میزان نوسان در شدت جریان آب رودخانه ارتباط مستقیم با میزان بارندگی و ریزش برف در مناطق کوهستانی دارد. میزان نوسانات از فصلی به فصل دیگر متغیر می‌باشد. همچنین تغییرات زیادی در جریان آب رودخانه‌ها از سالی به سال دیگر وجود دارد. با توجه به نرخ متغیر جریان رودخانه در ماههای مختلف سال، کمبود آب در ماههای مختلف سال و حتی دوره‌های کمتر از ماه مشهود می‌باشد.

۴-۳- کمبود آب و راه حل مقابله با آن

از آنچه که در مورد نوسان شدت جریان رودخانه‌ها گفته شد، مواجهه با کمبود آبی در فواصل زمانی سالیانه، ماهانه و حتی در دوره‌های کمتر از ماه نتیجه گرفته می‌شود و این خود پدیده‌ای است که سبب وارد شدن خسارات زیادی به بخش کشاورزی و در نهایت حیات اقتصادی و اجتماعی یک منطقه می‌گردد.

از اهمیتی که آب در حیات ساکنین یک منطقه دارد چنین برمی‌آید که از این نیروی طبیعی روز به روز بیشتر استفاده می‌شود و کشورها می‌کوشند تا با مهار کردن آب رودخانه‌ها، حداکثر استفاده از آن را در زمینه‌های مختلف بکنند. در این راستا، احداث سد از جنبه‌های مختلف دارای اهمیت و بطور مستقیم دارای اثرهای سودمند است که از آن جمله به طور خلاصه موارد زیر را می‌توان نام برد:

۱- مهار کردن سیلابها و طغیانهای آبی و جلوگیری از خسارات ناشی از آن

۲- ذخیره سازی آب و امکان بهره برداری منطقی و اصولی از آن به ویژه برای فصول کم آب و خشک در مناطق خشک و حتی نیمه خشک. به علت فقر آبی در فصول گرم و خشک فعالیتهای اقتصادی دچار وقفه شده و حتی در معرض نابودی قرار می‌گیرد. حتی در مناطقی مانند سواحل دریای خزر که تقریباً از لحاظ بارندگی و فراوانی آب شهرت دارند، در فصل تابستان با مشکل کم آبی

مواجه می شوند. اما عملاً دیده شده است که احداث سدها و ذخیره کردن آب برای استفاده در فصول خشک به این طریق، نگرانی که از بابت کمبود آب قبلاً در میان کشاورزان وجود داشته را تا حدودی برطرف کرده است.

۴-۴- احداث سد و امنیت در بهره برداری

مهمترین انگیزه احداث سدهای مخزنی، ایجاد اطمینان و اعتماد به دوام و دائمی بودن آب برای ساکنین یک منطقه می باشد. احداث یک سد استفاده کنندگان از آب رودخانه را مطمئن می سازد که نوسان آب مورد استفاده آنان دیگر مانند گذشته، یعنی قبل از احداث سد شدید نیست یا به عبارت دیگر در شرایط عادی در فصل گرم و خشک تابستان، مردم دچار کم آبی شدید و یا بی آبی نخواهند شد. در حالی که این امکان وجود دارد که رودخانه بدون سد در دیگر فصول سال از آب کافی برخوردار باشد ولی در فصل خشک تابستان، آب اندکی در آن جریان یابد، با احداث سد بر روی چنین رودخانه هایی و ذخیره کردن آب آنها در پشت سدها، این نوسان و تغییرات شدید و بی ثباتی آب تا حدود زیادی از بین می رود که نقش موثری در بهبود وضع زندگی مردم، هم از لحاظ اقتصادی و هم از لحاظ اجتماعی دارد. کشاورزان با دلگرمی و اعتماد برنامه های تنظیم شده برای کشت و زرع را انجام می دهند و با اطمینان خاطر برای زراعت خود خرج می کنند، تا از وجود آب حداکثر بهره را ببرند. در حالی که این اعتماد و اطمینان در مورد ساکنان اکثر نقاطی که از آب رودخانه بدون سد استفاده می کنند وجود ندارد زیرا کشاورزان در بهار با توجه به فراوانی آب در این فصل، با عشق و علاقه به زراعت می پردازند و حتی بر سطح کشت خود می افزایند ولی با فرا رسیدن تابستان و فروکش کردن آب رودخانه مایوس می شوند و در مواردی حتی جبور می شوند بیش از دو سوم سطح کشت خود را دیگر آبیاری نکنند تا آب به یک سوم باقیمانده، تا اندازه ای به حد کافی برسد. این بی ثباتی آب زیانهای دیگری نیز در بردارد و آن اینست که کشاورز جرات خرج کردن و سرمایه گذاری در زراعت خود را ندارد و در نتیجه محصول خوبی هم نمی تواند برداشت کند.

۴-۵- تخمین ظرفیت مخزن سد

حجم ذخیره سدها معمولاً از تحلیل آمار درازمدت شدت جریان رودخانه (در حدود ۵۰ سال) و مقایسه آن با نیازهای آبی پائین دست سد و همچنین توجه به خصوصیات هندسی محل محور مخزن سد و سایر عوامل تاثیرگذار تعیین می گردد. جهت تخمین ظرفیت مخزن سد ابتدا باید منظور از اجرای آن برنامه و نوع بهره برداری سد را با توجه به اولیتهای آن منطقه معین و مشخص نمایند. از آن جمله باید مشخص نمود کدام یک از مقاصد زیر شامل اهداف پروژه می باشند:

- ۱- تامین آب آبیاری منطقه
- ۲- جلوگیری از طغیان سیل
- ۳- منحرف نمودن آب
- ۴- تامین آب مصرفی در شهرها و صنایع
- ۵- تهیه برق
- ۶-

بسیاری از سدهای کنونی چند جانبه هستند یعنی آب برای کشاورزی و صنعت و شرب فراهم می کنند، از خسارت سیل و شسته شدن خاک و خراب شدن زمینهای زراعتی جلوگیری به عمل می آورند، از آنها برای مصارف خانگی، کشاورزی و صنعتی برق تهیه می شود و غیره.

در مناطق خشک و کم آب، سدها بیشتر به منظور بهره برداری از آب برای شرب و کشاورزی احداث می شوند. در بعضی از نقاط کشور، سدهای کوچک از نوع بند انحرافی ساخته می شود که از آنها منحصراً برای آبیاری زمینهای زراعتی استفاده می شود. در سالهای اخیر ساختن سدهای کوتاه یا کوچک به منظور تهیه و ذخیره کردن آب آشامیدنی و کشاورزی به ویژه در نقاط خشک و کم آب کشور بر روی رودخانه های موقتی و فصلی، خیلی معمول شده است. معمولاً با توجه به اهداف مذکور در بالا است که برنامه لازم برای احداث هر طرح یا سد تنظیم و اجرا می شود

۴-۶- اهمیت دقت در محاسبه حجم مخزن سد

هزینه توسعه منابع آب با نرخ قابل ملاحظه ای روند افزایشی پیدا نموده است، از این رو محاسبه دقیق ظرفیت مخزن سد اهمیت ویژه ای یافته است. چنانچه ظرفیت مخزن سد کوچک باشد، مخزن سد قادر به تامین هدفی که برای آن طرح شده است یعنی نیاز آبی پائین دست خود نمی باشد از سوی دیگر، طراحی کردن مخزن سد با ظرفیتی بالا از جهات مختلف از جمله تغییر کاربری زمین های حاشیه رودخانه از یک سو و افزایش هزینه اجرایی پروژه از سوی دیگر سبب به زیر سؤال بردن اقتصاد طرح می گردد. از این رو با توجه به کمبود آب و اهمیت ذخیره سازی آب، طراحی و تعیین ظرفیت مخزن سد نیاز به مطالعات عمیقی دارد.

در این خصوص تعیین ظرفیت مناسب برای احداث سدهای مخزنی بخصوص در رودخانه های سیلابی که آورد سالانه آنها بسیار متغیر است نقش اساسی در مدیریت و برنامه ریزی منابع آب ایفا می نماید. بنابراین هرگونه اقدام در راه بهینه سازی حجم مخزن مورد نیاز با توجه به ابعاد اقتصادی طرح گامی به جلو در راه توسعه اقتصادی خواهد بود.

۴-۷- ملاحظات کلی در محاسبه ظرفیت مخزن سد

در طراحی مخازن سد، عوامل و مقاصد متعددی که در توسعه منابع آب دخالت دارند را باید در نظر گرفت. سیاستها و خطوط کلی تعیین شده از سوی تصمیم گیرندگان در ارتباط با توسعه منابع آب در منطقه احداث پروژه در طراحی مخازن سد مورد ملاحظه قرار می گیرد. به عنوان مثال، سدی که در یک منطقه با کمبود جدی آب احداث می گردد با حداکثر ممکن ظرفیت و حداقل مصرف جهت تضمین احتیاجات آبی منطقه طراحی می گردد. به بیانی دیگر اقتصاد طرح تحت الشعاع تامین نیاز آبی منطقه با حداکثر ظرفیت ممکن قرار می گیرد. بنابراین مطالعه دقیقی جهت تعیین ظرفیت مخزن سد در یک منطقه مورد نیاز می باشد. به طور کلی عوامل مهمی که تعیین کننده ظرفیت مخزن سد در یک منطقه می باشند عبارتند از:

۱. میزان جریانهای ورودی به مخزن
 ۲. میزان بهره برداری از سفره آب زیرزمینی
 ۳. نیاز آبی سالیانه و توزیع آن نسبت به زمان
 ۴. کمبود آب
 ۵. روش بهره برداری از مخازن سد
 ۶. تلفات آبی شامل تبخیر و تراوش از سد
 ۷. احتمالات
- علاوه بر عوامل فوق، مولفه هایی که نقش مهمی در تصمیم گیری بازی می کنند عبارتند از:
۱. درجه آزادی مجاز وقوع کمبود به لحاظ کمیت و دوره زمانی وقوع
 ۲. خطر پذیری و عدم قطعیت
 ۳. لحاظ نمودن تاثیرات طرحهای موجود و آینده در حوضه
- طرح قابل اجرا، علاوه بر جوابگویی به نیازهای آبی منطقه باید به لحاظ اقتصادی نیز قابل توجیه باشد. از این رو عوامل موثری که در مطالعات اقتصادی طرح مورد ملاحظه قرار می گیرند عبارتند از:
۱. مقدار هزینه در واحد سطح شبکه آبیاری
 ۲. مقدار درآمد خالص هر هکتار از محصولات زراعی در آینده و در شرایط آبیاری کامل و درآمد کشاورزی در شرایط بدون اجرای پروژه
 ۳. هزینه های راهبری و نگهداری بخشهای مختلف پروژه
 ۴. تعیین دوره بررسی اقتصادی و نرخ تنزیل
 ۵. رابطه افزایش هزینه احداث سد با افزایش ارتفاع آن و یا به عبارتی با حجم مخزن

۴-۸- مرور روشهای موجود در محاسبه حجم مخزن سد

۱- روش ۷۵ درصد آبدهی^۱

در طراحی مخازن سد برای مصارف کشاورزی عموماً روش ۷۵ درصد آبدی مورد استفاده قرار می گیرد و مصرف به این مقدار جریان محدود می گردد. ظرفیت مخزن عموماً با استفاده از منحنی تجمعی یا هر روش مناسب دیگری تخمین زده می شود و سپس با استفاده از آمار موجود جهت کنترل رعایت معیار ۷۵ درصد آبدی شبیه سازی صورت می پذیرد.

میزان بارش در بخشهای مختلف یک حوزه از یک سال به سال دیگر متغیر می باشد و به همین نسبت حجم جریان رودخانه ها نیز متغیر می باشد. پروژه های آبیاری باید به گونه ای طراحی گردند که احتیاجات آبیاری در بیشتر سالها رفع گردد.

در این روش سعی بر مصرف جریان رودخانه به میزان ۷۵٪ قابلیت اعتماد می باشد. به این مفهوم که در ۷۵ از سالها ، ممکن است در رودخانه ، جریان مازاد داشته باشیم و در ۲۵ درصد از سالها کمبود با دامنه ای متغیر.

آشکار است که هر چه میزان اعتماد پذیری بالاتر باشد کمیت آب موجود جهت مصرف کمتر می شود. میزان آب قابل دسترس را می توان با در نظر گرفتن مقداری ظرفیت اضافه جهت استفاده از آب مازاد در سالهای بدون کمبود در سالهای کمبود افزایش داد به این ترتیب یک پروژه را می توان بر مبنای قابلیت اعتماد پائین تری از جریان رودخانه با درجه مشابهی از قابلیت اطمینان طراحی نمود. اما در نظر گرفتن ظرفیت اضافه برای مخزن سد هزینه اضافه دربر خواهد داشت و خود منجر می شود به تخمین زدن هزینه افزوده طرح در برابر ظرفیت اضافه .

هر اندازه ارزش آب در یک منطقه بیشتر باشد ، همانند مناطق خشک ، ظرفیت مازادی که برای مخزن سد باید در نظر گرفته شود بیشتر می باشد.

در طرحهای آبیاری اینگونه طلقی می گردد که کشاورز در ۷۵ درصد از سالها باید از بهره مندی از منابع آب اطمینان داشته باشد و در این روش با در نظر گرفتن ظرفیت اضافه این موضوع در نظر گرفته می شود.

پیشنهادهای کمیسیون آبیاری به صورت زیر جمع بندی می گردد:

۱. مصرف سالیانه آب به طور تقریبی باید معادل جریان سالانه با ۷۵ درصد قابلیت اعتماد در نظر گرفته شود.
۲. ظرفیت مخزن باید به گونه ای باشد که احتیاجات پروژه آبیاری در ۷۵ درصد از سالها به طور کامل رفع شوند.

محاسبه حجم مخزن

احتمال تامین مقدار نیاز خاصی توسط مخزن را اعتبار مخزن می گویند و به صورت زیر محاسبه می شود:

$$P_f = \frac{N_f}{N} \times 100$$

$$P_R = (100 - P_f)$$

در روابط فوق:

N_f = تعداد سالهای شکست

N = طول عمر پروژه

P_f = درصد شکست

P_R = اعتبار مخزن

محدودیتهای روشهای موجود

از مباحث فوق چنین برداشت می شود که در روش ۷۵ درصد آبدی مصرف منابع آب از دو جهت محدود می گردد: اول محدود شدن مصرف به جریان با قابلیت اعتماد ۷۵ درصد و دوم طراحی مخزن سد به گونه ای که احتیاجات پروژه را در ۷۵ درصد از سالهایی که پروژه برای آنها طرح شده است برطرف نماید. ممکن است محدودیت در مصرف بواسطه معیار مصرف در ۷۵ درصد از سالها با افزایش ظرفیت ذخیره به حدی که مصرف طرح کاملاً رفع گردد قابل حذف باشد. افزایش ظرفیت با در نظر گرفتن متغیرهای مختلف به ندرت عملی می شود.

عموماً یک ظرفیت ویژه انتخاب می گردد و جداول عملکرد مخزن به کمک داده های موجود تهیه می گردد. اگر این جداول ناموفق بودن طرح در بیش از ۲۵ درصد از سالها را نتیجه بدهند مصرف طرح در حدی که معیار مصرف در ۷۵ درصد از سالها برطرف نماید کاهش داده می شود. این روش محدودیتهایی دارد به این شرح که فقط تعداد سالهای عدم موفقیت طرح در نظر گرفته می شود و مقدار کمی کمبود در سالهای مختلف در نظر گرفته نمی شود. بنابر این هیچ ارزشی برای میزان کمی کمبود لحاظ نمی گردد.

۲- شاخص کمبود² (SI)

موسسه HEC، سازمان مهندسين ارتش آمریکا با به کارگیری ضریبی موسوم به شاخص کمبود میزان کمی کمبود در سالهای کارکرد پروژه را در نظر می گیرد. (۱۹۷۵)

شاخص کمبود به صورت زیر تعریف می شود:

$$S.I = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{\text{Annual Shortage}}{\text{Annual Utilization}} \right)^2$$

که در رابطه فوق :

N = تعداد سالهای کارکرد پروژه

Annual Shortage = کمبود سالیانه

$\text{Annual Utilization}$ = مصرف سالیانه

هر وقت که شاخص کمبود کوچکتر یا مساوی ۱ باشد طرح موفقیت آمیز است. فرض بر این است که رویداد 20 درصد کمبود در ۲۵ درصد از سالهای کارکرد پروژه مجاز شمرده می شود. قابل مشاهده است که شاخص کمبود مبتنی است بر مقدار کمی کمبود سالیانه.

جدول (1-5) بیانگر تغییرات درصد کمبود سالیانه و تعداد سالهای عملکرد مخزن است.

جدول (1-5) نمایش شاخص کمبود

ردیف	شاخص	تعداد سالهای کمبود در	کمبود
۱	۱	۱۰۰	۱۰
۲	۱	۸۰	11/18
۳	۱	۶۰	12/90
۴	۱	۴۰	15/80
۵	۱	۲۵	۲۰
۶	۱	۲۰	22/36
۷	۱	۱۰	31/62
۸	۱	۴	۵۰

باتوجه به مباحث واضح است که روش شاخص کمبود ظرفیت مخزن سد را دقیقتر از روش شاخص کمبود محاسبه می نماید، و این به جهت استفاده نمودن از معیار شاخص کمبود می باشد که میزان کمی کمبود آبی را به صورت سالیانه در محاسبات حجم مخزن سد وارد می نماید.

۳- دیگر نواقص روشهای موجود

تعدادی از نواقص بارز روشهای موجود در طراحی مخزن عبارتند از :

۱. هیچ گونه اشاره ای به حداقل دوره یا دوره مطلوب مطالعات طراحی مخزن در روشهای موجود وجود ندارد. مطالعات در دوره ها با طول های مختلف ، نتایج متفاوتی به دست می دهند. تحلیل های مبتنی بر طول کوتاه دوره مطالعات نه تنها به تخمین ناصحیح عملکرد پروژه رهنمون می گردند بلکه کلیه محاسبات برای تحلیل های اقتصادی طرح را نامطلوب می نمایند.
۲. طراحی مخزن سد با مورد ملاحظه قرار دادن پارامترهای موثر از قبیل شدت جریان رودخانه و مصرف در فواصل زمانی طولانی از دقت محاسبه حجم مخزن می کاهد. از اینرو جهت بالا بردن دقت محاسبات لازم است فواصل زمانی محاسبه حجم مخزن سد را از فواصل سالانه به ماهانه و حتی کوتاهتر ده روزه کاهش داد.
۳. دامنه کامل متغیرها با توجه به ظرفیت مخزن و مصرف منابع آب مورد بررسی قرار نمی گیرند و بنابر این مصرف بهینه به حصول نمی پیوندد.

موارد فوق جنبه های دیگری هستند که هنگام طراحی و بهینه سازی ظرفیت مخازن سد باید مورد ملاحظه قرار گیرند.

۴-۹- نیاز به یک معیار استدلالی جهت بهینه نمودن ظرفیت مخزن سد

همانگونه که گفته شد ، طراحی مخزن سد یکی از مهمترین مولفه های برنامه ریزی جهت توسعه منابع آب می باشد. معیارهای موجود و نواقص آنها به طور خلاصه مورد بررسی قرار گرفتند. با توجه به نرخ در حال افزایش میزان نیاز آبی و لزوم بهینه سازی مصرف منابع آب در یک محدوده مشخص، بسیار معقول به نظر می رسد که تصمیمی قابل توجیه جهت طراحی مخزن سد اتخاذ گردد. عموماً تاسیسات احداث شده جهت حفاظت آب قابل تغییر نمی باشند و این امر به سختی و با صرف هزینه های هنگفت امکان پذیر می باشد. بالا بودن تراز سرریز مشکلات اساسی را به وجود می آورد. به علاوه ، محل های مناسب جهت احداث نمودن سدی با حجم مخزن بهینه کمیاب می باشد و به همین نسبت امکانات موجود جهت توسعه بهینه منابع آب در دسترس، کم یا محدود می باشند. استفاده از روش ۷۵ درصد آبدهی رودخانه جریان قابل اعتماد جهت طراحی پروژه های آبیاری با معیار تامین ۷۵ درصد از نیاز سال های عمر پروژه، مصرفی بهینه را برای منابع آب پیشنهاد نمی نماید. طراحی پروژه با این روش توسط شماری از محققین مورد بررسی قرار گرفته است و جهت افزایش میزان مصرف طرح استفاده از جریان با ۶۵ یا ۵۰ درصد قابلیت اعتماد پیشنهاد گردیده است. بسیاری از محققین استفاده از متوسط شدت جریان رودخانه را توصیه نموده اند. آشکار است که مصرف بیشتر به طراحی مخزن با حجم بیشتر و در نتیجه افزایش هزینه پروژه می انجامد. شایان ذکر است که میزان مصرف با اصلاح نمودن معیار ۷۵ درصد بهره وری موفقیت آمیز در سال های طول عمر پروژه قابل افزایش می باشد. بدین گونه که درصد مشخصی از سالها به عنوان عملکرد موفق پروژه تعیین گردد. مقدار کمی کمبود آبی دارای اهمیت می باشد و تخصیص دادن یک سال خاص به عنوان سال شکست پروژه بدون تعیین نمودن درجه حداقل کمبود عملی غیر معقول به نظر می رسد.

در واقع حتی تاثیر میزان یکسان کمبود آب در ماه های مختلف سال متفاوت می باشد و این دیدگاه باید در طراحی مخازن سد منظور گردد.

همانگونه که قبلاً گفته شد ، شاخص کمبود مقدار کمی کمبود سالیانه را مد نظر قرار می دهد. برپایه معیار شاخص کمبود جهت کارکرد موفقیت آمیز پروژه باید ۱۰ درصد کمبود در تمام سال های کارکرد یا ۲۰ درصد کمبود در ۲۵ درصد از سال های کارکرد پروژه به وقوع بپیوندد.

این شاخص ، تاثیر به سزایی بر نتیجه روشهای موجود که تعداد سال های کمبود را در نظر می گیرند دارد. با این حال ، نیاز مبرمی به معیاری که کمبود قابل قبولی از مخزن جهت منظورهای مختلف ، تحت شرایط مختلف بهره برداری و در دوره های مختلف با یک نظام ارزشگذاری ترسیم نماید احساس می شود. بدین منظور باید تاثیر فقدان آب بر شرایط اقتصادی و اجتماعی را بررسی نمود.

موفقیت یک پروژه این است که از دید مقاصد آن پروژه مورد ارزیابی قرار گیرد. در این راستا ، در نظر گرفتن معیار مشابهی جهت سنجش تمام پروژه ها مناسب به نظر نمی رسد. به عنوان مثال اگر یک طرح جهت آبرسانی به یک منطقه مستعد خشکسالی

تدارک دیده شده باشد، لزوماً باید از نرخ سود - هزینه به میزان ۱ به ۵ استفاده نمود. از طرف دیگر، اگر شدت نیازهای اجتماعی آنچنان بالا نباشد، مطلوب است که پروژه تنها بر مبنای معیارهای اقتصادی برآورد شود. منظور از بحث کنونی، مورد توجه قرار دادن شرایط متغیری است که باید در روند طراحی مد نظر قرار گیرد.

همانگونه که قبلاً مورد بحث قرار گرفت محاسبه ظرفیت مخزن سد بر مبنای تعداد سالهای کمبود معیار دقیقی به نظر نمی رسد و نیاز است که پروژه بر اساس معیاری معقول تر که در آن مفهوم کمبود به طرز مناسبی تعریف گردد طراحی گردد. حالت ایده آل، برآورد تاثیر کمبودها در قالب تحلیل نرخ هزینه و سودهای اقتصادی و اجتماعی می باشد.

۱- برآوردهای اقتصادی

کمبود آب بر محصولات مختلف در ماههای مختلف سال تاثیر مشخص بر تولید خالص محصولات دارد. کاهش میزان تولید محصولات تحت اثر کمبود آبی به عوامل مختلفی بستگی دارد از جمله :

۱. میزان کمی کمبود آب

۲. تنوع محصولات

۳. دوره رشد محصولات

تحقیقاتی جهت تعریف نمودن عوامل فوق با استفاده از توابع تولید محصولات به وقوع پیوسته است. توابع رشد محصولات که تا به حال پیشنهاد شده اند، در واقع بسیار تقریبی هستند و استفاده از آنها در چنین محاسباتی بسیار دشوار می باشد. به علاوه، یک سیاست تثبیت شده عملی با اولویتهای تعریف شده به منظور استفاده از تابع رشد محصولات در تخمین اقتصادی کمبود آب مورد نیاز می باشد. مطابق ملاحظات عملی، ایجاد یک سیاست عملی در مراحل اولیه طراحی مخزن امکان پذیر نمی باشد. عمل مهم دیگر نوسان قیمت محصولات مختلف می باشد. این خود ناپایداری هایی در معیاری که متکی بر ملاحظات اقتصادی است به وجود می آورد.

۲- ملاحظات اجتماعی - اقتصادی

مطالعات اجتماعی-اقتصادی سطح وضعیت اقتصادی کشاورز و اقتصاد کشاورزی را برآورد می نماید. برای تثبیت روند کشاورزی، استفاده بهینه از آب کشاورزی ضرورت دارد. نه تنها کمیاب بودن آب بلکه ارزش آب و کمبود آن سبب بروز تاثیر عکس بر شرایط اجتماعی-اقتصادی جمعیت کشاورزی می گردد. جمعیتی که عموماً وابسته به کشاورزی می باشد و شرایط اقتصادی آن وابسته است به تولید محصولات کشاورزی. عموماً یک سری الگوی زراعی و ذائقه های غذایی خاصی در یک منطقه موجود می باشد. هر گونه انحراف از ذائقه های غذایی و الگوهای موجود عموماً با مقاومت مواجه می شود و یا اینکه به تدریج به شرایط جدیدی که حاکی از منفعت باشد تغییر می یابد. بنابر این جهت طرح ریزی یک پروژه منابع آب شرایط اجتماعی-اقتصادی جمعیت وابسته به منطقه طرح باید در نظر گرفته شود. طرح ریزی باید بر مبنای تامین منافع جمعیت ساکن در منطقه صورت پذیرد تا بازگشت اقتصادی پروژه. به عنوان مثال در منطقه ای که از مشکل کمبود منابع آبی رنج می برد، کشت محصولاتی که دارای بهره اقتصادی خوبی به لحاظ رونق در بازار دارند برای سکنه ای که دارای ذائقه مصرف محصولات غله ای می باشند منفعت کمی دارد. تحت چنین شرایطی منابع آبی باید جهت زراعت غلات مورد استفاده قرار گیرند به این دلیل که غلات از اهمیت فوق العاده ای برای جمعیت منطقه برخوردار است. این خود البته بر بازگشت مالی پروژه تاثیر می گذارد اما یک قضاوت اقتصادی برای جمعیت ساکن منطقه می باشد.

۳- طرح کلی از روش پیشنهادی

همانطور که قبلاً نیز در مورد آن صحبت گردید معیار موجود ۷۵ درصد آبدهی جهت تعیین ظرفیت سد ناقص به نظر می رسد، به این دلیل که در آن میزان کمی کمبود در سالهای عملکرد ناقص پروژه در نظر گرفته نمی شود. بی شک، شاخص کمبود بهتر از معیار ۷۵ درصد عمل می نماید اما در این صورت تنها مقدار کمی کمبود به صورت سالیانه در نظر گرفته می شود. ارزش تاثیر میزان کمبود، به طور قابل توجهی از یک دوره به دوره های دیگر برای یک محصول به صورت منفرد و برای یک محصول نسبت به محصول دیگر در یک دوره مشابه کاملاً متفاوت می باشد. به عبارت دیگر، میزان کمبود آبی قابل قبول چه از دیدگاه اجتماعی و چه از دیدگاه

فنی برای محصولات مختلف در ماههای مختلف متفاوت می باشد. این دیدگاه باید در روند طرح ریزی مورد ملاحظه قرار گیرد. به این منظور موارد زیر را باید مد نظر قرار داد :

۱. برآورد کمبود آبی در دوره های مختلف و تخمین تاثیر کمبود آبی بر محصولات مختلف در طول این دوره ها . در نظر گرفتن این نکته تصویری جامع از موقعیت ارائه می نماید اما تعداد پارامترهایی که مورد نظر قرار می گیرند بسیار زیاد است و بنابر این تصمیم گیری تحت تاثیر عوامل زیادی قرار می گیرد.

۲. استفاده از منحنیهای فرمان³ مناسب تشخیص داده شده در ارتباط با مصرف آب تحت مراحل متفاوتی از کمبود آبی .

اجرا نمودن این بند ممکن است عملی نباشد و به ایجاد پیچیدگیهای قابل ملاحظه ای در روند طرح ریزی بیانجامد.

۳. نسبت دادن ارزش به دوره های مختلف بحرانی رشد محصولات و انواع مختلف محصولات و ارزش آن از دیدگاه اجتماعی-اقتصادی

۴- ارزش گذاری دوره های زمانی مختلف

با مورد ملاحظه قراردادن انواع محصولات طرح، نیازهای آبی آنها، دوره بحرانی رشد محصولات و بازگشت منافع اجتماعی و اقتصادی آنها دوره های مختلف از رشد گیاهان را می توان تفکیک نمود. گیاهان عمده و دوره های رشد آنها قابل تشخیص می باشند و ارزشهایی به این دوره های تشخیص داده شده قابل انتساب می باشد.

با این حال ، با مورد ملاحظه قرار دادن اشکالات عملی ممکن است مطالعه دوره های مشخص 10 روزه یا ماهانه مطلوب واقع گردد.

اگر یک دوره مشخص مثلا ماهانه مورد بررسی قرار گیرد عوامل متنوعی که باید مورد بررسی قرار گیرند عبارت اند از :

۱. نیاز آبی ماهانه محصولات و توزیع آب

۲. دوره بحرانی رشد محصولات مختلف کشاورزی

۵- ارزشگذاری تجربی دوره های ماهیانه

با مطالعه دوره های مختلف رشد محصولات کشاورزی از دیدگاههای فوق و با استفاده از تئوری مجموعه های فازی، ارزشهایی بین ۰ و ۱ به محصولات مختلف انتساب داده می شود به این ترتیب که ارزش ۰ مربوط به ماهی است که کمبود آبی آن کمترین اهمیت را به لحاظ تاثیر بر رشد محصول دارد و ارزش ۱ مربوط به ماهی است که کمبود آبی بیشترین تاثیر را بر رشد محصول دارد. از معایب نظام ارزشگذاری فوق، رویکرد تجربی به قضیه با مطالعه تاثیر کمبود بر رشد محصولات به صورت کیفی و نه کمی می باشد. استفاده از این روش قطعا در ارتقای محاسبات حجم مخزن موثر بوده است اما اگر ارزشهای وزنی به صورتی تعیین گردند که مطابقت بیشتری با واقعیت داشته باشند درجه اعتماد پذیری محاسبات افزایش می یابد. به علاوه تعیین ارزشهای مربوط به دوره ها کمتر از ماه با این روش سوای اینکه دارای پیچیدگی زیادی می باشد از دقت کافی نیز برخوردار نمی باشد.

۶- ضریب پاسخ محصولات کشاورزی

پاسخ محصولات کشاورزی به کمبود آبی توسط ضریب پاسخ محصول^۴ (K_y) به کمیت درمی آید. این ضریب، کاهش نسبی محصول^۵ را به کمبود نسبی تبخیر و تعرق^۶ ارتباط می دهد. کمبود آبی در قالب تبخیر و تعرق واقعی (ET_a) تعریف می گردد و ماکزیمم مقدار تبخیر و تعرق (ET_m) ممکن است به طور مستمر در طول کل دوره رشد محصول یا در طول هر کدام از دوره های رشد شامل : دوره پاگرفتن محصول^۷، دوره رشد سبزینه^۸، دوره گل اول^۹، دوره تشکیل محصول^{۱۰} و دوره رسیدن^{۱۱} اتفاق بیفتد. مقادیر

K_y برای بیشتر محصولات بر مبنای این فرض که رابطه بین محصول دهی نسبی $\left(\frac{y_a}{y_m}\right)$ و تبخیر و تعرق نسبی $\left(\frac{ET_a}{ET_m}\right)$ خطی

می باشد برای کمبود نسبی آب در دامنه تغییرات ۵۰٪ تا ۵٪ $1 - \frac{ET_a}{ET_m}$ دارای اعتبار می باشد. بعلاوه مقادیر K_y بر مبنای تحلیل

داده های واقعی که دامنه گسترده ای از شرایط رشد را پوشش می دهند بدست آمده اند. نتایج تجربی مورد استفاده، شاخص گونه های مختلف محصول که به محیط رشد تطبیق پیدا نموده اند و تحت یک مراقبت و مدیریت رده بالا قراردارند صادق می باشند. ضریب پاسخ محصولات مطابق رابطه زیر محاسبه می گردد:

$$K_y = \frac{(1 - \frac{y_a}{y_m})}{(1 - \frac{ET_a}{ET_m})}$$

که در رابطه فوق:

y_a = محصول دهی واقعی

y_m = محصول دهی حداکثر

ET_a = کمبود آب واقعی

ET_m = کمبود آب حداکثر

۷- کاربرد ضریب پاسخ محصول در طراحی و برنامه ریزی

کاربرد ضریب پاسخ محصول در طراحی و برنامه ریزی در جهت عملکرد پروژه های آبیاری جهت تامین کمی آب مورد نیاز محصولات منطقه طرح را ممکن می سازد. تحت شرایط وجود محدودیت در توزیع و مصرف آب در حد متعادل در کل دوره رشد محصولات در صورت وجود محصولات با ضرایب پاسخ مختلف، محصولاتی که از مقدار ضریب بزرگتری برخوردار می باشند نسبت به محصولات با ضریب کوچکتر به میزان بیشتری از وقوع کمبود آبی خسارت می بینند. خسارات محتمل ناشی از کمبود آبی در مرحله برداشت محصول و ایجاد هماهنگی های مورد نیاز در تامین نمودن آب جهت کاهش چنین خساراتی را می توان به کمیت درآورد.

شناخت عکس العمل محصولات مختلف کشاورزی به کمبود آب در برنامه ریزی تولید از اهمیت قابل توجه ای برخوردار می باشد. برای مثال تحت شرایط وجود محدودیت در تامین آب مورد نیاز آبیاری و با وقوع کمبود آبی به طور مساوری که در کل فصل رشد محصولات رخ می دهد، میزان کاهش محصول برای ذرت با $K_y = 1/25$ برای کل دوره رشد از میزان کاهش محصول در ذرت خوشه ای با $K_y = 0/90$ بیشتر می باشد. در نتیجه وقتی که این دو محصول در منطقه طرح موجود باشند و حداکثر تولید در واحد حجم مورد نظر باشد، در تامین آب ذرت نسبت به ذرت خوشه ای باید از اولویت برخوردار باشد. اگر طور دیگری به قضیه نگاه شود هنگامی که رسیدن به حداکثر تولید در منطقه طرح مد نظر باشد و زمین به عنوان یک عامل محدود کننده به حساب شمرده نشود، آب در دسترس باید به گونه ای مورد استفاده قرار گیرد که نیاز آبی ذرت به طور کامل رفع گردد. در چنین شرایطی می توان میزان محصولات را با به زیر طرح بردن مساحت بیشتری از زمین به زیر کشت ذرت خوشه ای بدون رفع کامل نیاز آبی محصول درحدی که میزان کمبود آبی از حد بحرانی تجاوز ننماید افزایش داد.

به بیان مفصل تر، بررسی عکس العمل محصولات به کمبود آبی در دوره های مختلف رشد از اهمیت ویژه ای در برنامه ریزی آب در دسترس ولی محدود جهت حصول بیشترین محصول برخوردار می باشد. عمده محصولات در دوره شکوفایی و گل دادن نسبت به مراحل اولیه شامل دوره رشد سبزینه پس از مرحله پا گرفتن محصول و دوره های رشد بعدی شامل رسیده شدن از حساسیت بیشتری نسبت به کمبود آب برخوردار می باشند. این موضوع نشانگر این است که زمان تامین آب به همان نسبت سطح تامین آب از اهمیت برخوردار می باشد. بنابراین در برنامه ریزی تامین آب باید اختصاص بهینه تامین آب به محصولات در طول دوره های مختلف رشد را در نظر گرفت، به این طریق که جهت رفع نیاز آبی محصولات، به رفع نیاز آبی محصولات در دوره های با حساسیت بیشتر اولویت بیشتری داده شود. به جای الگوی رفع نیاز آبی به صورت توزیع یکسان در زمان. به عنوان مثال برای ذرت تامین آب باید برای دوره گل دادن، محصول دهی و شکل گیری محصول صورت پذیرد.

۸- کاربرد ضریب پاسخ محصول در برنامه ریزی منابع آب

تحت شرایط وجود محدودیت در منابع آب باید از یک برنامه تامین آب جهت به حداقل رساندن کمبود آبی در طول حساسترین دوره ها (دوره ای با ضریب K_p بالا) استفاده نمود. برای عمده محصولات، این دوره معادل دوره گل دادن و دوره تشکیل دانه محصول است. اجرای این سیاست سبب به حداقل رساندن کاهش تولید محصولات در دوران وقوع کمبود آبی می گردد.

۹- کاربرد ضریب پاسخ محصول در عملکرد مخازن

در طرح ریزی و طراحی سیستمهای تامین آب که با مخزن تغذیه می گردند رها سازی آب برای آبیاری بر مبنای حقابه انتخاب شده یا عرفهای تامین آب صورت می پذیرد. منبع آب به صورت یک پارامتر کاربردی وارد عمل می شود تا یک متغیر کاربردی. آب رها شده شاخص یک جریان ثابت در یک دوره زمانی می باشد در حالی که مفاهیم حقابه و عرفهای تامین آب در مرحله برنامه ریزی در مصرف مفید می باشند ملاحظات مرتبط با کارایی آب مصرفی و سطح تولید محصول به طور عمده ای به عملکرد مخزن با بیشترین کارایی کمک می کند.

عملکرد مخزن باید در راستای به حداقل رساندن مقدار کمبود آبی در طول دوره رشد محصول باشد به خصوص در زمانی که محصول در حساس ترین دوره رشد به لحاظ بروز عکس العمل به کمبود آبی باشد. اطلاعات مورد نیاز عبارتند از :

۱- تشخیص منبع در دسترس در دوره رشد

۲- تشخیص نیاز آبی محصولات (ET_m) برای محصولات مختلف در دوره های یک ماهه و ده روزه

۳- انتخاب ضرائب پاسخ محصولات طرح

۴- تشخیص توزیع مناسب آب در طول دوره رشد بر مبنای به حداقل رساندن خسارات برداشت محصول به دلیل کمبود آبی در دوره وجود کمبود آبی، برتری تامین آب در میان محصولات در یک منطقه با استفاده از ضرائب پاسخ محصولات قابل تشخیص می باشد.

