جمهوری اسلامی ایران

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور

ضوابط و معیارهای طرح و محاسبه مخازن آب زمینی

(بازنگری نشریه ۱۲۳)

ضابطه شماره

معاونت فنی و توسعه امور زیربنایی

امور نظام فنی و اجرایی کشور

nezamfanni.ir

وزارت نیرو

دفتر استانداردهای فنی، مهندسی، اجتماعی و زیست‌محیطی آب و آبفا

http://seso.moe.gov.ir

۱۳۹۴

اصلاح مدارک فنی

خواننده گرامی:

امور نظام فنی و اجرایی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، با استفاده از نظر کارشناسان برجسته مبادرت به تهیه این ضابطه نموده و آن را برای استفاده به جامعه مهندسی کشور عرضه نموده است. با وجود تلاش فراوان، این اثر مصون از ایراد و اشکال نیست.

از این رو، از ***شما خواننده گرامی صمیمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده هرگونه ایراد و اشکال فنی مراتب را به صورت زیر گزارش فرمایید:***

۱- شماره بند و صفحه موضوع مورد نظر را مشخص کنید.

۲- ایراد مورد نظر را به صورت خلاصه بیان دارید.

۳- در صورت امکان متن اصلاح شده را برای جایگزینی ارسال نمایید.

۴- نشانی خود را برای تماس احتمالی ذکر فرمایید.

کارشناسان این امور نظرهای دریافتی را به دقت مطالعه نموده و اقدام مقتضی را معمول خواهند داشت.

پیشاپیش از همکاری و دقت نظر جنابعالی قدردانی می‌شود.

نشانی برای مکاتبه : تهران، میدان بهارستان، خیابان صفی علی‌شاه - مرکز تلفن

۳۳۲۷۱ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، امور نظام فنی و اجرایی

Email:info@nezamfanni.ir **web: nezamfanni.ir**

بسمه تعالی

پیشگفتار

طراحی شایسته، انتخاب مناسب مصالح، ساخت و نگهداری مخازنی که برای ذخیره‌سازی آب آشامیدنی مورد استفاده قرار می‌گیرند از اهمیت بسزایی برخوردار است. با توجه به رشد جمعیت، توسعه شهرها و بالا رفتن سطح زندگی شهروندان، هر ساله در نقاط مختلف کشور مخازن متعددی برای پاسخ‌گویی به نیازهای آبرسانی ساخته می‌شود. بنابراین، لازم است طرح و محاسبه این مخازن هماهنگ بوده و بر اساس آخرین استانداردهای ملی و جهانی انجام شود تا از کارآمدی این تاسیسات زیربنایی اطمینان کافی حاصل گردد.

مخازن آب تحت بارهای متفاوت، شرایط محیطی سخت و نیازهای سرویس‌دهی ویژه‌ای قرار می‌گیرند. بارهای وارده بر این سازه‌ها شامل بارهای معمول مرده و زنده و همچنین نیروهای هیدرودینامیکی است. شرایط سخت محیطی نیز مربوط به تر شدن و خشک شدن‌های متعدد بتن است. از نظر سرویس‌دهی نیز لازم است این سازه‌ها در مقابل گریز مایعات مقاوم باشند. به‌منظور دست‌یابی به نیازهای سرویس‌دهی، لازم است فرآیند طراحی، انتخاب مصالح و اجرا در حد مناسبی باشد تا بتنی توپر، مانا و تقریبا غیرقابل نفوذ با میزان ترک و تغییر شکل محدود پدید آید. نشتی نیز باید کنترل شود تا آلودگی از آب‌های زیرزمینی و سطحی و همچنین پرت آب به حداقل رسیده و ماندگاری سازه افزایش یابد.

با توجه به اهمیت مبحث فوق، امور آب وزارت نیرو در قالب طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور، تهیه ضابطه «ضوابط و معیارهای طرح و محاسبه مخازن آب زمینی (بازنگری نشریه ۱۲۳)» را با هماهنگی امور نظام فنی و اجرایی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور در دستور کار قرار داد و پس از تهیه، آن را برای تایید و ابلاغ به عوامل ذینفع نظام فنی و اجرایی کشور به این سازمان ارسال نمود که پس از بررسی، بر اساس ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه، آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی مصوب هیات محترم وزیران و طبق نظام فنی و اجرایی کشور (مصوب شماره ۴۲۳۳۹/ت۳۳۴۹۷ هـ- مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیات محترم وزیران) تصویب و ابلاغ گردید.

بدین وسیله معاونت فنی و توسعه امور زیربنایی از تلاش و جدیت رییس امور نظام فنی و اجرایی کشور جناب آقای مهندس غلامحسین حمزه مصطفوی و کارشناسان محترم امور نظام فنی و اجرایی و نماینده مجری محترم طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور وزارت نیرو، جناب آقای مهندس تقی عبادی و متخصصان همکار در امر تهیه و نهایی نمودن این ضابطه، تشکر و قدردانی می‌نماید و از ایزد منان توفیق روزافزون همه این بزرگواران را آرزومند می‌باشد.

امید است متخصصان و کارشناسان با ابراز نظرات خود درخصوص این ضابطه ما را در اصلاحات بعدی یاری فرمایند.

غلامرضا شافعی

معاون فنی و توسعه امور زیربنایی

پاییز ۱۳۹۴

تهیه و کنترل «ضوابط و معیارهای طرح و محاسبه مخازن آب زمینی (بازنگری نشریه ۱۲۳)»

[ضابطه شماره]

مجری: شرکت مهندسین مشاور بندآب

مولف اصلی: عباس یاری کرورانی	شرکت مهندسین مشاور بندآب	کارشناس مهندسی عمران - عمران

اعضای گروه تهیه‌کننده:

محمدرضا اخوان لیل‌آبادی	شرکت مهندسین مشاور بندآب	کارشناس ارشد مهندسی سازه
علی پورفرزانه	شرکت مهندسین مشاور بندآب	کارشناس مهندسی مکانیک - سیالات
مهدی پیراعیادی	شرکت مهندسین مشاور بندآب	کارشناس مهندسی برق – قدرت
هومن جلالی	شرکت مهندسین مشاور بندآب	کارشناس مهندسی مکانیک – سیالات
علی حسنخانی	شرکت مهندسین مشاور بندآب	دکترای مهندسی عمران – سازه
امیرحسین حمیدی‌راد	شرکت مهندسین مشاور بندآب	کارشناس ارشد مهندسی عمران – سازه
آمنه راستینه	شرکت مهندسین مشاور بندآب	کارشناس مهندسی عمران – عمران
محمد شکرچی‌زاده	انستیتو مصالح ساختمانی دانشگاه تهران	دکترای مهندسی عمران
شاپور طاحونی	دانشگاه صنعتی امیرکبیر	کارشناس ارشد سازه
علی عنایتی‌فر	شرکت مهندسین مشاور بندآب	کارشناس مهندسی مکانیک – جامدات
پیام وثوق	شرکت مهندسین مشاور بندآب	کارشناس ارشد مهندسی عمران – سازه
عباس یاری کرورانی	شرکت مهندسین مشاور بندآب	کارشناس مهندسی عمران – عمران

اعضای گروه نظارت:

داوود امینی	شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور	کارشناس ارشد مهندسی سازه
ابوالقاسم توتونچی	شرکت مهندسین مشاور ایراناب	کارشناس ارشد مهندسی راه و ساختمان
مینا زمانی	طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور – وزارت نیرو	کارشناس مهندسی شیمی
حسن مهرابلی	کارشناس آزاد	کارشناس ارشد مهندسی صنایع

اعضای گروه تایید کننده (کمیته تخصصی آب طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور):

نعمت‌الله الهی‌پناه	شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور	کارشناس ارشد هیدرولوژی
ابوالقاسم توتونچی	شرکت مهندسین مشاور ایراناب	کارشناس ارشد مهندسی راه و ساختمان
علیرضا تولایی	کارشناس آزاد	کارشناس ارشد مهندسی راه و ساختمان
عباس حاج‌حریری	کارشناس آزاد	کارشناس ارشد مدیریت صنایع

حسن صادقپور	شرکت تهران میراب	کارشناس ارشد مهندسی عمران
سیدعباس صادقیان	شرکت مدیریت منابع آب ایران	کارشناس مهندسی عمران – بهره‌برداری از سد و شبکه‌های آبیاری
الهام عزیززاده آرائی	طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور- وزارت نیرو	کارشناس ارشد میکروبیولوژی
سید احمد علوی	کارشناس آزاد	کارشناس ارشد مهندسی تبدیل انرژی
مجتبی فاضلی	دانشگاه صنعت آب و برق	دکترای مهندسی محیط زیست

شایان ذکر است اولین متن این نشریه با شماره ۱۲۳ از طرف سازمان برنامه و بودجه در سال ۱۳۷۲ چاپ شده است و ضابطه فعلی، بازنگری آن می‌باشد.

اعضای گروه هدایت و راهبری سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور:

علیرضا توتونچی	معاون امور نظام فنی و اجرایی
فرزانه آقا رمضانعلی	رییس گروه امور نظام فنی و اجرایی
سیّد وحیدالدین رضوانی	کارشناس آبیاری و زهکشی، امور نظام فنی و اجرایی

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
مقدمه	**۱**
فصل اول – نکات عمومی	**۳**
۱-۱- کلیات	۵
۱-۲- شرایط پی	۵
۱-۳- طبقه‌بندی مخازن بتنی از لحاظ وضعیت استقرار نسبت به تراز زمین	۵
۱-۳-۱- مخازن بتنی هوایی	۵
۱-۳-۲- مخازن بتنی زمینی	۶
۱-۴- طبقه‌بندی مخازن بتنی زمینی از لحاظ شکل هندسی و مشخصات ابعادی	۹
۱-۵- سیستم سازه‌ای مخازن بتنی زمینی	۹
۱-۵-۱- سیستم سازه‌ای سقف	۹
۱-۵-۲- اتصال سقف به دیوار در مخازن بتنی زمینی	۱۰
۱-۵-۳- سیستم سازه‌ای دیوار مخازن بتنی زمینی	۱۰
۱-۵-۴- سیستم سازه‌ای کف مخازن بتنی زمینی	۱۲
۱-۵-۵- سیستم سازه‌ای مقاوم در مقابل نیروهای زلزله در مخازن بتنی زمینی	۱۴
۱-۶- فاصله ستون‌ها در مخازن بتنی	۱۴
۱-۷- یخزدگی در مخازن بتنی زمینی	۱۵
۱-۸- تهویه در مخازن بتنی	۱۵
۱-۹- محل قرارگیری مخازن	۱۸
۱-۱۰- ابزاردقیق، کنترل و مانیتورینگ	۱۸
۱-۱۱- ملاحظات پدافند غیرعامل	۱۸
فصل دوم – مصالح و کیفیت بتن	**۲۱**
۲-۱- کلیات	۲۳
۲-۱-۱- سیمان	۲۳
۲-۱-۲- آب	۲۳
۲-۱-۳- سنگدانه‌ها	۲۴
۲-۱-۴- مواد افزودنی شیمیایی و مواد جایگزین سیمان	۲۴

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۲-۱-۵- آرماتور	۲۶
۲-۱-۶- طرح اختلاط و ساخت بتن	۲۶
۲-۱-۷- پایایی بتن	۲۸
۲-۱-۸- بتن‌های خودتراکم (SCC)	۳۲
فصل سوم - تحلیل و بارگذاری مخازن	**۳۵**
۳-۱- علایم اختصاری	۳۷
۳-۲- کلیات	۴۰
۳-۳- بارهای استاتیکی مخازن	۴۰
۳-۳-۱- بار مرده	۴۰
۳-۳-۲- بار زنده	۴۱
۳-۳-۳- فشار استاتیکی مایع نگهداری شده	۴۱
۳-۳-۴- فشار استاتیکی خاک	۴۱
۳-۳-۵- فشار برکنش	۴۲
۳-۴- بارهای خاص	۴۲
۳-۴-۱- اثرات ناشی از پدافند غیرعامل	۴۲
۳-۴-۲- اثرات تغییرات دمای فصلی	۴۲
۳-۵- بارهای دینامیکی	۴۳
۳-۵-۱- روش تحلیل استاتیکی معادل برای بررسی اثرات ناشی از ارتعاش مایعات نگهداری شده	۴۴
۳-۵-۲- اضافه فشار دینامیکی خاک پشت دیوارهای پیرامونی	۵۵
۳-۵-۳- ترکیب نیروهای داخلی به‌وجودآمده بر اثر زمین‌لرزه	۵۵
۳-۵-۴- اضافه ارتفاع موج ناشی از ارتعاش افقی جرم مواج مایع نگهداری‌شده	۵۶
۳-۶- ترکیب بارها	۵۷
فصل چهارم – طراحی مخازن	**۵۹**
۴-۱- علایم اختصاری	۶۱
۴-۲- کلیات	۶۲
۴-۳- شرایط محیطی	۶۲

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۴-۴- تامین شرایط بهره‌برداری	۶۴
۴-۴-۱- محدود کردن حداکثر عرض ترک	۶۴
۴-۴-۲- کنترل تغییر شکل	۶۴
۴-۴-۳- پوشش بتنی برروی میلگردها	۶۴
۴-۴-۴- حداکثر فاصله میلگردها	۶۵
۴-۴-۵- حداقل ضخامت اجزای مخازن	۶۵
۴-۵- طراحی	۶۵
۴-۶- طراحی در مقابل نیروهای خارجی	۶۶
۴-۶-۱- طراحی برای حالت حدی بهره‌برداری	۶۶
۴-۶-۲- طراحی برای حالت حدی مقاومت	۷۱
۴-۷- طراحی در مقابل آثار حرارتی و جمع‌شدگی در صفحه دال یا دیوار	۷۴
۴-۷-۱- تغییرات دما	۷۴
۴-۷-۲- میلگردهای حرارتی و جمع‌شدگی	۷۴
۴-۷-۳- درزها	۷۵
۴-۷-۴- کنترل عرض ترک‌های حرارتی و جمع‌شدگی	۸۲
۴-۷-۵- سطح موثر مقطع بتنی برای محاسبه فولادهای حرارتی	۸۸
فصل پنجم – ساخت	**۸۹**
۵-۱- کلیات	۹۱
۵-۲- بستر	۹۱
۵-۳- آماده کردن سطح زمین	۹۲
۵-۴- زهکشی زیر مخزن	۹۲
۵-۵- آب‌های زیرزمینی و فشار برکنش	۹۳
۵-۶- قالب‌بندی، بتن‌ریزی، قالب‌برداری و برداشتن پایه‌های اطمینان	۹۴
۵-۶-۱- پرداخت سطحی	۹۶
۵-۶-۲- ترتیب بتن‌ریزی در سطوح وسیع	۹۷
۵-۷- مشخصات فنی اجزای تشکیل‌دهنده‌ی درز	۹۷

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۵-۷-۱- شیار درز	۹۸
۵-۷-۲- پرکننده‌های درز	۹۸
۵-۷-۳- درزگیرها	۹۹
۵-۷-۴- کرنش سطحی درزگیرها	۱۰۰
۵-۸- نوارهای آب‌بند	۱۰۱
فصل ششم – تاسیسات مکانیکی مخازن	**۱۰۵**
۶-۱- کلیات	۱۰۷
۶-۲- لوله‌ها	۱۰۷
۶-۳- لوله‌های ورودی	۱۰۸
۶-۴- لوله‌های خروجی	۱۰۹
۶-۵- تجهیزات شستشو	۱۱۱
۶-۶- تجهیزات سرریز	۱۱۲
۶-۷- شیرآلات	۱۱۴
۶-۸- تجهیزات برق، کنترل، مانیتورینگ و تله‌متری مخازن	۱۱۶
۶-۸-۱- حسگرهای سطح آب در مخازن	۱۱۷
۶-۸-۲- بده‌سنج‌ها	۱۱۷
۶-۸-۳- سیستم‌های مانیتورینگ	۱۱۸
۶-۸-۴- سیستم‌های گرمایش صنعتی الکتریکی	۱۱۹
۶-۸-۵- سیستم برق اصلی اضطراری (دائمی و موقت)	۱۲۰
۶-۸-۶- سایر تجهیزات	۱۲۰
فصل هفتم – مخازن وزنی	**۱۲۳**
۷-۱- کلیات	۱۲۵
۷-۲- بارهای وارد بر مخازن وزنی	۱۲۶
۷-۳- آب‌بندی دیوارها و کف مخازن	۱۲۷
۷-۴- تناسب‌های هندسی اولیه در طراحی دیوارهای وزنی	۱۲۹
۷-۴-۱- دیوار تحت فشار جانبی آب – بدون نیروی برکنش و بدون تاثیر نیروی زلزله	۱۳۰

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۷-۴-۲- دیوار تحت فشار جانبی آب- با نیروی برکنش و بدون تاثیر نیروی زلزله	۱۳۱
۷-۵- پنجه دیوارهای وزنی	۱۳۲
۷-۶- ترکیبات بارگذاری	۱۳۳
۷-۷- تنش‌های مجاز	۱۳۳
۷-۷-۱- تنش مجاز فشاری در دیوارهای وزنی بتنی	۱۳۳
۷-۷-۲- تنش مجاز فشاری در دیوارهای وزنی سنگی	۱۳۳
۷-۷-۳- تنش کششی مجاز	۱۳۵
۷-۸- محاسبه تنش‌ها	۱۳۵
۷-۸-۱- محاسبه تنش‌ها برای ترکیباتی از بارگذاری که در آن‌ها نیروی زلزله وجود ندارد	۱۳۵
۷-۸-۲- محاسبه تنش‌ها برای ترکیباتی از بارگذاری که در آن‌ها نیروی زلزله وجود دارد	۱۳۶
۷-۹- کنترل های پایداری	۱۳۷
۷-۹-۱- کنترل پایداری در مقابل واژگونی	۱۳۷
۷-۹-۲- کنترل پایداری در مقابل لغزش	۱۳۷
فصل هشتم - ضوابط طراحی اجزای جانبی مخازن آب بتنی	**۱۳۹**
۸-۱- کلیات	۱۴۱
۸-۲- محل قرارگیری مخازن	۱۴۱
۸-۳- حفاظت	۱۴۲
۸-۴- زهکشی	۱۴۲
۸-۵- سرریز	۱۴۳
۸-۶- دسترسی‌ها	۱۴۳
۸-۶-۱- دریچه بازدید	۱۴۳
۸-۶-۲- نردبان	۱۴۴
۸-۷- هواکش‌ها	۱۴۵
۸-۸- پوشش خارجی سقف و دیوارهای جانبی مخازن	۱۴۵
۸-۸-۱- عایق‌کاری حفاظتی بتن	۱۴۵
۸-۸-۲- پوشش گیاهی بر روی سقف مخازن	۱۴۵

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۸-۹- شیب‌بندی	۱۴۶
۸-۹-۱- شیب‌بندی کف مخازن	۱۴۶
۸-۹-۲- شیب‌بندی سقف مخازن	۱۴۶
۸-۱۰- محافظت در برابر یخزدگی	۱۴۶
۸-۱۱- آزمایش‌های آب‌بندی مخازن	۱۴۷
۸-۱۱-۱- آزمایش آب‌بندی کف و دیوارهای مخازن	۱۴۷
۸-۱۱-۲- آزمایش آب‌بندی سقف مخازن	۱۴۷
۸-۱۲- شیب‌بندی محوطه و معابر اطراف مخازن	۱۴۸
۸-۱۲-۱- شیب‌بندی محوطه‌ی اطراف مخازن	۱۴۸
۸-۱۲-۲- معابر پیرامون مخازن	۱۴۸
۸-۱۳- حفاظت اجزای فلزی داخل مخازن	۱۴۸
۸-۱۴- شست و شو، رسوب‌زدایی و ضدعفونی‌کردن مخازن	۱۴۸
۸-۱۵- بازدید شیرآلات و سایر تجهیزات و تاسیسات مخازن	۱۴۹
۸-۱۶- نگهبانی	۱۴۹
فصل نهم – ملاحظات پدافند غیرعامل در طراحی مخازن بتنی زمینی	**۱۵۱**
۹-۱- کلیات	۱۵۳
۹-۲- اولویت‌بندی مخازن از نقطه‌نظر سطح تاثیرگذاری	۱۵۴
۹-۳- ضوابط طراحی مخازن آب زمینی براساس اصول پدافند غیرعامل	۱۵۷
۹-۳-۱- مکان‌یابی مخازن آب	۱۵۷
۹-۳-۲- پراکنده‌سازی مخازن	۱۵۷
۹-۳-۳- استتار، اختفا و فریب (CCD)	۱۵۷
۹-۳-۴- مدیریت بحران ناشی از عملیات مجرمانه و تروریستی	۱۵۸
۹-۴- حفاظت فیزیکی از مخازن آب	۱۵۹
۹-۴-۱- ارزیابی تهدیدات	۱۵۹
۹-۴-۲- تمهیدات و تجهیزات حفاظت فیزیکی	۱۵۹
۹-۵- ملاحظات طراحی سازه‌ای	۱۶۳

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
پیوست ۱- یخ‌زدگی در مخازن بتنی، نمونه‌ی محاسبات	**۱۶۵**
پیوست ۲- بتن‌های خودتراکم (SCC)	**۱۷۹**
پیوست ۳- شبکه زهکش در زیر مخزن	**۱۹۵**
پیوست ۴- ملاحظات کیفی آب ذخیره‌شده	**۲۰۳**
پیوست ۵ - ایجاد پوشش گیاهی بر روی خاکریز سقف و پیرامون مخازن	**۲۱۱**
منابع و مراجع	**۲۱۵**

فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول ۲-۱- حداقل میزان مواد سیمانی در بتن	۲۷
جدول ۲-۲- حداقل مدت عمل‌آوری بتن	۲۸
جدول ۲-۳- الزامات برای بتن در معرض یون کلراید	۲۹
جدول ۲-۴- الزامات برای بتن در معرض حمله سولفات	۳۰
جدول ۲-۵- حداکثر مجاز انبساط خمیر سیمان در معرض سولفات (ASTM C 1012M)	۳۰
جدول ۲-۶- طبقه‌بندی شدت مهاجم‌بودن محیط برای بتن در معرض چرخه‌های متناوب ذوب و انجماد	۳۱
جدول ۲-۷- کل میزان هوا برای ساخت بتن مقاوم در برابر چرخه‌های ذوب و انجماد	۳۱
جدول ۲-۸- آزمایش‌های پایایی و تعیین شاخص دوام	۳۲
جدول ۳-۱- ضریب رفتار مخازن (R_i)	۴۸
جدول ۳-۲- ترکیبات بار در طراحی به روش حالات حدی	۵۷
جدول ۴-۱- حداکثر عرض ترک مجاز در شرایط محیطی مختلف	۶۴
جدول ۴-۲- مقادیر حداکثر ضریب ترک مجاز در شرایط محیطی مختلف	۶۷
جدول ۴-۳- ضرایب پایایی (S_d)	۷۲
جدول ۴-۴- حداقل درصد میلگردهای حرارتی و جمع‌شدگی افقی بر اساس سطح مقطع موثر	۸۴
جدول ۴-۵- حداکثر فاصله و نوع درزها در حالت‌های مختلف	۸۴
جدول ۴-۶- مقاومت کششی سه روزه بتن بر اساس مقاومت فشاری ۲۸ روزه آن	۸۵
جدول ۴-۷- تغییرات دمای بتن به علت گرمای آزادشده در هنگام آبگیری (هیدراسیون)	۸۷

فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول ۷-۱- مقاومت فشاری سنگ‌های مورداستفاده درکارهای ساختمانی	۱۳۴
جدول ۷-۲- تنش‌های مجاز فشاری سنگ‌چینی	۱۳۴
جدول ۷-۳- ضریب اصطکاک μ در رابطه ۷-۳	۱۳۸
جدول ۹-۱- اولویت‌بندی سامانه‌های آبی	۱۵۶
جدول ۹-۲- تجهیزات و تمهیدات امنیتی پیرامون محوطه	۱۶۰
جدول ۹-۳- تجهیزات و تمهیدات امنیتی محوطه (فضای مابین دیوار پیرامونی و ابنیه)	۱۶۱
جدول ۹-۴- تجهیزات و تمهیدات امنیتی ابنیه و تاسیسات وابسته	۱۶۱
جدول ۹-۵- تجهیزات و تمهیدات امنیتی سیستم برق، کنترل و تله‌متری	۱۶۲
جدول پ.۱-۱- زمان مورد نیاز برای شروع یخزدگی – مثال مخزن نیمه‌مدفون	۱۷۲
جدول پ.۱-۲- زمان مورد نیاز برای شروع یخزدگی – مثال مخزن مدفون	۱۷۶
جدول پ.۲-۱- شاخص پایداری چشمی	۱۸۷
جدول پ.۴-۱- خلاصه‌ای از مشکلات کیفی آب در مخازن ذخیره	۲۰۵
جدول پ.۴-۲- نمونه‌ی دستورالعمل نرخ خالی و پرکردن مخازن آب	۲۰۹

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱- نمونه‌هایی از مخازن بتنی هوایی	۶
شکل ۱-۲- نمونه‌هایی از مخازن بتنی زمینی	۸
شکل ۱-۳- نمونه‌هایی از سیستم‌های اتصال سقف به دیوار مخازن بتنی زمینی	۱۰
شکل ۱-۴- سیستم‌های سازه‌ای دیوار در مخازن بتنی مکعب مستطیلی زمینی	۱۱
شکل ۱-۵- سیستم‌های مورد استفاده در کف مخازن بتنی زمینی	۱۳
شکل ۱-۶- توزیع یکنواخت سختی در افق (در یک نیم مخزن از یک مخزن بتنی با حجم زیاد)	۱۴
شکل ۱-۷- نمونه‌ای از سازه‌ی تهویه در مخازن بزرگ بتنی زمینی	۱۷
شکل ۳-۱- مدل دینامیکی مایعات درون مخزن با جدار سخت	۴۴
شکل ۳-۲- مشخصات ابعاد هندسی مخازن	۴۴
شکل ۳-۳- ضریب $\frac{2\pi}{\lambda}$ برای مخازن مستطیلی	۴۶

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۳-۴- ضریب $\frac{2\pi}{\lambda}$ برای مخازن استوانه‌ای	۴۶
شکل ۳-۵- ضرایب W_i / W_L و W_c / W_L در مقابل نسبت L / H_L برای مخازن مستطیلی	۴۷
شکل ۳-۶- ضرایب W_i / W_L و W_c / W_L در مقابل نسبت D / H_L برای مخازن استوانه‌ای	۴۷
شکل ۳-۷- ضرایب h_i / H_L و h_c / H_L برای مخازن مستطیلی بدون در نظر گرفتن فشار نامتوازن وارد بر پی (EBP)	۴۹
شکل ۳-۸- ضرایب h_i / H_L و h_c / H_L برای مخازن استوانه‌ای بدون در نظر گرفتن فشار نامتوازن وارد بر پی (EBP)	۴۹
شکل ۳-۹- ضرایب h'_i / H_L و h'_c / H_L برای مخازن مستطیلی با در نظر گرفتن فشار نامتوازن وارد بر پی (IBP)	۵۰
شکل ۳-۱۰- ضرایب h'_i / H_L و h'_c / H_L برای مخازن استوانه‌ای با در نظر گرفتن فشار نامتوازن وارد بر پی (IBP)	۵۱
شکل ۳-۱۱- نیروهای ناشی از ارتعاش افقی مخازن نگه‌دارنده‌ی مایعات	۵۲
شکل ۳-۱۲- نمای شماتیک محل اعمال برآیند نیروهای جانبی هیدرودینامیکی در مخازن	۵۳
شکل ۳-۱۳- توزیع نیروهای هیدرودینامیکی در پلان مخازن مستطیلی	۵۳
شکل ۳-۱۴- توزیع نیروهای هیدرودینامیکی در پلان مخازن استوانه‌ای	۵۴
شکل ۳-۱۵- توزیع واقعی فشار هیدرودینامیک ناشی از ارتعاش قسمت سخت مایع نگهداری شده	۵۴
شکل ۳-۱۶- توزیع واقعی فشار هیدرودینامیک ناشی از ارتعاش قسمت مواج مایع نگهداری شده	۵۵
شکل ۳-۱۷- اضافه ارتفاع موج ناشی از ارتعاش افقی جرم مواج مایع نگهداری‌شده	۵۶
شکل ۴-۱- شرایط محیطی اجزای مختلف مخزن	۶۳
شکل ۴-۲- پارامترهای مورد نیاز در محاسبه ضریب ترک (Z)	۶۸
شکل ۴-۳- پارامترهای مورد نیاز در محاسبه عرض ترک (W)	۶۹
شکل ۴-۴- درز اجرایی	۷۶
شکل ۴-۵-درزهای انقباضی	۷۹
شکل ۴-۶- درز انقباضی کامل القایی در کف	۷۹
شکل ۴-۷- درزهای انبساطی	۸۱
شکل ۴-۸- درز انبساطی با شاخک برشی برای حمل نیروی برشی در درز	۸۱
شکل ۴-۹- درز لغزشی در محل اتصال سقف روی دیوار	۸۲
شکل ۴-۱۰- محل قرارگیری میلگردهای حرارتی افقی	۸۳
شکل ۴-۱۱- پارامترهای موردنیاز در تعیین فاصله میان ترک‌ها	۸۶
شکل ۴-۱۲- سطح موثر مقطع بتنی برای محاسبه آرماتورهای حرارتی و جمع‌شدگی	۸۸

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۵-۱- سیستم قالب‌بندی دیوار بتنی بلند	۹۴
شکل ۵-۲- قالب‌بندی ستون در مخازن آب و سازه‌های مهندسی بهداشت	۹۴
شکل ۵-۳- استفاده از پشت‌بندها در مخازن آب با ارتفاع بلند	۹۵
شکل ۵-۴- دریچه‌ی موقت ترزیق بتن در دیوارهای بلند در مخازن آب	۹۵
شکل ۵-۵- نمونه‌هایی از میله‌های رابط قالب دوطرف دیوار مخازن	۹۶
شکل ۵-۶- پرداخت سطحی کف با ماله‌ی پروانه‌ایی	۹۷
شکل ۵-۷- نحوه بتن‌ریزی در سطوح وسیع	۹۷
شکل ۵-۸- اجزای تشکیل دهنده‌ی درز	۹۸
شکل ۵-۹- کرنش سطحی برای افزایش عرض ۱۲/۵ میلی‌متر	۱۰۰
شکل ۵-۱۰- کرنش سطحی برحسب کرنش متوسط خطی	۱۰۱
شکل ۵-۱۱- جزییات اجرایی نوارهای آب بند ترموپلاستیک (اندازه‌ها به میلی‌متر می‌باشند)	۱۰۳
شکل ۶-۱- جزییات نمونه لوله خروجی	۱۰۹
شکل ۶-۲- جزییات نمونه لوله تخلیه یا شستشو	۱۱۲
شکل ۶-۳- جزییات نمونه حوضچه سرریز	۱۱۳
شکل ۶-۴- شکل شماتیک تجمیع حوضچه‌های شیرآلات لوله‌های ورودی، خروجی و شستشوی مخزن	۱۱۵
شکل ۷-۱- جزییات آب‌بندنمودن دیوارهای سنگی با هسته بتنی مسلح با ضخامت ۲۰ الی ۳۰ سانتی‌متر (مقطع دیوار)	۱۲۸
شکل ۷-۲- جزییات اتصال بتن آب‌بند کف به عایق دیوار	۱۲۹
شکل ۷-۳- نیروهای وارد بر دیوار با مقطع مستطیلی	۱۳۰
شکل ۷-۴- شمای محاسباتی در حالت اجرای دیوار برای فشار بر کنش	۱۳۱
شکل ۷-۵- اجرای پله‌ای دیوار مثلثی	۱۳۱
شکل ۷-۶- شمای محاسباتی که حالت اجرای دیوار (با اعمال فشار بر کنش)	۱۳۲
شکل ۷-۷- نیروی محاسباتی پنجه دیوارهای وزنی	۱۳۳
شکل ۷-۸- نیروهای وارده بر دیوار وزنی (بدون حضور نیروی زلزله)	۱۳۶
شکل ۷-۹- نیروهای وارد بر دیوار وزنی (با حضور نیروی زلزله)	۱۳۷
شکل پ.۲-۱- نمای شماتیک نحوه انجام آزمایش جریان اسلامپ	۱۸۵
شکل پ.۲-۲- ضریب پایداری چشمی برای آزمایش جریان اسلامپ	۱۸۶

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل پ.۲-۳- نمای شماتیک نحوه‌ی انجام آزمایش حلقه‌ی J (اندازه ها به میلی‌متر می‌باشد)	۱۸۸
شکل پ.۲-۴- لزوم ثبت اختلاف سطح بتن در بیرون و داخل حلقه‌ی J به عنوان معیاری برای قابلیت عبور	۱۸۸
شکل پ.۲-۵ - نمای شماتیک دستگاه آزمایش جداشدگی با استفاده از روش ستون	۱۸۹
شکل پ.۲-۶- پرداخت سطح بتن خودتراکم	۱۹۲
شکل پ.۲-۷- بتن‌ریزی از قسمت پایین قالب‌های ستون و دیوار	۱۹۳
شکل پ.۳-۱- هندسه پیشنهادی برای زهکش پیرامونی (ابعاد به سانتی‌متر)	۱۹۸
شکل پ.۳-۲- هندسه پیشنهادی برای شاخه‌های فرعی (ابعاد به سانتی‌متر)	۱۹۸
شکل پ.۳-۳- چاهک بازدید و اتصال زهکش فرعی به زهکش اصلی به آن	۲۰۱

مقدمه

اولین نسخه‌ی نشریه شماره ۱۲۳ سازمان برنامه و بودجه با عنوان «ضوابط و معیارهای طرح و محاسبه مخازن آب زمینی» در سال ۱۳۷۲ تهیه و ابلاغ گردید. با توجه به گذشت زمان قابل ملاحظه از انتشار این استاندارد و تدوین و تغییر آیین‌نامه‌های مادر و در نتیجه لزوم تجدیدنظر و به‌روزنمودن آیین‌نامه‌های طراحی و دستورالعمل‌های فنی در جهت رفع نیازهای جامعه فنی کشور، بازنگری این نشریه در دستور کار قرار گرفت. بازنگری نشریه براساس آیین‌نامه جدید بتن ایران (آبا) و استانداردهای معتبر و به‌روز جهانی و همچنین با توجه به تجهیزات و تکنولوژی‌های امروزی انجام شده است.

در تدوین این نشریه فرض بر این بوده است که آخرین تجدیدنظرهای نشریه شماره ۱۲۰ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور با عنوان «آیین‌نامه بتن ایران» (آبا)، نشریه شماره ۳۱۲ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور با عنوان «ضوابط عمومی طراحی سازه‌های آبی بتنی»، نشریه شماره ۱۲۴ سازمان برنامه و بودجه با عنوان «مشخصات فنی عمومی مخازن آب زمینی» و نشریه شماره ۱۳۷ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری با عنوان «راهنمای بهره‌بردای و نگهداری از مخازن آب شهری (بازنگری اول)» برای طراحی و اجرای مخازن بتنی مسلح در دسترس بوده و مهندس محاسب با آن‌ها آشنایی کامل دارد. تمامی ضوابط این نشریات باید در طراحی و ساخت مخازن مورد استفاده قرار گیرد، مگر آن‌که در این ضابطه به طور واضح ترتیب دیگری در نظر گرفته شده باشد.

- هدف

هدف از تدوین این ضابطه بازنگری نشریه شماره ۱۲۳ سازمان برنامه و بودجه در خصوص طرح و محاسبه مخازن آب زمینی است. به‌علاوه، ضمن بازنگری بر اساس آخرین ویرایش استانداردهای ملی و بین‌المللی و توجه به ارتقای مشخصات فنی مصالح و افزودنی‌ها و همچنین بالارفتن دانش فنی و اجرایی در سطح کشور، مطالب جدیدی که می‌تواند موردتوجه کارفرمایان و طراحان مخازن بتنی قرار گیرد، مانند تجهیزات مکانیکی و برقی و سیستم‌های کنترل، پدافند غیرعامل و ملاحظات کیفی آب ذخیره‌شده، افزوده شده است.

- دامنه کاربرد

این ضابطه دربرگیرنده‌ی مقررات عمومی برای طراحی و اجرای مخازن زمینی بتن مسلح و وزنی مورد استفاده در سازه‌های مربوط به امور مهندسی بهداشت[1] که به نحوی عهده‌دار ذخیره‌ی آب تصفیه‌نشده یا تصفیه‌شده در دمای معمولی هستند، می‌باشد. برای سایر مایعات و دماهای غیرمتعارف، اصول کلی این ضوابط با درنظرگرفتن ضوابط پایایی

۱- سازه‌های مرتبط با بهداشت جوامع انسانی

بتن مسلح، ممکن است قابل‌کاربرد باشد. این ضابطه برای طراحی مخازن بتنی با احجام متداول جهت آبرسانی شـهری و روستایی، با توجه به ملاحظات پدافند غیرعامل در طراحی مخازن بتنی زمینی تهیه‌شده و برای طراحی مخـازن حیـاتی[۱] توصیه می‌شود به استانداردها و مراجع معتبر و برای طراحی مخازن کاملا نمایان بزرگ، به نشریه‌ی شماره ۷۸- ن طـرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور با عنوان «نگرشی اجمالی بر مخازن بزرگ غیرتیپ» مراجعه شود.

ضمنا، با عنایت به اختلافات اساسی بین مخازن زمینی و هوایی از نقطه‌نظر سازه‌ای و تجهیزاتی، ضوابط و معیارهـای طراحی و اجرای مخازن هوایی موضوع این بازنگری نمی‌باشد و تهیه و تدوین ضوابط مربوط در استانداردی جداگانه مورد توصیه است.

۱- برای ملاحظه‌ی نحوه‌ی تعیین سطح تاثیرگذاری مخازن (مهم، حساس و حیاتی) به بند ۹-۲ این ضوابط مراجعه گردد.

فصل ۱

نکات عمومی

۱-۱- کلیات

مخازن، یکی از اجزای مهم سامانه‌های آبرسانی می‌باشند که باید به‌گونه‌ای طراحی گردند تا علاوه بر جبران تغییرات تقاضای آب، کاهش نوسانات فشار آب در شبکه‌ی توزیع، ذخیره و فراهم‌نمودن آب مورد نیاز اطفای حریق و استمرار آبرسانی و توزیع آن در هنگام قطع برق و حوادث احتمالی، از آلودگی آب نیز جلوگیری نمایند.

۱-۲- شرایط پی

در هنگام استفاده از این ضوابط، فرض بر این است که زمین‌شناسی، مکانیک خاک، لرزه‌خیزی منطقه و همچنین شرایط پی درخصوص مسایلی از قبیل: نشست، اختلاف نشست (نشست غیریکنواخت)، ظرفیت باربری، اثرات خورندگی ناشی از آب و خاک، سطح آب زیرزمینی، آبگونگی یا روانگرایی، فشار جانبی، ضریب عکس‌العمل افقی و قائم خاک و سایر پارامترهای مکانیک خاک، توسط گروه‌های ذی‌صلاح مورد بررسی قرار گرفته و نتایج حاصل و پارامترهای لازم در اختیار گروه‌های مختلف طراحی مخزن قرار داده شده است.

در مخازن بزرگ به‌منظور کنترل مضاعف نتایج آزمایش‌های مکانیک خاک، حفر گمانه‌های تکمیلی و کنترل مطالعات ژئوتکنیک اولیه مطابق نظر مهندس ژئوتکنیک توصیه می‌شود.

۱-۳- طبقه‌بندی مخازن بتنی از لحاظ وضعیت استقرار نسبت به تراز زمین

مخازن بتن مسلح برحسب وضعیت استقرار نسبت به تراز زمین، به دو دسته‌ی مخازن هوایی و مخازن زمینی طبقه‌بندی می‌شوند. ضوابط ارائه شده در این مجموعه مربوط به مخازن زمینی می‌باشد. برای طراحی و اجرای مخازن هوایی لازم است به ضوابط مربوط مراجعه گردد.

۱-۳-۱- مخازن بتنی هوایی[1]

مخازن هوایی، مخازنی هستند که برای ایجاد فشار مناسب در شبکه (به‌علت موجودنبودن زمین طبیعی مرتفع در منطقه‌ی تحت پوشش)، بر روی پایه‌های قاب‌بندی شده و یا یکپارچه، احداث می‌گردد. در شرایط معمول، حجم این مخازن محدود بوده و براساس نیاز تعیین می‌گردد. نمونه‌هایی از مخازن هوایی احداث شده برروی پایه‌های قاب‌بندی‌شده و یا یکپارچه در شکل شماره (۱-۱) آمده است.

