A-PDF WORD TO PDF DEMO: Purchase from www.A-PDF.com to remove the watermark

مقدمه

۱- کلیات و تاریخچه ۱

۲-تعاریف عمومی..... ۲

محور سد ۲

مقطع عرضی سد ۳

ارتفاع سازه ای ۴

ارتفاع هیدرولیکی ۴

طول سد..... ۴

ترازهای دریاچه ۴

سد وزنی روی پی سنگی (پی غیر قابل نفوذ) و سد وزنی روی پی قابل نفوذ (مصالح دانه‌ای) ۵

۳-معیار برای انتخاب محل سد..... ۶

۴- درزها ۶

-درز انقباض عرضی ۷

-بلوک ۷

-درز اجرایی افقی (در ارتفاع) ۷

-درز انقباض طولی ۷

۵-سیستم خنک کننده بتن تازه ۸

۶-گالریها و راهروها ۹
۷-نوارهای آبند (واتراستاپها) ۹
۸-بارهای موثر بر سدهای وزنی..... ۹
-بارهای مقاوم ۹
-بارهای محرک ۱۰
-ترکیبات بار ۱۱
۹-تشریح بارهای وارد بر سد ۱۲
-بار مرده ۱۲
-وزن آب بر روی وجوه بالادست و پایین دست ۱۳
-فشار جانبی آب ۱۳
-فشار رسوب..... ۱۳
-فشار برکنش ۱۳
-نیروهای زلزله ۱۴
-روش استاتیکی معادل برای سدهای کوتاهتر از ۱۰۰ متر ۱۷
-روش طیفی برای سدهای بلندتر از ۱۰۰ متر ۱۷
-فشار موج ۱۸
-فشار باد ۱۸
-فشار یخ ۱۸

۱۰-هندسه اولیه مقطع سد..... ۱۹
-تعیین حداقل عرض پایه برای شرایط طراحی مختلف ۱۹
۱۱-روشهای تحلیل و تعیین تنشها در سدهای وزنی..... ۲۰
-روش وزنی (رفتار طره ای)..... ۲۰
-روش پیگاد ۲۰
-روش بار آزمایشی ۲۱
-روش اجرای محدود ۲۲
-روشهای تجربی ۲۲
۱۲-معیارهای پایداری و ایمنی سدها ۲۲
۱۳-مفروضات در مورد روش وزنی ۲۲
۱۴-تاثیر خواص الاستیک شالوده در تنشهای سد ۲۳
۱۵-سدهای بتنی پایه دار..... ۲۳
-مزایای سدهای بتنی پایه دار ۲۳
-انواع سدهای پایه دار ۲۴
۱۶-مشخصات فنی بتنهای حجیم ۲۶
-سیمان ۲۶
-آب..... ۲۷
-سنگدانه ها ۲۷

-مشخصات مکانیکی بتنهای حجیم ۲۷

-آزمایشهای کنترل کیفیت ۲۸

-کنترل درجه حرارت.....۲۹

-لایه های بتن ریزی.....۲۹

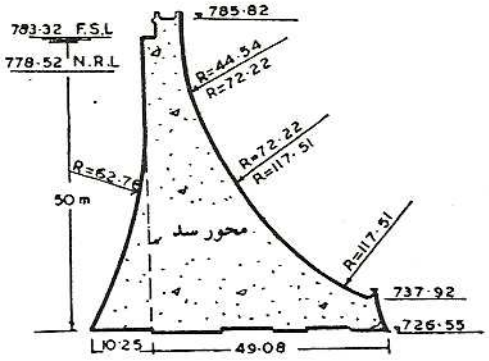
1- کلیات تاریخچه

سد وزنی یک سازه بتنی توپر است که به واسطه وزن خود در مقابل نیروهای وارده مقاومت می کند. تا اواسط قرن نوزدهم, سدهای بنایی بدون توجه به اصول طراحی ساخته می شدند. قدیمی ترین سد وزنی ثبت شده, سد وزنی الکانته در اسپانیاست که زمان ساخت آن بین ۱۵۷۹ تا ۱۵۹۴ می باشد.سد فورن (شکل۱) که بین سالهای ۱۸۶۱ تا ۱۸۶۶ بر روی رودخانه لویر در ۹ کیلومتری بالا دست سنت اتین فرانسه ساخته شد, شکل اولیه سدهای مدرن امروزی است. در سال ۱۸۵۵ تحقیقات سازیلی و دلوکره منجر به برقراری یک مقطع عرضی منطقی با مقاومتهای مساوی در ترازهای مختلف شد. نظریه نامبردگان بر مبنای اصول زیر قرار داشت:

الف: پایداری مقطع در مقابل واژگونی در حول لبه پایین دست

ب: پایداری در مقابل لغزش در امتداد صفحه پایه و درزهای افقی در ترازهای مختلف

پ: قانون ذوزنقه برای تعیین تنشهای بهره برداری (روابط معمول مقاومت مصالح)



شکل ۱- سد فورن در فرانسه

مهندسینی که در حدود سالهای ۱۹۰۰, به دنبال خطوط تئوریک بودند, شرایط وقوع و توسعه یک ترک از بالا دست, فشار استاتیک آب, فشار برکنش آب و موارد دیگر را مطالعه و معیارهای پایداری زیر را پیشنهاد کردند.

۱-بدون توجه به تراز وقوع ترک, کرنش الاستیک در انتهای ترک در یک درز افقی باید فشاری باقی بماند. (معیار پلتریا)

۲-کرنش فشاری الاستیک در یک ترک, که فرض می شود از بالا دست باز شده, باید طوری افزایش یابد که تمایلی برای توسعه به سمت پایین دست نباشد. (شرط هافمن)

۳-تنش فشاری الاستیک در یک درز افقی باید بزرگتر از فشار هیدرواستاتیک باشد, به نحوی که درز به صورت بسته باقی بماند. (معیار موریس لوی)

توزیع فشار برکنش توصیه شده برای طرحی از طرف محققین مختلف, از فشار هیدرو استاتیک کامل یکنواخت در تمام عرض قاعده (در تراز پایه یا هر درز افقی در ترازهای مختلف) تا توزیع مثلثی با فشار هیدرواستاتیک کامل در بالادست و فشار صفر در پایین دست, اختلاف داشت.

مباحثات انجام یافته روی فشار برکنش منجر به نتایج زیر شد:

الف: باید اقداماتی در جهت نفوذناپذیری پی انجام شود.

ب: زهکش هایی برای کاهش فشار برکنش در قاعده سد تعبیه گردد.

پ: توزیع فشار برکنش از بالادست به سمت پایین دست دارای تغییراتی باشد.