۱۰- کاربرد ضریب پاسخ در محاسبات مخزن سد

ضرائب پاسخ انتساب داده شده به محصولات مختلف در دوره های مختلف در میزان کمبود آبی دوره های مختلف ضرب می گردد و بدین ترتیب کمبود آبی با ضریب ارزش ماهانه یا ده روزه محاسبه می گردد. با استفاده از کمبود آبی سالیانه حاوی ضریب ارزش کمبود، شاخص کمبود تعدیل شده¹² به صورت زیر نوشته می شود:

$$M.S.I = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \left[\frac{12}{1} \left(\sum_{m=1}^{12} S_m \times w_m \right) / A_U \right]^2$$

که در رابطه فوق:

$M.S.I$ = شاخص کمبود تعدیل شده

N = تعداد سالهای کارکرد پروژه

S_m = کمبود آبی ماهانه

W_m = ارزش کمبود ماهانه یا ضریب پاسخ ماهیانه

A_u = مصرف سالیانه

رابطه فوق با اندک تغییراتی به صورت زیر قابل تعمیم به دوره های ۱۰ روزه می باشد:

$$M.S.I = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \left[\frac{36}{1} \left(\sum_{D=1}^{36} S_D \times w_D \right) / A_U \right]^2$$

$M.S.I$ = نشانگر شاخص کمبود تعدیل شده

N = تعداد سالهای کارکرد پروژه

$$S_D = \text{کمبود آبی ده روزه}$$

$$W_D = \text{ارزش کمبود ده روزه یا ضریب پاسخ ده روزه}$$

$$A_U = \text{مصرف سالیانه}$$

۱۱- روش محاسبه ارزش کمبود

با احتساب ضریب پاسخ محصولات معادل ارزش کمبود، ارزش کمبود برای هر دوره زمانی مشخص به صورت زیر برآورد می گردد:

ارزش هر محصول خاص بر مبنای نیاز آبی محصولات مختلف طرح با استفاده از جداول و نمودارهای ارایه شده توسط سازمان FAO در نشریه ۳۳ سازمان نامبرده در هر ماه با توجه به زمان رشد بحرانی تخمین زده شده سپس ارزش کمبود معادل هر دوره زمانی با در نظر گرفتن سطح زیر کشت محصولات مختلف و میانگین-گیری وزنی نسبت به سطح زیر کشت قابل محاسبه می باشد. به ترتیب فوق ارزش کمبود برای یک دوره ماهانه به صورت زیر محاسبه می گردد :

$$W_j = \frac{\sum_{i=1}^n w_{ij} * A_i}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

که در رابطه فوق :

$$w_j = \text{میانگین ارزش کمبود ماهیانه یا ماهیانه}$$

$$w_{ij} = \text{ارزش کمبود محصول } i \text{ در ماه یا دهه } j$$

$$A_i = \text{سطح زیر کشت محصول } i$$

$$n = \text{تعداد محصولات}$$

مراجع:

- ۱- پیشوایی. سید احمد و میرباقری. سیداحمد ، " تحلیل داده های هیدرولوژیک در محاسبه حجم مخازن "، مجموعه مقالات اولین کنفرانس هیدرولوژی ایران، دانشگاه تهران، دانشکده فنی ۲۳- ۲۰ خرداد ۱۳۶۸
- ۲- تمنایی. حمیدرضا، " محاسبه حجم بهینه مخازن و بده قابل تضمین در بهره برداری از رودخانه "، مجموعه مقالات اولین کنفرانس هیدرولوژی ایران، دانشگاه تهران، دانشکده فنی، ۲۳- ۲۰ خرداد ۶۸
- ۳- خدیور. حسین ، " تاثیر احداث سد شهید رجایی بر منابع آبهای سطحی و زیرزمینی دشت تجن " ، استاد راهنما : دکتر جعفر ناجی ، اسفند ۷۸، دانشکده صنعت آب و برق کشور
- ۴- رستم افشار. ناصر، " مهندسی منابع آب " ، سازمان چاپ و انتشارات وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی ، چاپ اول، تهران ۱۳۷۵
- ۵- قریشی. علی اصغر، شریعتی. محمد رضا، جاراللهی. مرضیه ، "برآورد آب مورد نیاز گیاهان عمده زراعی و باغی کشور، جلد اول، محصولات زراعی" ، موسسه تحقیقات خاک و آب کشور
- ۶- قریشی. علی اصغر، شریعتی، محمد رضا، جاراللهی. مرضیه، شهابی فر. مهدی، "برآورد آب مورد نیاز گیاهان عمده زراعی و باغی کشور، جلد دوم، محصولات باغی" ، موسسه تحقیقات خاک و آب کشور
- ۷- کردوانی. پرویز، " منابع و مسائل آب در ایران، جلد اول، آبهای سطحی و زیرزمینی و مسائل بهره برداری از آنها" ، انتشارات دانشگاه تهران ، ۲۰۲۹ ، چاپ دوم با تجدید نظر
- ۸- نجفقلو. اسدالله ، "طراحی هیدرولوژیکی سیستم های منابع آب" ، مجموعه مقالات اولین کنفرانس هیدرولوژی ایران، دانشگاه تهران، دانشکده فنی ، ۲۳- ۲۰ خرداد ۶۸
- ۹- نقیبی بیدختی. علی، ابریشم چی. احمد، " بهره برداری بهینه مخزن با استفاده از برنامه ریزی پویای فازی " کنفرانس بین المللی سازه های هیدرولیکی ، بخش عمران دانشکده فنی مهندسی دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۱۲ و ۱۳ اردیبهشت ۱۳۸۰

- ۱۰- نیریزی. سعید و خیابانی. حمید ، " اثرات کاهش آب آبیاری و تغییرات آبدهی رودخانه ها در انتخاب حجم بهینه سدهای مخزنی "، مجموعه مقالات کنفرانس منطقه ای مدیریت منابع آب ، اصفهان، ایران، ۱۳۷۴
- ۱۱- مهندسین مشاور مهتاب قدس، طرح توجیه ، " مطالعات اولیه طرح توسعه کشاورزی " ، ۱۳۶۵
- ۱۲- مهندسین مشاور جاماب، " آب مورد نیاز خالص محصولات در دشت ساری، دشت ناز، ۱ - ۶ - ۴ - ۱ "، بهمن ۱۳۷۵
- ۱۳- موسوی ندوشنی ، "هیدرولوژی پیشرفته"، جزوه درسی، دانشکده صنعت آب و برق، گروه عمران آب، ۱۳۸۱ پاییز

References

- Chow, V.T, 1964 , "Hand Book of Applied Hydrology, MC Graw Hill Limited, New York
- FAO, 1975 , Vol. 33, "Crop Response to water"
- HEC, 1975 , "Reservoir Yield", Crops of Engineers U.S Army, Vol. 8 , Davis, California
- Rostam Afshar, N, 1985 , "Criteria for Storage Capacity Fixation", MS thesis, University of Roorkee, India
- Rostam Afshar, N, et al, "Criteria for Storage Capacity fixation For Irrigation Reservoir projects", CBIP, Vol. 4 . No. 1, June 1995
- Cornwell, D. and R. Lee, 1993, "AWWARF"-EPA, 2002, "FBRR"
- Liquefaction Mitigation in Silty Soils Using Composite Stone Columns and Dynamic Compaction, by Thevachandran Shenthana, Rafeek G. Nashed, Sabanayagam Thevanayagam and Geoffrey R. Martin
- INVESTIGATION OF PERFORMANCE AND EFFECTIVENESS OF GROUND IMPROVEMENT USING VIBRO-DENSIFICATION, by Balasingam Muhunthan and Rafik Itani
- Department of Civil and Environmental Engineering Washington State University Pullman, WA 99164-4870
- Subsurface Exploration Using the Standard Penetration Test and the Cone Penetrometer Test, J. DAVID ROGERS Department of Geological Sciences & Engineering, 125 McNutt Hall, University of Missouri-Rolla, Rolla, MO 65409-0230
- Vibro Replacement Soil Improvement Works for two LNG-Tanks at the Hazira Terminal, India, keller company
- FIELD-BASED LIQUEFACTION EVALUATION PROCEDURES , I. M. Idriss , University of California at Davis
- Au, S. K. 2001. "Fundamental study of compensation grouting in clay." PhD thesis, University of Cambridge, U.K.
- Buchet, G., Soga, K., Gui, M. W., Bolton, M. D., and Hamelin, J. P. 1999. "COSMUS; New methods for compensation grouting." Proc., Association Francaise des Travaux en Souterrain (AFTES) International Conference UNDERGROUND WORKS—Ambitions and Realities, October 25–28, 131–137.
- Drammer, G. J. E., Travaes, P. D., and Drooff, E. R. 1994. "Settlement protection works for new St. Clair river rail tunnel." Can. Tunnelling, 291–302.
- Drooff, E. R., Travaes, P. D., and Forbes, J. 1995. "Soil fracture grouting to remediate settlement due to soft ground tunnelling." Proc., Rapid Excavation and Tunnelling Conf., Society for Mining Metallurgy and Exploration, San Francisco, 21–40.
- Essler, R. D., Drooff, E. R., and Falk, E. 2000. "Compensation grouting, concept, theory, and practice." Geotechnical Special Publication No. 104, American Society of Civil Engineers, 1–15.

- Harris, D. I., Pooley, A. J., Menkiti, C. O., and Stephenson, J. A. 1996. "Construction of low level tunnels below Waterloo Station with compensation grouting for Jubilee line extension." *Geotechnical aspects of underground construction in soft ground*, R. J. Mair and R. N. Taylor, eds., Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 361–366.
- Harris, D. I., Mair, R. J., Burland, J. B., and Standing, J. R. 1999. "Compensation grouting to control tilt of Big Ben Clock Tower." *Geotechnical aspects of underground construction in soft ground*, O. Kusakabe, K. Fujita, and Y. Miyazaki, eds., Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 225–232.
- Ikeda, S., Saito, T., Huang, Y., and Mori, A. 1996. "Settlement of storehouses during the passage of two parallel shields through." *Geotechnical aspects of underground construction in soft ground*, R. J. Mair and R. N. Taylor, eds., Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 367–372.
- Komiya, K., Soga, K., Akagi, H., Jafari, M. R., and Bolton, M. D. 2001. "Soil consolidation associated with grouting during shield tunnelling in soft clayey ground." *Geotechnique*, 51(10), 835–847.
- La Fonta, J. 1998. "Puerto Rico real-time control of compensation grouting with the cyclops system." *Geotech. News*, 17(2), 27–32.
- Mair, R. J., and Hight, D. W. 1994. "Compensation grouting." *World Tunnelling*, November, 361–367.
- McKinley, J. D. 1994. "Grouted ground anchors and the soil mechanics aspects of cement grouting." PhD thesis, University of Cambridge, U.K.
- Osborne, N., Murry, K., Chegini, A., and Harris, D. I. 1997. "Construction of Waterloo Station upper level tunnels, Jubilee line extension project." *Proc., Tunnelling 97*, Institution of Mining and Metallurgy, London, 639–662.
- Pototschnik, M. J. 1992. "Settlement reduction of soil fracture grouting." *Proc., Conf., Soil Grouting, Soil improvement and Geosynthetics*, ASCE, 1, 398–409.
- Schweiger, H. F., and Falk, E. 1998. "Reduction of settlement by compensation grouting numerical studies and experience from Lisbon underground." *Proc., The World Tunnel Congress '98 on Tunnel and Metropolises*, Sao Paulo, April, A. Negro and A. A. Ferreira, eds., Vol. 2, 1047–1052.
- Shirlaw, J. N. 1990. "Ground treatment by injection in Hong Kong with special reference to the construction of the Hong Kong mass transit railway." MSc thesis, University of Bristol.
- Shirlaw, J. N., Dazhi, W., Ganeshan, V., and Hoe, C. S. 1999. "A compensation grouting trial in Singapore marine clay." *Geotechnical aspects of underground construction in soft ground*, O. Kusakabe, K. Fujita, and Y. Miyazaki, eds., Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 149–154.

به نام خداوند بخشنده مهربان

رفتار لرزه ای سدهای بتنی

تالیف و ترجمه: حسین میسمی - سعیده سعیدی

فصل اول: رفتار لرزه ای سدهای بتنی

فصل اول

رفتار لرزه ای سدهای بتنی

۱-۱-مقدمه

زلزله مخربترین پدیده طبیعی است که معمولاً بیش از چند ثانیه طول نمی کشد و در همین زمان اندک خرابی‌های زیادی را بار می آورد و علت بروز این خرابی‌ها نیز بیش از قدرت، به سریع و ناگهانی بودن حرکات زمین باز می گردد. این حرکات اغلب ناشی از تغییرات زمین ساختی در حاشیه گسلها و راندگی ها بوده و لذا در مناطقی که شکستگی های ساختاری مذکور، توسعه بیشتری یافته اند، زلزله ها نیز معمولاً تراکم بیشتری خواهند داشت.

زمین لرزه ها حاصل فرآیند زمین ساخت فعالیت کره زمین می باشند که در اثر آزاد شدن انرژی ذخیره شده در پوسته زمین (سنگهای گرانیت در اعماق کم و متوسط و بازالت در اعماق زیاد پوسته) می باشد. لیکن زلزله به معنای متداول آن ناشی از حرکات پوسته زمین روی گوشته آن می باشد که باعث فشردن شدن پوسته زمین در بعضی مناطق گردیده و بعد با آزاد شدن انرژی از طریق لغزش بعضی شکافهای روی زمین چه در اعماق دریاها و چه در داخل خشکی ها، زلزله بوقوع می پیوندد. علت اصلی این حرکات، وجود گرمای بسیار زیاد داخل هسته زمین و تغییرات دما از عمق به سطح می باشد. گوشته زمین که بین هسته زمین و پوسته قرار گرفته است از طرف هسته بسیار داغ و از طرف پوسته نسبتاً سردتر می باشد. حرکت دورانی خمیره گوشته بین هسته و پوسته باعث می شود که پوسته روی گوشته به گردش درآید و در کم ضخامت ترین قسمت پوسته که در کف اقیانوس می باشد از هم شکافته و گوشته خمیری وارد پوسته گردد و آن را تحت فشار قرار دهد. با توجه به حالت کروی زمین این پوسته اضافه شده به دو طریق متعادل می گردد:

الف-کوهزایی، نظیر سلسله کوههای مختلف جهان (برای مثال زاگرس - البرز و آناتولی در ترکیه)

ب- وارد شدن پوسته به گوشته در مرز بین صفحات واقع بر پوسته زمین (برای مثال دخول پوسته در اقیانوس آرام در زیرکشورهای ژاپن و تایوان)

این رویدادها بطور عمده محدود به نواحی می باشند که در آن بخش‌ها فرآیند دگر شکلی و تکامل پوسته و سایر بخشهای درونی کره زمین ادامه دارد. زمین لرزه‌ها، یکی از بهترین منابع کسب اطلاع از زمین ساخت فعال هر منطقه بوده و از سوی دیگر رویداد آنها باعث ایجاد لرزشهای شدید زمین و ایجاد خسارت در سازه‌ها می گردد. بنابراین بررسی آنها از دیدگاههای لرزه زمین ساخت، زلزله شناسی محض و مهندسی زلزله حائز اهمیت می‌باشد.

فلات ایران از جمله مناطق بسیار فعال جهان است که در طی تاریخ تکوین زمین، حرکات و فازهای تکتونیکی مهم و متعددی را پشت سر نهاده است و این حرکات باعث بروز گسله و شکستگی‌های عمیق و طولی در پوسته ایران زمین شده‌اند که بسیاری از آنها در حال حاضر نیز فعال بوده و به جهت عمق، طول و سازوکار، از قدرت لرزه خیزی بالایی برخوردار می باشند، بگونه‌ای که به گواه آمار و اطلاعات موجود (چه آنهایی که از کتب و نوشتارهای تاریخی استخراج شده‌اند و چه آنان که در سده اخیر و توسط دستگاههای لرزه‌نگار به ثبت رسیده‌اند) ایران در رده مناطق لرزه‌خیز جهان بحساب آمده و همواره در معرض خطر زمین‌لرزه‌های بزرگ و ویرانگر قرار داشته و تقریباً هر ساله شاهد رخداد زمین‌لرزه‌های مخرب می‌باشد.

۱-۲- انواع زمین لرزه:

۱- زمین لرزه‌های تکتونیکی: زمین لرزه‌های تکتونیکی در برگیرنده تعداد بسیار زیادی از زلزله‌هایی هستند که سالانه در سطح جهان ثبت می‌شوند. حرکات صفحات تشکیل دهنده پوسته زمین عامل ایجاد این زمین لرزه‌ها می‌باشد.

۲- زمین لرزه‌های آتشفشانی: این زلزله‌ها فقط در نواحی فعال آتشفشانی اتفاق می‌افتد و به واسطه انفجارهایی در امتداد مرز صفحات رخ می‌دهند.

۳- زمین لرزه‌های فروریختی: بر اثر فرو ریختن غارها و کانال‌های زیرزمینی، زمین لرزه‌هایی ایجاد می‌شود که به نام زمین لرزه‌های فروریختی موسومند. این تکانها بسیار کوچک بوده و فقط اهمیت محلی دارند.

۴- زمین لرزه‌های القایی: بر اثر آبیگری یا تغییرات ناگهانی سطح آب دریاچه‌های پشت سدها، تزریق آب یا سیالهای دیگر به داخل زمین و یا استخراج آنها، مخصوصاً در جاهایی که گسلهای فعال وجود دارد زمین لرزه‌هایی ایجاد می‌شود. در واقع دلیل اصلی این زمین لرزه‌ها را می‌توان بارگذاری سریع بر روی زمین و یا برداشتن ناگهانی بار زیادی از روی آن ذکر کرد. این زمین لرزه‌ها به نام القایی موسومند. زمین لرزه‌های ناشی از معادن نیز در این دسته قرار می‌گیرند. به عنوان مثال می‌توان به زمین لرزه‌ای که در ارتباط با آبیگری و تغییرات فصلی سطح آب دریاچه سد سفیدرود روی داد اشاره نمود.

۵- زمین لرزه‌های ناشی از انفجارها: انفجارهای نظامی و صنعتی، همچنین آمد و شد و یا فعالیت‌های ساختمانی، نیز زمین لرزه‌هایی را ایجاد می‌نمایند که شدت، زمان وقوع و محل آنها قابل پیش بینی است.



شکل (۱) زلزله سال ۱۹۹۹ تایوان باعث ویرانی سازه گردیده است.

در میان سازه‌های ساخته شده بدست بشر، سدها بدلائل مختلف، از جمله اهمیت اهداف ساخت و نیز شدت و حساسیت خطرات و صدمات ناشی از خرابی احتمالی آنها، از موقعیت منحصر به فردی برخوردار هستند.

زمین لرزه سی‌ویکم خرداد ۱۳۶۹ گیلان یکی از مخربترین زلزله‌های تاریخ معاصر ایران است. این زلزله را سراسر جهان ثبت کرده‌اند. به عنوان مثال مرکز خدمات لرزه‌نگاری سوئیس بر اساس اطلاعاتی که توسط شبکه لرزه‌نگارها ثبت شده بود یک ارزیابی مقدماتی ارائه کرد که بزرگی آن ۷/۳ ریشتر بود. چند ساعت پس از زلزله اصلی، دو پس لرزه قوی با بزرگی ۶/۲ و ۶/۵ ریشتر رخ داد. در هفته‌های بعد بیش از ۴۰۰ پس لرزه دیگر با بزرگی‌های تا ۵/۹ ریشتر توسط مرکز ژئوفیزیک دانشگاه تهران گزارش شد. شدت لرزش‌ها به حدی بود که منجر به ایجاد ترک‌های اساسی در قسمت فوقانی پشت بندهای میانی سد سفیدرود گردید.

این زمین لرزه استان‌های گیلان و زنجان را در شمال و شمال غربی تهران ویران کرده و حدود ۵۰۰۰۰ کشته و ۵۰۰۰۰ زخمی بر جای گذاشت. مرکز این زلزله در ۲۰۰ کیلومتری شمال غرب تهران در محلی واقع در منطقه سفیدرود که بین دو شهر کاملاً ویران شده رودبار و منجیل، واقع شده است. قبل از وقوع زلزله، سد، نیروگاه و تمامی تاسیسات وابسته به بهترین شکل در حال

بهره‌برداری بوده ولی پس زلزله سال ۱۳۶۹ رودبار و منجیل سد سفیدرود دستخوش آسیب‌های زیادی گردید و وقفه ای در بهره‌برداری آن بوجود آمد نیروگاه و تاسیسات وابسته سد نیز دچار صدمات جدی گردید که در این پایان‌نامه به آن پرداخته می شود. سد لتیان نیز که عینا شرایطی مشابه سد سفیدرود دارد در معرض رخدادهای لرزه‌های مخرب قرار دارد که باید برای مقابله با آن و مدیریت بحران پس از وقوع زلزله، تجربیات مربوط به سد سفیدرود مد نظر قرار گیرد. از میان سدهای زیادی که در طول تاریخ دچار شکست و خرابی شده‌اند، فقط تعداد معدودی به علت وقوع زلزله بوده است و هیچکدام از آنها نیز سد بتنی مهمی نبوده است. طی قرن حاضر سدهای بتنی زیادی ساخته شده و انتظار می رود که تعداد زیادتری نیز در مناطق زلزله‌خیز ساخته شود. این سدها دیر یا زود علاوه بر عوامل زیان‌آور معمولی در معرض زمین لرزه‌های مهمی نیز قرار خواهند گرفت. از آنجا که میلیون‌ها نفر در دشت‌های سیلابی پایین دست این سدها زندگی می کنند، لازم است توجه فزاینده ای به ایمنی آنها در مقابل زلزله مبذول شود. برای ارزیابی ایمنی و پایداری سدهای موجود، تعیین کفایت اصلاحات مورد نظر برای بهسازی و ارتقاء سدهای قدیمی و برای ارزیابی طرح‌های پیشنهاد شده جهت احداث سدهای جدید، ضروری است اثرات زلزله (earthquake ground motion) بر روی این سدها ارزیابی شود.

پیش‌بینی رفتار سدهای بتنی در زمان وقوع زلزله یکی از پیچیده‌ترین و سخت‌ترین مسائل در دینامیک سازه‌ها است. عوامل زیر هم به این پیچیدگی می افزاید:

۱- سدها و مخازن شکل‌های پیچیده‌ای دارند که ناشی از پستی و بلندی‌های طبیعی (توپوگرافی) ساختگاه است.
۲- پاسخ سدها ممکن است به میزان زیادی متأثر از تغییرات شدت و مشخصات حرکت زمین در عرض و ارتفاع تنگه باشد که البته به دلیل نبود گزارش‌های دستگاهی مناسب و صحیح، تغییرات فضایی حرکت زمین را در حال حاضر نمیتوان با اطمینان تعریف نمود.

۳- پاسخ سد معمولاً بستگی زیادی به حرکت آب مخزن در اثر زلزله، تغییر شکل پذیری سنگ کف که همیشه بوسیله درزها و شکاف‌ها قطعه قطعه می شود، و تاثیر متقابل حرکات آب، سنگ کف و خود سد بر همدیگر دارد.
در زمان حرکات شدید زلزله، درزهای ساختمانی قائم ممکن است بلغزد یا باز شود. بتن ترک بخورد و آب مخزن در بعضی قسمت‌ها از سطح سراب جدا شده و منجر به کاویتاسیون شود. این پدیده‌ها خطی نبوده و شبیه‌سازی و توضیح صحیح علل آنها بی‌نهایت مشکل می‌باشد.

تحلیل و طراحی سد برای شرایط ناشی از زلزله از روش‌های ساده تجربی به روش‌های نیروی استاتیکی با استفاده از ضرایب زلزله و سپس به روش‌هایی تحول یافته که امروزه به کمک آنها می‌توان ماهیت دینامیکی مسئله (dynamic nature) را شناسایی کرد. بزرگترین موفقیت در مورد سدهای وزنی بدست آمده است و علت آن هم در درجه اول این است که آنها به تحلیل دو بعدی جواب می‌دهند. قابل اعتماد بودن روش‌های تحلیل بدست آمده با نشان دادن اینکه آنها نتایج را پیش‌بینی می‌کنند که عموماً با مشاهدات صحرائی محدود سازگار است، به اثبات رسیده است. برای مثال می‌توان به خسارات وارده به سد کوینا در اثر زلزله و پاسخ‌های اندازه‌گیری‌شده در آزمایش‌های ارتعاش اجباری (forced vibration) بر روی چند سد اشاره کرد.
مطالعات پاسخ پارامتری هم امکان نشان دادن اثرات برهم‌کنش آب مخزن و سنگ کف بر روی پاسخ سدهای وزنی را فراهم آورده است. امروزه تحلیل دینامیکی سدها دیگر کاملاً جا افتاده و به رسمیت شناخته شده است.

تحلیل و طراحی سدهای قوسی پیشرفت خیلی کمی داشته است و علت آن در درجه اول این است که این نوع سدها باید به عنوان سیستم‌های سه‌بعدی تلقی شوند. اخیراً در ابداع روش‌های منطقی برای ارزیابی اثرات هیدرو دینامیکی و در نظر گرفتن اثرات برهم‌کنش، پیشرفت چشمگیری حاصل آمده اما یافتن راه‌های قابل اعتماد برای منظور کردن اثرات برهم‌کنش بین سد و سنگ کف نگهدارنده آن، هنوز مشکل است. آنچه بر این مشکل می‌افزاید آن است که تغییرات فضایی حرکت زمین را امتداد مرز سد نمی‌تواند بطور قابل اعتمادی تعریف نماید.

در مورد سدهای پشت بند دار که لتیان و سفید رود از این نوعند. تحقیقات بسیار اندکی نسبت به پاسخ این سدها به زلزله انجام گرفته است شاید به این علت که این نوع سدها کمتر از سدهای وزنی و قوسی مورد استفاده قرار می‌گیرد. سدهای پشت بند دار متشکل از دال تخت (flat deck) و سازه چند قوسی است. این سدها حدود ۶۰ درصد کمتر از سدهای وزنی سیمان نیاز دارند. به دلیل نبود مطالعات پاسخ پارامتری و جامع میزان اهمیت عوامل مختلف، مثل برهم‌کنش سد و آب از یک سو، و سد و سنگ کف از سوی دیگر، در پاسخ زلزله این نوع سدها چندان مشخص نمی‌باشند. در مورد سد کوینا در هندوستان با فرض رفتار سازه‌ای خطی، پاسخ دینامیکی بلندترین بلوک غیر سرریز سد کوینا به حرکت زمین تحلیل شده و نتایج حاصل، نشانگر تنش‌های کششی بیشتری در قسمت‌های بالای سد، بخصوص در ترازای که شیب سطح پایاب به صورت ناگهانی تغییر می‌کند. (همین نتیجه در مورد سفید رود نیز عینا صادق است)

فصل دوم: لرزه خیزی القایی در سدها

۱-۲- لرزه خیزی القایی در سدها:

فرآیند آگیری و تخلیه مخزن سدها، انفجار در معادن، انفجارات اتمی و... بعضا موجب تغییرات محلی در میدان تنش ناحیه اطراف آنها گشته و الگوی لرزه‌خیزی منطقه را تحت تاثیر قرار می‌دهد. مواردی از لرزه‌خیزی القایی در گستره سدها گزارش شده است که در برخی موارد توام با وارد آوردن خسارت به سازه سد و پایین دست آن بوده است. مهمترین مثال به سد کوینا در هندوستان مربوط می‌شود که زمین‌لرزه القایی با $6/5$ ریشتر را بخود دیده است. سد از نوع بتنی وزنی و به ارتفاع ۱۰۳ متر بوده و رویداد زمین‌لرزه موجب بوجود آمدن شکاف‌های بزرگ در بدنه آن گردیده‌است. ملاحظه می‌شود که زمین‌لرزه‌های القایی از دیدگاه مهندسی سد نیز حائز اهمیت می‌باشند. برای یافتن الگوی لرزه‌خیزی القایی مخزن یک سد لازم است که دست کم دو سال قبل از آگیری آن، منطقه مورد رفتارنگاری خرد لرزه ای (Microseismic monitoring) قرار گیرد. این رفتار نگاری به کمک یک شبکه لرزه‌نگاری محلی پیروید کوتاه قابل انجام می باشد. همچنین داشتن برخی از داده‌ها نظیر افت تنش (stress drop) مربوط به زمین‌لرزه‌های منطقه، ساز و کار گسل‌های موجود در مخزن سد و رژیم هیدروژئولوژیک مخزن و وضعیت زمین‌ساختی جایگاه سد ضروری می‌باشد.

لازم به ذکر است که لرزه‌خیزی القایی تاکنون در سدهای با ارتفاع بیش از یکصد متر، حجم مخزن بیش از پانصد میلیون متر مکعب و یا قرار گرفته در جایگاه زمین ساختی فعال گزارش شده است.

۲-۲- مطالعات لرزه زمین ساخت ویژه ساختگاه (site specific) سازه‌های خاص (بوژه سدها)

مهمترین نتایج مطالعات لرزه زمین ساخت شامل مدل چشمه‌های لرزه‌ای ناحیه، دوره بازگشت زمین لرزه‌ها (بعضا با استفاده از داده‌های پارینه زلزله شناسی، مدل لرزه زمین ساختی و برآورد خطر گسلش در ساختگاه سازه مورد نظر می باشد. برای نیل به نتایج ذکر شده لازم است که لرزه‌خیزی گستره طرح، زمین ساخت صفحه‌ای، زمین ساخت ناحیه‌ای و زمین شناسی محلی ساختگاه مورد بررسی واقع شود و بعضا نیاز به انجام برخی آزمایشات سن سنجی، تعبیه شبکه لرزه نگاری محلی و مطالعات ژئودتیک و میکروژئودزی نیز وجود خواهد داشت. لازم به ذکر است که جزئیات مورد لزوم مطالعات برای هر ساختگاه و هر سازه باقضاوت کارشناسی متکی بر اهمیت سازه، جایگاه لرزه زمین ساختی آن، فاز مطالعاتی مورد نظر و... تعیین خواهد گردید.

۱-۲-۲- گردآوری و تحلیل کارشناسی داده‌های زمین لرزه‌ای

می‌توان بر حسب ثبت و یا عدم ثبت زمین‌لرزه‌ها توسط دستگاه‌های لرزه‌نگار آنها به دو گروه زمین‌لرزه‌های تاریخی و دستگاهی تقسیم نمود. برای زمین‌لرزه‌های تاریخی با استناد به شواهد غیرمستقیم نظیر وسعت منطقه کلان لرزه‌ای (Meizoseismal region)، شدت‌های مشاهده شده و... برآورد بزرگا و رومرکز انجام می‌گردد.

برای هر زمین‌لرزه با اهمیت تاریخی می‌بایست موارد زیر را گردآوری نمود (ICOLD, 1989)

الف) مختصات رومرکز مه‌لرزه ای (Macroseismic, epicenter)

ب) بزرگا (M) و یا شدت رومرکزی (Epicentral intensity) ترجیحا همراه با نقشه خطوط هم‌لرزه (Isoseismal map)

- (پ) ساز و کار گسلش لرزه‌ای
- (ث) ویژگی‌های گسلش مشاهده شده، نظیر طول، عرض زون خرد شده و...
- (ج) ناحیه ای که رویداد در آن حس شده (مساحت ناحیه و...)
- (چ) اثرات سطحی ثانوی (شامل زمین لغزش، روانگرایی و...)
- (ح) شدت زمین لرزه در ساختگاه (برحسب مقیاس مرکالی اصلاح شده یا مقیاس مشابه)
- (خ) قابلیت اعتماد و کیفیت گزارش رویداد
- (د) فاصله رومرکز تا ساختگاه
- (ذ) منبع یا منابع گزارش

۲-۲-۲- بررسی زمین ساخت ناحیه و ساختگاه

گردآوری و مقایسه مدل‌های زمین ساخت صفحه‌ای و انتخاب مناسب‌ترین مدل و تشریح آن برای خاورمیانه و فلات ایران مدل‌های زمین ساخت صفحه‌ای متعددی ارائه شده است. برخی از این مدل‌ها عبارتند از: (Nowroozi(1972), McKenzie(1972) Minister and Jordan(1978) و Francheteau(1983)

در هر مطالعه لرزه‌زمین ساخت بهتر است که این مدل‌ها مورد بررسی واقع شده و کمی و کاستی‌های آنها مشخص شود. سپس مناسب‌ترین مدل انتخاب شده و ویژگی‌های آن در گزارش تشریح شود. برخی از مهمترین ویژگی‌های مدل مورد استفاده در تحلیل عبارتند از:

- ۱- جایگاه ساختگاه سد در مدل مورد استفاده
 - ۲- وضعیت میدان تنش (stress field) و توزیع تنش‌ها
 - ۳- ساز و کارهای گسلی قابل انتظار در هر صفحه زمین ساختی
 - ۴- حرکات نسبی صفحات محل زون‌های فرورانش (Subduction zones) و توان لرزه‌زایی آنها و...
- یک صفحه زمین ساختی از نظر هندسی حد بالایی یک استان لرزه زمین ساختی را بوجود می‌آورد. یعنی هیچ استان لرزه زمین ساختی نمی‌تواند از یک صفحه زمین ساختی بزرگتر باشد. بنابراین از نتایج مدل زمین ساخت صفحه‌ای می‌توان در تقسیم بندی لرزه زمین ساختی گستره مورد نظر استفاده نمود.

۲-۲-۳ پارامترهای مورد نیاز ارزیابی لرزه ای

انجام مطالعات آنالیز خطر زمین لرزه و برآورد ویژگی‌های جنبش زمین بستگی به سطوح مختلف طراحی مورد نیاز با توجه به میزان لرزه خیزی منطقه و اهمیت سازه دارد که در ابتدا به آن پرداخته میشود.

۲-۲-۳-۱ سطوح مختلف طراحی

معمولاً برای سازه‌های خاص چندین سطح مختلف طراحی به شرح زیر در نظر گرفته می‌شود.

۱-۲-۳-۱ سطح مبنای طراحی (DBL : Design basis level)

مقادیر مناسب به این سطح طراحی می‌تواند حداقل یکبار در طول عمر مفید سازه روی دهد. دوره بازگشت مقادیر جنبش زمین در این سطح بیشتر از عمر مفید سازه می‌باشد. احتمال فزونی جنبش زمین را می‌توان کمتر در نظر گرفت. به عنوان مثال برای سازه‌هایی که صدمه دیدن آنها می‌تواند پیامدهای فاجعه‌بار داشته باشد احتمال فزونی مقادیر را در طول عمر مفید آنها ۱۰ درصد توصیه نموده‌اند.

۲-۲-۳-۲ سطح بالای طراحی (MDL : maximum design level)

برای سازه هایی که شکست آنها باعث بروز خطر اجتماعی می شود MDL را معادل MCL در نظر می گیرند. معمولاً MDL به میزان قابل ملاحظه ای از DBL بیشتر می باشد. میزان احتمال فزونی مقادیر در این سطح بستگی به میزان پذیرش تخریب سازه دارد و فرض می شود در این از طراحی ، سازه دچار آسیبهای سازه ای عمده نشود.

۳-۱-۲-۲- سطح بیشینه قابل قبول (MCL : Maximum credible level)

در این سطح از طراحی سازه می تواند دچار آسیبهای عمده سازه ای شده و غیر قابل استفاده گردد. ولی نباید باعث بروز فاجعه و خطرات اجتماعی گردد.

برآورد MCL از هر دوروش تحلیلی و احتمالاتی امکان پذیر است ولی بهتر است که از روش تحلیلی استفاده شود . در صورتی که از روشهای احتمالاتی استفاده می شود دوره بازگشتهای طولانی یا احتمال فزونی سالیانه بسیار کم انتخاب می گردد. برای سازه هایی که شکست آنها باعث بروز فاجعه می گردد، احتمال فزونی سالیانه را حتی تا ۱/۱۰۰ در نظر گرفته اند.

۴-۱-۲-۳- سطح بنا (CL: construction level)

این سطح برای بازه زمانی ساخت سازه مورد نظر حائز اهمیت است . جنبش زمین در این سطح را معمولاً ۸۰ درصد مقادیر DBL در نظر می گیرند.

۲-۲-۳-۲ - میزان لرزه خیزی منطقه و مراحل مورد نیاز آنالیز خطر زمین لرزه

- **خطر لرزه ای کم :** برآورد بیشینه مقادیر جنبش زمین با روش های ساده کافی میباشد. اکثر سازه هایی که در این موقعیت قرار دارد تحت مقادیر کمتر از MDL نباید آسیب ببینند. اگر سازه برای MDL کنترل شده باشد احتساب DBL الزامی نیست.

- **خطر لرزه ای متوسط :** برآورد بیشینه مقادیر جنبش زمین ، طیف پاسخ و سری زمانی شتاب (با توجه به نوع سازه ، نرخ ریسک و مودهای شکست آن) کافی است. سازه در مقابل MDL با آسیب جزئی باید مقاومت کند، در این حالت احتساب DBL الزامی نیست.

- **خطر لرزه ای بالا :** ترجیحاً شامل برآورد طیف پاسخ و سری زمانی شتاب می باشد اگر چه برآورد طیف پاسخ می تواند برای بعضی از سازه ها (مانند سدهای بتنی و تجهیزات وابسته) کافی باشد ، احتساب جداگانه MCL , MDL , DBL الزامی است.

- **خطر لرزه ای بسیار بالا :** اجباراً شامل برآورد سری زمانی شتاب می باشد به نحوی که پدیده های خاص گسلش مانند اثر گستره نزدیک (Near field) و... در نظر گرفته شود.

۳-۲- رده بندی سازه ای و تجهیزات وابسته:

سازه و تجهیزات براساس اهمیت آنها و به منظور کارکرد امن و مداوم در عمر مفید خود رده بندی می شوند . ارزیابی سازه ها و تجهیزات وابسته توسط بررسی خطر پذیری موجود به هنگام شکست آنها انجام می گیرد . رده بندی سازه ها به شرح زیر است.

رده ۱- سازه های بحرانی ، شکست آنها ممکن است اثرات فاجعه آمیزی داشته باشد.

رده ۲- سازه های خیلی مهم ، شکست آنها ممکن است اثرات اقتصادی شدید داشته باشد.

رده ۳- سازه های مهم

رده ۴- سازه هایی که پایداری آنها فقط در فاز ساخت اهمیت دارد

رده ۵- سازه های خیلی مهم

۴-۲- معیارهای عمومی طراحی رده های مختلف سازه ای :

در نظر گرفتن معیارهای زیر برای رده های مختلف الزامی است.

رده ۱- سازه ها و تجهیزات در این رده باید توان پایداری بدون شکست در پایداری بدون شکست در برابر جنبش MCL را داشته باشند . رفتار غیر الاستیک و خسارات قابل جبران همراه برای این رده به هنگام رویداد جنبش در سطح MCL مجاز است . طراحی سازه ها در این رده مستلزم یک آنالیز دقیق با استفاده از طیف پاسخ و شتاب نگاشت می باشد.

رده ۲- سازه ها و تجهیزات مربوط به این رده باید توان پایداری در برابر جنبش MDL را بدون شکست سازه و تجهیزات داشته باشند. رفتار غیر الاستیک و خسارات قابل جبران همراه برای این رده به هنگام رویداد جنبش زمین در سطح MDL مجاز است. طراحی سازه ها در این رده مستلزم آنالیز دقیق با استفاده از طیف پاسخ است.

رده ۳- سازه ها و تجهیزات مربوطه این رده باید توان پایداری در برابر جنبش زمین در سطح DBL را بدون خسارت قابل توجه یا از کار افتادگی داشته باشند.

رده ۴- برای سازه هایی که پایداری آنها در فاز ساختمان مهم در نظر گرفته شده، باید اجزاء مربوطه توان پایداری در برابر جنبش زمین حداقل به مقدار ۸۰ درصد مقادیر DBL بدون هرگونه خسارت قابل توجه و یا از کار افتادگی را دارا باشند. پایداری سازه ها در فاز ساختمان که در نهایت بخشی از یک سازه دائم را تشکیل میدهند، باید توسط جنبش زمین در سطح بنا بررسی شود. هرچند سازه نهایی ممکن است برای یک سطح بالاتر طراحی شود.

رده ۵- برای سازه ها و تجهیزات رده ۵، طراحی لرزه ای لزومی ندارد.

۲-۵- برآورد ویژگی های لرزه خیزی

۱-۵-۲ تهیه لیست رویداد زمینلرزه ها

در برآورد خطر زمین لرزه لیست رویداد زمین لرزه ها با توجه به موارد زیر تهیه می شود.

الف- محدوده جغرافیایی: محدوده های جغرافیایی مطرح در آنالیز خطر زمین لرزه معمولاً به شرح زیر است.

- محدوده ای به صورت یک نوار اطراف یک گسل
- محدوده چشمه های ناحیه ای لرزه زا
- محدوده شعاعی اطراف ساختگاه
- استانهای لرزه زمین ساخت

ب- بازه های زمانی لیست رویداد زمین لرزه ها: با توجه به ناهمگن بودن دقت اطلاعات زمین لرزه ها، نظر دقت برآورد بزرگ، مکانیابی و همچنین متغیر بودن بزرگای آستانه، باید لیست رویداد زمین لرزه ها را به بازه های زمانی متفاوت و مناسب دسته بندی نمود. دسته بندی ها باید با توجه به ناهمگنی های موجود باشد.

ج- مراکز اعلام کننده اطلاعات زمین لرزه: استخراج اطلاعات مورد نیاز از لیست رویداد زمین لرزه ها، با توجه به اولویت های زیر عمل می شود.

۱- اطلاعاتی که به صورت مطالعه موردی و بررسی های صحرایی درباره برخی از زمینلرزه ها تهیه شده است.