۱- تا زمان تهیه شدن استاندارد ملی مخازن بتنی هوایی، طراح می‌تواند به استانداردهای معتبر بین‌المللی مربوط مراجعه نماید.

شکل ۱-۱- نمونه‌هایی از مخازن بتنی هوایی

۱-۳-۲- مخازن بتنی زمینی

مخازن بتنی زمینی برای ذخیره‌ی آب تصفیه‌نشده یا بهداشتی، متعادل‌کردن فشار، مکش تلمبه‌خانه‌ها، تامین فشار شبکه و... استفاده می‌شوند. با توجه به ضوابط پدافند غیرعامل و همچنین ملاحظات فنی و معماری، مخازن بتنی زمینی ممکن است به صورت مدفون، نیمه‌مدفون و یا نمایان ساخته شوند.

الف- مخازن بتنی زمینی مدفون

مخازن بتنی زمینی مدفون مخازنی هستند که در عمق مناسب استقرار یافته و سپس پشت دیوارها و همچنین روی سقف آن‌ها خاک مناسب ریخته و خاک پشت دیوارها متراکم گردد. این‌گونه مخازن علاوه بر محاسنی که از لحاظ استتار دارند، از نظر تبادل حرارتی نیز شرایط مناسبی را فراهم می‌آورند.

ب- مخازن بتنی زمینی نیمه‌مدفون

در این مخازن عملیات خاکریزی صرفا تا بخشی از ارتفاع دیوار انجام می‌شود. این‌گونه مخازن از لحاظ استتار، تغییرات دما و همچنین انبساط و انقباض دال سقف، شرایط نامناسبی دارند و با توجه به ضوابط پدافند غیرعامل برای استفاده در شبکه آب آشامیدنی شهری قابل توصیه نمی‌باشند.

ج- مخازن بتنی نمایان

این‌گونه مخازن به‌طورمعمول به لحاظ معماری منظر و یا نمادگرایی، و در تطابق با محیط پیرامون برای سامان‌دهی سیما و مناظر شهری، تاریخی و توریستی، به صورت نمایان ساخته می‌شوند.

درشکل شماره (۱-۲) نمونه‌هایی از مخازن بتنی زمینی مدفون، نیمه‌مدفون و نمایان نشان داده شده است.

عواملی که در انتخاب نوع مخازن زمینی از لحاظ مدفون، نیمه‌مدفون و یا نمایان بودن تاثیر دارد، شامل ضوابط پدافند غیرعامل، سطح آب زیرزمینی، شرایط اقلیمی، توپوگرافی، ژئوتکنیک، محدودیت زمین، رقوم موردنظر، شیب زمین و یا لزوم سامان‌دهی سیما و مناظر می‌باشد.

به منظور رعایت ضوابط پدافند غیرعامل و تامین تمهیدات لازم برای مقابله با یخزدگی، باید از مخازن زمینی مدفون برای آب آشامیدنی استفاده شود. درصورتی‌که امکان مدفون کردن مخازن برای چنین مراکزی میسر نباشد، مخزن باید با نظر کمیته پدافند غیرعامل، و مطابق ضوابط مربوط مورد مطالعه خاص قرار گیرد.

در چنین شرایطی به علت ضوابط پدافند غیرعامل توصیه می‌شود از مخازنی که شکل هندسی آن‌ها دارای گوشه‌های تیز است، استفاده نشود.

الف- مخزن بتنی زمینی مدفون

ب- مخزن بتنی زمینی نیمه‌مدفون

ج- مخزن بتنی نمایان [۹۲]

شکل ۱-۲- نمونه‌هایی از مخازن بتنی زمینی

۱-۴- طبقه‌بندی مخازن بتنی زمینی از لحاظ شکل هندسی و مشخصات ابعادی

مخازن آب بتنی زمینی معمولا در دو شکل استوانه‌ای و مکعب مستطیلی ساخته می‌شوند، اگرچه از نظر کلی به هر شکل هندسی زیبا و مناسب می‌توانند احداث گردند. به‌طورکلی، مخازن استوانه‌ای از لحاظ فنی و ملاحظات پدافند غیرعامل به مخازن مکعب مستطیلی برتری دارند. در مناطقی که ضریب باربری خاک مناسب باشد، مخازن کاسه‌ای نیز برای احجام بزرگ گزینه‌ی مناسبی می‌باشد.

از نقطه‌نظر بهره‌برداری و ملاحظات پدافند غیرعامل، مخازن معمولا به صورت دوقلو در نظر گرفته می‌شوند. به‌عنوان مثال، بجای ساخت یک مخزن ۵۰۰۰ مترمکعبی، دو مخزن ۲۵۰۰ مترمکعبی در کنار هم و یا چسبیده به یکدیگر ساخته می‌شود.

ابعاد مخازن تابع مشخصات زمین و شرایط محیطی است، لیکن در صورت نبود محدودیت‌های خاص، به‌لحاظ اقتصادی مناسب‌ترین ابعاد هندسی برای مخازن مکعب مستطیلی در شرایطی حاصل می‌شود که نسبت طول به عرض مخزن ۳ به ۲ باشد.

در مخازن دو قلوی استوانه‌ای نیز مناسب‌ترین حالت، استفاده از دو مخزن مستقل با حجم مساوی است.

۱-۵- سیستم سازه‌ای مخازن بتنی زمینی

۱-۵-۱- سیستم سازه‌ای سقف

مخازن را می‌توان مسقف و یا بدون سقف احداث نمود. مخازن آب آشامیدنی باید مسقف و غیرقابل‌نفوذ باشند. از مخازن بدون سقف به‌طور معمول در مواردی نظیر حوضچه‌های ته‌نشینی، استخرهای شنا و ذخیره‌ی آب کشاورزی استفاده می‌شود. برای سقف مخازن می‌توان یکی از سیستم‌های زیر را انتخاب نمود:

الف- دال تخت قارچی

ب- تیر- دال

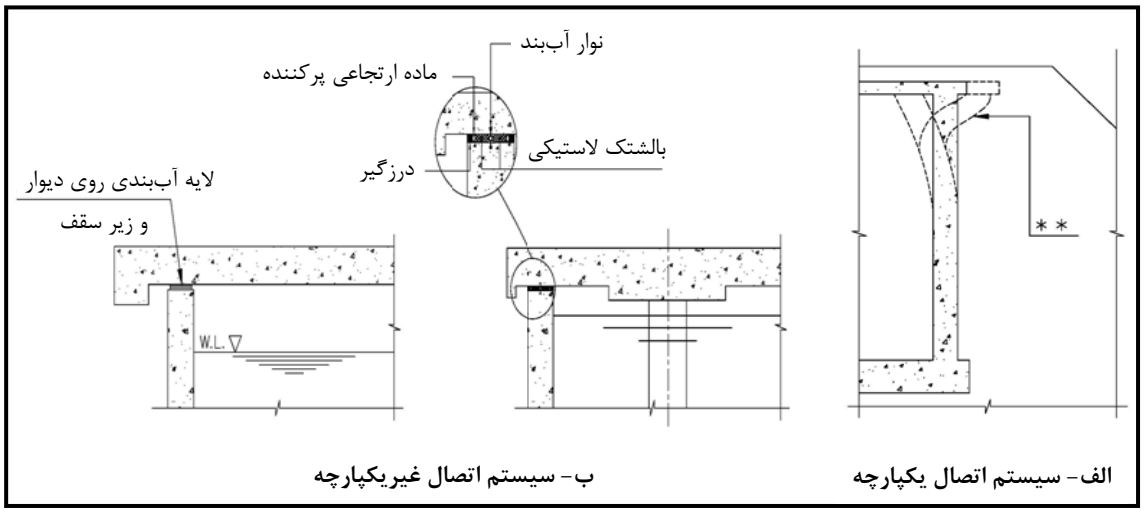
با توجه به خصوصیات سازه‌ای و همچنین شرایط پایایی لازم برای سقف مخازن، سیستم نوع الف (دال تخت قارچی)، مناسب‌ترین و متداول‌ترین سیستم می‌باشد. اگرچه در بعضی از موارد برای مخازن آب آشامیدنی شهری از سیستم دال دوطرفه با تیرهای حمال محیطی نیز استفاده می‌گردد.

درصورت استفاده از سیستم دال دوطرفه با تیرهای حمال محیطی، مشخصات فنی لازم برای پایایی و همچنین عملکرد دال به عنوان یک دیافراگم صلب باید مورد مطالعه خاص قرار گیرد.

۱-۵-۲- اتصال سقف به دیوار در مخازن بتنی زمینی

به‌طور معمول اتصال سقف به دیوار در مخازن نیمه‌مدفون به منظور کاهش اثر تغییر طول‌های حرارتی، به‌صورت آزاد و در مخازن مدفون، جهت جلوگیری از نفوذ آب‌های زیرزمینی به صورت یکپارچه در نظر گرفته می‌شود. ارتباط محیط خارج با محیط داخل مخازن باید با کارگذاری آب‌بندهای مناسب در محل اتصال سقف به دیوار، به‌طورکامل قطع گردد.

نمونه‌هایی از سیستم‌های اتصال سقف به دیوار مخازن بتنی زمینی در شکل شماره (۱-۳) آمده است.



شکل ۱-۳- نمونه‌هایی از سیستم‌های اتصال سقف به دیوار مخازن بتنی زمینی [۹۲]

تغییرات طولی و عرضی سقف مخازن بتنی به‌علت تغییرات درجه حرارت، به‌صورت بزرگ‌نمایی شده نمایش داده شده است. این تغییرات در مخازن مدفون خیلی کوچک‌تر از مخازن غیرمدفون می‌باشد.

۱-۵-۳- سیستم سازه‌ای دیوار مخازن بتنی زمینی

۱-۵-۳-۱- سیستم سازه‌ای دیوار در مخازن بتنی مکعب مستطیلی زمینی

سیستم سازه‌ای دیوار مخازن بتنی زمینی برحسب وجود درزهای انبساط قائم در دیوار، مطابق یکی از حالات زیر، به‌صورت یکپارچه و یا غیریکپارچه درنظر گرفته می‌شود. انتخاب سیستم سازه‌ای مناسب برای دیوار مخازن باید برمبنای ضوابط ارائه شده در فصل چهارم این ضابطه صورت پذیرد.

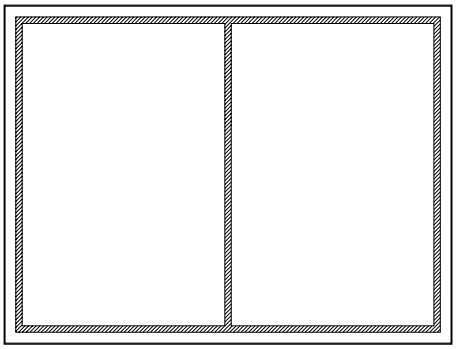
الف- سیستم یکپارچه (شکل ۱-۴- الف)

- دال دوطرفه، متکی بر سه لبه و آزاد در لبه‌ی فوقانی (وضعیت اتکایی ممکن است لولایی یا گیردار باشد)، در این حالت دیوارها علاوه بر لنگر خمشی، تحت کشش در امتداد طولی نیز قرار می‌گیرند.
- دال دوطرفه، متکی بر چهار لبه (وضعیت اتکایی ممکن است لولایی یا گیردار باشد)، در این حالت دیوارها علاوه بر لنگر خمشی، تحت کشش در امتداد طولی و فشار در امتداد قائم نیز قرار می‌گیرند.

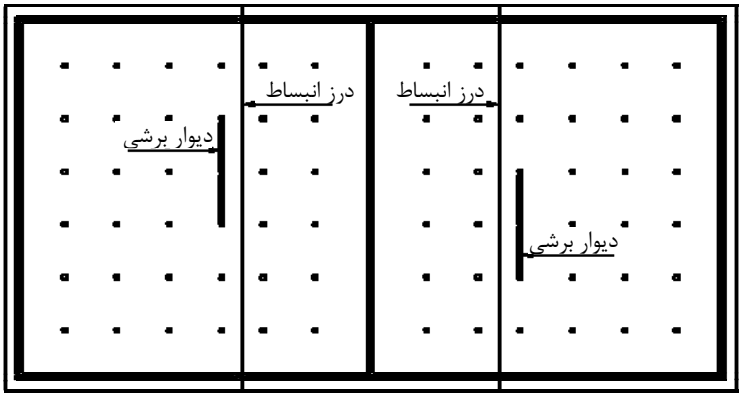
ب- سیستم غیریکپارچه (شکل ۱-۴-ب)

- دال یک‌طرفه‌ی قائم طره‌ای، گیردار در پایین و آزاد در بالا
- دال یک‌طرفه‌ی قائم، گیردار در پایین و متصل به سقف در بالا، که معمولا اتصال دیوار و سقف لولایی فرض می‌شود.

در سیسستم غیریکپارچه دیوارها و کف دارای درز انبساط می‌باشند.



الف- پلان مخزن بتنی مکعب مستطیلی با دیوار یکپارچه



ب- پلان مخزن بتنی مکعب مستطیلی با دیوارهای غیریکپارچه

شکل ۱-۴- سیستم‌های سازه‌ای دیوار در مخازن بتنی مکعب مستطیلی زمینی

۱-۵-۳-۲- سیستم سازه‌ای دیوار در مخازن بتنی استوانه‌ای

سیستم سازه‌ای دیوار مخازن بتنی استوانه‌ای برحسب وجود درزهای انبساط قائم در دیوار، مطابق یکی از حالات زیر به‌صورت یکپارچه و یا غیریکپارچه درنظر گرفته می‌شود. انتخاب سیستم سازه‌ای مناسب برای دیوار مخازن باید برمبنای ضوابط ارائه شده در فصل چهارم این ضابطه صورت پذیرد.

الف- سیستم یکپارچه

در این سیستم درز انبساط قائم در دیوار وجود ندارد و در پوسته‌ی استوانه‌ای، علاوه بر کشش حلقوی، لنگر خمشی با شرایط گیرداری مختلف در پایین و بالای پوسته به‌وجود می‌آید.

ب- سیستم غیریکپارچه

در این سیستم درز انبساط قائم در دیوار وجود داشته و دو حالت زیر پدید می‌آید:

- دال یک‌طرفه‌ی قائم طره‌ای، گیردار در پایین و آزاد در بالا.
- دال یک‌طرفه‌ی قائم، گیردار در پایین و متصل به سقف در بالا (که معمولا اتصال دیوار به سقف لولایی فرض می‌شود).

از آنجا که مهم‌ترین مزیت مخازن استوانه‌ای، به‌وجودآمدن کشش حلقوی می‌باشد و در صورت وجود درز انبساط کشش حلقوی ایجاد نمی‌شود، به‌طورمعمول از سیستم غیریکپارچه برای مخازن بتنی استوانه‌ای استفاده نمی‌گردد.

۱-۵-۳-۳- ارتفاع دیوار مخازن بتنی زمینی

با توجه به تکنولوژی روز، ملاحظات اقتصادی و ترجیح بر بتن‌ریزی یکپارچه در ارتفاع، حداکثر ارتفاع دیوار در زمان طراحی توسط مهندس طراح تعیین می‌شود.

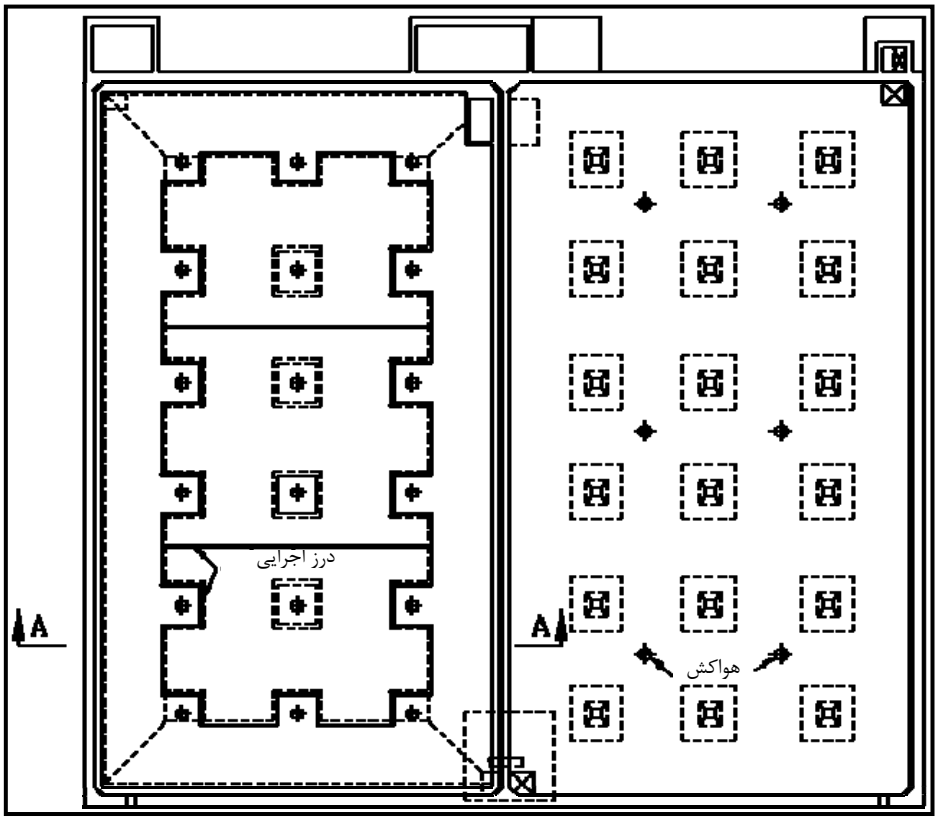
۱-۵-۴- سیستم سازه‌ای کف مخازن بتنی زمینی

برحسب شرایط پی، سیستم کف به یکی از دو صورت یکپارچه و غیریکپارچه انتخاب می‌شود. سیستم کف یکپارچه به صورت دال بتن مسلح یکپارچه در زیر تمام دیوارها و ستون‌ها می‌باشد. در مواقعی که منطقه دارای خاک خوب و عاری از آب زیرزمینی باشد، استفاده از کف غیریکپارچه می‌تواند مورد توجه واقع شود. در این حالت دیوارها و ستون‌ها دارای شالوده‌های جداگانه می‌باشند و بر روی سطح فوقانی این شالوده‌ها، دالی بتنی با ضخامت مناسب (حداقل ۱۵ سانتی‌متر) به منظور آب‌بندی کف مخزن اجرا می‌شود. نمونه‌هایی از سیستم‌های مورد استفاده در کف مخازن بتنی در شکل شماره (۱-۵) آمده است.

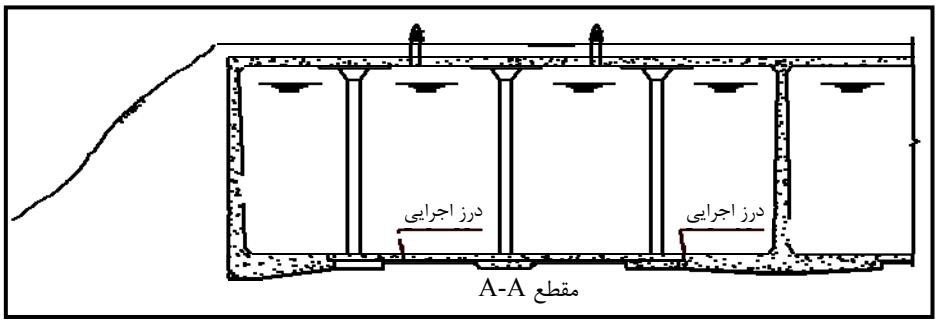
در طراحی مخازن توصیه می‌شود از سیستم کف یکپارچه به‌صورت دال بتن مسلح یکپارچه در زیر تمام دیوارها و ستون‌ها استفاده گردد.

الف- سیستم کف یکپارچه به‌صورت دال بتن مسلح زیر تمام دیوارها و ستون‌ها

ب- سیستم پی منفرد در زیر ستون‌ها و پی نواری در زیر دیوارها و اجرای یک لایه بتن گسترده جهت آب‌بندی



ج- پلان سقف نیم‌مخزن د- پلان کف نیم‌مخزن

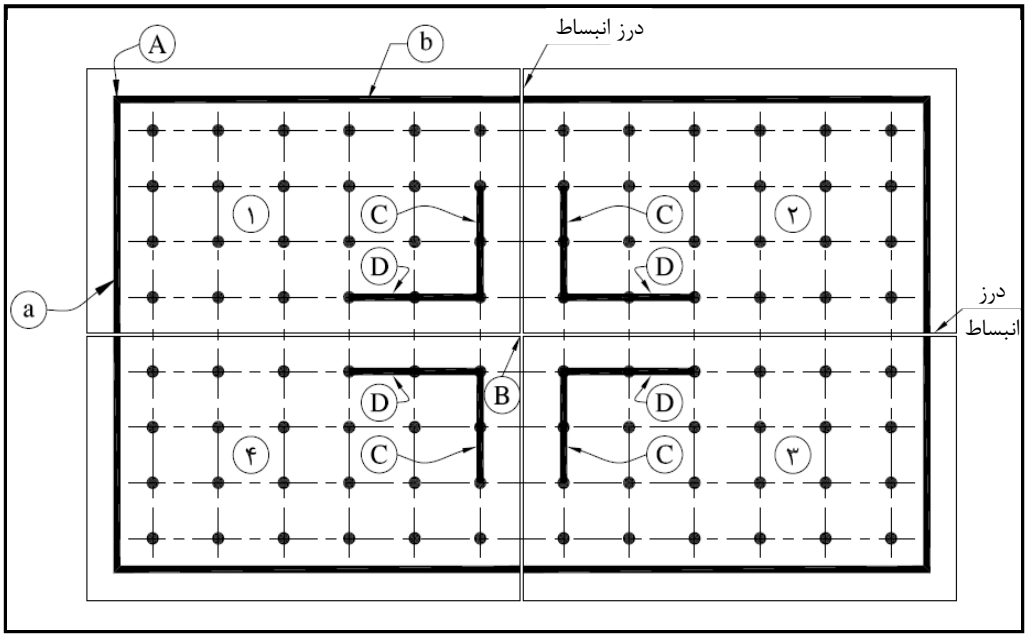


هـ- مقطع سیستم پی منفرد در زیر ستون‌ها

شکل ۱-۵- سیستم‌های مورد استفاده در کف مخازن بتنی زمینی [۹۲]

۱-۵-۵- سیستم سازه‌ای مقاوم در مقابل نیروهای زلزله در مخازن بتنی زمینی

برای توزیع یکنواخت نیروی زلزله و جلوگیری از هرگونه تمرکز نیرو به علت لنگرهای پیچشی بزرگ، لازم است مخزن دارای توزیع یکنواخت سختی در سطح افق باشد. به عنوان مثال، شکل شماره (۱-۶) نشان دهنده‌ی پلان یک نیم مخزن از یک مخزن بزرگ می‌باشد که توسط دو درز انبساط به چهار قسمت تقسیم شده است. اگر ربع اول (۱) مورد توجه قرار گیرد، ملاحظه می‌شود که وجود دیوارهای a و b باعث تمرکز شدید سختی در گوشه‌ی A می‌شود. درحالی‌که، در صورت عدم وجود دیوارهای C و D، در گوشه‌ی B عملا سختی ناچیز است. لذا، منطق حکم می‌کند که به ترتیبی، سختی در گوشه‌ی B به‌وجود آید. برای این منظور، می‌توان با تعبیه‌ی دو دیوار برشی C وD، توزیع یکنواختی از سختی برای ربع‌های مختلف در صفحه افق فراهم آورد.



شکل ۱-۶- توزیع یکنواخت سختی در افق (در یک نیم مخزن از یک مخزن بتنی با حجم زیاد)

۱-۶- فاصله ستون‌ها در مخازن بتنی

بررسی تجربیات موجود در زمینه‌ی طراحی و اجرای مخازن بتنی زمینی نشان می‌دهد که فواصل متعارف ستون‌ها در حدود ۴ تا ۶ متر می‌باشد. مطالعات انجام شده نیز نشان می‌دهد که فواصلی در حدود فوق، ضخامت معقولی برای سقف (درحدود ۲۰ تا ۲۵ سانتی‌متر) به‌دست می‌دهد و در ضمن تعداد و تراکم ستون‌ها از نقطه‌نظر اجرایی درحد معقولی است. با توجه به توضیحات فوق، توصیه می‌شود برای طراحی مخازن، در اکثر موارد فواصل ستون‌ها حدود ۵ متر انتخاب شود. در مورد دهانه‌ی انتهایی برای ایجاد توازن در لنگرهای مثبت و منفی، طول دهانه حدود ۴ متر و با همین استدلال، طول دهانه‌های طره‌ای موجود در مجاورت درزهای انبساطی، حدود ۲ متر منظور می‌شود.

۱-۷- یخزدگی در مخازن بتنی زمینی

با توجه به شرایط اقلیمی مناطق سردسیر، امکان یخزدگی در مخازن وجود داشته و سه نوع پدیده‌ی یخزدگی به شرح زیر در مخازن قابل مشاهده است:

- یخزدگی لوله‌ها و تجهیزات جانبی مخزن
- یخزدگی سطوح در تماس با هوای مرطوب موجود در داخل فضای مخزن
- یخزدگی سطح آب داخل مخزن

راه‌کارهای زیر برای جلوگیری از وقوع پدیده‌های فوق‌الذکر قابل‌توصیه می‌باشد:

- برای لوله‌ها و تجهیزاتی که بالاتر از عمق یخزدگی اجرا می‌شوند باید عایق حرارتی مناسب و مقاوم در مقابل صدمات مکانیکی در نظر گرفته شود. ضخامت عایق حرارتی باید به‌نحوی انتخاب شود تا بتوان شرایط تجهیزات فوق‌الذکر را در حد عمق یخزدگی در نظر گرفت و یا با محاسبات نشان داد امکان یخزدگی در آن شرایط وجود ندارد.
- حداقل ۵۰ سانتی‌متر خاک بر روی سقف مخزن ریخته شود و یا آن‌که معادل ضخامت ۵۰ میلی‌متر عایق حرارتی پشم شیشه بر روی سطح خارجی مخزن کشیده شده و این عایق باید در مقابل صدمات مکانیکی و تخریب ناشی از نفوذ آب محافظت شود. بدین‌ترتیب، می‌توان از وقوع پدیده یخزدگی سطح آب داخل مخازن و سطوح در تماس با هوای مرطوب در شرایط معمول جلوگیری نمود.[۱]

برای شرایط برودتی سخت، لازم است محاسبات انتقال حرارت توسط کارشناس ذیربط انجام شود. برای بررسی نحوه انتقال حرارت در مخازن بتنی می‌توان به پیوست شماره‌ی ۱ این ضابطه، با عنوان «یخزدگی در مخازن بتنی، نمونه محاسبات» مراجعه نمود.

۱-۸- تهویه در مخازن بتنی

تعبیه هواکش در مخازن به تهویه و گردش هوا بر روی سطح آب کمک می‌کند. درصورتی‌که تهویه و گردش هوا در محدوده روی سطح آب و زیر سقف مخزن وجود نداشته و یا به اندازه کافی نباشد، به علت تبخیر سطحی، هوای این محدوده به حد اشباع می‌رسد. وجود هوای اشباع در مخزن باعث مسایل مختلفی از جمله شوره‌زدن زیر سقف مخزن بر اثر تقطیر مکرر می‌شود و در شرایطی که هوای محیط خارج زیر صفر باشد، احتمال برفک‌زدگی و یخزدگی موضعی در

۱- لازم به توضیح است برای مخازن سیستم آبرسانی شهری، با توجه به ملاحظات پدافند غیرعامل در طراحی مخازن بتنی زمینی، توصیه گردیده است در کلیه‌ی شرایط آب و هوایی، از مخازن مدفون (با حداقل ۵۰ سانتی‌متر خاکریزی بر روی سقف مخزن) استفاده شود.

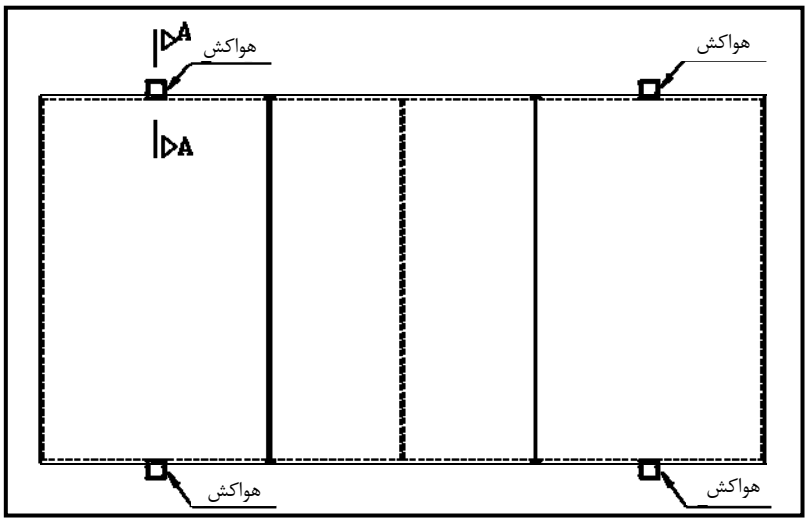
سقف مخازن وجود دارد. یخزدگی و آب‌شدن مکرر موجب آسیب‌دیدگی پوشش میلگردها شده و در نتیجه موجب خوردگی آرماتورها می‌گردد، خوردگی آرماتورها در حضور یون کلر با شدت بیش‌تری روی می‌دهد. بنابراین، تهویه مناسب و گردش کامل هوا در مخزن ضروری می‌باشد که می‌تواند به دو طریق طبیعی و یا اجباری صورت گیرد.

ضمن آن‌که، پیش‌بینی هواکش مناسب می‌تواند از پدیدآمدن فشار منفی در سازه‌ی مخزن، به دلیل ترکیدگی بزرگ در لوله‌های خروجی جلوگیری نماید. به منظور اطمینان از تامین هوای ورودی به مخزن و جلوگیری از پدیدآمدن فشار منفی در شرایطی که لوله خروجی دچار ترکیدگی می‌گردد، لازمست هواکش مناسب در مخازن پیش‌بینی شود. برای محاسبه ابعاد هواکش، باید امکان ترکیدگی بزرگ‌ترین لوله خروجی در نقطه خروج لوله از مخزن درنظرگرفته شود.

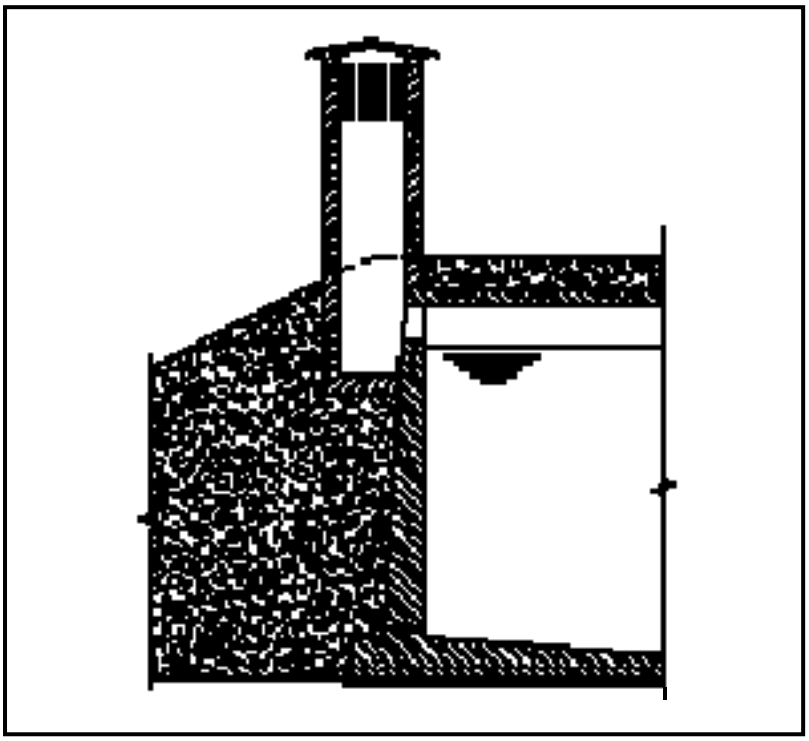
میزان تبخیر سطحی تابعی از شرایط محیطی و مساحت مخزن می‌باشد و لازم است محاسبات مربوطه با توجه به آن‌که شرایط محیطی در طول سال متغیر بوده و تابع عوامل متعددی می‌باشد، انجام شود. در صورت دردسترس‌نبودن اطلاعات کافی برای انجام این محاسبات، توصیه می‌شود برای سیستم تهویه‌ی اجباری (مکانیکی) به ازای هر مترمربع از سطح مخزن، حدود ۴۵ لیتر بر دقیقه ظرفیت تهویه، و برای تهویه طبیعی به ازای هر مترمربع از سطح مخزن حدود ۴ سانتی‌متر مربع هواکش در نظر گرفته شود.

با توجه به ضرورت گردش هوا بر روی سطح آب کل مخزن، باید محل هواکش‌ها به نحوی انتخاب شود تا امکان گردش کامل هوا فراهم گردد. بدین‌منظور توصیه می‌شود در هر قسمت از مخزن که به‌طور کامل به‌وسیله دیوارها محصور شده است، حداقل دو عدد هواکش با حداکثر فاصله ممکن از یکدیگر تعبیه گردد. سطح موردنیاز برای تهویه‌ی طبیعی را می‌توان با احداث سازه‌ی تهویه هوا، تعبیه‌ی دریچه‌های هواکش در دیواره دریچه‌های مخزن و یا استفاده از هواکش‌های عصایی و همچنین با منظور نمودن لوله سرریز و سایر تمهیدات برای ورود هوا به تشخیص مهندس طراح، فراهم نمود. در شکل (۱-۷) نمونه‌ای از سازه‌ی تهویه هوا برای مخازن بتنی زمینی ۵۰.۰۰۰ مترمکعبی و بزرگ‌تر، نشان داده شده است. در مناطق سردسیر، باید تمهیدات لازم برای جلوگیری از مسدودشدن هواکش‌ها بر اثر انباشت برف و یا یخزدگی منظور گردد. چیدمان هواکش‌های ورودی و خروجی و دیوارهای برشی باید به‌نحوی باشد که جریان حداقل هوا در بخش عمده‌ی سطح آب مخزن فراهم شود. با مدل‌کردن مخازن و جابجایی المان‌های مذکور می‌توان به بهترین چیدمان دست یافت.

در طراحی سازه‌های تهویه هوا لازم است تمهیدات مربوط به رعایت ضوابط پدافند غیرعامل منظور گردد.



الف- پلان سقف مخزن بتنی مکعب مستطیلی با هواکش‌های پیرامونی



ب- مقطع A-A

شکل ۱-۷- نمونه‌ای از سازه‌ی تهویه در مخازن بزرگ بتنی زمینی

تحلیل چگونگی تهویه‌ی هوا در مخزن را می‌توان با استفاده از نرم‌افزارهایی که قابلیت مدل‌سازی هندسه جریان و همین‌طور تحلیل جریان‌های دو و یا سه بعدی را داشته باشند، انجام داد. روش حجم محدود نیز به عنوان روش مناسب دینامیک سیالات محاسباتی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. با چنین ابزار و روش‌هایی، امکان جمع‌آوری اطلاعات کامل سایر پارامترها از قبیل تغییرات سرعت، فشار و درجه حرارت در تمام حجم مخزن میسر می‌باشد.

۱-۹- محل قرارگیری مخازن

جانمایی مخازن و ابنیه‌ی وابسته به آن در محوطه، با توجه به عملکرد اجزای طرح و تراز قرارگیری مخازن انجام می‌شود. همچنین، رعایت ضوابط پدافند غیرعامل و انجام مطالعاتی نظیر ملاحظات لرزه‌خیزی و ژئوتکنیک، رعایت فاصله مجاز از منابع و مجاری آلودگی و رعایت حریم‌ها نیز برای جانمایی مخازن باید مدنظر قرار گیرد.

در طراحی مخازن با هدف سهولت اجرا و کاهش هزینه‌ها، معمولا از اشکال هندسی منظم استفاده می‌شود. لیکن، در صورت نبودن فضای مناسب جهت احداث مخازن با اشکال منظم، می‌توان با رعایت اصول فنی، از اشکال خاص نیز استفاده نمود. رعایت ضوابط فصل هشتم، در جانمایی مخازن و طراحی محوطه و ابنیه‌ی وابسته به آن ضروری می‌باشد.

۱-۱۰- ابزاردقیق، کنترل و مانیتورینگ

انتخاب تجهیزات ابزاردقیق و سیستم کنترل و مانیتورینگ مخازن باید متناسب با کاربری مخازن و سایر تاسیسات آبرسانی منطقه‌ی طرح و براساس نیازهای فلسفه‌ی کنترل طرح انجام گیرد. در مراحل تهیه‌ی «فلسفه کنترل سیستم» باید درجه اهمیت کاربری مخازن، تامین کامل نیازهای سیستم، سهولت بهره‌برداری، افزایش قابلیت اطمینان و امکان ثبت و گزارش‌گیری اطلاعات ضروری سیستم توسط کارشناس ذی‌صلاح طراحی مدنظر قرار گیرد. انتقال سیگنال‌ها از تجهیزات به سیستم کنترل و مانیتورینگ می‌تواند در فواصل کوتاه با سیم و در فواصل طولانی به صورت بی‌سیم (با نصب تجهیزات تله‌متری و سایر سامانه‌های انتقال داده) انجام شود. با توجه به حساسیت تجهیزات ابزاردقیق، کنترل و مانیتورینگ، انجام کالیبراسیون دوره‌ای تجهیزات، رعایت اصول حفاظت فیزیکی در نصب و نگهداری سخت‌افزارها و همچنین تعریف سطوح دسترسی در نرم‌افزارها، باید در مشخصات فنی و فلسفه‌ی کنترل طرح گنجانده شود.

برای ملاحظه‌ی جزییات بیش‌تر در خصوص ابزاردقیق، کنترل و مانیتورینگ در مخازن بتنی، می‌توان به فصل ششم این ضوابط مراجعه نمود.

۱-۱۱- ملاحظات پدافند غیرعامل

پدافند غیرعامل مجموعه اقداماتی است که به‌کارگیری آن‌ها مستلزم استفاده از جنگ‌افزار نبوده و اجرای آن‌ها سبب افزایش بازدارندگی، کاهش آسیب‌پذیری و تداوم فعالیت‌های ضروری زیرساخت‌های مراکز حیاتی، حساس و مهم کشور و همچنین ارتقای پایداری ملی و تسهیل مدیریت بحران در برابر اقدامات تهدیدآمیز می‌گردد.

اقدامات دفاع غیرعامل شامل اصول اساسی و ملاحظاتی است که در اغلب کشورهای جهان این اصول و ملاحظات با کمی اختلاف پذیرفته شده‌اند، ولی شیوه به‌کارگیری آن‌ها ابتکاری و خردمندانه است. به همین دلیل، وسعت هر اصل به خلاقیت طراح و شرایط و مکان بستگی دارد و بعضا حد و مرزی برای این اصول نمی‌توان تعریف کرد.

در طراحی مخازن بتنی زمینی، رعایت ضوابط پدافند غیرعامل منتشر شده توسط سازمان‌های ذی‌صلاح الزامی می‌باشد. اصول و ملاحظات اساسی که باید در راستای اجرای پدافند غیرعامل رعایت گردد، در ذیل معرفی شده است:

- آمایش سرزمین؛
- مکان‌یابی؛
- استتار، اختفا و فریب؛
- پوشش؛
- حفاظت فیزیکی و حراست در سطوح مختلف امنیتی؛
- مدیریت بحران پس از وقوع حادثه.

برای ملاحظه‌ی ضوابط پدافند غیرعامل در طراحی مخازن بتنی زمینی، به فصل نهم این نشریه مراجعه شود.

فصل ۲

مصالح و کیفیت بتن

۲-۱- کلیات

در این فصل مشخصات فنی مصالح تشکیل‌دهنده‌ی بتن به صورت اجمالی مورد بررسی قرار گرفته و سپس به برخی از ضوابط ساخت و پایایی بتن اشاره شده است. مشخصات فنی عمومی کارهای مرتبط با ساخت مخازن آب زمینی در نشریه شماره ۱۲۴ سازمان برنامه و بودجه با عنوان «مشخصات فنی عمومی مخازن آب زمینی» به صورت مستقل ارائه شده است که باید در کنار مطالب این مجموعه، موردتوجه قرار گیرد. مصالح مصرفی و نحوه‌ی اختلاط بتن، باید به‌گونه‌ای انتخاب شده و تهیه گردند تا امکان دستیابی به مقاومت لازم و پایایی بتن مخازن آب زمینی فراهم گردد.