۲-تعاریف عمومی

I-محور سد

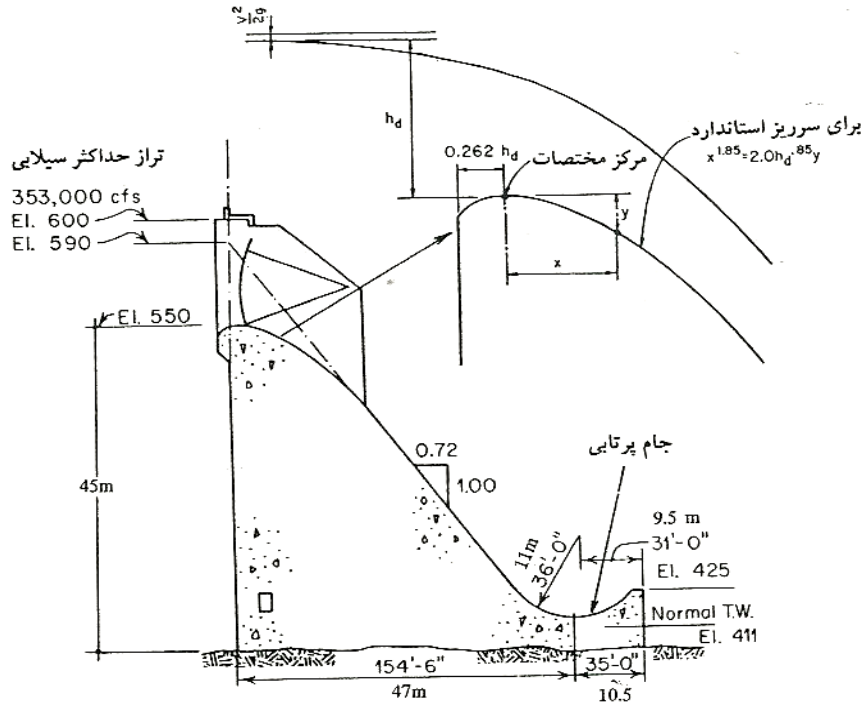
به عنوان یک مبنای هندسی, تصویر لبه بالا دست تاج سد (بالاترین تراز سد), به عنوان محور سد یا محور مبنای سد انتخاب می گردد. محور سد در پلان, در اکثر اوقات مستقیم است, لیکن برحسب شرایط توپوگرافی, گاهی به صورت منحنی و یا با ناحیه وسطی مستقیم و نواحی جناحی منحنی انتخاب می شود.

II-مقطع عرضی سد

یک سد وزنی معمولاً دارای سه نوع مقطع شامل: مقطع غیر سرریز, مقطع سرریز و مقطع آبگیری برای نیروگاه می باشد.

شیب وجه پایین دست مقطع عرضی غیرسرریز و مقطع عرضی آبگیر معمولاً ثابت بوده و مقدار آن در حدود ۰/۷ تا ۰/۸ افقی به ۱ قائم می باشد.

منحنی تاج مقطع سرریز سد, با توجه به منحنی عمومی سطح زیرین آبشار (جریان آب از روی سرریز لب تیز) انتخاب می شود. شیب وجه پایین دست نیز طوری انتخاب می شود که در بالا به منحنی تاج و در پایین به منحنی حوضچه آرامش یا جام سرریز مماس شود



شکل ۲ – مقطع عرضی سرریز سد وزنی

سرریز ممکن است آزاد باشد و یا دبی سرریز توسط دریچه هایی کنترل گردد. مقطع آبگیری شامل تجهیزاتی از قبیل اشغال گیر, دهانه شیپوری لوله آبگیر, تیرک آب بند, دریچه های اضطراری, لوله تحت فشار می باشد. در صورت وجود فضای کافی, نیروگاه در پای مقطع آبگیر ساخته می شود.

III- ارتفاع سازه ای

ارتفاع سازه ای یک سد بتنی یا بنایی, اختلاف بین تراز تاج سد تا پایین ترین نقطه حفاری شده در شالوده است سدهایی تا ارتفاع ۳۰ متر در رده کوتاه, بین ۳۰ تا ۱۰۰ متر در رده متوسط و بالاتر از ۱۰۰ متر, در رده مرتفع محسوب می شوند مرتفع ترین سد وزنی دنیا, سد دیکسن در سویس با ارتفاع ۲۸۴ می باشد

IV-ارتفاع هیدرولیکی

ارتفاع هیدرولیکی اختلاف بین ترازهای پایین ترین نقطه در بستر اولیه رودخانه در محور سد تا بالاترین تراز کنترل شده آب می باشد.

V- طول سد

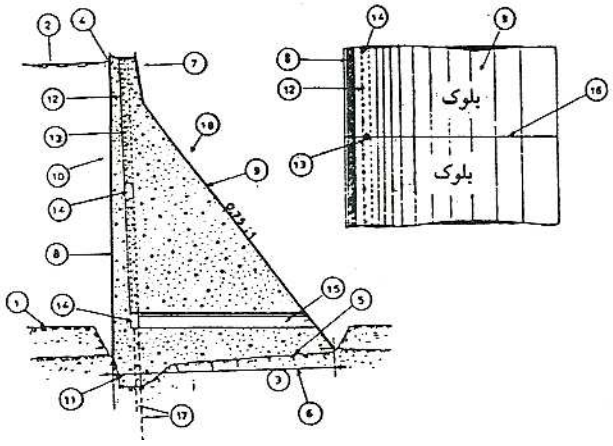
طول سد عبارت است از طول اندازه گیری شده, در امتداد محور سد از تکیه گاه چپ تا تکیه گاه راست در تراز تاج سد

VI-ترازهای دریاچه:

۱-حداکثر تراز عادی

۲-تراز سرریز

۱-تراز بستر رودخانه, ۲-تراز سطح آب در حالت عادی, ۳- پی (فونداسیون), ۴-رأس مثلث تئوریک, ۵-پایه, ۶-عرض پایه, ۷-تاج, ۸-وجه بالادست, ۹-وجه پایین دست, ۱۰-شیب بالادست, ۱۱-ترانشه آب بند, ۱۲-زهکش قائم, ۱۳-چاهک بازدید, ۱۴-گالری (راهرو) بازدید, ۱۵-راهرو, ۱۶-درز انقباضی, ۱۷-سوراخ تزریق, ۱۸-شیب وجه پایین دست



شکل ۳

۳-حداکثر تراز در سیلاب طرح

۴-حداکثر تراز در سیلاب کنترل ایمنی

VII- سد وزنی روی پی سنگی (پی غیرقابل نفوذ) و سد وزنی روی پی قابل (مصالح دانه ای)

تمام سدهای با ارتفاع بزرگتر از ۱۰ تا ۱۵ متر که با هدف سد مخزنی ساخته می شوند, روی پی سنگی (غیرقابل نفوذ) احداث می گردند. در مقیاس سدهای کوتاه تا ۱۰ متر که اغلب با هدف سد انحرافی ساخته می شوند, و به بند انحرافی موسومند, احداث سد روی پی نفوذپذیر (مصالح دانه ای) می تواند مورد توجه قرار گیرد. از نقطه نظر سازه ای اصول طراحی این دو نوع سد وزنی در موارد زیر دارای اختلاف است:

۱-میزان تنش فشاری مجاز پی در حالت پی نفوذپذیر, به مراتب کوچکتر از پی سنگی است و در نتیجه عرض قاعده سد در پی های نفوذپذیر بزرگتر می باشد.