۲- اطلاعات ایستگاههای لرزه نگاری محلی و نزدیک (در صورت وجود و اطمینان کافی به دقت اطلاعات آنها)

۳- اطلاعات ایستگاههای شبکه لرزه نگاری جهانی با توجه به درجه اعتبار و دقت اطلاعات آنها

- ترک خوردگی جدید معمولاً از محل درزها بین واریزهای بتن ریزی بین بتن و پی سد و یا درز بین کنسولها شروع میشود زیرا مقاومت کششی در محل درز کمتر از مقاومت کششی بین بتن یکپارچه میباشد حتی در شرایطی که درزها جهت بهبود اتصال بتن کاملاً آماده شده باشند مقاومت کششی تک محوری در محل درز ۱۰ الی ۲۰ درصد کوچکتر از مقاومت کششی بتن دست نخورده است در نتیجه مقاومت کششی درز در حدود $0.15f_c$ خواهد بود. - احتمال ترک خوردگی در سدهای وزنی در قسمت فوقانی سد و در سدهای قوسی در نزدیکی تکیه گاه و بالای قوس بیشتر است. سدهای بتنی قوسی یا وزنی طوری طراحی می شوند که بار وزن و فشار هیدرواستاتیک آب را با حداقل تنش کششی به تکیه گاهها منتقل نمایند تنشهای فشاری پدید آمده در سدها معمولاً مقاومت فشاری بتن فاصله زیادی دارند زیرا تنش مجاز که مبنای کنترل طرح می باشد محدود به مقداری کمتر از مقاومت فشاری می باشد بهنگام زلزله تنشهای تناوبی در نقاط مختلف سد بوجود می آید در نواحی که تحت تنش فشاری بزرگی هستند مجموع تنشهای دینامیکی و استاتیکی معمولاً مقاومت فشاری بتن فاصله دارند و لذا غالباً پس از زلزله خرد شدگی ناشی از تنشهای فشاری دیده

نمی شود و یا در صورت وقوع بصورت موضعی و در اطراف سازه های جنبی می باشد در مقابل بدلیل کوچکی مقاومت کششی بتن که حدود ۰/۱ مقاومت فشاری است تنشهای دینامیکی میتواند در نواحی خاصی منجر به گسیختگی کششی و گاه برشی شوند نواحی مستعد ترک خوردگی کششی بخشهایی از سد هستند که در حالت تحت تنش فشاری کوچکی هستند ولی بهنگام زلزله تنشهای دینامیکی بزرگی را تجربه می کنند. در سدهای وزنی پشت بند دار مثل لتیان و سفید رود در بخش فوقانی سد بخصوص محلی که شیب پایین دست تغییر می کند از جمله نواحی مستعد ترک خوردگی هستند زیرا در این ناحیه وزن بتن فوقانی کم است در نتیجه بار مرده کوچک است (اسلاید نشان داده شده است) در مقابل بدلیل پاسخ دینامیکی این سدها معمولا شتاب شتاب افقی این نواحی معمولا چندین برابر شتاب افقی در پی سد بوده در نتیجه بارهای دینامیکی بسیار بزرگی به این بخش وارد میشود مجموع دو عامل فوق الذکر سبب می شود که ترک خوردگی کششی یا برشی پس از زلزله های بزرگ در این نواحی مشاهده شود برای مثال در سدهای سفید رود و کونا چین کیفیتی بعد از زلزله مشاهده شده است علاوه بر مسئله تنشها عوامل دیگری بر ترک خوردن بتن تاثیر دارند مهمتر از همه درزها هستند زیرا درزهای ساختمانی بین بلوکهای مجاور درزهای انقطاع بتن ریزی و درز بین پی و بدنه سد دارای مقاومت کمتری نسبت به بتن یکپارچه هستند در نتیجه در هنگام زلزله به سرعت ترک خورده و به امر گسترش ترک کمک می کنند در نتیجه فرض بتن همگن و یکپارچه به تخمین کمتر از واقع ترک خوردگی منجر می شود از دیگر عوامل آسیب های سدهای بتن در زلزله مسئله انقباض بتن و تنشهای حرارتی ناشی از آن می باشد که میتواند سبب کشش در بتن شود و این نقاط را برای ترک خوردگی آماده نمایند با توجه به آنکه تنشهای حرارتی تابع دما می باشند این نکته که زلزله در چه فصلی رخ دهد حائز اهمیت است علاوه بر آن مسئله خزش در بتن که باعث التیام تنشها می شود و به توزیع یکنواخت تر تنشهای کمک میکند را در صورت امکان باید در نظر گرفت در نتیجه فاصله زمانی بین ساخت سد تا وقوع زلزله عامل مهم دیگری است که در میزان ترک خوردن بتن تاثیر دارد علاوه بر مسئله خزش، مقاومت و سختی بتن تابع عمر آن میباشد. آزمایشات انجام شده موید آن است که رفتار بتن تحت تنشهای متناوب فشاری تا ۶۰ درصد مقاومت فشاری ارتجاعی خطی است از طرف دیگر آنالیز دینامیکی سدهای بتنی مبین آنست که تنشهای فشاری طی زلزله جز در بخشهای کوچکی از سد بندرت از این حد فراتر می رود زیرا همانگونه که گفته شد تنشهای فشاری بتن تحت بارهای سرویس به مقاومت مجاز محدود میگردد که خود کسری از مقاومت فشاری بتن میباشد در نتیجه رفتار غیر خطی بتن در فشار شامل جذب انرژی در فشار در حلقه پس ماند و تغییر در سختی سازه قابل اغماض می باشد.

رفتار بتن در محدوده تنشهای کششی نیز غیر خطی است ولی چون مقاومت کششی بتن نسبت کوچکی از مقاومت فشاری آن است و از طرف دیگر با افزایش کرنش ها و ترک خوردگی بتن این مقاومت به مقادیر ناچیزی نقصان می یابد در محاسبات دینامیکی سدها با دقت فابل قبول رفتار بتن را در کشش ارتجاعی خطی در نظر می گیرند و نمودار تنش - کرنش مماس بر منحنی تنش - کرنش در کرنش صفر در نظر گرفت علاوه بر بتن آب موجود در ترکها و درزها نیز بر توزیع تنش اثر گذاشته و شروع و توسعه ترک خوردگی تحت الشعاع قرار می دهد این امر مخصوصا در بخشهای پایینی سد و محل تاج سد تاپی سنگی اهمیت بیشتری دارد عموما فقط فشار حفره های استاتیکی به هنگام آنالیز زلزله در نظر گرفته میشود (به جای آنکه اثر توام استاتیکی و دینامیکی در نظر گرفته شود) زیرا هر چند که پاسخ در هنگام زلزله تحت تاثیر تنشهای موثر و فشار حفره ای است اما معمولا فرض می شود آب حفره ای به هنگام سیکل های فشار حرکت نمی کند این بدان علت است که به هنگام زلزله تنشهای دینامیکی به سرعت تغییر نموده و آب حفره ای زمان لازم برای حرکت را پیدا نمی کند در نتیجه می توان مجموعه بتن و آب حفره ای را به عنوان یک جسم در نظر گرفته و پدیده ترک خوردگی را بر حسب تنشهای کل بیان نمود بنا بر این یک مدل واقعی برای پیش بینی رفتار بتن می تواند مبتنی بر رفتار ارتجاعی تا مرحله شکست و گسیختگی ترد شامل پیش بینی محل شروع ترک خوردگی و نحوه گسترش آن باشد.

فصل سوم: شکست سد

۱-۳- اشکال و علل احتمالی شکست سد

ضعف سد یا پی ممکن است اشکال گوناگون داشته باشند. بعضی از رایج ترین علل شکست سد و نمونه هائی از شرایط نامطلوب در این قسمت مورد بحث قرار گرفته است. شرایطی که می تواند به شکست سد منجر گردد به قرار زیر دسته بندی شده است:

کاتاغوری شکست

- نا پایداری پی

دلایل

- روان گرایی
- لغزش زمین
- فرونشست
- آبشستگی مواد جامد یا انحلال مواد محلول در آب
- حرکت در گسلهای زیر یا مجاور سد

نقص سرریز

- انسداد
- شکستگی پوشش
- آسیب دیدگی دریچه ها و بالابرها
- حرکت دال ها

نقص تاسیسات تخلیه

- انسداد
- آسیب دیدگی دریچه ها و بالابرها
- شکستگی پوشش

کاتاغوری شکست برحسب نوع سد

سد بتنی

- زیاد بودن فشار برکنش (زیرفشار)
- توزیع پیش بینی نشده فشار برکنش
- حرکات و واخمش های غیر یکنواخت
- تمرکز تنش خصوصا در پنجه پایاب که نشانی آن ترک خوردگی خرد شدن بتن می باشد .

معایب سد خاکی

- روان گرایی
- ناپایداری شیب
- نفوذ بیش از حد آب
- انتقال و انحلال مواد جامد و محلول
- فرسایش خاک
- پیدایش ترک ها در اثر فعالیت های زلزله

- ناپایداری شیب
- سستی موانع طبیعی
- سوراخ های ایجاد شده به وسیله زلزله

معایب حاشیه مخزن

۲-۳- بازرسی اجزاء اصلی طرح بعد از زلزله

بعد از وقوع زلزله، کلیه اجزاء اصلی طرح باید مورد بازرسی قرار گیرد تا مشخص شود زلزله چه عوارضی بر جای گذاشته است. نقشه های کروکی می تواند به تشریح نوع و میزان خسارتهای وارده کمک کند. در اسرع وقت باید از نتایج عینی فعالیت زمین لرزه عکس برداری شود. این اسناد برای پی بردن به اینکه آیا شرایط حاد دیگری نیز در سازه ها در حال وقوع است یا خیر، ارزش فوق العاده دارد. اندازه گیری باید بوسیله کلیه وسایل و دستگاههای نصب شده در سد و پی اطراف آنها انجام و قرائت شود. نقشه برداری های تکمیلی و دقیق، نصب لرزه نگارهای موقتی برای ثبت حرکات قوی و سایر دستگاههای اندازه گیری، برای کنترل سازه ها و تعیین محل خسارتها می تواند مورد استفاده قرار گیرند.

باید تدابیر خاصی اتخاذ شود تا اطلاعات حاصل از لرزه نگارها به طور صحیح استخراج و برای تفسیر به مسئول ذیربط ارائه شود.

۳-۳- گسله های بنیادی و شکستگیهای مهم :

مسئله گسلش در محدوده سدها همواره از جنبه های مختلف مدنظر قرار داشته است. گسلها به عنوان مناطقی ضعیف در پوسته زمین می باشند که اعمال نیروهای زمین ساختی موجب حرکت و جابجایی یا تولید زمین لرزه توسط آنها می شود. ریخت زمین ساخت فعلی پوسته کره زمین نمایانگر وجود این ساختارها در تمامی بخشهای پوسته می باشد اما این امر به معنی فعال بودن تمامی این گسلها در رژیم های لرزه زمین ساختی حاکم بر پهنه های مختلف کره زمین نمی باشند.

درجه اهمیت گسلها در گستره پیرامون ساختگاه سد بستگی به پارامترهایی نظیر درجه فعالیت، نوع فعالیت (لرزه زا یا بی لرزه بودن)، توان لرزه زایی و فاصله تا ساختگاه مورد بررسی دارد. کلیه گسلهای با اهمیت دارای پتانسیل جابجایی هستند این جابجایی می تواند به صورت لرزه زا (همراه با رویداد زمین لرزه) یا بی لرزه (دارای خزش زمین ساختی) باشد. مکانیزم های ایجاد گسیختگی در سطح زمین توسط گونه های مختلف گسل به شرح زیر میباشد.

الف- گسل راستا لغز (Strike slip fault)

این گسل معمولاً دارای شیب نزدیک به قائم می باشد و جنبش آن منجر به لغزش در صفحه افق می گردد بطوریکه مولفه جنبش قائم آن ناچیز است.

ب- گسل هنجار (Normal fault)

بردار لغزش در این حالت در جهت مولفه ثقل زمین روی صفحه گسل می باشد.

آسیب های ناشی از جابجایی و گسیختگی زمین در بلوک فرو افتاده متمرکز است و بلوک بالا آمده، تقریباً دست نخورده باقی مانده است.

ج- گسل رانشی

۱-۳-۳- نگاهی اجمالی به طراحی سد بر روی گسل فعال

هرگاه تنها ساختگاه ممکن برای احداث سد دارای گسل یا گسلهای فعال باشد (گسل در زیر بدنه سد قرار دارد) لازم است سد و بدنه های جانبی متناسب با حرکتهای احتمالی گسل یا گسلهای فعال طراحی گردد لذا شرایط ویژه ای در طراحی سد روی گسلهای فعال مطرح میگردد جهت طراحی سد روی گسلهای فعال در محل سد لازم است اطلاعات زیر در مطالعات زمین شناسی و لرزه خیزی مشخص گردد.

۱- موقعیت گسلهای فعال در محل سد و سازه های جانبی، عرض ناحیه خرد شده

۲- نوع گسل و جهت حرکت گسل (سازو کار گسل)

۳- میزان جابجایی احتمالی سطح زمین در اثر حرکت گسل

۳-۳-۲ توصیه های طراحی

نظر به اینکه زلزله بهره برداری (OBE) که احتمال وقوع آن در عمر مفید سد (حدود ۱۰۰ سال) ۵۰ درصد می باشد لازم است بهره برداری از سد به خطر نیفتد در نتیجه لازم است اطمینان کافی نسبت به عدم ترک خوردگی و خرابی موجود باشد برای این منظور لازم است تنشهای پدید آمده بهنگام زلزله کمتر از مقدار نهایی باشد بدین منظور برای آنالیز سد برای زلزله بهره برداری مدل ارتجاعی خطی کافی خواهد بود

به هنگام زلزله حداکثر (MCE یا MDE) ترک خوردگی مجاز بوده ولی لازم است گسترش ترک خوردگی به گونه ای نباشد که سبب انهدام بخشی از سد شود به این ترتیب به یک باره حجم بزرگی از آب دریاچه سد رها گردد در این تحلیل چون ترک خوردگی مجاز شمرده می شود لازم است به طرز مناسبی در تحلیل ملحوظ شود علاوه بر این ترک خوردگی سبب جذب انرژی می شود و در میرایی سازه موثر است به همین دلایل، تحلیل پایداری سد در برابر زلزله حداکثر از پیچیدگی بیشتری نسبت به زلزله بهره برداری برخوردار است.

۳-۳-۳ توصیه هایی جهت افزایش پایداری سازه سد بتنی در مقابل زلزله

۱-۳-۳-۳ سدهای وزنی :

۱-۱) نواحی صدمه پذیر

نقاط صدمه پذیر این نوع سدها به شرح ذیل خواهد بود:

الف - قسمت ثلث فوقانی سازه سد و قسمتی از سر ریز که تجهیزات مکانیکی مستقر می باشند

ب-در محل تغییر ناگهانی شیب شیروانی پایین دست و بالا دست

ج-در مجاورت گالری ها و فشار درون سازه سد

د-در محل تماس سازه سد و پی

ه-پرده تزریق در پنجه سد

۱-۲) توصیه های افزایش ایمنی : به عنوان یک توصیه کلی می باید از انتخاب محلهایی که ناپیوستگی زمین شناسی قابل ملاحظه ای دارد یا مورفولوژی تکیه گاههای آن کاملاً نامتقارن می باشد اجتناب ورزید بنا براین باید به منظور افزایش ایمنی سد های بتنی در مقابل زلزله

۱- از تغییر ناگهانی شیب در وجوه سد باید اجتناب نمود در صورتی که به منظور حفظ پایداری استاتیکی سازه سد این تغییرات ضروری باشد می باید از شبکه آرماتور در حد کفایت بهره جست و یا تغییر شیب را به نحو تدریجی انجام داد.

۲-در سدها از تعداد و طول گالریها در حد امکان کاسته شود شکل گالری ها بنحوی انتخاب گردد که تمرکز تنش حداقل گردد و در طول مرز گالریها آرماتور مناسب تعبیه شود.

۳-در پایه های مرتبط کننده سرریز به سازه سد آرماتور کافی ملحوظ شود

۴-به منظور ایجاد چسبندگی و اصطکاک کافی در محل تماس پی و دیواره ها با سد، اصلاحات مناسب صورت پذیرد

۵-تعدیل شمای سد با انتخاب شیبهای مناسب در وجوه و عریض کردن در مجاورت پی

۶-استفاده از دریچه های فلزی با سختی بالا (نظیر دریچه های قطاعی) در سرریزها و آبگیرها

۷-به منظور کاهش تراوش از پرده تزریق و بدنه سد از زهکش کارا استفاده شود

۸-افزایش عمق آزاد در تاج سد:

این عمق آزاد جهت ملحوظ داشتن امواج ایجاد شده در مخزن ناشی از زلزله می باشد عمق آزاد متعارف برای این سدها در جدول زیر آورده شده است.

ارتفاع سد	عمق آزاد(متر)
کمتر از ۵۰ متر	۱

۲	۵۰-۱۰۰ متر
۲/۵	بیشتر از ۱۰۰ متر

۲-۳-۳-۳-سدهای پشت بند دار:

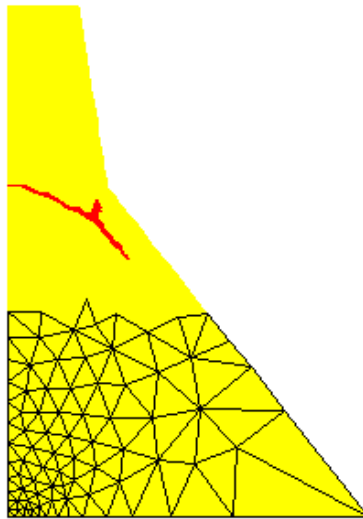
۱-۲) نواحی صدمه پذیر: رفتار این نوع سدها مشابه سد های وزنی میباشد در بررسی های انجام شده از این نوع سد ها مشخص شده است که نواحی صدمه پذیر عبارتند از

الف-اتصالات بالا دست پشت بندها

ب-نواحی که آبگیرها عبور می نمایند

ج-اتصالات بین دالهای مسطح از نوع Ambursen و یا قوسها در سد های چند قوسه یا پشت بند ها

د-ناحیه مجاور پی در پشت بندها



۲-۲ توصیه های افزایش ایمنی

در کل توصیه می گردد که از ساخت این سدها در نواحی فعال زلزله اجتناب گردد و یا اینکه تمهیدات کافی جهت ساخت آنها چه در مرحله ساخت به عمل آید همان طوریکه ذکر گردید رفتار این نوع سدها مشابه سد های وزنی میباشد ولی در عین حال به توصیه کلی جهت افزایش پایداری در جهت عرض پشت بندها توجه گردد دیگر موارد بشرح ذیل می باشد :

۱-ایجاد حائل پیوسته در پشت بندها در پایین دست که این امر به منظور ایجاد تکیه گاه پیوسته برای صفحه پشت بند انجام می یابد .

۲-از درزهای مجزا در کفبرای پشت بندها در نواحی ای که پی ضعیف می باشد استفاده گردد

۳-ابعاد پشت بندها در مجاورت پی افزایش یابد.

۴-به کارگیری تیرهای افق با سختی کافی در مقابل کمانش به عنوان بادبند افقی این عناصر باید به پشت بندها و به سنگ تکیه گاهها بصورت مناسبی متصل گردد و یابلوکهای بتنی ایجاد شده در تکیه گاهها مهار گردند.

۵-از دیوارهای برشی قائم و یا مایل که سختی پشت بند را افزایش می دهد استفاده گردد.

۶-فراهم نمودن درزهای انقباضی در جهات تنش اصلی در صفحه دال پشت بنددار را افزایش می دهد استفاده میگردد

۷- افزایش ضخامت صفحه

۸- فراهم نمودن سیستم زهکشی مناسب

۹- ایجاد گالری های زهکشی و تجسس در امتداد درزهای بین پشت بندهای مجاور

۱۰- فراهم نمودن ابعاد لازم برای وجوه بالا دست پشت بند به منظور تقلیل کشش در بتن در اثر زلزله

۳-۳-۳-۳- سدهای پشت بنددار آسیب دیده در اثر وقوع زمین لرزه

همانگونه که عنوان شد تاحال هیچ سد بتنی نبوده که در برابر زلزله دچار انهدام کلی گردیده و یا با رها شدن آب درون مخزن به طور همزمان خسارتهای عظیمی را ایجاد کند اما مواردی از سد بتنی بوده است که در اثر زلزله دچار خسارت شده اند منجمله:

۱- سد وزنی (koyna) به ارتفاع ۱۰۰ متر که تحت اثر زلزله ای با بزرگی $6/5$ ریشتر که در محل سد بیشینه شتابهای $g/63$ در جهت عرض رودخانه و $g/45$ در امتداد رودخانه به ثبت رسیده است قرار گرفته و در وجوه بالا دست و پایین دست درست در محل تغییر شیب، ترکهایی ایجاد و به صورت مختصری نشت آب به سمت پایین دست صورت گرفته است.



۲- سد پشت بند دار (hsin feng kiang) در چین تحت اثر زلزله هایی به بزرگی $6/1$ ریشتر قرار گرفته و گرچه علت عدم وجود دستگاه شتاب نگاشت در حین وقوع زلزله مقدار بیشینه شتاب مشخص نبوده است ولی این سد که ارتفاعی حدود 103 متر داشته است نیز متشابهها دچار ترک خوردگی گردیده است



۳- درنهایت شدیدترین خرابی در زلزله رودبار منجیل به بزرگی $7/6$ ریشتر بر روی سد سفیدرود با ارتفاع 106 متر اتفاق افتاده است این سداز نوع بتنی پشت بند دار بوده که در حین وقوع زلزله مخزن پر بوده و فاصله آن تا کانون زلزله کمتر از 5 کیلومتر بوده است. شمای کلی خرابی این سد که بصورت ترک خوردگی می باشد در شکل زیر ارائه شده است .



نمایی از پایین دست سد سفیدرود

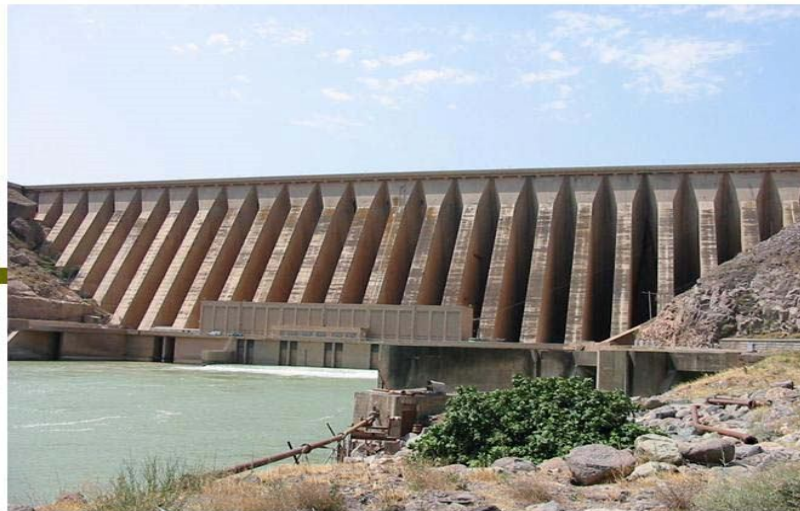
- با توجه این موضوع برای سد لتیان نیز در هنگام قوع زلزله مشابه چنین آسیب دیدگی پیش بینی می شود

فصل چهارم: سد سفیدرود

۱- مشخصات سد سفیدرود

سد سفیدرود یکی از بااهمیت ترین سدهای کشور ایران می باشد رودخانه سفیدرود همپای رودخانه های کارون ، کرخه و دز یکی از رود خانه های بزرگ ایران به شمار می رود مساحت حوضه آبریز آن بالغ بر 5500 کیلومتر مربع و مقدار آورد سالانه در منجیل در حدود $3/8$ میلیارد متر مکعب (حدود 120 متر مکعب در ثانیه) است. قبل از احداث سد سفیدرود این رودخانه در پایین دست منجیل زمین های مزروعی دشت گیلان را که قسمت عمده آن شالیزار است مشروب می نموده است. قبل از احداث سد، در فصولی که برای امور کشاورزی آب مورد احتیاج نبود سالانه در حدود $2/1$ میلیارد متر مکعب آب بدون هیچگونه استفاده ای به دریای خزر می ریخت با احداث آبی که به دریای خزر می ریخت عمدتا درمخزن سد جمع آوری شده و مورد استفاده قرار می گیرد اختلاف سراب و پایاب در وضع عادی درحدود 80 متر است که از آن برای تولید نیروی برق نیز استفاده می شود.

مطالعات اقتصادی نشان میدهد که سد سفیدرود اهمیتی حیاتی در اقتصاد گیلان دارد واز دیدگاه کلان در سطح کشور نیز جایگاه ویژه ای دارد بیش از 150 هزار هکتار از مزارع وشالیزارهای استان گیلان از آب سفیدرود مشروب می شوند . ضمن آنکه صدها هزار نفر نیز زندگی خود را از شالیزارها تامین می کنند که در صورت عدم کارکرد سد مجبور به مهاجرت شده و مسائل و معضلات اجتماعی عدیده ای پدید خواهد آمد.



شکل ۴-۱ نمایی از سد سفیدرود

۱- انواع و شکل کلی سد

سد سفیدرود یک سد پایه دار (buttress) بوده که در بلندترین پایه ارتفاع سد به ۱۰۶ متر می رسد هر یک از پایه ها توسط یک درز قائم از پایه جدا شده است سد دارای ۲۴ پایه به پهنای ۱۴ متر میباشد که توسط دو سازه وزنی در جناحین (چپ و راست) کامل شده است سایر مشخصات هندسی سد به شرح زیر است :

طول تاج: ۴۲۵ متر	شیب رویه سراب: ۱ (قائم) به ۴/۰ (افقی)
پهنای تاج: ۱۰/۵ متر	شیب رویه پایاب: ۱ (قائم) به ۶/۰ (افقی)

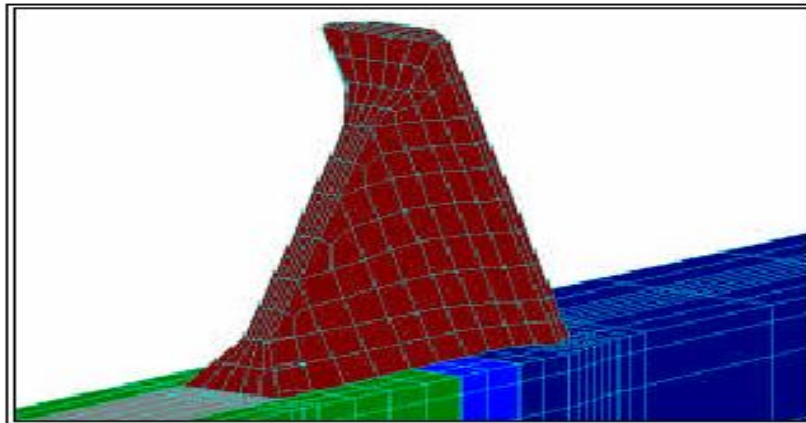
۲- مشخصات هیدرولیکی:

تراز نرمال مخزن: ۲۷۱/۶۵ متر از سطح دریا

تراز حداکثر مخزن (تراز تاج): ۲۷۶/۲۵ متر از سطح دریا

تراز حداقل پی: ۱۷۰/۰۰ متر از سطح دریا

درزهای قائم بین پایه ها: آب بندی بین درزها به کمک یک ورق مسی به ضخامت ۲ میلی متر که به شکل Z خم شده است به همراه یک نوار لاستیکی به پهنای ۳۵ سانتی متر انجام می گیرد همچنین درزها مجهز به زهکشهایی به قطر ۲۵ سانتی متر می باشند تا هرگونه نشست آب احتمالی را به داخل گالری سراسری که به موازات شالوده سراب سد از بلوک وزنی جناح چپ تا پایه شماره ۲۴ جناح راست ادامه یافته تخلیه نمایند.



شکل ۴-۲ نمایی از یکی از بلوکهای سد

۳-۱ درزهای فعال در پایاب پایه ها

هدف از تعبیه درزهای فعال (active joints) عبارت است از :

-توزیع یکنواخت تنشها در پی از سراب تا پایاب

-افزایش ضریب اطمینان اصطکاکی برشی پی در طول زمان اولین آگیری مخزن و اولین سالهای بهره برداری درزهای فعال در پایاب پایه های ۸ تا ۲۰ تعبیه شده اند این درزها دارای جکهای مسطح به ابعاد ۲ * ۱ متری باشند با توجه ارتفاع پایه ها بار تئوری بالغ بر ۴۰۰۰ تن و ۲۸۰۰۰ تن بوده که با تغییر در تعداد جکها ایجاد شده است برای پایه ترک خورده ۱۸ بار اعمالی ۲۸۰۰۰ تن بوده است متذکر می گردد که پس از چند سال که پی حرکات غیر قابل برگشت خود را کمابیش انجام داد جکها با تزریق سیمان پر شدند و از آن زمان به بعد پایه ها کاملاً شبیه به پایه های معمولی شدند.

۱-۴ سازه های جنبی

الف_ سرریز:

سد سفیدرود دارای دو نوع سرریزی می باشد .

۱- دو عدد سرریز نیلوفر (morning glory) بتنی که هر کدام به یک تونل بتنی منتهی می شود سرریزهای نیلوفر در ساحل چپ قرار داشته و در انتها دارای جام پرتاب کننده می باشند.

۲- سرریزشوت در ساحل چپ دارای دو دهانه دریچه دارو مجرای تندآب که در انتها به پرتاب کننده جامی ختم می شود .

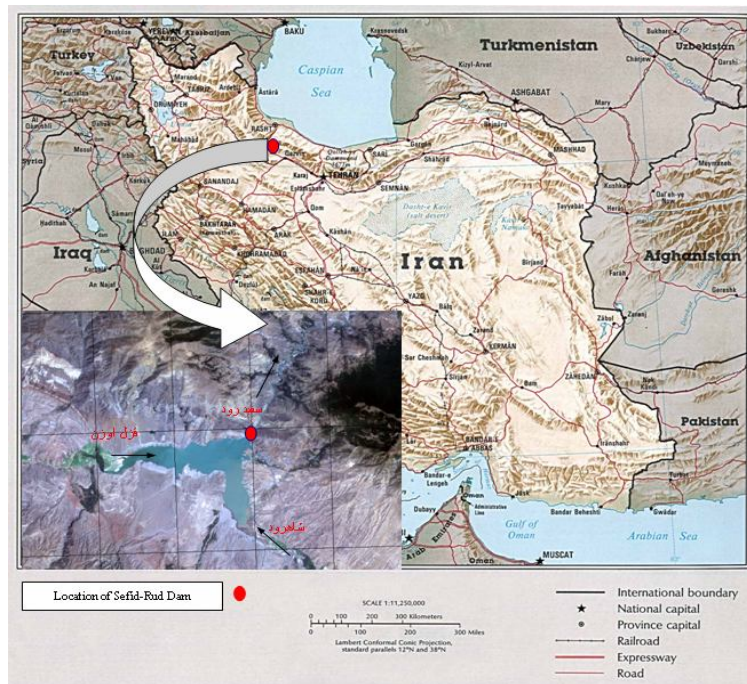
ب_ تخلیه کننده عمقی : سد سفید رود دارای ۵ تخلیه کننده عمقی می باشند که دو دهانه در سمت چپ و سه دهانه در سمت راست سد قرار دارند .

ب- نیروگاه :

نیروگاه در پایاب سد قرار دارد و دارای ۵ واحد که ظرفیت اسمی هر واحد ۱۷/۵ مگاوات می باشد .

۵-۱ موقعیت جغرافیایی

سد سفیدرود در روی رودخانه سفیدرود در محل تلاقی دو شاخه قزل اوزن و شاهرود در ۸۰ کیلو متری جنوب رشت و در ۱۰۰ کیلو متری جنوب دریای خزر واقع شده است سد در مدخل تنگه سد در نزدیکی شهر منجیل واقع شده است .



شکل ۴-۲ موقعیت جغرافیایی سد سفیدرود

۱-۶ تاریخچه سد سفیدرود

مخزن سد سفیدرود در حدود ۱/۸ میلیارد متر مکعب ظرفیت دارد مطالعات طرح چندمنظوره سفیدرود در سالهای ۱۳۳۱-۱۳۳۳ توسط شرکت مهندسین مشاور اتکو-افر (Etco-ofar) به انجام رسیده و کارهای اجرایی آن توسط شرکت ساسر (saser) فرانسوی در اردیبهشت ۱۳۴۱ به پایان رسیده است. در اردیبهشت ۱۳۴۲ اولین آگیری مخزن سیلی بوقوع پیوست که حداکثر دبی آن ۱۷۰۰ متر مکعب در ثانیه برآورد شده است و سرریزها به خوبی عمل نمودند با توجه به ضعف پرده آب بند عملیات تزریق پرده آب بند مجدداً در سالهای ۱۳۴۲-۱۳۴۷ صورت گرفته است. پس از اولین آگیری سد ترک پایه ۱۸ سد نشت مختصری داشته است پس از زلزله سال ۱۳۶۹ این نشت بطور قابل ملاحظه ای افزایش یافت به طوریکه عملیات علاج بخشی اجتناب ناپذیر می نمود.

۱- تاریخ شروع مطالعات: در تاریخ ۱۳۳۱/۱۱/۲۲ بین بنگاه مستقل آبیاری و مهندسین مشاور اتکو-افر (etco-ofar) امضا شده است

۲- تاریخ شروع ساختمان سد که توسط پیمانکار فرانسوی (saser) در تاریخ ۱۳۳۳/۹/۲۹ آغاز گردید.

۳- اتمام بدنه سد: ساختمان بدنه سد سفید رود در تاریخ ۱۳۴۰/۱۱/۲۵ به پایان رسید و در اردیبهشت ماه ۱۳۴۱ رسماً افتتاح گردید.

۴- در شهریور ماه ۱۳۴۱ زلزله ای در سد رخ داد که بیشترین تلفات و خسارات در بوئین زهرا رخ داد مرکز زلزله حدود ۱۵۰ کیلومتری جنوب محل سد سفیدرود و شدت آن ۱۰ درجه مرکالی برآورد شده بود که شتاب زمین لرزه در مرکز آن حدود $0.3g$ = a برآورد شده است. شدت زلزله در محل سد در دسترس نمیباشد براساس آمار هیچگونه آسیبی به سد نیامد و ابزار دقیق هیچگونه رفتار غیر عادی نشان ندادند.

۵- بازرسی های کنترل پایداری سد سفیدرود نشان دهنده رفتار و عملکرد مناسب سد میباشد به طوریکه در اسفند ماه ۱۳۴۷ سیلی به وقوع پیوست که دبی حداکثر آن ۲۶۱۰ متر مکعب در ثانیه برآورد شده است در ظرف مدت ۵ روز تراز آب دریاچه حدود ۹ متر افزایش نشان داد در مجموع هیچگونه آسیبی وارد نیامد.

۶- در ۳۱ خردادماه ۱۳۶۹ از زلزله مخربی رخ داد که آن ۱۰ کیلو متری سد قرار داشت قسمتهایی از سد ترک خورد و سد سرویس دهی خود را از دست داد اما بطور کامل منهدم نشد و با تزریق ترکها و پایدار سازی با تاندونهای پیش تنیده مجددا مخزن آبگیری شد این واقعه که شرح آسیبها و نحوه ترمیم سد پس از آن در این پایان نامه مورد بررسی قرار می گیرد بی گمان مهمترین واقعه در تاریخ حیات سد از ابتدا تاکنون بوده است.

۲- شرایط زمین شناسی

سد سفیدرود در ابتدای تنگه ای بر روی رودخانه سفیدرود واقع شده است محل سد در ۳ کیلومتری شمال غربی شهرستان منجیل و ۶۰ کیلومتری جنوب شهر رشت قرار دارد سد مذکور بر روی سری (pyroclastic) از نوع آگلومرا، برشی آندزیتی با سیمان شدگی خوب و توفهای سیاه رنگ تشکیل می گردد از گزارشهای دوران ساختمان سد و از نتایج حفاریها چنین بر می آید که تعدادی دایک بازالتی نیز با ضخامت متفاوت ولی عمدتا نازک لایه در پی وجود داشته است دایک های مزبور احتمالا بدلیل هوازدگی شدید و فرسایش در تکیه گاهها قابل رویت نیستند آنها را میتوان در زونهایی به عرض چندین متر (مشابه خطوط گسله) مشاهده نمود که تقریبا به موازات لایه بندی بوده و به طور مایل ساختگاه را قطع می نمایند بررسی تکیه گاهها نشان می دهد که آگلومرا سنگ نسبتا حجیم و مقاوم می باشد خمیره آگلومرا از نوع آندزیتی می باشد که در برخی زونها تبدیل به آندزیت میشود آگلومرا به عنوان یک سنگ مقاوم و سخت نسبت به سنگهای اطراف خود بندرت گسیخته شده است اما گسیختگی های موجود بسیار نافذ بوده و توده سنگ را به بلوکهایی تقسیم نموده است.

توده سنگ تشکیل دهنده تکیه گاه راست بسیار متراکم و مقاومتر از تکیه گاه چپ میباشد این موضوع نیز با میزان سیمان تزریق شده نیز تایید می گردد پرده تزریق تکیه گاه چپ اجبارا پس از اولین آبگیری تقویت گردیده این بدان معنی است که شاخص کیفی سنگ (R.Q.D) تکیه گاه راست خوب ارزیابی شده است به سوی تکیه گاه چپ سریعا کاهش می یابد و براساس رده بندی (Deer ۱۹۶۶) کیفیت توده سنگ آگلومرا با توجه به مغزه های حفاری و درزه شدگی توده سنگ در تکیه گاه راست عالی (۹۰ الی ۱۰۰ درصد) ارزیابی میشود در حالیکه کیفیت سنگ در زونهای گسله و گسیخته که تقریبا محدود می باشند ضعیف تا متوسط (۵۰ درصد) و حتی بسیار ضعیف (۲۰ درصد) است.

۱-۲- زمین شناسی ساختمان

ساختگاه سد همانطوریکه قبلا ذکر گردید از سنگهای آذرین آذرآواری (pyroclastic) سازند کرج متعلق به دوره ائوسنمیانی تشکیل شده است لایه های آذر آواری و آذرین (Sill) به طور مایل دره محل سد را با شیبی بسیار زیاد به سوی جنوب و در بالا دست قطع می نمایند موقعیت فضایی لایه ها با جهت شیب و مقدار شیب $60^{\circ}/190^{\circ}$ است واز نظر پایداری چنین موقعیت فضایی برای واحدهای سنگی مطلوب میباشد بررسی موقعیت ساختاری لایه ها نشان می دهد که، در یال شمالی ناودیسی قرار دارند که محور آن به سمت غرب امتداد یافته و در مخزن ادامه می یابند این ساختار با چندین دسته درزه و گسل فرعی بریده شده است. یکی از ساختارها در ساختگاه سد گسل معکوسی است که در نزدیکی سراب امتداد یافته و در امتداد دره کوچکی که در جنوب تکیه گاه راست قرار دارد گسترش مییابد این گسل تا بالای دهانه تونل بزرگراه ادامه می یابد صفحه موج (undulated) دارای آزیموت شمالی و شیب حدود ۳۵ درجه می باشد با توجه به اینکه نیروهای تکتونیک در این منطقه جهتی شمالی دارد ساختاری مشابه حرکت معکوس رخ داده است که دارای جهت ۳۶۰ درجه و خش لغزه ۹۰ درجه می باشند گسله دیگری نیز با موقعیت فضایی $180^{\circ}/80^{\circ}$ درجه در ۲۰۰ متری پایاب در ساحل راست مشاهده می شود گسل مذکور دارای خش لغزشهایی (Slickensided) که نشان می دهد گسل از نوع چپگرد راستا لغز می باشد که تمامی ساختارهای موجود را قطع نموده است از این رو میتوان آنرا به عنوان جوانترین حرکت و تعیین کننده رژیم تنش جدید قلمداد نمود.

۲-۱- شرایط پی سد

در بررسی ها و کنکاشهای به عمل آمده متاسفانه نقشه مقاطع و یا مدارکی که نشان دهنده شرایط زمین شناسی پی سد سفیدرود باشد بدست نیامد اما به طور کلی در گزارش زمین شناسی ارائه شده توسط e.feri تحت عنوان (Etude geologique de la

region du barrage) ساخت سد در این گزینه توصیه نشده بود ولی ایشان پیشنهاد نمود که در صورت ساخت سد در این محل کل توده هوازده برداشه شود متاسفانه مدارکی مستند شامل نقشه ومقاطع حین اجرا مبنی بر انجام توصیه آقای Frei وجود ندارد از یک طرف کیفیت سنگ در جناح راست نسبت به جناح چپ بهتر و از طرف دیگر لایه های توف از مقاومت بسیار کمتری نسبت به آلوگومرا و آندزیتها برخوردارند لازم به ذکر است که در اکثر مدارک موجود از زمان مطالعات و ساختمان از لایه های توف به عنوان دایک های بازالتی یاد شده است موضوع فوق در جریان عملات ترمیم سد سفید رود با تهیه مقطع نازک مورد بررسی قرار گرفت که نهایتا سنگ مزبور را کریستال لیتک و یتریک توف نامگذاری نمودند.