۲-۱-۱- سیمان

سیمان‌های مصرفی در ساخت بتن مخازن عبارتند از:

سیمان پرتلند به‌جز سیمان پرتلند تیپ پنج[۱] مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره ۳۸۹، تحت عنوان «ویژگی‌های سیمان پرتلند (تجدید نظر سوم)»؛

سیمان پرتلند آمیخته سرباره‌ای مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره ۳۵۱۷ تحت عنوان «استاندارد ویژگی‌های سیمان‌های سرباره‌ای»؛

سیمان پرتلند آمیخته پوزولانی مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره ۳۴۳۲ تحت عنوان «سیمان پرتلند پوزولانی- ویژگی‌ها»؛

سیمان منبسط‌شونده مطابق با استاندارد ASTM C 845؛ و

سیمان آمیخته آهکی مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره ۴۲۲۰ تحت عنوان «سیمان پرتلند آهکی-ویژگی‌ها».

به‌هرصورت مشخصات فنی سیمان‌های فوق (به جز سیمان پرتلند آمیخته پوزولانی) باید منطبق بر آیین‌نامه بتن ایران (آبا) باشند.

۲-۱-۲- آب

مشخصات آب مصرفی برای شستشوی سنگدانه‌ها، ساخت و عمل‌آوری بتن باید مطابق با ضوابط ارائه‌شده در آیین‌نامه‌ی بتن ایران (آبا) باشد.

۱- استفاده از سیمان پرتلند تیپ پنج فقط در شرایطی که بتن مخازن در معرض یون کلر نباشد، مجاز است.

۲-۱-۳- سنگدانه‌ها

مشخصات سنگدانه‌های مصرفی در ساخت بتن مخازن باید با آخرین ویرایش استاندارد ملی ایران به شماره ۳۰۲ تحت عنوان «سنگدانه‌های بتن - ویژگی‌ها» و آیین‌نامه بتن ایران (آبا) مطابقت داشته باشد.

حداکثر جذب آب سنگدانه‌های مصرفی در بتن مخازن برای سنگدانه‌های درشت به ۲/۵ درصد و برای سنگدانه‌های ریز به ۳ درصد، محدود می‌شود. همچنین دانه‌بندی سنگدانه‌ها باید مطابق با محدوده‌ی دانه‌بندی ارائه شده در روش ملی طرح مخلوط بتن برای حداکثر اندازه‌ی سنگدانه‌ی ۲۵ میلی‌متر باشد.

استفاده از سنگدانه‌های سبک در ساخت بتن مخازن، تنها در صورت وجود توجیه فنی و اقتصادی مجاز می‌باشد. مشخصات این سنگدانه‌ها باید مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره ۴۹۸۵ تحت عنوان «سنگدانه – سبکدانه برای بتن سازه‌ای – ویژگی‌ها» باشد. استفاده از سنگدانه‌های بازیافتی در ساخت بتن مخازن مجاز نیست.

استفاده از سنگدانه‌های مستعد واکنش قلیایی منجر به انبساط و ترک‌خوردگی بتن می‌گردد. بدین منظور توصیه می‌شود پتانسیل واکنش‌زایی سنگدانه‌ها مورد آزمایش قرار گیرد (به پیوست‌های شماره‌ی ۱، ۲ و۳ نشریه شماره ۱۲۴ تحت عنوان «مشخصات فنی عمومی مخازن آب زمینی» مراجعه شود).

۲-۱-۴- مواد افزودنی شیمیایی و مواد جایگزین سیمان

استفاده از هرگونه مواد افزودنی شیمیایی و مواد جایگزین سیمان در ساخت بتن مخازن باید مطابق با آیین‌نامه بتن ایران (آبا) باشد. مواد افزودنی و جایگزین سیمان مورد استفاده باید از منابع شناخته شده تهیه گردد و از ثبات کیفیت و یکنواختی این مواد در طول مدت اجرای پروژه، با انجام آزمایش‌های لازم در آزمایشگاه‌های معتبر اطمینان حاصل گردد. همچنین در صورت استفاده از چند نوع افزودنی و یا مواد جایگزین سیمان، سازگاری مواد با یکدیگر و با سیمان، باید با انجام آزمایش‌های لازم تایید گردد.

افزودنی‌های مورداستفاده در بتن مخازن، باید غیرسمی و سازگار با محیط زیست بوده و از مراکز معتبر، تاییدیه مناسب‌بودن برای تماس با آب آشامیدنی را اخذ کرده باشند.

۲-۱-۴-۱- مواد افزودنی شیمیایی

استفاده از هرگونه ماده افزودنی شیمیایی باید با استاندارد ملی ایران به شماره ۲۹۳۰ تحت عنوان «بتن – مواد افزودنی شیمیایی – ویژگی‌ها» مطابقت داشته باشد.

استفاده از روان‌کننده‌ها و فوق‌روان‌کننده‌ها در ساخت بتن مخازن، با توجه به کم‌بودن حداکثر مجاز نسبت آب به مواد سیمانی، جهت تامین کارآیی موردنظر توصیه می‌شود. استفاده از کلریدکلسیم و مواد افزودنی حاوی یون کلر (صرف‌نظر از ناخالصی‌های موجود در اجزای افزودنی) در ساخت بتن مخازن مجاز نمی‌باشد. استفاده از مواد افزودنی حباب‌ساز در صورت ریزی کافی (قطر کوچک‌تر از ۰/۰۵ میلی‌متر) و توزیع یکنواخت حباب‌های هوا، سبب بهبود کارآیی

بتن تازه و افزایش پایایی بتن مخازن در برابر دوره‌های مکرر ذوب و انجماد می‌شود. همچنین در صورت اختلاط و اجرای صحیح این نوع بتن، استفاده از حباب هوا سبب کاهش آب‌انداختگی و جداشدگی در بتن تازه می‌شود. میزان هوای موجود در بتن تازه بر مبنای حداکثر اندازه‌ی سنگدانه‌ها که دربند ۲-۱-۷-۱-۳ شرح داده شده است، باید به مقادیر مندرج در جدول (۲-۶) محدود شود. در غیر این‌صورت، مقادیر بیش از حد هوا سبب کاهش مقاومت بتن خواهد شد. باید توجه شود که در شرایط آب و هوایی گرم، به دلیل ناپایداری حباب‌های هوا، کنترل اندازه و مقدار حباب هوا با مشکلات زیادی همراه است.

استفاده از مواد افزودنی آب‌بندکننده در ساخت بتن مخازن بلامانع است، مشروط براین‌که عملکرد مثبت آن‌ها با انجام آزمایش‌های جذب آب کوتاه‌مدت و تعیین عمق نفوذ تایید گردد. همچنین درصورت استفاده از این نوع افزودنی‌ها، انجام عمل‌آوری مرطوب و کافی مورد تاکید است.

۲-۱-۴-۲- مواد جایگزین سیمان (پوزولان‌ها و مواد شبه‌سیمانی)

استفاده از مواد جایگزین سیمان شامل پوزولان‌ها و مواد شبه‌سیمانی به دلیل تشکیل ژل سیلیکاتی سبب کاهش نفوذپذیری بتن شده و همچنین به علت مصرف آهک سبب بهبود پایایی بتن در بعضی از محیط‌های مهاجم می‌گردد. بدین ترتیب، جایگزینی مقدار مناسبی از سیمان با این مواد غالبا سبب افزایش پایایی بتن و در برخی موارد حتی سبب افزایش مقاومت آن نیز می‌گردد. پوزولان‌ها و مواد شبه‌سیمانی مورد استفاده به‌شرح زیر می‌باشند:

- میکروسیلیس

میکروسیلیس یک ماده‌ی پوزولانی فعال بوده و مصرف آن علاوه بر کاهش نفوذپذیری و بهبود پایایی و مقاومت بتن، سبب کاهش آب‌انداختگی و چسبندگی بیش‌تر مخلوط می‌شود. مشخصات این ماده پوزولانی باید مطابق استاندارد ملی ایران به شماره ۱۳۲۷۸ تحت عنوان «دوده سیلیس (میکروسیلیس) مورد استفاده در مخلوط‌های سیمانی – ویژگی‌ها» بوده و حداقل سیلیس فعال آن برابر ۸۵ درصد باشد. درصورت استفاده از این ماده، عمل‌آوری باید زودهنگام آغاز شده تا از ترک‌خوردگی ناشی از جمع‌شدگی خمیری جلوگیری به‌عمل آید. همچنین باید از توزیع یکنواخت آن در مخلوط، اطمینان حاصل گردد تا مانع از چسبیدن این مواد به یکدیگر شود. چرا که در این‌صورت با تشکیل سیلیس فعال، ممکن است خرابی ناشی از واکنش سیلیسی- قلیایی روی دهد. میزان جایگزینی سیمان با میکروسیلیس، می‌تواند به حداکثر ۱۰ درصد وزنی سیمان محدود شود.

- پوزولان‌های طبیعی

مشخصات پوزولان‌های طبیعی باید مطابق استاندارد ملی ایران به شماره ۳۴۳۳ تحت عنوان «ویژگی‌های پوزولان‌های طبیعی» باشد. میزان جایگزینی این مواد با سیمان به ۲۵ درصد وزنی سیمان محدود می‌شود. همچنین

استفاده از سیمان زئولیتی در صورت تطابق با استاندارد ملی ایران به شماره ۱۶۴۸۱ تحت عنوان «سیمان پرتلند زئولیتی – ویژگی‌ها» و با صلاح‌دید مهندس طراح و موافقت کارفرما، بلامانع می‌باشد.

- خاکستر بادی

مصرف خاکستر بادی به عنوان یک ماده پوزولانی، علاوه بر بهبود پایایی بتن در محیط‌های مهاجم، سبب بهبود کارآیی بتن نیز می‌گردد. در صورت انطباق مشخصات این ماده با ضوابط استاندارد ASTM C 618، میزان جایگزینی این مواد با سیمان باید به ۲۵ درصد وزنی سیمان، محدود شود.

- سرباره آهن‌گدازی

سرباره آهن‌گدازی یک ماده شبه‌سیمانی می‌باشد. مشخصات سیمان سرباره‌ای باید مطابق استاندارد ملی ایران به شماره ۳۵۱۷ تحت عنوان «استاندارد ویژگی‌های سیمان‌های سرباره‌ای» باشد. در صورت انطباق مشخصات این ماده با استاندارد، میزان جایگزینی این مواد با سیمان باید به ۵۰ درصد وزنی سیمان محدود شود.

۲-۱-۵- آرماتور

مشخصات آرماتورهای مصرفی، باید منطبق بر مشخصات ارائه‌شده در آیین‌نامه بتن ایران (آبا)- فصل چهارم، و نشریه شماره ۱۲۴ سازمان برنامه و بودجه باشد. مقاومت مشخصه آرماتورها نباید از ۴۰۰ مگاپاسکال (رده S400 آیین نامه آبا) بیش‌تر باشد.

۲-۱-۶- طرح اختلاط و ساخت بتن

طرح اختلاط بتن باید ابتدا براساس اصول علمی تهیه شده و با مطالعات آزمایشگاهی و تجربیات کارگاهی اصلاح و تایید شود. بدین‌منظور، استفاده از روش ملی طرح مخلوط بتن (نشریه شماره ض ۴۷۹ مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن تحت عنوان «روش ملی طرح مخلوط بتن») توصیه می‌گردد. به هر حال، ضوابط کنترل کیفیت و پذیرش بتن باید مطابق با معیارهای آخرین ویرایش آیین‌نامه بتن ایران (آبا) باشد.

۲-۱-۶-۱- حداقل مقاومت مشخصه بتن و حداکثر نسبت آب به مواد سیمانی

حداقل مقاومت مشخصه بتن مخازن f_C برابر ۳۰ مگاپاسکال و حداکثر نسبت آب به مواد سیمانی برابر ۰/۴۵ می‌باشد. f'_C مقاومت فشاری ۲۸ روزه‌ی مربوط به نمونه استوانه‌ای به قطر ۱۵۰ و ارتفاع ۳۰۰ میلی‌متر می‌باشد که در شرایط استاندارد تهیه و عمل‌آوری شده است. در شرایط قرارگیری در محیط‌های مهاجم مختلف (محیط‌های سولفاتی، کلرایدی و...) و برمبنای شدت مهاجم بودن محیط، نسبت آب به مواد سیمانی کم‌تر و مقاومت مشخصه‌ای بیش‌تر، موردنیاز است. بدین منظور به الزامات ارائه شده در بند ۲-۱-۷-۱ مراجعه شود.

حداکثر نسبت آب به مواد سیمانی ذکرشده مربوط به بتن حاوی سنگدانه‌های سبک نمی‌باشد، زیرا در صورت استفاده از سنگدانه‌های سبک غیراشباع در مخلوط، تعیین میزان جذب آب آن‌ها دقیقا مشخص نخواهد شد.

۲-۱-۶-۲- حداقل و حداکثر مقدار مواد سیمانی

حداقل میزان مواد سیمانی مطابق جدول (۲-۱) تعیین می‌گردد. اختلاط بتن با مواد سیمانی کم‌تر از مقادیر مندرج در جدول (۲-۱)، در شرایطی که با انجام آزمایش‌های موردنیاز بر مهندس طراح محقق شود طرح اختلاط پیشنهادی منجر به ساخت بتنی پایا و با مقاومت، کارآیی و با قابلیت پرداخت قابل‌قبول و مطابق مشخصات ارائه شده در این فصل باشد، بلامانع است.

جدول ۲-۱- حداقل میزان مواد سیمانی در بتن [۴۹]

حداکثر اندازه اسمی سنگدانه (میلی‌متر)	حداقل میزان مواد سیمانی (کیلوگرم بر مترمکعب)
۲۵	۳۲۰
۱۹	۳۳۰
۱۲	۳۴۰
۹/۵	۳۶۰

حداکثر مقدار مواد سیمانی باید به ۴۲۵ کیلوگرم بر مترمکعب محدود گردد. در صورت لزوم استفاده از مواد سیمانی به مقدار بیش از محدوده‌ی فوق، تمهیدات لازم به منظور جلوگیری از ایجاد ترک‌های ناشی از جمع‌شدگی بتن باید در نظر گرفته شود.

۲-۱-۶-۳- کارآیی بتن

بتن مصرفی باید دارای کارآیی لازم برای جاگرفتن در زوایا و گوشه‌های قالب و احاطه‌ی آرماتورها و تراکم‌پذیری، بخصوص در اطراف لوله‌های مدفون در بتن مخازن، تیغه‌های آب‌بندی و درزهای انبساطی و انقباضی باشد. لیکن، میزان کارآیی نباید به گونه‌ای باشد که جداشدگی سنگدانه‌ها روی دهد.

در صورت استفاده از بتن خودتراکم، مشخصات و روش‌های ارزیابی کارآیی آن با بتن‌های معمولی متفاوت می‌باشد. شرح مختصری از بتن خودتراکم در بند ۲-۱-۸ ارائه شده و جهت آشنایی بیش‌تر با بتن خودتراکم می‌توان به پیوست شماره ۲ مراجعه نمود.

۲-۱-۶-۴- بتن مگر (بتن کم سیمان)

در زیر بتن کف مخازن اجرای یک لایه بتن مگر با ضخامت حداقل ۱۰۰ میلی‌متر ضرورت دارد. عیار سیمان بتن مگر نباید از ۱۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب کم‌تر باشد. درصورتی‌که خاک منطقه دارای نمک‌های خورنده‌ی بتن باشد، عیار سیمان بتن مگر نباید کم‌تر از۲۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب در نظر گرفته شود.

۲-۱-۶-۵- عمل‌آوری بتن

الزامات و روش‌های عمل‌آوری بتن مخازن باید مطابق با آیین‌نامه بتن ایران (آبا) انجام شود. دمای عمل‌آوری باید بیش از ۵ درجه سلسیوس باشد. حداقل مدت زمان عمل‌آوری بتن باید مطابق با جدول (۲-۲) باشد.

جدول ۲-۲- حداقل مدت عمل‌آوری بتن [۳۶]

نوع بتن و نسبت آب به سیمان مخلوط بتن	حداقل مدت عمل‌آوری بر اساس شرایط محیطی (روز)		
	شرایط محیطی معمولی	شرایط محیطی هوای گرم	شرایط محیطی هوای سرد
بتن معمولی با نسبت آب به سیمان ۰/۴۳ و بیش‌تر	۶	۷	۱۰
بتن حاوی مواد افزودنی معدنی مانند دوده سیلیس، سرباره و متاکائولین، با نسبت آب به سیمان کم‌تر از ۰/۴۳	۱۰	۱۴	۱۴

جهت اطمینان از عمل‌آوری رضایت‌بخش بتن مخازن، توصیه می‌گردد آزمونه‌های کارگاهی به تعداد کافی ساخته شده و مشابه با سازه مخزن عمل‌آوری گردند. چنانچه مقاومت فشاری این آزمونه‌ها در سن مشخص‌شده برای مقاومت مشخصه‌ی فشاری، حداقل برابر ۸۵ درصد مقاومت نظیر نمونه‌های عمل‌آمده در آزمایشگاه و یا به میزان ۴ مگاپاسکال بیش از مقاومت مشخصه‌ی فشاری باشد، عمل‌آوری مناسب ارزیابی می‌گردد. در غیر این‌صورت، باید اقداماتی جهت بهبود روش مذکور صورت گیرد.

یکی از روش‌های عمل‌آوری بتن در دیوارها، حفظ قالب‌ها به مدت طولانی می‌باشد. همچنین برای عمل‌آوری کف و سقف استفاده از لحاف پشم شیشه در اقلیم سرد قابل توجیه است.

۲-۱-۷- پایایی بتن

پایایی بتن به مقاومت آن در برابر عوامل جوی، حملات شیمیایی، فرسایش و هر فرآیندی که به آسیب‌دیدگی بتن می‌انجامد، گفته می‌شود. بتن پایا در شرایط محیطی موردنظر، شکل، کیفیت و قابلیت بهره‌برداری خود را حفظ می‌کند.

با توجه به احتمال مواجه‌شدن بتن مسلح مخازن با یون‌های مخرب نظیر کلراید، سولفات و یا احتمال آسیب‌دیدگی ناشی از فرسایش سطحی و یا واکنش قلیایی- سیلیسی و یا قلیایی- کربناتی سنگدانه‌ها، باید پایایی بتن مخازن در برابر عوامل مخرب فوق، بر مبنای شدت مهاجم‌بودن محیط بررسی گردد.

همچنین، برای پذیرش بتن‌های با مقاومت کم‌تر از مقاومت مشخصه‌ی طرح، علاوه بر استفاده از روش‌های ارائه شده در آیین‌نامه بتن ایران برای مباحث مربوط به مقاومت، پایایی بتن نیز باید با استفاده از آزمایش‌های لازم بررسی شود.

در شرایط محیطی خلیج فارس و دریای عمان، رعایت ضوابط ارائه شده در آیین‌نامه ملی پایایی بتن در محیط خلیج فارس و دریای عمان (نشریه شماره ض ۴۲۸- مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن تحت عنوان «آیین‌نامه ملی پایایی بتن در محیط خلیج فارس و دریای عمان»)، اکیدا توصیه می‌شود.

۲-۱-۷-۱- انواع آسیب دیدگی‌های بتن

۲-۱-۷-۱-۱- خوردگی آرماتور (حمله کلرایدی)

چنانچه در اثر نفوذ یون کلراید و یا کاهش قلیاییت بتن، لایه‌ی محافظ روی آرماتور از بین برود، در حضور اکسیژن و آب، خوردگی در فولاد آغاز شده و افزایش حجم ناشی از تشکیل محصولات زنگ آهن، منجر به ترک‌خوردگی و قلوه‌کن‌شدن بتن می‌گردد. بنابراین، حداکثر یون کلراید محلول در آب ناشی از تمام اجزای مخلوط بتن شامل مصالح سیمانی، آب، سنگدانه‌ها و مواد افزودنی در سن ۲۸ روز، نباید از ۰/۱ درصد وزن مواد سیمانی تجاوز نماید.[۱]

به‌منظور جلوگیری از خوردگی آرماتور بتن مخازن، علاوه بر در نظر گرفتن پوشش بتنی مناسب مطابق بند ۴-۴-۳ و یا استفاده از مواد جایگزین سیمان مطابق استانداردهای معتبر، طرح اختلاط بتن باید مطابق با الزامات ارائه شده در جدول (۲-۳) باشد.

جدول ۲-۳- الزامات برای بتن در معرض یون کلراید [۴۹و۴۶]

شدت مهاجم بودن محیط	رده	توضیحات	حداکثر نسبت آب به مواد سیمانی (وزنی)*	حداقل مقاومت مشخصه (مگاپاسکال)
ملایم	C_1	بتن در معرض رطوبت بوده اما در معرض یون کلراید نباشد.	۰/۴۵	۳۰
شدید	C_2	بتن در معرض رطوبت و یون کلراید شامل مواد شیمیایی یخزدا، نمک، آب شور و یا لب‌شور، آب دریا یا ترشح مواد مزبور (نظیر نواحی خلیج فارس و دریای عمان) باشد.	۰/۴۰	۳۵

* در صورت احتمال قرارگیری در معرض یون سولفات به‌طور هم‌زمان، نسبت آب به مواد سیمانی کم‌تر و مقاومت مشخصه‌ی بالاتر مورد نیاز می‌باشد.

۲-۱-۷-۱-۲- قرارگیری در معرض سولفات‌ها (حمله سولفاتی)

آسیب‌دیدگی ناشی از حمله سولفاتی به بتن را می‌توان به ترک خوردگی، افزایش نفوذپذیری، کاهش مستمر مقاومت و جرم بتن دسته‌بندی نمود. به منظور جلوگیری از این نوع آسیب‌دیدگی، طرح اختلاط بتنی که در معرض آب و یا خاک حاوی سولفات قرار می‌گیرد، باید مطابق با الزامات ارائه شده در جدول (۲-۴) باشد.

۱- به‌منظور اندازه‌گیری یون کلراید محلول در آب موجود در بتن، روش ارائه شده در استاندارد ASTM C 1218M توصیه می‌شود.

جدول ۲-۴- الزامات برای بتن در معرض حمله سولفات [۴۹ و ۴۶]

شدت مهاجم بودن محیط	رده	میزان سولفات SO_4^{2-} ** در خاک (درصد وزنی)	سولفات محلول در آب (ppm)	حداکثر نسبت آب به مواد سیمانی (وزنی)*	حداقل مقاومت مشخصه (مگاپاسکال)
ضعیف	S_0	۰-۰/۱	۰ -۱۵۰	۰/۴۵	۳۰
ملایم	S_1	۰/۱-۰/۲	۱۵۰-۱۵۰۰	۰/۴۲	۳۰
شدید	S_2	۰/۲-۲	۱۵۰۰-۱۰۰۰۰	۰/۴	۳۵
بسیار شدید	S_3	بیش از ۲	بیش از ۱۰۰۰۰	۰/۴	۳۵

* در صورت احتمال حمله کلرایدی به‌طور هم‌زمان، نسبت آب به مواد سیمانی کم‌تر و مقاومت مشخصه ی بالاتر مورد نیاز می‌باشد.

** چنانچه مقدار سولفات برحسب SO_3 ارائه شود، برای تبدیل آن به SO_4 باید مقدار آن را، ۲۰ درصد افزایش داد.

به‌طورکلی، مقدار کل سولفات موجود در بتن نباید از ۵ درصد وزنی سیمان تجاوز نماید.

علاوه بر انتخاب سیمان مناسب، استفاده از سیمان‌های سرباره‌ای و یا سیمان‌های پوزولانی در صورتی مجاز می‌باشد که مقاومت مواد سیمانی در محیط سولفاتی با انجام آزمایش اندازه‌گیری حداکثر انبساط مواد سیمانی مطابق ASTM C 1012M در محدوده‌ی مجاز ارائه شده در جدول (۲-۵) باشد. آزمایش انبساط خمیر ۱۲ ماهه، فقط زمانی انجام شود که انبساط خمیر ۶ ماهه از حد مجاز تجاوز نماید.

جدول ۲-۵- حداکثر مجاز انبساط خمیر سیمان در معرض سولفات (ASTM C 1012M) [۴۶]

رده	انبساط حداکثر خمیر مواد سیمانی (درصد)		
	۶ ماهه	۱۲ ماهه	۱۸ ماهه
S_1	۰/۱	-	-
S_2	۰/۰۵	۰/۱	-
S_3	-	-	۰/۱

بدین‌ترتیب، رعایت حداکثر نسبت آب به مواد سیمانی و حداقل مقاومت مشخصه مطابق جدول (۲-۳)، تامین درصد هوای مناسب، تراکم مناسب، همگنی، پوشش بتنی کافی روی آرماتور، عمل‌آوری مرطوب و کافی و همچنین کاربرد پوشش مناسب بر روی بتن، سبب افزایش پایایی بتن می‌گردد.

۲-۱-۷-۱-۳- قرارگیری در شرایط ذوب و انجماد

با توجه به درنظرگرفتن حداقل پوششی معادل با ۵۰۰ میلی‌متر خاکریزی بر روی مخزن، احتمال مواجه شدن با چرخه‌های مکرر ذوب و انجماد ناچیز می‌باشد، لیکن چنانچه با توجه به شرایط آب و هوایی منطقه و به هر دلیلی در طول دوره ساخت مخزن و یا به تشخیص مهندس طراح، بتن مخازن در معرض دوره‌های متناوب ذوب و انجماد و یا مواد شیمیایی یخزدا قرار گیرد، برمبنای شدت مهاجم‌بودن محیط باید بتن مخزن مطابق جدول (۲-۷) هوادهی شود. رواداری در میزان هوا ۱/۵± درصد خواهد بود. برای مقاومت مشخصه بیش از ۳۵ مگاپاسکال، مقدار هوای ارائه شده در جدول (۲-۷) را می‌توان تا ۱ درصد کاهش داد. مقادیر ارائه شده در جدول (۲-۷) کل هوای موجود در بتن است و شامل

هوای عمدی و تصادفی می‌شود. طبقه‌بندی شدت مهاجم‌بودن محیط در جدول (۲-۶) ارائه شده است. چنانچه بتن مخازن در محیط با شدت مهاجم بودن F_3 قرار گیرد، علاوه بر هوادهی بتن مطابق جدول (۲-۷)، استفاده از پوزولان‌ها و مواد شبه‌سیمانی توصیه می‌شود.

جدول ۲-۶- طبقه‌بندی شدت مهاجم‌بودن محیط برای بتن در معرض چرخه‌های متناوب ذوب و انجماد [۴۶]

شدت مهاجم‌بودن محیط	رده	توضیحات
ضعیف	F_0	بتن در معرض چرخه‌های متناوب ذوب و انجماد نمی‌باشد.
ملایم	F_1	بتن در معرض چرخه‌های متناوب ذوب و انجماد و گاهی در معرض رطوبت قرار دارد.
شدید	F_2	بتن در معرض چرخه‌های متناوب ذوب و انجماد و به طور مداوم در معرض رطوبت قرار دارد.
بسیار شدید	F_3	بتن در معرض چرخه‌های متناوب ذوب و انجماد و تماس مداوم با رطوبت و نمک‌های یخزدا قرار دارد.

جدول ۲-۷- کل میزان هوا برای ساخت بتن مقاوم در برابر چرخه‌های ذوب و انجماد [۴۹و۴۶]

حداکثر اندازه اسمی سنگدانه (میلی‌متر)	میزان هوا، درصد	
	رده F_3	رده F_1 و F_2
۹/۵	۷/۵	۶
۱۲	۷	۵/۵
۱۹	۶	۵
۲۵	۶	۴/۵

۲-۱-۷-۱-٤- فرسایش

بتن سطوحی از مخازن که به تشخیص مهندس طراح در معرض فرسایش ناشی از جریان آب قرار دارد، باید حداقل مقاومت مشخصه‌ای برابر ۳۵ مگاپاسکال و حداکثر نسبت آب به سیمانی برابر ۰/۴ داشته باشد. در این شرایط، حداکثر میزان هوا باید به ۶ درصد و در بتن‌هایی که در معرض ذوب و انجماد مکرر نیستند، به ۳ درصد محدود شود. حداقل عیار سیمان در این حالت برابر ۳۶۰ کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد.

۲-۱-۷-۱-۵- واکنش‌زایی سنگدانه‌ها

واکنش سنگدانه‌های واکنش‌زا با اکسیدهای قلیایی سیمان پرتلند در شرایط مرطوب، موجب انبساط و فروپاشی بتن می‌شود. به‌طورکلی، استفاده از سیمان کم‌قلیا (سیمانی با قلیائیت کم‌تر از ۰/۶ درصد برای واکنش قلیایی- سیلیسی و ۰/۴ درصد برای واکنش قلیایی-کربناتی)، استفاده از مواد پوزولانی (مشروط بر آن‌که قلیایی پوزولان کنترل شود) و مواد شبه‌سیمانی، و همچنین دقت در انتخاب منابع سنگدانه‌ها می‌تواند مانع از بروز مشکل فوق گردد.

چنانچه واکنش‌زایی سنگدانه‌ها مطابق بند ۲-۱-۳ مورد بررسی قرارگیرد و سنگدانه واکنش‌زا شناخته شود، جایگزینی تمام و بخشی از آن با سنگدانه‌های غیر واکنش‌زا توصیه می‌گردد.

۲-۱-۷-۲- انجام آزمایش‌های پایایی

نحوه بازرسی و انجام آزمایش‌های لازم بر روی مصالح تشکیل دهنده بتن و آرماتور مصرفی در طول عملیات اجرایی و همچنین بر روی سازه ساخته شده، مطابق با آیین‌نامه بتن ایران (آبا) می‌باشد.

به طور کلی با رعایت موارد شرح داده شده در این فصل، پایایی مخازن در طول عمر مفید آن‌ها در شرایط معمول تامین می‌گردد، لیکن جهت حصول اطمینان از عملکرد مناسب بتن مخازن تحت شرایط محیطی مختلف و تامین پایایی آن، آزمایش‌های پایایی مطابق جدول (۲-۸) بر روی نمونه‌های کارگاهی انجام شود و نتایج آزمایش‌ها باید با شاخص دوام ارائه شده در این جدول هم‌خوان باشد.

با توجه به این‌که علت اصلی آسیب‌دیدگی بتن در محیط‌های مهاجم نفوذپذیری بتن می‌باشد، جهت حصول اطمینان از نفوذناپذیری کافی بتن مخازن، انجام آزمایش‌های ردیف ۱ در کلیه شرایط الزامی می‌باشد.

آزمایش ردیف ۲ برای بتن مخازن در محیط‌های با شدت مهاجم بودن C_2 اکیدا توصیه می‌شود.

آزمایش ردیف ۳ برای بتن مخازن در محیط‌های با شدت مهاجم بودن F_2 و F_3 اکیدا توصیه می‌شود.

جدول ۲-۸- آزمایش‌های پایایی و تعیین شاخص دوام

ردیف	پارامتر مورد بررسی	آزمایش	هدف	استاندارد	شاخص دوام
۱	نفوذناپذیری بتن	[1]جذب آب حجمی کوتاه مدت	تعیین میزان تخلخل و جذب آب حجمی	BS 1881,Part12	حداکثر ۲درصد
		[2]تعیین عمق نفوذ آب	عمق نفوذ آب	BS EN 12390, Part8	حداکثر ۳۰ میلی‌متر
۲	پایایی در برابر حمله‌ی کلرایدی (خوردگی آرماتور)	شاخص الکتریکی مقاومت بتن در برابر نفوذ یون کلر (RCPT[3])	تعیین شار الکتریکی عبوری از آزمونه به منظور ارزیابی نفوذپذیری بتن در برابر یون کلر	ASTM C 1202	حداکثر ۲۰۰۰ کولمب
۳	پایایی در برابر دوره‌های متناوب ذوب و انجماد	[4]تعیین مقاومت بتن در برابر دوره های متناوب ذوب و انجماد	تعیین تعداد دوره‌های ذوب و انجماد، مدول الاستیسیته دینامیکی	ASTM C 666	بیش از ۶۰

۲-۱-۸- بتن‌های خودتراکم (SCC)[5]

بتن خودتراکم بتنی است که تحت وزن خود جاری شده و بدون نیاز به انرژی تراکمی به طور کامل فضای بین آرماتورها و قالب‌ها را پر کرده و حالت همگن خود را نیز حفظ می‌نماید. استفاده از این نوع بتن در مخازن، امکان

1- Early Water absorption
2- Depth of Penetration of water under pressure
3- Electrical Indication of concrete's ability to Resist Chloride Ion Penetration
4- Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing
5- Self Compacted Concrete

دستیابی راحت‌تر به سطح تمام شده صاف و صیقلی بتن سقف، بتن‌ریزی یکپارچه دیوار مخازن، سهولت اجرای بتن سطوح گسترده دال‌ها و سهولت تراکم بتن در نواحی پرآرماتور در پای دیوارها را فراهم می‌آورد. همچنین درصورت استفاده از این بتن، سرعت بتن‌ریزی افزایش یافته و در برخی موارد هزینه کل بتن‌ریزی کاهش می‌یابد. جهت آشنایی بیش‌تر با بتن خودتراکم به پیوست شماره ۲ مراجعه شود.[۱]

همچنین با توجه به حساسیت این نوع بتن در مراحل اجرایی و احتمال وقوع جداشدگی و آب‌انداختگی بتن، باید استفاده از آن تحت نظر متخصصین و با احتیاط انجام گیرد.

۱- با توجه به اینکه دستورالعمل بتن خودتراکم توسط مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن در دست تهیه می‌باشد، تا پیش از تدوین نسخه نهایی، این پیوست جهت آشنایی دست‌اندرکاران صنعت آب با این نوع بتن قابل استفاده می‌باشد.

فصل ۳

تحلیل و بارگذاری مخازن

۳-۱- علایم اختصاری

A = نسبت شتاب افقی مبنای طرح به شتاب ثقل $(g = 9.8\ m/s^2)$ براساس استاندارد ۲۸۰۰ ایران

b = نسبت شتاب طراحی زلزله در راستای قائم به راستای افقی

B = بعد داخلی مخزن عمود بر راستای اعمال شتاب زلزله (m)

B_c = ضریب بازتاب متناسب با ارتعاش افقی قسمت مواج مایع نگهداری‌شده، بر اساس طیف بازتاب طرح طبق استاندارد ۲۸۰۰ ایران

B_i = ضریب بازتاب متناسب با ارتعاش افقی قسمت‌های سخت مخزن، بر اساس طیف بازتاب طرح طبق استاندارد ۲۸۰۰ ایران

B_t = ضریب بازتاب متناسب با ارتعاش قائم مایع نگهداری شده، بر اساس طیف بازتاب طرح طبق استاندارد ۲۸۰۰ ایران

D = قطر داخلی مخازن استوانه‌ای (m)

T_c = زمان تناوب مود اول ارتعاش افقی قسمت مواج مایع نگهداری‌شده (sec)

T_i = زمان تناوب مود اول ارتعاش افقی قسمت‌های سخت مخزن (sec)

T_v = زمان تناوب مود اول ارتعاش قائم مایع نگهداری‌شده در مخازن استوانه‌ای (sec)

R = شعاع داخلی مخازن استوانه ای (m)

R_c = ضریب رفتار متناسب با ارتعاش افقی قسمت مواج مایع نگهداری‌شده در تراز نهایی زلزله

R_i = ضریب رفتار متناسب با ارتعاش افقی قسمت‌های سخت مخزن در تراز نهایی زلزله

d_{max} = حداکثر اضافه ارتفاع موج ناشی از ارتعاش افقی قسمت مواج مایع نگهداری‌شده نسبت به تراز آن در حالت سکون (m)

E_c = مدول الاستیسیته بتن $(\frac{N}{mm^2})$

h_c = ارتفاع برآیند اضافه فشارهای هیدرودینامیکی جانبی ناشی از ارتعاش قسمت مواج مایع نگهداری‌شده بر جدار مخزن از پای دیوار، بدون در نظر گرفتن اثر فشار نامتوازن واردشده بر کف (m)

h'_c = ارتفاع برآیند اضافه فشارهای هیدرودینامیکی جانبی ناشی از ارتعاش قسمت مواج مایع نگهداری‌شده بر جدار مخزن از پای دیوار، با در نظر گرفتن اثر فشار نامتوازن وارد شده بر کف (m)

h_i = ارتفاع برآیند اضافه فشارهای هیدرودینامیکی جانبی ناشی از ارتعاش قسمت سخت مایع نگهداری‌شده بر جدار مخزن از پای دیوار، بدون در نظر گرفتن اثر فشار نامتوازن وارد شده بر کف (m)

h'_i = ارتفاع برآیند اضافه فشارهای هیدرودینامیکی جانبی ناشی از ارتعاش قسمت سخت مایع نگهداری‌شده بر جدار مخزن از پای دیوار، با در نظر گرفتن اثر فشار نامتوازن وارد شده بر کف (m)

h_L = عمق تراز مورد نظر برای محاسبه فشار استاتیکی مایع نگهداری شده از سطح آزاد آن (m)

h_r = ارتفاع مرکز ثقل سقف مخزن از پای دیوار (m)

h_w = ارتفاع مرکز ثقل دیوارهای مخزن از پای دیوار (m)

H_L = حداکثر عمق طراحی مایع نگهداری‌شده از روی دال کف در حالت سکون (m)

H_w = ارتفاع دیوارهای مخزن، ابعاد داخلی (m)

H_e = ارتفاع خاک پشت دیوارهای پیرامونی مخزن از زیر دال کف (m)

I = ضریب اهمیت مخزن، با توجه به کاربری آن

K_0 = ضریب فشار جانبی خاک پشت دیوارهای پیرامونی مخزن در حالت سکون

K_h = نسبت شتاب افقی مبنای طرح به شتاب ثقل برای محاسبه‌ی اضافه فشار دینامیکی ناشی از ارتعاش خاک پشت دیوارهای پیرامونی مخازن با توجه به میزان دوران و تغییر مکان جانبی آن

L = بعد داخلی مخزن در راستای اعمال شتاب زلزله (m)

M_b = لنگر خمشی مورد استفاده در طراحی مقطع دیوار در محل پای دیوار (kN.m)

M_c = لنگر خمشی در پای دیوار ناشی از ارتعاش قسمت مواج مایع نگهداری شده، بدون در نظر گرفتن اثر فشار نامتوازن وارد شده بر کف (kN.m)

M'_c = لنگر خمشی در پای دیوار ناشی از ارتعاش قسمت مواج مایع نگهداری شده، با در نظر گرفتن اثر فشار نامتوازن وارد شده بر کف (kN.m)

M_i = لنگر خمشی در پای دیوار ناشی از ارتعاش قسمت سخت مایع نگهداری شده، بدون در نظر گرفتن اثر فشار نامتوازن وارد شده بر کف (kN.m)

M'_i = لنگر خمشی در پای دیوار ناشی از ارتعاش قسمت سخت مایع نگهداری شده، با در نظر گرفتن اثر فشار نامتوازن وارد شده بر کف (kN.m)

M_o = لنگر واژگونی مخزن بر روی دال کف آن (kN.m)

M_r = لنگر خمشی در پای دیوار ناشی از ارتعاش دال سقف مخزن (kN.m)

M_w = لنگر خمشی در پای دیوار ناشی از ارتعاش دیوارهای مخزن (kN.m)

M_v = لنگر خمشی در پای دیوار ناشی از ارتعاش قائم مایع نگهداری‌شده (kN.m)

P_b = فشار نامتوازن بر روی دال کف مخازن، ناشی از ارتعاش افقی مایع نگهداری‌شده (kPa)

P_r = فشار استاتیکی معادل فشار هیدرودینامیکی ناشی از شتاب قائم زلزله در تراز y از پای دیوار (kPa)

P_c = برآیند اضافه فشارهای هیدرودینامیکی جانبی ناشی از ارتعاش قسمت مواج مایع نگهداری‌شده بر جدار مخزن (kN)

p_c = اضافه فشار هیدرودینامیکی جانبی ناشی از ارتعاش قسمت مواج مایع نگهداری‌شده در واحد طول جدار مخزن $(\frac{kN}{m})$

P_{cy} = اضافه فشار هیدرودینامیکی جانبی ناشی از ارتعاش قسمت مواج مایع نگهداری‌شده در واحد ارتفاع جدار مخزن در تراز y از پای دیوار $(\frac{kN}{m})$

P_e = فشار دینامیکی جانبی ناشی از ارتعاش خاک و آب زیرزمینی در پیرامون قسمت‌های مدفون دیوار مخزن (kN)

P_h = فشار هیدرواستاتیکی کل اعمال شده بر روی دیوار عمود بر راستای اعمال زلزله (kN)

P_{hy} = فشار هیدرواستاتیکی اعمال شده بر روی واحد ارتفاع دیوار در تراز y از پای دیوار $(\frac{kN}{m})$

P_i = برآیند اضافه فشارهای هیدرودینامیکی جانبی ناشی از ارتعاش قسمت سخت مایع نگهداری‌شده بر جدار مخزن (kN)

p_i = اضافه فشار هیدرودینامیکی جانبی ناشی از ارتعاش قسمت سخت مایع نگهداری‌شده در واحد طول جدار مخزن $(\frac{kN}{m})$

P_{iy} = اضافه فشار هیدرودینامیکی جانبی ناشی از ارتعاش قسمت سخت مایع نگهداری‌شده در واحد ارتفاع جدار مخزن در تراز y از پای دیوار $(\frac{kN}{m})$

P_r = نیروی جانبی ناشی از ارتعاش دال سقف مخزن (kN)

P_w = نیروی جانبی ناشی از ارتعاش دیوارهای مخزن (kN)

P_{wy} = نیروی جانبی ناشی از ارتعاش دیوار مخزن وارد شده بر واحد ارتفاع دیوار در تراز y از پای دیوار $(\frac{kN}{m})$

P_y = فشار جانبی کل ترکیب‌شده از فشارهای ناشی از ارتعاش قسمت سخت و مواج مایع نگهداری‌شده، ارتعاش دیوار و سقف مخزن و فشار جانبی ناشی از شتاب قائم اعمال شده بر مایع نگهداری‌شده در واحد ارتفاع دیوار در تراز y از پای دیوار $(\frac{kN}{m})$

q_{hy} = فشار هیدرواستاتیک مایع نگهداری‌شده در تراز y از پای دیوار (kPa)

V = برش پایه‌ی کل افقی (kN)

W_c = وزن معادل جرم مواج مایع نگهداری‌شده که به طور مستقل و با زمان تناوبی به مراتب بزرگ‌تر از زمان تناوب ارتعاش قسمت سخت مخزن نوسان می‌کند (kN)

W_i = وزن معادل جرم سخت مایع نگهداری‌شده که همراه با سازه مخزن نوسان می‌کند (kN)

W_L = وزن کل مایع نگهداری‌شده (kN)

W_r = وزن دال سقف مخزن به اضافه بارهای مرده و ۲۰٪ بارهای زنده وارد شده بر آن (kN)

W_w = وزن کل دیوارهای مخزن (kN)

γ_c = وزن مخصوص بتن (kN/m^3)

γ_L = وزن مخصوص مایع نگهداری شده (kN/m^3)

γ_s = وزن مخصوص خاک (kN/m^3)

$\ddot{U}_v$ = نسبت شتاب قائم موثر زلزله به شتاب ثقل $(g = 9.8\ m/s^2)$

ΔP_{eq} = برآیند اضافه فشار دینامیکی جانبی خاک پشت دیوارهای پیرامونی (kN)

ε_s = کرنش ناشی از جمع‌شدگی و یا انبساط بتن $(\mu m/m)$

ε = ضریب جرم موثر دیوارهای عمود بر راستای زلزله

α_c = ضریب انبساط حرارتی بتن $(\frac{1}{^\circ C})$

T_1 = تغییرات دمای بتن به علت گرمای آزاد شده در هنگام آبگیری (هیدراسیون) بر حسب درجه سلسیوس $(^\circ C)$

T_2 = تغییرات فصلی درجه حرارت بتن سازه $(^\circ C)$

ΔT_e = اختلاف درجه حرارت معادل مجموع اثرات تغییرات فصلی دما و کرنش ناشی از تغییرات حجمی بتن مقطع $(^\circ C)$

t_w = متوسط ضخامت دیوارهای پیرامونی مخزن (mm)

۳-۲- کلیات

پایداری، مقاومت و قابلیت بهره‌برداری سازه‌ها و اعضای آن‌ها باید حداقل تحت بارگذاری‌های ارائه‌شده در این فصل بررسی شوند. با این وجود با توجه به مشخصات خاص هر مخزن، باید در صورت نیاز، بارگذاری‌های ویژه‌ای را علاوه بر بارگذاری‌های معمول شرح‌داده‌شده در این فصل، در نظر گرفت. به طور کلی بارهای اعمال‌شده به مخازن یا به صورت نیرو و یا به صورت اثرات خودکرنشی می‌باشند. به عنوان مثال بارهای مرده، زنده و زلزله به صورت نیرو اعمال شده، اما اثرات عواملی مانند تغییرات دما و حجم بتن به صورت ایجاد کرنش در اعضای سازه می‌باشند.