۲-در کنترل در مقابل لغزش افقی, بین سد وزنی و پی نفوذپذیر (مصالح دانه ای), چسبندگی وجود نداشته و عامل مقاومت در مقابل لغزش افقی فقط اصطکاک است. این مسئله در بخش مربوطه مورد تدفیق بیشتر قرار خواهد گرفت.

۳-در سد وزنی روی پی نفوذپذیر باید توجه خاص به تراوش (نشت) آب از زیر بدنه سد در محیط نفوذ پذیر پی داشت.

۴-فشار برکنش آب در قاعده هر دو نوع سد وزنی روی پی سنگی و پی نفوذپذیر وجود دارد

۳-معیارهایی برای انتخاب محل سد

محل مناسب برای سد وزنی باید احتیاجات زیر را برآورده سازد:

۱-گلوگاه تنگ در محل دره و بالادست وسیع

۲-بستر سنگی بی نقض که قادر به مقاومت در مقابل نیروهای استاتیک و دینامیک باشد

۳-دره با شیب های جناحین پایدار

۴-پی با ثابت های الاستیک یکنواخت ترجیح دارد.

۴-درزها

اکثر سدها از نقطه نظر اجرایی و همچنین آزاد کردن تنشها و کرنشهای حرارتی و جلوگیری از ترک ناشی از آنها, به قطعاتی تقسیم بندی می شوند. حدفاصل بین دو قطعه را درز می گویند. درزهای مورد استفاده در یک سد بتنی وزنی عبارتند از:

الف-درز انقباض عرضی

ب-درز اجرایی افقی

پ-درز انقباض طولی

۴-۱-درز انقباض عرضی

روش جاری ساخت سدهای بتنی وزنی, تقسیم سد به بلوکهایی می باشد که دو بلوک مجاور توسط یک درز عرضی, که درز انقباض عرضی خوانده می شود, از یکدیگر جدا می گردند. درز انقباض عرضی به صورت قائم, عمود بر محور سد و در تمام عرض از فونداسیون تا تاج سد ادامه دارد. فواصل درزهای عرضی بین ۱۲ تا ۱۸ متر با مقدار معمول ۱۵ متر می باشد.

بلوک

قسمتی از سد وزنی که در حد فاصل دو درز انقباضی عرضی قرار می گیرد, بلوک نامیده می شود.

۴-۲-درز اجرایی افقی (در ارتفاع)

گاهی مواقع به منظور کنترل گرمای آبگیری, ارتفاع هر مرحله بتن ریزی, به ۰/۷۵ متر محدود می شود. درز ما بین دو مرحله بتن ریزی در ارتفاع, که یک درز افقی است, درز اجرایی افقی نامیده می شود

۴-۳-درز انقباض طولی

با افزایش ضخامت سد, هم از نقطه نظر اجرایی و هم از نقطه نظر وقوع ترک با صفحاتی قائم و به موازات محور سد, بتن ریزی یک بلوک را نمی توان در تمام ضخامت سد به طور یکپارچه انجام داد و تعبیه درزهای انقباض طولی (با صفحاتی به موازات محور سد) الزامی می باشد.

۵-سیستم خنک کننده بتن تازه

در سدهای بتنی خنک کردن بتن اغلب با پیش خنک کردن سنگدانه ها و آب مصرفی و پایین آوردن دمای بتن در هنگام بتن ریزی انجام می شود.در صورت عدم موفقیت به کنترل دما به این روش, باید داخل بتن لوله کشی شده و با عبور آب خنک از این لوله ها در حین گرفتن بتن, از افزایش درجه حرارت جلوگیری شود.فاصله لوله ها در هر لایه لوله کشی در صفحه افقی بین ۰/۶ تا ۱/۸ متر و فواصل لایه های افقی در ارتفاع در حدود ۱/۵ متر می باشد. قطر لوله های به کار رفته در حدود ۱ اینچ است. از عوامل دیگری که در کاهش درجه حرارت آبگیری بتن مفید است, کاهش ارتفاع بتن ریزی در یک مرحله است.تنش ایجاد شده در هر نقطه از بتن به علت تغییر در درجه حرارت, از رابطه زیر محاسبه می شود.

$$f = CE_C R(t_p + t_r - t_f) \qquad (۱)$$

f=تنش ایجاد شده در بتن (سعی می شود به ۱۴ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع محدود شود)

c=ضریب انقباض, انبساط حرارتی بتن در حدود 11×10^{-6} بر درجه سانتیگراد

E_c = ضریب الاستیسیته بتن در حدود $3.5\times10^{5} kg/cm^2$ تا 2.8 (به علت خزش پلاستیک مقدار آن به نصف تقلیل می یابد)

R= ضریب ممانعت در مقابل کاهش طول (در محل اتصال سد به شالوده در حدود ۱ است, لیکن با افزایش ارتفاع از شالوده مقدار آن کم می شود)

t_p = دمای بتن ریخته شده (سانتیگراد)

t_r = افزایش درجه حرارت به علت آبگیری (سانتیگراد).

t_f = دمای پایدار محیط (سانتیگراد)

۶-گالریها و راهروها

به منظور انجام عملیات چال زنی, تزریق, زهکشی, بازرسی, کنترل دستگاههای اندازه گیری و غیره مجموعه ای از راهروها و گالریها در داخل بدنه سد وزنی ایجاد می گردد.

۷-نوارهای آب بند (واتراستاپها)

همان طور که گفته شد در بالادست درزهای عرضی در نزدیکی وجه بالادست, ۲ تا ۳ ردیف واتراستاپ تعبیه می شود که وظیفه آنها آب بندی درز و همچنین جلوگیری از فرار دو غاب تزریق است. در گذشته جنس نوارهای آب بند از مس یا منل (آلیاژی از نیکل و مس) بود, لیکن امروزه اکثراً از نوارهای آب بند لاستیکی استفاده می شود.

۸-بارهای موثر بر سدهای وزنی

عامل پایداری سدهای وزنی در مقابل نیروهای وارده, وزن آنهاست . سد وزنی با توجه به وزن قابل توجه خود در مقابل لغزش و واژگونی ناشی از نیروهای وارده مقاومت کرده و آنها را به پی انتقال می دهد.