اصلاح پی صورت گرفته بر اساس مدارک موجود شامل موارد زیر بوده است :

- گودبرداری دایک های بازالتی و جایگزینی آنها با بتتر

- تزریق تماس در ساحل راست

- تزریق تحکیمی در خط القعر و ساحل چپ به ازاء ۳۰ مترمربع یک گمانه به عمق ۲۵ متر در مرحله اول و در مرحله دوم عمق گمانه ها ۱۵ متر و با همان پراکندگی

- گود برداری گالری تزریق در جناح راست و حفر گمانه های مایل تزریق و زهکشی و اجرای دو پرده تزریق بصورت قائم یکی در قسمت پایاب سد و دیگری در قسمت پایاب سد و در زیر پی نیروگاه

- پرده اول (سراب) یک ردیف قائم به عمق ۱۰۰ متر و با فاصله ۳/۵ متر که در جناح چپ تا سرریز ادامه یافته است طول پرده تزریق ۲۰۰ متر است پرده دوم (پایاب یک ردیفه قائم به عمق ۳۵ متر و به فاصله ۳/۵ متر پر گردیده است .

حفاری های کنترلی پس از زلزله ۱۳۶۹ نشان داد که **پرده تزریق** صدمه دیده وزونهایی با نفوذپذیری تا ۱۰۰ لوژان گزارش گردیده است به هین دلیل پرده تزریق در بدنه سد سمت چپ در داخل گالری سراسری تا اعماق حداکثر ۸۰ متر و ۶۰ متر تقویت گردید عملیات تزریق در مهرماه ۱۳۷۱ آغاز و در اسفندماه همان سال خاتمه یافت.

۲-۱-۲ مشخصات توده سنگ در ساختگاه سد سفیدرود:

پس از زلزله ۶۹ منجیل جهت عملیات ترمیم سد عملیات اکتشافی صورت گرفته است این عملیات به صورت حفر گمانه در گالری سراسری بود تعداد ۳۰ نمونه از مغزه های حفاری جهت آزمایش ارسال گردید و در پایان تقسیم بندی زیر (با توجه به آنکه آزمایش بر روی سنگ سالم با اعمال ضریب صورت گرفته) برای توده سنگ در جدول ۲-۱ ارائه گردیده است:

ردۀ سنگ	ضریب الاستیسیته (Gpa)	ردۀ سنگ
۱	۱۲-۲۰	در گزارش بررسی و ارزیابی
۲	۷-۱۲	سفیدرود که بعد از زلزله
۳	۴-۵	سنگ زیر پایه شماره ۱۵

است:

مصلح	وزن مخصوص (t/m ³)	مدول الاستیسیته (t/m ³)	ضریب پواسون
بازالت	۲/۴۰	۱۰ ^۶ * ۲	۰/۱۶
آندزیت	۲/۴۰	۱۰ ^۶ * ۱/۲	۰/۱۷
آندزیت	۲/۳۰	۱۰ ^۶ * ۰/۶	۰/۲
آندزیت	۲/۱۰	۱۰ ^۶ * ۱/۷۵	۰/۱۵

جدول ۲-۴

طی عملیات ترمیم سد سفیدرود بعد از زلزله سال ۶۹ منجیل هفت حلقه گمانه اکتشافی به منظور بررسی آثار زلزله بر روی پرده آببند حفاری گردیده است که تمرکز آنها بدلیل وضعیت زمین شناسی که شرح آن قبلا آمد بیشتر در جناح چپ بوده است یکی از گمانه های اکتشافی بنام S۹ با زاویه ۴۵ درجه به طرف جناح چپ به عمق ۶۸ متر در محل تماس بلوکهای ۱۷ و ۱۸ حفاری گردیده است اطلاعات حاصله از حفاری این گمانه وضعیت پی را از نظر هوازدگی، درزه و ترک، مقاومت و نفوذپذیری بسیار خوب نشان میدهد به همین دلیل تزریق مجدد پرده آب بند از بلوک ۱۲ به سمت جناح راست انجام نشد بنابراین اطلاعات موجود بیانگر آن است که توده سنگ زیر پایه ۱۸ دارای پدیده خاصی نمی باشد.

سد سفیدرود و تاسیسات وابسته به آن در روی و درون سری سنگهای سازند کرج مربوط به پالئوژن قرار گرفته است سنگ پی در محل سد شامل آندزیت، برشهای آندزیتی، آگلومرا یا لایه ای آذرآواری و دایک های بازالتی می باشد این سری سنگها، دره رودخانه را با امتداد شرقی-غربی و شیبی عموماً به سمت بالا دست قطع نموده است یک گسل بزرگ زاویه معکوس (تراست) باعث همبندی سری سنگهای پالئوژن و نئوژن میگردد که این منطقه گسله در چهار گوش قزوین-رشت واقع است طی کارهای صحرایی انجام شده مشخص شده است که هیچ جابجایی ناشی از زمین لرزه در نزدیکی محل سد و در طول گسلش مذکور وجود ندارد. راستای حرکت زمین لرزه در امتداد شمال-غرب بوده است.

۳-۱-۲ وضعیت پی:

همبندی ما بین پی و بتن بدنه سد در تمامی محدوده پایین دست سد بررسی گردیده و مشخص شده است که پس از زلزله در برخی از نقاط در جناح راست آبروهای تخلیه زه آنها به وسیله تکه های سنگ پر شده و این ریزشها در نقاطی باعث تخریب آنها گردیده که می بایست پاکسازی و مرمت گردند بلوکهای بتنی جناح چپ نیروگاه در پایین دست پایه های ۹ و ۱۰ حدود ۴ تا ۵ سانتی متر نشست کرده است بلوکهای بتنی قسمت تعریض شده منتهی الیه سمت چپ سد نیز پس از زمین لرزه ۳۱ سانتی متر نشست کرده است و این نشست سوای ۱۵ سانتی متر نشست قبل از زمین لرزه می باشد در نتیجه سد در این مقطع کلاً ۴۶ سانتی متر نشست کرده است.

۴-۱-۲ وضعیت هیدروژئولوژی :

پس از وقوع زمین لرزه با اندازه گیری دبی زهکشی مشاهده گردید که برخی از زهکش ها اندکی افزایش در دبی از خود نشان داده و برخی نیز خشک شده اند.

۳- لرزه زمین ساخت و لرزه خیزی گستره مورد مطالعه

سد سفید رود که در جنوبی ترین قسمت دره سفید رود قرار دارد در موقعیت جغرافیایی $36^{\circ}/76^{\circ}$ درجه عرض شمالی و $49^{\circ}/39^{\circ}$ درجه طول شرقی، واقع است. این محل در نزدیکی منطقه گسلی هرزویل و از نظر تاثیر زلزله ۳۱ خرداد ۱۳۶۹ در محدوده با شدت ۱۰ (mks) قرار گرفته است سد سفیدرود از دیدگاه لرزه زمین ساختی در خطرناکترین ساختگاه در منطقه مورد مطالعه قرار دارد بررسی لرزه زمین ساختی، بخشی از مطالعات لرزه خیزی می باشد که در قالب طرح ترمیم سد سفیدرود صورت گرفته است

۱-۳ وضعیت تکتونیک ساختگاه سد سفیدرود

گستره مورد مطالعه پیرامون ساختگاه سد سفیدرود در قسمت میانی دره قزل اوزن و شاهرود واقع است امتداد دره مذکور با حالت ناودیسسی نهشته های سازند بالایی مشخص میگردد که در بخش شمالی آن نهشته های قدیمی تر (پالئوژن) سازند کرج بر روی سازند بالایی رانده شده و رشته کوهی مرتفع را در این قسمت پدید آورده اند امتداد دره سفید رود به طرف شمال بوسیله گسله جنوب رودبار و گسله رودبار تحت تاثیر واقع شده است و در نهایت در ادامه گسله لاهیجان امتداد یافته و به طرف شمال شرق تغییر مسیر می دهد راستای کلی دره قزل اوزن به طرف غرب با امتداد منطقه گسله هرزویل مشخص شده ولی عملکرد گسله های کوچک و فرعی که روندی مخالف منطقه گسله هرزویل دارند باعث تغییر شکلهای تا تغییر مکانهای وسیع در امتداد این دره گردیده است. بطور کلی تغییر رقوم توپوگرافی در امتداد منطقه گسله هرزویل از حدود رقوم ۸۰۰ متر به حدود ۴۰۰ متر و همچنین در

امتداد گسله لاهیجان از حدود رقوم ۲۰۰ متر به حدود ۱۵۰ متر، نمایانگر مشخصه این گسله بنیادی در گستره مورد مطالعه از دیدگاه ریخت زمین ساختی می باشد .

۲-۳ گسله های بنیادی و شکستگیهای مهم

مسئله گسلش در محدوده سدها همواره از جنبه های مختلف مدنظر قرار داشته است. گسلها به عنوان مناطقی ضعیف در پوسته زمین می باشند که اعمال نیروهای زمین ساختی موجب حرکت و جابجایی یا تولید زمین لرزه توسط آنها می شود. ریخت زمین ساخت فعلی پوسته کره زمین نمایانگر وجود این ساختارها در تمامی بخشهای پوسته می باشد اما این امر به معنی فعال بودن تمامی این گسلها در رژیم های لرزه زمین ساختی حاکم بر پهنه های مختلف کره زمین نمی باشند .

هرگاه تنها ساختگاه ممکن برای احداث سد دارای گسل یا گسلهای فعال باشد (گسل در زیر بدنه سد قرارداد) لازم است سد و بدنه های جانبی متناسب با حرکتهای احتمالی گسل یا گسلهای فعال طراحی گردد لذا شرایط ویژه ای در طراحی سد روی گسلهای فعال مطرح میگردد جهت طراحی سد روی گسلهای فعال در محل سدلازم است اطلاعات زیر در مطالعات زمین شناسی و لرزه خیزی مشخص گردد.

۱- موقعیت گسلهای فعال در محل سد و سازه های جانبی، عرض ناحیه خرد شده

۲- نوع گسل و جهت حرکت گسل (سازو کار گسل)

۳- میزان جابجایی احتمالی سطح زمین در اثر حرکت گسل

درجه اهمیت گسلها در گستره پیرامون ساختگاه سد بستگی به پارامترهایی نظیر درجه فعالیت، نوع فعالیت (لرزه زا یا بی لرزه بودن)، توان لرزه زایی و فاصله تا ساختگاه مورد بررسی دارد کلیه گسلهای با اهمیت دارای پتانسیل جابجایی هستند این جابجایی می تواند به صورت لرزه زا (همراه با رویداد زمین لرزه) یا بی لرزه (دارای خزش زمین ساختی) باشد . مکانیزم های ایجاد گسیختگی در سطح زمین توسط گونه های مختلف گسل به شرح زیر میباشد:

الف- گسل راستا لغز (Strike slip fault)

این گسل معمولا دارای شیب نزدیک به قائم می باشد و جنبش آن منجر به لغزش در صفحه افقی می گردد بطوریکه مولفه جنبش قائم آن ناچیز است .

ب- گسل نرمال (Normal fault)

بردار لغزش در این حالت در جهت مولفه ثقل زمین روی صفحه گسل می باشد .

آسیب های ناشی از جابجایی و گسیختگی زمین در بلوک فرو افتاده متمرکز است و بلوک بالا آمده، تقریبا دست نخورده باقی مانده است .

ج- گسل رانشی

با توجه به زلزله ۳۱ خرداد منجیل و با توجه به شواهد بسیارمتنوع موجود مبنی بر عملکرد ساختاری پیچیده حاکم بر منطقه می توان نتیجه گرفت که کلیه این گسله دارای توان لرزه زایی می باشند

گستره مورد نظر، منطقه ای بسیار گسله و از نظر لرزه زمین ساختی فعال است به نحوی که زلزله مخرب منجیل (یکی از مهمترین زلزله های سده اخیر و از نظر تلفات، مخربترین زلزله در محدوده زمانی فوق) در این گستره اتفاق افتاده است .

بررسی گسله های بنیادی و اصلی و نیز گسله های کوچک در محدوده ساختگاه سد سفیدرود نشان میدهد که پیرامون محل ساختگاه سد سفیدرود گسله های فراوانی پوسته زمین را بریده اند و بعضی از آنها شکل اصلی زمین ساختی این بخش از ایران زمین را به واسطه عملکرد خود تعیین می کنند .

مهمترین گسله های بنیادی و نزدیکترین آنها نسبت به ساختگاه سد سفیدرود عبارتند از :

۱- منطقه گسله هرزویل

۲- گسله رودبار ، گسله جنوب رودبار

۳- گسله لاهیجان

۴- منطقه گسله شاهرود

روندهای اصلی گسله های بنیادی به صورت کلی به دو گروه تقسیم بندی می گردند اول گروه گسله هایی که با روند شمال شرق - جنوب غرب مشخص میشوند که مهمترین این گسله ها گسله لاهیجان است گروه گسله هایی که عمدتاً روند جنوب شرق - شمال غرب دارند و از این دسته میتوان به گسله های رودبار ، شاهرود و منطقه گسله هرزویل اشاره کرد. که در محدوده منطقه گسلی هرزویل آثار سطحی و جابجایی و برش در سطح ظاهر شده و همچنین کلیه گسل های یاد شده میتوانند گسله های کوارترنر در نظر گرفته شوند در قسمتهای بعدی هر کدام از این گسله ها مورد توجه خواهند گردید.

۱-۲-۳ منطقه گسله هرزویل

از نظر شدت زلزله نیز ، محدوده با بیشترین شدت در اطراف این گسله واقع است. این منطقه گسلی که سد سفیدرود در محدوده آن واقع است روندی غرب، شمال غرب - شرق، جنوب شرق دارد طول این گسله حدود ۱۳۰ کیلومتر میباشد این گسله از جنوب ماسوله به طرف آب - بر در استان زنجان و محل روستای خرم آباد ، به سمت گیلوان ادامه یافته و در طول مسیر خود رودخانه گیلوان چای را قطع می نماید در این محدوده گسله مزبور حد جنوبی کوههای خشکه پی ، سیاه چال و قرق تپه را در حدفاصل این بلندی ها و دره قزل اوزن مشخص می نماید

در این محل ، امتداد این منطقه گسلی از N66W ، به N72W می رسد بطور کلی امتداد این گسله ، محدوده دره قزل اوزن (حد شمالی آن) را مشخص می نماید در اثر (و حتی تا سفره رو رانده) مشخص میشود نهشته های توف و آندزیت پالئوژن (معادلات تشکیلات کرج) بر روی نهشته های نئوژن رانده شده و محدوده هایی خرد شده به ضخامت حداقل ۵۰ متر را در محل بالادست سد سفیدرود ایجاد نموده است اطلاق "منطقه گسله" به این روند به علت وجود حداقل سه گسله اصلی به موازات یکدیگر و با امتداد مشابه می باشد. این امتداد در شرق گیلوان از جنوب کوه های قرق تپه و سیاه چال و پشکستان عبور نموده و با امتداد N85W و شیب ۳ تا ۱۰ درجه به سمت شمال، به جناح چپ ساختگاه سد سفیدرود می رسد. عملکرد این گسله ها در جناحین سد سفیدرود متفاوت است به این نحو که از رفتار راندگی جناح غربی ساختگاه سد به حالت گسله های معکوس در جناح شرقی و در شمال شهر منجیل و محل روستا های هرزویل تبدیل می شود در این محل (هرزویل) مشخصات این گسله ها به صورت N83W و شیب ۵۶ درجه به طرف جنوب تا S89W و شیب ۶۱ درجه به طرف جنوب می باشد ایجاد حالت سفره رو رانده در جناح محل چپ سد با حالت توأم راندگی و بهمن های سنگ مشخص است به نحوی که حالت تناوبی لایه ها در نهشته های تخریبی عهد حاضر که از نواحی بالاتر به پایین دست سقوط کرده اند مشخص می باشد .

امتداد این گسله ها در شرق روستای هرزویل از جنوب کوههای عمارلو عبور می نمایند در ادامه نیز ، حد جنوبی کوههای چرمکش را مشخص می نماید ضخامت محدوده عملکرد این گسله، زونی به پهنای حدود ۲۰۰ متر را تشکیل داده است مشخصه زمین ریخت شناسی این گسله تشکیل حد شمالی دره قزل اوزن و قرار دادن نهشته های مرتفع تر پالئوژن در کنار و بر روی نهشته های دامنه ایی نئوژن می باشد به نحوی که ناودیس دره قزل اوزن در حد شمالی بوسیله این منطقه گسلی محدود می گردد. در امتداد این گسله تفاوت در سطوح تراز توپوگرافی از حد اکثر رقوم ۸۰۰ متر در شمال ، تا حدود رقوم ۴۲۰ متر در جنوب این محدوده ، قابل مشاهده است. از مهمترین مشخصه هایی که در امتداد این منطقه می توان مشاهده نمود ، تغییر رنگ نهشته های رانده شده نسبت به نهشته های زیرین (در جناح چپ محل سد) و ایجاد یک محدوده مشخص خرد شده میباشد (که در درون تونل کنار محور سد به صورت یک گسله فعال دیواره تونل را بریده است میباشد و در محل ابتدای اولین تونل ، پس از عبور از منجیل به سمت شمال با یک منطقه کاملاً خرد شده مشهود می باشد) همچنین در اثر وقوع زمین لرزه ۳۱ خرداد ۱۳۶۹ ، این منطقه کاملاً فعال بوده به نحوی که در دانه های شمال مخزن سد سفیدرود آثار خرد شدگی و فرو ریزش قطعات سنگی در امتداد این گسله ها مشاهده گردیده است ادامه منطقه گسل هرزویل به طرف شرق از محل روستای سنگرود (حد جنوبی کوه برآفتاب) با روند N60W و با شیب ۱۲ درجه به سمت شمال (راندگی بزرگ زاویه) عبور می نماید و به طرف دره شاهرود امتداد می یابد .

این مسیر شکستگی هایی با روند N35W که احتمالا از شکاف های کششی (Tension Cracks) می باشند یکی از این شکافها، پل قرار گرفته بر روی مسیر خط لوله گاز را در شمال لوشان تحت تاثیر قرار داده است.

بیرون زدگی های تراورتنی، بخش عمده ای از نهشته های جوان رادر منطقه تشکیل می دهند که ادامه همین بیرون زدگی ها در روستای پاکده تحت تاثیر واقع گردیده است. در این جاده قدیمی (قبل از ۳۱ خرداد) تحت تاثیر تکان حاصل از زمین لرزه ۳۱ خرداد، جابجایی حدود ۲ متر را ایجاد نموده است. این روند به طرف غرب ادامه می یابد و بریدگی سطحی مشخصی را ایجاد می نماید. به طرف غرب و دره قزل اوزن، روند منطقه گسله هرزویل به بخش طارم علیا می رسد و از روستای آب بر عبور مینماید. همچنین در شمال رودخانه قزل اوزن ادامه روند منطقه گسله هرزویل با امتداد N50W حد جنوبی کوه ای خشکه پی، سرای گذار و خرما دول را مشخص می نماید. در سده اخیر مهمترین زلزله ای که در امتداد این منطقه گسلی رخ داده است زلزله ۳۱ خرداد ماه ۱۳۶۹، منجیل می باشد مهمترین شاهدی که در این مطالعات به عنوان فعالیت این منطقه گسلی دیده شده، ایجاد یک بریدگی بطول حدود ۴ کیلو متر، در جناح چپ ساختگاه سد سفیدرود است که بخش جنوبی آن به پایین افتاده است و جابجایی حدود ۱۰ تا ۷۰ سانتیمتر در این امتداد ایجاد شده است. امتداد این گسل، زلزله ای از غرب محل معدن سنگ های ساختمانی به طرف ساختگاه سد سفیدرود (در شرق) دیده می شود. با توجه به شدت زلزله در محدوده مورد بررسی بنظر میرسد که این گسله زلزله ای یکی از روندهای گسله در ارتباط با رویداد اصلی می باشد. امتداد این گسله N80W و صفحه آن تقریباً عمودی است.

بهمن های سنگی که در اثر این زلزله در غرب ساختگاه سد سفیدرود اتفاق افتاده است و پدیده زمین لغزش در تکیه گاه چپ محل سد، وابسته به این گسله می باشد. همچنین فروافتادن بلوکهای سنگی در قسمتهای بالایی "سرریز نیلو فری" وابسته به این روند است. درست در امتداد این گسله در جناح راست ساختگاه سد سفیدرود، چندین لغزش سنگ مشخص است، بنحوی که بلوکهای سنگی به ابعاد ۱۰*۱۵*۱۵ متر درست در بالای ساختگاه سد، با مقدار خرد شدگی و ترک خوردگی و حرکات محدود نسبت به هم دیده شده اند ولی از نظر پایداری، در وضعیت فعلی بلوکهای حاضر پایدار به نظر می رسند و همچنین به طرف غرب، یک سیستم گسله با امتداد شمال غرب - جنوب شرق، امتداد منطقه گسله هرزویل را قطع نموده و نهشته های به سن نئوژن را به طرف داخل دره قزل اوزن تغییر مکان می دهند.

۲-۳-۲ گسل رود بار

راستای این گسله N80W تا N86W متغیر بوده و تقریباً شرقی - غربی است. فاصله آن تا ساختگاه (در نزدیکترین فاصله) حدود ۹/۵ کیلومتر میباشد طول قطعی این گسله حدود ۳۱/۵ کیلومتر است ولی این گسله در ادامه خود یکی از گسل های اصلی سیستم البرز را تشکیل می دهد که طول تقریبی آن حدود ۱۷۰ کیلو متر می باشد و عملکرد این گسله بصورت معکوس بزرگ زاویه تا راندگی است. این گسله در سمت غرب از کوههای قالیچه و الیکان می گذرد و رودخانه گیلوان چای را قطع می نماید ضخامت محدوده عملکرد آن منطقه ای به پهنای حدود ۱۰۰ متر را تشکیل داده است. به طرف شرق این گسله از محلی بین رود بار کوهپایه و گنجه عبور مینماید (آثار منطقه تحت تاثیر آن در اولین پیچ جاده به طرف شمال پس از عبور از محل بیمارستان رودبار بصورت ایجاد یک ناحیه با شکستگی و زون خرد شده مشخص است)

از نظر زمین ریخت شناسی، در امتداد این گسله شکل دره های فرعی تحت تاثیر واقع شده و در راستای رودخانه سفید رود در امتداد حرکت به سمت شمال، چرخشی به طرف شرق پیدا می کند در اثر عملکرد این گسله که از میان نهشته های تشکیلات کرج و حد فاصل این نهشته ها با سنگ آهک های کراسه عبور می نماید، منطقه ایی برشی شده و متشکل از بلوکهای توفی و سنگ آهکی پدید آمده است.

۲-۳-۳ گسل جنوب رودبار

راستای این گسله در شمال ساختگاه سد، N38W تا N25W مشخص است و با نزدیکترین فاصله از حدود ۳/۵ کیلومتری شمالغرب محل سد عبور می نماید. طول کلی آن ۴۶ کیلومتر می باشد که از امتداد N30W به امتداد N65W در بخش شمالی خود میرسد و گسله های رودبار و لاهیجان (و گسله های فرعی، با راستای شرقی-غربی) را قطع مینماید راستای این گسله از

شمال و غرب کوه عمارلو آغاز شده و در ادامه از شرق رودبار عبور می نماید و سپس محدوده ای مثلثی شکل در شمال گسل رودبار تشکیل می دهد. سپس در غرب کوه نهرآب تغییر روند داده و از راستای شمال غرب - جنوب شرق به راستای شمال شرق - جنوب غرب تبدیل می گردد محدوده عملکرد این گسله، منطقه ایی به ضخامت حدود ۴۰ متر را تشکیل میدهد که در محل اولین پیچ اصلی جاده پس از عبور از محل سد به سمت شمال و همچنین در شمال شهر رودبار کوه پایه (غرب دره سفیدرود)، بصورت جابجایی کاملاً مشخص نهشته های سازند شمشک و نهشته های سازند کرج (توف و آندزیت) مشخص میباشد آثار فعالیت اخیر این گسله در مکان یاد شده در فوق و در کنار بصورت بریدگی در نهشته های آبرفتی جدید مشخص است.

۴-۲-۳ گسله لاهیجان

گسل لاهیجان یکی از مهمترین گسله های منطقه و بطور کلی مبین ساختار کلی در شمال این ناحیه می باشد این گسله حد غربی روند شرقی-غربی البرز مرکزی و انتهایی غربی گسل شمال البرز را با عملکردی چپگرد قطع نموده است و افتادگی کاملاً مشخصی در امتداد جناح راست رودخانه سفیدرود (از انتهای دره های تاریک و سیاهرود به سمت شمال) تشکیل می دهد امتداد غربی این گسله در دره های یاد شده در فوق با عملکرد راندگی ادامه می یابد. این گسله به طرف شمال، حد غربی سازند شمشک را در منطقه مشخص نموده و بیرون زدگی این سازند را با عملکرد چپگرد حدود ۱۵ کیلو متر جابجانموده است به نحوی که بیرون زدگی های توف و سنگ آهکهای کرتاسه و سازند شمشک در دو طرف این گسله، جابجایی امتداد لغزی به شرح فوق را با یکدیگر نشان می دهند.

راستای گسل لاهیجان در طرف شرق و شمال شرق به صورت شمال شرق - جنوب غرب بوده و این امتداد به طرف غرب، به شرقی-غربی تبدیل می شود به نحوی که از راستای کلی N33E به راستای N89E می رسد نزدیکترین فاصله این گسله تا محل ساختگاه سد ۲۶/۵ کیلو متر بوده و طول آن حدود ۷۳ کیلومتر میباشد (حدود ۴۰ کیلومتر در راستای شمال شرق - جنوب غرب و حدود ۳۳ کیلومتر در راستای شرقی - غربی).

این گسله از امتداد شرقی دره سفیدرود (از ابتدای دره سیاه رود) و سمت شرق محل امامزاده هاشم به طرف شمال امتداد یافته و در جنوب رشت به کوچصفهان ختم می شود از مهمترین مشخصاتی که در این منطقه و پس از زلزله ۳۱ خرداد منجیل وردبار مورد بررسی واقع گردید، ایجاد شکاف هایی در نهشته های سطحی، به طول های متفاوت از ۱۰ تا ۷۰ متر و عمق تا حدود ۳ متر و عرض دهانه حدود ۰/۵ متر و همچنین ایجاد بریدگی ها در خاک مزارع کما بیش با مشخصات فوق و ایجاد جابجایی و شکستگی در دیواره های منازل و مدارس و روستا های مسیر می باشد.

۵-۲-۳ منطقه گسله شاهرود

این منطقه که با راستایی شرق-غربی مشخص می گردد، متشکل از گروهی از گسله های با عملکرد معکوس بزرگ زاویه تا راندگی میباشد، و حالت ریخت زمین ساختی، منطقه جنوب لو شان، غیاثوند، رود ملاعلی و محدوده کوه خدا آفرین را مشخص می نماید گسله های این منطقه با امتداد های کلی N70W تا N37W مشخص می گردند نزدیکترین فاصله امتداد گسله اصلی این منطقه با ساختگاه سد سفیدرود ۱۲/۵ کیلومتر و طویل ترین طول این گروه گسله ها، ۵۶ کیلو متر می باشد و هر کدام از این گسله ها ضخامت محدوده عملکردی از ۱۰ تا ۳۰ متر دارند.

ویژگی زمین شناختی این گروه گسله ها به این ترتیب است که توف و آگلومراهای میانی سازند کرج را بر روی شیلها و توفهای زیرین سازند کرج رانده و حد بین سازند کرج را با نهشته های معادل سازند بالایی مشخص می نماید.

۳-۳ گسلش سطحی وابسته به زمین لرزه ۳۱ خرداد ۶۹

با توجه به پیچیده بودن سازو کار زمین لرزه، بریدگی های سطحی متعددی بر اثر رویداد این زمین لرزه، رخ داده است این بریدگی ها که قسمت وسیعی از آنها متعلق به شکافهای کششی، ادامه روند زمین لغزشی های بزرگ و ترکهای منفک از هم و با طولهای متفاوت می باشند در محدوده وسیعی از جنوب کوچصفهان و جنوب غرب لاهیجان تا لوشان و همچنین در بخش طارم علیا

زنجان (در شمال آب بر) مشاهده می گردند. با توجه به بررسیهای صحرایی به عمل آمده یکی از روندهای شکستگی در سطح که در قطعات مختلف ولی در روند کلی مشاهده می شود، بیشترین مشخصات را جهت ارتباط با رویداد اصلی دارا می باشد. روند گسلش از شرق روستای پاکده (در شمال منطقه گسلیه هرزویل) آغاز شده و ضمن عبور از جاده پاکده _جیرنده که بطرف غرب گسترش می یابد ساختگاه سد سفیدرود که در جنوبی ترین بخش منطقه جابجاشده است و گسل خورده اصلی واقع است نمایانگر یک روند زمین لرزه ای مشخص در بخش غربی تکیه گاه چپ خود می باشد. بر اساس عملکرد این دو سری قطعات گسلش اصلی (قطعات پاکده، جنوب برین، کتبه، و باکلور بعنوان خطواره شمالی و قطعه سد سفیدرود بعنوان قطعه جنوبی) بنظر میرسد که منطقه حدواسط بین این دو خطواره ضمن بالا آمدن، حرکتی در جهت عقربه های ساعت نیز نموده است به این ترتیب که سازوکار زمین لرزه احتمالا از نوع فشاری مماسی چپگرد می باشد. شواهد مستدل جهت این نوع سازوکار عبارتند از:

- (۱) - حرکات مشاهده شده امتداد لغز چپگرد در قطعات گسلش
 - (۲) - حرکت بطرف بالا در بخش جنوبی، که در قطعات جوب برین، کتبه دیده می شود و حرکت بطرف بالا در بخش شمالی که در قطعه سد سفید رود مشهود است.
 - (۳) - ترتیب قرار گیری ترک های کششی در کل منطقه که با روند حدود N35E تا N70E دیده میشوند و شاهد بسیار مهمی جهت حرکت امتداد لغز چپگرد میباشند.
- بررسی لرزه زمین ساختی منطقه تحت تاثیر زمین لرزه ۳۱ خرداد ۱۳۶۹ نشان داد که در اثر این زلزله، گسلشهای متعددی در دو روند مشخص و اصلی رخ داده است
- به هرحال ساختگاه سد سفیدرود که در جنوبی ترین بخش منطقه جابجا شده (قسمت منطقه بالا آمده) و گسل خورده اصلی واقع است. نمایانگر یک روند زمین لرزه ای مشخص، در بخش غربی (تکیه گاه چپ) خود میباشد و بنظر میرسد که ساختگاه این سد در جنوبی ترین قسمت منطقه بالا آمده واقع میباشد.

۴- ملاحظات طراحی لرزه ای سد سفیدرود

طراحی سد سفیدرود برای شتاب پایداری برابر $0.25g$ و منظور نمودن اثر معادل استاتیکی و سترگارد انجام شده است مشاهدات صدمات وارد بر تاج سد (جان پناه پایاب) نشان میدهد که شتاب ماکزیمم وارد بر تاج حداقل $0.75g$ بوده است او لین فرض که عمق کانون زلزله و فاصله مرکز زلزله تا سد ۱۰ کیلو متر بوده است با استفاده از روابط میرایی شتاب ماکزیمم زمین را می توان برابر $0.5g$ تخمین زد بر طبق اعلام موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران بزرگی امواج حجمی زلزله ۳۱ خرداد برابر $M_b=6.5$ ۱۲ ساعت بعد از وقوع یافته است بر طبق اعلام مرکز تحقیقات زمین شناسی آمریکا بزرگی امواج سطحی $M_s=7.7$ می باشد. محدودهایی که زمین لرزه سبب بروز لرزش شدید زمین گردید بوسعت ۲۸۰۰۰۰ کیلومتر مربع و شعاع ۳۰۰ کیلومتر از مرکز زلزله قرار دارد خساراتی که به ساختمانها و سایر تاسیسات وارد شده در محدوده های به وسعت ۸۰۰۰۰ کیلومتر مربع و به شعاع ۵۰ کیلومتر از مرکز زلزله گزارش شده است دو ماه قبل از وقوع زلزله ایستگاه لرزه نگاری سد از کار افتاده بوده است.

شتاب افقی ماکزیمم در شهر لاهیجان $0.15g$ و در تهران شتاب افقی و قائم ماکزیمم به ترتیب $0.1g$ و $0.3g$ ثبت شده است.

۵- آسیبه های وارد بر سد در زلزله رودبار و منجیل

کلیات

زمین لرزه سی یکم خرداد ۱۳۶۹ گیلان یکی از مخربترین زلزله های تاریخ معاصر ایران است این زلزله را سراسر جهان ثبت کرده اند به عنوان مثال مرکز خدمات لرزه نگاری سوئیس بر اساس اطلاعاتی که توسط شبکه لرزه نگارها ثبت شده و یک ارزیابی مقدماتی ارائه کرد که بزرگی آن 7.3 ریشتر بود چند ساعت پس از زلزله اصلی دو پس لرزه قوی با بزرگی 6.2 و 6.5 رخ داد در هفته های بعد بیش از ۴۰۰ پس لرزه دیگر با بزرگی های تا 5.9 توسط مرکز ژئوفیزیک دانشگاه تهران گزارش شد شدت لرزش به حدی بود که منجر به ایجاد ترکهای اساسی در قسمت فوقانی پشت بندهای میانی سد سفیدرود گردید.

در ساعت سی دقیقه بامداد سی و یکم خرداد ماه ۱۳۶۹ زلزله ای با بزرگی ۷/۳ در مقیاس ریشتر دو استان گیلان و زنجان را در شمال و شمال غربی تهران ویران کرده و حدود ۵۰۰۰۰ کشته و ۵۰۰۰۰ زخمی بر جای گذاشت مرکز این زلزله در ۲۰۰ کیلومتری شمال غرب تهران در محلی واقع در منطقه سفید رود که بین دو شهر کاملاً ویران شده رودبار و منجیل واقع شده است در هنگام وقوع زلزله سطح دریاچه در تراز ۲۶۵ بوده است که حدود ۶ متر پایین تر از تراز نرمال آب مخزن و ۱۱ متر پایین تر از تاج می باشد تا قبل از وقوع زلزله نیروگاه در حال کار بوده و آبی از تخلیه کننده های عمقی خارج نمی شده است در هنگام زلزله همه آبگیرهای نیروگاه بطور اتوماتیک بسته شده و یک پس از زلزله دبی های از تخلیه کننده ها رها شده است.

شماره دریچه	میزان دبی خروجی (m^3/s)
شماره یک	۱۵۰
شماره دو	۵۰

جدول ۲-۳

بازرسی سد آسیب دیده سفیدرود و تاسیسات وابسته و نیز محیط اطراف آن توسط گروهی از کارشناسان شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس و شرکت اشتوکی _الکترووات سوئیس انجام شده است
بررسی آسیبهای وارد بر سد سفید رود شامل موارد زیر می باشد :

۱- بازرسی مقدماتی از سد بلافاصله از زلزله

۲- بازرسی اصلی از سد بعد از وقوع زلزله

۳- بازرسی تفصیلی از سازه سد و سازه های وابسته به آن (شامل ابزارهای رفتار نگاری و ...)

۴- ارزیابی مقدماتی رفتار سد بعد از وقوع زلزله

۵- بازرسی تفصیلی و آزمایش تجهیزات هیدرو مکانیکی

۶- نتایج و نتیجه گیری های حاصل از این بازرسی ها

با توجه به رفتار خیلی خوب سد سفید رود تا قبل از وقوع زلزله و اینکه در وضعیت سد در سالهای گذشته تغییر مهمی صورت نگرفته بود در حقیقت وضعیت سد در موقع وقوع زلزله مشابه سال ۱۳۶۵ که در آن عملکرد سد توسط مشاورین در وضع مناسبی گزارش شده بوده است .

پس از وقوع زلزله تغییرات مشاهده شده در سازه سد در قسمت فوقانی مخصوصاً پشت بندهای مرکزی که در موقع زلزله بشدت تکان خورده اند متمرکزی باشد و در قسمتهای پایین تر سد حرکت های بزرگ رخ نداده و در محل های اتصال بین بتن و سنگ حرکت جزئی رخ داده است.

در طول هر دو تکیه گاه کوه بصورت گسترده ریزش کرده و تخته سنگهایی که وزن آنها به چندین تن میرسد از شیبهای تند کوه به غلتیده اند. دستگاههای رفتار نگاری به استثناء دو شاقول معلق (که در اثر زلزله خراب شده و از کار افتاده اند) کماکان کار می کنند یک لرزه نگار نیز تا بیست و دوم فروردین کار می کرده و به موقع تعمیر نشده بوده است.

انواع خسارتهای مشاهده شده در سد آسیب دیده سفیدرود پس از زلزله رودبار و منجیل توسط مشاورین بشرح زیر گزارش شده است:

-درکف جان پناه پایین دست سد ترک پهنی به علت تکان خوردن دیواره بوجود آمده است

در بعضی نقاط آرماتورها به علت چرخش بیش از حد درز (excessive joint rotation)

در پای دیوار شکسته شده اند یک ترک طولی در کنسول پایین دست که تکیه گاه دیواره جان پناه است و ترک بزرگ دیگری در به فاصله حدود ۰/۵ متر از جدول بتن (cursbtone) ایجاد شده است .

_در خیلی از بلوکها دیواره جان پناه به طرف پایین خم شده است مقدار انحراف از راستای عمودی به ارتفاع بیش از ۴۰ سانتی متر گزارش شده است.

-جدول بتنی در مجاورت درزهای انقباضی (بین پشت بندها) به دلیل وارد آوردن نیروی برشی یا فشاری در راستای تاج خرد شده است .

شکست فشاری بتن کف تاج (pavement concrete) به طور موضعی در امتداد چند درز انقباضی مخصوصا در نزدیکی تکیه گاهها شکل این نقاط شکست به صورت نیمدایره بوده و ترک به موازات درز می باشد.

-چندین سرپوش (covers) فولادی محافظ میخ های (bolts) اندازه گیری درزها باز شده ولی در اثر نیروهای فشاری پیچ و تاب برداشته اند .

-بتن کف تاج (concrete pavement) در چند بلوک ترک های طولی به طول ۶ تا ۱۲ متر برداشته است. اتاق نگهداری که از مصالح بنایی ساخته شده بود کاملا فرو ریخته و آسیب های کلی دیده است .

-آسیب های تکیه گاههای سنگی سد سفیدرود در اثر زلزله در قسمت بالادست چسبیده به سد :

الف) ساحل چپ: سکوی بتنی در تکیه گاه از ۱۰ تا ۳۰ سانتی متر نشست کرده است افتادن سنگها از شیبهای تند تکیه گاه چپ راه را در ساحل چپ بند آورده است چندین صخره بزرگ فرو ریخته است و به صخره نیلوفری آسیب رسانده است .

ب) ساحل راست: ریزش کوه در ساحل راست موجب مسدود شدن مدخل تونل دسترسی گردیده و در پیادهرو منتهی به ساختمان مهتابی (belvedere building) بعضی از سنگهای واریزه ای از روی دیوار جان پناه بریده شده است و پیاده رو را کاملا پوشانده است در اثر زلزله ترکهای بسیار بزرگی بین دیوارهای مقاطع جان پناه تاج سد و پیاده رو ایجاد شده است شکست سنگهای تکیه گاه راست بعد از زلزله ایمنی سد را تهدید می کند .

تمام پشت بندها از شماره ۵ تا ۲۵ در ترازهای بین ۲۶۲/۲۵ تا ۲۷۰/۲۵ ترکهای افقی بوضوح قابل مشاهده است عملا کلیه ترکها در طول درزهای ساختمانی افقی بوجود آمده است.



بلافاصله پس از زلزله آسیب های پشت بندها به شرح زیر گزارش شده است :

در پشت بندهای شماره ۱۰ و ۱۳ و ۱۴ یک ترک افقی در محدوده لیفت ششم بتن در تراز تقریبی ۲۶۳/۲۵ ایجاد شده است محل ترکهای افقی از پشت بندی به پشت بند دیگر فرق میکند در گوشه های پشت بندها تکه های بسیار بزرگی از بتن کنده شده و به پایین افتاده است عرض ترکها از چند میلی متر تا چند سانتی متر متغیر است عمق نفوذ ترکها بسیار زیاد بوده به این معنی که از سطح سراب تا سطح پایاب ادامه یافته است . درزهای عمودی در هنگام وقوع زلزله بعضا حرکات نسبی انجام داده اند .