در این ضابطه بارهای اعمال شده به مخازن از نظر نوع بارگذاری به سه دسته کلی بارهای استاتیکی، خاص و دینامیکی تقسیم‌بندی می‌شوند.

۳-۳- بارهای استاتیکی مخازن

۳-۳-۱- بار مرده

به منظور محاسبه بارهای مرده، باید از مقادیر ارائه شده برای وزن مخصوص مصالح در استاندارد ملی ایران، شماره ۵۱۹ تحت عنوان «آیین‌نامه حداقل بار وارده بر ساختمان‌ها و ابنیه فنی» (و یا مبحث ششم مقررات ملی ساختمان) استفاده گردد. اثرات ناشی از وزن تجهیزات و لوله‌ها باید با توجه به اهمیت و بزرگی آن‌ها، بر اساس نظر طراح مورد محاسبه قرار گیرند، به هر حال جزییات اجرایی مناسبی برای در نظر گرفتن اثرات موضعی آن‌ها باید ارائه شود.

۳-۳-۲- بار زنده

برای محاسبه بار زنده‌ی وارد بر دال سقف مخازن باید بار ناشی از تجهیزات و وسایل نقلیه که در هنگام ساخت، بهره‌برداری و تعمیرات مخزن امکان قرارگیری بر روی آن را دارند، در نظر گرفته شود. در هر حال حداقل بار زنده، باید برابر بار برف در نظر گرفته شود. همچنین مقدار بار زنده در هیچ حالتی نباید کم‌تر از ۱/۵ کیلونیوتن بر مترمربع باشد.

درصورتی‌که از بار زنده‌ی ناشی از حرکت وسایل نقلیه بر روی دال سقف و محیط پیرامون مخازن صرف‌نظر شود، باید ضمن ایجاد موانع کافی در پیرامون مخازن با فاصله‌ی حداقل به اندازه نصف ارتفاع دیوار آن‌ها، از تردد وسایل نقلیه بر روی این محدوده جلوگیری شود. همچنین، باید فضای کافی برای عبور ماشین‌آلات به منظور تعمیرات احتمالی مخازن و تجهیزات جانبی آن‌ها، در خارج از این محدوده در نظر گرفته شود.

۳-۳-۳- فشار استاتیکی مایع نگهداری شده

فشار استاتیکی جانبی و قائم مایع نگهداری‌شده بر اساس تئوری‌های مکانیک سیالات و با استفاده از وزن مخصوص آن (γ_L) و (h_L) عمق تراز موردنظر از سطح آزاد مایع نگهداری شده، مطابق رابطه‌ی $p_L = \gamma_L \times h_L$ محاسبه می‌شود. در هر حال مخازن باید برای حداکثر تراز ممکن مایع نگهداری‌شده نیز محاسبه شوند.

۳-۳-۴- فشار استاتیکی خاک

محاسبه فشار استاتیکی جانبی خاک باید با توجه به ارتفاع خاک در پشت دیوارهای پیرامونی و شکل هندسی مخزن، بر اساس گزارش مهندس ژئوتکنیک و طبق تئوری‌های مرسوم مکانیک خاک انجام پذیرد. به علت سختی زیاد دیوارهای پیرامونی مخازن و پدیده خزش در خاک، باید از ضریب فشار جانبی خاک در حالت سکون (k_0) برای محاسبه فشار استاتیکی جانبی خاک بر دیوارهای پیرامونی مخازن استفاده گردد، مگر این‌که محاسبه دقیق سختی و تغییر شکل دیوارهای پیرامونی مخازن نشان دهد که با توجه به جنس خاک می‌توان با اطمینان کافی فشار جانبی کم‌تری را برای دیوارهای پیرامونی مخازن در نظر گرفت.

برای طراحی اولیه می‌توان کل فشار استاتیکی جانبی خاک رادر محاسبات برابر فشار هیدرواستاتیکی جانبی نظیر مایعی با وزن مخصوص $15\ KN/m^3$ در قسمت‌هایی که خاک پایین‌تر از سطح آب زیر زمینی قرار دارد (کل فشار استاتیکی جانبی آب و خاک اشباع) و $10\ KN/m^3$ در قسمت‌هایی که خاک بالاتر از سطح آب زیر زمینی قرار دارد، در نظر گرفت. در طراحی نهایی باید کفایت این مقادیر با توجه به جنس و مشخصات خاک پیرامون مخزن مورد ارزیابی قرار گیرد.

درصورتی‌که بارهای ناشی از تجهیزات و وسایل نقلیه در پیرامون مخازن و با فاصله‌ای کم‌تر از نصف ارتفاع دیوار قرار گیرند، باید اثر فشار جانبی ناشی از آن‌ها بر دیوارهای پیرامونی مخزن در نظر گرفته شود. ولی در هر حال این فشار نباید از فشار نظیری که با افزایش ۱۰۰۰ میلی‌متر بر ارتفاع واقعی خاک با وزن مخصوص $18\ KN/m^3$ به دست می‌آید، کم‌تر گردد.

۳-۳-۵- فشار برکنش

در طراحی کف‌هایی که ممکن است پایین‌تر از حداکثر سطح ممکن آب زیرزمینی قرار گیرند، باید اثر زیرفشار (فشار برکنش) آب زیرزمینی را در نظر گرفت. این فشار باید بر تمام سطح دال کف مخازن و بر مبنای رقوم زیر دال کف نسبت به حداکثر تراز ممکن آب زیرزمینی محاسبه شود. حداقل ضریب اطمینان در مقابل غوطه‌وری در حالتی که مخزن خالی بوده و خاکریز روی دال سقف و پشت دیوارها نیز وجود ندارد، برابر ۱/۲۵ می‌باشد. همچنین با توجه به روش، زمان و طول مدت ساخت مخازن، باید غوطه‌وری آن‌ها در مراحل مختلف اجرا کنترل گردد.

روش‌های مختلف (فعال و غیرفعال) مقابله با غوطه‌وری مخازن، در نشریه‌ها و متون فنی وجود دارد که در صورت نیاز می‌توان از آن‌ها نیز استفاده کرد.

۳-۴- بارهای خاص

۳-۴-۱- اثرات ناشی از پدافند غیرعامل

برای بررسی اثرات ناشی از پدافند غیرعامل، باید به مفاد فصل نهم مراجعه شود.

۳-۴-۲- اثرات تغییرات دمای فصلی

سازه مخازن باید برای تحمل نیروهای ناشی از اثرات خودکرنشی در نتیجه تغییرات دما طراحی گردند. با توجه به محدوده کاربرد این ضابطه، به طور معمول می‌توان از گرادیان حرارتی ناشی از تفاوت دمای مایع نگهداری‌شده با محیط پیرامون مخازن صرف‌نظر کرد (در صورت نیاز به در نظر گرفتن این مقدار می‌توان این گرادیان حرارتی را به صورت خطی در نظر گرفت).

برای بررسی مقاومت سازه مخازن در برابر اثرات خودکرنشی ناشی از تغییرات حجمی یکنواخت بتن، مهندس طراح باید از حداقل $\frac{۲}{۳}$ حداکثر مقدار اختلاف دمای فصلی ممکن (ΔT_e) استفاده کند. در این حالت در مخازنی که حداقل ۵۰۰ میلی‌متر خاکریزی (یا معادل حرارتی آن) بر روی اعضای سازه‌ای وجود داشته باشد، می‌توان حداقل دمای سازه در طول دوران بهره‌برداری را برابر صفر درجه سلسیوس در نظر گرفت. در صورت نیاز با استفاده از روش‌های دقیق می‌توان (ΔT_e) را محاسبه نمود.

در مواردی که آمار آب و هوایی قابل اطمینانی وجود ندارد، بنا بر نظر مهندس طراح می‌توان به طور تقریبی مخازن دفن‌شده و غیرمدفون[۱] را به ترتیب برای تحمل تغییرات دمای یکنواختی برابر حداقل ۲۰ و ۴۰ درجه سلسیوس طراحی کرد.

به هر حال در صورت درنظرگرفتن جزییات مناسب برای اتصال دیوار به سقف مخازن، به‌نحوی که امکان تغییر شکل ناشی از اختلاف درجه حرارت در آن وجود داشته باشد، می‌توان مانع از به‌وجودآمدن تنش‌های حرارتی بزرگ در مخازن شد. در این صورت، به‌طورمعمول تنش‌های حرارتی در طراحی مخازن حاکم نشده ولی به‌هرحال مقاومت سازه مخازن در برابر این تنش‌ها باید به‌طور دقیق کنترل گردد.

ضریب انبساط حرارتی بتن (α_c) از آخرین ویرایش آیین‌نامه بتن ایران (آبا) استخراج می‌گردد.

۳-۵- بارهای دینامیکی

بارهای دینامیکی در مخازن شامل نیروهای اینرسی ناشی از ارتعاش سازه، مایع نگهداری‌شده و خاک پیرامون آن (در صورت وجود) می‌باشند. تحلیل سازه مخازن برای تعیین نیروهای داخلی به وجود آمده در آن بر اثر این نیروها باید مطابق با یکی از روش‌های مطرح شده در استاندارد ۲۸۰۰ ایران انجام شود. [۱۳] به این منظور استفاده از روش‌های تحلیل دینامیکی نیز، در صورت داشتن اطمینان کامل از انجام صحیح آن‌ها، می‌تواند با در نظر گرفتن اندرکنش آب، سازه و خاک مناسب باشد. دراین‌صورت، باید مقادیر بازتاب‌های سازه در نسبت برش پایه استاتیکی معادل به برش پایه به دست آمده از تحلیل‌های دینامیکی ضرب شوند.

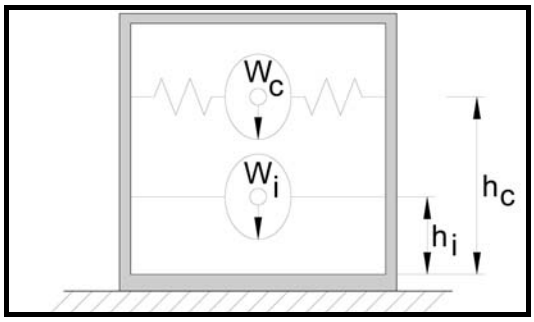
به طور معمول در مخازنی که هندسه منظم و مناسبی داشته باشند، می‌توان با دقت کافی از روش تحلیل استاتیکی معادل استفاده کرد. دراین روش می‌توان برای در نظر گرفتن اندرکنش مخزن و خاک زیر آن نیز از بستری با فنرهای معادل (مدل وینکلر) با آرایش مناسب استفاده کرد. برای این منظور باید ضریب عکس‌العمل بستر (k_s) در راستای قائم و افقی با توجه به ابعاد هندسی مخزن و آزمایش‌های صحرایی مناسب طبق گزارش ژئوتکنیک مشخص شود [۲]. برای محاسبه اندرکنش مخزن و مایع نگهداری‌شده در آن، در این ضابطه در ادامه تنها روش تحلیل استاتیکی معادل بر اساس روش اصلاح‌شده‌ی هازنر[۲] مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۱- برای تعریف مخازن از دیدگاه سازه‌ای، به بند ۳-۵-۱-۱ مراجعه گردد.

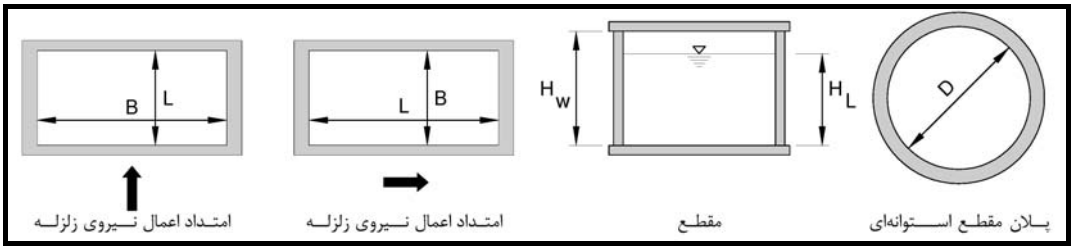
2- G.W. Housner

۳-۵-۱- روش تحلیل استاتیکی معادل برای بررسی اثرات ناشی از ارتعاش مایعات نگهداری شده

طبق تئوری هازنر، مدل دینامیکی ساده شده دو بعدی برای بررسی اثرات ناشی از ارتعاش مایعات نگهداری‌شده در مخازن جدار سخت در نتیجه‌ی زلزله، مدلی با چند درجه‌ی آزادی (جرم‌های متمرکز سخت[1] و مواج[2]) می‌باشد. روش تحلیل استاتیکی معادل ارائه شده در این بخش نیز بر مبنای این تئوری و استفاده از مدل دو درجه آزادی، با در نظر گرفتن اثرات مود اول ارتعاش مایع نگهداری‌شده، می‌باشد (شکل ۳-۱). همچنین برخی پارامترهای مربوط به ابعاد هندسی مخازن که در بخش اول این فصل شرح داده شده‌اند نیز، در شکل (۳-۲) به طور واضح‌تری نشان داده شده‌اند.



شکل ۳-۱- مدل دینامیکی مایعات درون مخزن با جدار سخت [۴۹]



شکل ۳-۲- مشخصات ابعاد هندسی مخازن [۴۹]

۳-۵-۱-۱- نیروهای ناشی از ارتعاش افقی مخازن

نیروهای دینامیکی ناشی از ارتعاش افقی مخازن در روش تحلیل استاتیکی معادل بر اساس روابط ۳-۱ تا ۳-۴ تعیین می‌گردند. در این روابط نیروهای (P_w) و (P_r) ناشی از اینرسی جرم دیوارها و سقف مخازن می‌باشند که کاملا صلب در نظرگرفته‌شده و با زمان تناوب بسیار پایینی ارتعاش می‌کنند. نیروی (P_i) نیز ناشی از ارتعاش قسمتی از جرم مایع نگهداری‌شده (جرم سخت) می‌باشد که همگام با سازه مخزن نوسان می‌کند. در این میان نیروی هیدرودینامیکی ناشی از ارتعاش جرم مواج مایع نگهداری شده (P_c)، تنها نیرویی است که با زمان تناوبی متفاوت و بسیار بزرگ‌تر از سایر قسمت‌ها ارتعاش می‌کند.

1- Impulsive
2- Convective

$$P_W = \frac{AB_i I}{R_i}[\varepsilon . W_W] \quad (۱-۳)$$

$$P_r = \frac{AB_i I}{R_i}[W_r] \quad (۲-۳)$$

$$P_i = \frac{AB_i I}{R_i}[W_i] \quad (۳-۳)$$

$$P_c = \frac{AB_i I}{R_i}[W_c] \quad (۴-۳)$$

در روابط بالا نسبت شتاب مبنای طرح (A) با توجه به میزان لرزه‌خیزی منطقه و بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ ایران تعیین می‌شود. درصورتی‌که نتایج مطالعات تحلیل خطر ساخت‌گاه مخزن در دسترس باشد (توصیه می‌شود برای مخازن بزرگ و مخازن حیاتی، طیف ویژه ساختگاه تهیه گردد)، می‌توان با توجه به سطح خطر مورد نظر از نتایج آن نیز طبق ضوابط استاندارد ۲۸۰۰ استفاده نمود. به هر حال نسبت شتاب مبنای طرح (A) نباید کم‌تر از مقادیر ارائه شده در استاندارد ۲۸۰۰ در نظر گرفته شود.

بنا بر مطالعات انجام شده، به طور کلی زمان تناوب ارتعاش قسمت‌های سخت مخازن (T_i) کم‌تر از ۰/۳ ثانیه می‌باشد. بنابراین، به عنوان یک فرض ساده‌کننده می‌توان مقدار ضریب بازتاب ارتعاش قسمت‌های سخت مخازن (B_i) را برابر حداکثر مقدار ضریب بازتاب استاندارد ۲۸۰۰، با توجه به جنس زمین و میزان خطر لرزه‌خیزی منطقه، در نظر گرفت. مگر این‌که با محاسبه دقیق زمان تناوب ارتعاش قسمت سخت مخزن بتوان با اطمینان کافی نشان داد که استفاده از مقادیر کم‌تر نیز مشکلی ایجاد نمی‌کند.

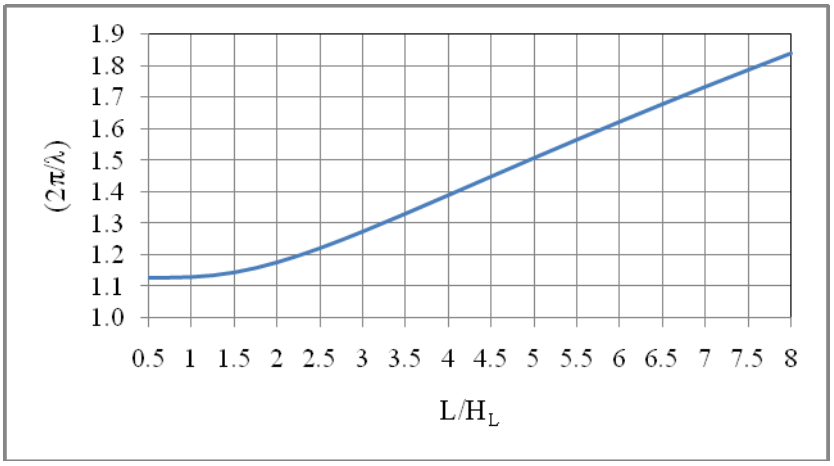
زمان تناوب ارتعاش افقی جرم مواج مایع نگهداری‌شده (T_c) را می‌توان بر اساس رابطه ۳-۵ تعیین کرد. مقدار ضریب λ نیز برای مخازن مستطیلی طبق رابطه ۳-۶ (و یا شکل ۳-۳) و برای مخازن استوانه‌ای طبق رابطه ۳-۷ (و یا شکل ۳-۴) محاسبه می‌شود.[۱]

$$T_c = (\frac{2\pi}{\lambda})\sqrt{L \text{ or } D} \quad (۵-۳)$$

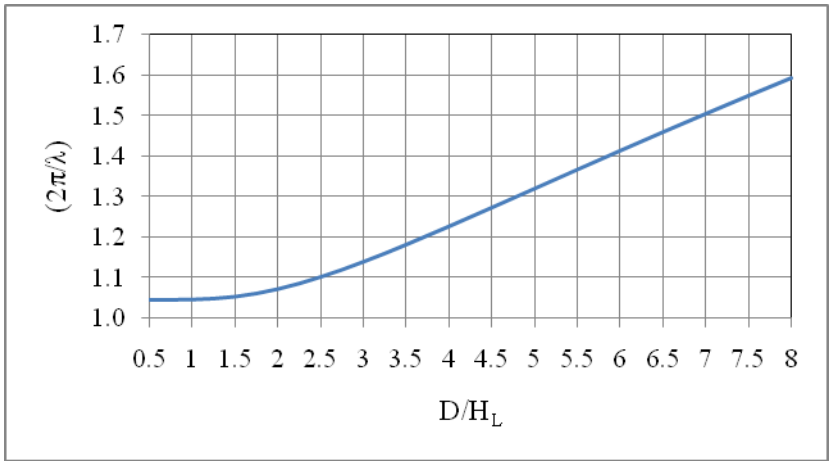
$$\lambda = \sqrt{3.16g \times \tanh\left[3.16(\frac{H_L}{L})\right]} \quad (۶-۳)$$

$$\lambda = \sqrt{3.68g \times \tanh\left[3.68(\frac{H_L}{D})\right]} \quad (۷-۳)$$

۱- با توجه به اینکه ضریب میرایی ارتعاش جرم مواج مایع نگهداری شده برابر ۰/۵٪ است، به منظور محاسبه‌ی ضریب بازتاب آن B_C می‌توان به طور تقریبی از حداقل ۱/۵ برابر مقادیر طیف طرح استاندارد ۲۸۰۰ با میرایی ۵٪ استفاده کرد (توصیه می‌گردد در T_Cهای بزرگ‌تر از ۶ ثانیه، برای محاسبه B_C از روابط ASCE استفاده شود).



شکل ۳-۳- ضریب $\frac{2\pi}{\lambda}$ برای مخازن مستطیلی [۴۹]



شکل ۳-۴- ضریب $\frac{2\pi}{\lambda}$ برای مخازن استوانه‌ای [۴۹]

حداقل ضریب اهمیت مخازن (I) باید با توجه به مایع نگهداری‌شده، کاربری مخزن و محل قرارگیری آن بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ ایران تعیین شود.

مقدار ضریب جرم موثر دیوارها (ε) در رابطه ۳-۱ در مخازن استوانه ای و مستطیلی می‌تواند به ترتیب با استفاده از روابط ۳-۸ و ۳-۹ تعیین گردد.

$$\varepsilon = \left[0.0151\left(\frac{D}{H_L}\right)^2 - 0.1908\left(\frac{D}{H_L}\right) + 1.021 \right] \le 1.0 \qquad (۳-۸)$$

$$\varepsilon = \left[0.0151\left(\frac{L}{H_L}\right)^2 - 0.1908\left(\frac{L}{H_L}\right) + 1.021 \right] \le 1.0 \qquad (۳-۹)$$

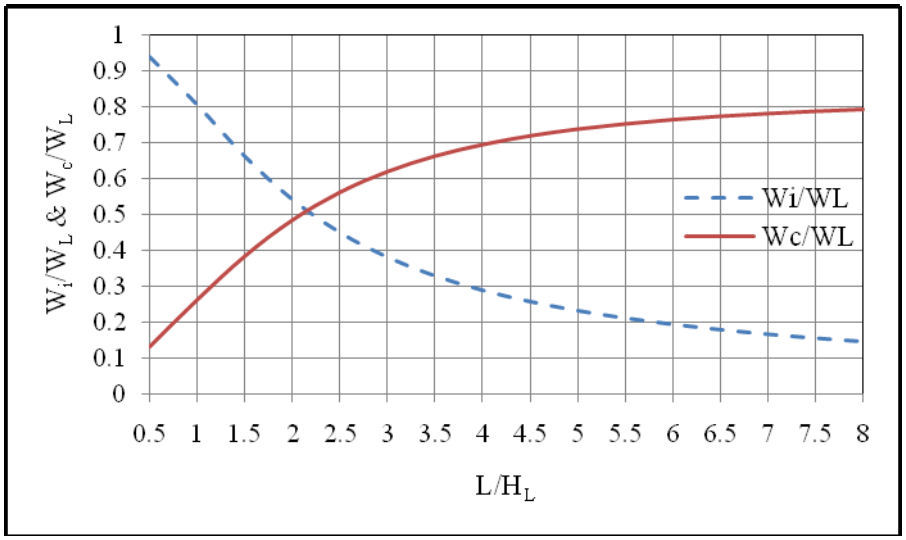
نسبت وزن معادل قسمت سخت (W_i) و قسمت مواج (W_c) مایع نگهداری‌شده به وزن کل آن (W_L)، برای مخازن مستطیلی طبق روابط ۳-۱۰ و ۳-۱۱ و برای مخازن استوانه‌ای طبق روابط ۳-۱۲ و ۳-۱۳ باید محاسبه شوند. به این منظور می‌توان به طور تقریبی از شکل‌های (۳-۵) و (۳-۶) نیز استفاده کرد.

$$\frac{W_i}{W_L}=\frac{\tanh\left[0.866(\frac{L}{H_L})\right]}{0.866(\frac{L}{H_L})} \qquad (۱۰-۳)$$

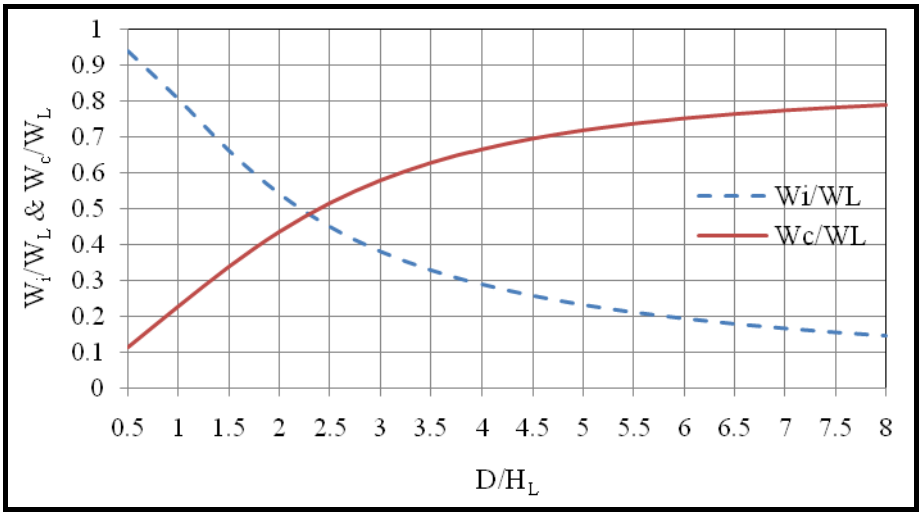
$$\frac{W_c}{W_L}=0.264(\frac{L}{H_L})\tanh\left[3.16(\frac{H_L}{L})\right] \qquad (۱۱-۳)$$

$$\frac{W_i}{W_L}=\frac{\tanh\left[0.866(\frac{D}{H_L})\right]}{0.866(\frac{D}{H_L})} \qquad (۱۲-۳)$$

$$\frac{W_c}{W_L}=0.230(\frac{D}{H_L})\tanh\left[3.68(\frac{H_L}{D})\right] \qquad (۱۳-۳)$$



شکل ۳-۵- ضرایب W_i / W_L و W_c / W_L در مقابل نسبت L / H_L برای مخازن مستطیلی [۴۹]



شکل ۳-۶- ضرایب W_i / W_L و W_c / W_L در مقابل نسبت D / H_L برای مخازن استوانه‌ای [۴۹]

ضریب رفتار (R)، ضریبی است که نشان دهنده میزان نامعینی و شکل‌پذیری سیستم سازه‌ای و همچنین توانـایی آن برای استهلاک انرژی زلزله می‌باشد. این ضریب برای قسمت‌های مواج و سخت مخازن نگهدارنده مایعات با توجه به نحوه استقرار آن‌ها بر اساس جدول (۳-۱) تعیین می‌گردد. در این جدول منظور از مخزن دفن‌شده مخزنی است که تراز طـرح مایع نگهداری شده در آن پایین‌تر از تراز زمین طبیعی اطراف مخزن بوده و یا خاکریز متراکمی به ضخامت حداقل برابـر یک متر و یا نصف ارتفاع بخشی از مایع نگهداری‌شده که بر روی تراز زمین طبیعی اطراف مخزن قرار دارد، در ایـن تـراز در پیرامون آن ایجاد شده و در مقابل فرسایش حفاظت می‌گردد. مقدار (R_i) بـرای مخـازن نیمـه‌مـدفون را مـی‌تـوان بـا استفاده از درون‌یابی خطی بین مقادیر ارائه شده برای مخازن دفن شده و غیرمدفون به‌دست آورد.

جدول ۳-۱- ضریب رفتار مخازن (R_i) [۴۹]

ضریب رفتار	نوع مخزن
۳	غیرمدفون
۴	مدفون

با مشخص شدن نیروهای ناشی از ارتعاش افقی مخازن طبق روابط ۳-۱ تا ۳-۴، مقدار لنگر خمشی ناشی از اثـر هـر یک از آن‌ها در پای دیوار (M_b) برای طراحی سازه‌ای آن نیز طبق روابط ۳-۱۴ تا ۳-۱۷ تعیین خواهند شد.

$$M_w = P_w h_w \qquad (۱۴-۳)$$

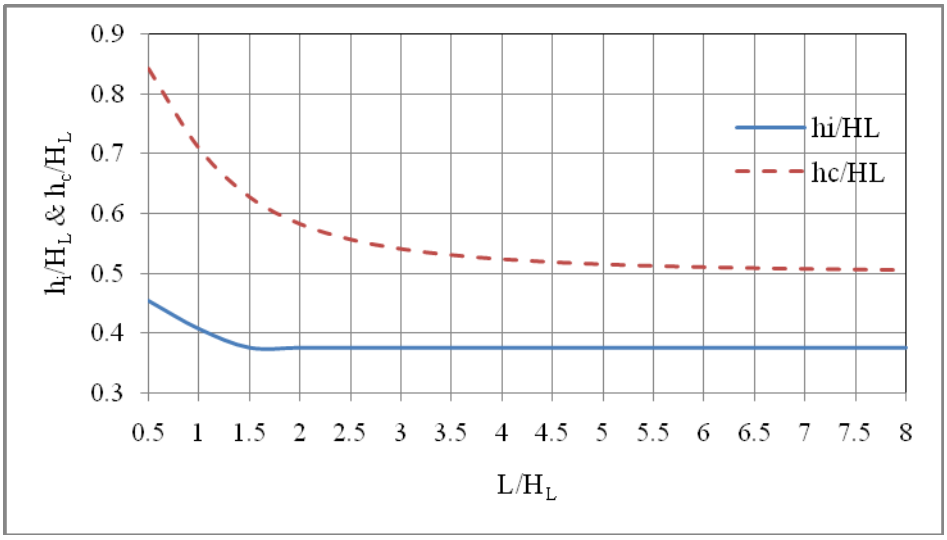
$$M_r = P_r h_r \qquad (۱۵-۳)$$

$$M_i = P_i h_i \qquad (۱۶-۳)$$

$$M_c = P_c h_c \qquad (۱۷-۳)$$

در این روابط h_r و h_w ارتفاع مرکز ثقل دال سقف و دیوارهای مخازن از پای دیوار هستند. h_i و h_c که ارتفـاع مرکـز ثقل نیروهای جانبی ناشی از ارتعاش جرم سخت و مواج مایع نگهداری‌شده در مخزن از پای دیوار بدون در نظـر گـرفتن فشار نامتوازن وارد بر کف مخزن(EBP) [1] هستند، در مخازن مستطیلی طبق روابط ۳-۱۸ تا ۳-۲۰ (و یا شکل ۳-۷) و در مخازن استوانه‌ای طبق روابط ۳-۲۱ تا ۳-۲۳ (و یا شکل ۳-۸) محاسبه می‌گردند.

1- Excluding Base Pressure



شکل ۳-۷- ضرایب h_i / H_L و h_c / H_L برای مخازن مستطیلی بدون در نظر گرفتن فشار نامتوازن وارد بر پی (EBP) [۴۹]

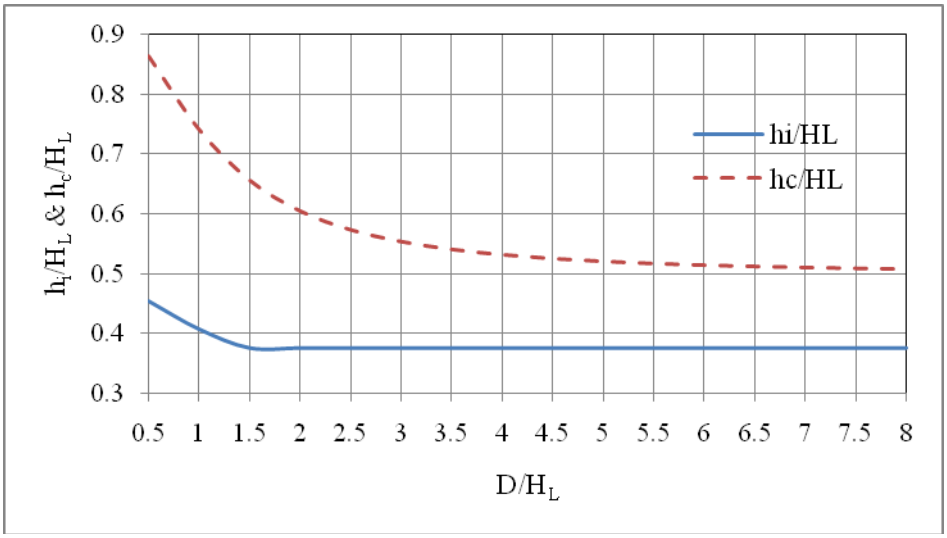
h_i / H_L

$$\frac{L}{H_L} < 1.333 \qquad \frac{h_i}{H_L} = 0.5 - 0.09375\left(\frac{L}{H_L}\right) \qquad (۱۸-۳)$$

$$\frac{L}{H_L} \geq 1.333 \qquad \frac{h_i}{H_L} = 0.375 \qquad (۱۹-۳)$$

h_c / H_L

برای تمام مخازن مستطیلی $$\frac{h_c}{H_L} = 1 - \frac{\cosh\left[3.16\left(\frac{H_L}{L}\right)\right] - 1}{3.16\left(\frac{H_L}{L}\right) \times \sinh\left[3.16\left(\frac{H_L}{L}\right)\right]} \qquad (۲۰-۳)$$



شکل ۳-۸- ضرایب h_i / H_L و h_c / H_L برای مخازن استوانه‌ای بدون در نظر گرفتن فشار نامتوازن وارد بر پی (EBP)

h_i / H_L

$$\frac{D}{H_L} < 1.333 \qquad \frac{h_i}{H_L} = 0.5 - 0.09375\left(\frac{D}{H_L}\right) \qquad (۳-۲۱)$$

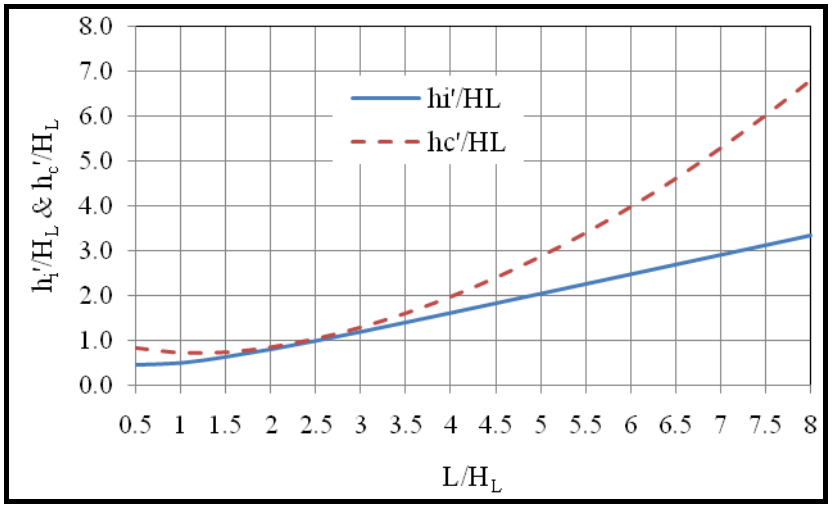
$$\frac{D}{H_L} \geq 1.333 \qquad \frac{h_i}{H_L} = 0.375 \qquad (۳-۲۲)$$

h_c / H_L

$$\text{برای تمام مخازن استوانه‌ای} \quad \frac{h_c}{H_L} = 1 - \frac{\cosh\left[3.68\left(\frac{H_L}{D}\right)\right] - 1}{3.68\left(\frac{H_L}{D}\right) \times \sinh\left[3.68\left(\frac{H_L}{D}\right)\right]} \qquad (۳-۲۳)$$

ارتعاش افقی مایع نگهداری‌شده در مخازن منجر به ایجاد فشار نامتوازن بر روی دال کف آن‌ها (p_b) می‌شود. اثر این تغییرات فشار با تعریف ارتفاع‌های ظاهری h_i' و h_c' به جای ارتفاع‌های h_i و h_c در محاسبه لنگر واژگونی مخازن بر روی دال کف (M_o) در نظر گرفته می‌شود. این ارتفاع‌های ظاهری که نشان‌دهنده‌ی ارتفاع مرکز ثقل نیروهای جانبی ناشی از ارتعاش جرم سخت و مواج مایع نگهداری‌شده از پای دیوار با درنظرگرفتن فشار نامتوازن وارد بر کف مخزن (IBP)[1] هستند، در مخازن مستطیلی طبق روابط ۳-۲۴ تا ۳-۲۶ (و یا شکل ۳-۹) و در مخازن استوانه ای طبق روابط ۳-۲۷ تا ۳-۲۹ (و یا شکل ۳-۱۰) محاسبه می‌گردند.