۱-بارهای مقاوم شامل:

(الف) وزن سد (نیروی F_1)

(ب) فشار جانبی آب پایین دست (فشار پایاب)

(پ) وزن آب موجود در وجه بالادست (نیروی F_3)

۲-بارهای محرک شامل:

(الف) فشار جانبی آن مخزن (نیروی F_2)

(ب) فشار برکنش (آپ لیفت) (نیروی U)

(پ) فشار موج

(ت) فشار یخ (نیروی F_5)

(ث) تنشهای حرارتی

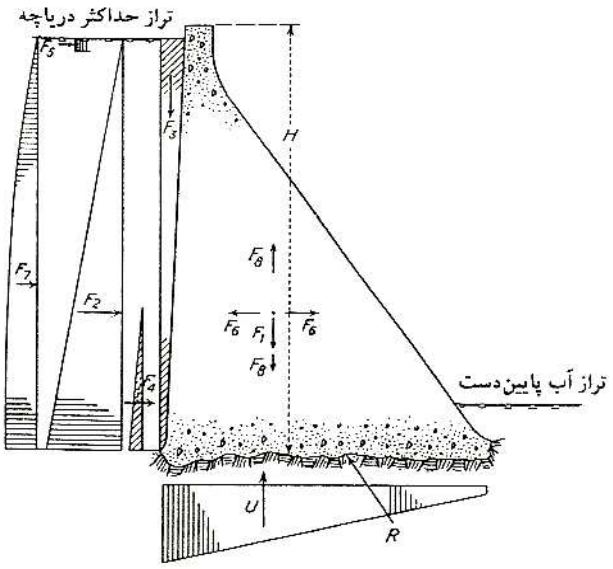
(ج) فشار رسوب (نیروی F_4)

(چ) نیروی القایی زلزله در بدنه سد (نیروی افقی F_6 و نیروی قائم F_8)

(ح) اضافه فشار هیدرو دینامیک آب مخزن در حین زلزله (نیروی F_7)

(خ) فشار باد.

تأثیر نیروهای مقاوم و محرک سد, ایجاد واکنش R بر قاعده آن می باشد.



ترکیبات بار

آیین نامه هندوستان (IS:6513-1972) مطالعه ترکیبات بار زیر را در طراحی سدها توصیه می کند:

۱- **ترکیب بار A (شرایط اجرا):** ساختمان سد تمام شده, ولی در مخزن آن آب انـدازی نشده و فشار پا یاب وجود ندارد.

۲- **ترکیب بار B (شرایط عادی بهره برداری):** تراز دریاچه در حالت پـر + پایـاب در حالت خشک + فشار برکنش در حالت عادی (چاههای زهکش عمل می کنند) + فشار یخ + فشار رسوب.

۳- **ترکیب بار C (شرایط سیلابی):** تراز دریاچه در حالت سیلابی در حالی که آب از سرریزها, سرریز می کند + تمام دریچه ها باز + پایاب در تراز سیلابی + فشار برکنش در حالت عادی + فشار رسوب.

۴- **ترکیب بار D:** ترکیب بار A + زلزله

۵- **ترکیب بار E:** ترکیب بار B + زلزله

۶- **ترکیب بار F:** ترکیب بار C + حداکثر فشار در حالی که چاههای زهکش کار نمی کنند.

۷- **ترکیب بار G:** ترکیب بار E + حداکثر فشار برکنش در حالی که چاههای زهکش کار نمی کنند.

یو – اس – بی – آر ترکیبات بارگذاری زیر را در طراحی سدها پیشنهاد می کند:

۱-ترکیب بار عادی شامل تراز عادی دریاچه + بار مرده + فشار برکنش + فشار رسوب + فشار یخ + پایاب. اگر لزوم اعمال اثر حرارت باشد, از حداقل درجه حرارت معمول استفاده شود.

۲-ترکیب بار غیر عادی شامل تراز حداکثر طرح دریاچه + بار مرده مناسب + فشار برکنش + فشار رسوب + پایاب. اگر لزوم اعمال اثر حرارت باشد, از حداقل درجه حرارت در زمان وقوع استفاده شود.

۳-ترکیبات بار فوق العاده: شامل تراز عادی دریاچه + بار مرده مناسب + فشار برکنش + فشار رسوب + فشار یخ + پایاب + زلزله حداکثر طرح. اگر لزوم اعمال اثر حرارت باشد از حداقل درجه حرارت استفاده شود.

۴-سایر ترکیبات بار: تراز حداکثر طرح دریاچه + بار مرده مناسب + فشار رسوب + پایاب+ فشار برکنش در حالت غیر عادی (زهکشها کار نمی کنند). اگر لزوم اعمال اثر حرارت باشد, از حداقل حرارت در زمان وقوع استفاده شود.

۵-بار مرده تنها

۶-هر کدام از ترکیبات فوق برای پایداری شالوده

۷-هر ترکیب بار دیگری که طرح تشخیص دهد.

۹-تشریح بارهای وارد بر سد

۹-۱-بار مرده

شامل وزن بتن سد (با وزن مخصوص ۲/۴ تن بر متر مکعب) و تجهیزات دائمی مثل پایه ها و دریچه ها می باشد.

۹-۲- وزن آب بر روی وجوه بالادست و پایین دست

در روی وجوه شیبدار بالادست و پایین دست, وزن گوه ای از آب با وزن مخصوص یک تن بر متر مکعب در محاسبات پایداری منظور می شود

۹-۳- فشار جانبی آب

طبق اصول استاتیک سیالات, فشار ناشی از آب در عمق h مساوی wh می باشد که به طور قائم بر سطح مورد نظر اعمال می شود

۹-۴-فشار رسوب

رسوبات جمع شده در کف مخزن, ایجاد نیروی قائم و فشار افقی در روی وجه بالادست می نمایند. در محاسبه نیروی قائم, وزن آن قسمت از رسوبی که در روی ناحیه شیبدار وجه بالادست قرار دارد, با وزن مخصوص $1.925T/m^3$ منظور می شود .