در درز ۱۰/۱۱ حرکت نسبی بلوک ۱۱ به طرف پایین دست: ۱۰ mm
 در درز ۱۱/۱۲ حرکت نسبی بلوک ۱۲ به طرف پایین دست: ۱۵ mm تا ۲۰ mm
 در درز ۱۲/۱۳ حرکت نسبی بلوک ۱۳ به طرف پایین دست: ۱۵ mm تا ۲۰ mm
 در درز ۱۳/۱۴ حرکت نسبی بلوک ۱۴ به طرف پایین دست: ۱۰ mm
 در درز ۱۴/۱۵ حرکت نسبی بلوک ۱۵ به طرف پایین دست: ۱۰ mm تا ۱۵ mm
 در درز ۱۷/۱۸ حرکت نسبی بلوک ۱۸ به طرف پایین دست: ۱۰ mm
 در درز ۱۸/۱۹ حرکت نسبی بلوک ۱۹ به طرف پایین دست: ۵ mm
 بنابر این در اثر زلزله مجموعاً درزها ۷۰ تا ۹۰ mm در طول سکوی سراب به طرف پایین دست جابجا شده اند.

۱-۵ آسیبهای دریچه ها و تاسیسات:

همه آبگیرها و دریچه های کنترل به جز سر ریز واقع در تراز میانی ما بین بلوکهای ۱۰ و ۲۰ واقع شده است این دریچه ها پس از زلزله از سکوی واقع در تراز ۳۶۳/۰۰ بازرسی شده اند به علت باز شدن ترک و جابجایی ناشی از زلزله منتهی به پنج آبگیر نیروگاه (که بوسیله بتن به رویه سراب متصل می باشند) مخصوصاً در نزدیکی ترکهای افقی تحت تنشهای محوری قرار گرفته اند و در نتیجه بتن نگهدارنده نرده در تراز ۲۶۲/۲۵ ترک خورده است به علاوه منطقه مهاربندی (anchorage zone) در انتهای نرده های منتهی به دریچه های آبگیر نیروگاه به علت انتقال نیروهای زلزله از نرده های بتن به شدت ترک خورده است زنگ زدن فولاد نیز ترک خوردن را در این قسمت تشدید کرده است.

۲-۵ سرریزها

۱-۲-۵ سرریزهای نیلوفری: هر دو سرریز نیلوفری دارای سکوی انحناء می باشد پس از زلزله بالای هر دو سرریز از سنگهایی پوشیده شده است که از قسمتهای بالا به پایین ریخته است حداکثر وزن سنگهایی که به دیواره های جان پناه رسیده است حدود ۲ KN سنگهای خرد به داخل سرریز ریخته شده است در نزدیکی سرریز تحتانی یک قطعه سنگ عظیم به ارتفاع چند متر به لبه راه مقابل دریاچه چسبیده و در قسمت شیپوری شکل سرریز تحتانی یک حفره بتنی در طول نزدیکترین درز ساختمانی عمودی به مخزن و حدود ۱۰ متر پایین تر از تاج سرریز می توان دید.

۲-۲-۵ سرریزهای میانی: مدخل ساختمان بهره برداری از تکیه گاه چپ در اثر ریزش سنگ مسدود شده است و در فولادی آن آسیب دیده است گوشه چپ بالای دریچه پس از زلزله دچار نشست آبی با دبی ۱۰۰ (لیتر بر ثانیه) شده است.

۳-۵ گالری تاج

در اثر زلزله بتن کف گالری در منطقه درز ترک خورده است در درزهای انقباضی ریختن بتن در طول دیوارها و سقف گالری بو ضوح قابل رویت است. جابجایی نسبی افقی و عمودی دو بلوک مجاور در دیوارها و کف گالری نیز بلافاصله پس از زلزله بو ضوح قابل رویت است که در جدول زیر ثبت شده است.

شماره درز	ریختن بتن	افقی	عمودی
۱۰/۱۱	بلی	+۸	-۵
۱۱/۱۲	بلی	+۱۵	-۱
۱۲/۱۳	بلی	+۸	+۵
۱۳/۱۴	بلی	+۵	—
۱۴/۱۵	بلی	+۱۰	-۳
۱۵/۱۶	بلی	-۲	—
۱۶/۱۷	بلی	+۰/۵	۰

۱۷/۱۸	بلی	+۵	۰
۱۸/۱۹	بلی	+۵	۰
۱۹/۲۰	بلی	+۳	۰

جدول ۴-۴

جابجایی افقی یا عمودی مثبت به این معنی است که اگر از رویه پایین دست به درزی نگاه کنیم بلوک راست به ترتیب به طرف پایین دست یا به طرف بالا نسبت به بلوک چپ حرکت میکند.

۴-۵ قسمت پایین دست تکیه گاهها بلافاصله در نزدیکی سد:

در قسمت پایین دست هر دوتکیه گاه سنگهای زیادی وضعیت سستی دارد که بلافاصله پس از زلزله در رابطه با پایداری سد مسائلی را بوجود آورده است.

راست مقدار زیادی قطعه سنگ و بلوکهای سست مخصوصا در قسمتهای بلند وجود دارد که در صورت بارندگی شدید و حتی زلزله خفیف پس از زلزله اصلی بسیار خطرناک میباشد .

در تکیه گاه چپ نیز مقدار قابل توجهی سنگ در همه جای تکیه گاه پراکنده شده و مقدار قابل توجهی سنگ نیز به داخل کانال چپ سرریز میانی برخورد کرده است دکل انتقال برق اول به علت زلزله و برخورد سنگ واژگون شده است سنگهای سست شده ناپایداری در اثر زلزله باعث ناپایداری شیب شده است.

۵-۵ تجهیزات رفتارنگاری: از شاقولهای مستقیم، از ۵ شاقول ۲ تا از کارافتاده است و لوله های بقیه در قسمت بلوکهای ۱۴ و ۱۸ کج شده است بقیه دستگاهها با وجود آسیبهای سازه ای در ساختمان سالم مانده است .

۶-۵ آسیبهای نیروگاه

نیروگاه سدسفیدرود از ۶ قاب ۳ دهانه ، بتن آرمه و مقاوم در برابر جنبش (MOVEMENT-RESISTANT) تشکیل یافته است که درزهای ساختمانی آنها را از هم جدا میکند دیوارهای آن نیز از قطعات پیش ساخته یا آجر ساخته شده است به اجزاء غیر سازه ای (مثل دیوارهای ساخته شده در محل، موزاییکهای کف و سایر اقلام مربوط به معماری و ...) شامل اتاق فرمان و تجهیزات خسارات زیادی وارد آمده است اما آسیب وارد بر سیستم سازه ای جزئی بوده و به راحتی بوسیله ملات اپوکسی و غیره قابل تعمیر می باشد در طرف پایین دست نیروگاه اتصالات پلاستیکی (HINGE PLASTICS) در ۱۳ نقطه اتصال نشان دهنده مقدار انرژی آزاد شده به طور غیر پلاستیکی در هنگام زلزله است که باید به وسیله آنها تحمل می شد در طرف بالا دست نیروگاه که هر یک از ۶ قاب و دودخانه تشکیل شده است اتصالات پلاستیکی مشهود نیست اما ریزش موضعی بتن را در سه درز نزدیکی قسمت بالای ساختمان میتوان دید این شاید در اثر ضربه (HAMMERING) قابهای مجاور در جهت محور سد باشد درزهای بین قابهای نیروگاه نیز نشان می دهد که قابها در اثر زلزله نسبت به یکدیگر در راستای سراب و پایاب حرکت نسبی انجام داده اند (ریزش موضعی بتن).

مهمترین دستگاهی که به وسیله ستونهای ساخته شده از بتن حجیم (MASSIVE COLUMNS) تحمل می شود جرثقیل سقفی به ظرفیت ۷۵ KN می باشد که ریلهای آن بوسیله یک پروفیل به یک تیر آهن بسته شده است اتصال بین تیر آهن و ستونها در چند نقطه سست شده و دو دو سر تیرهای فولادی که به طرف تکیه گاه خم شده اند به دیوار انتهایی آسیب جدی وارد ساخته اند . پس از زلزله همه قسمتهای پایین تر از نیروگاه در تراز ۱۷۶ (گالری سراسری ، گالری زهکشی و ...) به زیر آب رفته است سیستم تلفن و چراغهای روشنایی که از ابزار کلیدی مدیریت بحران بعد از زلزله است بلافاصله پس از وقوع زلزله قطع شده و چراغهای گالری تحتانی نیز قطع گردیده است.

۷-۵ جابجایی های اندازه گیری شده پس از زلزله ۱۳۶۹ منجیل

۱-۷-۵ تغییر شکل افقی پایه ها

وجود جابجایی ها در تاج سد در نتیجه کج شدن تمام پایه ها ،تغییر شکل تنه پشت بندها (WEB) زیر ترکها ، کج شدن بیشتر بلوک های فوقانی به علت ترکها و حرکت به نسبت کم در رقوم ترکها میباشد.

تغییر شکلهای افقی پایه ها یک هفته پس از زلزله در جدول زیر نشان داده شده است: (علامت + به معنی حرکت به پایین دست یا راست میباشد)

مشخصات بلوک		۷	۱۱	۱۴	۱۸	۲۳
بالادست-پایین دست	پاندول مستقیم	-۷/۰۲	-۱۰/۲۶	خراب	خراب	-۰/۹۶
	پاندول معکوس	-۱/۶۸	-۰/۸۶	+۲/۹۸	+۱/۶	+۰/۸۶
چپ- راست	پاندول مستقیم	+۲/۵۰	+۶/۵۲	خراب	خراب	+۰/۹۶
	پاندول معکوس	+۲/۵۲	-۰/۴۴	-۰/۷۴	-۱/۳۶	-۰/۰۰

نقاط پایین که ۱۰-۱۵ متر بالای پی قرار گرفته اند به میزان زیر حرکت کرده اند :

۱/۵-۱ میلی متر به سمت بالا دست در چپ
سه میلی متر به سمت پایین دست در وسط
۱/۵-۱ میلی متر به سمت پایین دست در سمت راست

-تمام بلوکها بجز بلوک ۲۳ که ظاهرا حرکت نکرده است حدود ۰/۵-۲/۵ میلی متر به سمت چپ حرکت کرده اند
نقاط تاج سد همگی به سمت راست و یا بالا دست حرکت کرده اند. در ساحل چپ این حرکت ۷ تا ۱۰ میلی متر به سمت بالا دست و ۳ تا ۶ میلی متر به سمت راست میباشد.

-در بلوک ۲۳ ساحل چپ ۱ میلیمتر به سمت بالا دست و تنها ۱ میلیمتر به سمت راست .

۲-۷-۵ تغییر شکلهای در رقوم مشابه اندازه گیری های سال ۱۳۶۵ در جدول زیر آورده شده است :

مشخصات بلوک		۷	۱۱	۱۴	۱۸	۲۳
بالادست-پایین دست	پاندول مستقیم	-۶	-۷	خراب	خراب	۰/۰۰
	پاندول معکوس	-۱	-۰/۳	۳/۹	+۱/۸	+۱/۱
چپ- راست	پاندول مستقیم	۲/۵	+۸	خراب	خراب	۰/۰۰
	پاندول معکوس	-۱/۲	-۰/۷	-۱/۰	-۱/۲	-۰/۵

این مقادیر با مقادیر جدول شماره یک همخوانی دارد با توجه به لرزه های شدیدی که سد متحمل شده است جابجاییهای مشاهده شده بلافاصله پس از وقوع زلزله تقریبا ناچیز است .

پس از زلزله اندازه گیریهای مداوم (از تاریخ ۱۰ الی ۲۴ تیر ماه) جابجایی های زیر را نشان میدهد:

پی پایه شماره ۱۷ و ۲۳ در دایره های به قطر ۱ میلی متر جابجایی کمی و قابل قبول نشان داده است

پی پایه شماره ۱۴ در دایره ای به قطر ۲/۵ میلی متر جابجا شده است

پی پایه شماره ۱۸ از روز زلزله تا ۱۰ تیر ماه حدود ۲/۵ میلی مترافزایش طول در یک جهت و از ۱۱ تیرماه تا ۲۱ام همان ماه (سه هفته بعد از زلزله) در اثر چند پس لرزه مهم حرکتی ۲۰ میلی متری در جهت عکس نشان داده است و نهایتا از ۲۱ ام تا ۲۴ ام تیرماه سال ۱۳۶۹ حرکتی تقریبا بیش از ۸ میلی متر در جهت پایین دست داشته است .

۳-۷-۵ جابجایی افقی

جابجایی افقی سد پس از زلزله در جدول شماره ۳ آورده شده است . (علامت + به معنی حرکت به بالادست یا راست میباشد)

مشخصات بلوک		۷	۱۱	۱۴	۱۸	۲۳
-------------	--	---	----	----	----	----

کف و ارتفاع (M)	۷۷	۱۰۵	۱۰۷	۱۰۶	۷۴
نشست نامساوی (mm)	۴/۵	۵/۱	-۳/۶	-۰/۵	-۲/۹
جابجایی افقی تاج (mm)	-۴/۵	-۵/۱	+۳/۶	+۰/۵	+۲/۹

۴-۷-۵ میزان کج شدن درگالری تاج

میزان کج شدن درگالری تاج نیز در جدول شماره ۴ آورده شده است اندازه گیریها در روز ۲۴ تیرماه ۱۳۶۹ انجام شده است تمام بلوکه‌های فوقانی به سمت بالادست کج شده اند و این امر نشان میدهد که ترکها باید در پایین دست چند میلی متر بیشتر از بالادست باز شده باشند علامت - نشان دهنده جابجایی به سمت بالا دست است.

مشخصات بلوک	کج شدن (ثانیه)	جابجایی افقی (mm)
بلوک شماره ۱۰	-۱۱۷	-۹
بلوک شماره ۱۱	-۸۲	-۶/۴
بلوک شماره ۱۲	-۹۸	-۷/۶
بلوک شماره ۱۳	-۷۹	-۶/۱
بلوک شماره ۱۴	-۸۱	-۶/۳
بلوک شماره ۱۵	-۶۳	-۴/۹
بلوک شماره ۱۶	-۸۰	-۶/۲
بلوک شماره ۱۷	-۷۰	-۵/۴
بلوک شماره ۱۸	-۱۰۶	-۸/۲
بلوک شماره ۱۹	-۴۴	-۳/۴
بلوک شماره ۲۰	-۷۴	-۵/۷

۵-۷-۵ کج شدن زیر نیروگاه

۱۲ ایستگاه اندازه گیری روی تونل های زیر نیروگاه در جهت پایه های شماره ۱۰ تا ۱۹ نصب شد چرخش های بالا دست و پایین دست به ثانیه مشاهده شده در تاریخ هفتم تیرماه سال ۱۳۶۹ و یازدهم تیرماه سال ۱۳۶۹ نسبت به وضعیت قبل از زلزله در روز ۲۶ خرداد ماه سال ۱۳۶۹ به شرح زیر است (علامت + نشان دهنده چرخش به سمت پایین دست است) :

جدول شماره ۵ کج شدن زیر نیروگاه نسبت به وضعیت قبل از قوع زلزله (ثانیه)

مشخصات بلوک	چرخش ۷ تیر ماه ۱۳۶۹	چرخش ۱۱ تیر ماه ۱۳۶۹
۱۰	-۲۶	-۲۱
۱۱	-۷	+۵
۱۲	+۱۵	+۸
۱۳	۰	+۳
۱۴ چپ	+۱۰	+۶
۱۴ راست	+۹	۰
۱۵ چپ	-۱۰	-۵
۱۵ راست	+۶	+۱۱
۱۶	+۳	+۱۸

۱۷	-۲۱	۰
۱۸	-۹	-۶
۱۹	-۱۱	-۱۶

این موضوع نشان گر آن است که پی نیروگاه نیز متحمل چرخش قابل ملاحظه ای شده است .

۶-۷-۵ حرکت‌های درز رقوم تاج

به علت بزرگی جابجایی نسبی پایه ها، یک ایستگاه اندازه گیری از بین رفته و در ۱۵ استگاه اندازه گیری فاصله بین نقاط هدف خارج از حدود دستگاه اندازه گیری بوده است (جابجایی + به معنی آنست که بلوک سمت راست نسبت به بلوک سمت چپ به سمت پایین دست حرکت کرده و منجر به بازشدن درز شده است)

جدول شماره ۶ جابجایی افقی درز در رقوم تاج را نشان می دهد:

درزها	جابجایی نسبی (mm)	شکاف	درزها	جابجایی نسبی (mm)	شکاف
۵/۶	۰	+۱/۵	۱۸/۱۹	+۵/۵	+۰/۵
۶/۷	-۱/۷	-	۱۹/۲۰	-۱	۰
۷/۸	-	-	۲۰/۲۱	+۰/۵	-۱/۵
۸/۹	+۰/۵	+۱/۵	۲۱/۲۲	+۳/۵	-۰/۵
۹/۱۰	-	-	۲۲/۲۳	+۹	۲
۱۰/۱۱	۰	+۱	۲۳/۲۴	+۳/۲	۰/۵
۱۱/۱۲	+۸/۵	+۱	۲۴/۲۵	+۱	۰
۱۲/۱۳	+۳/۵	+۱	۲۵/۲۶	-۰/۵	+۱
۱۳/۱۴	+۳/۲	+۱/۵	۲۶/۲۷	-	-
۱۴/۱۵	۸	۰	۲۷/۲۸	-	-
۱۵/۱۶	-۱/۲	-۱	۲۸/۲۹	-۰/۵	+۲
۱۶/۱۷	-۰/۲	+۰/۵	۲۹/۳۰	۰	+۱/۵
۱۷/۱۸	+۴/۲	۰	جمع کل	+۴۵/۵	----

سه فرضیه برای جابجایی درزها متصور است :

۱- بلوکها به صورت موازی با یکدیگر حرکت کرده اند.

۲- پی کل سد و اطراف آن در نتیجه حرکت های تکتونیکی کمی منحرف شده و موجب چرخش پایه ها حول محور عمودی شده است .

۳- فرضیه سوم یعنی از ترکیبی از دو حالت قبلی است که غیر محتمل می باشد زیرا جابجایی نسبی در زیر درز انقباضی عمودی دیده نمی شود .

درزها	جابجایی نسبی عمودی (mm)	بازشدگی درز (mm)	درزها	جابجایی نسبی عمودی (mm)	بازشدگی درز (mm)
۱۰/۱۱	-۲/۴	+۱	۱۵/۱۶	-۰/۹	-۰/۱
۱۱/۱۲	-۱/۹	+۱/۷	۱۶/۱۷	-۰/۵	-۰/۴
۱۲/۱۳	-۱/۶	+۰/۲	۱۷/۱۸	-۰/۶	-۰/۳

۱۳/۱۴	-۱/۶	+۰/۱	۱۸/۱۹	-۰/۴	-۰/۱
۱۴/۱۵	+۱/۶	+۰/۴	۱۹/۲۰	-۱/۶	+۰/۳

علامت مثبت نشان میدهد که بلوک راست بلندتر از بلوک چپ می باشد همچنین علامت منفی نشان میدهد که درز باز شده است. جمع جابجایی از بلوک ۱۰ تا بلوک ۲۰ حدود ۱۰ میلی متر است .

۸-۵ فشارهای برکنش سد پس از زلزله ۱۳۶۹ رودبار- منجیل

فشارهای برکنش در زیر پایه های ۷ و ۱۱ و ۱۴ و ۱۸ و ۲۳ اندازه گیری شده است تاریخ اندازه گیری یازدهم تیر ماه ۱۳۶۹ و به اتم سفر (bar) میباشد این اندازه گیری ها نشان میدهد در تمام نقاط تماسی بین سنگ و بتن فشار برکنش به شدت کاهش یافته است به همین ترتیب در سنگ نیز فشار برکنش کاهش یافته است ولی در پایه ۲۳ فشار حداقل به صورت موقت ۰/۳ و ۰/۵ بار افزایش یافته است.

برای سد پس از وقوع زلزله در وهله اول باید اندازه گیری های ژئودتیک ویژه برای کنترل و وضع هندسی سد انجام گیرد این اندازه گیریها اعوجاج سد و پی آن و نشستهای نامساوی بین دو ساحل سنگی را نشان خواهد داد در وهله دوم باید شبکه ای کاملاً مبسوط ژئودتیکی باید نصب شود این عمل نقشه برداری کامل تغییر شکلهای سد و محدوده آزاد در خلال آگیری بعدی و همچنین در خلال سالهای باقی مانده بهره برداری از سد مقدور خواهد بود.

آخرین گزارش مشاور از وضعیت سد آسیب دیده در برابر زلزله به شرح ذیل منی باشد:

۱- بر اثر لرزش پایه های سمت چپ کمی به سمت بالادست کج شده اند پایه های میانی و سمت راست کمی به سمت پایین دست کج شده اند

۲- بر اثر ترک، قسمتهای فوقانی پایه هابه سمت بالا دست کج شده و ترکها را در قسمت پایین دست باز کرده اند

۳- انحراف کلی در تاج برائر کج شدن و تشکیل ترک، بین ۱ تا ۱۰ میلی متر است که تقریباً کم می باشد .

۴- با توجه به انحراف کم در رقوم سد و نیز هماهنگی خوب بین تغییر مکان محاسبه شده از کج شدن و انحراف اندازه گیری شده بوسیله پاندولها، لغزش قابل توجه در طول ترکها یا سایر درزهای اجرای رامیتوان رد کرد .

۵- بر اساس اندازه گیری ها و مشاهدات عینی بلوکها نسبت به یکدیگر دچار جابجایی نسبیه شده اند که این جابجایی در دو سوی دره بوده و جابجایی ها افقی یا عمودی بوده است کل پایه سد در اثر زلزله دچار اعوجاج شده و نشست نامساوی از یک سوی دره به سوی دیگر اتفاق افتاده است .

۶- فشار برکنش تا حدود زیادی کاهش یافته است.

۷- کلیه دبیها کاهش یافته تنها بعضیاز آنها افزایش کمی نشان دادهاند از سوی دیگر از زمینزلزله جابجایی های غیر عادی در زیر پایه شماره ۱۸ سد صورت گرفته است. یافته است که این امر باعث شده است در ۲۱ تیرماه ۱۳۶۹ خواستار کاهش سریع سطح دریاچه تا رقوم ۲۵۰ گشته که این موضوع نیز به علت زیر آب رفتن هزاران هکتار مزرعه برنج و تهدید زلزله زده هایی که در بستر رودخانه چادر زده اند ایجاد مشکلات عدیده ای نموده است .

سد سفیدرود در اثر زلزله بسیار ضعیف گردیده و برای آگیری بعدی از ایمنی کافی برخوردار نمی باشد.

پس از زلزله انهدام ساختمان های قدیمی تقریباً صد در صد بوده و بیشترین تلفات انسانی را بر جای گذاشته است ساختمانهای با مصالح جدید نظیر آجر و سیمان و تیر آهن نیز صدمات جدی دیده و اکثراً فرو ریخته و بندرت بر جامانده است ساختمانهایی که براساس اصول مهندسی ساخته شده و در طراحی آنها زلزله در نظر گرفته شده است در جاهایی که در معرض ریزش کوه یا گسلش زمین نبوده اند اکثراً صدمه ندیده اند و یا صدمات وارد بر آنها جزئی بوده است .

۵-۹ ترکهای ایجاد شده بر اثر زلزله ۱۳۶۹

۱-۹-۵ تئوری ترک:

یکی از پدیده های که اهمیت بسیار زیادی به لحاظ پایداری و یکپارچگی بتن و از سوی دیگر از نظر زیبایی ظاهری سازه دارد وجود ترک در بتن بدلیل اندرکنش آن با عوامل و شرایط محیطی (اعم از درونی و بیرونی) است. دانشی که مکان شروع و رشد (اعم از طول و جهت) ترک را بیان می کند به مکانیک شکست (Fracture Mechanics) معروف است که در این مرحله از مطالعات به علت آنکه از هدف تعیین شده به دور است، به آن پرداخته نمی شود. به طور کلی ترک (در بتن) را می توان جدایی مصالح بتن از طریق باز شدگی (Opening) یا لغزش (Sliding) دانست. از آنجاکه تنش و کرنش باهم بوجود می آیند هرگونه محدودیتی در تغییر شکل، باعث ایجاد تنشهایی متناظر با کرنش مقید شده میشود کرنش مقید شده تفاوت بین کرنش در حالت آزاد و کرنش اندازه گیری شده میباشد اگر اجازه دهیم کرنش مقید شده و تنش متناظر به اندازه ای شوند که مقدار آنها از ظرفیت یا مقاومت کرنشی بتن بیشتر شود، ترک خوردگی بوجود خواهد آمد. محدودیت و قید می تواند باعث ایجاد فشار بیا کشش شودولی در بیشتر موارد کشش مسئله ساز خواهد بود. دو نوع وجود دارد. محدودیت خارجی هنگامی بوجود می آید که توسط اعضای مجاور خارجی یا پی از تغییر شکل مقطعی از عضو بتنی به طور کامل یا جزئی جلوگیری شود. محدودیت داخلی هنگامی ایجاد میشود که بین مقاطع مختلف جسم بتنی اختلاف دما و رطوبت وجود داشته باشد محدودیت داخلیرا می توان در سازه های بتنی حجیم مثل سد مثال زد که در نتیجه هیدراسیون سیمان در آن گرما ایجاد میشود. از آنجا که سطح بتن در تماس با هوای محیط گرما از دست میدهد در نتیجه بین مقاطع مختلف دما بوجود می آید از سوی دیگر هیچ تغییر مکان نسبی بین قسمتهای مختلف امکان پذیر نمی باشد لذا کرنش حرارتی مقید شده و در نتیجه تنش ایجاد میشود. اگر تنش کششی از مقاومت بتن تجاوز کند ترکهای سطحی بوجود می آید گاهی نیز ترکیبی از محدودیتهای داخلی و خارجی بوجود می آید.

۲-۹-۵ عوامل محیطی موثر در ایجاد ترک

بطور کلی نیرو هایی که میتوانند عامل ترک در سدها باشند عبارتند از :

الف) درجه حرارت که خود میتواند در زمان سات سد (حرارت ناشی از هیدراسیون سیمان) عامل ترک باشد یا در زمان به ره برداریاز سد (درجه حرارت محیطی Ambient Temperature)

ب) واکنش شیمیایی که میتواند از واکنش بین سیمان و دانه های سنگی بوجود می آید. این امر وقتی دانه های سنگی خاصیت قلیایی داشته باشند حادثتر خواهد بود.

ج) بارهای اعمالی که این بارها می توانند ناشی از بار مخزن، زلزله، نشست پی، وجود گسل فعال، لغزش تکیه گاهها و یا در موارد خاص از انفجار (انفجار بمب یا موشک)

۳-۹-۵ انواع ترک

اما نیرو های فوق الذکر به سه حالت (Mode) میتوانند در بتن ایجا ترک کنند.

حالت اول (Mode I) - نیروها عمود بر ترک هستند (برای مثال اگر صفحه ترک افقی است نیرو ها قائم میباشند) که این حالت را باز شدگی (Opening Mode) مینامند.

حالت دوم (Mode II) - نیروهای عامل ترک به موازات ترک هستند و در جهت مخالف هم اثر می کنند از اینرو یک ترک برشی ایجاد می شود به عبارتی نیروها به گونه ای اعمال می گردند که مصالح بتن از صفحه اولیه خارج نمی شوند. به این حالت برش درون صفحه ای (IN plane shear) اطلاق می گردد.

حالت سوم (Mode III) - نیروها عامل ترک عمود بر صفحه ترک هستند این امر سبب می شود مصالح بتن همچون کاغذی که چاک داده می شود گسیخته شده و ترک بخورد و از صفحه اولیه خود خارج گردد. از این رو به آن برش برون صفحه ای (Out of plane shear) اطلاق می گردد.

در آن واحد امکان اینکه چند حالت با یکدیگر رخ دهند به عبارتی ترکیبی از حالت‌های سه گانه رخ دهد نیز می باشد در این صورت به آن حالت ترک مخلوط (Mixed Mode) گفته می شود.

۴-۹-۵ نوع ترکهای ایجاد شده در سد سفیدرود پس از زلزله

ترکهای ایجاد شده در سد سفید رود پس از زلزله سال ۱۳۶۹ آزیوت و شیب ترک در گزارشات ترمیم ترک سد سفید رود ۳۵۰/۸۰ آمده است با توجه به اینکه محور گالری در پایه ۱۸ حدوداً زاویه ۶۰ درجه با جهت شمال جغرافیایی می سزد لذا زاویه ترک با محور گالری حدود ۴۰ (بین ۳۵ الی ۴۰) میباشد.

بر اساس مشاهدات سطحی در محل ترکها و از جمله ترک پایه ۱۸ لبه های ترکها جابجایی مشهودی نسبت به هم ندارند از این رو ترک از نوع ترک بازشونده یا (Opening Mode) میباشد.

- ۱- ترکهایی که بیش از ۰/۳ میلیمتر میباشند بایستی تخریب شوند آنهایی که زیر ۰/۳ میلی متر هستند فقط تعمیر شوند.
- ۲- این ترکها بصورت گوه ای باز شده و بند کشی می شوند بتن از نوع B-۲۵۰ با عیار ۳۰۰ و دانه بندی ۶ تا ۳۰ میلی متر، میلگرد از نوع A۱ با تنش تسلیم برابر ۲۴۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع میباشد.
- ۳- برآورد قیمت ترکها برابر ۵۰۳۳۷۵۵۶ ریال می باشد.

۱۰-۵ وضعیت ترک پایه ۱۸

آزمایشات ترک پایه ۱۸ برای علاج بخشی این پایه بعد از زلزله شامل حفاری های اکتشافی که بصورت ۵ حلقه گمان هاکتشافی به عمق حداکثر ۵۰ متر و حداقل ۳۸ متر می باشد و جمعا ۲۲۲/۵ متر بوده به اتمام رسید و آزمایشهای صحرایی و تزریق سیمان در آنها صورت گرفته است. نتایج حفاری های انجام شده بیانگر آن است که پی بلوک ۱۸ از باخمیره آندزیتی ورگه های ضخیمی از توف سیاه رنگ تشکیل یافته است سنگ آگلومرا از نظر مقاومت در حد سنگهای متوسط و توفها در رده سنگهای ضعیف طبقه بندی می شوند از نظر نفوذ پذیری بطور کلی سنگ دارای نفوذ پذیری کم بوده اما درزه هایی در پی بلوک ۱۸ وجود دارند که هیچگونه آثاری از نفوذ سیمان در جریان اجرای پرده آب بند در زمان ساختمان سد مشاهده نگردیده است این موضوع بیان گر محدود بودن شعاع نفوذ سیمان در زمان اجرای تزریقات پرده آب بند می باشند همچنین آثاری از زون گسلی، برشی، و خرد شدگی مشاهده نگردید.

ترک پایه ۱۸ بعد از اولین آگیری سد بوجود آمده است و قدمتی معادل عمر سد سفید رود دارد. این ترک متا سفانه از ابتدای پیدایش مورد بررسی قرار نگرفته است. هیچگونه اندازه گیری کمی تا قبل از سال ۱۳۷۵ از آن وجود ندارد. به مرور زمان بر اثر رسوب کربنات کلسیم این ترک پر و آب بند شده و نشست قابل ملاحظه ای تا پیش از زلزله ۳۱ خرداد ماه ۱۳۶۹ نداشته است. بعد از زلزله بر اثر تکانهای شدید، رسوبات مذکور بر اثر سایش سختی خود را از دست داده و به صورت پودر در آمده است. به منظور عملیات ترمیم در سال ۱۳۶۹ مخزن سد به سرعت خالی شده و چون فشار آب بر روی ترک وجود نداشته است طبیعتاً هیچگونه نشستی (Seepage) هم در جریان ترمیم مشاهده نشده است. در جریان اولین آگیری بعد از عملیات ترمیم، ترک مزبور دچار نشست آب شده است.



شکل ترک پایه ۱۸

فشار وارد بر سطح ترک آنقدر زیاد است که بتواند در بسیاری موارد بلوک بتنی بالی خود را به وزن حدود ۴۰۰۰ تن به میزان تا ۲ میلیمتر از جای خود بلند کند و درپاندولهای هوایی تا ۵ میلی متر جابه جایی به سمت پایاب اندازه گیری شد. علت این جابه جایی نقطه آویز پاندول را می توان به این ترتیب تفسیر نمود که ترکهای سد عموماً در سرآب بسته تراز پایاب بوده اند . با پر شدن ترک با رزین و کمی بلند شدن بلوک رویی در طول عملیات تزریق و درمدت زمان گیرش بلوک رویی تحت اثر وزن خود ترک باز پایاب را مسدود مینماید. در نتیجه بلوک اندکی به سمت پایاب کج می شود ونقطه آویز پاندول به سمت پایاب جابه جا میشود . این کج شدگی به سمت پایاب به میزان حداکثر ۲۲ ثانیه توسط کلینومترهای گالری تاج تتایید شده اند.

همچنین فشار زیاد سبب تغییر شکل های الاستیکی ودائمی بتن باز شدن بیشتر ترک ها وافزایش طول آنها وبالاخره شکست بتن می شود . لذا کاربرد این روش در مورد ساختمانهای حساس به تغییر شکل وکج شدن مناسب نیست.

۶- عملیات بازسازی و تقویت سد آسیب دیده سفیدرود:

عملیات بازسازی را میتوان به دو گروه تقسیم کرد: عملیات مقدماتی و عملیات اصلی
این عملیات شامل کلیه کارهای سیویل و هیدرو دینامیکی سد وسازه های وابسته به آن بوده و شامل تجهیزات الکترومکانیکی نمی شود.

عملیات مقدماتی : رفتار نگاری سد و عملیات بررسی که مراحل زیر انجام گرفته است

-تشکیل تیم جدید برای رفتار نگاری توسط شرکت مهندسی مشاور و مشارکت شرکتهای اشتوکی -الکترووات
- تفسیر دائمی رفتار سد

- تعمیر پاندولهادر پایه شماره ۱۸ و ۱۴

- انجام یک سری اندازه گیری های ژئودزی شامل تعیین راستای تاج جهت کنترل هندسه سد

- تهیه نقشه و عکسهای هوایی برای کارهای فوق

- انجام ترازیابی روی تاج جهت ارزیابی نشست های سنگ

- پیاده کردن یک شبکه گسترده ژئودزی قبل از پر شدن مجدد مخزن

- انجام اندازه گیری های مقدماتی ژئودزی قبل از پر شدن مجدد مخزن

- خرید یک دستگاه ویلاتومتر(درزه سنج) برای اندازه گیری های در تاج که دامنه تغییرات آن وسیع تر باشد

- ساخت و تعبیه یک وسیله اندازه گیری برای کنترل حرکات گوه بتنی در پشت بندها شماره ۱۵

- تعبیه شبکه ثبت لرزه نگاری (ایستگاه لرزه نگاری در سد و پی سد)

- پایدار سازی سنگها و اصلاح جاده های دسترسی
- پایدار سازی یا انفجار و تخلیه تخته سنگهای ناپایدار واقع بر روی هر دو تکیه گاه
- سیستماتیک شیبهای سنگی در هر دو تکیه گاه
- پاک سازی سنگهای روی جاده های دسترسی
- تعمیر جاده های آسیب دیده دسترسی
- بازرسی شیبهای واقع در مخزن

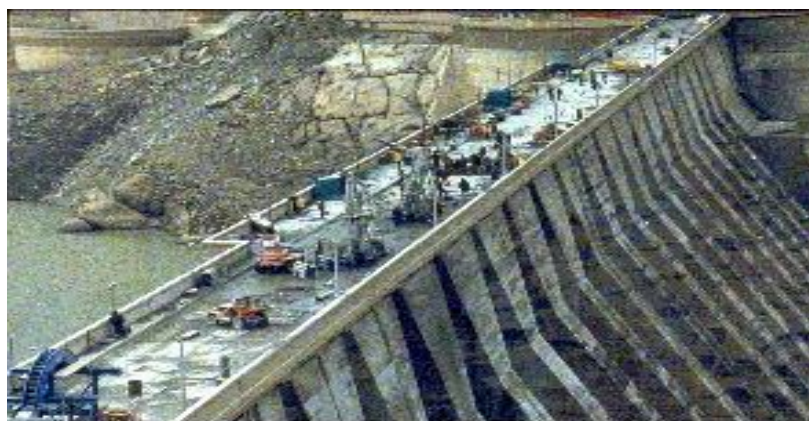
۶-۱ عملیات اصلی که در پایه های صدمه دیده انجام شده است:

- ۱- بلو کهای سست بتنی پشت بندها با استفاده از پیش تنیدگی پایدار گردیده است.
- ۲- ترک های عمده با تزریق اپوکسی تعمیر شده است.
- ۳- ترکهای جزئی باید مورد بررسی قرار گرفته و تعمیر شود .
- ۴- پشت بندها تقویت شده است..

۶-۲ مراحل کاری

اهم کارهایی که برای مرمت سد آسیب دیده سفیدرود پیش بینی بود به قرار زیر است .:

- ۱- ساخت سکوهای اجرای کار
 - ۲- تمیز کردن و آماده کردن ترک های اصلی
 - ۳- مرمت ترکهای اصلی به وسیله تزریق اپوکسی
 - ۴-مرمت درز اجرایی سست شده در صورت نیاز
 - ۵- نصب مهار سنگ و پیش تنیده کردن
 - ۶- باز سازی دیوار جان پناه سمت پایین دست در تاج سد
 - ۷- باز سازی دیوار جان پناه سمت بالا دست در سکوی بالادست در رقوم ۲۶۳
 - ۸- تعمیر ریل دریچه در طول سطح بالا دست برای تمام دریچه ها
 - ۹- تعمیر نیروگاه و اتاق فرمان
- عامل زمان بندی تعمیر در مدیریت بحران سد آسیب دیده بسیار مهم می باشد پرهیز از مسائل اداری و امکان بهره برداری عادی از مخزن در طول دوره ترمیم حائز اهمیت می باشد.



۶-۳ موارد مهندسی برای ترمیم سد سفیدرود :

برای تقویت و مرمت سد آسیب دیده سفید رود برای بهره برداری مطمئن از سد در خلال دوره ترمیم بررسیها و مطالعات زیر به ترتیب اولویت پیشنهاد گردیده است:

۱- طرح کلی برای کارهای تعمیراتی پایه های سد سفید رود: تهیه طرح کلی برای تعمیر ترکها در پایه ها بوسیله تزریق پیش تنیدگی و طراحی جزئیات عملیات ترمیم

۲- مطالعات هیدرولوژی برای بهره برداری مطمئن از مخزن در طول دوره ترمیم و دوره های آبیگری بر اساس شرایط هیدرولوژیکی حوزه آبریز و بر اساس پیشرفت عملیات مرمت، رقوم های مطمئن بهره برداری باید مشخص شود این عمل باید برای انواع سیلابها تعیین شود.

۳- تعیین زلزله برای سد سفید رود: براساس آمار تاریخی زلزله ها، آمار زلزله ۲۱ ژوئن ۱۹۹۰ و پس لرزه ها آمار سیسموتکتونیک و زمین شناسی شعاع ۲۰۰ کیلومتری محل سد زلزله های طراحی واقعی باید مشخص شود.

۴- آنالیز زلزله سد سفید رود: آنالیز دینامیکی بلندترین پشت بند سد باید برای زلزله طرح انجام شود پشت بند اصلی آسیب ندیده با آسیب شبیه سازی شده (مشابه آسیب وارده در زلزله ۳۱ خرداد) باید برای بارهای استاتیکی و دینامیکی آنالز شود روشهای پذیرفته شده برای رفتار متقابل سد، مخزن و سد، پی مورد نظر قرار گیرد.

۵- طرح کلی برای تقویت سد سفید رود: پس از خاتمه عملیات مرمت مقاومت سد مانند مقاومت قبل از زلزله ۲۱ ژوئن (۳۱ خرداد) خواهد شد به عبارت دیگر زلزله مشابهی ممکن است به سد صدمه بزند طرح کلی برای افزایش مقاومت در مقابل زلزله با توجه به زلزله طراحی بهنگام شده باید تهیه گردد.

۶- طرح کلی افزایش ظرفیت سرریز سد سفید رود: ظرفیت سرریزها و خروجی های موجود احتمالا برای سیلابهای شدید ناکافی است امکان وقوع چنین سیلابهایی باید مورد بررسی قرار گیرد.

۷- طرح اضطراری برای سد سفید رود: طرح اضطراری برای هر سدی باید با توجه به دبی های مختلف سیلابهای بزرگ بر اساس حالت های شکست تهیه شود بر پایه آنالیز موج سیل مربوطه هشدار دهنده ای به همراه شرایط بهینه بهره برداری تخلیه کننده ها تحت شرایط غیرعادی باید تهیه شود.