برای محاسبه لنگر واژگونی (M_o) با استفاده از ارتفاع‌های ظاهری شرح داده شده، باید روابط ۳-۳۰ و ۳-۳۱ جایگزین روابط ۳-۱۶ و ۳-۱۷ شوند. همچنین در صورت لزوم باید اثر فشار جانبی دینامیکی ناشی از آب زیرزمینی و خاک پیرامون مخازن نیز (در مخازن دفن‌شده) در نظر گرفته شود.



شکل ۳-۹- ضرایب h_i' / H_L و h_c' / H_L برای مخازن مستطیلی با در نظر گرفتن فشار نامتوازن وارد بر پی (IBP) [۴۹]

1- Including Base Pressure

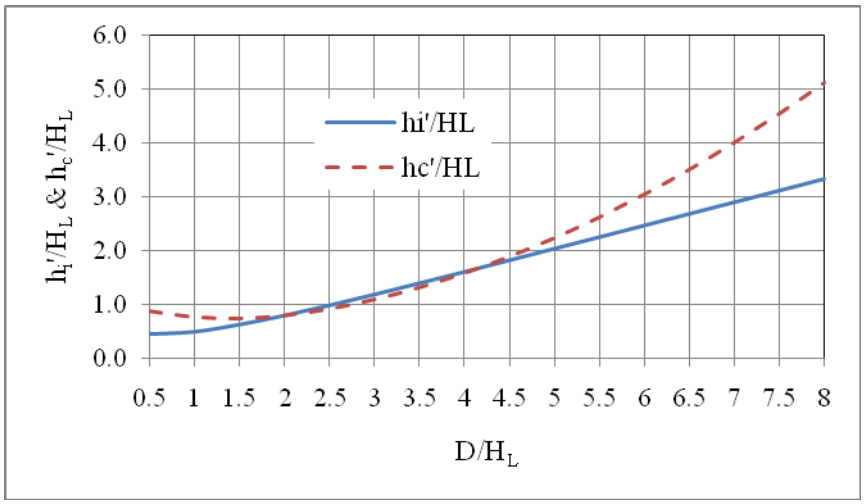
h_i' / H_L

$$\frac{L}{H_L} < 0.75 \qquad \frac{h_i'}{H_L} = 0.45 \tag{۳-۲۴}$$

$$\frac{L}{H_L} \geq 0.75 \qquad \frac{h_i'}{H_L} = \frac{0.866(\frac{L}{H_L})}{2 \times \tanh\left[0.866(\frac{L}{H_L})\right]} - \frac{1}{8} \tag{۳-۲۵}$$

h_c' / H_L

برای تمام مخازن مستطیلی $$\frac{h_c'}{H_L} = 1 - \frac{\cosh\left[3.16(\frac{H_L}{L})\right] - 2.01}{3.16(\frac{H_L}{L}) \times \sinh\left[3.16(\frac{H_L}{L})\right]} \tag{۳-۲۶}$$



شکل ۳-۱۰- ضرایب h_i' / H_L و h_c' / H_L برای مخازن استوانه ای با در نظر گرفتن فشار نامتوازن وارد بر پی (IBP) [۴۹]

h_i' / H_L

$$\frac{D}{H_L} < 0.75 \qquad \frac{h_i'}{H_L} = 0.45 \tag{۳-۲۷}$$

$$\frac{D}{H_L} \geq 0.75 \qquad \frac{h_i'}{H_L} = \frac{0.866(\frac{D}{H_L})}{2 \times \tanh\left[0.866(\frac{D}{H_L})\right]} - \frac{1}{8} \tag{۳-۲۸}$$

h_c' / H_L

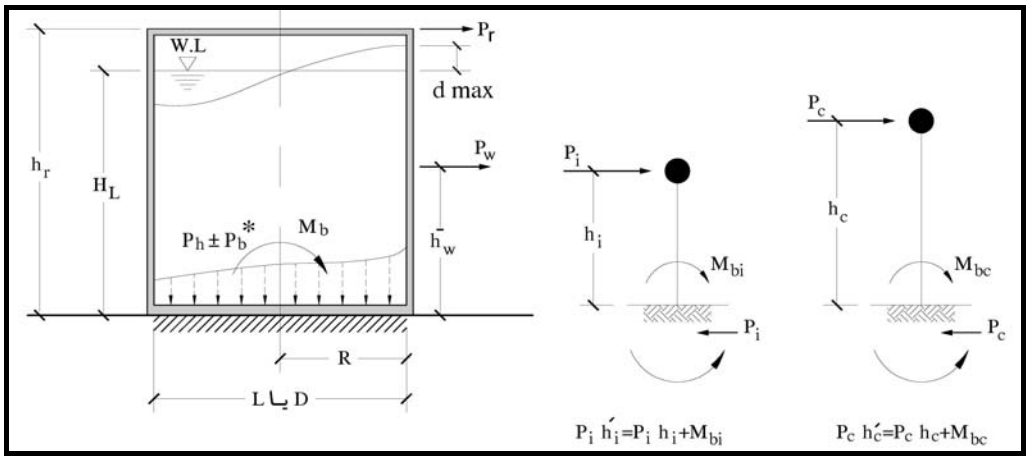
برای تمام مخازن استوانه‌ای $$\frac{h_c'}{H_L} = 1 - \frac{\cosh\left[3.68(\frac{H_L}{D})\right] - 2.01}{3.68(\frac{H_L}{D}) \times \sinh\left[3.68(\frac{H_L}{D})\right]} \tag{۳-۲۹}$$

$$M_i' = P_i h_i' \tag{۳-۳۰}$$

$$M'_c = P_c h'_c \qquad (۳۱-۳)$$

طبق استاندارد ۲۸۰۰ ایران تحت عنوان «آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله» حداقل ضریب اطمینان در برابر واژگونی حول پیرامون و زیر دال کف مخازن بایدبرابر ۱/۷۵ باشد. با توجه به این‌که مقدار لنگر واژگونی (M_o) در روابط قبل بر روی دال کف مخازن محاسبه شده است، باید به منظور محاسبه مقدار ضریب اطمینان در برابر واژگونی مقداری برابر حاصل‌ضرب برش پایه مخازن در ضخامت دال کف آن‌ها به مقدار محاسبه شده بر اساس روابط ۳-۳۰ و ۳-۳۱ افزوده شود. در هر حال، برای طراحی اعضای سازه‌ای مخازن نیازی به درنظرگرفتن اثرات ناشی از تغییرات فشار در کف (p_b) نیست[۱].

در شکل (۳-۱۱) کلیه‌ی آثار ناشی از ارتعاش افقی مایع نگهداری‌شده در مخازن نشان داده شده است. در این شکل P_h فشار قائم استاتیکی آب و P_b تغییر فشار در هنگام زلزله است.



شکل ۳-۱۱- نیروهای ناشی از ارتعاش افقی مخازن نگه‌دارنده‌ی مایعات [۴۹]

۳-۵-۱-۲- نیروهای ناشی از ارتعاش قائم مایع نگهداری‌شده

ارتعاش قائم زمین باعث افزایش فشار داخلی مایع نگهداری‌شده می‌شود، بنابراین مخازن باید برای مقابله با اثرات ناشی از این نیرو نیز طراحی گردند. در صورت عدم وجود طیف ویژه‌ی شتاب قائم ساختگاه مخازن، در مورد مخازنی که تحت اثر زلزله‌های حوزه نزدیک قرار ندارند، نسبت شتاب قائم به شتاب افقی مبنای طرح نباید کم‌تر از $\frac{۲}{۳}$ در نظر گرفته شود.

برای در نظر گرفتن اثر شتاب قائم بر روی مخازن، باید ابتدا با توجه به شکل هندسی آن‌ها مقدار ضریب بازتاب قائم مایع نگهداری شده (B_t) تعیین گردد. برای مخازن مستطیلی این مقدار همواره برابر $0.4B_i$ می‌باشد. اما برای مخازن استوانه‌ای مقدار آن با استفاده از زمان تناوب مود اول ارتعاش قائم مایع نگهداری‌شده (T_v)، که با استفاده از رابطه ۳-۳۲

۱- برای کنترل نشست و تنش خاک زیر مخازن باید اثر تغییرات فشار مایع نگهداری‌شده در کف (p_b) در نظر گرفته شود.

تعیین می‌گردد، و بر اساس طیف طرح زلزله‌ی قائم محاسبه می‌شود. در مورد مخازنی که تحت اثر زلزله‌های حوزه نزدیک قرار ندارند، درصورتی‌که طیف طرح زلزله‌ی قائم بر اساس مطالعات ویژه ساختگاه در دسترس نباشد، باید از حداقل $\frac{۲}{۳}$ برابر طیف طرح استاندارد زلزله افقی بر طبق استاندارد ۲۸۰۰ ایران استفاده کرد.

با در اختیار داشتن مقدار ضریب بازتاب قائم مایع نگهداری شده، نسبت شتاب قائم موثر زلزله به شتاب ثقل α_v با استفاده از رابطه ۳-۳۳ محاسبه می‌شود. در نهایت مقدار فشار هیدرودینامیک واردشده بر دیوارها و دال کف مخازن بر اثر شتاب قائم زلزله براساس رابطه ۳-۳۴ و به صورت ضریبی از فشار هیدرواستاتیکی مایع نگهداری‌شده در هر عمق دلخواه (q_{hy}) محاسبه می‌گردد.

$$T_v = 2\pi\sqrt{\frac{\gamma_L DH_L^2}{2gt_w E_c}} \qquad (۳۲-۳)$$

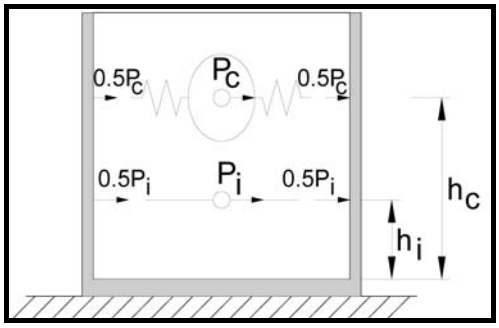
$$\alpha_v = \frac{bAB_t I}{R} \geq 0.2AB_i \qquad (۳۳-۳)$$

$$P_{vy} = \alpha_V . q_{hy} \qquad (۳۴-۳)$$

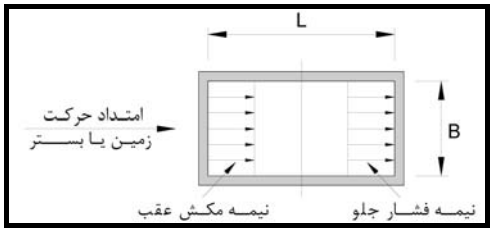
۳-۵-۱-۳- توزیع نیروهای هیدرودینامیکی در راستای افقی و قائم

در صورت عدم انجام تحلیل دقیق که بتواند توزیع واقعی نیروهای هیدرودینامیکی را در پلان و ارتفاع مخازن نشان دهد، می‌توان از ضوابط این بخش برای تعیین اضافه فشارهای هیدرودینامیکی افقی در واحد طول و ارتفاع دیوارها استفاده کرد.

در مخازن مستطیلی طبق تئوری هازنر نیروهای ناشی از شتاب افقی زلزله به طور مساوی بین دیوارهای عمود بر راستای زلزله تقسیم می‌شوند، به‌طوری که طبق شکل (۳-۱۲) بر یک دیوار فشار و بر دیگری مکش اعمال می‌شود. توزیع این فشارها بر روی هر یک از دیوارها نیز به صورت یکنواخت و مطابق شکل (۳-۱۳) می‌باشد.



شکل ۳-۱۲- نمای شماتیک محل اعمال برآیند نیروهای جانبی هیدرودینامیکی در مخازن [۴۹]

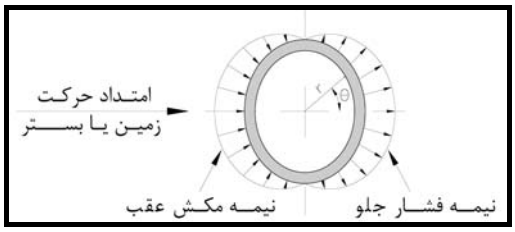


شکل ۳-۱۳- توزیع نیروهای هیدرودینامیکی در پلان مخازن مستطیلی [۴۹]

در مخازن استوانه‌ای نیز، نیمی از کل نیروی هیدرودینامیکی به صورت فشاری و نیمی دیگر به صورت مکشی بر دیوارهای مخزن اعمال می‌شوند. اما توزیع اضافه فشارهای هیدرودینامیکی در این مخازن همان‌طور که در شکل (۳-۱۴) نشان داده شده است، در پلان به صورت غیریکنواخت می‌باشد. به طور تقریبی، توزیع افقی اضافه فشار هیدرودینامیکی ناشی از ارتعاش افقی مایع نگهداری‌شده در مخازن استوانه‌ای بر واحد طول دیوارهای پیرامونی را با توجه به زاویه مقطع مورد نظر نسبت به راستای اعمال نیروی زلزله (θ)، می‌توان طبق روابط ۳-۳۵ و ۳-۳۶ در نظر گرفت.

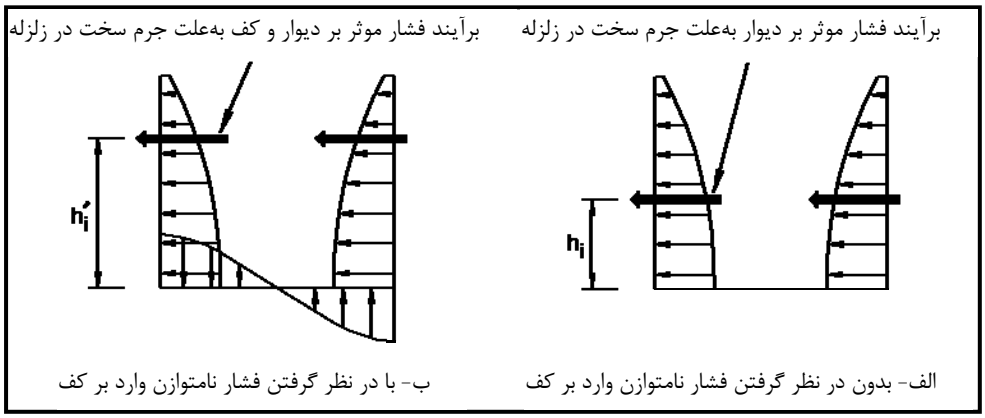
$$p_i = \frac{2P_i}{\pi R}\cos\theta \qquad (۳۵-۳)$$

$$p_c = \frac{16P_c}{9\pi R}\cos\theta \qquad (۳۶-۳)$$

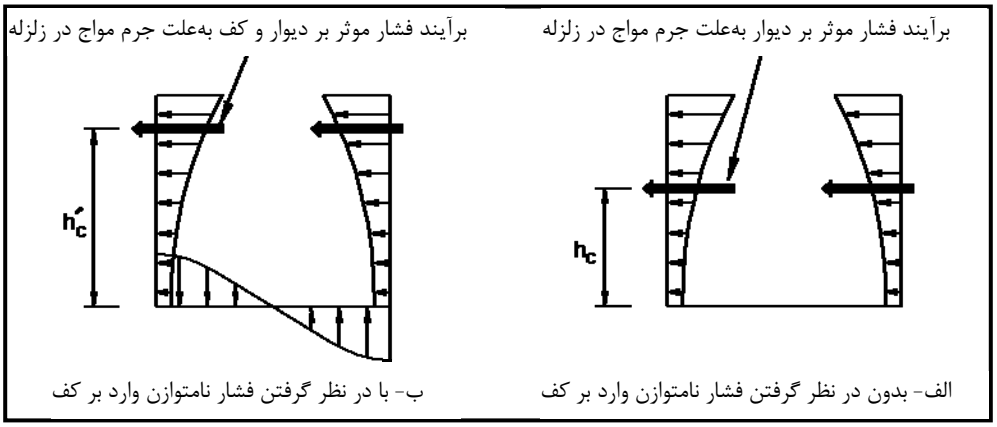


شکل ۳-۱۴- توزیع نیروهای هیدرودینامیکی در پلان مخازن استوانه‌ای [۴۹]

پس از تعیین برآیند و محل تاثیر نیروهای جانبی ناشی از ارتعاش سازه و مایع درون آن، این نیروها باید به طریق مناسبی در ارتفاع دیوار توزیع گردند. بررسی‌های تئوریک نشان می‌دهد که توزیع فشار جانبی هیدرودینامیکی ناشی از ارتعاش افقی مایع نگهداری‌شده در ارتفاع دیوار، همان‌طور که در شکل‌های (۳-۱۵) و (۳-۱۶) نشان داده شده است، یک تابع هیپربولیک است. با این وجود برای ایجاد سهولت در زمینه‌ی تحلیل سازه، می‌توان با دقت خوبی به جای استفاده از تابع هیپربولیک برای توزیع فشار هیدرودینامیک وارد شده بر دیوارها از یک توزیع ذوزنقه‌ای استفاده کرد، به نحوی که محل اثر برآیند نیروها همچنان در محل سابق آن باقی بماند. به این منظور می‌توان از روابط ۳-۳۷ و ۳-۳۸ استفاده کرد.



شکل ۳-۱۵- توزیع واقعی فشار هیدرودینامیک ناشی از ارتعاش قسمت سخت مایع نگهداری شده [۴۹]



شکل ۳-۱۶- توزیع واقعی فشار هیدرودینامیک ناشی از ارتعاش قسمت مواج مایع نگهداری شده [۴۹]

$$P_{iy}=\frac{\frac{p_i}{2}\left[4H_L-6h_i-(6H_L-12h_i)(\frac{y}{H_L})\right]}{H_L^2} \qquad (۳۷-۳)$$

$$P_{cy}=\frac{\frac{p_c}{2}\left[4H_L-6h_c-(6H_L-12h_c)(\frac{y}{H_L})\right]}{H_L^2} \qquad (۳۸-۳)$$

۳-۵-۲- اضافه فشار دینامیکی خاک پشت دیوارهای پیرامونی

در صورت عدم انجام مطالعات دقیق، حداقل برآیند اضافه فشار دینامیکی جانبی ناشی از ارتعاش خاک پشت دیوارهای پیرامونی مخازن طبق رابطه ۳-۳۹ محاسبه می‌گردد. مقدار k_h در این رابطه با توجه به جنس خاک و میزان تغییر مکان جانبی دیوارهای پیرامون مخازن بر اثر نیروی زلزله تعیین می‌شود. این مقدار برای دیوارهای پیرامونی که ضوابط فشار محرک خاک را برآورده می‌کنند، نباید کم‌تر از $\frac{A}{2}$ و برای دیوارهای سخت کم‌تر از A در نظر گرفته شود.

اضافه فشار جانبی محاسبه‌شده باید به‌صورت ذوزنقه‌ای و به‌نحوی در ارتفاع دیوار پیرامونی مخازن توزیع شود که برآیند آن در ارتفاع $0.6H_e$ قرار بگیرد. در صورت وجود سربار گسترده معادل p'_0، اضافه فشار دینامیکی جانبی ناشی از آن برابر $k_n p'_0$ بوده که به صورت یکنواخت و مستطیلی در تمام ارتفاع جدار پیرامونی مخازن اعمال خواهد شد.

$$\Delta P_{OE}=\gamma_s H_e^2 k_h \qquad (۳۹-۳)$$

۳-۵-۳- ترکیب نیروهای داخلی به‌وجودآمده بر اثر زمین‌لرزه

پس از تحلیل سازه‌ی مخازن تحت هر یک از بارگذاری‌های شرح داده شده در بخش‌های قبل، باید نیروهای داخلی به وجود آمده برای در نظر گرفتن بدترین شرایط ممکن با یکدیگر ترکیب شوند.

با توجه به این‌که زمان تناوب ارتعاش قسمت‌های سخت مخازن خیلی کم‌تر از زمان تناوب ارتعاش جرم مواج مایع نگهداری‌شده در آن‌ها می‌باشد، احتمال این‌که هر دوی این مولفه‌ها به طور هم‌زمان بیشینه شوند، بسیار کم خواهد بود.

بنابراین، با درنظرگرفتن اثرات ناهم‌زمانی این مولفه‌ها می‌توان با اطمینان کافی، اثرات آن‌ها را با استفاده از روش ریشه‌ی دوم مجموع مربعات (SRSS) ترکیب کرد. بدین‌ترتیب، برش پایه‌ی کل مخزن، لنگر خمشی در پای دیوار و لنگر واژگونی به ترتیب طبق روابط ۳-۴۰ تا ۳-۴۲ محاسبه می‌شوند.

$$V = \sqrt{(P_i + P_w + P_r)^2 + P_c^2 + P_e^2} \quad (۴۰-۳)$$

$$M_b = \sqrt{(M_i + M_w + M_r)^2 + M_c^2} \quad (۴۱-۳)$$

$$M_o = \sqrt{(M_i' + M_w + M_r)^2 + M_c'^2} \quad (۴۲-۳)$$

در صورت نیاز برای ترکیب اثرات ناشی از ارتعاش افقی و قائم مخزن نیز، با توجه به اثرات ناهم‌زمانی بیشینه‌شدن فشار داخلی مایع ناشی از ارتعاش افقی و قائم زمین، می‌توان از روش ریشه دوم مجموع مربعات استفاده کرد. به عنوان مثال لنگر خمشی در پای دیوار می‌تواند طبق رابطه ۳-۴۳ نیز محاسبه شود.

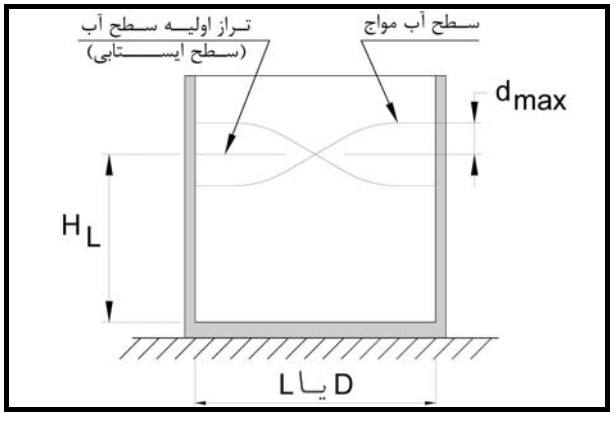
$$M_b = \sqrt{(M_i + M_w + M_r)^2 + M_c^2 + M_v^2} \quad (۴۳-۳)$$

۳-۵-۴- اضافه ارتفاع موج ناشی از ارتعاش افقی جرم مواج مایع نگهداری‌شده

برای جلوگیری از ایجاد زیر فشار در سقف مخزن بر اثر ارتعاش مایع نگهداری‌شده در هنگام زلزله، و یا سرریزشدن مکرر آن در زمان بهره‌برداری، باید ارتفاع آزاد میان حداکثر تراز مایع نگهداری‌شده تا زیر دال سقف مخازن از ۳۰۰ میلی‌متر و همچنین مقدار اضافه‌ارتفاع موج ناشی از ارتعاش افقی مایع نگهداری‌شده (d_{max}) بزرگ‌تر باشد. این مقدار برای مخازن مستطیلی و استوانه‌ای به ترتیب طبق روابط ۳-۴۴ و ۳-۴۵ محاسبه می‌شود. در صورت نیاز می‌توان با تامین حداقل ارتفاع آزاد با توجه به مسایل بهره‌برداری، دال سقف مخازن را برای تحمل باقی‌مانده‌ی زیرفشار ناشی از ارتعاش مایع نگهداری‌شده طراحی کرد [۱۰۰].

$$d_{max} = \frac{L}{2} A B_c I \quad (۴۴-۳)$$

$$d_{max} = \frac{D}{2} A B_c I \quad (۴۵-۳)$$



شکل ۳-۱۷- اضافه ارتفاع موج ناشی از ارتعاش افقی جرم مواج مایع نگهداری‌شده [۴۹]

۳-۶- ترکیب بارها

هر جزیی از سازه‌ی مخازن باید طوری طرح شود که بتواند به طور مطمئن در مقابل تمام ترکیب بارهایی که امکان تاثیر آن‌ها در عمر بهره‌برداری مخازن وجود دارد، ایستادگی نماید. در جدول (۳-۲) ترکیبات بارگذاری معمول در روش طراحی به روش حالات حدی، همراه با ضرایب بار مربوطه بر اساس آئین نامه بتن ایران (آبا) ارائه شده است.

جدول ۳-۲- ترکیبات بار در طراحی به روش حالات حدی [۱۲]

تیپ	ترکیب بار
۱	DL + 1.5LL + 1.5F۱.۲۵
۲	DL + 1.5LL + 1.5H۱.۲۵
۳	DL + 1.5H + 1.5F۰.۸۵
۴	DL + 1.2LL + 1.2F + 1.2E_s
۵	DL + 1.2LL + 1.2H + 1.2E_s
۶	DL + F + 1.2E_s۰.۸۵
۷	DL + 1.2H + 1.2E_s۰.۸۵
۸	DL + 1.5UP۰.۸۵
۹	DL + 1.2LL +1.2F ± T
۱۰	DL + 1.2LL +1.2H ± T
۱۱	DL ± 1.25T۱.۲۵

علایم به کار رفته در جدول (۳-۲) به شرح زیر هستند:

DL: بار مرده؛

LL: بار زنده؛

F: نیروهای ناشی از وزن و فشار مایع نگهداری‌شده؛

H: نیروهای ناشی از وزن و فشار خاک و آب درون خاک؛

T: نیروهای ناشی از تغییرات دما، خزش، جمع‌شدگی، انبساط و یا نشست نامتقارن؛

E_s: نیروهای ناشی از زلزله در تراز بهره‌برداری (به صورت رفت و برگشتی می‌باشد)؛ و

UP: زیرفشار (فشار برکنش).

توضیحات جدول (۳-۲) به شرح زیر می‌باشد:

- در تمام ترکیبات بارگذاری ارائه شده در جدول (۳-۲) هر دو شرایط وجود و یا عدم وجود بارگذاری‌های F و LL باید به منظور پیدا کردن بحرانی‌ترین ترکیب بارگذاری در نظر گرفته شود.
- در حالت‌های بارگذاری که نیروهای ناشی از فشار جانبی خاک پشت دیوارهای پیرامونی مخازن اثر سایر نیروهای وارد بر مخازن را کاهش می‌دهند، باید از آن‌ها صرف نظر شود.

- دیوارهای پیرامونی مخازن دفن‌شده و نیمه‌مدفون به طور معمول هم‌زمان تحت فشار داخلی مایع نگهداری‌شده و همچنین فشار خارجی خاک پیرامونی می‌باشند. با این وجود به دلایل مختلفی از جمله موارد زیر، این دیوارها باید به‌طور جداگانه برای تحمل هر یک از این بارگذاری‌ها طراحی شوند:[۱]
  - خاکریز پشت دیوارهای پیرامونی مخزن ممکن است در هنگام آزمایش اولیه‌ی آب بندی هنوز اجرا نشده باشد؛
  - خاکریز پشت دیوارهای پیرامونی مخزن ممکن است در هنگام توسعه و یا تعمیر و تقویت مخزن برداشته شود.
- در مخازنی که دارای چند قسمت (سلول) جداگانه هستند، باید اثر پر و یا خالی‌بودن هر کدام از سلول‌ها به طور جداگانه در نظر گرفته شود.
- به طور معمول در مخازن زمینی اثر بار باد در مقایسه با بار زلزله قابل‌صرف‌نظرکردن می‌باشد. با این وجود در مواردی که نیاز به کنترل این بارگذاری وجود دارد، می‌توان در ترکیبات بارگذاری شامل اثر زلزله (E)، مقدار آن را با بار باد (W) که طبق استاندارد ملی شماره ۵۱۹ (و یا مبحث ششم مقررات ملی ساختمان) محاسبه خواهد شد، جایگزین کرد.
- نیروهای ناشی از خزش، جمع‌شدگی، انبساط و یا نشست نامتقارن مخازن باید با توجه به مشخصات هر مخزن به طور واقع‌بینانه‌ای توسط مهندس طراح در نظر گرفته شوند.

۱- هر دو حالت مخازن خالی تحت فشار جانبی خاک پیرامون مخزن و مخازن کاملا پر از مایع بدون حضور فشار جانبی خاک، باید درنظرگرفته شود.

فصل ۴

طراحی مخازن

۴-۱- علایم اختصاری

A_s = سطح مقطع میلگردهای موجود (mm^2)

A_{ce} = سطح موثر مقطع بتنی برای محاسبه فولادهای حرارتی و جمع‌شدگی (mm^2)

f_c = مقاومت فشاری مشخصه ۲۸ روزه نمونه استاندارد استوانه‌ای ۳۰۰×۱۵۰ میلی‌متری (N/mm^2)

f_s = تنش فولاد در حالت حدی بهره‌برداری تحت بارهای بدون ضریب (N/mm^2)

$f_{s_{max}}$ = حداکثر تنش کششی محدود شده میلگردها در حالت حدی بهره‌برداری (N/mm^2)

$f_{ct,3}$ = مقاومت کششی سه روزه بتن (براساس جدول (۴-۶)) (N/mm^2)

f_y = تنش تسلیم میلگردهای فولادی (N/mm^2)

M= لنگر خمشی بدون ضریب در حالت بهره‌برداری (N.mm)

d = فاصله مرکز میلگردهای کششی تا بیرونی‌ترین تار فشاری مقطع بتنی (mm)

J = ضریب بازوی لنگر مقاوم داخلی، با توجه به M تعیین می‌گردد.

S = حداکثر فاصله میان میلگردها (mm)

d_b = حداکثر قطر میلگردها (mm)

h = ضخامت کل مقطع (mm)

c = فاصله محور خنثی تا بیرونی‌ترین تار فشاری (mm)

S_d = ضریب پایایی

ρ = نسبت میلگردها در مقطع (A_s / A_{ce})

β = ضریب بدون بعدی است که بر اساس رابطه ۴-۱۲ محاسبه می‌شود.

T_1 = تغییرات دمای بتن به علت گرمای آزاد شده در هنگام آبگیری (هیدراسیون) بر حسب درجه سلسیوس $(^\circ C)$

T_2 = تغییرات فصلی و روزانه درجه حرارت بتن سازه $(^\circ C)$

φ_s = ضریب جزیی ایمنی فولاد

φ_c = ضریب جزیی ایمنی بتن

ε_t = کرنش حرارتی به وجود آمده در مقطع بتن

ε_{sh} = کرنش ناشی از تغییرات حجمی (جمع‌شدگی و انبساط) در بتن

α = ضریب انبساط حرارتی بتن

w = عرض ترک مجاز (طبق جدول ۴-۱) (mm)

K = ضریب چسبندگی میلگردهای آجدار به بتن برابر $\frac{f_{ct,3}}{f_b}$

S_{max} = فاصله محتمل بین دو ترک در مقاطعی که به مقدار کافی میلگردگذاری شده‌اند. (mm)

f_b = تنش پیوستگی متوسط بین بتن و میلگرد در بتن نارس (N/mm^2)

ρ_{cr} = نسبت فولاد بحرانیکه به ازای آن مقاومت کششی۳ روزه بتن با مقاومت جاری شدن فولاد مساوی می‌گردد.

S300 = میلگرد آج‌داری است که حداقل تنش تسلیم آن برابر ۳۰۰ مگاپاسکال بوده و سایر ضوابط آبا را نیز برآورده می‌کند.(AII)

S400 = میلگرد آج‌داری است که حداقل تنش تسلیم آن برابر ۴۰۰ مگاپاسکال بوده و سایر ضوابط آبا را نیز برآورده می‌کند.(AIII)

Z = ضریب ترک که بر اساس رابطه ۴-۱ و رابطه ۴-۲ محاسبه می‌شود.

I_g = ممان اینرسی مقطع ترک نخورده حول تار خنثی، صرف نظر از وجود میلگردها (mm^4)

۴-۲- کلیات

هدف از مطالب این فصل، ارائه روش‌ها و الزامات طراحی برای تامین مقاومت و شرایط بهره‌برداری[1] سازه‌های مهندسی بهداشت ساخته شده از بتن مسلح به منظور نگهداری مایعاتی شبیه به آب شرب می‌باشد. در چنین سازه‌هایی تامین شرایط بهره‌برداری و پایایی اهمیتی به مراتب برجسته‌تر از سازه‌های معمولی دارد.

۴-۳- شرایط محیطی

در این ضابطه، هر عضوی از سازه مخازن نگهدارنده مایعات، تحت تاثیریکی از شرایط محیطی زیر درنظر گرفته می‌شود:

- شرایط محیطی بسیار شدید (A): شرایطی است که در آن عضو در تماس با محیط‌های خورنده بوده و یا با توجه به محل قرار گیری آن تحت شرایط تر و خشک‌شدگی متناوب قرار دارد.
- شرایط محیطی شدید (B): شرایطی است که در آن عضو تحت رطوبت دائم و یا تقریبا دائم قرار دارد و باید در برابر مایعات تقریبا نفوذناپذیر باشد.
- شرایط محیطی معمولی (C): شرایطی است که در آن عضو در تماس با خاک‌های غیر مهاجم و آب با pH بیش‌تر از ۵ قرار گرفته و گاهی دچار تعریق می‌گردد. در این شرایط محیطی مشخصات شرایط محیطی A و B برقرار نیست.

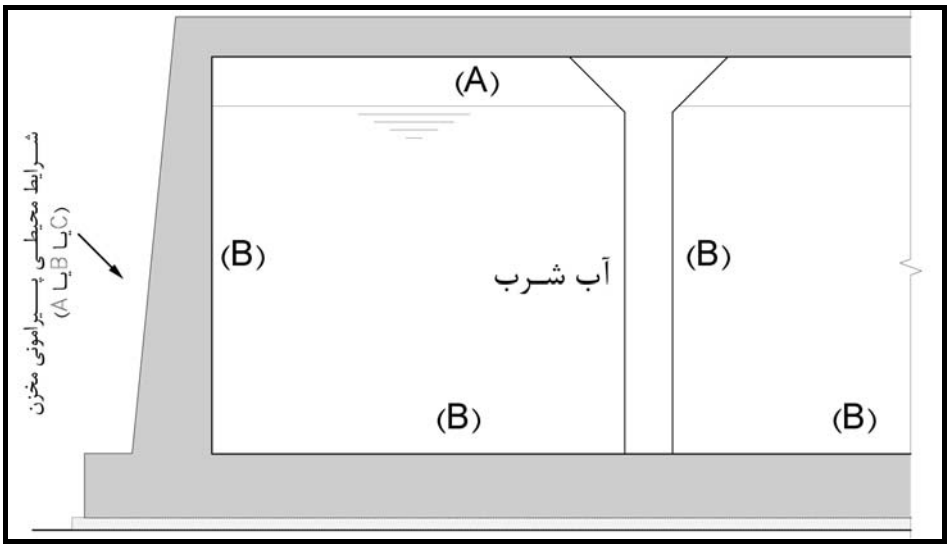
1- Serviceability

تامین شرایط بهره‌برداری مربوط به محیط‌هایA و B در سازه‌های مهندسی بهداشت اطمینان کافی را نسبت به پایایی و آب‌بندی آن‌ها ایجاد می‌کند. شرایط بهره‌برداری محیط C همان شرایط بهره‌برداری مربوط به طراحی سازه‌های بتن مسلح معمولی است و تنها در قسمت خارجی دیوارهای پیرامونی این سازه‌ها می‌تواند به کار رود، مگر این‌که شرایط محیطی پیرامونی مخزن استفاده از شرایط محیطی A و یا B را الزامی کند.

شرایط محیطی پیرامونی مخازن باید طبق قضاوت مهندسی و بر حسب مشخصات خاک و آب زیرزمینی در پیرامون آن‌ها تعیین شود. با توجه به ضوابط فصل اول در این قسمت فرض شده است که مخازن از گرم و سرد شدن و همچنین یخزدگی و آب‌شدگی متناوب حفاظت شده‌اند.

در شکل (۴-۱) طبقه‌بندی قسمت‌های مختلف مخزن از نظر شرایط محیطی نشان داده شده است. همان‌طورکه از این شکل پیدا است، قسمت تحتانی از سطح داخلی دیوار پیرامونی مخزن در شرایط محیطیB و قسمت فوقانی آن در شرایط محیطیA قرار دارد. علت این امر تغییرات متناوب سطح آب مخزن می‌باشد که باعث ایجاد شرایط محیطی A برای قسمت فوقانی دیوار می‌شود. اما از آنجا که مقدار لنگر خمشی در بالای دیوار ناچیز است، تنش‌های موجود در میلگردهای این ناحیه به طور معمول بسیار کم بوده و در نتیجه در طراحی، عملا می‌توان تمام سطح داخلی دیوار پیرامونی مخازن را در شرایط محیطیB در نظر گرفت.

با توجه به گذرا بودن نیروهای زلزله و تغییر شکل‌های حرارتی، در طراحی سازه مخازن برای تمامی حالت‌های بارگذاری که شامل این نیروها می‌باشند، می‌توان از لحاظ کنترل عرض ترک تمام سازه را در شرایط محیطی C در نظر گرفت.



شکل ۴-۱- شرایط محیطی اجزای مختلف مخزن [۳۲]

تبصره ۱: درصورتی‌که ضخامت هر یک از اجزای مخزن کوچک‌تر از ۲۲۵ میلی‌متر باشد، شرایط محیطی دو طرف آن مشابه و برابر بدترین حالت فرض می‌گردد.

۴-۴- تامین شرایط بهره‌برداری

برای تامین شرایط بهره‌برداری در سازه‌های نگهدارنده مایعات، عوامل زیر باید مدنظر قرار گیرند:

الف- محدود کردن حداکثر عرض ترک در مقابل نیروهای بهره‌برداری

ب- محدود کردن تغییر شکل‌های سازه

ج- تامین پوشش کافی بتن روی میلگردها

د- محدود کردن فواصل میلگردها

هـ- محدود کردن حداقل ضخامت اعضا

۴-۴-۱- محدود کردن حداکثر عرض ترک

در طراحی سازه‌های مهندسی بهداشت محدود کردن حداکثر عرض ترک، برای آب‌بندی و تامین شرایط پایایی مورد نیاز، مهم‌ترین شرط حالت حدی بهره‌برداری می‌باشد. به این منظور حداکثر عرض ترک به علت نیروهای بهره‌برداری، در شرایط محیطی مختلف به مقادیر جدول (۴-۱) محدود می‌گردد.

جدول ۴-۱- حداکثر عرض ترک مجاز در شرایط محیطی مختلف [۳۲]

شرایط محیطی	حداکثر عرض ترک (میلی‌متر)
شرایط محیطی بسیار شدید (A)	۰/۱
شرایط محیطی شدید (B)	۰/۲
شرایط محیطی متوسط (C)	۰/۳

۴-۴-۲- کنترل تغییر شکل

تغییر شکل قسمت‌های مختلف سازه‌های مهندسی بهداشت باید با استفاده از روش‌های تحلیلی معتبر و سختی مقاطع ترک خورده محاسبه گردد. در این حالت سختی مقطع ترک خورده دال‌های تخت سقف که به عنوان عضو خمشی به کار می‌روند، باید برابر I_g ۰/۲۵ در نظر گرفته شود. در مورد سایر ضوابط و معیارهای مورد نیاز می‌توان به آیین‌نامه بتن ایران (آبا) مراجعه نمود.

۴-۴-۳- پوشش بتنی برروی میلگردها

پوشش بتنی خالص بر روی بیرونی‌ترین سطح میلگردهای فلزی، در اعضای بتنی که در تماس مستقیم و دائم با خاک قرار دارند، برابر ۷۵ میلی‌متر می‌باشد. در صورت وجود حداقل ۱۰۰ میلی‌متر بتن مگر و یا سه لایه پوشش قیر و گونی محافظت شده و یا سایر روش‌های مناسب محافظت شونده، می‌توان این مقدار را به ۵۰ میلی‌متر کاهش داد.

حداقل پوشش بتنی برای سایر قسمت‌های مخازن نیز برابر ۵۰ میلی‌متر می‌باشد. در صورت استفاده از بتن‌هایی با مقاومت فشاری بیش از ۴۰ مگاپاسکال می‌توان حداقل پوشش بتنی مورد نیاز را ۱۰ میلی‌متر کاهش داد.

در تمام موارد ذکر شده حداکثر رواداری پوشش بتنی (که باید به دقت کنترل گردد) برابر ۱۰میلی‌متر می‌باشد.