۹-۵-فشار برکنش

آب موجود در مخزن به مرور زمان در درزها, شکافها و حفرات موجود در بدنه و در محل تماس بدنه با سطح زمین رسوخ کرده و یک فشار رو به بالا, (برکنش), در کلیه مقاطع افقی سد به وجود می‌آورد. براساس مطالعات تئوریک و اندازه گیریهای عملی فوق معیارهای انتخاب فشار برکنش به صورت زیر در نظر گرفته می شود:

الف: فشار برکنش در ترکیبات بارگذاری عادی

ب: فشار برکنش برای ترکیبات بارگذاری غیر عادی

پ: تاثیر زلزله

۹-۶-نیروهای زلزله

زلزله دو تاثیر در نیروهای طراحی سدها دارد:

الف: ایجاد اضافه فشار دینامیکی در فشار آب پشت سد

ب: ایجاد نیروی القایی افقی و قائم در بدنه سد

اضافه فشار هیدرودینامیکی آب مخزن

مطالعات تئوریک نشان می دهد که توزیع اضافه فشار هیدرودینامیکی آب مخزن به علت ارتعاشات زلزله در ارتفاع مخزن به صورت سهمی است.متداولترین روش برای تعیین اضافه فشار دینامیکی، روش زنگار می باشد که توسط یو- اس – بی – آر توصیه شده است. طبق این روش اضافه فشار هیدرودینامیک در عمق Z از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$p_e = C\alpha wh$$

در رابطه فوق:

p_e = شدت اضافه فشار هیدرودینامیکی

α = ضریب زلزله افقی طبق جدول زیر

ضریب α	شدت نسبی خطر لزله
0	بدون خطر
0.05	کم
0.1	متوسط

بالا	0.15
شدید	0.2

در آیین نامه هندوستان, ضریب α به صورت زیر تعریف می شود:

$$\alpha = \beta I \alpha_0$$

که α_0 طبق فهرست زیر به دست می‌آید:

مناطق با خطر نسبی بالا	0.08
مناطق با خطر نسبی متوسط	0.06
مناطق با خطر نسبی پایین	0.045

I= ضریب اهمیت که مقدار آن برای سدها مساوی ۲ منظور می شود.

β =ضریب اندرکنش شالوده- خاک زلزله که برای سدها مقدار آن مساوی واحد فرض می گردد.

W=وزن مخصوص آب (مساوی ۱ تن بر متر مکعب)

H=حداکثر عمق آب مخزن (متر)

C= ضریبی که از رابطه زیر به دست می‌آید و تابعی از عمق Z می باشد:

$$C = \frac{C_m}{2}[\frac{z}{h}(2-\frac{z}{h}) + \sqrt{\frac{z}{h}(2-\frac{z}{h})}] \qquad (۳)$$

Z=عمق از سطح آب تا تراز مورد نظر برای محاسبه فشار هیدرودینامیک

C_m =عمیق حداکثر C طبق رابطه زیر

$$C_m = 0.73(\frac{90^\circ - \phi^\circ}{90^\circ}) \qquad (۴)$$

ϕ = زاویه ای که وجه بالادست سد با امتداد قائم می سازد.

با محاسبه سطح زیر نمودار اضافه فشار, برآیند اضافه فشار در عمق Z از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$p_e = 0.726 p_e Z \qquad (۵-الف)$$

و لنگر اضافه فشار نسبت به ترازی در عمق Z برابر است با:

$$M_e = 0.3 p_e Z^2 \qquad (۵-ب)$$

نیروی القایی زلزله برجسم سد در امتداد افقی (روش ضریب زلزله ثابت)

مقدار نیروی القایی زلزله در امتداد افقی از رابطه زیر به دست می‌آید و محل تاثیر آن در مرکز ثقل مقطع مورد مطالعه منظور می شود:

$$v = \alpha w \qquad (۶)$$

در رابطه فوق α در قبل تعریف شده و:

W=وزن قطعه مورد نظر

V=نیروی اینرسی القایی زلزله در امتداد افق

مولفه قائم شتاب زلزله

مولفه قائم شتاب زلزله می تواند باعث سبکتر یا سنگین تر شدن جسم سد شود. برای در نظر گرفتن تاثیر شتاب قائم زلزله, می توان وزن مخصوص بتن را در ضریب $(1\pm\alpha_v)$ ضرب کرد که در آن α_v شتاب قائم زلزله بوده و مقدار آن در حدود نصف شتاب افقی α در نظر گرفته می شود.

روش آیین نامه هندوستان برای تعیین نیروی القایی زلزله برجسم سد (ضریب زلزله متغیر)

آیین نامه هندوستان برای سدها تا ارتفاع ۱۰۰ متر روش استاتیکی معادل و برای سدها با ارتفاع بزرگتر از ۱۰۰ متر روش طیفی (یا روش شبه دینامیکی) را توصیه می نماید:

روش استاتیکی معادل برای سدهای کوتاهتر از ۱۰۰ متر

در این روش ضریب زلزله α_h به صورت زیر تعریف می گردد:

$$\alpha_h = \beta I \alpha_0$$

روش طیفی برای سدهای بلندتر از ۱۰۰ متر

گام۱– در این روش زمان تناوب مود اصلی سد وزنی از رابطه زیر به دست می آید:

$$T = 5.55\frac{h^2}{B}\sqrt{\frac{y}{gE_s}}$$

گام۲– با استفاده از زمان تناوب به دست آمده در گام ۱, با فرض میرایی ۵ درصد, ضریب زلزله افقی α_h از رابطه زیر به دست می آید:

$$\alpha_h = \beta I F_0 \frac{S_a}{g}$$

گام ۳- برش پایه V_B و لنگر خمشی پایه M_B از رابطه زیر قابل محاسبه می‌باشد:

$$V_B = 0.6W\alpha_h$$

$$M_B = 0.9W\bar{h}\alpha_h$$

گام ۴- در هر مقطع افقی در عمق Z از تاج سد, برش V_y و لنگر M_y از رابطه زیر محاسبه می گردد:

$$V_y = C'_v V_B$$

$$V_y = C'_m M_B$$

گام ۵- مولفه قائم نیروی زلزله:

نیروی قائم زلزله مساوی $0.75\alpha_h$ برابر وزن سد در تاج می باشد که به طور خطی به مقدار صفر در پایه کاهش می یابد.

۹-۷-فشار موج

با وزش باد بر روی دریاچه مخزن سد, نیروی مالشی در سطح دریاچه به وجود آمده و سطح دریاچه مواج می شود.