۴-۶ تقویت سد

برای آنکه سد در برابر زلزله های محتمل آینده مقاومت کافی داشته و خطری متوجه اهالی و مستحذات پایاب نباشد میبایست مقاومت ناچیز کششی بتون سددبنحوی افزایش یابد برای این منظور از روش پس تنیدگی بتن استفاده شده است. نیروی کل پستنیدگی هر بلوک سد به شرح زیر تعیین و تامین گردیده است :

-بلوکهای سمت راست وچپ شامل بلوکهای ۵،۶،۷،۲۴ تا ۲۷ برابر ۵۰/۴ مگا نیوتن .
 - بلوکهای قسمت مرکزی سد از بلوک ۸ تا ۲۳ برابر ۱۰۸ مگا نیوتن .
 برای تامین این بارگذاری روی بلوکهای کناری تعداد ۶ وروی بلوکهای مرکزی تعداد ۱۲ مهاری هر یک به نیروی کار ۸/۴ مگانیوتن طراحی شده است

ترتیب نصب مهاری ها به گونه ای است که روی سطح ترک خورده بتن در تراز ۲۶۲/۲۵ بار فشاری یکنواختی به میزان ۳۲ کیلو پاسکال روی بلوکهای کناری و ۶۵ کیلوپاسکال روی بلوکهای مرکزی ایجاد می نماید .سوی این مقدار تنش فشاری انرژی بسیار زیادی در مهاری های با طول آزاد ۳۰ متر ذخیره می باشد که در موقع وارد شدن بارهای استثنائی بر سازه میتواند به کمک بتن بهشتاب در واقع بین و وضعیت فعلی سد تقویت شده تا مرحله پاره شدن مهاری ها ،منطقه پس تنیده سد می بایست نزدیک یک دسیمتر باز شود تا مهاریهای فولادی به مرحله گسیختگی برسند ،که این اری محال است و دیگر در هیچ رویدادی سد از این ناحیه صدمه نخواهد دید .

اجزای متشکله مهاری پس تنیده(Post tensioned rock anchor) عبارتند از :

- ۱- سر مهاری (Anchor head) که مهاری را به سازه مهار شده متصل می نماید.
- ۲- کش یا عضو کششی(Tendon) که نیرو را از سر مهاری به قسمت گیردار مهاری منتقل می نماید .
- ۳- قسمت گیرداری یا مهاری ثابت(Fixed Anchor) نیروی کش را به زمین یا منطقه ای از سازه که توان بار یری کافی دارد منتقل می نماید .
- ۴- صفحه پخش تنش(Bearing Plate) صفحه ای معمولاً فلزی است در زیر سر مهاری که نیروی کشش را به توده بتن یا سنگ منتقل می نماید.

مدول الاستیک کش های بکاررفته در سد سفیدرود برابر ۱۹۵۰۰۰ مگا پاسکال تعیین شده است مصالح بکاررفته کابل های مهاری است که برای ساخت آنها بر اساس استاندارد ASTM 416-85 از هفت رشته سیم بیکدیگر تابیده شده استفاده میشود کابل برای ساخت مهاری فاقد تنش اولیه و بعبارت دیگر تنش زدوده (Stressrelieved strand) است سطح مقطع اسمی آن ۱۴۰ میلی متر مربع است

مشخصات بتن و آرماتور ساخت سرمهاریها بشرح زیر است :

آرماتور نوع AIII استاندارد ایران .

بتون با مقاومت فشاری مکعب ۲۸ روزه ۱۵ مگاپاسکال.

مشخصات بتن مصرف شده برای ساخت سرمهاریها با دانه بندی ۲۰-۰ میلی متر سیمان پرتلند نوع ۲ به عیار ۴۴۰ کیلوگرم در متر مکعب بوده است دوغاب سیمان دوغاب جهت تزریق گیرداری مهاری مخلوطی از سیمان پرتلند ،نوع ۲ کارخانه آبیک و ماده افزونه بنام فلوکیبل و آب می باشد این دوغاب از نوع پایدار با نسبت های ترکیب زیر می باشد:

سیمان	۱۰۰ کیلوگرم
آب	۳۸ لیتر
ماده افزونه	۵ کیلوگرم

حفاری آنکراژ به قطر ۲۵۴ میلی متر توسط چکش ته چاه بصورت ضربه ای روتاری انجام شده است دو دستگاه دریل واگن سنگین کازاگرانده مدل C8 برای انجام حفاری ها مورد استفاده قرار گرفتند .رندمان حفاری دستگاه بطور متوسط ۴ متر در ساعت بوده است علاوه بر حفاری چاهها ،تخریب بتن سد برای ساخت و نصب سر مهاری با همین دستگاهها صورت پذیرفته است ابعاد تخریب بر حسب زائیه تمایل چاهها متغیر ولی بطور متوسط حدود ۱/۴*۴/۱*۱/۵ متر ژرفا ابعاد فقی بوده است .

۵-۶ جایگذاری مهاری

جایگذاری مهاری درون چاه توسط ماشین مخصوصی که صرفاً برای نصب مهاریهای سفیدرود طراحی و ساخته شده بود انجام گردیده است این ماشین عبارتست از قسمت حرکتی که مشتمل بر موتور دیزل، کنورتور نیرو به فشار هیدرولیک و چرخ زنجیر است و قسمت دیگر ماشین ریل منحنی جایگذاری مهاری است کنترل های اعمال شده بر مهاری بهنگام جایگذاری عبارتند از :

_ فاصله اندازه های طول گیرداری ضمن حرکت مهاری روی زمین و روی ریل دستگاه جایگذاری جابجا نشده باشند در صورت جابجایی سر جای خود لغزانده می شوند _ روی هر فاصله انداز یک عدد متمرکز کننده (Centralizer) بسته میشود تامهاری را در داخل چاه در مرکز آن قرار دهد. - در اثر جابجایی و نصب مهاری لوله های محافظ کابلها سوراخ یا پاره نشده باشند در صورت مشاهده هرگونه پارگی با چسب نواری مسلح مخصوص محل تعمیر میشود تا دوغاب سیمان از این راه وارد لوله محافظ نگردد.



۶-۶ تزریق گیرداری

تزریق گیرداری از طریق لوله تزریق مهاری انجام می پذیرد پس از شروع تزریق با توجه به آنکه دوغاب از ته چاه وارد می شود ابتدا آب موود از چاه خارج و سپس دوغاب سیمان از چاه بیرون میاید دوغاب خارج شده ابتدا رقیق تدریجا غلظت آن افزایش میابد عملیات تزریق موقعی پایان میپذیرد که غلظت دوغاب خروجی از سر چاه به غلظت دوغاب تزریق شده برسد. غلظت با کنترل وزن مخصوص کنترل میشود در طول هر بار عملیات تزریق ۶ نمونه مکعب جهت انجام آزمایش فشاری برداشته میشود به علاوه نمونه هایی نیز جهت اندازه گیری نشست و تعیین وزن مخصوص برداشته می شود. همچنین در طول عملیات تزریق یک دستگاه پمپ کفشآب و دوغاب اضافی را از سر چاه تخلیه می نماید و دوغاب اضافی وزایل شده را بهمحلی از قبل تعیین شده منتقل و دفع می نماید.

ترمیم سد بعد از زلزله شامل موضوع : تامین آب بندی و یکپارچگی سازه ای سد با تزریق اپوکسی و تقویت سد در برابر زلزله های احتمالی بعدی با اجرای مهارهای پس تنیده.

مدت: مدت قرار داد ۸/۵ ماه ، که ظرف ۵/۵ ماه اول می بایست عملیات ترمیم توسط تزریق رزین پایان پذیرد.
مبلغ : شامل ۱۵۶۴۰۰۰۰ دلار آمریکا و ۴۲۲۰۵۰۸۰۵ ریال که می تواند برابر ± 25 در صد تغییر یابد.

۱-۶-۶ روش تزریق ترک ها

۱-۶-۶-۱ متودولوژی روش ترمیم ترکها

اصول روش مبتنی بر چسباندن ترک ها با رزین دو مولفه ای اپوکسی (چسب دو قلو) می باشد . برای رساندن رزین به سطح ترک از یک شبکه چاه به قطر ۴۶ میلی متر که بفواصل ۱,۵ تا ۳ متر از یکدیگر ترک را قطع می نماید استفاده شده است . این چاهها از تاج سد حفاری شده اند . چاهها با مسدود کننده ساده مکانیکی بسته میشوند تا رزین تزریق شده از اطراف لوله تزریق به بیرون

نشت نکند. ابتدا و قبل از شروع عملیات تزریق رزین سطح ترک با تزریق همزمان آب تحت فشار از تمامی چاهها (تحت فشار ۲ بار) شستشو می شود تا مواد ریزدانه حتی الامکان از سطح ترک پاک شوند. بعد رزین های آماده شده توسط پمپ با فشار زیاد حدود ۷۰ بار روی سطح ترک پخش می شوند. این فشار زیاد سبب می شود تا رزین به داخل خلل و فرج و ریزه ترکهای بتن کاملاً نفوذ کرده و در نهایت دو تکه بتن از هم جدا شده را به یکدیگر بچسباند. فشار زیاد رزین آب و رطوبت را از مسیر خود پس می زند.

۲-۱-۶-۶ حفاری

حفاری برای تزریق رزین توسط دستگاه حفار دورانی دیامک ۲۵۱ کرلیوس انجام شده است. این دستگاه توسط پیچ سنگ به بتن سد متصل می گردد و با تغییر زاویه محور حفاری بر اساس نقشه از قبل تهیه شده چاههای مورد نظر را حفاری می نماید. مته به کا رفته از دونوع مته الماس دیابوریت قطر ۴۶ میلی متر با امکان مغزه گیری و مته سر پرکوروبوریت بوده است. این مته ها بویژه نوع دیابوریت برای حفاری سازندهای سخت به کار می روند. بر خلاف تصور اولیه پیمانکار در مورد سختی بتن سد، بتن به راحتی قابل حفاری بود. راندمان حداکثر حفاری تا ۱۵ متر در ساعت اندازه گیری شد. راندمان متوسط حفاری با توجه به حفاری بیش از ۱۸ کیلومتر چاه در مدت ۳۵۰۰ ساعت کار عملاً کمی بیش از ۵ متر در ساعت بوده است.

۳-۱-۶-۶ ویژگی های رزین اپوکسی

رزین اپوکسی بسته بندی کارخانه GAIRESA اسپانیا در ترمیم سد سفید رود مصرف شده است. دو نوع رزین به کار رفته در ترمیم ترکهای سد با نام های تجاری Bepox sc 625 با گرانیوی کم یا رزین مایع و Bepox IM 624 با گرانیوی میانگین می باشند.

۴-۱-۶-۶ تقویت شکستگی های گوه ای پایاب پایه ها توسط میل مهار و رزین

برای آنکه شکستگی های گوه ای بوزنی بین ۲۰ تا ۹۰ تن به هنگام تزریق رزین با فشار زیاد جا به جا نشوند قبل از تزریق اقدام به دوخت آنها به بدنه سد گردید. عملیات دوخت هر گوه توسط چهار عدد میلگرد آجدار قطر ۳۰ میلی متر که توسط رزین اپوکسی گوه را به بدنه سد می چسباند انجام گردید. همزمان تزریق قسمتی از ترکهای باز اطراف گوه ها نیز انجام شد.

۵-۱-۶-۶ تزریق رزین

تزریق رزین از چاههای پایاب ترک پاغاز و به طرف سراب انجام شده است. تزریق هر چاه آنگاه خاتمه می یابد که رزین از لبه های ترک خارج شود و یا در چاه مجاور ورود رزین که توسط سوند تشخیص داده می شد مشاهده شود. در نهایت خروج رزین از رویه سراب سد نشانه پر شدن سطح ترک و خاتمه عملیات بود.

فشار تزریق در سر چاه و داخل پمپ تزریق بین ۱۵۰ تا ۳۰۰ بار در نوسان بود و در واقع رزین با ضربات هیدرولیکی (ضربه قوچ) در خط لوله جریان می یافت.

۳-۶-۶ برنامه عملیات ترمیم سد با تزریق رزین

بر اساس قرارداد عملیات تزریق رزین می بایست ظرف مدت ۵/۵ ماه از تاریخ پیش پرداخت به اتمام برسد. علیرغم افزایش شدید مقادیر با مساعدت استثنایی کارفرما در مورد مسائل مربوط به ترابری هوایی رزین، ترخیص گمرکی بدون وقفه و پرداخت وجوه ارزی وریلی پیمانکار توانست عملیات ترمیم را با دو روز تاخیر نسبت به برنامه قرارداد در ۱۳۷۰/۱/۲۷ به اتمام برساند.

۷-۶ شناسایی ترکها و کیفیت فنی اجرای سد

۱-۷-۶ شناسائی ترکهای سد

در اولین مرحله پس از حدوث زمین لرزه ترک های سد توسط مشاهده و تراوش آب در پایاب سد مشخص و نقشه برداری گردید. با تجهیز کارگاه و آغاز عملیات ترمیم طی دستور کاری از پیمانکار خواسته شد با حفاری و آزمایش آب تعدادی سونداژ شناسایی (یک سونداژ روی هر بلوک سد) تعداد و میزان باز شدگی ترکها را برحسب میزان تراوایی آنها مشخص نماید.

۲- در جریان آزمایش آب و سونداژهای شناسایی ترک های زیر مشخص گردید:

A- تعداد ۱۶ ترک بزرگ با آبخوری بیش از ۲۰ لیتر در دقیقه.

B- تعداد ۲۳ ترک متوسط با آبخوری بین ۲۰ تا ۵ لیتر در دقیقه.

C- تعداد زیادی ترکهای ریز با آبخوری کمتر از ۵ لیتر در دقیقه

ترک های A,B در بلوکهای ۵ تا ۳۰ شناسایی شدند. پائینترین آنها در تراز ۲۵ و ۲۴۸ (۲۸ و ۲۵ متر زیر تاج) و بالاترین آن در تراز ۲۵ و ۲۷۲ (۴۵ و ۴۰ متر زیر تاج) قرار داشتند.

نمونه های استخراج شده نشان داد بتن سد با آب بسیار زیاد ساخته شده و پدیده جدایی دانه ها (segregation) به شدت در آن روی می داده است. مقاومت بتن سد در حدود ۱۶ تا ۲۴ مگا پاسکال بیشتر نیست ، در حالیکه مقاومت بتن سد پس از گذشت حدود ۳۵ سال از عمر آن می بایست حداقل در حدود ۲۸ تا ۳۰ مگا پاسکال باشد.

۸-۶ خصوصیات بتن سد سفید رود :

به دلیل کرم بودن بتن روی سطوح واریز اکثرا این سطوح (حتی آن دسته که از زلزله صدمه ای ندیده اند) نفوذ پذیری اندکی نشان میدهند . سطوح واریز بتن سد بر اساس مشخصات فنی رایج می بایست پس از بتن ریزی با واتر جت یا به طریق سند بلاست پاک و زیر شوند . در موقع بتن ریزی بعدی این سطح کاملا تمیز و عاری از هرگونه دوغاب سیمان می باشد ابتدا با یک لایه بتن بدون شن درشت و با عیار سیمان بالا به ضخامت یک دسی متر پوشیده می شود تا چسبندگی بتن جدید و بتن قبلی را تامین کند. به این ترتیب سطح واریز مقاومت کششی نزدیک به مقاومت بتن توده پیدا خواهد نمود . به نظر میرسد هیچیک از این دستورالعملها در ساختمان سد سفید رود مراعات نشده اند . بالاخره به هنگام حفاری سونداژهای شناسایی و سپس به هنگام حفاری برای تزریق رزین مشخص گردید در داخل بتن کلوخه های بزرگ و کوچک گل رس با ابعاد تا حدود دسی متر وجود دارد که احتمالا به همراه ما سه رودخانه ای مصرف شده برای تولید بتن وارد آن گردیده است . بریده های بتن حفاری شده توسط مته الماس نیز متشکل از گل چسبیده می باشد که نشان می دهد شستشوی ماسه برای ساخت بتن سد کافی نبوده است . مجموعه این نارسایی های منجر به ساختمان سدی با کیفیت پایین از نظر مقاومت و وزن مخصوص گردیده و مقاومت کششی روی سطح واریز آن تقریبا برابر صفر است

بعید بود اگر سد مطابق مشخصات فنی ساخته می شد زلزله بر آن خساراتی وارد می نمود.

۷-تعریف و طبقه بندی خسارات بر سازه های سیویل

۱-۷ خسارات وارده بر سازه های سیویل در منطقه زلزله

با کنکاشی مفصل در منطقه کانونی زمین لرزه می توان خسارات وارد بر ساختمانهای سیویل را به صورت زیر طبقه بندی نمود :

الف- ساختمانهایی که به طور کامل منهدم شده اند علل انهدام یکی از عوامل زیر بوده است:

۱- نداشتن مقاومت در برابر لرزش :این ساختمانها عموما از مصالح بدون مقاومت کششی ساخته شده اند و در اجرای آنها هیچگونه مشخصات فنی رعایت نشده است

۲- در اثر گسلش زمین و گسیختگی پی

۳- در اثر لغزش کوه و سقوط سنگ

ب- ساختمانهایی که خساراتی متحمل شده اند ولی بطور کامل منهدم نشده اند

ج- ساختمانهایی که خسارتی ندیده اند :تعداد قابل توجهی از ساختمان در منطقه کانونی در جریان زلزله خسارتی ندیده اند از جمله این سازه ها ساختمانهای صنعتی نظیر نیروگاه ۸۰۰ کیلو واتی انبارهای کارگاه سد سفید رود، همچنین اکثر پلها و تونل های منطقه یاد نمود...

سد سفید رود وسازه های وابسته به آن و تاسیسات آنرا می توان جزوه سازه های ردیف «ب» یعنی خسارت دیده ولی منهدم نشده محسوب نمود در واقع بر سد و سازه های آن صدمات جدی وارد شده که در صورت عدم تعمیرات بموقع امکان به ره برداری از آن وجود نداشت .

۷-۲ خسارات وارد شده بر سد سفیدرود

خسارات وارد شده بر سد سفیدرود را میتوان به صورت زیر طبقه بندی نمود:

۱- ربع فوقانی پشت بندهای سد به طور افقی در طول درزهای ساختمانی مختلف ترک خورده که بزرگترین ترک در محل تغییر شیب رویه پایین دست (تراز ۲۶۲/۲۵) واقع شده است پشت بندهای مرکزی از شماره ۱۰ تا ۲۰ که آبیگرهای نیروگاه، تخلیه کننده های عمقی و آبیاری در آنجا واقع شده اند بیشترین خسارات را برداشته اند.



۲- حداکثر عرض ترک در پشت بندها ۱۰ میلی متر است در پشت بند شماره ۱۵ یک گوه مثلثی شکل به ارتفاع حدود ۴ متر در قسمت قوسی تنه و سر پشت بند بوجود آمده و ۲۰ میلی متر به پایین دست جابجا شده است در بعضی دیگر از پشت بندهای مرکزی نیز گوه های مشابهی ایجاد شده ولی در آنها جابجایی صورت نگرفته است

۳- در سطح درزهای اجرایی آثاری وجود دارد که نشان دهنده ضعیف شدن آنها می باشد.

۴- دیوار جان پناه در سمت پایین دست تاج سد به طرف پایین دست کج شده در قسمت کف به شدت ترک خورده و چندین آرماتور آن شکسته است.

۵- در اثر لرزش شدید زمین قسمت تحتانی پشت بندها کمی به طرف پایین کج شده ربع فوقانی همه بلوکها همه بلوکها به طرف بالا دست کج شده و باعث پهن تر شدن ترک های رویه پایاب گردیده است.

۶- ریزش بتن در طول درزهای ساختمانی عمودی و اندازه گیری های مهندسین مشاور نشان میدهد که پشت بندها به صورت قانون مند و به طور نسبی به طرف هم حرکت کرده اند در تاج سد، جابجایی تجمعی پشت بندها بین ۵۰ تا ۷۰ میلی متر می باشد به این معنی که تکیه گاه چپ به طرف پایین دست تغییر مکان داده است و بر عکسش تکیه گاه چپ نسبت به تکیه گاه راست جابجا شده است.

در پای درزهای عمودی عملاً جابجایی درز دیده نمی شود این نشان میدهد که گسل فعالی از پی سد عبور نمی کند.

۷- آثار حرکات زمین ساختی در سد مشهود نیست وقوع ترکهای آسفالت جاده اصلی در ساحل راست رودخانه مخصوصاً ترکی که از تونل در نزدیکی محل سدمی گذرد حکایت از وقوع گسلش، به احتمال زیاد در طول گسلهای موازی با تاج سد دارد.

۸- از آنجا که ترکهای افقی اصلی پشت بندها را کاملاً قطع کرده اند مقاومت قسمت فوقانی بخش مرکزی سد در مقابل بارهای آب و زلزله کاهش پیدا کرده است با توجه به تعداد زیاد پس لرزه ها که بزرگی آنها به ۵/۹ ریشتر می رسد سطح آب مخزن باید به طور یکنواخت پایین برده شود هر گونه افزایش سطح آب مخزن قبل از انجام، حداقل بخشی از تعمیرات لازم تحت هیچ شرایطی تحمل نخواهد شد بنا بر این در وقوع سیل کلیه در پیچه های تخلیه کننده عمقی باید برای کنترل سطح آب مخزن، باز نگهداشته شود.

۹- ریزش حجیم کوه در هر دو تکیهگاه و سواحل رودخانه راه‌های دسترسی به تاج سد و پل اسکلت فلزی پایین دست سد را مسدود کرده است اولین دکل انتقال برق در ساحل چپ نیز در اثر برخورد با سنگ واژگون شده و باعث قطع جریان و از کار افتادن نیروگاه گردیده است وجود تخته سنگهای عظیم پس از زلزله در نزدیکی تاج سد نشان می‌دهد که سرریزهای میانی و نیلوفری و کانالهای سرریز، نیروگاه، دکل‌های برق و سوئیچ یارد در معرض خطر شدید سقوط سنگ می‌باشند.

۱۰- آسیبهای زیر به شبکه رفتار نگاری وارد شده است :

الف- دو شاقول معلق که به علت خم شدن لوله‌های محافظ از کار افتاده است.

ب- یک ایستگاه دیلاتومتری در تاج سد تخریب شده است در ۱۵ ایستگاه دیگر فاصله هدفها از حدود فاصله تعیین شده (range) برای دستگاه اندازه‌گیری خارج گردیده است .

۱۱- باز شدگی تعداد زیادی سطوح واریز در فاصله تاج سد تا عمق حدود ۳۰ متر که عمده بازشدگیها در ژرفای ۱۵ متری زیر تراز تاج سد واقع هستند

۱۲- در بلوک‌های مرکزی پس از بازشدگی سطوح واریز بخش‌هایی در اثر لرزش روی بخش زیرین جابجا شده و آثار برشی بر جا گذاشته است حداکثر میزان جابجایی حدود ۵mm است .

۱۳- ایجاد ترکهای قطری (inclined cracking) و قائم در توده بتن بلوکهای بلند مرکزی سد که در هسته بتن ایجاد خردشدگی نموده است (نظیر اثر سنگ شکن فکی)

۱۴- شکست گوه ای (wedge failure) پشانی پایه‌های بلند مرکزی و حرکت رو به پایاب بعضی از گوه‌ها تا میزان ۲۰mm
۱۵- صدمات ناشی از ضربه آب دریاچه به هنگام لرزش قوی که سبب خرد شدن بخش مهمی از دیوار جان پناه بالکن سراب شده بود.

۱۶- ضربات هیدرودینامیکی صدمات قابل توجهی به دریچه‌های رادیال سرریز میان‌بوارد نموده که از جمله کمانش و لهیدگی بازوی فشاری دریچه و ایجاد ترک در صفحه پخش فشار وی بتن تکیه‌گاه یکی از دریچه‌ها گردیده است.

۱۷- بازشدگی سطوح واریز در مجاورت پی سنگی و کمی بالاتر از منطقه گیر داری کنسول سد در سنگ: این باز شدگی ناچیز فقط در رویه سراب اتفاق افتاده و پدیده‌های سطحی است.

۱۸- سنگ لغزش‌های نسبتاً بزرگ در دو طرف سد که تصادم شدیدی با سد و ابنیه اصلی نداشته است.

۸- نتیجه گیری

۱- سد سفیدرود دقیقاً در مرکز زلزله واقع شده و میتوان فرض کرد که یکی از گسل‌های دخیل در زلزله از چند صد متری (بالادست یا پایین دست) محور سد به موازات آن می‌گذرد اما احتمالاً هیچ گسل فعالی درست از پی سد عبور نمیکند.

۲- پشت بندهای سد به ویژه در قسمت میانی متحمل صدمات سازه‌ای شدید شده اند ترکهای عریض افقی را میتوان در طول درزهای اجرایی در قسمت‌های بالا دست و پایین دست در یک چهارم از قسمت فوقانی پشت بند مشاهده کرد .

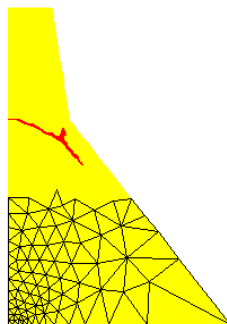
۳- پیشنهاد ارائه شده برای ترکهای سازه‌ای پایه‌ها مشابه تکنولوژی به دست آمده از ترمیم ۱۰ سد بتونی در سراسر دنیا از جمله زوی زیر سوئیس و سد گابریل در پرتغال مرمت کرد.

۴- در محل پشت بندهای میانی و در محدوده ربع فوقانی سد، ترکهای افقی بزرگی در طول درزهای اجرایی در مناطق تبدیل بدنه و راس پشتبندها مشهود است در یک مورد در قسمت پایاب سد یک گوه مثلثی شکل به ارتفاع ۴ متر بر روی قسمت فوقانی بدنه پشت بند مرکزی تشکیل شده است این گوه ۲۰ میلی متر به سمت پایاب حرکت کرده است بعد از وقوع زلزله به علت ایمنی کمی که سد داشته است مقداری آب رها شده و از مخزن در تراز مطمئنی استفاده شده است (حدود ۵ متر پایین تر از تراز قبل از زلزله).

۵- تا پیش از زمین لرزه ۱۳۶۹ رودبار و منجیل دو سد بتنی وزنی در اثر حرکات شدید زمین لرزه آسیب دیده بودند یک سد بتنی وزنی کوینا (koyana) در هندوستان که طی زلزله سال ۱۹۶۷ با بزرگی ۶/۵ ریشتر قسمت فوقانی آن تحت اثر نیروی وارد از طرف مخزن سد آسیب دید و دیگری سد بتنی پایه دارهسین فنگ کیانگ (hsin feng kang) در چین که طی زلزله سال ۱۹۶۲ با بزرگی ۶ ریشتر در قسمت فوقانی آن تحت اثر نیروی وارد از طرف مخزن سد ترکهایی ایجاد شد (فاصله مرکز زلزله تا سد ۱/۲ کیلومتر است) هر دو سد میبایستی متحمل تعمیرات اساسی و عملیات بازسازی گردند تا اینکه مجدداً از نظر سازه ای فاقد نقص شده و مقاومت آنها در مقابل زمین لرزه بهبود یابد

۶- اکثر صدمات وارد بر سد سفیدرود در زلزله سال ۱۳۶۹ منجیل و رودبار در قسمت میانی و در ربع فوقانی پشتبندها (مثل سدهای کونیا و فنکیانگ) متمرکز است در قسمتهای تحتانی سدهیچگونه صدمه جدی مشهود نیست بسیاری از پشتبندها دچار صدمات جدی شده و ترک های اصلی به قسمتهای فوقانی پشت بندها محدود شده است .

۷- هنگامی که سد در معرض نیروهای دینامیکی قرار میگیرد نقطه تغییر شیب (نقطه ای که بدنه پشت بند به قسمت راس آن متصل می شود) آسیب پذیر می باشد از آنجایی که سد سفید رود در اثر بار زلزله متحمل تنش های زیادی (که خود منجر به بروز ترکهای اساسی در پشتبندها شده است) گردیده مقاومت و صحت کلی سیستم پی سد به طور اساسی کاهش یافته است سازه در برابر زمین لرزه ها و سیلابها آسیبپذیر گشته بود.



۸- وقایعی که نقش مهمی در عدم ایمنی سد ایفاء میکنند به قرار زیر است: (این موارد قابل تعمیر به تمامی سدها در موقع بحران زلزله است) :

۱- زمین لرزه های شدید و وجود گسل های فعال در محدوده پی سد

۲- سیلابها

۳- ریزش سنگها و تخته سنگهای بزرگ از طرف هر دو تکیه گاه

۴- لغزشها و ریزشها به داخل مخزن

۵- بارندگی های شدید

۶- کاهش ظرفیت تخلیه کننده های عمقی و سرریز در تراز میانی ناشی از مسائل مربوط به دریچه ها

۷- جان پناه خرد شده در قسمت پایاب تاج سد و بر روی بالادست سکودرتراز ۲۶۳ که به ترتیب نیروگاه، لوله های آب و آبگیرها را به خطر انداخته است.

پس از زلزله درسد باید عواقب رها کردن کنترل نشده آب در پایین دست برای ایمن کردن سد و جلوگیری از نشتیهای قسمت فوقانی سدباید مدنظر قرار گیرد چرا که قربانیان زلزله در ساحل رودخانه اردو میزنند که ممکن است عواقب وخیمی به دنبال داشته باشد سد ترک خورده بعد از زلزله به هیچ وجه نباید آگیری شود با توجه به پیشرفت کار تعمیرات سازه ای و در نظر گرفتن اینکه ظرفیت تخلیه سد سفیدرود کم است تراز مخزن می تواند بدین صورت افزایش یابد:

درصد تعمیرات تکمیل شده	حداکثر تراز مجاز آب مخزن
------------------------	--------------------------

پایین تر از تراز نرمال آب	تراز از سطح دریا	
۲۲ متر	۲۶۰ متر	٪۲۵
۱۲ متر	۲۶۰ متر	٪۵۰
۷ متر	۲۶۵ متر	٪۷۵
—	۲۷۱/۶۵ متر	٪۱۰۰



شکل ۴-۱ نمایی از سد پشت بنددار لتیان

فصل پنجم: سد لتیان

۱- مشخصات و موقعیت جغرافیایی

۱-۱ موقعیت سد

اجرای سد لتیان در سال ۱۳۴۵ آغاز و در سال ۱۳۴۹ به پایان رسیده است. سد پایه دار لتیان در شمال شرقی تهران به مختصات ۳۵/۲۹ درجه عرض شمالی و ۵۱/۶۸ درجه طول شرقی بر روی رودخانه جاجرود بنا شده است. فاصله ساختگاه سد تا شهر تهران از طریق جاده های ارتباطی ۲۰ کیلومتر میباشد. هدف از احداث سد لتیان تامین قسمتی از آب شرب شهر تهران، تامین آب کشاورزی زمینهای زراعی ورامین و تولید انرژی برقی بوده است.

سد لتیان یک سد وزنی پایه دار (Buttress Dam) است که بر روی رودخانه جاجرود و در فاصله ۳۵ کیلومتری شمال شرقی تهران قرار دارد. این سد دارای ۳۱ بلوک بوده که ۲۲ بلوک آن در مرکز از نوع پایه دار و هریک به طول ۱۴ متر است، ۵ بلوک در جناح چپ و ۴ بلوک در جناح راست از نوع وزنی می باشند. سطوح سراب و پایاب بلوکهای وزنی جناح چپ در امتداد سطوح بلوک های پایه دار هستند، لیکن بلوکهای جناح راست بدلیل شرایط خاص زمین شناسی در امتداد بلوکهای پایه دار نمی باشند.

۱-۲ : مشخصات سد

مشخصات کلی سد به شرح زیر می باشد :

- طول تاج ۴۵۰ متر
- حداکثر ارتفاع از پی ۱۰۷ متر
- حداکثر ارتفاع از بستر رودخانه ۸۰ متر

- عرض شا لوده پایه ها ۱۴ متر
- ضخامت بدنه پایه ها ۴/۵ متر
- تراز تاج سد ۱۶۱۲ متر از سطح تراز دریا
- تراز نرمال مخزن ۱۶۱۰ متر از سطح تراز دریا
- تراز حداقل مخزن ۱۵۶۲ متر از سطح تراز دریا
- شیب رویه سراب بلوکها ۱ قائم به ۴۵ / افقی
- شیب رویه پایاب بلوکها ۱ قائم به ۴۸ / افقی

۳-۱ لیست تجهیزات رفتار نگاری موجود

تجهیزات و ابزار دقیق زیر در سد پایه دار لتیان نصب شده است:

- ۱ عدد اشل فلزی مدرج جهت قرائت تراز مخزن (limnimeter) روی سطح سراب
- ۲ عدد شاخص رقمی (digital indicator) یکی در بلوک سرریز اصلی و دیگری در نیروگاه
- ۱ دستگاه دماسنج آب (thermometer) قابل حمل
- ۱ دستگاه تراز یاب
- ۱ دستگاه تئودولیت و ۲ عدد شاخص (targets) قابل حمل
- ۷ عدد پاندول مستقیم (direct plumblines) در بلوکهای ۴، ۲۱، ۲۰، ۱۶، ۱۲، ۸
- ۷ عدد پاندول معکوس (inverted plumblines) در بلوکهای ۴، ۲۱، ۲۰، ۱۶، ۱۲، ۸
- ۱ عدد دستگاه شیب سنج (clinometer) قابل حمل
- ۲۰ عدد دماسنج الکتریکی (thermosondes) در بلوک ۱۹
- ۱۹ عدد کرنش سنج (strain gauges) در بلوک ۱۹
- ۲۳ عدد دماسنج (thermometer gauges) در بلوک ۱۹
- ۲۷ عدد کرنش سنج تنش صفر (no – stress gauge) در بلوک ۱۹
- تجهیزات اندازه گیری فشار برکنش و پیژومترها
- ۳ عدد دستگاه اندازه گیری تخلیه کل در چاهکهای پمپاژ
- پاندولها

سد لتیان دارای ۷ پاندول مستقیم و ۷ پاندول معکوس می باشد، این پاندولها بوسیله یک دوربین بنام کوردیسکوپ استوپانی در هر یک از ایستگاه های قرائت ، واقع در پایه های ۴، ۸، ۱۲، ۱۶، ۲۰، ۲۱، ۲۳ اندازه گیری مشود اندازه گیری پاندولها مهمترین پارامتر در تحلیل رفتار سد بوده و به آسانی انجام می گیرد.

۲- مطالعات لرزه زمین ساخت ساختگاه سد لتیان

مطالعات لرزه زمین ساخت ، ساختگاه سد لتیان بر پایه گزارش لرزه خیزی و برآورد خطر زمین لرزه انجام شده است و گستره ای به شعاع حدود ۳۰ کیلومتری ساختگاه سد مورد پژوهش لرزه ای قرار گرفته است.

- طرح پایداری سدهای کشور سد بتنی پایه دار لتیان

در این بخش که تحت عنوان لرزه خیزی و برآورد خطر زمین لرزه در ساختگاه سد لتیان برای کنترل و پایداری آن تهیه شده است به منظور بررسی خطر زمین لرزه در ساختگاه سد و سایر ابنیه جنبی آن و برآورد پارامتر حرکت زمین در این ساختگاه برای سطوح مختلف طراحی می باشد.

این پارامترها شامل بیشینه شتابهای افقی و قائم، بیشینه سرعتهای افقی و قائم ، طیفهای پاسخ زمین برای میرایی های (Damping) مختلف و برای سطوح مختلف طراحی و توصیف شتاب نگاشت های مناسب برای سطوح مختلف

طراحی (MDL, MCL, DBL) میباشد. در فصل اول اشاره ای اجمالی به روشهای متداول آنالیز خطر زمینلرزه analysis Seismic hazard شده است و سطوح مختلف طراحی بر پایه آخرین رهنمودهای کمیته بین المللی سدهای بزرگ بیان گردیده است. برآورد خطر زمین لرزه برپایه سرچشمه های لرزه زا شامل روشهای تحلیلی، آماری و احتمالی است و سطوح مختلف طراحی نیز شامل سطح مبنای طراحی (DBL) سطح حداکثر طراحی (MDL) و حداکثر سطح محتمل حرکت زمین (MCL) می باشد. در ادامه ویژگی لرزه زمین ساختی گستره های در برگیرنده ساختگاه سد مورد بررسی قرار گرفته و سرچشمه های لرزه زا شناسایی و گردآوری شده اند. و ویژگی هر یک از سرچشمه های لرزه زا و احتمالاً لرزه زا مورد پژوهش واقع شده اند و در نهایت مدل لرزه زمین ساختی مناسب برای برآورد خطر زمین لرزه ارائه شده است.

همچنین ویژگی های لرزه خیزی گستره های مورد مطالعه به روشهای آماری مورد مطالعه قرار گرفته است. این ویژگیها شامل چگونگی توزیع ژرفای کانونی زمین لرزه ها، رابطه خطی بین بزرگای (Ms (magnitude و Mb زمین لرزه های گستره مورد مطالعه به منظور تکمیل فهرست مشخصات زمین لرزه های گستره مورد مطالعه می باشد.

تعیین دوره بازگشت رویداد زمین لرزه ها به روشهای گوناگون انجام شده است. آنچه مسلم است زمین لرزه های با بزرگای بالا دارای دوره بازگشت رویداد طولانی تری هستند و نظر به اینکه ساختگاه سد در منطقه لرزه زمین ساخت البرز واقع است. رویداد زمین لرزه های بزرگتر از $Ms > 7$ می تواند از دوره بازگشت بالایی برخوردار باشد.

جدول ۵-۱ دوره بازگشت زمین لرزه ها با توجه به بزرگای آنها

دوره بازگشت	بیشینه شتاب قائم	بیشینه شتاب افقی	سطوح طراحی
۳۰۰ سال	۱۵G/	۲۳g/	D.B.L
۱۰۰۰ سال	۲۰G/	۳۱g/	M.D.L
۲۰۰۰ سال	۳۱G/	۴۱g/	M.C.L

گستره نزدیک به ساختگاه سد در گذشته شاهد رویداد زمین لرزه ای نظیر زمین لرزه ۲۰ اکتبر ۱۹۳۰ آه - مبارک آباد با بزرگای Ms ۵٫۲ بوده است. و با توجه به منابع سرچشمه های لرزه زا و ویژگی های لرزه زمین ساختی گستره های مورد مطالعه می توان انتظار داشت که در آینده نیز انرژی بزرگی آزاد شود. لذا برآورد سطح قابل قبول از وضعیت لرزه خیزی گستره طرح به منظور انتخاب صحیح خطر زمین لرزه دارای اهمیت بسیاری می باشد. در فصول مختلفی پروژه ضمن شرح روشهای به کار رفته شده به منظور تعیین میزان حرکات زمین نتایج آن مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

۱-۲ چارچوب مطالعات

روشهای مطالعاتی جهت تعیین میزان حرکت زمین بر اثر رویداد زمینلرزه به قرار زیر می باشد

(الف) شناسایی کلیه سرچشمه های لرزه زا (نقطه ای، خطی و ناحیه ای)

(ب) بررسی پارامتر لرزه خیزی β و برآورد نرخ رویداد زمین لرزه برای بزرگای مختلف زمین لرزه در استانهای لرزه زمین ساخت ایران مرکزی و البرز ویا هریک از سرچشمه های لرزه زا (خطی و ناحیه ای)

(پ) تهیه مدل مناسب لرزه زمین ساختی و به کارگیری رابطه میرایی مناسب به منظور برآورد پارامترهای حرکت زمین در ساختگاه مورد نظر، در این مطالعات از رابطه میرایی کمپبل ۱۹۹۳ با توجه به کارایی و مناسب بودن آن استفاده شده است.

(ت) آنالیز خطر زمین لرزه به روش های احتمالی و تحلیلی بر پایه سرچشمه های مختلف لرزه زا

(ث) تهیه طیف پاسخ زمین بر پایه آنالیز خط زمین لرزه برای سطوح مختلف طراحی و تهیه طیف بر پایه وروش آماری از روی داده های شتاب نگاشتی مناسب برای سطوح مختلف طراحی

(ج) ارائه شتاب نگاشتهای مناسب به مقیاس در آورده شده برای سطوح مختلف طراحی به منظور انجام آنالیز دینامیکی

۲-۲: معرفی سطوح میزان حرکت زمین

حرکات زمین ناشی از رویداد زمین لرزه را می توان با ویژگی هایی نظیر بیشینه شتاب زمین، طیف پاسخ زمین و شتاب نگاشت های مناسب، معرفی نمود. در این گزارش سه سطح برای حرکات زمین بر پایه استانداردهایی نظیر کمیته بین المللی سدهای بزرگ (IC و ID) و کمیته انرژی هسته ای آمریکا (Nuclears Regulator و Commission in the U.S.A) انتخاب و به صورت زیر تعریف شده است.

الف) سطح مبنای طراحی (DBL):

احتمال رویداد حرکات زمین برای این سطح از طراحی در طول عمر مفید سازه وجود دارد. در این سطح احتمال رویداد حرکات زمین حدود ۵۰٪ و دوره بازگشت رویداد بین ۱۰۰ تا ۵۰۰ سال در نظر گرفته شده است.