درصورتی‌که احساس شود شرایط محیطی سطح بتن به طور غیرعادی خورنده است، استفاده از مقادیر پوشش بتنی بزرگ‌تر تا حداکثر ۷۵ میلی‌متر، ضمن استفاده از طرح اختلاط بتن با پایایی مناسب در برابر عامل مهاجم مورد نظر و همچنین در صورت امکان پوشش‌های سطحی مناسب (طبق ضوابط فصل دوم این ضابطه) توصیه می‌گردد.

۴-۴-۴- حداکثر فاصله میلگردها

ضمن رعایت ضوابط آیین‌نامه بتن ایران (آبا)، حداکثر فاصله محور به محور میلگردها در تمام اجزای صفحه‌ای (دال‌ها و دیوارها) سازه‌های مهندسی بهداشت باید به ۱/۵ برابر ضخامت مقطع و همچنین ۲۵۰ میلی‌متر محدود گردد.

۴-۴-۵- حداقل ضخامت اجزای مخازن

حداقل ضخامت اجزای مختلف سازه‌های مهندسی بهداشت باید به نحوی تعیین شوند که علاوه بر برآورده کردن حداقل مقاومت مورد نیاز، تغییر شکل آن‌ها نیز در محدوده مجاز قرار داشته و آب‌بندی مناسب آن‌ها تامین شود.

با توجه به این‌که تراکم و اجرای صحیح بتن در سازه‌های مهندسی بهداشت برای اطمینان از آب‌بندی مناسب آن از اهمیت بالایی برخوردار است، حداقل ضخامت دیوارهای بتن مسلح در مجاورت آب برابر ۳۰۰ میلی‌متر می‌باشد. همچنین بهتر است به منظور اطمینان از آب‌بندی مناسب دیوارها، حداقل ضخامت قسمت تحتانی دیوارهای طره‌ای آزاد برابر یک‌دهم ارتفاع و دیوارهای مهار شده در قسمت بالایی برابر یک دوازدهم ارتفاع در نظرگرفته شود.

حداقل ضخامت دال سقف مخازن برابر ۲۰۰ میلی‌متر و دال کف مخازن برابر ۳۰۰ میلی‌متر و یا یک دوازدهم حداکثر ارتفاع مایع نگهداری شده بر روی آن می‌باشد. همچنین حداقل ضخامت اجزای غیرسازه‌ای نیز برابر ۱۵۰ میلی‌متر است.

۴-۵- طراحی

در سازه‌های نگهدارنده مایعات، اجزای صفحه‌ای و یا پوسته‌ای، قسمت‌های مهمی از سازه را تشکیل می‌دهند. این اجزا باید برای دو حالت زیرطراحی شوند:

۱- طراحی در مقابل نیروهای خارجی

۲- طراحی برای آثار حرارتی و یا جمع‌شدگی در صفحه دال یا دیوار

مشخصات و الزامات مربوط به مصالح مصرفی در سازه‌های مهندسی بهداشت و موارد مربوط به کنترل پایایی آن‌ها در فصل دوم این ضابطه شرح داده شده‌اند. انتظار می‌رود با رعایت این موارد، بتن به کار رفته در این سازه‌ها علاوه بر تامین حداقل مشخصات مقاومتی مورد نیاز، پایایی مناسبی نیز در طول عمر بهره‌برداری خود داشته باشد. این موضوع به ویژه در مورد قسمت‌هایی که تحت شرایط محیطی بسیار شدید قرار می‌گیرند از اهمیت بسیاری برخوردار است.

۴-۶- طراحی در مقابل نیروهای خارجی

مطابق این ضابطه طراحی سازه‌های مهندسی بهداشت در مقابل نیروهای خارجی به دو روش حالات حدی و تنش مجاز می‌تواند انجام پذیرد.

روش اصلی طراحی سازه‌های مهندسی بهداشت در این ضابطه، روش حالات حدی است. در این روش طراحی بر اساس روش کلی شرح داده شده در آیین‌نامه بتن ایران (آبا) انجام می‌گیرد. بنابراین طراحی اجزای این سازه‌ها باید بر مبنای تامین محدودیت‌های بهره‌برداری و حداقل مقاومت مورد نیاز انجام پذیرد. با این وجود در اکثر موارد در طراحی سازه‌های نگهدارنده مایعات حالت حدی بهره‌برداری (بر پایه محدود کردن حداکثر عرض ترک) حاکم خواهد شد.

فرض اساسی پذیرفته شده در طراحی مقاطع بتنی، خطی بودن توزیع کرنش در ارتفاع مقطع است. با این وجود درکنترل حالت حدی بهره‌برداری مخازن، فرض مربوط به تناسب تنش با کرنش نیز صادق بوده و در این حالت مخازن نباید عملکرد غیرخطی داشته باشند. در طراحی سازه مخازن از مقاومت کششی بتن و همچنین اضافه مقاومت ناشی از وجود آرماتورهای فشاری در مقطع نیز صرف نظر می‌شود.

۴-۶-۱- طراحی برای حالت حدی بهره‌برداری

محدود کردن حداکثرعرض ترک در سازه‌های مهندسی بهداشت مهم‌ترین مساله در حفظ شرایط بهره‌برداری آن‌ها می‌باشد. در این صورت ضمن آب‌بند کردن این سازه‌ها، پایایی آن‌ها در برابر شرایط محیطی مهاجم نیز بهبود می‌یابد. این امر به ویژه در سازه‌های بتنی که از میلگردهایی با تنش تسلیم بیش از ۳۰۰ مگاپاسکال در آن‌ها استفاده می‌شود از اهمیت فراوانی برخوردار است.

کنترل حداکثر عرض ترک در طراحی به روش حالات حدی، بر حسب مورد طبق یکی از روش‌های زیر انجام می‌شود:

۴-۶-۱-۱- کنترل عرض ترک برای اثر نیروی خمشی

برای محدود کردن حداکثر عرض ترک در بتن بر اثر خمش از یکی از سه روش کلی زیر می‌توان استفاده کرد:

الف- روش ضریب ترک Z

این روش بر مبنای رابطه تجربی گرگلی-لوتز[1] برای تیرها و دال‌های یک‌طرفه ارائه شده است. در این روش ضریب ترک(Z) برای تیرها و دال‌های یک‌طرفه به ترتیب با استفاده از روابط ۴-۱ و ۴-۲ محاسبه می‌شوند. اگر این مقدار با توجه به شرایط محیطی کم‌تر از مقادیر جدول (۴-۲) باشد، عرض ترک رضایت بخش در نظر گرفته می‌شود.

1- Gergely, P. & Lutz, L. A.

$$Z = f_s \sqrt[3]{d_c A} \qquad (۱-۴)$$

$$Z = f_s \sqrt[3]{2y^2 S} \qquad (۲-۴)$$

در روابط ۴-۱ و ۴-۲ مقادیر S، dc و y ابعاد دال و یا تیر مورد نظر هستند که طبق شکل (۴-۲) تعریف شده‌اند و باید بر حسب میلی‌متر اندازه‌گیری شوند. مقدار پارامتر A در تیرها نیز براساس رابطه ۴-۳ محاسبه می‌گردد.

$$A = \frac{2yb_w}{\text{تعداد میلگرد}} \qquad (۳-۴)$$

همچنین f_s تنش فولاد در حالت حدی بهره‌برداری (بارهای بدون ضریب) می‌باشد (بر حسب نیوتن بر میلی‌مترمربع). این مقدار را درصورتی‌که پوشش بتنی میلگردها برابر ۵۰ میلی‌متر باشد، می‌توان به طور تقریبی برابر نصف تنش تسلیم فولاد در نظر گرفت. درصورتی‌که پوشش بتنی میلگردها بیش‌تر از ۵۰ میلی‌متر باشد، مقدار f_s باید با استفاده از مشخصات هندسی مقطع ترک خورده و لنگر خمشی بدون ضریب (در حالت بهره‌برداری) محاسبه شود. در این حالت می‌توان به جای روش دقیق مقدار f_s را از رابطه تقریبی رابطه ۴-۴ نیز حساب کرد.

$$f_s = \frac{M}{A_s Jd} \equiv \frac{M}{A_s(\frac{7}{8})d} \qquad (۴-۴)$$

در رابطه ۴-۴ داریم:

M = لنگر خمشی بدون ضریب (N.mm)

A_s = سطح مقطع فولاد موجود (mm^2)

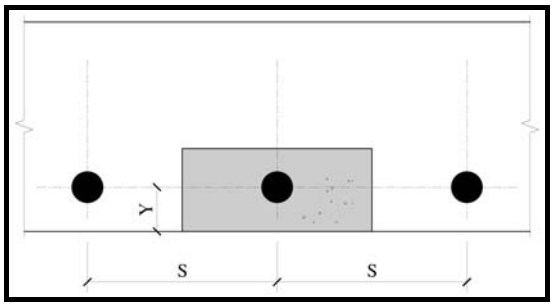
d = ارتفاع موثر مقطع(mm)

Jd= بازوی مقاوم داخلی (mm)

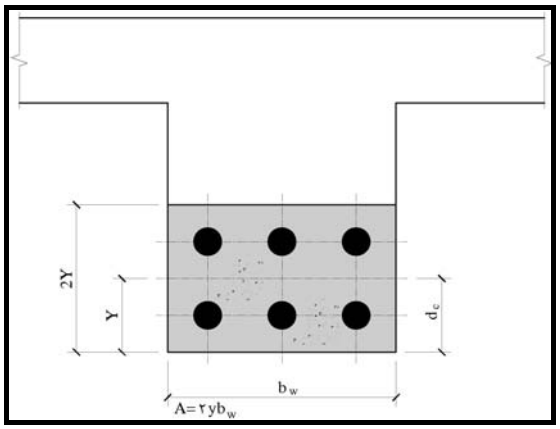
جدول ۴-۲- مقادیر حداکثر ضریب ترک مجاز در شرایط محیطی مختلف [۳۲]

شرایط محیطی	حداکثر عرض ترک (mm)	ضریب ترک مجاز(N/mm)(Z)*	
		تیرها	دال‌های یک‌طرفه
شرایط محیطی بسیار شدید (A)	۰/۱	۱۹۰۰۰ (۱۰۵)	۱۷۰۰۰ (۹۵)
شرایط محیطی شدید (B)	۰/۲	۲۳۵۰۰ (۱۳۰)	۲۰۵۰۰ (۱۱۵)
شرایط محیطی متوسط (C)	۰/۳	۲۶۰۰۰ (۱۴۵)	۲۳۵۰۰ (۱۳۰)

* اعداد داخل پرانتز مقدار ضریب ترک مجاز بر حسب kips/in می‌باشند.



الف- دال‌ها



ب- تیرها، (تمام ابعاد برحسب میلی‌متر محاسبه می‌شود)

شکل ۴-۲- پارامترهای مورد نیاز در محاسبه ضریب ترک (Z)

ب- روش محاسبه عرض ترک

در این روش عرض ترک (W) طبق رابطه ۴-۵ محاسبه می‌شود. طرح مخزن باید به گونه‌ای انجام شود که این مقدار محدودیت‌های جدول (۴-۱) را برآورده نماید. مقدار ε_m در رابطه (۴-۵) برای تیرها و دال‌ها به ترتیب طبق روابط ۴-۶ و ۴-۷ محاسبه می‌گردد. مقدار ε_1 نیز از رابطه ۴-۸ به‌دست می‌آید.

$$W = \frac{4.5 a_{cr} . \varepsilon_m}{1 + 2.5(\frac{a_{cr} - c}{h - x})} \qquad (۴-۵)$$

$$\varepsilon_m = \varepsilon_1 - \frac{b_t (h - x)(a' - x)}{3 E_s A_s (d - x)} \qquad (۴-۶) \text{ (تیرها)}$$

$$\varepsilon_m = \varepsilon_1 - \frac{0.7 b_t h}{A_s f_s} \times 10^{-3} \qquad (۴-۷) \text{ (دال‌ها)}$$

$$\varepsilon_1 = \frac{h - x}{d - x} \frac{f_s}{E_s} \qquad (۴-۸)$$

پارامترهای استفاده شده در روابط ۴-۵ تا ۴-۸ عبارتند از:

ε_1 = کرنش در تراز مورد نظر برای محاسبه عرض ترک، بدون در نظر گرفتن اثر سخت‌کنندگی بتن در ناحیه کششی

h = ارتفاع کلی مقطع (mm)

d = ارتفاع موثر (mm)

x = ارتفاع تار خنثی در حالت حدی بهره‌برداری(mm)

E_s = مدول الاستیسیته فولاد، مساوی ۲×۱۰۵ (N/mm^2)

f_s = تنش فولاد در حالت حدی بهره‌برداری (N/mm^2)، که مقدار آن مانند روش ضریب ترک خوردگی محاسبه می‌شود.

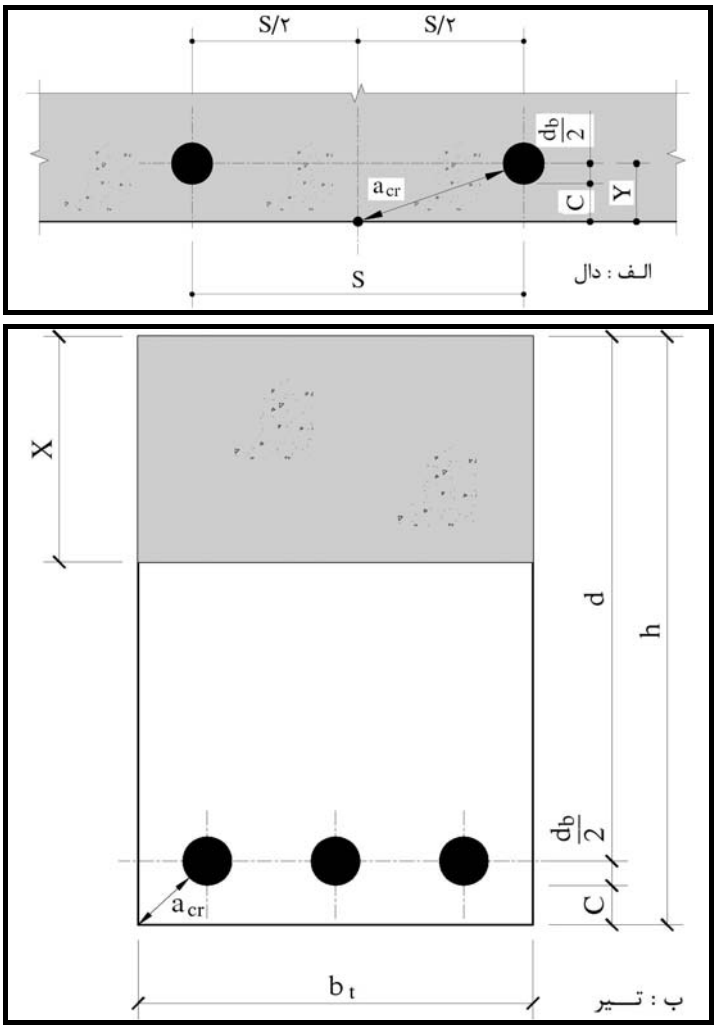
ε_m = کرنش در تراز مورد نظر برای محاسبه عرض ترک با در نظر گرفتن اثر سخت‌کنندگی بتن ناحیه کششی. اگر ε_m منفی به دست آید، عرض ترک رضایت بخش بوده و احتیاجی به محاسبه W نیست.

A_s = سطح مقطع فولاد موجود (mm^2)

a' = فاصله تار فشاری انتهایی، تا نقطه‌ای که عرض ترک در آن محاسبه می‌شود(mm).

bt= عرض مقطع در تراز فولادهای کششی (mm)

c و a_{cr} = ابعاد هندسی که طبق شکل (۴-۳) بر حسب میلی‌متر اندازه‌گیری می‌شوند.



شکل ۴-۳- پارامترهای مورد نیاز در محاسبه عرض ترک (W)

ج- روش محدودکردن تنش در میلگردهای کششی

روش‌های محاسبه و محدودکردن عرض ترک در مقطع بتنی، عمدتا براساس روش تجربی و احتمالی می‌باشد. در این روش به طور غیرمستقیم حداکثر تنش کششی مجاز میلگرد در حالت حدی بهره‌برداری (F_s) با توجه به شرایط محیطی محدود شده، و در نتیجه انتظار می‌رود حداکثر عرض ترک در مقطع نیز به مقادیر جدول (۴-۱) محدود گردد. در این روش مقدار تنش کششی در میلگردهای طولی در مقاطع تحت خمش بر اثر بارهای بهره‌برداری بدون ضریب (حالت حدی بهره‌برداری) f_s باید بر اساس رابطه ۴-۹ تعیین شده و با مقدار (F_s) مقایسه گردد.

$$f_s = \frac{M}{A_s J d} \qquad (۹-۴)$$

مقدار (F_s) در شرایط محیطی بسیار شدید (A) طبق رابطه ۴-۱۰ محاسبه می‌شود. این مقدار نیازی نیست که برای تیرها و دال‌های یک‌طرفه کم‌تر از ۱۲۰ مگاپاسکال و در دال‌های دوطرفه کم‌تر از ۱۴۰ مگاپاسکال در نظر گرفته شود.

$$F_s = \frac{45500}{\beta \times \sqrt{S^2 + 4 \times (50 + \frac{d_b}{2})^2}} \qquad (۱۰-۴)$$

مقدار (F_s) در شرایط محیطی شدید (B) طبق رابطه ۴-۱۱ محاسبه می‌گردد. مقدار این پارامتر نیازی نیست در تیرها و دال‌های یک‌طرفه کم‌تر از ۱۴۰ مگاپاسکال و در دال‌های دوطرفه کم‌تر از ۱۶۵ مگاپاسکال در نظر گرفته شود.

$$F_s = \frac{56000}{\beta \times \sqrt{S^2 + 4 \times (50 + \frac{d_b}{2})^2}} \qquad (۱۱-۴)$$

در محاسبه مقدار (F_s) برای میلگردهای خمشی باید موارد زیر را نیز در نظر گرفت:

- مقدار (F_s) در هیچ حالتی نباید بیش‌تر از ۲۱۰ مگاپاسکال در نظر گرفته شود؛
- مقدار دقیق β با استفاده از رابطه ۴-۱۲ محاسبه می‌شود. در این رابطه مقدار c که برابر فاصله محور خنثی تا بیرونی‌ترین تار فشاری است، باید بر اساس لنگر خمشی ناشی از بارهای بهره‌برداری (بدون ضریب) تعیین گردد. در صورت عدم انجام محاسبات دقیق، می‌توان مقدار β را برای مقاطع با ضخامت کل بیش از ۴۰۰ میلی‌متر برابر ۱/۲ و برای سایر مقاطع برابر ۱/۳۵ در نظر گرفت.

$$\beta = \frac{h - c}{d - c} \qquad (۱۲-۴)$$

۴-۶-۱-۲- کنترل عرض ترک برای اثر نیروی محوری کششی مستقیم (کشش حلقوی)

برای کنترل عرض ترک در اعضای کششی، می‌توان دو روش در پیش گرفت. روش اول استفاده از ضریب ترک (Z) می‌باشد. در این صورت توصیه می‌شود ضریب ترک محاسبه‌شده با استفاده از روابط (۴-۱) و (۴-۲) (که در محاسبه آن‌ها f_s برابر نیروی محوری کششی بدون ضریب می‌باشد)، ده درصد افزایش داده شود.

روش دوم محدودکردن حداکثر تنش (F_s) در میلگردهای کششی مستقیم است. در این حالت، درصورتی‌که شرایط محیطی بسیار شدید (A)، شدید (B) و یا متوسط (C) باشد، عرض ترک در صورتی رضایت‌بخش است که تنش کششی این میلگردها به ترتیب به ۱۲۰، ۱۴۰ و ۱۸۰مگاپاسکال محدود شود.

۴-۶-۱-۳- کنترل عرض ترک برای اثر نیروی محوری کششی به علاوه لنگر خمشی

در این حالت، باتوجه به دردسترس نبودن روش منطقی برای محاسبه‌ی عرض ترک، برای کنترل عرض ترک ضمن رعایت موارد ذکرشده در قسمت‌های الف و ب، با توجه به اختلاف محدودیت‌های ارائه شده برای حداکثر تنش میلگردها در حالت حدی بهره‌برداری، مربوط به حالت نیروی محوری کششی و لنگر خمشی، برای درنظرگرفتن اثر اندرکنش این دو نیرو می‌توان از رابطه ۴-۱۳ استفاده کرد.

$$\frac{f_{st}}{F_{st}}+\frac{f_{sb}}{F_{sb}}\le 1 \qquad (۱۳-۴)$$

در رابطه ۴-۱۳:

f_{st} = حداکثر تنش کششی موجود در میلگردها به علت نیروی محوری کششی بدون ضریب؛

F_{st} = حداکثر تنش کششی محدودشده در حالت کششی مستقیم (روش مندرج در قسمت ب بند ۴-۶-۱-۲)؛

f_{sb} = حداکثر تنش کششی موجود در میلگردها به علت لنگر خمشی بدون ضریب؛ و

F_{sb} = حداکثر تنش کششی محدود شده در حالت خمشی (روش مندرج در قسمت ج بند ۴-۶-۱-۱).

در این حالت، استفاده از روش ضریب ترک (Z) نیز با استفاده از روابط ۴-۱ و ۴-۲ قابلقبول است، تنها لازم است تنش fs فولاد به علت اثر توام نیروی محوری و لنگر خمشی به دست آید.

۴-۶-۱-۴- کنترل عرض ترک برای اثر نیروی برشی

بخشی از نیروی برشی ایجاد شده در مقاطع بتنی مسلح توسط نیروی به‌وجودآمده در آرماتورهای برشی تحمل می‌شود. برای کنترل عرض ترک بر اثر نیروی برشی در مقاطع بتنی، باید حداکثر تنش به‌وجودآمده در این آرماتورها بر اثر نیروی برشی (F_s) را در شرایط محیطی بسیار شدید (A)، شدید (B) و متوسط (C)، به ترتیب به ۱۴۰، ۱۶۵ و ۲۱۰ مگاپاسکال محدود کرد.

۴-۶-۲- طراحی برای حالت حدی مقاومت

طراحی برای حالت حدی مقاومت، طبق اصول موجود در سازه‌های بتن مسلح معمولی (ضوابط آیین نامه بتن ایران- آبا) صورت می‌گیرد. با توجه به این‌که مخازن آب شرب شهرها، سازه‌هایی صلب بوده و بخشی از شریان‌های حیاتی می‌باشند، لازم است ضوابط سازه‌های با شکل‌پذیری متوسط برای طراحی تیرها، ستون‌ها، دیوارهای برشی داخلی و اتصالات آن‌ها رعایت شود. همچنین در مورد طراحی مخازن رعایت نکات زیر نیز ضروری می‌باشد:

الف- ترکیبات بارگذاری

حداقل ترکیبات بارگذاری که باید در نظر گرفته شوند، در جدول (۳-۳) آورده شده‌اند. با این وجود، با توجه به شرایط خاص پروژه ممکن است نیاز به درنظرگرفتن ترکیبات بارگذاری بیش‌تر و یا ضرایب بارگذاری بزرگ‌تر نیز وجود داشته باشد. به عنوان مثال، در ترکیبات بارگذاری یادشده، اثرات ناشی از بار باد، انفجار و ... در نظر گرفته نشده است.

ب- ضریب پایایی (S_d)

برای حفظ پایایی، آب‌بندی و سایر ضوابط بهره‌برداری مشابه، باید مخازن علاوه بر ترکیبات بارگذاری ذکرشده در فصل سوم، برای ترکیبات بارگذاری تشدیدشده با استفاده از ضریب پایایی (S_d) نیز کنترل گردند. در این صورت مقادیر تنش در آرماتورها نیز با احتمال بیش‌تری جوابگوی حالت بهره‌برداری خواهند بود. به‌هرحال در صورت استفاده از این ضریب، ضوابط مربوط به کنترل حداکثر عرض ترک طبق بند ۴-۶-۱ باید بررسی و برآورده شوند. مقدار ضریب پایایی طبق رابطه ۴-۱۴ (و یا جدول ۴-۳) محاسبه می‌شود.

$$S_d = \frac{f_y}{F_s} \qquad (۱۴-۴)$$

در این رابطه:

f_y = تنش تسلیم آرماتورهای فولادی؛ و

F_s = حداکثر تنش مجاز در آرماتورها طبق بند ۴-۶-۱.

جدول ۴-۳- ضرایب پایایی (S_d) [۳۲]

حالت	ضریب پایایی (S_d)
خمش	۱/۳
کشش مستقیم	۱/۶۵
برش	۱/۳۰
فشار و اثر توام فشار و خمش	۱

موارد زیر نیز باید در محاسبه و استفاده از ضریب پایایی (S_d) در نظر گرفته شوند:

- در ترکیبات بارگذاری که از ضریب پایایی استفاده می‌شود، سایر ضرایب بارگذاری باید برابر یک در نظر گرفته شوند. همچنین، در این صورت می‌توان از ضرایب ایمنی جزئی مقاومت نیز صرف‌نظر کرد؛
- با توجه به غیردائمی‌بودن ترکیبات بارگذاری که در آن‌ها نیروی زلزله وجود دارد، و عدم نیاز به کنترل عرض ترک برای آن‌ها، نیازی به اعمال ضرایب پایایی در این ترکیبات بارگذاری وجود ندارد؛
- در طراحی قسمت‌هایی که همواره تحت فشار قرار دارند، می‌توان ضریب پایایی را برابر یک در نظر گرفت؛ و

- در طراحی مقاطع در برابر برش، می‌توان ضریب پایایی را تنها به قسمتی از نیروی برشی که توسط میلگردها تحمل می‌شود ($v_u - v_c$)، اعمال کرد. همچنین با توجه به گذرابودن نیروی زلزله، در ترکیباتی از بارگذاری که در آن‌ها نیروی زلزله وجود دارد، اعمال ضرایب پایایی لازم نیست.

ج- طول مهاری و طول وصله

طول مهاری و طول وصله با توجه به نوع میلگرد و رده بتن مصرفی، طبق روابط و مشخصات موجود در آیین‌نامه بتن ایران (آبا) محاسبه می‌شود. با این حال در مورد طول وصله، مقدار محاسبه‌شده برای میلگردهای حرارتی نباید از ۵۵ برابر قطر میلگرد و برای میلگردهای محاسباتی از ۴۰ برابر قطر میلگرد کم‌تر باشد. همچنین، در مخازن استوانه‌ای برای میلگردهای مربوط به نیروی کششی حلقوی، طول وصله نباید از ۶۰ برابر قطر میلگرد کم‌تر باشد.

د- حداقل میلگردهای موردنیاز

حداقل میلگردهای کششی در محل‌های احتمالی تشکیل مفاصل پلاستیک در نواحی نزدیک به محل اتصال دیوار به دال کف مخزن، با استفاده از رابطه ۴-۱۵ تعیین می‌گردد:

$$\rho_{min} = \frac{\sqrt{f_c}}{4f_y} \qquad (۱۵-۴)$$

همچنین حداقل میلگردهای مربوط به کشش حلقوی در دیوارهای پیرامونی مخازن استوانه‌ای نیز باید با استفاده از رابطه ۴-۱۶ محاسبه گردد:

$$\rho_{min} = \frac{0.05f'_c}{f_y} \qquad (۱۶-۴)$$

ه- میلگردهای افقی در مخازن

در قسمت‌های گوشه (در مخازن مستطیلی) و محل تقاطع با سایر دیوارها، در صورت نیاز باید از میلگردهای تقویتی افقی استفاده شود. مقدار و محل قطع این میلگردها بر اساس نتایج تحلیل سه بعدی مخازن مشخص می‌گردد. باید توجه نمود که در این حالت ممکن است نیروهای داخلی بر مبنای حداکثر خمش ممکن نمایان‌گر بحرانی‌ترین حالت نبوده و نیروهای داخلی با کشش حداکثر در ترکیب با خمش، مقدار بحرانی‌تری را به‌دست دهند. به غیر از این میلگردهای افقی، در سایر قسمت‌های مخازن باید حداکثر مقدار میلگرد افقی موردنیاز در دیوارها، در تمام طول آن‌ها به منظور توزیع بهتر تنش‌ها و جلوگیری از ترک‌خوردگی امتداد داده شوند.

۴-۷- طراحی در مقابل آثار حرارتی و جمع‌شدگی در صفحه دال یا دیوار

در اثر تغییر دما و یا آثار ناشی از جمع‌شدگی، در صفحه دیوار یا سقف، تغییر طول‌های صفحه‌ای به وجود می‌آید. اگر دیوار یا سقف در مقابل این تغییر طول‌ها آزادی حرکت داشته باشند، هیچ‌گونه تنشی در آن‌ها به وجود نمی‌آید. لیکن اگر از این تغییر طول‌ها ممانعت به عمل آید، تنش‌هایی در دیوار یا سقف به وجود می‌آید که می‌تواند باعث ایجاد ترک در بتن گردد.[۱]

۴-۷-۱- تغییرات دما

به طور کلی در سازه‌های بتن مسلح دو نوع تغییر دما وجود دارد. اولین نوع تغییر دما در روزهای اولیه‌ی عمر بتن (T_1) که در آن به علت گرمای آبگیری (هیدراسیون) سیمان، دمای بتن افزایش می‌یابد و پس از اتمام این فرآیند، بتن رفته‌رفته سرد می‌شود تا با محیط اطراف هم‌دما شود. در این حالت با توجه به نارس‌بودن، بتن مقاومت کششی ناچیزی دارد و تنش‌های ناشی از تغییرات دمای فوق‌الذکر می‌تواند ترک‌هایی در بتن ایجاد نماید که به ترک‌های زودرس حرارتی معروفند. دومین نوع تغییر دما مربوط به دمای فصلی و روزانه بتن سازه (T_2) می‌باشد، که اگر اجزای سازه آزادی حرکت مناسب در مقابل این تغییر طول‌ها را نداشته باشند، در معرض تنش و ترک‌خوردگی قرار می‌گیرد.

به منظور ساده‌سازی محاسبات و با توجه به اثر خزش در بتن نارس و اثر چسبندگی فولاد به بتن، در بتن سخت‌شده، فرض می‌شود انجام تحلیل حرارتی سه بعدی مخزن بر مبنای مقادیر ارائه شده در بند ۳-۴-۲ کافی بوده و مخزن طرح شده در برابر ترک‌خوردگی بر اثر هر دو نوع تغییرات دمای ذکر شده مقاوم است. به هر حال، رعایت حداقل مقادیر میلگردهای ذکرشده در بند ۴-۷-۴ الزامی می‌باشد.

۴-۷-۲- میلگردهای حرارتی و جمع‌شدگی

برای کنترل عرض ترک‌های ناشی از تنش‌های صفحه‌ای حرارتی و همچنین حفظ پیوستگی کلی سازه در قسمت‌هایی که آرماتورهای محاسباتی مقدار بسیار کمی دارند، میلگردهایی در دو امتداد عمود بر هم در اجزای صفحه‌ای مخازن قرار داده می‌شود که به میلگردهای حرارتی و جمع‌شدگی موسوم می‌باشند. با توجه به اهمیت حالت حدی بهره‌برداری مخازن، نقش میلگردهای حرارتی در آن‌ها به مراتب مهم‌تر از سازه‌های معمولی می‌باشد.

در مورد میلگردهای حرارتی تذکر دو نکته لازم است:

۱- برای اطلاعات بیش‌تر در این مورد و محاسبه دقیق‌تر مقاومت بتن در برابر ترک‌های حرارتی، می‌توان به مرجع شماره ۸۱ مراجعه کرد.

- میلگردهای حرارتی به صورت معیار حداقل در محاسبات منظور می‌شوند. این جمله بدین معناست که میلگردهای حرارتی لازم، هیچ وقت بر میلگردهای محاسبه شده به علت نیروهای خارجی افزوده نمی‌شوند، بلکه همواره مقایسه‌ای بین آن‌ها صورت می‌گیرد و در صورت کوچک‌تربودن مقدار میلگردهای محاسباتی، مقدار مربوط به میلگردهای حرارتی منظور می‌گردد؛ و
- مقدار میلگردهای حرارتی، ارتباط معکوس با آزادی تغییر طول سازه در مقابل تغییرات دما دارد. هرچه آزادی تغییر طول سازه بیش‌تر باشد، مقدار میلگردهای حرارتی لازم، کم‌تر و هرچه آزادی تغییر طول سازه کم‌تر باشد، مقدار میلگردهای حرارتی لازم، بیش‌تر می‌شود. بنابراین قبل از بحث درباره‌ی مقدار میلگردهای حرارتی، لازم است راجع به درزها که در واقع تدابیر تامین‌کننده‌ی آزادی تغییر طول سازه می‌باشند، بحث گردد.

۴-۷-۳- درزها

درزها به دو دسته درزهای اجرایی[1] و درزهای حرکتی[2] طبقه‌بندی می‌شوند. تمام درزهای سازه به همراه نوع و جزییات اجرایی آن‌ها باید به دقت در نقشه‌های اجرایی سازه‌های مهندسی بهداشت مشخص شده، و به تایید مشاور و پیمانکار برسند. در هنگام اجرا نمی‌توان هیچ نوع درزی را به درزهای درنظرگرفته‌شده در نقشه‌ها اضافه و یا کم کرد و یا محل آن‌ها را تغییر داد، مگر اثر آن‌ها در طراحی سازه و کنترل ترک‌خوردگی بتن بررسی شده و به تایید مهندس طراح برسد. به هر حال، باید با انجام پیش‌بینی‌های لازم و تامین امکانات اجرایی مناسب از ایجاد درزهای ناخواسته در سازه‌های مهندسی بهداشت به طور جدی جلوگیری به عمل آید.

۴-۷-۳-۱- درزهای اجرایی

به ندرت می‌توان سازه‌ای را به صورت یکپارچه ساخت. بنابراین لازم است در نقاط مختلف سازه، درزهای اجرایی تعبیه گردد تا امکان اجرای سازه فراهم شود. در سازه‌های نگه‌دارنده‌ی مایعات، محل درزهای اجرایی باید با توجه به نیروهای داخلی اعضا و امکانات اجرایی، طبق نظر مهندس طراح به طور دقیق بر روی نقشه های اجرایی مشخص گردد. با توجه به درزهای حرکتی مختلفی که لازم است در سازه‌های نگه‌دارنده‌ی مایعات تعبیه گردد، بهتر است محل قطع عملیات اجرایی منطبق بر یکی از این درزها انتخاب شود، در این صورت از درزهای کم‌تری در سازه استفاده می‌شود.

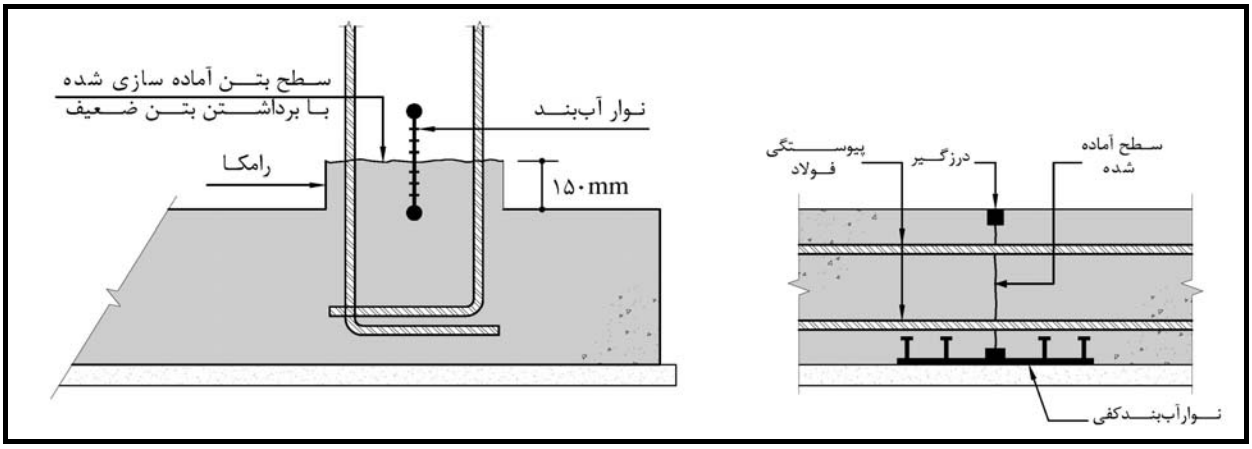
در درزهای اجرایی، بتن قطع می‌شود اما تمام میلگردها پیوستگی خود را حفظ می‌کنند (شکل ۴-۴). اصولا هدف از ایجاد درز اجرایی، تامین آزادی حرکت لازم در مقابل تغییر طول در سازه نمی‌باشد. با این وجود به علت جمع‌شدگی بتن، ممکن است بین دو سطح تماس، جدایی ایجاد شده و مانع عملکرد مورد انتظار درز شود. این جدایی را می‌توان با آماده‌سازی سطح

1- Construction Joints
2- Movement Joints

بتنی که زودتر ریخته شده کاهش داد. برای این منظور، سطح تماس به‌طورقائم قالب‌بندی‌شده و در عمر ۵ روزه به روش مناسبی تمیز و از دوغاب خشک عاری شده و عمدا ناهموار می‌گردد، به طوری که عمق ناهمواری تقریبا ۶ میلی‌متر باشد. در هنگام بتن‌ریزی قسمت‌های جدید، ضمن اشباع‌بودن سطح بتن‌های مرحله‌ی قبل، نباید هیچ‌گونه رطوبت آزادی در سطح درز وجود داشته باشد. به منظور اطمینان از آب‌بندی کامل درزهای اجرایی، باید ضمن استفاده از نوارهای آب‌بند، از مواد درزگیر با مشخصات مناسب (طبق ضوابط فصل پنجم این ضابطه) نیز در این درزها استفاده گردد.

برای انتقال برش در درزهای اجرایی رعایت ضوابط ذکرشده در بالا کافی بوده و به طور معمول احتیاجی به استفاده از کلید (کام و زبانه) و یا میلگردهای برشی اضافی در این درزها نمی‌باشد. اما در صورت نیاز باید جزییات اجرایی مناسبی ارائه شده و نظارت کارگاهی دقیقی نیز بر اجرای صحیح آن اعمال گردد.

در محل درز اجرایی اتصال دیوار به دال کف (مطابق شکل ۴-۴- ب)، اگر رامکا به طور یکپارچه با بتن کف اجرا گردد، کمک موثری در تثبیت قالب‌های دیوار در جای خود خواهد بود. در صورت استفاده از این روش باید تراکم کافی بتن رامکا مورد توجه قرار گیرد.



الف- درز اجرایی با درزگیر **ب- درز اجرایی در محل اتصال دیوار به کف**

شکل ۴-۴- درز اجرایی

۴-۷-۳-۲- درزهای حرکتی

برای تامین آزادی حرکت در مقابل تغییر طول‌های حرارتی باید درزهای حرکتی مناسب در محل‌های لازم تعبیه گردد. درزهای حرکتی به سه دسته درزهای انقباضی[1]، انبساطی[2] و لغزشی[3] تقسیم می‌شوند.

1- Contraction Joints
2- Expansion Joints
3- Sliding Joints

با توجه به تجربیات کسب‌شده، به‌طورکلی تمامی درزهای حرکتی و به ویژه درزهای انبساطی در درازمدت محل‌های احتمالی نشت در مخازن هستند. بنابراین، با توجه به سختی تعمیر این درزها، باید استفاده از آن‌ها تا حد امکان محدود شود. با این وجود در صورت افزایش فاصله بین درزهای حرکتی، احتمال ترک‌خوردگی مخزن بر اثر تغییرات حجمی بتن و مقیدبودن آن نیز افزایش پیدا می‌کند. در مجموع بهترین روش، افزایش فاصله بین درزها (به ویژه درزهای انبساط) تا حد ممکن و همچنین افزایش مقدار میلگردهای حرارتی و جمع‌شدگی می‌باشد.

با توجه به مقید بودن دال کف مخازن بر روی زمین، معمولا لزومی به استفاده از درزهای حرکتی در آن به‌منظور آزادسازی کرنش‌های حرارتی و جمع‌شدگی وجود ندارد. همچنین، استفاده از درزهای حرکتی در دیوار مخازن استوانه‌ای[1] مجاز نمی‌باشد. این نوع مخازن به طور معمول با استفاده از درزهای اجرایی تا قطر ۴۵ متر نیز ساخته می‌شوند.

الف- درزهای انقباضی

درزهای انقباضی، درزهایی هستند که در آن‌ها یکپارچگی بتن در سطح تماس درز کاملا از بین می‌رود، اما پیوستگی بخشی از میلگردها ممکن است حفظ گردد و یا به‌طورکامل از بین برود. در درز انقباضی، بتن جدید کاملا درکنار بتن قدیم ریخته‌شده و هیچ‌گونه فاصله‌ای بین آن‌ها منظور نمی‌گردد. بنابراین در درز انقباضی، سطوح در حال تماس فقط می‌توانند از یکدیگر دور شوند.