برای تعیین ارتفاع موج حداکثر از رابطه مولیتور (۱۹۳۵) استفاده می شود. طبق رابطه مولیتور ارتفاع حداکثر موج برابر است با:

$$h_w = 0.032\sqrt{V.F} + 0.763 - 0.271F^{0.25} \qquad (F < 32km) \tag{۶}$$

$$h_w = 0.032\sqrt{V.F} \qquad (F < 32km) \tag{۷}$$

(۸)

۹-۸-فشار باد

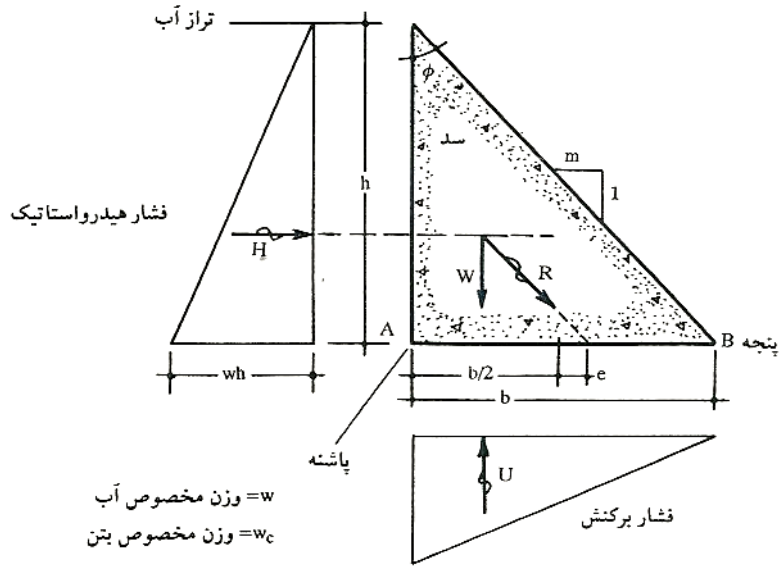
در طراحی سدها معمولاً فشار باد در نظر گرفته نمی شود، لیکن در صورت لزوم می توان فشار باد را مساوی ۱۰۰ تا ۱۵۰ کیلوگرم بر متر مربع سطح بادگیر در نظر گرفت.

۹-۱۰ – فشار یخ

در صورتی که امکان یخبندان سطح دریاچه وجود داشته باشد، فشار یخ در محل تماس ضخامت لایه یخ بسته با وجه بالادست سد، مساوی $25T/m^2$ در نظر گرفته می شود.

۱۰- هندسه اولیه مقطع سد

اگر فقط فشار هیدرواستاتیک در نظر گرفته شود, مقطع ایده آل سد یک مثلث قائم الزاویه خواهد بود که راس آن منطبق بر محل فشار صفر بوده و عرض قاعده آن مساوی b می باشد.



شکل ۵- مقطع اولیه سد وزنی

تعیین حداقل عرض پایه برای شرایط طراحی مختلف

حالت ۱- سد ایمن در مقابل واژگونی (بدون فشار برکنش)

حالت ۲- سد ایمن در مقابل واژگونی (فشار بر کنش با توزیع مثلثی)

حالت ۳- سد ایمن در مقابل واژگونی (فشار برکنش با توزیع مستطیلی)

حالت ۴- سد ایمن در مقابل لغزش (بدون فشار برکنش)

حالت ۵- سد ایمن در مقابل لغزش (فشار برکنش با توزیع مثلثی)

حالت ۶- عدم ایجاد تنش کششی در سد (بدون فشار برکنش)

حالت ۷- تنش فشاری قائم در هر تراز از فشار آب مخزن در آن نقطه کمتر نباشد (معیار موریس لوی)

حالت ۸- عدم ایجاد تنش کششی در سد (فشار برکنش با توزیع مثلثی)

۱۱-روشهای تحلیل و تعیین تنشها در سدهای وزنی

روشهای متداول برای تعیین تنشها در سدهای وزنی عبارتند از:

۱-روش وزنی (فرض رفتار به صورت نوارهای طره ای قائم)

۲-روش پیگاد

۳-روش بار آزمایشی

۴-روشهای اجزای محدود

۵-روشهای تجربی

در زیر شرح مختصری در مورد روشهای فوق ارائه می شود.

روش ۱- روش وزنی (رفتار طره ای)

در این روش هر یک از بلوکهای سد به صورت یک تیر قائم طره ای در نظر گرفته شده و با محاسبه نیروی برشی, نیروی قائم و لنگر خمشی در هر مقطع افقی, تنشها با فرض توزیع خطی (روابط معمول مقاومت مصالح) محاسبه می شوند.

روش ۲- روش پیگاد

در این روش با استفاده از اصول تئوری الاستیسیته, تنشها در یک مقطع مثلثی ایده آل که در یک طرف آن آب قرار دارد, محاسبه می شوند

نتایج حاصل از مطالعات تئوریک به شرح زیر است:

الف: مخزن پر, وجه بالادست شیبدار

ب: مخزن پر, وجه بالادست به صورت قائم (n=0)

پ: مخزن خالی, وجه بالادست به صورت قائم

روش ۳- روش بار آزمایشی

الف: درزهای عرضی دارای زبانه بوده ولی تزریق نشده اند

سد وزنی را می توان متشکل از یک سری نوارهای طره ای قائم در نظر گرفت که به موازات و در کنار یکدیگر از تکیه گاه دیگر قرار گرفته اند. اگر از وسط سد به سمت تکیه گاهها حرکت نماییم از ارتفاع نوارهای طره ای کاسته می شود. در نتیجه تغییر مکان جانبی هر نوار طره از نوار همسایه سمت تکیه گاه بیشتر و از نوار همسایه سمت وسط سد, کوچکتر خواهد بود. اگر درز عرضی بین دو بلوک دارای شیارهای کام و زبانه باشد, بدون توجه به انجام یا عدم انجام تزریق, تغییر شکل هر نوار طره قائم به وسیله طره های مجاور مقید خواهد شد.

ب: درزها دارای زبانه بوده و تزریق شده اند

در صورت انجام تزریق در درزهای عرضی, مجموعه بلوکهای سد تبدیل به یک جسم یکپارچه می شود. مراحل کار مثل حالت درزهای تزریق نشده بوده لیکن یک سازه اضافی که سازه تیری نامیده می شود, برای مقابله با خمش در نوارهای افقی اضافه می شود.

روش ۴- روش اجزای محدود

برنامه کامپیوتری تهیه شده بر مبنای اجزای محدود, ابزار نیرومندی برای تحلیل سدهای وزنی می باشند.

روش ۵- روشهای تجربی

در سدهای مهم, پس از پایان طراحی, از سدهای مدلهای کوچک مقیاس کامل (سه بعدی) همراه با وضعیت تکیه گاهی پی و جناحین تهیه شده و رفتار آن در آزمایشگاه تحت نیروهای وارده مورد مطالعه قرار می گیرد.

۱۲- معیارهای پایداری و ایمنی سدها

۱۲-۱-ایمنی در مقابل واژگونی

۱۲-۲- ایمنی در مقابل لغزش

الف ضریب اطمینان در مقابل لغزش با منظور کردن چسبندگی

ب ضریب اطمینان در مقابل لغزش بدون منظور کردن چسبندگی

۱۲-۳-تنشهای مجاز

الف- تنش کششی مجاز

ب- تنش فشاری مجاز

۱۳ مفروضات در مورد روش وزنی

طراحی اکثر سدهای ساخته شده در دنیا با استفاده از روش وزنی انجام شده است.

در این روش یک بلوک یا نوار قائمی به عرض یک متر, فرض می شود به صورت یک تیر طره ای قائم عمل می کند.