ب) حداکثر سطح طراحی (MDL):

احتمال رویداد حرکات زمین در عمر مفید سازه برای این سطح از طراحی کم است در این سطح احتمال رویداد کمتر از ۵۰٪ و دوره بازگشت رویداد بین ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ سال در نظر گرفته شده است.

پ) حداکثر سطح باور کردنی (MCL):

بیشترین میزان حرکات زمین بر پایه داده های لرزه خیزی گذشته گستره مورد مطالعه و یا داده های زمین ساختی گستره نزدیک به ساخت گاه سد تعیین می شود. احتمال رویداد این سطح از حرکات زمین بسیار کم است و دوره بازگشت رویداد بیش از ۲۰۰۰ سال به این سطح از حرکات زمین نسبت داده شده است. برای محاسبه بیشینه شتاب و طیف پاسخ زمین برای سطوح DBL و MDL حرکت زمین در ساختگاه سد از روش آماری که توسط کمیته تنظیمی آمریکا برای نیروگاههای هسته ای ارائه شده (UNSNRG 1989- Kimball ۱۹۸۳) استفاده گردیده است. در این روش مجموعه ای از شتاب نگاشت های مناسب از زمین لرزه های رویداد انتخاب و به کمک آنها تخمین از سطوح DBL ، MDL بر حسب درصدی از شتاب گرانش زمین به عمل آمده است در انتخاب شتاب نگاشتها به نکات زیر توجه شده است.

الف) بزرگای زمین لرزه مربوط به آن شتاب نگاشت در محدوده بزرگای زمین لرزه هدف (زمین لرزه ای که برای طرح ساختگاه در نظر گرفته شده است) با تقریب (۵،۰+ و ۵،۰-) باشد.

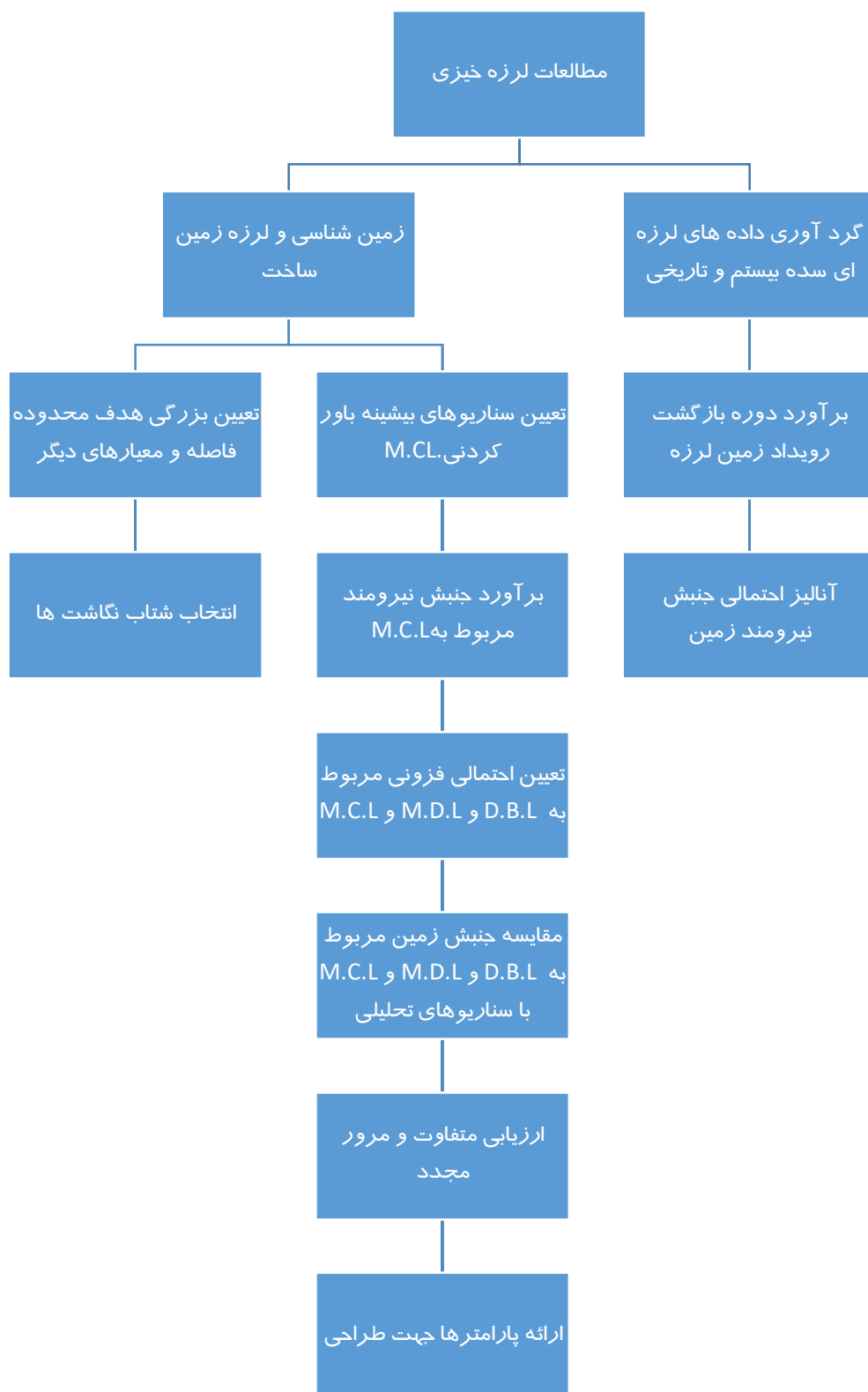
ب) نزدیکترین سرچشمه لرزه زا در حدود فاصله رویداد زمین لرزه از محلی باشد که شتاب نگاشت در آن محل ثبت شده است.

پ) شرایط پی در ساختگاه سد با شرایط زمین شناس محل استقرار دستگاه شتابنگار تطابق نزدیک داشته باشد.

ت) سازو کار زمین لرزه ای که شتاب نگاشت آن مورد استفاده واقع شده است با سازوکار عمومی زمین لرزه های گسترده مورد مطالعه تطابق نزدیک داشته باشند.

یادآوری می گردد که رعایت شروط پ و ت با توجه به داده های شتاب نگاشتی محدود قابل دسترس امر نسبتاً مشکلی است و اغلب کاملاً قابل رعایت نیست. ولی رعایت شروط الف و ب اساسی تر است و نباید از آن اغماض شود.

نمودار شماره ۳-۱ چارچوب مطالعات را نشان میدهد :



بررسی لرزه خیزی و لرزه زمین ساخت گستره پیرامون ساختگاه سد لتیان به منظور شناسایی سرچشمه های لرزه زا و ویژگی آنها در آنالیز خطر زمین لرزه حائز اهمیت بسیاری است . از نظر لرزه خیزی و لرزه زمین ساخت گستره مورد مطالعه ساختگاه سد لتیان در مناطق لرزه زمین ساخت البرز و ایران مرکزی واقع گردیده است و ویژگی این دو منطقه متفاوت است . در این بخش کوشش گردیده است که این ویژگی تا حد امکان مورد بررسی قرار می گیرد.

۱-۲- زمین ساخت واحد ساختمانی البرز:

واحد ساختمانی البرز متشکل از یک سری چینها و راندگی های غربی شرقی است که از محور مرکزی البرز کوه به روی هم و به سمت شمال و جنوب رانده شده اند . شدت دگر ریختی در کناره شمالی (گسل خزر) و جنوبی (گسل شمال تهران) به بیشترین مقدار خود رسیده و ارتفاعات البرز کوه به ترتیب بر روی دشت ساحلی خزرودشت تهران در جنوب رانده شده است. بخش جنوبی واحد ساختمانی البرز را به چهار بخش تقسیم بندی شده است، که عبارتند از:

الف- بلند البرز

ب- چین های کناری البرز

ج- گستره کوهپایه

د- گستره فرونشست شمال ایران مرکزی

گستره بلند البرز از سنگهای پالئوزیک، مزوزوئیک و تترشییری تشکیل شده است که به سبب چین خوردگی های شدید و راندگی های بزرگ به روی هم رانده شده و مرتفع گردیده اند که کوه آتشفشانی دماوند در این بخش از البرز تشکیل شده است. گستره بلند البرز بوسیله گسل لرزه ای مشاء بر روی گستره کوهپایه ای دشت تهران رانده شده است.

چین های کناری البرز بوسیله راندگی مشاء در شمال از بخش بلند البرز جدا شده و در جنوب بوسیله راندگی شمال تهران بر روی گستره کوهپایه ای دشت تهران رانده شده است این چین ها متشکل از سنگهای آتشفشانی ائوسن سازند کرج بوده که به آرامی چین خورده بلندترین نقطه آنرا قله توچال (با ارتفاع ۳۹۳۳ متر) در روی ناودیسی تشکیل می دهد.

سنگهای سازند کرج در مجاورت راندگی شمال تهران با چینهای برگشته بر روی آبرفتهای گستره کوهپایه ای تهران رانده شده اند . در بخش خاوری ، راندگی شمال تهران پس از گذشتن دره شمشک و شمال ده سبو به گسل مشاء نزدیک می شود.

گستره کوهپایه ای البرز از فرونشست پای البرز کوه بر روی نهشته های آبرفتی که از فرسایش شدید البرز بالا رونده در راستای گسلهای متعددی تشکیل شده قرار گرفته است .

این فرونشست از دوبرخشی کوهپایه در شمال و فرونشست شمالی ایران مرکزی در جنوب تشکیل شده است .

- گستره فرونشست شمال ایران مرکزی که قسمتهای مرکزی و جنوبی شهر تهران ، شهر ری و جنوب آنرا فرا می گیرد و از نهشته های آبرفتی جوان و کمی قدیمتر پوشیده شده است و مخروط افکنه های رودخانه های کن ، کرج و جاجرود قسمت های جنوبی آنرا می پوشاند . گستره فرونشست شمال ایران مرکزی به سبب کارکرد چند گسله به چهار بخش دشت تهران ، فرونشست ری و فرونشست جنوب ری و فرونشست کهریزک تقسیم میشود. دشت تهران در شمالی ترین این بخش واقع شده است از قسمتهای شمالی به تدریج به بلندی های طرشت عباس آباد و از قسمت جنوب واز سمت جنوب بوسیله گسل شمال ری به فرونشست ری ختم می شود نوع رسوبات شهر تهران را بیشتر آبرفتهای C,D تشکیل میدهند .

فرونشست جنوب ری از سمت شمال بوسیله گسل جنوب ری و در جنوب بوسیله گسل کهریزک جدا می شود.

فرونشست جنوب ری در قسمت جنوب به سبب کارکرد گسل کهریزک بر روی دشت کهریزک رانده شده است . نوع رسوبات فرونشست تشکیل دهنده فرونشست جنوبی روی آبرفتهای D می باشد . فرونشست کهریزک جنوبی ترین بخش فرونشست شمال ایران مرکزی است. این فرونشست از شمال بوسیله گسل کهریزک جدا می شود. قسمتهای جنوبی فرونشست جنوب ری در امتداد گسل کهریزک بر روی فرونشست کهریزک رانده شده است . نوع رسوبات سازند فرونشست کهریزک را آبرفتهای D تشکیل می دهد.

۲-۲ زمین ساخت واحد ساختمانی ایران مرکزی :

واحد ساختمانی ایران مرکزی جزء بزرگترین و پیچیده ترین واحدهای زمین شناسی ایران زمین به شمار می رود. در این واحد قدیمی ترین سنگهای دگرگونی شده (پركامبرين) تا آتشفشانیهای فعال و نیمه فعال کواترنری وجود دارد. همچنین سنگهای آتشفشانی متوسط و همچنین نفوذی متوسط تا باریک گسترش زیادی داشته که عمدتاً مربوط به ائوسن میباشند. در اولیگوسن نیز فعالیتهای ماگمایی وجود داشته و سنگهای گرانیت، دیوریت در داخل سنگهای کهنسال تر نفوذ کرده اند. در این دوره فعالیتهای آتشفشانی نیز وجود داشته که تراکیت - دامیت از جمله فراورده های آن است. جوانترین فعالیت آتشفشانی در کوههای بزمان وریگان در بخش جنوب خاوری مربوط به کوارترنراست. در ایران مرکزی روندهای گوناگونی وجود دارد، در بخش جنوبی و باختری که همسایه زون اسفندقه - مریوان می باشد. روندها، همان روند زاگرس می باشند. در زون بزمان - بیجار روند زمین ساختی شمال - شمال باختری، جنوب - جنوب خاوری است. روندهای دیگری که به نام روند کالدونی نامیده شده در شمال باختری خراسان دیده میشود. در بخش خاوری زون ایران مرکزی روندها بیشتر شمالی - جنوبی (روندهای کاتانگایی) میباشند و در ناحیه بین بلوک لوت تانائین در این روندها خمیدگی به طرف باختر وجود دارد که در همین جهت بر مقدار آن افزوده شده است. پی سنگ متبلور ایران مرکزی و پوشش بلاتفری آن حداقل از دوران پالئوزوئیک در امتداد گسلهای بزرگ شکسته و با توجه به نبود چینه شناسی در بعضی از مناطق آن حرکات عمودی مداومی رامتحمل شده که در پیدایش آتشفشانها نیز بی تاثیر نبوده است

۲-۳ گسلهای بنیادی گستره مورد مطالعه

شکستگی های پوسته جامد زمین که در راستای آنها جابه جایی نسبی روی داده است به عنوان سرچشمه های اصلی زمین لرزه شناخته شده اند که حرکت برشی در هرطرف شکستگی از روی زمین تا ژرفای چندین کیلومتر ادامه می یابد. بدلیل انباشته شدن تنشهای ناشی از جنبش پهنه ها نسبت به یکدیگر بسیاری از گسلهای شناخته شده در زمانهای گذشته حرکت نموده و ممکنست امروزه جنبان نباشند گسل هایی که دارای یک یا چند ویژگی زیر باشند، به عنوان گسلهای جنبان با توان لرزه زا تلقی می شوند.

۱- رویداد زمینلرزه های گذشته روی و یا امتداد آن گزارش شده باشند.

۲- تعیین مرکزی سطحی زمین لرزه های بزرگ با خطای کم در روی گسل شده باشد.

۳- گسلش در رسوبات کوارترنر مشاهده شده باشد (یک حرکت در ۳۵۰۰۰ سال و یا دو حرکت یا بیشتر در ۵۰۰۰۰۰ سال گذشته)

۴- دیواره گسل در روی زمین بوسیله فرسایش از میان نرفته باشد.

۵- رویداد خرد زمین لرزه های زیاد در ارتباط با صفحه گسلش که بوسیله شبکه رفتار نگاری خرد زمین لرزه ای محلی (با خطای کم در مرکز سطحی آنها) کنترل شده باشد.

۶- همبستگی زمین ساختی یک گسل با گسلهای شناخته شده و فعال در یک ناحیه

بنابراین انتظار می رود که چنین گسلهایی در آینده سبب رویداد زمین لرزه ای مخرب و ظاهر شدن جابه جایی جدید در امتداد و روی آنها باشد. با وجود اینکه بیشتر گسلهای گستره مورد مطالعه کوارترنر دارای شواهد جنبانی و توان لرزه زایی در آینده هستند. ولی به لحاظ توان لرزه زایی و فاصله آنها از ساختگاه سد لتیان، شتاب حرکت بیش از $0.4g$ رادر ساختگاه سد ایجاد نخواهند نمود. در این قسمت به شرح اجمالی گسلهای بنیادی و توانمند پرداخته میشود.

فصل ششم: راندگی شمال تهران

۱- راندگی شمال تهران (North Tehran Thrust)

راندگی شمال تهران بدرزای بیش از ۷۵ کیلومتر در کوهپایه شمال تهران از خاور دره لشکرگ در شمال خاوری (ده سبو) تا آبادی کاظم آباد شمال بزرگراه تهران - کرج (۲۰ کیلومتری خاور کلاک) ادامه دارد و نزدیکترین گسل زمینلرزه ای به ساختگاه سد لتیان است. چنین تصور می شود که راندگی شاخه ای از گسل فشاری مشاء باشد در شمال تهران و در کوهپایه، در بیشتر جاها این گسل

سبب راندگی سازند ائوسن کرج بر روی آبرفتهای هزار دره و آبرفتهای ناهمگن شمال تهران شده است. دربرخی نقاط راندگی شمال تهران درداخل سازند کرج دیده می شود.

راندگی شمال تهران به عنوان یک گسل واحد نیست بلکه بصورت یک زون خرد شده مشاهده می شود. زمان آخرین مرحله حرکت راندگی شمال تهران به سبب نداشتن سن دقیق نهشته های آبرفتی گستره پیرامون این گسل برای ما روشن نیست . چنانکه لا یه های قرمز قسمتهای زیرین سازند آبرفتی نوع C باشد . می توان زمان آخرین حرکت مهم این راندگی را به طور نسبی تعیین کرد. در جاهاییکه راندگی شمال تهران ، آبرفتهای C را درکوهپایه های البرز می برد، هیچگونه تغییر توپوگرافی دیده نمی شود . چنانکه رسوب گذاری سازند آبرفتی تهران (C) پیرامون ۴۰۰ سال پیش پایان یافته باشد . آخرین حرکت مهم راندگی شمال تهران و راندگی آن بر روی آبرفتهای شمال تهران و راندگی آن بر روی آبرفتهای شمال تهران ، بیش از ۴۰۰۰ سال می باشد. راندگی جوان شمال تهران گسلی لرزه زا ولی سرگذشت لرزه خیزی آن بدرستی روشن نمی باشد . فقط احتمال دارد که رویداد زمین لرزه های ۲۳ فوریه ۹۵۸ میلادی ، ماه مه ۱۱۱۷۷ میلادی ، ۲۴ دسامبر ۱۸۹۵ میلادی رابه جنبش دوباره راندگی شمال تهران نسبت داده در قرن حاضر نیز رویداد زمین لرزه های کوچک که در پاره ای ازموارد سبب لرزش ضعیف شهر تهران شده است نیز در پیوند با جنبش انتهای شمال خاوری این گسل می توان تصور نمود، ولی دلیل محکمی برای این فکر در دست نیست . نزدیکترین فاصله این راندگی از ساختگاه سد لتیان حدود ۳،۳ کیلومتر میباشد و توان لرزه زایی این گسل بر پایه روابط تجربی ، زمینلرزه ای به بزرگای ۶،۹ Ms بر آورد می شود.

۲- راندگی تلو پایین (Telo Pain Fault)

راندگی تلو با راستای شمال باختری - جنوب خاوری بدرزای ۱۳ کیلومتر در فاصله حدود ۱/۵ کیلومتری جنوب روستای تلو پایین بر روی نگاره های هوایی گستره جاجرود قابل مشاهده است.

این راندگی احتمالا دارای درزای بیش از ۱۳ کیلومتر بوده است^۱ . در برشی با راستای شمال خاوری- جنوب باختری در کناره شمالی جاده تهران - آبدلی، برشی از راندگی تلو با ساز و کار فشاری مشاهده می شود نزدیکترین فاصله این گسل از ساختگاه سد لتیان حدود ۶/۵ کیلومتر و حداکثر توان لرزه زایی آن بر پایه روابط تجربی ، زمینلرزه ای به بزرگای ۶/۶(Ms) برآورد می شود.

۳- راندگی مشاء :

این راندگی اولین بار بوسیله (dellenbach) به نام گسل مشاء - فشم نامیده شد . گسل فشاری مشاء یک گسل بنیادی ولرزه زاست که در راستای آن گستره بلند البرز از شمال بر روی گستره چین های کناری البرز در جنوب رانده شده است



^۱ - به نقل م. بربریان ۱۳۶۴ هجری شمسی

شکل ۶-۲ موقعیت گسل مشاء - فشم - موقعیت سد لتیان و گسلهای منطقه

این راندگی در راستای خاور، جنوب خاوری - باختر شمال باختری دارد. این گسل بر روی نقشه ریخت شناسی منحنی سینوسی دارد. شیب گسل فشاری مشاء به سمت شمال و میان ۳۵ تا ۷۰ درجه تغییر می کند. گسل مشاء یک گسل فشاری و لرزه زا است و میتوان داده های زمین لرزه ای پیش از قرن حاضر نظیر زمین لرزه ای پیش از قرن حاضر نظیر زمین لرزه های سال ۱۶۵۵ میلادی سال ۱۸۰۲ میلادی، ۲۰ ژوئن ۱۸۹۱ میلادی و ۲۷ مارس ۱۸۳۰ میلادی دماوند - شمیرانات را به آن نسبت داد. نزدیکترین فاصله این این گسل از ساختگاه سد لتیان ۷ کیلومتر می باشد و توان لرزه زایی این گسل بر پایه روابط تجربی، زمینلرزه ای به بزرگای بیش از ۷ (Ms) برآورد می شود. گسلهای دیگری در گستره دورتر از ساختگاه سد لتیان شناسایی گردیده اند که به لحاظ توان لرزه زایی پائین آنها ویا فاصله دورتر آنها از ساختگاه سد لتیان از طرح آنها خودداری می شود این گسلها شامل سرخه حصار، نیاوران، محمودیه، رودهن، شمال ری، جنوب ری، کهریزک، گرمسار، رباط کریم، فیروزکوه می باشند.

۴-۲ زمین لرزه های پیش از قرن حاضر در ساختگاه لتیان :

شناخت ما از زمین لرزه های پیش از سده بیستم منحصر به کتابهای تاریخی می شود. بدین منظور این داده ها از دیدگاه محل رویداد، شدت (Intensity) و بزرگای (Magnitude) زمین لرزه دارای دقت زیادی نیست. و تنها سیمایی از ویژگی های لرزه خیزی گستره مورد مطالعه را بدست می دهد. سند های تاریخی نشان می دهد که شهر ری بزرگترین شهر نزدیک به ساختگاه سد لتیان پیش از گسترش تهران چندین بار در طول تاریخ بوسیله زمین لرزه های مخرب ویران گردیده است. از آنجا که فاصله زیادی بین ساختگاه سد لتیان و شهر ری وجود ندارد، بنابراین بررسی های زمین لرزه های تاریخی پیرامون شهر ری می تواند کمک بزرگی به ارزیابی توان لرزه خیزی جنوب ساختگاه سد لتیان نماید. علاوه برشهر ری اطلاعاتی در مورد زلزله های قدیمی این ساختگاه به شرح زیر است:

۱- زمین لرزه ۲۲ فوریه سال ۹۸۵ میلادی گستره میان ری و طالقان:

زمین لرزه ویرانگر و بزرگ که از سرچشمه های جاجرود تا طالقان رود و بخش بزرگی از شهر ری را ویران نموده و هزاران نفر را به هلاکت رسانده است. سنگریزش و کوه لغزش در کوههای شمال ری، رودخانه ها را مسدود نموده و درگستره شمال تهران زمین شکاف برداشته است شدت $I = X$ و بزرگی زلزله $(Ms) 7/7$ تخمین زده شده است می توان یکی از گسلهای طالقان یا مشاء را مسئول این رویداد بشمار آورد.

۲- زمین لرزه ۲۵ دسامبر ۱۸۹۵ میلادی تهران:

بزرگا و شدت به ترتیب $(Ms) 7/2$ و شدت آن $VIII = I$ تخمین زده شده است روشن نیست که کدام گسل علت این زمین لرزه است. امکان جنبش دوباره گسل شمال تهران برای این زمین لرزه بیش از سایر گسلهاست.

۵-۲ زمین لرزه های قرن حاضر در ساختگاه سد لتیان

در حال حاضر برای سه دهه اول قرن حاضر داده هایی دردست نیست اما داده های زمین لرزه ای سده بیستم گستره نزدیک به ساختگاه سد لتیان و پیرامون آن بهتر گردآوری شده است داده های زمین لرزه ای سده بیستم در دهه های گوناگون در مرکز سطحی، ژرفای کانونی و بزرگای زمین لرزه است. اما به لحاظ ثبت دستگاهی آنها از اهمیت بیشتری برخوردارند و با ایجاد شبکه جهان لرزه نگاری در سال ۱۹۶۳ میلادی و به کارگیری روش ثبت تله متری در دوهه اخیر بشدت از خطای آنها کاسته شده است.

۱- زمین لرزه ۲۲ ژوئیه ۱۹۲۷ میلادی شمال دشت کویر:

شب هنگام ۳۱ تیر ماه ۱۳۰۶ خورشیدی زمین لرزه ای به بزرگای $(Ms) 9$ در فاصله حدود ۱۵۰ کیلومتری جنوب باختری سد لتیان بوقوع پیوست بدنبال زمین لرزه اصلی پس لرزه های بسیار زیاد رخ داد که به گونه ای گسترده حس شد.

۲- زمین لرزه ۱۲ اکتبر ۱۹۳۰ میلادی آه - مبارک آباد:

زمین لرزه آه و مبارکآباد با بزرگای (Ms) ۲/۵ روز پنجشنبه دهم مهر ماه ۱۳۰۶ خورشیدی در فاصله حدود ۳ کیلومتری شمال خاوری ساختگاه سد لتیان رویداد. کانون سطحی زمین لرزه توسط پایگاههای ISC با خطای حدود ۱۴ کیلومتر نسبت به مرکز سطحی مهلرزه ای معرفی شده است. با وجود کوچک بودن بزرگای زمین لرزه آه - مبارک آباد بسبب قرار گرفتن کانون مهلرزه بر روی گسل مشاء و نزدیکی آن به ساختگاه سد لتیان از ارزش ویژه ای برخوردار است.

۳- زمین لرزه ۲۵ سپتامبر ۱۹۴۰:

مرکز سطحی زمین لرزه در فاصله ۶۵ کیلومتری ساختگاه سد لتیان و بزرگای زمین لرزه (Ms) ۵ بوده است.

۴- زمین لرزه ۲ سپتامبر ۱۹۵۴:

زمین لرزه ای (Ms) ۴/۵ در فاصله ۳۴ کیلومتری شمال خاوری ساختگاه سد لتیان در حوالی روستای موشا به وقوع پیوست و سبب جنبش دوباره گسل مشاء گردید.

۵- زمین لرزه ۲ ژوئیه ۱۹۵۷ میلادی سنگچال:

زمینلرزه ای ویرانگر به بزرگای (Ms) ۶/۷ و در فاصله حدود ۷۴ کیلومتری شمال خاوری ساختگاه سد لتیان سبب ویران پهنه ای در سنگچال البرز گردید. شدت این زمینلرزه در تهران حدود V درجه مرکالی اصلاح شده برآورد شده است.

۶- زمین لرزه اول سپتامبر ۱۹۶۲ بوئین زهرا:

زمینلرزه های مخرب و ویرانگر که بزرگای این زمینلرزه Ms ۷/۲ و Mb ۶/۹ گزارش شده است.

۷- زمینلرزه ۸ نوامبر ۱۹۶۶ میلادی صمغ آباد طالقان:

بزرگای این زمینلرزه توسط ISC ۴/۸ Mb و توسط USCGS برابر ۵ Mb گزارش شده است و فاصله آن تا ساختگاه سد لتیان حدود ۹۰ کیلومتر برآورد می شود.

۸- زمین لرزه ۳ اکتبر ۱۹۷۰ میلادی تهران:

بزرگای این زمین لرزه ۴/۱ Mb توسط USCGS گزارش گردیده است فاصله این زمینلرزه از ساختگاه سد لتیان حدود ۴۳ کیلومتر برآورد شده است.

۹- زمینلرزه ۱۰ ژانویه ۱۹۷۴:

زمین لرزه ای به بزرگای Mb ۴/۳ در فاصله حدود ۲۵ کیلومتری شمال خاوری ساختگاه سد لتیان بوقوع پیوسته است

۲- ۶ لرزه زمین ساخت گستره مورد مطالعه

همانطوریکه مشاهده گردید گسل های عمده و بنیادی گستره مورد مطالعه گسل های کوهپایه ای و گسل هایی که سازنده پستی و بلندی روی زمین می باشند. بنابراین خطر اصلی زمین لرزه ای از جنبش دوباره این گسلها در گستره پیرامون ساختگاه سد لتیان می باشد. ساز و کار گسلهای عمده و بنیادی و تعداد زیادی گسلهای کوچک پیرامون ساختگاه سد لتیان فشاری بوده و یا مولفه ای مهم فشاری دارند و دوره بازگشت رویداد زمین لرزه بر روی این گونه گسلها طولانی تر است. و میتوان زمینلرزه های بزرگ و ویرانگری را بوجود آورد. درصد کمی از گسلهای فرعی و کوچک کششی و راستا لغز تشکیل میدهند و میتوان گفت هیچگونه گسل اصلی و لرزه زا با ساز و کار کششی مشاهده نمی شود.

ساز و کار زمین لرزه های اخیر و همچنین رویداد زمین لرزه منجیل (۳۱ خرداد ماه ۱۳۶۹) با بزرگای Ms ۷/۳ و Mb ۶/۸ نیز نشانگر آن است که زمین لرزه های منطقه ساز و کار گسل ها را معکوس (فشاری و یا مولفه جزئی امتداد لغز) مشخص می نمایند.

۳- ویژگی های آماری لرزه خیزی

۳-۱: توزیع پراکندگی ژرفای کانونی زمین لرزه ها:

بر پایه بررسی های به عمل آمده از ژرفای کانونی زمین لرزه های گستره البرز و ایران مرکزی مطابق جداول ۱-۳ و ۲-۳ نشان میدهد که در راستای لرزه زمین ساخت ایران مرکزی بیش از ۹۲٪ از زمین لرزه های رویداده دارای ژرفای کانونی بیش از ۱۰ کیلومتر بوده اند و نیز در منطقه لرزه زمین ساخت البرز بیش از ۹۴٪ از زمین لرزه ها در ژرفای کانونی بیش از ۱۰ کیلومتر روی

دادند بنابراین ژرفای کانونی ده کیلومتر را بصورت محافظه کارانه برای ژرفای کانونی زمین لرزه های فاقد ژرفای کانونی انتخاب نموده شده است.

جدول (۳-۱-۱) توزیع پراکندگی ژرفای کنونی زمین لرزه های قرن حاضر در بخش البرز از گستره مورد مطالعه ساختگاه سد لتیان را نشان می دهد.

ژرفای کانونی (H)	فراوانی (NO)	فراوانی تجمعی (NC)	درصد تجمعی (NC%)
	۳	۳	۲,۱۴
	۰	۳	۲,۱۴
	۷	۳	۲,۱۴
$0 \leq H < 1$	۲	۵	۳,۵۷
$1 \leq H < 2$	۱	۶	۴,۲۹
$2 \leq H < 3$	۱	۷	۵
$3 \leq H < 4$	۱	۸	۵,۷۱
$4 \leq H < 5$	۰	۸	۵,۷۱
$5 \leq H < 6$	۰	۸	۵,۷۱
$6 \leq H < 7$	۰	۸	۵,۷۱
$7 \leq H < 8$	۰	۸	۵,۷۱
$8 \leq H < 9$	۱۵	۱۳	۶,۲۹
$9 \leq H < 10$	۱۵	۳۸	۲۷,۱۴
$10 \leq H < 12$	۳	۴۱	۲۸,۲۹
$12 \leq H < 14$	۱	۴۲	۳۰,۰۰
$14 \leq H < 16$	۴	۴۶	۳۲,۸۶
$16 \leq H < 18$	۸	۵۴	۳۸,۵۷
$18 \leq H < 20$	۶	۶۰	۴۲,۸۶
$20 \leq H < 25$	۵۲	۱۱۲	۸۰,۰۰
$25 \leq H < 30$	۹	۱۲۱	۸۶,۴۳
$30 \leq H < 35$	۱۱	۱۳۲	۹۴,۲۹
$35 \leq H < 40$	۲	۱۳۴	۹۵,۷۱
$40 \leq H < 50$	۴	۱۳۸	۹۸,۵۷
$50 \leq H < 60$	۱	۱۳۹	۹۹,۲۹
$60 \leq H < 70$	۰	۱۳۹	۹۹,۲۹
$70 \leq H < 80$	۰	۱۳۹	۹۹,۲۹
$80 \leq H < 90$	۱	۱۴۰	۱۰۰
$90 \leq H < 100$			
$100 \leq H$			

جدول ۳-۱-۱ توزیع پراکندگی ژرفای کنونی زمین لرزه های قرن حاضر در ساختگاه سد لتیان

جدول ۳-۱-۲ توزیع پراکندگی ژرفای کانونی زمین لرزه های قرن حاضر در بخش ایران مرکزی از گستره مورد مطالعه ساختگاه سد لتیان را نشان می دهد.

ژرفای کانونی (H)	فراوانی (NO)	فراوانی تجمعی (NC)	درصد تجمعی (NC%)
$0 \leq H < 1$	۳	۳	۴,۷۶
$1 \leq H < 2$	۰	۳	۴,۷۶
$2 \leq H < 3$	۰	۳	۴,۷۶
$3 \leq H < 4$	۰	۳	۴,۷۶
$4 \leq H < 5$	۰	۳	۴,۷۶
$5 \leq H < 6$	۱	۴	۶,۳۵
$6 \leq H < 7$	۱	۵	۷,۹۴
$7 \leq H < 8$	۰	۵	۷,۹۴
$8 \leq H < 9$	۰	۵	۷,۹۴
$9 \leq H < 10$	۰	۵	۷,۹۴
$10 \leq H < 12$	۰	۵	۷,۹۴
$12 \leq H < 14$	۰	۵	۷,۹۴
$14 \leq H < 16$	۰	۵	۷,۹۴
$16 \leq H < 18$	۵	۱۰	۱۱,۸۷
$18 \leq H < 20$	۴	۱۴	۲۲,۲۲
$20 \leq H < 25$	۱	۱۵	۲۳,۸۱
$25 \leq H < 30$	۴	۱۹	۳۰,۱۶
$30 \leq H < 35$	۲	۲۱	۳۳,۳۲
$35 \leq H < 40$	۲	۲۳	۳۶,۵۱
$40 \leq H < 50$	۱	۲۴	۳۸,۱۰
$50 \leq H < 60$	۱۸	۴۲	۶۶
$60 \leq H < 70$	۳	۴۵	۶۷
$70 \leq H < 80$	۵	۵۰	۷۱,۴۳
$80 \leq H < 90$	۱۱	۶۱	۷۹,۳۷
$90 \leq H < 100$	۰	۶۱	۹۶,۸۳
$100 \leq H$	۱	۶۲	۹۶,۸۳
	۰	۶۳	۹۸,۴۱
	۰	۶۳	۱۰۰
	۰	۶۳	۱۰۰

جدول ۳-۱- توزیع پراکندگی ژرفای کانونی زمین لرزه های قرن حاضر در ساختگاه سد لتیان

۳-۲: رابطه بین بزرگای M_b و M_s

در مناطق لرزه زمین ساخت البرز و ایران مرکزی از گستره ساختگاه سد لتیان کوشش گردید رابطه ای خطی بین بزرگای M_s (بر پایه امواج سطحی) و M_b (بر پایه امواج حجمی) برقرار شود، در مناطق لرزه زمین ساخت البرز و ایران مرکزی بدلیل همبستگی بسیار پایین رابطه خطی این امر میسر نشد و نهایتاً از رابطه ارائه شده توسط آمبرسیزو ملویل ۱۹۸۲ ($M_s = 1.6 M_b - 3.71$) که برای ایران ارائه داده اند استفاده شده است.

۳-۳ برآورد پارامتر لرزه خیزی (β): در این بررسی از سه روش به منظور برآورد پارامتر فوق و نرخ رویداد زمین لرزه ها برای بزرگای مختلف زمین لرزه های مناطق لرزه زمین ساخت ایران مرکزی و البرز استفاده شده است. این سه روش شامل روش

مقدماتی گوتنبرگ - ریشتر ، روش برآورد برپایه روش تخمین احتمال بیشینه با به کارگیری روش تکرار و برآورد به روش تخمین احتمال بیشینه تا به توزیع دو کرانه ای گوتنبرگ ریشتر می باشد.

۱-۳-۳: برآورد برپایه روش مقدماتی گوتنبرگ - ریشتر

در این روش مقدماتی از رابطه ارائه توسط ریشتر ۱۹۵۷ بصورت $\text{Log } N_c = a - b M_s$ استفاده شده است. فرض اساسی در این روش مقدماتی این است که رویداد زمین لرزه ها مستقل از یکدیگر فرض شوند بنابراین کوشش گردیده است که پس لرزه های زمین لرزه های بزرگ و مخرب از فهرست زمین لرزه ها برای محاسبه رابطه فوق حذف گردد. در رابطه یاد شده N_c فراوانی انباشتی زمین لرزه ها ، M_s بزرگای زمین لرزه بر پایه امواج سطحی و a, b ضرایب ثابت می باشند. بر پایه شمارگیری روش آماری کمترین مربعات و شمار انباشتی رویداد زمین لرزه ها بر حسب بزرگای آنها (مطابق جداول شماره ۱-۳-۳ و ۲-۳-۳) روابط خطی زیر حاصل شده است.

$\text{Log } N_c = 4.15533 - 0.57843 M_s$: گستره البرز

$\text{Log } N_c = 4.12483 - 0.58023 M_s$: گستره ایران مرکزی

رابطه فوق برای زمین لرزه های با بزرگای بیش از $M_s > 4.5$ محاسبه گردیده است .

۲-۳-۳ : برآورد بر پایه روش تخمین احتمال بیشینه با به کارگیری روش تکرار

استفاده از روش کمترین مربعات در صورتیکه فهرست کاملی از داده های لرزه ای با دقت مناسب در اختیار باشد می تواند به نتایج قابل قبول منجر شود. در صورتیکه اطمینان کافی از کامل بودن زمین لرزه ها در اختیار نباشد روش کمترین مربعات ممکن است خطای قابل ملاحظه ای در تخمین ضرایب به همراه داشته باشد در این صورت روش تخمین احتمال بیشینه کاملاً به روش کمترین مربعات (گوتنبرگ - ریشتر) ارجحیت دارد. مهمترین ویژگی روش احتمال بیشینه آنست که بر خلاف روش کمترین مربعات که پیروی مشاهده زمین لرزه برای تمام بزرگاها یکسان است در این روش می توان پیروی مشاهده را متغییر در نظر گرفت.

۳-۳-۳ : برآورد به روش تخمین احتمال بیشینه با به کار گیری تابع توزیع دو کرانه ای گوتنبرگ - ریشتر

در صورتیکه از یک تابع توزیع انباشتی استفاده شود میتوان احتمال رویداد بزرگای زمین لرزه را برآورد نمود در این قسمت از تابع توزیع دو کرانه ای گوتنبرگ - ریشتر استفاده شده است. زمین لرزه های پیش از قرن حاضر و زمین لرزه های سده بیستم را به صورت سه دسته تقسیم بندی نموده که یک دسته مقادیر بیشینه بزرگای رویداد زمین لرزه های پیش از قرن حاضر و دسته دوم مربوط به زمین لرزه های قرن حاضر پیش از نصب شبکه لرزه نگاری جهانی می باشد و دقت زیادی در تعیین بزرگای زمین لرزه ها وجود ندارد و دسته سوم شامل بعضی از زمین لرزه های قرن حاضر می شود که با دقت مناسب ثبت شده و بزرگای آنها از خطای کمتری برخوردار است و با عدم قطعیت کمتری همراه است.

جدول ۱-۳-۳ توزیع پراکندگی بزرگای زمین لرزه های قرن حاضر دربخش البرز از گستره مورد مطالعه ساختگاه سد لتیان را نشان می دهد. جدول ۱-۳-۳ توزیع پراکندگی بزرگای زمین لرزه های قرن حاضر ساختگاه سد لتیان

بزرگای زمینلرزه (Ms)	فراوانی (No)	فراوانی تجمعی (Nc)	لگاریتم فراوانی تجمعی (log Nc)
4.5≤M<4.7	۹	۳۳	۱,۵۲
4.7≤M<4.9	۴	۲۴	۱,۳۸
4.9≤M<5.1	۵	۲۰	۱,۳۰
5.1≤M<5.3	۲	۱۵	۱,۱۸
5.3≤M<5.5	۶	۱۳	۱,۱۱
5.5≤M<5.7	۱	۷	۰,۸۵
5.7≤M<5.9	۲	۶	۰,۷۸
5.9≤M<6.1	۱	۴	۰,۶
6.1≤M<6.3	۰	۳	۰,۴۸
6.3≤M<6.5	۱	۳	۰,۴۷
6.5≤M<6.7	۰	۲	۰,۳
6.7≤M<6.9	۱	۲	۰,۳
6.9≤M<7.1	۰	۱	۰,۰۰
7.1≤M<7.3	۰	۱	۰,۰۰
7.3≤M<7.5	۱	۱	۰,۰۰

جدول ۳-۲ توزیع پراکندگی بزرگای زمین لرزه های حاضر در بخش ایران مرکزی از گستره مورد مطالعه سدلتیان را نشان میدهد.