با توجه به میزان قطع میلگردها، درزهای حرکتی انقباضی به دو نوع کامل[2] و جزیی[3] تقسیم می‌شوند. در درز انقباضی کامل تمام میلگردهای خمشی در مقطع قطع می‌شوند. (شکل ۴-۵ الف و ب) در حالی که در درزهای انقباضی جزیی حداکثر تا ۵۰ درصد این میلگردها می‌توانند در مقطع ادامه داشته باشند (شکل ۴-۵- ج و د). اگر بیش از ۵۰ درصد میلگردها از مقطعی عبور کنند، مقطع نمی‌تواند آزادی حرکت مورد نیاز را برآورده کند و عملا درز انقباضی محسوب نمی‌شود.

درصورتی‌که در درزهای انقباضی جزیی میلگردها به نحو مناسبی در برابر خوردگی محافظت شوند، می‌توان از محدودیت حداکثر تنش بهره‌برداری میلگردها در محدوده آن صرفنظر کرد. در این صورت، این میلگردها باید حداقل ۱/۷ برابر طول مهاری در هر دو سمت درز امتداد داشته باشند. با درنظرگرفتن این مساله ممکن است بتوان با حداکثر ۵۰ درصد مساحت میلگردها نیز مقاومت خمشی مورد نیاز را در مقطع درز انقباضی جزیی، کسب کرد.

۱- تنها در مخازن استوانه‌ای غیرپیش‌ساخته و غیرپیش‌تنیده‌ای که تنش کششی حلقوی نقش اساسی در حفظ پایداری آنها دارد، در صورت صرف‌نظرکردن از نیروی کشش حلقوی می‌توان از درزهای انبساطی در دیوارهای مخازن استوانه‌ای بسیار بزرگ (که عملکرد خمشی دارند) نیز استفاده کرد.

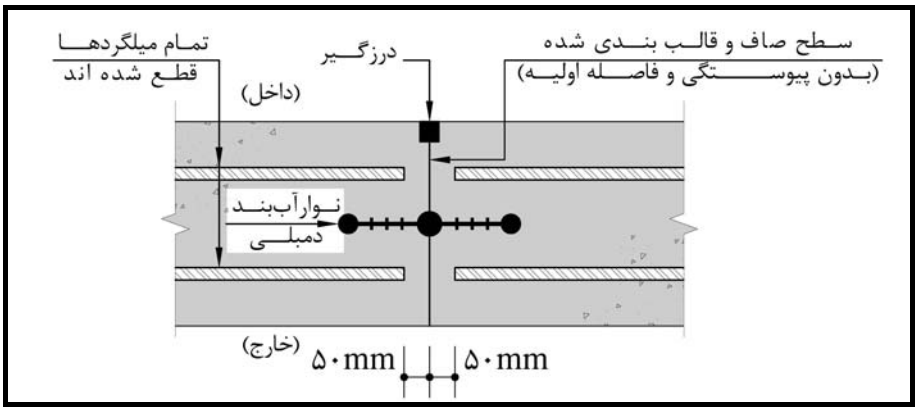
2- Full Contraction Joint

3- Partial Contraction Joint

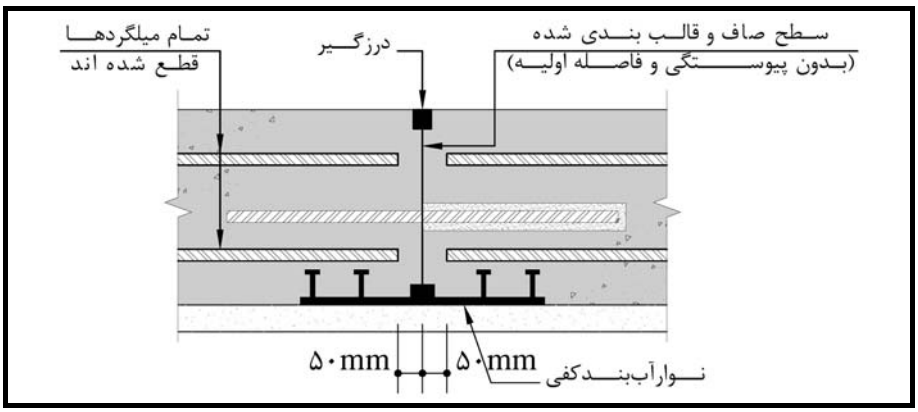
در محل درزهای انقباضی استفاده از نوار آب‌بند و مواد درزگیر ضروری است. در این درزها قطع بتن باید به صورت قائم بوده و دارای سطحی صاف باشد. در صورت نیاز، می‌توان در این درزها از کلید برشی (کام و زبانه) و یا میلگردهای برشی اضافی به منظور تامین مقاومت برشی موردنیاز استفاده کرد.

به طور کلی بهتر است حداکثر فاصله درزهای انقباضی کامل (با توجه به ضخامت عضو، شرایط آب و هوایی و...) در حدود ۱/۵ تا ۲ برابر ارتفاع دیوار، درنظرگرفته شود. در صورت استفاده از درزهای انقباضی جزیی بهتر است فاصله میان آن‌ها به دو سوم مقادیر بالا محدود شود.

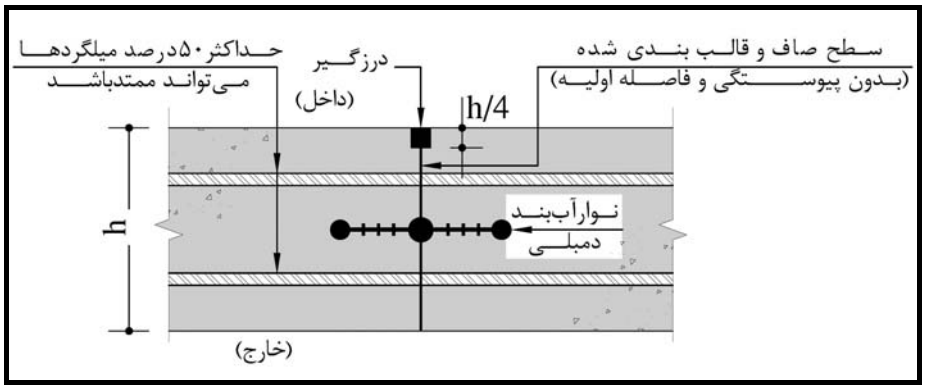
درصورتی‌که حفظ پیوستگی عملیات بتن‌ریزی مدنظر باشد، می‌توان از درز انقباضی القایی مطابق شکل (۴-۶) استفاده کرد. در این نوع درز با تضعیف مقطع بتن ضمن حفظ پیوستگی در بتن‌ریزی، عمدا مقطع تضعیف‌شده‌ای به وجود آورده می‌شود تا ترک احتمالی در همین مقطع به وجود آید. در درزهای انقباضی القایی باید حداقل ۲۵ درصد ضخامت مقطع و یا ۵۰ میلی‌متر در هر سمت آن، ظرف حداکثر سه روز پس از بتن‌ریزی، به صورت شیاری قطع گردد. به این منظور، می‌توان از نوارهای آب‌بند با زایده‌های میانی مناسب نیز استفاده کرد.



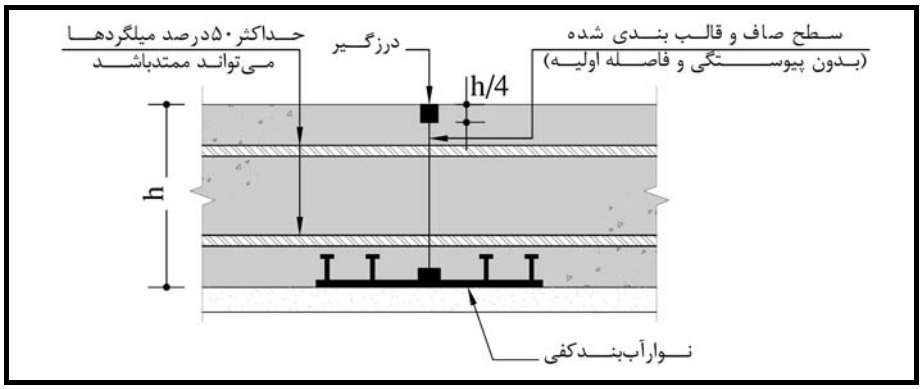
الف- درز انقباضی کامل در دیوار



ب- درز انقباضی کامل در کف

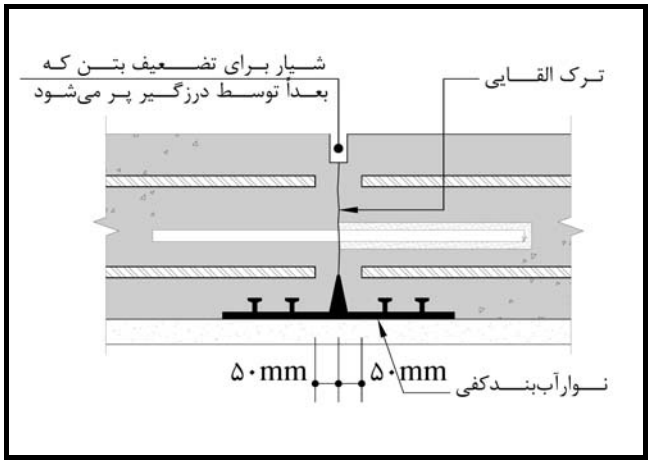


ج- درز انقباضی جزیی در دیوار



د- درز انقباضی جزیی در کف

شکل ۴-۵-درزهای انقباضی [۳۲]



شکل ۴-۶- درز انقباضی کامل القایی در کف [۳۲]

ب- درزهای انبساطی

در درزهای انبساطی علاوه بر قطع بتن و تمام میلگردها در محل درز، بین سطوح درز نیز فاصله‌ای ایجاد می‌گردد (مقدار آن با توجه به فاصله میان درزهای انبساطی تعیین می‌گردد). در نتیجه درز انبساطی، درز حرکتی کامل است که در آن دو سطح مجاور می‌توانند نسبت به یکدیگر دور یا به هم نزدیک شوند (شکل ۴-۷).

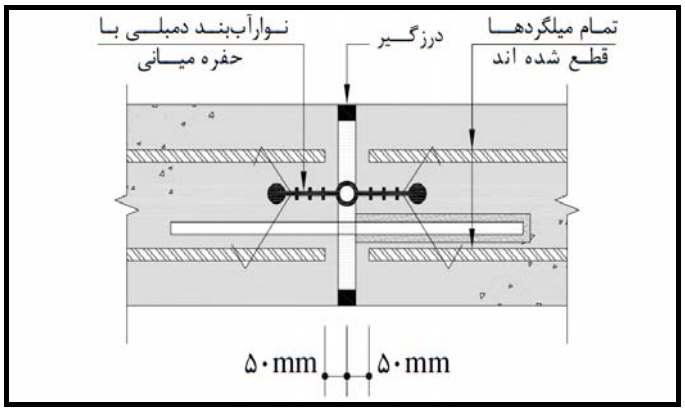
برای آب‌بندکردن درزهای انبساطی باید از نوار آب‌بند، مواد درزگیر و پرکننده‌ی مناسب استفاده نمود. ابعاد و مشخصات این مصالح در فصل پنجم این ضابطه و نشریه ۱۲۴ تحت عنوان «مشخصات فنی عمومی مخازن آب زمینی» آورده شده است. به‌هرحال این مصالح باید غیرسمی بوده و با توجه به شرایط محیطی، از پایایی مناسبی در طول عمر بهره‌برداری سازه‌های نگه‌دارنده‌ی مایعات برخوردار باشند.

اختلاف نوارهای آب‌بند انبساطی با نوارهای آب‌بند انقباضی، وجود حفره‌ای توخالی در وسط نوار آب‌بند انبساطی برای تامین آزادی حرکات لازم است. همچنین نوار آب‌بند دال کف، به منظور جلوگیری از باقیماندن حباب هوا در زیر آن باید در قسمت تحتانی اجرا شود.

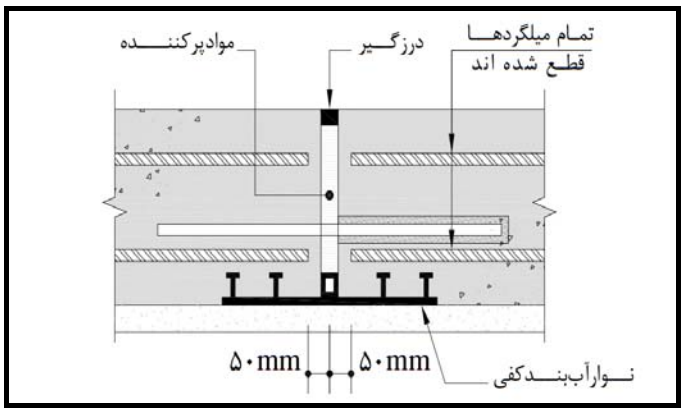
درصورتی‌که نیاز باشد درز انبساطی برای انتقال نیروی برشی طراحی گردد، باید از میلگردهای برشی[1] در مقطع با فواصل حداکثر ۴۵۰ میلی‌متر و با جزییاتی شبیه به شکل (۴-۸) استفاده شود. سطح مقطع این میلگردها باید با توجه به حداکثر نیروی برشی قابل‌انتقال در مقطع بتنی تعیین شود. طول این میلگردها نیز باید حداقل ۳۰ برابر قطر آن‌ها بوده و اتصال نیمی از طول آن‌ها به صورت یک در میان با بتن قطع گردد (با استفاده از روغن کاری). در انتهای سمتی که اتصال میلگرد برشی با بتن قطع شده است، باید یک کلاهک مناسب به منظور ایجاد امکان جابجایی‌های درون‌صفحه‌ای درنظرگرفته شود. در این حالت، از جابجایی برون‌صفحه‌ای درز جلوگیری خواهد شد.

در عمل با توجه به موارد متعدد خرابی درزهای انبساط در طول عمر بهره‌برداری و نشت آب از آن‌ها و با در نظر گرفتن مشکلات تعمیر این درزها، بهتر است تا حد امکان استفاده از این درزها محدود شود. با این وجود با توجه به هندسه مخزن، امکانات اجرایی و...، به منظور عدم افزایش بیش از حد میلگردهای حرارتی و جمع‌شدگی، به طور معمول در دیوارها و دال سقف مخازن حداکثر در هر ۴۵ متر از درزهای انبساطی استفاده می‌شود. در صورت صلاحدید مهندس طراح، می‌توان با محاسبه دقیق مقدار (ΔT) و تحلیل حرارتی سه‌بعدی سازه، به منظور تعیین دقیق میلگردهای حرارتی و جمع‌شدگی مورد نیاز، در شرایط خاص فاصله میان درزهای انبساط را تا حداکثر ۹۰ متر نیز افزایش داد (به هر حال نباید مقدار این میلگردها کم‌تر از مقادیر جدول (۴-۴) در نظر گرفته شود). حداکثر فاصله درزهای انبساطی در دال کف مخازن نیز برابر ۹۰ متر می‌باشد.

1- Dowel Reinforcement

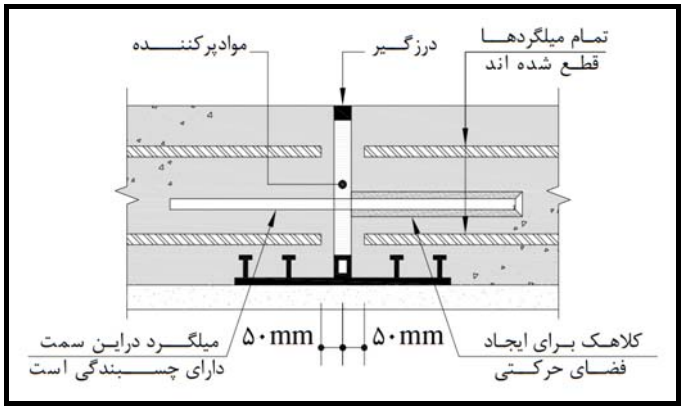


الف- درز انبساطی در دیوار (با اجرای میلگرد برشی)



ب- درز انبساطی در کف (با اجرای میلگرد برشی)

شکل ۴-۷- درزهای انبساطی

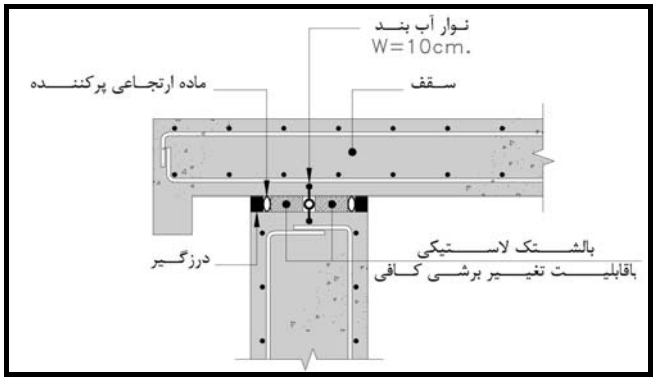


شکل ۴-۸- درز انبساطی با شاخک برشی برای حمل نیروی برشی در درز

ج- درزهای لغزشی

درزهای لغزشی درزهایی هستند که در محل تکیه‌گاه سقف و دیوار وقتی که انتهای فوقانی دیوار آزاد در نظـر گرفتـه می‌شود، مورد استفاده قرار می‌گیرند (شکل ۴-۹).

اجرای این درزها، مخصوصا در پای دیوار که فشار ایستابی قابل‌توجه است، باید تحت شرایط اجرایی و نظارتی ویژه‌ای صورت پذیرد. همچنین پایداری آن‌ها تحت تغییرمکان‌های مورد انتظار، باید بررسی شود.



الف- درز لغزشی در محل اتصال سقف روی دیوار

شکل ۴-۹- درز لغزشی در محل اتصال سقف روی دیوار [۳۲]

۴-۷-۴- کنترل عرض ترک‌های حرارتی و جمع‌شدگی

به منظور کنترل عرض ترک‌های حرارتی و جمع‌شدگی در مخازن نگهدارنده مایعات، می‌توان از روش‌های زیر استفاده کرد:

- محدود کردن دامنه تغییرات دما و رطوبت؛
- کاهش گیرداری‌های سازه با استفاده از درزهای حرکتی؛
- کنترل عرض ترک‌ها و توزیع آن‌ها درمیان درزهای حرکتی با کاربرد فولادهای حرارتی؛
- کاهش تغییرات شرایط حرارتی و رطوبتی در ضخامت عضو؛
- پر کردن تدریجی مخازن، تجربه نشان داده است که این امر اثر مثبتی در کاهش ترک‌خوردگی سازه دارد. در این مورد افزایش ارتفاع مایع به میزان یک متر در ۲۴ ساعت قابل توصیه می‌باشد؛
- افزایش کیفیت و نحوه عمل‌آوری بتن، برای کنترل ترک‌های حرارتی در بتن ضروری است که تا حد امکان عیار مواد سیمانی، نسبت آب به مواد سیمانی و دمای بتن‌ریزی کاهش و همچنین حداکثر اندازه سنگدانه مصرفی و مدت زمان عمل‌آوری افزایش یابند. استفاده بهینه از مواد پوزولانی مناسب (مطابق مشخصات فصل دوم این نشریه) نیز می‌تواند در این امر موثر باشد.

در میان توصیه‌های فوق، عملی‌ترین و بهترین گزینه‌ها برای مهندس طراح استفاده از درزهای حرکتی با فاصله مناسب و قرار دادن میلگردهای حرارتی کافی در مقطع به منظورکنترل عرض و توزیع ترک‌های حرارتی و جمع‌شدگی می‌باشند. این دو عامل بر روی یکدیگر اثر معکوس دارند. بدین معنی که اگر تعداد درزهای حرکتی کاهش داده شود، مقدار فولادهای حرارتی افزایش و اگر تعداد درزهای حرکتی افزایش یابد، مقدار فولادهای حرارتی کاهش می‌یابند. بنابراین، با توجه به فاصله میان درزهای حرکتی، باید به منظور توزیع یکنواخت ترک‌ها و محدودشدن عرض و عمق آن‌ها از حداقل میلگردهای حرارتی و جمع‌شدگی در هر دو جهت افقی و قائم استفاده کرد.

در این خصوص، سه انتخاب اصلی برای نحوه کنترل عرض ترک‌ها از طریق تامین درزها و میلگردهای حرارتی وجود دارد:

- حالت ۱- سازه یکپارچه

هیچ‌گونه درز حرکتی در سازه وجود ندارد و کنترل ترک‌ها فقط با استفاده از فولادهای حرارتی انجام می‌شود؛

- حالت ۲- سازه نیمه یکپارچه

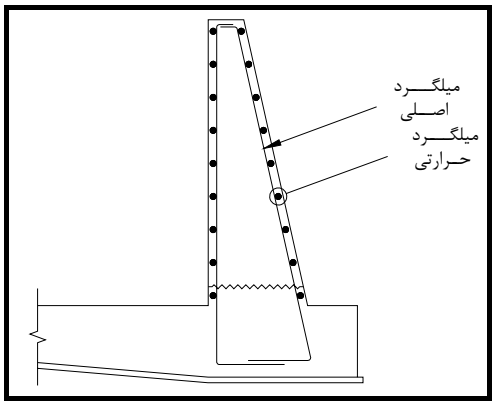
ترک‌های زودرس حرارتی به وسیله فولادهای حرارتی کنترل می‌شوند، ولی درزهای حرکتی به اندازه کافی نزدیک به یکدیگر هستند تا کرنش‌های ناشی از تغییرات دمای روزانه و فصلی در بتن سخت شده، توسط آن‌ها جبران شوند؛

- حالت ۳- سازه غیریکپارچه

تمامی ترک‌ها تقریبا با درزهای حرکتی کنترل می‌شوند، ولی مقدار کمی فولاد برای توزیع ترک‌ها بین دو درز حرکتی وجود دارد.

در هر یک از حالت‌های بیان شده، حداقل درصد میلگردهای حرارتی و جمع‌شدگی در مقطع با توجه به حداکثر فاصله درزهای حرکتی طبق بند ۴-۷-۴-۱ و یا ۴-۷-۴-۲ تعیین شده و حداقل مساحت مورد نیاز آن‌ها نیز در اعضای مختلف با توجه به سطح موثر مقطع بتنی (بند ۴-۷-۵) تعیین می‌گردد. به هر حال، در هیچ مقطعی نباید این میلگردها از Φ12.250mm کم‌تر در نظر گرفته شود.

بهتر است در دیوارها، مطابق شکل (۴-۱۰) میلگردهای حرارتی افقی در سمت بیرون و فولادهای محاسباتی قائم در سمت داخل قرار گیرند.



شکل ۴-۱۰- محل قرارگیری میلگردهای حرارتی افقی

۴-۷-۴-۱- روش اسمی برای تعیین حداقل مقدار فولادهای حرارتی و جمع‌شدگی

در جدول (۴-۴) حداقل درصد میلگردهای حرارتی و جمع‌شدگی افقی بر حسب حداکثر فاصله بین درزهای حرکتی (تنها شامل درزهای انبساطی و انقباضی کامل)، ارائه شده است. از ۲ برابر حداکثر فاصله میان درزهای انقباضی جزیی نیز

می‌توان به منظور تعیین حداقل درصد میلگردهای حرارتی و جمع‌شدگی در مقطع موثر استفاده کرد. در جدول (۴-۵) نیـز، حداکثر فاصله و نوع درزهای ممکن با توجه به گزینه انتخابی برای یکپارچگی سازه نشان داده شده است.

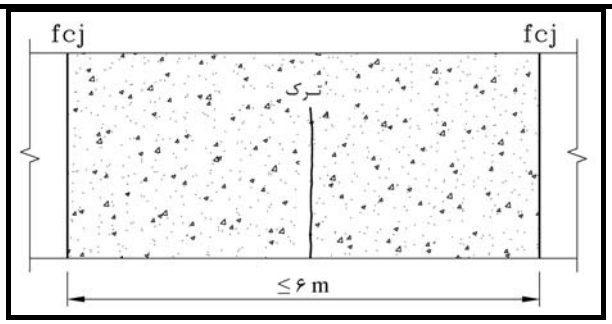
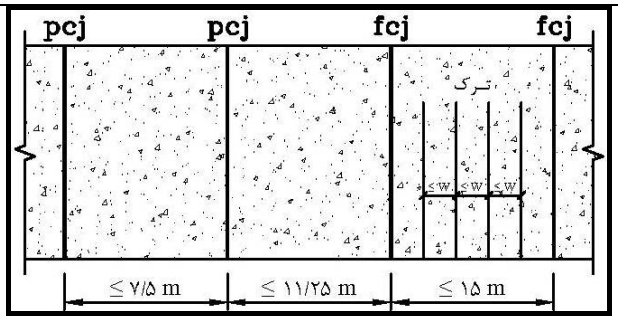
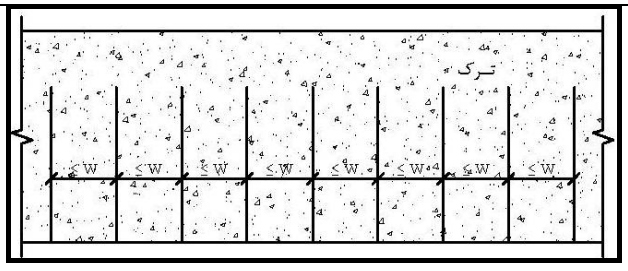
برای کنترل ترک‌های افقی در دیوارها، حداقل نسبت فولاد قائم به سطح موثر مقطع در آن‌ها نباید کـم‌تـر از ۰/۰۰۳ برای میلگردهای S400 و ۰/۰۰۴ برای میلگردهای S300 در نظر گرفته شود.

در بخش‌هایی از مخازن که در طراحی نهایی آن‌ها میلگردهای حرارتی و جمع‌شدگی حـاکم هسـتند، در صـورت اسـتفاده از روش اسمی برای تعیین حداقل مقدار میلگردهای حرارتی و جمع‌شدگی، حداکثر قطر میلگرد به ۱۸ میلی‌متر محدود می‌شود.

جدول ۴-۴- حداقل درصد میلگردهای حرارتی و جمع‌شدگی افقی بر اساس سطح مقطع موثر [۴۹]

گزینه	شرح	حداقل درصد میلگردهای حرارتی و جمع‌شدگی در مقطع موثر	
		میلگردهای S300	میلگردهای S400
۳	سازه غیریکپارچه	۰/۰۰۴	۰/۰۰۳
۲	سازه نیمه یکپارچه	۰/۰۰۶	۰/۰۰۵
۱	سازه یکپارچه	۰/۰۰۸	۰/۰۰۶

جدول ۴-۵- حداکثر فاصله و نوع درزها در حالت‌های مختلف [۳۲]

گزینه	شکل	حداکثر فاصله و نوع درزها
۳		در هر ۶ متر یک درز انقباضی کامل
۳		الف- در هر ۷.۵ متر یک درز انقباضی جزیی ب- در هر ۱۱/۲۵ متر به صورت یک در میان درزهای انقباضی جزیی و کامل ج- در هر ۱۵ متر یک درز انقباضی کامل
۱		بدون محدودیت

pcj = درز انقباضی جزیی fcj = درز انقباضی کامل w = حداکثر عرض ترک مجاز

۴-۷-۴-۲- روش محاسبه‌ای برای تعیین مقدار حداقل فولادهای حرارتی و جمع‌شدگی

الف- نسبت فولاد بحرانی

نسبت فولاد بحرانی، مقدار فولادی است که به ازای آن مقاومت کششی ۳ روزه بتن با مقاومت جاری‌شدن فولاد مساوی می‌گردد. این مقدار با استفاده از رابطه ۴-۱۷ قابل‌محاسبه است.

$$\rho_{cr} = \frac{f_{ct,3}}{f_y} \qquad (۱۷-۴)$$

در رابطه فوق:

ρ_{cr} = نسبت فولاد بحرانی؛

$f_{ct,3}$ = مقاومت کششی سه روزه بتن (بر اساس جدول ۴-۶) (N/mm^2)؛

f_y = تنش جاری شدن فولاد مصرفی (N/mm^2)؛

= مقاومت فشاری مشخصه نمونه استوانه‌ای ۲۸ روزه (N/mm^2).

جدول ۴-۶- مقاومت کششی سه روزه بتن بر اساس مقاومت فشاری ۲۸ روزه آن [۸۱]

$(N/mm^2)f_c$	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰
$(N/mm^2)f_{ct,3}$	۱/۷۳	۱/۹۲	۲/۱۰	۲/۲۷	۲/۴۴

ب- فاصله ترک‌ها

درصورتی‌که برای کنترل عرض ترک‌ها، در مقطع فولاد کافی قرار داده‌شده‌باشد (شکل ۴-۱۱)، فاصله محتمل ترک‌ها را می‌توان از رابطه تعادلی میان نیروی پیوستگی در حد فاصل دو ترک و مقاومت کششی مقطع بتنی طبق رابطه ۴-۱۸ به دست آورد:

$$f_b S \Sigma U_s = f_{ct,3} bh \qquad (۱۸-۴)$$

در رابطه ۴-۱۸:

ΣU_s = مجموع محیط میلگردها (mm)؛

f_b = تنش پیوستگی متوسط بین بتن و میلگرد در بتن نارس (N/mm^2)؛

S = نصف فاصله محتمل بین دو ترک (شکل ۴-) (mm)؛

$f_{ct,3}$ = مقاومت کششی سه روزه بتن (N/mm^2)؛

b و h = ابعاد مقطع (mm).

از ساده‌کردن رابطه ۴-۱۸، رابطه ۴-۱۹ به‌دست می‌آید:

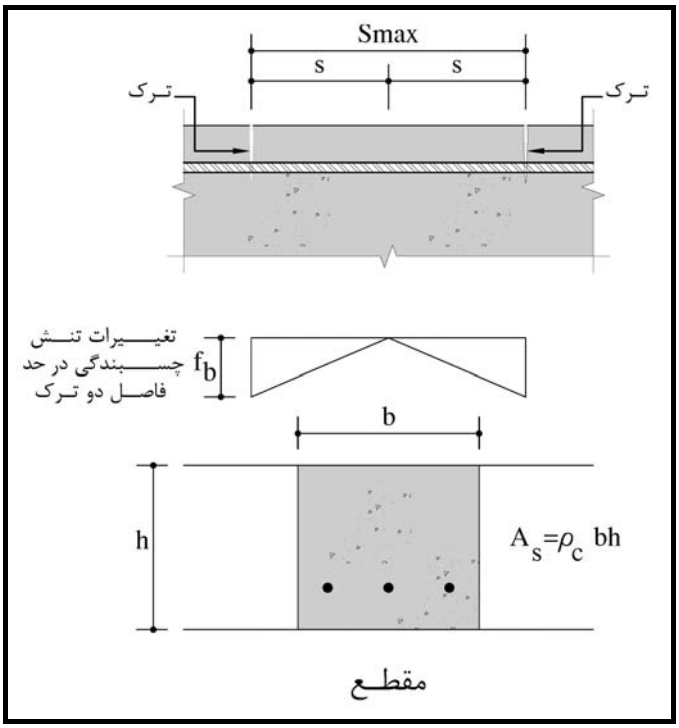
$$S_{max} = 2S = (\frac{f_{ct,3}}{f_b})\frac{\varphi}{2\rho} = K\frac{\varphi}{2\rho} \qquad (۱۹-۴)$$

در رابطه ۴-۱۹:

$K = \frac{f_{ct,3}}{f_b}$ ضریب چسبندگی که برابر ۰/۶۷ درنظر گرفته می‌شود؛

φ = قطر میلگرد (mm)؛ و

ρ = نسبت فولاد



شکل ۴-۱۱- پارامترهای موردنیاز در تعیین فاصله میان ترک‌ها

ج- عرض ترک

اگر w عرض ترک و S_{max} فاصله بین دو ترک باشد، تغییر شکل نسبی کششی متوسط در طول S_{max} برابر $\frac{w}{S_{max}}$ است که این کرنش باید مساوی با کرنش ناشی از تغییرات درجه حرارت و جمع‌شدگی بتن باشد:

$$\frac{W}{S_{max}} = \varepsilon_t + \varepsilon_{sh} \qquad (۲۰-۴)$$

در رابطه ۴-۲۰:

ε_t = کرنش حرارتی؛

ε_{sh} = کرنش جمع‌شدگی.

د- حداقل درصد میلگردهای حرارتی و جمع‌شدگی

خود بتن در حد فاصل S_{max} دارای کرنش مقاوم کششی است که مقدار آن در حدود ε_{sh} می‌باشد. در نتیجه، با حذف S از رابطه ۴-۱۹ و رابطه ۴-۲۰، می‌توان مقدار ρ (حداقل درصد میلگردهای حرارتی و جمع‌شدگی) را با استفاده از رابطه ۴-۲۱ تعیین کرد. مقدار ρ محاسباتی نباید کم‌تر از نسبت فولاد بحرانی در قسمت الف (ρ_{cr}) در نظر گرفته شود.

$$\rho = \frac{A_s}{A_{ce}} = \frac{K(\varepsilon_t)\varphi}{2w} \qquad (۴-۲۱)$$

در رابطه ۴-۲۱:

A_s = سطح مقطع میلگردهای حرارتی و جمع‌شدگی (mm^2)؛

A_{ce} = سطح مقطع موثر بتنی (بند ۴-۷-۶) (mm^2)؛

K = ضریب چسبندگی که برابر ۰/۶۷ درنظرگرفته می‌شود؛

φ = قطر میلگرد (mm)؛

w = عرض ترک مجاز (طبق جدول ۴-۱) (mm)؛

= کرنش حرارتی که از رابطه ۴-۲۲ به دست می‌آید؛

$$\varepsilon_t = \frac{1}{2}\alpha(T_1 + T_2) \qquad (۴-۲۲)$$

α = ضریب انبساط حرارتی بتن (در صورت مشخص نبودن جنس سنگ‌دانه طبق آیین نامه بتن آبا برابر $\alpha = 10\times10^{-6}$ لحاظ می‌گردد)؛

T_1 = تغییرات درجه حرارت بتن به علت گرمای آزادشده در هنگام آبگیری (هیدراسیون) ($^{\circ}C$) (طبق جدول ۴-۷)؛

T_2 = تغییرات فصلی و روزانه درجه حرارت بتن سازه ($^{\circ}C$) (طبق بند ۳-۴-۲).

وجود ضریب تخفیف $\frac{۱}{۲}$ در رابطه ۴-۲۲ برای درنظرگرفتن اثر خزش در بتن نارس و اثر چسبندگی فولاد به بتن، در بتن سخت‌شده می‌باشد.

جدول ۴-۷- تغییرات دمای بتن به علت گرمای آزادشده در هنگام آبگیری (هیدراسیون) [۳۱]

عضو بتنی	دیوار و دال			دیوار			بتن کف و انواع دال‌ها		
نوع قالب	فلزی			چوب به ضخامت ۱۸ میلی‌متر			زمین یا چوب		
عیار سیمان ($\frac{kg}{m^3}$)	۳۲۵	۳۵۰	۴۰۰	۳۲۵	۳۵۰	۴۰۰	۳۲۵	۳۵۰	۴۰۰
ضخامت قطعه (mm)									
۳۰۰	۱۱*	۱۳*	۱۵*	۲۳	۲۵	۳۱	۱۵	۱۷	۲۱
۵۰۰	۲۰	۲۲	۲۷	۳۲	۳۵	۴۳	۲۵	۲۸	۳۴
۷۰۰	۲۸	۳۲	۳۹	۳۸	۴۲	۴۹	-	-	-
۱۰۰۰	۳۸	۴۲	۴۹	۴۲	۴۷	۵۶	-	-	-

تبصره ۱- مقادیر این جدول برای بتن‌های ساخته‌شده با استفاده از سیمان پرتلند معمولی (تیپ ۱، ۲ و یا ۵) و بدون افزودنی‌های زودگیرکننده ارائه شده است.

تبصره ۲- دمای بتن تازه در هنگام بتن‌ریزی ۲۰ و دمای محیط ۱۵ درجه سلسیوس فرض شده است. همچنین از اثر عوامل محیطی خارجی (به طور مثال تابش خورشید) بر افزایش دمای بتن صرف‌نظر شده است.

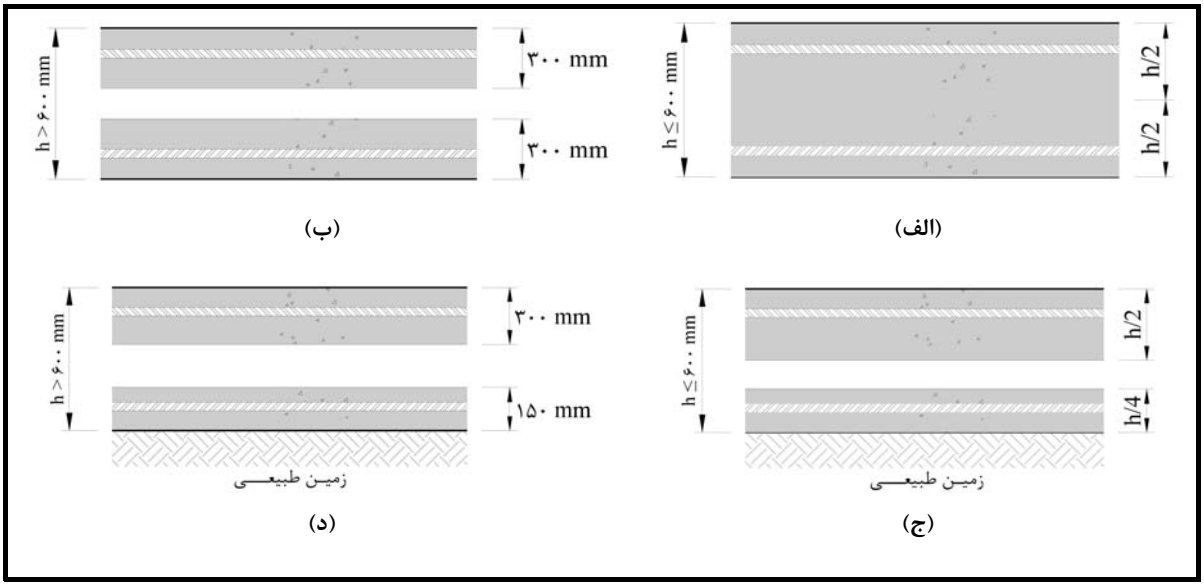
تبصره ۳ (*)- در طراحی، هیچ‌گاه مقدار T_I برای دال‌ها کم‌تر از ۱۵ و برای دیوارها کم‌تر از ۲۰ درجه سلسیوس در نظر گرفته شود.

تبصره ۴- با توجه به عوامل مختلفی که در تعیین مقدار T_I موثر هستند، در نهایت مقدار دقیق این پارامتر باید بر اساس قضاوت مهندس طراح بر مبنای مراجع علمی معتبر، همانند مراجع شماره ۴ و ۱۹ این فصل تعیین گردد.

۴-۷-۵- سطح موثر مقطع بتنی برای محاسبه فولادهای حرارتی

سطح موثر مقطع بتنی (A_{ce}) برای محاسبه فولادهای حرارتی و جمع‌شدگی در اجزای مختلف سازه‌های مهندسی بهداشت به شرح زیر درنظرگرفته می‌شود:

- در اجزای صفحه‌ای که ضخامت آن‌ها کوچک‌تر یا مساوی ۶۰۰ میلی‌متر باشد، تمام مقطع موثر درنظرگرفته می‌شود و فولادهای حرارتی و جمع‌شدگی به طور مساوی در دو طرف آن قرار داده می‌شوند (شکل ۴-۱۲- الف)؛
- در اجزای صفحه‌ای که ضخامت آن‌ها بزرگ‌تر از ۶۰۰ میلی‌متر باشد، از هر طرف ضخامتی برابر ۳۰۰ میلی‌متر به عنوان ضخامت موثر درنظر گرفته می‌شود (شکل ۴-۱۲- ب)؛
- در اجزای صفحه‌ای که در تماس مستقیم و دائم با زمین هستند، در سمتی که با زمین در تماس است، می‌توان سطح موثر مقطع بتنی را تا حداکثر ۵۰ درصد کاهش داد (شکل ۴-۱۲– ج و د).