- مصالح شالوده و جسم سد همگن و ایزوتروپیک (همسانگرد) می باشند.
- تنشها در شالوده و جسم سد در محدوده الاستیک هستند.
- به علت انتقال تنشها, هیچگونه حرکتی در شالوده ایجاد نمی شود.
- شالوده (سنگ پی) و سد به صورت یک واحد یکپارچه عمل می کنند.
- هیچگونه باری به واسطه عمل تیر افقی به تکیه گاههای جانبی انتقال پیدا نمی‌کند.
- محاسبات تنش و پایداری برای نوار قائمی از سد به عرض یک متر انجام می‌شود.
- بازشوها و سوراخها اثر موضعی داشته و در پایداری کلی تاثیری نمی‌گذارند.

۱۴- تاثیر خواص الاستیک شالوده در تنشهای سد

در تحلیل وزنی سدهای وزنی فرض شد که تغییرات تنش قائم در مقطع افقی از بالا دست به پایین دست خطی است . مطالعات دقیق نشان می دهد که خواص الاستیک پی تاثیر قابل توجهی بر تنشهای به وجود آمده در سطح تماس سد با شالوده دارد.

۱۵- سدهای بتنی پایه دار

۱۵-۱- مزایای سدهای بتنی پایه دار

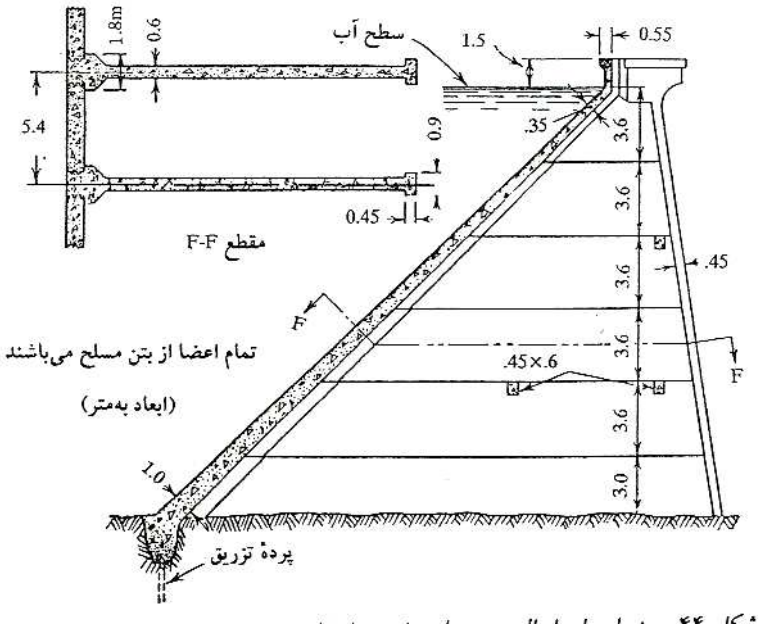
عامل پایداری یک سد وزنی در مقابل بارهای وارده, وزن آن است. با بالا رفتن ارتفاع سد و در نتیجه افزایش فشار آب, حجم مصالح لازم برای پایداری سد افزایش قابل توجهی پیدا می نماید. متاسفانه این توده حجیم مصالح فقط در لبه پایین دست تحت تنش حداکثر فشاری واقع می گردد و از تمام استعداد بالقوه مصالح استفاده نمی گردد.

در این راستا یکی از راه حلهایی که مورد استفاده طراحان قرار گرفته است, استفاده از سدهای پایه دار می باشد. سد پایه دار, متشکل از پایه های حجیمی می باشد که در حدفاصل آنها یک دال از بتن مسلح به صورت تخت و یا قوسی اجرا می گردد .در این گونه سدها, هرچندکه کاهش قابل توجهی در حجم بتن مصرفی به وجود می‌آید, لیکن بهای ردیفهایی مثل قالب بندی و آرماتوربندی نسبت به سد وزنی افزایش پیدا می کند. در صورتی که کاهش هزینه بتن مصرفی, افزایش هزینه های قالب و آرماتوربندی را جبران نماید, سد پایه دار توجیه اقتصادی پیدا خواهد کرد. لازم به توضیح است که در کشور ما اکثر سدهای بتنی غیر قوسی ساخته شده, از نوع پایه دار می باشند (مثل سد لتیان در شمال شرقی تهران و سد سفید رود در منجیل)

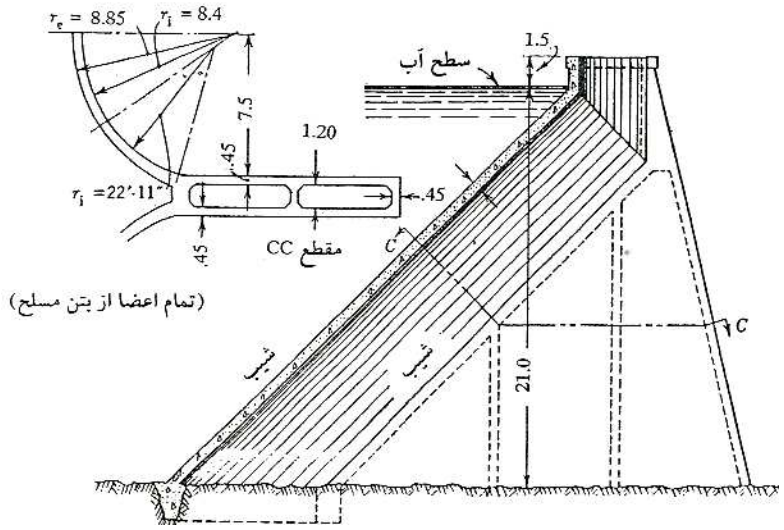
۱۵-۲- انواع سدهای پایه دار

استفاده از پایه به عنوان تقویت و پایدار کننده دیوارهای بنایی, ریشه ای تاریخی دارد. مانند سد پایه دار تاریخی لوس آرکوس در مکزیک

مطابق شکل ۶ – سدهای پایه دار امروزی متشکل است پایه هایی در فواصل مساوی می‌باشند که یک دال بتن مسلح نسبتاً نازک همانند پرده ای فضای بین آنها را در بالا دست پوشانده است. به جای دال تخت, می توان فضای بین پایه های را توسط دال قوسی پوشاند که در این حالت به آن سد چند قوسی گفته می شود. (شکل ۷)



شکل ۶– سد پایه دار با دال بتن مسلح تخت به ارتفاع ۲۱ متر



شکل ۷- سد پایه دار چند قوسی

۱۶- مشخصات فنی بتن های حجیم

۱۶-۱- کلیات

بتن حجیم را می‌توان حجم بزرگی از بتن که برای ساخت یک سازه بتنی حجیم, توپر و یکپارچه به صورت در جا مورد استفاده قرار می گیرد و حاوی درصد بزرگی از سنگدانه های درشت و میزان سیمان کم است, تعریف نمود.اختلاف عمده بتن حجیم با بتن معمولی مسئله کنترل دما می باشد. و می‌تواند باعث آثار سوء افزایش حجم که کاهش حجم و به وجود آمدن ترک را به دنبال دارد, گردد. یک طرح مخلوط مناسب برای بتن حجیم, تعیین مقدار سیمان, سنگدانه ها, آب و مواد مضاف می باشد به طوری که مقاومت, پایایی و نفوذناپذیری مورد نظر را با کمترین هزینه و کمترین گرمای هیدراتاسیون (گرمای آبگیری) تامین نماید.