بزرگای زمینلرزه (Ms)	فراوانی (No)	فراوانی تجمعی (Nc)	لگاریتم فراوانی تجمعی (log Nc)
4.5≤M<4.7	۳	۲۶	۱,۴۲
4.7≤M<4.9	۷	۲۳	۱,۳۶
4.9≤M<5.1	۴	۱۶	۱,۲۰
5.1≤M<5.3	۲	۱۲	۱,۰۸
5.3≤M<5.5	۱	۱۰	۱,۰۰
5.5≤M<5.7	۴	۹	۰,۹۵
5.7≤M<5.9	۱	۵	۰,۷
5.9≤M<6.1	۰	۴	۰,۶
6.1≤M<6.3	۰	۴	۰,۶
6.3≤M<6.5	۲	۴	۰,۶
6.5≤M<6.7	۱	۲	۰,۳
6.7≤M<6.9	۰	۱	۰,۰۰
6.9≤M<7.1	۰	۱	۰,۰۰
7.1≤M<7.3	۱	۱	۰,۰۰

جدول ۲-۳-۳ توزیع پراکندگی بزرگای زمین لرزه های حاضر در ساختگاه سدلتیان

جدول (۱-۲-۳-۳) بررسی فراوانی تجمعی بزرگای زمین لرزه ها در دوره های زمانی مختلف در گستره ایران مرکزی

تعداد	فاصله زمانی (سال)	فاصله بزرگا (Ms)
۱	۲۷	$4.5 \leq M < 4.7$
۳	۲۷	$4.7 \leq M < 4.9$
۰	۲۷	$4.9 \leq M < 5.1$
۱	۲۷	$5.1 \leq M < 5.3$
۰	۲۷	$5.3 \leq M < 5.5$
۰	۲۷	$5.5 \leq M < 5.7$
۴	۹۱	$5.7 \leq M < 5.9$
۱	۹۱	$5.9 \leq M < 6.1$
۰	۹۱	$6.1 \leq M < 6.3$
۰	۹۱	$6.3 \leq M < 6.5$
۰	۹۱	$6.5 \leq M < 6.7$
۲	۹۱	$6.7 \leq M < 6.9$
۱	۹۱	$6.9 \leq M < 7.1$
۰	۹۱	$7.1 \leq M < 7.3$
۰	۹۱	
۱	۹۱	

جدول (۱-۲-۳-۳) بررسی فراوانی تجمعی بزرگای زمین لرزه ها

تعداد	فاصله زمانی (سال)	فاصله بزرگا (Ms)
۸	۲۷	$4.5 \leq M < 4.7$
۴	۲۷	$4.7 \leq M < 4.9$
۳	۲۷	$4.9 \leq M < 5.1$
۰	۲۷	$5.1 \leq M < 5.3$
۳	۲۷	$5.3 \leq M < 5.5$
۱	۹۱	$5.5 \leq M < 5.7$
۲	۹۱	$5.7 \leq M < 5.9$
۱	۹۱	$5.9 \leq M < 6.1$
۱	۹۱	$6.1 \leq M < 6.3$
۰	۹۱	$6.3 \leq M < 6.5$
۱	۹۱	$6.5 \leq M < 6.7$
۰	۹۱	$6.7 \leq M < 6.9$
۱	۹۱	$6.9 \leq M < 7.1$
۰	۹۱	$7.1 \leq M < 7.3$
۱	۹۱	$7.3 \leq M < 7.5$
۰	۹۱	
۰	۹۱	
۱	۹۱	

جدول ۲-۲-۳-۳ بررسی فراوانی تجمعی بزرگای زمین لرزه ها در دوره های زمانی مختلف در گستره البرز

۳-۴ برآورد پارامترهای حرکت زمین:

روش های متداول در برآورد پارامترهای حرکت زمین در ساختگاه سد لتیان شامل روش تحلیلی و احتمالی می باشد. این برآورد بر پایه داده های زمین ساختی و زمین لرزه ای گذشته گستره مورد مطالعه انجام می پذیرد. پارامترهای حرکت زمین شامل بیشینه شتاب، سرعت و تهیه طیف پاسخ زمین برای سطوح مختلف طراحی و تهیه شتاب نگاشت مناسب از زمین لرزه ها برای سطوح مختلف طراحی می باشد. در این فصل اقدام به برآورد بیشینه شتابهای افقی و عمودی و بیشینه سرعتهای افقی و عمودی حرکت در ساختگاه سد لتیان شده است. انتخاب مدل میرایی در گستره مورد مطالعه حائز اهمیت است. پارامترهای انتشار تا ثیر برکنش موج، میرایی هندسی و میرایی غیر الاستیک را هنگام سیر موج از منبع (کانون زمین لرزه) به ساختگاه مورد نظر (ساختگاه سد) مشخص می کند. متغیر مستقل اصلی که مشخص کننده این پارامترها می باشد، فاصله است. از آنجا که گسیختگی همراه زمین لرزه می تواند دهها کیلومتر گسترش یابد، لذا تعدادی اندازه گیری فاصله مورد استفاده قرار گرفته است. در این جا استفاده از فاصله سطحی و فاصله کانوتی نسبت نزدیکترین فاصله ساختگاه از سرچشمه لرزه را ایجاد اختلاف در تخمین جنبش نیرومند زمین می نماید. در هر صورت بیشتر محققین روابط میرایی پیشنهادی خود را در فاصله های خیلی نزدیک از سرچشمه های لرزه را صادق نمی دانند. در این گزارش از رابطه ارائه شده توسط کمپل ۱۹۹۰ جهت برآورد بیشینه جنبش حرکت زمین، تهیه طیف پاسخ زمین استفاده شده است. به ترتیب زمین لرزه ای به بزرگای $Ms\ 7$ ، $Ms\ 6.6$ و $Ms\ 7.2$ و نزدیکتر فاصله آنها از ساختگاه سد لتیان به ترتیب برابر ۳، ۵، ۶ و ۷ کیلومتر به خط مستقیم می باشد. بیشینه شتاب مولفه های افقی و عمودی باور کردنی حرکت زمین در ساختگاه سد لتیان ناشی از جنبش زمین لرزه ای هر یک از گسلها بر پایه مدل میرایی کمپل ۱۹۹۰ به شرح زیر می باشد.

نام گسل	بیشینه شتاب افقی باور کردنی %g	بیشینه شتاب قائم باور کردنی %g
گسل شمال تهران	۲۵،۶	۱۱،۷
گسل تلو	۱۸،۴	۸،۱
گسل مشاء	۲۶،۲۵	۱۲،۳

جدول ۳-۲ بیشینه شتاب مولفه های افقی و عمودی باور کردنی حرکت زمین در ساختگاه سد لتیان
بنابراین همانطوریکه مشاهده می شود حداکثر بیشینه شتابها و سرعتهای مولفه های افقی و عمودی باور کردنی حرکت زمین در پیوند با توان لرزه زایی این گسل شمال تهران برآورد میشود.

فصل هفتم: تحلیل کنترل پایداری سد لتیان

مقدمه:

سدهایی که قرار است در نواحی زلزله خیز ساخته شوند بایستی به گونه ای طراحی گردند تا بتوانند در مقابل نیروهای ناشی از شدیدترین زلزله محتمل (MCE) در طول عمر مفیدشان مقاومت کنند. امواج به وجود آمده از زلزله باعث ایجاد نیروهای دینامیکی و لرزاندن زمین و بی سد گشته و نهایتا می تواند در سد به عنوان یک سازه الاستیک، تشدید ایجاد نماید. امواج زلزله که عموما به علت حرکات پوسته زمین در امتداد گسلها به وجود می آید، از یک نقطه (یا یک منطقه کوچک) به نام «مرکز زلزله» در اعماق زمین شروع شده، شتابی را در پوسته زمین باعث می شوند و آن را در جهتی که موج حرکت می کند، به حرکت در می آورند. برای بررسی موقعیت گسلها، طول آنها و فعال بودنشان لازم است تا از بررسی های زمین شناسی کمک جست و جوی زلزله های گذشته در منطقه مورد مطالعه، می تواند برای تعیین محل وقوع زلزله و بزرگی شدت آن مورد استفاده قرار گیرد. در هر حال معمولا براساس مطالعات قبلی انجام شده، هر کشور به مناطقی بر حسب تغییرات شدت زلزله تقسیم شده و نقشه هایی برای آن رسم می شود، نهایتا با توجه به این ناحیه بندی و حساسیت سازه ای که قرار است ساخته شود، شتاب زلزله طراحی تعیین می گردد. در پاره ای موارد و بخصوص برای ساخت سدهای بلند و حساس، لازم است تا مطالعات لرزه زمین ساخت صورت پذیرد و سپس شتاب زلزله برای طراحی معین گردد. شدت و شتاب زلزله معمولا بر حسب ضریبی از شتاب ثقل (g) معین می گردد و لذا اگر شتاب زلزله برابر αg در نظر گرفته شود، α ضریب زلزله نامیده می شود. برای سدها و باتوجه به زلزله خیزی منطقه ضریب α

از حداقل ۰/۲۰ تا حداکثر حتی ۰/۳ و معمولاً بین ۰/۱ تا ۰/۱۵ برای سدهای بلند در مناطق زلزله خیز تغییر می کند. شایان ذکر است که بزرگی نیروی زلزله تابع عوامل مختلفی از جمله بزرگی زلزله، وزن سد و میزان خاصیت ارتجاعی مصالح تشکیل دهنده سد می باشد. از آنجا که موج ناشی از زلزله ممکن است در هر جهتی حرکت نماید (برحسب نوع زلزله و مرکز آن)، برای سادگی دو مولفه افقی و قائم برای شتاب زلزله در نظر می گیرند که معمولاً شتاب قائم، $\frac{2}{3}$ شتاب افقی بوده، می تواند تا $\frac{1}{2}$ آن نیز تقلیل یابد. براین اساس، نیروهای زلزله در دو جهت افقی و قائم در اثر وزن سد و نیز آب موجود در مخزن سد و نیز آب موجود در مخزن تاثیر خواهند کرد که با توجه به خاصیت نوسانی زلزله، نیروهای افقی می تواند به سمت بالا دست یا پایین دست و نیروی قائم می تواند به سمت بالا یا پایین اثر کند که در بین حالات مختلف، شرایطی که بحرانی ترین حالت را برای طراحی نشان دهد، مورد بررسی و انتخاب قرار می گیرد.

۱- نیروهای وارد بر سد

۱-۱- نیروهای زلزله ناشی از وزن سد

در اثر زلزله و امواج بوجود آمده از آن در جسم سد نوساناتی ایجاد شده که متناسب با وزن آن، نیرویی به نام نیروی اینرسی به مجموعه نیروهای وارده به سد اضافه شده، خستگی هایی را در قسمتهای مختلف سد به وجود می آورد. همانگونه که اشاره گردید، به دلیل تقسیم شتاب زلزله به دو مولفه افقی و قائم (که مولفه افقی نیز می تواند در صفحه افق دارای جهات متفاوتی باشد)، نیروی اینرسی نیز دارای دو مولفه افقی و قائم خواهد بود. اضافه می نمائیم که نیروی اینرسی همیشه در جهت خلاف شتاب افقی زلزله به سمت بالادست باشد، نیروی اینرسی افقی به سمت بالا دست باشد، نیروی اینرسی افقی به سمت پایین دست خواهد بود و بالعکس و همچنین برای شتاب قائم زلزله نیز چنین است.

۱-۲- نیروی زلزله ناشی از آب پشت سد

آب پشت سد نیز در صورت وجود می تواند متاثر از دو مولفه افقی و قائم شتاب زلزله شده و متناسباً دو نیروی افقی و قائم بر سد وارد کند.

۲- عوامل خرابی سد

سد بتنی ممکن است به یکی از سه علل زیر سقوط نماید:

۴- لغزش روی یک صفحه افقی

۵- چرخش روی پنجه خود

۶- ضعف مصالح ساختمانی (افزایش تنش وارده نسبت به تنش مجاز)

۲-۱- پایداری در مقابل چرخش یا واژگونی

اگر نتیجه تمام نیروهای وارده بر سد، از خارج از قاعده (یا مقطع افقی) مربوط بگذرد، سد واژگون خواهد شد، مگر آنکه بتواند در مقابل تنش های کششی مقاومت نماید. برای بررسی پایداری سد در مقابل واژگونی، از ضریب اطمینان واژگونی (F_m) استفاده می شود و آن عبارت است از نسبت لنگر نیروهای مقاوم در مقابل واژگونی حول پنجه سد (یا مقطع) به لنگر نیروهای واژگونی نسبت به همان نقطه:

$$F_m = \frac{\sum M_R}{\sum M_O}$$

حداقل ضریب اطمینان مذکور برای سدهای وزنی معادل ۱/۵ در نظر گرفته می شود و چنانچه ایمنی سد در

مقابل لغزش و تنش تامین گردد، معمولاً ضریب اطمینان واژگونی بین ۱/۵ تا ۲/۵ به دست می آید.

۲-۲- پایداری در مقابل لغزش

خرابی سد وزنی می تواند در اثر لغزش روی قاعده و یا در اثر لغزش هر قطعه از سد روی سطح افقی قطعه پایینی (که جدا کننده دو قطعه از یکدیگر است) اتفاق افتد. عواملی که می توانند در مقابل لغزش مقاومت کنند عبارتند از اصطکاک و مقاومت برشی

موجود بین دوقطعه پایین سد و سنگ فونداسین در محل قاعده که مجموعاً نیروهای مقاومت در مقابل لغزش را تشکیل داده و سد باید به گونه ای طراحی گردد که این نیروها از نیروهای لغزشی بیشتر باشند. براین اساس ضریب اطمینان در مقابل لغزش (F_S) عبارت خواهد بود از نسبت کل نیروهای افقی مقاوم در مقابل لغزش به نیروهای افقی لغزشی

$$F_S = \frac{\mu \sum F_v}{\sum F_h}$$

۳- محاسبات کنترل پایداری سد لتیان

سد لتیان در یک منطقه زلزله خیز واقع شده و باید در برابر نیروهای اینرسی بوجود آمده در اثر حرکت ناگهانی پوسته زمین مقاومت کند هنگامی که زمین زیر سد حرکت می کند سد نیز برای اینکه دچار شکست نشود باید همواره با آن حرکت کند الاستیسته مواد بکار رفته در این سد شدت شدت زمین لرزه و جرم سد عواملی هستند که اندازه و بزرگی نیروهای ناشی از زمین لرزه به آنها بستگی دارد. در این فصل تحلیل نیروهای سد در برابر زلزله احتمالی برای بلندترین پشت بند آورده شده و پایداری سد جهت تحمل مجموعه نیروهای تحمیلی زلزله مورد بررسی قرار گرفته است

۳-۱ مشخصات هندسی و پارامترهای مربوطه به سد

الف - ارتفاع بلند ترین پشت بند سد لتیان ۱۰۷ متر بوده و شیب رویه بلوکها در سراب ۱ قائم به ۴۵٪ افقی و در پایاب ۱ قائم به ۴۸٪ افقی می باشد .

ب- محاسبات برای واحد طول می باشد.

ج- وزن مخصوص مواد سازنده (بتن) $W_C = 24 \text{ KN} / \text{m}^3$

د- مدول الاستیسته مصالح که برای بتن بین 2×10^7 و 3×10^7 قرار دارد که در محاسبات مربوط به پایداری این سد $E_C = 2.1 \times 10^7$ در نظر گرفته شده است.

۳-۲ بارهای قائم

۱- نیروی وزن : مهمترین نیروی مقاوم در یک سد بتنی است و از حاصل ضرب مساحت نیمرخ عرضی (مقطع عرضی) در وزن مخصوص بتن بدست می آید

۲- نیروی وزن آب : وزن آب روی پشت بند با ماکزیمم ارتفاع

۳- نیروی قائم زلزله : بر طبق آیین نامه ۱۸۹۳-۱۹۷۵ IS کشور هندوستان برای محاسبه شتاب زلزله که معمولاً به صورت کسری از شتاب جاذبه زمین است از دو روش ضرب زلزله خیزی و روش طیف پاسخ استفاده می شود .

الف (روش ضریب زلزله خیزی

در این روش از پارامتر α که ضریب شتاب گرانش می باشد و به صورت زیر بیان می شود استفاده میشود

$$\alpha = \beta I \alpha$$

β : فاکتور خاک-پی سیستم است و برای سدهای وزنی واحد در نظر گرفته می شود.

۱: فاکتور اهمیت و برای سدهای وزنی ۲ در نظر گرفته می شود.

α : ضریب زلزله خیزی پایه که بر حسب جدول بیان می شود.

ناحیه	I	II	III	IV	V
ضریب زلزله خیزی پایه (α)	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۸
فاکتور ناحیه زلزله خیز (F_0)	۰/۰۵	۰/۱	۰/۲	۰/۲۵	۰/۴

۲- روش طیف پاسخ

محاسبات مربوط به نیروی زلزله در سد لتیان در این پروژه از این روش انجام می گیرد. زیرا IS پیشنهاد می کند اندازه نیروهای اینرسی برای سدهای تا ارتفاع ۱۰۰ متر از روش ضریب زلزله خیزی و برای سدهای بلندتر از ۱۰۰ متر از روش طیف پاسخ استفاده شود. شتاب عمودی: بزرگی نیروی اینرسی برابر حاصلضرب جرم (M) در شتاب عمودی است.

شتاب افقی: با محاسبه پیروید طبیعی ارتعاش از فرمول $T = 5.5 \left(\frac{H^2}{B} \right) \sqrt{\frac{W_c}{gE_c}}$ و فرض ۵٪ استهلاک (طبق پیشنهاد IS) مقدار

Sa/g از نمودار محاسبه می شود.

با داشتن Sa/g ضریب زلزله خیزی از معادله $\alpha = \beta I F_0 (Sa/g)$ محاسبه می شود.

۴- زیر فشار^۲: این فشار در همه جهات وارد می گردد و باعث کاهش اثر نیروی وزن سد می شود. مقدار و بزرگی این فشار به مشخصه های فونداسیون، مواد سازنده، پرده تزریق و شرایط زهکشی و روشهای اجرای سازه بستگی دارد. نیروی زیر فشار $U = \text{فشار متوسط} \times \text{مساحت}$

$$U = \gamma_w \left(\frac{H + H'}{2} \right) \times (B \times 1)$$

H : عمق آب در بالادست سد

H' : عمق آب در پایین دست سد

B : عرض سد

۳-۳ بارهای افقی

۱- زلزله افقی: با احتساب αh شتاب افقی محاسبات مربوط به هر بخش در جدول آورده شده است.

نیروی وزن هر بخش $\times \alpha h =$ نیروی افقی زلزله

۲- فشار استاتیکی آب: عبارتست از نیروی استاتیک آب که با توزیع مثلی از بالا به پایین در ارتفاع سد اعمال می شود.

۳- فشار هیدرودینامیک: تاثیر افقی نیروی زلزله بر بالادست باعث افزایش لحظه ای فشار آب می شود و سد و فونداسیون آن به سمت مخزن شتاب می گیرند و آب به دلیل وجود اینرسی در مقابل حرکت مقاومت می کند و از اینرو فشار آب افزایش می یابد. فشار آب اضافی ناشی از زمین لرزه به عنوان فشار هیدرودینامیکی ارائه می شود. به دلیل وجود فاکتورهای متعدد تعیین دقیق فشار هیدرودینامیکی مشکل است و معمولاً از روش های زیر برای برآورد فشارهای هیدرودینامیکی استفاده می شود.

الف) روش فون کارمن^۳: طبق این روش تغییرات فشار هیدرودینامیکی سهموی است و نیروی فشار آب ناشی از زمین لرزه برابر است با:

$$P_e = 0.555 \alpha_h \gamma_w h^2$$

α_h : ضریب شتاب افقی و h : عمق بالادست قاعده سد است.

۲- روش زنگار: در محاسبات مربوط به نیروی هیدرودینامیکی سد لتیان در این پروژه از این روش استفاده شده است که بر طبق

آن توزیع فشار هیدرودینامیکی بیضوی-سهموی است و در عمق y زیر سطح آب مخزن از رابطه $Pe = C \alpha_h \gamma_w H$ عمق کلی آب

² Uplift pressure

³ Van Karman

C : ضریب پی بعد است.

ضریب C به شیب بالادست و عمق مخزن بستگی دارد و به صورت زیر می باشد:

$$C = \frac{C_m}{2} \left[\frac{y}{H} \left(2 - \frac{y}{H} \right) + \sqrt{\frac{y}{H} \left(2 - \frac{y}{H} \right)} \right]$$

C_m : مقدار ماکزیمم ضریب C برای شیب داده شده بالادست سد و برابر است با:

$$C_m = 0.735(1 - \theta/90)$$

که در آن:

θ : زاویه نمای بالادست سد با سطح افق می باشد.

۵- نیروی موج: این نیرو در اثر وزش باد به صورت افقی وارد می شود و به طریقه زیر محاسبه می شود:

$$h_w = 0.0322\sqrt{F.V} + 0.763 - 0.271F^{0.25}$$

که در آن:

F : بیشینه فاصله اثر باد در مخزن یا فش بر حسب کیلومتر

V : سرعت باد بر حسب کیلومتر بر ساعت می باشد.

$$P_w = 2\gamma_w h_w^2$$

که در آن:

P_w : نیروی فشار موج در واحد طول می باشد.

خط تاثیر P_w در ارتفاع $0.375h_w$ بالای تراز آب ساکن خواهد بود.

محاسبات مربوط به آنالیز زلزله به روش طیف پاسخ در سد لتیان (طبق آیین نامه IS کشور هند برای سدهای پشتبند دار):

$$B = 75m \text{ و } H = 107m \text{ و } E_c = 2.1 \times 10^7 KN/m^2 \text{ و } \beta = 1 \text{ و } I = 2$$

(با فرض ناحیه زلزله خیز V) $F_0 = 0.4$

$$T = 5.55 \left(\frac{H^2}{B} \right) \sqrt{\frac{W_c}{gE_c}}$$

$$T = 5.55 \left(\frac{107^2}{75} \right) \sqrt{\frac{24}{9.8 \times 2.1 \times 10^7}} = 0.289 \text{ sec}$$

بر طبق آیین نامه هندوستان با فرض ۵٪ استهلاک برای سد پشتبند دار لتیان داریم:

با فرض ۵٪ استهلاک از جدول $T - Sa/g$ خواهیم داشت:

$$T = 0.289 \text{ sec} \Rightarrow Sa/g = 0.19 \Rightarrow \alpha = 1 \times 2 \times 0.4 \times 0.19 = 0.152$$

$\alpha_v = 0.152g$ = شتاب زلزله

$$\alpha_h = \left(1 - \frac{y}{H} \right) (1.5\alpha)$$

$\alpha_v = 0.75\alpha$ = شتاب قائم زلزله

$$\alpha_h = \alpha = 0.152g$$

$$\alpha_v = 0.0937g$$

- فشار هیدرودینامیک:

$$\theta = \tan^{-1}(.45)$$

$$C_m = 0.735(1 - \frac{24.22}{90}) = .537$$

$$C = \frac{C_m}{2} \left[\frac{y}{H} \left(2 - \frac{y}{H} \right) + \sqrt{\frac{y}{H} \left(2 - \frac{y}{H} \right)} \right] \Rightarrow c = .537 \quad (y = h)$$

$$Pe = C\alpha_h\gamma_w H$$

$$\Rightarrow H = 107 - 3 = 104 \Rightarrow Pe = .537 \times .15 \times 9.81 \times 104 = 82.18$$

$$Pe = .726 Pe \times h \Rightarrow Pe = .726 \times 82.18 \times 104 = 6204.91 KN$$

$$Me = .3 Pe \times z^2 \Rightarrow Me = .3 \times 82.18 \times 104^2 = 266657.6 KN.m$$

- نیروی موج

$$h_w = 0.0322 \sqrt{F.V} + 0.763 - 0.271 F^{0.25}$$

$$F = 100 Km \quad (\text{فش مخزن})$$

$$V = 80 Km/hr \quad (\text{سرعت باد})$$

$$\Rightarrow hw = .0322 \sqrt{100 \times 80} + .763 - .27 \times 100^{0.25} = 2.78 m$$

$$P_w = 2\gamma_w h_w^2 = 2 \times 9.81 \times 2.78^2 = 152.28 KN$$

$$.375 hw = .375 \times 2.78 = 1.04 \quad (\text{محل اثر نیروی موج})$$

$$= 107 - 1.04 = 105.95 \quad \text{بازوی نیروی موج}$$

مرکز ثقل سد:

$$X_G = \frac{43.5 \times 97 \times .5 \times 29 + 8 \times 107 \times 47.5 + 46.5 \times .5 \times 97 \times 67}{43.5 \times 97 \times .5 + 8 \times 107 + 46.5 \times 97 \times .5} = 48.45 m$$

$$Y_G = \frac{43.5 \times 97 \times .5 \times 97 \div 3 + 8 \times 107 \times 107 \div 2 + 46.5 \times 97 \times .5 \times 97 \div 3}{43.5 \times 97 \times .5 + 8 \times 107 + 46.5 \times 97 \times .5} = 35.8$$

جدول محاسبات نیرو و لنگر مربوط به سد لتیان:

شرح نیرو		محاسبات بار (KN)	مقدار نیرو (KN)	بازو نسبت به مرکز سطح	لنگر در حول مرکز	
۱		۲	۳	۴	۵	
		قائم	افقی		پادس اعتگ رد	ساعتگرد
الف)	بارهای قائم					
۱) وزن سد						

(a)	$\frac{43.5 \times 97}{2} \times 24 = 50634$	50634		19.45		
(b)	$8 \times 107 \times 24 = 20544$	20544		1		
(c)	$\frac{46.5 \times 97}{2} \times 24 = 54128$	54128		18.55		
وزن (۲) آب						
(d)	$10 \times 43.5 \times 97 = 21097.51$	21097.51		33.95		
(e)	$10 \times 10 \times 43.5 = 4350$	4350		26.7		
زلزله (۳) قائم						
(a)	$50634 \times . / 0937 g = 46542.6 KN$			19.45		
(b)	$20544 \times . / 0937 g = 18883.9$			1		
(c)	$54126 \times . 0937 g = 49752.45$			18.55		
(d)	$21097.5 \times . / 0937 g = 19392.7$			33.95		
(e)	$4350 \times . / 0937 g = 3998.5$			26.7		
برکن (۴) ش (up) (lift)						
U1	$8 \times (\frac{107 + 35.66}{2} \times 20) = 13980.2$	13980.2				
U2	$2 = 9.8 \times (\frac{78 \times 35.66}{2}) = 13629.3$	13692.3				
U=U1 +U2	$U = U1 + U2 = 27609.93$	26609.93				
(ب) بارهای افقی						
زلزله (۱) افقی						
(a)	$50634 \times 1.49 = 75444.66$		444.66	3.46		
(b)	$20544 \times 1.49 = 30610.56$		610.56	17.7		
(c)	$54126 \times 1.49 = 80647.74$		647.74	3.46		

فشار استاتی کی آب (۲)	$5 \times 107 \times 107 \times 9.8 = 56100$			$107 \div 3 = 35.66$		
فشار هیدرود ینامیک ی (۳)	$.726 \times 82.18 \times 104 = 6204.9$					
نیروی موج	$2 \times 9.81 \times 2.78^2 = 152.28$			$8 \times .375 = 105.9$		

سدهای لتیان و سفیدرود هر دو از نوع پشت بنددار و از لحاظ مشخصات هندسی بسیار شبیه به هم می باشند تحقیقات بسیار اندکی نسبت به پاسخ این سدها نسبت به زلزله انجام گرفته است شاید به این علت که این نوع سدها کمتر از سدهای وزنی و قوسی مورد استفاده قرار میگیرند. به دلیل نبود مطالعات پاسخ پارامتری و جامع، میزان اهمیت عوامل مختلف مثل برهم کنش سد و آب از یک سو و سد و سنگ کف از سوی دیگر، در پاسخ زلزله این نوع سدها چندان مشخص نمی باشد.

احتمال ترک خوردگی در سدهای وزنی در قسمت فوقانی سد و در سدهای قوسی در نزدیکی تکیه گاه و بالای قوس بیشتر است. سدهای بتنی قوسی یا وزنی طوری طراحی می شوند که بار وزن و فشار هیدرواستاتیک آب را با حداقل تنش کششی به تکیه گاهها منتقل نمایند تنشهای فشاری پدید آمده در سدها معمولاً تا مقاومت فشاری بتن فاصله زیادی دارند زیرا تنش مجاز که مبنای کنترل طرح می باشد محدود به مقداری کمتر از مقاومت فشاری می باشد بهنگام زلزله تنشهای تناوبی در نقاط مختلف سد بوجود می آید در نواحی که تحت تنش فشاری بزرگی هستند مجموع تنشهای دینامیکی و استاتیکی معمولاً تا مقاومت فشاری بتن فاصله دارند و لذا غالباً پس از زلزله خرد شدگی ناشی از تنشهای فشاری دیده نمی شود و یا در صورت وقوع بصورت موضعی و در اطراف سازه های جنبی می باشد در مقابل بدلیل کوچکی مقاومت کششی بتن که حدود ۰/۱ مقاومت فشاری است تنشهای دینامیکی میتواند در نواحی خاصی منجر به گسیختگی کششی و گاه برشی شوند نواحی مستعد ترک خوردگی کششی بخشهایی از سد هستند که در حالت تحت تنش فشاری کوچکی هستند ولی بهنگام زلزله تنشهای دینامیکی بزرگی را تجربه می کنند. در سدهای وزنی پشت بند دار مثل لتیان و سفید رود در بخش فوقانی سد بخصوص محلی که شیب پایین دست تغییر می کند از جمله نواحی مستعد ترک خوردگی هستند زیرا در این ناحیه وزن بتن فوقانی کم است در نتیجه بار مرده کوچک است. در مقابل بدلیل پاسخ دینامیکی این سدها معمولاً شتاب شتاب افقی این نواحی معمولاً چندین برابر شتاب افقی در پی سد بوده در نتیجه بارهای دینامیکی بسیار بزرگی به این بخش وارد میشود مجموع دو عامل فوق الذکر سبب می شود که ترک خوردگی کششی یا برشی پس از زلزله های بزرگ در این نواحی مشاهده شود برای مثال در سدهای سفید رود و کوینا چنین کیفیتی بعد از زلزله مشاهده شده است علاوه بر مسئله تنشها عوامل دیگری بر ترک خوردن بتن تاثیر دارند مهمتر از همه درزها هستند زیرا درزهای ساختمانی بین بلوکهای مجاور درزهای انقطاع بتن ریزی و درز بین پی و بدنه سد دارای مقاومت کمتری نسبت به بتن یکپارچه هستند در نتیجه در هنگام زلزله به سرعت ترک خورده و به امر گسترش ترک کمک می کنند در نتیجه فرض بتن همگن و یکپارچه به تخمین کمتر از واقع ترک خوردگی منجر می شود از دیگر عوامل آسیب های سدهای بتن در زلزله مسئله انقباض بتن و تنشهای حرارتی ناشی از آن می باشد که میتواند سبب کشش در بتن شود و این نقاط را برای ترک خوردگی آماده نمایند با توجه به آنکه تنشهای حرارتی تابع دما می باشند این نکته که زلزله در چه فصلی رخ دهد حائز اهمیت است علاوه بر آن مسئله خزش در بتن که باعث التیام تنشها می شود و به توزیع یکنواخت تر تنشهای کمک میکند را در صورت امکان باید در نظر گرفت در نتیجه فاصله زمانی بین ساخت سد تا وقوع زلزله عامل مهم دیگری است که در میزان ترک خوردن بتن تاثیر دارد علاوه بر مسئله خزش، مقاومت و سختی بتن تابع عمر آن میباشد

آزمایشات انجام شده موید آن است که رفتار بتن تحت تنشهای متناوب فشاری تا ۶۰ درصد مقاومت فشاری ارتجاعی خطی است از طرف دیگر آنالیز دینامیکی سدهای بتنی مبین آنست که تنشهای فشاری طی زلزله جز در بخشهای کوچکی از سد بندرت از این حد فراتر می رود زیرا همانگونه که گفته شد تنشهای فشاری بتن تحت بارهای سرویس به مقاومت مجاز محدود میگردند که خود کسری از مقاومت فشاری بتن میباشد در نتیجه رفتار غیر خطی بتن در فشار شامل جذب انرژی در فشار در حلقه پس ماند و تغییر در سختی سازه قابل اغماض می باشد. رفتار بتن در محدوده تنشهای کششی نیز غیر خطی است ولی چون مقاومت کششی بتن نسبت کوچکی از مقاومت فشاری آن است و از طرف دیگر با افزایش کرنش ها و ترک خوردگی بتن این مقاومت به مقادیر ناچیزی نقصان می یابد در محاسبات دینامیکی سدها با دقت فابل قبول رفتار بتن رادر کشش ارتجاعی خطی در نظر می گیرند و نمودار تنش - کرنش مماس بر منحنی تنش - کرنش صفر در نظر گرفت علاوه بر بتن آب موجود در ترکها و درزها نیز بر توزیع تنش اثر گذاشته و شروع و توسعه ترک خوردگی تحت الشعاع قرار می دهد این امر مخصوصا در بخشهای پایینی سد و محل تاج سد تاپی سنگی اهمیت بیشتری دارد عموما فقط فشار حفره های استاتیکی به هنگام آنالیز زلزله در نظر گرفته میشود (به جای آنکه اثر توام استاتیکی و دینامیکی در نظر گرفته شود) زیرا هر چند که پاسخ در هنگام زلزله تحت تاثیر تنشهای موثر و فشار حفره ای است اما معمولا فرض می شود آب حفره ای به هنگام سیکل های فشار حرکت نمی کند این بدان علت است که به هنگام زلزله تنشهای دینامیکی به سرعت تغییر نموده و آب حفره ای زمان لازم برای حرکت را پیدا نمی کند در نتیجه می توان مجموعه بتن و آب حفره ای را به عنوان یک جسم در نظر گرفته و پدیده ترک خوردگی را بر حسب تنشهای کل بیان نمود بنا بر این یک مدل واقعی برای پیش بینی رفتار بتن می تواند مبتنی بر رفتار ارتجاعی تا مرحله شکست و گسیختگی ترد شامل پیش بینی محل شروع ترک خوردگی و نحوه گسترش آن باشد.

بطور خلاصه نواحی صدمه پذیر این نوع سدها بشرح زیر می باشد:

الف- اتصالات بالا دست پشت بندها

ب- نواحی که آبگیرها عبور می نمایند

ج- اتصالات بین دالهای مسطح از نوع Ambursen و یا قوسها در سدهای چند قوسه یا پشت بندها

د- ناحیه مجاور پی در پشت بندها

سد سفیدرود دقیقا در مرکز زلزله واقع شده و میتوان فرض کرد که یکی از گسلهای دخیل در زلزله از چند صد متری (بالادست یا پایین دست) محور سد به موازات آن میگذرد اما احتمالا هیچ گسل فعالی درست از پی سد عبور نمیکند. به همین نحو سد لتیان نیز در فاصله مشابهی از گسل فعال قرار گرفته است طوری که نزدیکترین فاصله راندگی شمال تهران از ساختگاه سد لتیان حدود ۳/۳ کیلومتر می باشد و توان لرزه زایی این گسل بر پایه روابط تجربی، زمینلرزه ای به بزرگای $6/9 Ms$ بر آورد می شود همچنین نزدیکترین فاصله گسل تلو از ساختگاه سد لتیان حدود ۶/۵ کیلومتر و حداکثر توان لرزه زایی آن بر پایه روابط تجربی، زمین لرزه ای به بزرگای $6/6 (Ms)$ بر آورد می شود. و بالاخره نزدیکترین فاصله گسل مشاء از ساختگاه سد لتیان ۷ کیلومتر می باشد و توان لرزه زایی این گسل بر پایه روابط تجربی، زمینلرزه ای به بزرگای بیش از $7 (Ms)$ بر آورد می شود. با توجه به موارد فوق وقوع زلزله ای مشابه رودبار و منجیل در ساختگاه سد لتیان بسیار محتمل می باشد علی الخصوص آنکه زلزله هایی با مشخصات زیر نیز در ساختگاه این سد رخ داده است:

۱- زمین لرزه ۲۲ ژوئیه ۱۹۲۷ میلادی شمال دشت کویر:

شب هنگام ۳۱ تیر ماه ۱۳۰۶ خورشیدی زمین لرزه ای به بزرگای $9 (Ms)$ / در فاصله حدود ۱۵۰ کیلومتری جنوب باختری سد لتیان بوقوع پیوست بدنبال زمین لرزه اصلی پس لرزه های بسیار زیاد رخ داد که به گونه ای گسترده حس شد.

۲ - زمین لرزه ۱۲ اکتبر ۱۹۳۰ میلادی آه - مبارک آباد:

زمین لرزه آه و مبارکآباد با بزرگای $2/5 (Ms)$ / ۵ روز پنجشنبه دهم مهر ماه ۱۳۰۶ خورشیدی در فاصله حدود ۳ کیلومتری شمال خاوری ساختگاه سد لتیان رویداد. کانون سطحی زمین لرزه تو سط پایگاههای ISC با خطای حدود ۱۴ کیلومتر نسبت به مرکز

سطحی مهلرزه ای معرفی شده است. با وجود کوچک بودن بزرگای زمین لرزه آه – مبارک آباد بسبب قرار گرفتن کانون مهلرزه بر روی گسل مشاء ونزدیکی آن به ساختگاه سد لتیان از ارزش ویژه ای برخوردار است.

۳- زمین لرزه ۲۵ سپتامبر ۱۹۴۰:

مرکز سطحی زمین لرزه در فاصله ۶۵ کیلومتری ساختگاه سد لتیان و بزرگای زمین لرزه (Ms) ۵ بوده است.

۴- زمین لرزه ۲ سپتامبر ۱۹۵۴:

زمین لرزه ای (Ms) ۴/۵ در فاصله ۳۴ کیلومتری شمال خاوری ساختگاه سد لتیان در حوالی روستای موشا به وقوع پیوست و سبب جنبش دوباره گسل مشاء گردید.

۵- زمین لرزه ۲ ژوئیه ۱۹۵۷ میلادی سنگچال:

زمینلرزه ای ویرانگر به بزرگای (Ms) ۶/۷ و در فاصله حدود ۷۴ کیلومتری شمال خاوری ساختگاه سد لتیان سبب ویران پهنه ای در سنگچال البرز گردید. شدت این زمینلرزه در تهران حدود V درجه مرکالی اصلاح شده برآورد شده است.

۶- زمین لرزه اول سپتامبر ۱۹۶۲ بوئین زهرا :

زمینلرزه های مخرب و ویرانگر که بزرگای این زمینلرزه Ms ۷/۲ و Mb ۶/۹ گزارش شده است .

۷- زمینلرزه ۸ نوامبر ۱۹۶۶ میلادی صمغ آباد طالقان :

بزرگای این زمینلرزه توسط ISC ۴/۸ Mb و توسط USCGS برابر ۵ Mb گزارش شده است و فاصله آن تا ساختگاه سد لتیان حدود ۹۰ کیلومتر برآورد می شود.

۸- زمین لرزه ۳ اکتبر ۱۹۷۰ میلادی تهران :

بزرگای این زمین لرزه ۴/۱ Mb توسط USCGS گزارش گردیده است فاصله این زمینلرزه از ساختگاه سد لتیان حدود ۴۳ کیلومتر برآورد شده است.

۹- زمینلرزه ۱۰ ژانویه ۱۹۷۴ :

زمین لرزه ای به بزرگای Mb ۴/۳ در فاصله حدود ۲۵ کیلومتری شمال خاوری ساختگاه سد لتیان بوقوع پیوسته است
سد سفید رود وسازه های وابسته به آن و تاسیسات آنرا می توان جزوه سازه های ردیف «ب» یعنی خسارت دیده ولی منهدم نشده محسوب نمود در واقع بر سد و سازه های آن صدمات جدی وارد شده که در صورت عدم تعمیرات بموقع امکان بهره برداری از آن وجود نداشت.

پس از زلزله احتمالی در ساختگاه لتیان باید بازرسی های زیر برای کنترل پایداری سد انجام گیرد:

۱- بازرسی مقدماتی از سد بلافاصله از زلزله

۲- بازرسی اصلی از سد بعد از وقوع زلزله

۳- بازرسی تفصیلی از سازه سد و سازه های وابسته به آن (شامل ابزارهای رفتار نگاری و ...)

۴- ارزیابی مقدماتی رفتار سد بعد از وقوع زلزله

۵- بازرسی تفصیلی و آزمایش تجهیزات هیدرو مکانیکی

۶- نتایج و نتیجه گیری های حاصل از این بازرسی ها