۱۶-۲- مصالح مصرفی

مصالح مصرفی در بتن حجیم, سیمان, آب, سنگدانه ها و مواد مضاف می‌باشند که در زیر به شرح و مشخصات فنی آنها پرداخته می شود.

۱۶-۲-۱- سیمان

سیمانهای مورد استفاده در بتنهای حجیم شامل سیمان پرتلند از نوع ۱, ۲ و ۴, سیمان روباره آهنگدازی (نوع IS), و سیمان پوزولانی (نوع IP) می باشد.

سیمان پرتلند نوع ۱ همان سیمان پرتلند معمولی می باشد که در بتن ریزی اکثر سدها از این نوع سیمان استفاده شده است.

سیمان پرتلند نوع ۲ (یا اصلاح شده) نسبت به سیمان نوع ۱ از حرارت زایی کمتری برخوردار بوده و مقاومت بیشتری در مقابل حمله سولفاتها دارد.

سیمان پرتلند ۴ (سیمان با حرارت زایی کم) سیمانی است که حرارت زایی آن در هنگام گیرش از همه انواع سیمان کمتر است.

سیمان روباره آهنگدازی (نوع IS) از آسیاب و مخلوط کردن سیمان پرتلند و سرباره کوره های آهنگدازی که در آنها آهن تولید می‌شود, به دست می‌آید.

سیمان پرتلند پوزولانی (نوع IP) از آسیاب و مخلوط کردن پوزولانها (خاکهای طبیعی و مصنوعی جایگزین سیمان) با سیمان پرتلند ساخته می‌شوند.

۱۶-۲-۲- آب

آب مصرفی در بتن باید عاری از مواد زیان آور به حال بتن باشد مقدار pH آب مصـرفی در بـتن نباید از ۴/۵ کمتر و از ۸/۵ بیشتر باشد.

۱۶-۲-۳- سنگدانه ها

الف: سنگدانه های درشت

ب)سنگدانه های ریز

پ) سنگدانه های مستعد واکنش قلیایی

۱۶-۳- مشخصات مکانیکی بتنهای حجیم

آن دسته از مشخصات مکانیکی بتنهای حجیم که لازم است معلوم باشند, عبارتند از:

۱-مقاومت فشاری (Compressive strength)

۲-مدول الاستیسیته (modulus of elasticity)

۳-نسبت پواسون (Poisson S ratio)

۴-مقاومت برشی سه محوره (Triaxial shear strength)

۵-کاهش حجم در حین خشک شدن (volume change during drying)

۶-ضریب انبساط حرارتی (Thermal coeficient of expansion)

۷-گرمای ویژه (specific heat)

۸-هدایت حرارتی (Thermal conductivitg)

۹-دیفیوزیته (انتشار حرارت) (Diffusivity)

۱۰-نفوذپذیری (permeability)

۱۱-پایایی (Durability)

۱۲-وزن مخصوص (Unit weight)

۱۶-۴-آزمایشهای کنترل کیفیت

آزمایشهایی که برای کنترل کیفیت بتنهای حجیم به کار گرفته می‌شوند, عمدتاً شامل موارد زیر می‌باشند:

۱-آزمایش روی سنگدانه ها

۲-آزمایش روی سیمان

۳-آزمایش روی آب

۴-آزمایش روی بتن تازه و بتن سخت شده

آزمایشهای مهم مربوط به سنگدانه ها شامل دوام در مقابل سایش, مقاومت در برابر یخبندان, پایداری شیمیایی، شکل مصالح و بافت سطحی, دانه بندی, وزن مخصوص فضایی, وزن مخصوص, جذب آب, رطوبت سطحی و تعیین درصد مواد زیان آور می‌باشد.

آزمایشهای مهم مربوط به سیمان شامل آزمایش زمان گیرش, مقاومت فشاری, ترکیبات شیمیایی و اندازه گیری میزان مواد زیان آور می باشد.

آزمایشهای مهم مربوط به آب شامل آزمایشهای شیمیایی و میزان مواد زیان آور می‌باشد.

آزمایشهای مهم مربوط به بتن شامل آزمایش اسلامپ, مقاومت فشاری و مقاومت کششی می‌باشد.

۱۶-۵- کنترل درجه حرارت

عوامل موثر در درجه حرارت سیمان در هنگام گیرش عبارتند از:

الف: مقدار سیمان و نوع آن

ب: پیش سرمایش

پ: پس سرمایش

ت: مدیریت اجرا

۱۶-۶- لایه های بتن ریزی

بتن حجم باید به صورت لایه لایه ریخته شود. با استفاده از ویبراتور ۶ اینچ (۱۵۰ میلیمتر) و باکتهایی با ظرفیت ۳ تا ۶ متر مکعب و حداکثر اندازه سنگدانه ۱۰۰ تا ۱۵۰ میلیمتر, و اسلامپ کوچکتر از ۴۰ میلیمتر, ضخامت هر لایه می تواند ۵۰ سانتیمتر باشد. در صورت استفاده از ویبراتورهای ۳ تا ۴ اینچ (۷۵ تا ۱۰۰ میلیمتر) و اسلامپ کوچکتر از ۵۰ میلیمتر, حداکثر ضخامت لایه های مساوی ۳۵ سانتیمتر توصیه می شود و استفاده از لایه ها با ضخامت کوچکتر ، از نقطه نظر تراکم و جلوگیری از تجمع سنگدانه ها (کرمو شدن بتن) در امتداد درزها، گوشه ها و سایر وجوه قالب ارجح می باشد.

ضخامت لایه باید به صورت مضرب زوجی از ارتفاع کل بلوک اختیار گردد. پیشروی لایه ها در جبهه جلو به صورت پله پله می باشد که پاخور پله حدود ۱/۵ متر می‌باشد. پوکر ویبراتور باید به طور کامل در عمق هر لایه نفوذ نماید و لبه بتن ریخته شده در هر باکت با بتن ریخته شده در باکت بعدی به طور همزمان ویبره گردد.