شکل ۴-۱۲- سطح موثر مقطع بتنی برای محاسبه آرماتورهای حرارتی و جمع‌شدگی

فصل ۵

ساخت

۵-۱- کلیات

در رابطه با اجرای مخازن بتنی، علاوه بر اعمال تمامی شرایط اجرایی که در ساخت یک سازه بتنی معمولی، مطابق با آئین‌نامه بتن ایران (آبا) باید رعایت گردد، ضروری است مشخصات فنی ارائه شده در نشریه شماره ۱۲۴ سازمان برنامه و بودجه تحت عنوان «مشخصات فنی عمومی مخازن آب زمینی» نیز کاملا رعایت شود.

دراین فصل آن دسته از شرایط اجرایی که در ارتباط با ضوابط و معیارهای طراحی مخازن مهندسی بهداشت می‌باشد، مورد بررسی قرار می‌گیرند.

۵-۲- بستر

زمین محل احداث مخزن باید قبل از شروع مراحل طراحی از نقطه‌نظر جنس، وضعیت لایه‌ها، میزان باربری، نشست و... مورد مطالعه‌ی مکانیک‌خاک قرار گیرد. به‌طور ایده‌آل، بستر محل اجرای مخازن باید همگن، با باربری مناسب، نشست کم و عاری از آب‌های زیرزمینی بالا باشد و حتی‌الامکان باید از احداث مخازن بر روی زمین‌هایی که از لحاظ مسایل خاک مطلوب نمی‌باشند، پرهیز شود. هرچند، به‌طور معمول به دلیل رعایت سایر معیارهای طراحی، دسترسی به این مهم امکان‌پذیر نمی‌باشد.

حتی‌الامکان باید از قرار دادن مخزن بر روی زمین‌هایی با ویژگی‌های زیر اجتناب کرد:

- زمین‌هایی با باربری کم و نشست زیاد؛
- زمین‌هایی که در آن‌ها آب زیرزمینی بالا است و تراز زیر کف مخزن پایین‌تر از آب زیرزمینی است؛
- در مجاورت و روی گسل‌ها؛
- مناطقی که لایه‌های زمین به صورت شیبدار بوده و به‌خصوص مناطقی که لایه‌ای از خاک دانه‌ای بر روی لایه‌ای رسی به صورت شیبدار قرار گرفته است. در چنین حالتی، نشت آب از لایه‌ی دانه‌ای به لایه‌ی رسی، باعث لغزنده کردن سطح تماس دو لایه و درنتیجه ناپایداری زمین می‌گردد؛
- مناطقی که زمین زیر مخزن تفاوت‌های قابل توجهی از لحاظ جنس دارد؛
- خاک‌های گچدار (به واسطه رسیدن آب به بلورهای گچ، از مقاومت زمین به شدت کاسته می‌شود)؛
- خاک‌های دستی، حتی اگر به صورت کامل کوبیده شده باشند؛
- خاک‌های ماسه‌ایی که مستعد روان‌گرایی و یا لغزش باشند (به دلیل احتمال آبدارشدن خاک بر اثر نشت مخزن)؛
- مناطقی که احتمال قطع مسیر عبور جریان‌های زیرزمینی آب و یا قنات‌ها توسط مخزن وجود دارد.

در زمان طراحی و اجرای مخازن نیز، موارد زیر در کنار سایر ضوابط و معیارهای طراحی پی، توسط کارشناس مکانیک‌خاک باید مورد بررسی قرار گیرد:

- نشست زمین، بر اثر تغییر سطح ایستابی؛

- نشست زمین، ناشی از حرکت و لغزش کلی در زمین‌های ناپایدار؛
- نشست زمین، ناشی از ناپایداری بر اثر گودبرداری خاک‌های مجاور و حفر چاه؛
- نشست زمین، ناشی از ارتعاشات احتمالی که ممکن است منشا آن سازه‌های مجاور باشد؛
- هوازدگی بستر؛
- بررسی، اندازه‌گیری و ثبت منظم تراز سطح آب زیرزمینی و تغییرات تناوبی و فصلی آن.

در صورت نامناسب بودن بستر با توجه به موارد فوق الذکر و عدم امکان انتقال مخزن به موقعیت دیگر، باید بهسازی بستر، طبق اصول مکانیک خاک، انجام شود.

۵-۳- آماده کردن سطح زمین

درصورتی‌که عملیات خاکبرداری با ماشین انجام شود، در ۲۰ سانتی‌متری تراز نهایی، باید عملیات متوقف شده و دنباله عملیات تا تسطیح نهایی به روش‌های دستی، خاکبرداری و تنظیم گردد. ریختن بتن مگر بر روی بستر تسطیح‌شده باید با فاصله زمانی مناسب صورت پذیرد، به‌طوری که هوازدگی سطحی در خاک ایجاد نشود. در صورت به وجود آمدن فاصله‌ی طولانی، خاک‌های هوازده باید برداشته شده و بتن مگر جایگزین آن گردد.

درصورتی‌که سطح آب زیرزمینی بالاتر از کف خاکبرداری‌شده باشد، قبل از هرگونه بتن‌ریزی باید سطح آب زیرزمینی توسط روش‌های مناسب پایین برده شود، به طوری که عملیات بتن‌ریزی در محیط خشک صورت پذیرد.

۵-۴- زهکشی زیر مخزن

در مراحل طراحی و اجرای مخازن باید به آب‌بند بودن کامل مخزن دقت ویژه‌ای شود. در نقاط قطع بتن و درزها، انتخاب روش مطمئن و استفاده از مصالح مناسب و با کیفیت بالا کاملا ضروری می‌باشد.

در مخازن و به منظور دستیابی به اهداف ذیل، پیش بینی یک سیستم زهکشی کامل، با در نظر گرفتن کلیه ملاحظات فنی و ژئوتکنیکی، توسط مهندس طراح ضروری می‌باشد:

الف- جمع‌آوری و تخلیه آب‌های نشتی احتمالی از درزهای کف مخزن،

با این عمل نه تنها آب‌های محدود نشتی از کف مخزن دور می‌شوند، بلکه تخمین مناسبی نیز از بده آن‌ها به دست می‌آید؛

ب- کنترل سطح آب زیرزمینی در عمق مورد نظر؛

ج- دفع و هدایت آب‌های سطحی و در صورت امکان آب‌های زیرزمینی پیرامون مخازن (جهت جلوگیری از نشت سفره‌های مجاور به محدوده مخزن) با تعبیه زهکش‌های حایل.

مهندس طراح باید با توجه به مشخصات فنی مخزن، نتایج مطالعات ژئوتکنیکی منطقه طرح، و همچنین سیستم جمع‌آوری آب‌های سطحی، نسبت به طراحی سیستم زهکشی اقدام نماید. جهت کنترل و هدایت آب از زیر مخزن به خارج روش‌های متفاوتی مانند اجرای لایه زهکش در تمام سطح مخزن، اجرای شبکه زهکشی در زیر نقاط حساس و... متصور است که باید با توجه به شرایط پروژه توسط تیم طراحی مشتمل بر کارشناسان مکانیک خاک، سازه و سیویل انتخاب شود. صرفا به عنوان نمونه در پیوست شماره ۳ مشخصات فنی شبکه زهکش ارائه شده است که الزامی به رعایت آن نیست.

۵-۵- آب‌های زیرزمینی و فشار برکنش

هنگامی‌که کف مخازن پایین‌تر از سطح آب زیرزمینی قرار گیرد، علاوه بر ملاحظات مکانیک خاک، موارد زیر نیز باید در طراحی مورد توجه قرار گیرد:

- ورود آب‌های زیرزمینی از طریق درزها به مخازن می‌تواند بهداشت آب داخل مخزن را مورد تهدید قرار دهد؛
- فشار برکنش ناشی از آب‌های زیرزمینی که می‌تواند تعادل ایستایی مخازن را به مخاطره انداخته و آن‌ها را غوطه‌ور نماید.

مخازن آب زیرزمینی باید به صورتی طراحی و اجرا شوند که به طور کامل آب بند بوده و امکان ورود آب‌های زیرزمینی به داخل آن‌ها میسر نشود. جهت غلبه بر مشکل اول، باید مخزن را حتما نفوذناپذیر ساخت. در رابطه با بند دوم نیز همان‌طور که در فصول قبل اشاره شد، ضریب اطمینان در برابر زیرفشار حداقل باید ۱/۲۵ باشد، که در صورت عدم تامین آن، باید با اعمال تغییراتی مانند افزایش وزن کف و یا ایجاد پاشنه در محیط پیرامونی کف مخازن، نسبت به تامین ایستایی مخازن اقدام نمود [۴۹].

در مخازن بزرگ با آب زیرزمینی بالا به هنگامی‌که امکان غلبه بر فشار برکنش با روش‌های فوق میسر نباشد، در صورت اطمینان از عملکرد صحیح و مداوم تجهیزات مکانیکی و با درنظرگرفتن ملاحظات اقتصادی، می‌توان از سیستم‌های محرک به قرار زیر استفاده کرد:

- شبکه زهکش به همراه سیستم پمپاژ،
- جهت بالابردن قابلیت اطمینان باید پمپ‌های پشتیبانی و سیستم برق اضطراری مهیا شود؛
- سیستم هشدار برای پرکردن مخزن،

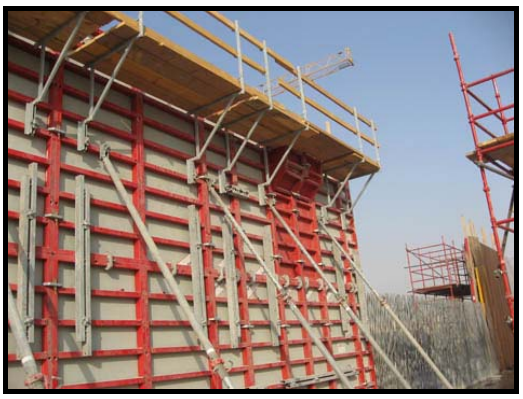
در این سیستم به محض بالاآمدن سطح آب زیرزمینی و احتمال بروز خطر فشار برکنش برای مخازن، با پرکردن مخزن، تعادل بین نیروهای مقاومت و محرک ایجاد می‌شود.

۵-۶- قالب‌بندی، بتن‌ریزی، قالب‌برداری و برداشتن پایه‌های اطمینان

رعایت موارد ذکر شده در فصل ۹ آیین‌نامه بتن ایران و بندهای مربوط در نشریه‌ی شماره ۱۲۴ سازمان برنامه و بودجه در رابطه با بستن و بازکردن قالب‌ها و برداشتن پایه‌های اطمینان ضروری می‌باشد.

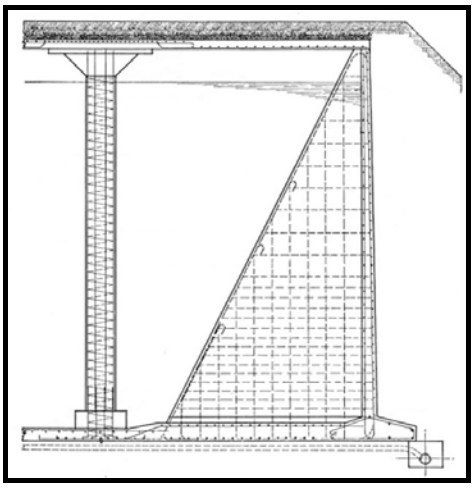
قالب‌های دیوارهای مخازن و سیستم مهاربندی آن‌ها باید در برابر فشار جانبی ناشی از بتن‌تازه، ایستایی لازم را دارا باشند. در این زمینه ضوابط طراحی براساس ارتفاع دیوار، سرعت بتن‌ریزی و چگالی مایع معادل در مراجع معتبر ارائه شده است.

در شکل‌های (۵-۱) و (۵-۲) نمونه‌هایی از قالب‌بندی دیوار و ستون مخازن آب به همراه سیستم نگهداری آن‌ها نشان داده شده است. در مخازن با ارتفاع بلند، به‌منظور جلوگیری از افزایش ضخامت بخش پایینی دیوارها، گاهی از پشت‌بندها در راستای ستون‌ها استفاده می‌شود (شکل ۵-۳).



شکل ۵-۱- سیستم قالب‌بندی دیوار بتنی بلند

شکل ۵-۲- قالب‌بندی ستون در مخازن آب و سازه‌های مهندسی بهداشت



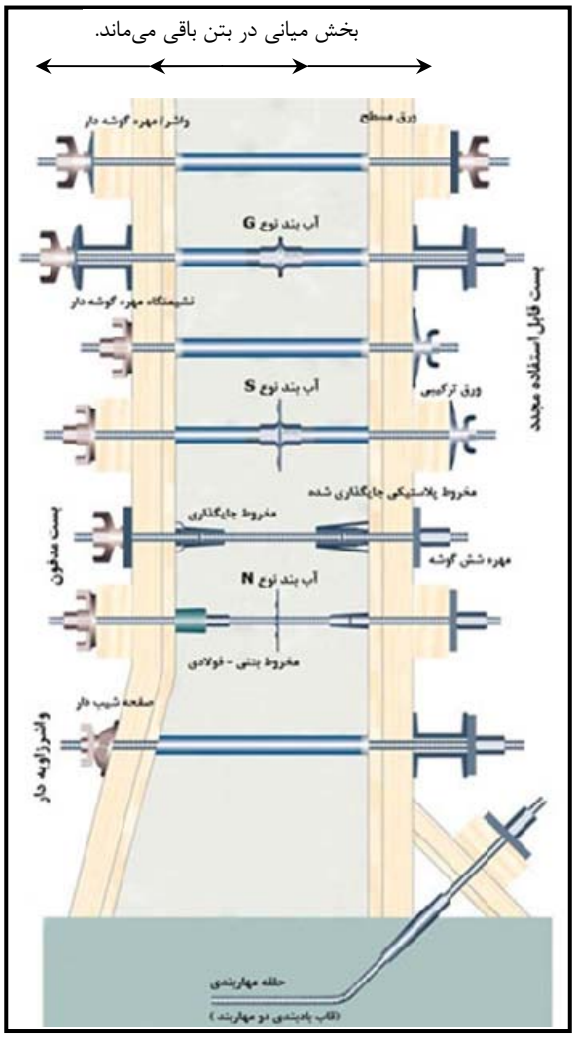
شکل ۵-۳- استفاده از پشت‌بندها در مخازن آب با ارتفاع بلند

به منظور حفظ یکپارچگی مراحل بتن‌ریزی و جلوگیری از ایجاد درزهای سرد (قطع بتن‌ریزی)، درصورتی‌که ارتفاع قالب از ۴/۲ متر تجاوز نماید، رعایت تمهیدات خاص در رابطه با طراحی قالب، مانند افزودن پشت‌بندهای اضافی و یا کاهش فاصله‌ی میله‌های رابط مطابق نتایج محاسبات ضروری می‌باشد. همچنین در صورت حصول اطمینان از کیفیت بتن، می‌توان از دریچه‌های موقت در بدنه‌ی قالب جهت بتن‌ریزی استفاده نمود، به نحوی که درز سرد (قطع بتن‌ریزی) ایجاد نشود (شکل های ۵-۴- الف و ب).

(ب) (الف)

شکل ۵-۴- دریچه‌ی موقت ترزیق بتن در دیوارهای بلند در مخازن آب [۱۶]

جهت نگهداری قالب‌ها در طول مراحل بتن‌ریزی از میله‌های رابط استفاده می‌شود. فاصله میله‌های رابط (بست‌ها) با توجه به مشخصات قالب و میله مهار و همچنین سرعت پیش‌بینی‌شده برای عملیات بتن‌ریزی، قابل محاسبه می‌باشد. در شکل (۵-۵) چند نمونه از میله‌های رابط قالب‌های دو وجه دیوارهای مخازن که به پرده آب‌بند فلزی مجهز می‌باشند، ارائه شده است. میله‌های رابط باید به صورتی طراحی شوند که از سطوح داخلی و خارجی دیوارها حداقل ۳۸ میلی‌متر فاصله داشته باشند. این فضا در انتهای کار با گروت پر خواهد شد.



شکل ۵-۵- نمونه‌هایی از میله‌های رابط قالب دوطرف دیوار مخازن

۵-۶-۱- پرداخت سطحی

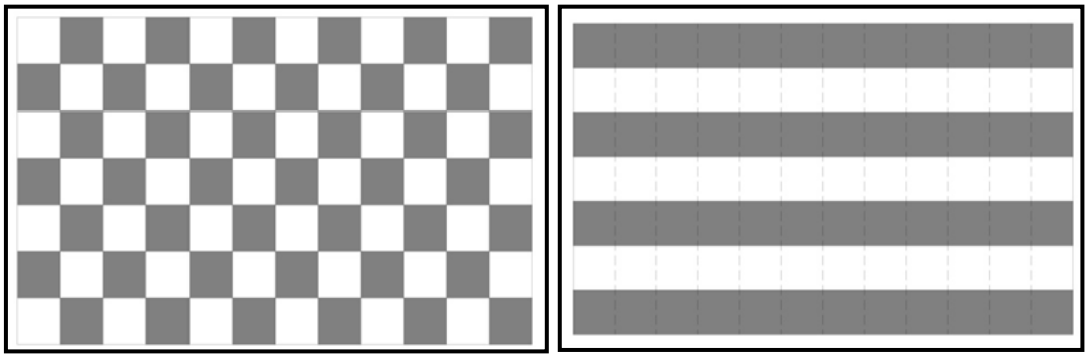
به منظور جلوگیری از به وجود آمدن مکان مناسب برای تکثیر جلبک‌ها و باکتری‌ها، سطوح قالب‌بندی‌شده در تماس با آب، باید حتی‌الامکان عاری از مناطق کرمو بوده و صاف و نزدیک به لیسه‌ای باشد. سطح حاصل از قالب‌های فلزی برای این منظور قابل قبول می‌باشد. در مورد بتن کف، سطح بتن ابتدا باید توسط تخته ماله و سپس توسط ماله فلزی پروانه‌ای در سطحی نزدیک به بتن لیسه‌ای، پرداخت شود. (شکل ۵-۶) صاف و صیقلی بودن سطح داخلی دیوارها، کف و سقف مخزن باید در حد U4 باشد.[۱]

۱- در این نوع پرداخت با استفاده از ماله فلزی (ترجیحا ماله هلیکوپتری)، سطحی یکنواخت، متراکم و عاری از هرگونه لکه و آثار ماله ایجاد می شود. حداکثر میزان ناصافی در این حالت به ۳ میلی‌متر محدود می شود.

شکل ۵-۶- پرداخت سطحی کف با ماله‌ی پروانه‌ایی

۵-۶-۲- ترتیب بتن‌ریزی در سطوح وسیع

به منظور سهولت دسترسی در زمان بتن‌ریزی و فراهم آمدن امکان قرارگیری درزهای اجرایی در مکان تعیین شده، بهتر است از روش بتن‌ریزی نواری استفاده شود. در این رابطه بتن‌ریزی به صورت شطرنجی توصیه نمی‌شود (شکل ۵-۷).



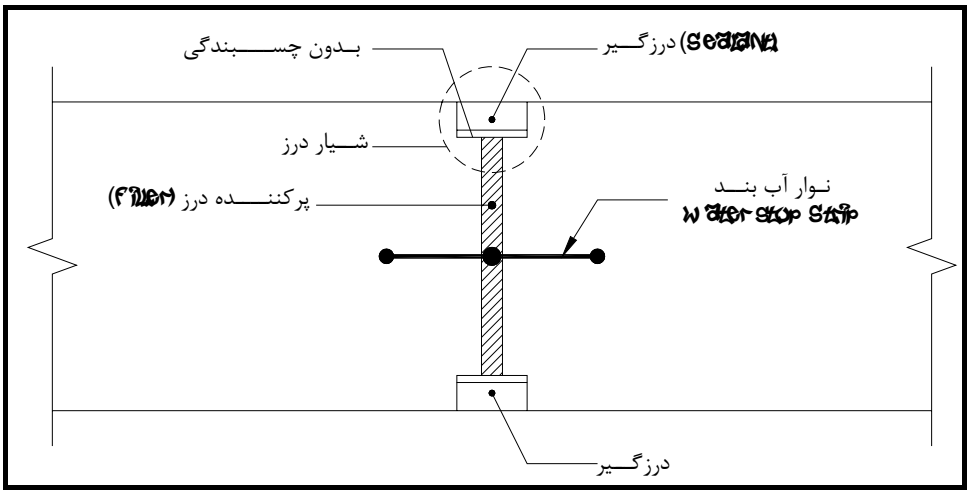
الف- بتن‌ریزی نواری (مجاز) **ب- بتن‌ریزی شطرجی (غیرمجاز)**

شکل ۵-۷- نحوه بتن‌ریزی در سطوح وسیع [۵۰]

۵-۷- مشخصات فنی اجزای تشکیل‌دهنده‌ی درز

کلیه‌ی موادی که در درزهای مخازن دربرگیرنده‌ی آب آشامیدنی به کار می‌رود، ضمن آنکه نباید محیط مناسبی برای پرورش مواد قارچی فراهم آورد، باید غیرسمی و سازگار با محیط زیست بوده و از مراکز معتبر تاییدیه‌ی مناسب‌بودن برای تماس با آب آشامیدنی را اخذ کرده باشد.

شکل (۵-۸) اجزای تشکیل‌دهنده یک درز را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۸- اجزای تشکیل دهنده‌ی درز [۳۲]

اجزای درز عبارتند از:

۵-۷-۱- شیار درز

سطح شیار درز باید تمیز و عاری از هرگونه گردوخاک و لکه چربی بوده و قبل از درزگیری خشک شده باشد تا ماده درزگیر به خوبی به بتن دولبه بچسبد. برای تمیز کردن درز می‌توان از برس‌های دستی و یا ماسه‌پاشی خفیف استفاده نمود و دست آخر توسط هوای فشرده گرد و خاک را از روی آن زدود.

در صورت وجود هرگونه شکستگی در لبه و یا کرمو بودن بتن، قبل از اجرای درزگیر، باید تعمیرات لازم منظور گردد. توجه شود ماده درزگیر به هیچ عنوان به سطوحی که آزادی حرکت آن را سلب می‌کند نچسبد. برای جلوگیری از چسبیدن ناخواسته به سطوح، می‌توان از نواری حایل استفاده کرد.

۵-۷-۲- پرکننده‌های درز[1]

این مواد در درزهای انبساطی برای سه منظور اساسی به کار می‌روند:

- فراهم کردن پایه‌ی اتکا برای درزگیرها؛
- جلوگیری از دخول آب؛ و
- انبساط و انقباض همراه با حرکات درز.

چوب‌پنبه، نئوپرن، لاستیک، انواع فوم‌ها و کلیه موادی که با استانداردهای ASTM D 1056 و ASTM D 1752 منطبق باشند برای پرکردن درز مناسب‌اند.

1- Fillers

مصالح حاوی ترکیبات الیاف چوب و سایر مصالح ارگانیک که در مجاورت آب دچار پوسیدگی شده و یا به حالت اشباع در می‌آیند، برای استفاده به عنوان مصالح پرکننده، مناسب نمی‌باشند. ماده‌ی پرکننده باید بتواند تا نصف عرض شیار جمع شده و مجددا به حالت اول بازگشته و تمام حجم شیار را پر نماید. مواد به کار رفته به عنوان پرکننده درز باید دارای خصوصیات زیر باشند:

- از دوام زیادی برخوردار باشند؛
- از نظر عملکرد شیمیایی، خنثی باشند؛
- از نظر فیزیکی ارتجاعی باشند اما از جای خود بیرون نیایند و با درزگیر ترکیب نشوند. در ضمن نباید اتصال محکمی با درزگیر برقرار نمایند؛
- نباید محیطی مناسب برای پرورش ارگانیسم‌های قارچی یا میکروسکوپی تشکیل دهند؛
- باید به سهولت در ابعاد صحیح شکل گرفته و به آسانی در درز، جای گیرند؛ و
- ماده پرکننده باید با ماده درزگیر از لحاظ شیمیایی و اجرایی سازگار باشد.

به منظور فراهم آمدن امکان پر نمودن فضای درز در زمان انقباض بتن، توصیه می‌شود مواد پرکننده به صورت فشرده در شیار قرار گیرند.

۵-۷-۳- درزگیرها[1]

موادی که در سازه‌های نگهدارنده‌ی آب جهت پوشش درزها به کار می‌روند، به طور مشخص به دو گروه تقسیم می‌شوند:

الف- مواد پیش‌ساخته؛

ب- مخلوط‌های درجا (دو یا چند جزیی).

هر دو گروه، برای آن‌که در عمل رضایت‌بخش باشند باید متضمن خواص زیر باشند:

- ماده به کار رفته، باید نسبت به مایع ذخیره شده، غیرقابل نفوذ باشد؛
- هم‌زمان با بازوبسته‌شدن درز، درزگیر نیز باید بدون تغییراتی که منجر به نشت آب شود، تغییر شکل دهد. این حالت باید در محدوده‌ی تغییرات دمایی که برای سازه پیش می‌آید و در تمامی عمر سازه، حفظ گردد. به عبارت دیگر با توجه به نوع درزی که درزگیر در آن قرار گرفته است، درزگیر تحت یکی از شرایط زیر قرار می‌گیرد:
  - به طور دائمی در کشش است؛
  - به طور دائمی در فشار است؛

1- Sealant

- متناوبا در کشش و فشار است؛
- متناوبا و یا به‌طور هم‌زمان در فشار و برش است (در مورد درزهای لغزشی).

– درزگیر باید به دو پهلوی شیاری که در آن قرار گرفته متصل باشد تا بدین‌ترتیب امکان هرگونه نشت داخلی از بین برود. اما نباید اتصالی با پرکننده زیرین، داشته باشد؛

– ماده درزگیر باید بسیار بادوام باشد. زیرا تعویض آن ممکن است بسیار مشکل و گران تمام شود. به طور ایده‌آل عمر درزگیر باید مشابه عمر سازه‌ای که در آن به کار رفته، باشد؛

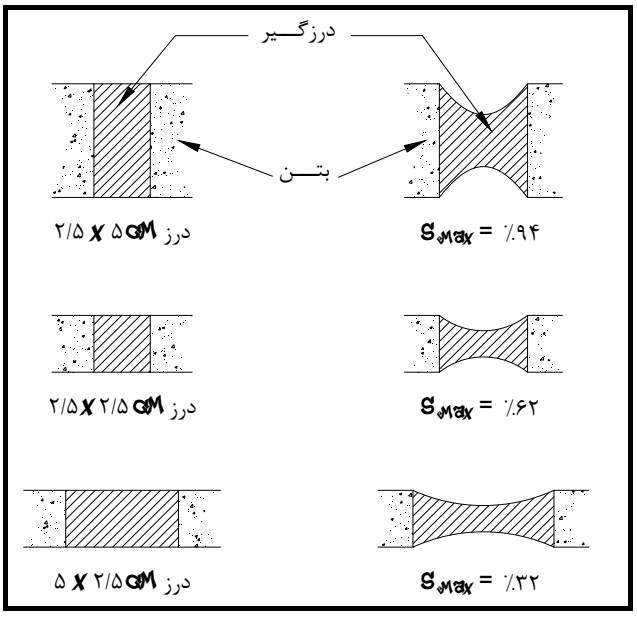
– غیرسمی بوده؛

– ماده درزگیر باید تحت شرایط آب و هوایی و محلی مربوط به سازه، نسبتا به سهولت به کار رود؛

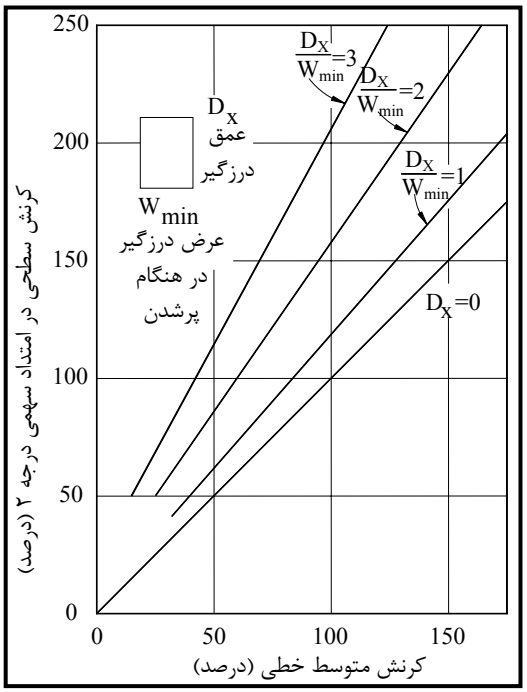
درزگیر چه از نوع پیش‌ساخته و چه از نوع درجا، باید سازگار با شیار ایجاد شده در بتن باشد. شکل و ابعاد شیار در آب‌بندبودن درز، تاثیر به‌سزایی دارد.

۵-۷-۴- کرنش سطحی درزگیرها

وقتی دو لبه‌ی درزگیر از یکدیگر دور می‌شوند، طول درزگیر افزایش یافته و سطوح آن به حالت مقعر درمی‌آید. در نتیجه‌ی این افزایش طول، میزان کرنش سطحی از کرنش متوسط این افزایش طول بزرگ‌تر خواهد شد. به عنوان مثال، در شکل (۵-۹) سه درز با نسبت عمق به عرض متفاوت نشان داده شده است که در هر سه مورد، میزان کرنش سطحی برای بازشدن درز به اندازه ۱۲/۵ میلی‌متر نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود با افزایش نسبت عمق به عرض، کرنش سطحی افزایش می‌یابد. با توجه به این‌که معیار شروع گسیختگی در مصالح درزگیر کرنش سطحی است، محاسبه آن اهمیت زیادی دارد. به کمک شکل (۵-۱۰)، میزان کرنش سطحی برحسب کرنش متوسط خطی و نسبت عرض به عمق قابل محاسبه است.



شکل ۵-۹- کرنش سطحی برای افزایش عرض ۱۲/۵ میلی‌متر [۳۲]



شکل ۵-۱۰- کرنش سطحی برحسب کرنش متوسط خطی [۳۲]

۵-۸- نوارهای آب‌بند

مواد اصلی نوارهای آب‌بند، پلاستیک طبیعی و یا PVC می‌باشند. هر چند مواد شیمیایی از قبیل «منبسط‌شونده در مجاورت آب»، به عنوان جایگزین نوارهای آب‌بند به بازار عرضه شده‌اند که ممکن است به صورت شکل‌داده‌شده و یا تزریقی مورد استفاده قرار گیرند. انتخاب سیستم آب‌بندی مناسب باید پس از بررسی کلیه‌ی گزینه‌های ممکن توسط طراح انجام شود.

در مجموع تمام موادی که به عنوان آب‌بندکننده‌های انعطاف‌پذیر به‌کار می‌روند، باید از خصوصیات زیر برخوردار باشند:

- در عمل بسیار بادوام باشند؛
- به اندازه کافی صلبیت داشته باشند، به صورتی که در زمان نصب و نیز ریختن و مرتعش کردن بتن، بتوانند شکل و موقعیت خود را حفظ کنند؛
- به صورت موثر با بتنی که در آن جای‌گذاری شده‌اند، پیوند تشکیل دهند؛
- برای شرایط درزی که در آن به‌کار می‌روند، با توجه به حداکثر و حداقل دمای محیط، به اندازه‌ی کافی انعطاف‌پذیر و الاستیک باشند؛
- با اعمال تمهیدات خاص در مقابل اشعه ماورای بنفش مقاوم شوند؛

- مانائی اوزونی آن‌ها در حد قابل پذیرش باشد[۱]؛
- در صورت استفاده‌ی هم‌زمان از قیر و نوار آب‌بند، هم‌خوانی مواد آب‌بند و قیر و همچنین میزان حرارت قابل تحمل توسط نوار آب‌بند، مورد توجه قرار گیرد.

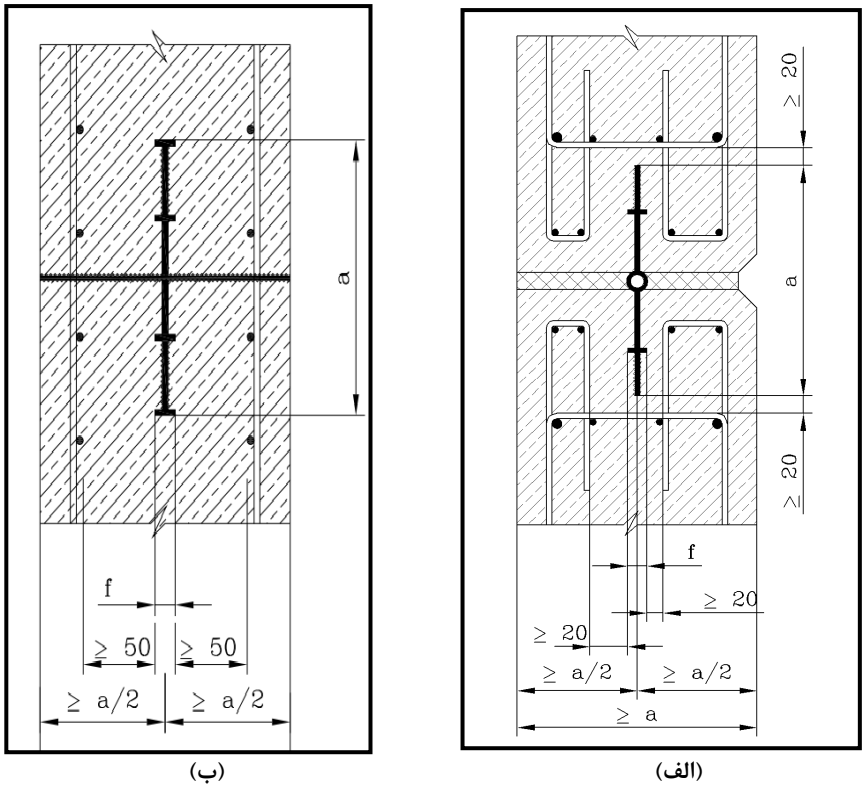
مشخصات هندسی و شرایط پذیرش نوارهای آب‌بند ترموپلاستیک باید ضوابط ارائه‌شده در استاندارد ملی ایران به شماره ۱۳۲۷۷ [۴۱] را تامین نماید.

نوارهای آب‌بند ترموپلاستیک به لحاظ نوع کاربرد و محل قرارگیری در بتن به انواع زیر تقسیم می‌شوند:

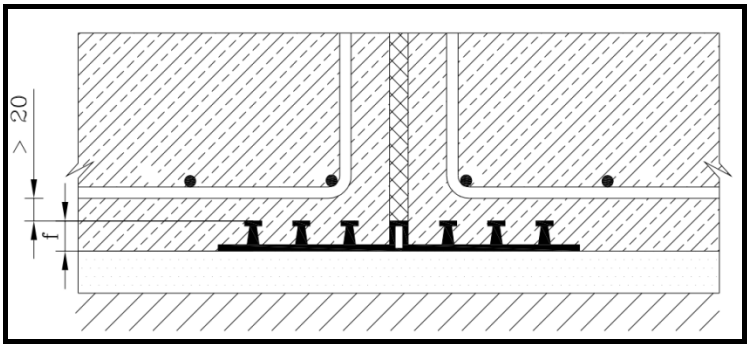
- نوع D: نوارهای آب‌بند میانی (مدفون) با زایده‌ی مرکزی هستند. این نوارهای آب‌بند از یک زایده‌ی مرکزی و یک برآمدگی یا باله‌ی سخت در دو انتها تشکیل شده‌اند. زایده‌ی مرکزی در میانه‌ی درز قرار گرفته و نوار آب‌بند به موازات سطح تماس آب و بتن نصب می‌شود. فاصله‌ی نوار آب‌بند تا سطوح آزاد بتن نباید بیش از نصف عرض نوار آب‌بند باشد. چنانچه زایده‌ی مرکزی توپر باشد، نوار آب‌بند در درزهای انقباضی و اگر زایده‌ی مرکزی توخالی باشد، نوار آب‌بند در درزهای انبساطی مورد استفاده قرار می‌گیرد (شکل ۵-۱۱- الف)؛
- نوع A: نوارهای آب‌بندی می‌باشند که به لحاظ شکل هندسی و محل قرارگیری در بتن همانند نوع D بوده، لیکن بدون زایده‌ی مرکزی هستند. این نوارهای آب‌بند در درزهای اجرایی استفاده می‌شوند (شکل ۵-۱۱- ب)؛
- نوع DA: نوارهای آب‌بند سطحی با زایده‌ی مرکزی هستند که استفاده‌ی اصلی آن‌ها در مخازن آب و در سطوح زیرین کف می‌باشد. در حالتی که زایده‌ی مرکزی توپر است، نوار آب‌بند در درزهای انقباضی و در حالتی که زایده‌ی مرکزی توخالی است نوار آب‌بند در درزهای انبساطی مورد استفاده قرار می‌گیرد (شکل ۵-۱۱- ج)؛
- نوع AA: به لحاظ شکل هندسی و محل قرارگیری، همانند نوع DA ولی بدون زایده‌ی مرکزی هستند. این نوارهای آب‌بند در درزهای اجرایی استفاده می شوند.

به منظور اطمینان از پایداری و عدم جابجایی نوار آب‌بند نوع DA و AA در هنگام بتن‌ریزی، لازم است تمهیدات خاصی پیش‌بینی شود.

۱- در این خصوص به آیین‌نامه‌های خاص لاستیک مراجعه گردد.



(الف) (ب)



(ج)

شکل ۵-۱۱- جزییات اجرایی نوارهای آب بند ترموپلاستیک [۸۲-۸۳]
(اندازه‌ها به میلی‌متر می‌باشند)

فصل ۶

تاسیسات مکانیکی مخازن

۶-۱- کلیات

برای عملکرد مطلوب و پرهیز از بروز مشکلات در دوران بهره‌برداری، لازم است ضمن درنظرداشتن شرایط خاص کارکرد هر مخزن، مواردی به شرح زیر در طراحی تجهیزات مکانیکی، برقی، کنترلی و ابزاردقیق مخازن، رعایت شود. بدیهی است، در صورت استفاده از مخازن بتنی به همراه سایر سامانه‌های آبی، لازم است ضوابط مربوط به این سامانه‌ها نیز به‌گونه‌ای در نظر گرفته شود تا عملکرد مجموعه‌ی کل سیستم مطابق با شرایط و ضوابط طرح اصلی باشد.

منظور نمودن تمهیدات ذکرشده در بند ۹-۳-۴ از فصل پدافند غیرعامل، ضروری است.

۶-۲- لوله‌ها

لوله‌های فولادی و چدن‌نشکن مناسب‌ترین گزینه برای استفاده در مخازن هستند، لیکن در صورت ارائه ادله‌ی کافی توسط طراح، امکان تغییر جنس لوله‌ها (به جز لوله‌های زیر مخازن که استفاده از لوله‌های فولادی جوشی به همراه بتن پر کننده[۱] مورد نظر است) وجود دارد. تمامی سطوح داخلی و خارجی لوله‌های ورودی، خروجی و سرریز باید دارای پوشش مناسب برای جلوگیری از خوردگی باشند. در مخازن آب شرب، پوشش لوله‌های در تماس با آب، باید دارای تاییدیه مصرف آب شرب از مراکز معتبر باشند. پوشش لوله‌ها باید به نحو کارآمدی انتخاب و اجرا شوند، به‌طوری‌که در طول عمر مفید مخزن، خدشه‌ای از بابت خوردگی به لوله‌ها وارد نشود و امکان کنترل و ترمیم پوشش فراهم باشد. پوشش‌هایی که در معرض اشعه فرابنفش قرار دارند باید برای این شرایط مناسب باشند. ضخامت و کلاس فشار لوله با توجه به حداکثر فشار کاری و اثرات خوردگی چنان انتخاب شود که در طول عمر مفید مخزن، متضمن کارکرد مناسب لوله‌ها با کم‌ترین نیاز به تعمیرات باشد.

لوله‌های متصل به مخزن، باید توانایی حرکت در نقاط اتصال را داشته باشند تا در صورت وقوع زلزله یا نشست مخزن، با انعطاف‌پذیری کافی از ایجاد خسارت جلوگیری شود. به این منظور، می‌توان از تجهیزات مکانیکی مناسب مانند اتصالات قابل‌انعطاف، لغزان و دیگر کوپلینگ‌های مخصوص که به سیستم لوله‌کشی انعطاف می‌دهند، استفاده کرد. سیستم لوله‌کشی مخزن باید به گونه‌ای طراحی شود که به جز وزن لوله، هیچ‌گونه نیروی اضافی به مخزن وارد نشود. در محل عبور لوله‌ها از دیوار مخزن، امکان نشت آب به بیرون وجود دارد؛ لذا آب‌بندی کامل این قسمت ضروری است. پیش‌بینی حلقه‌ی فولادی آب‌بندی بر روی لوله‌های عبورداده‌شده از دیواره و کف مخزن الزامی است. درصورتی‌که خطوط انتقال با حفاظت کاتدیک محافظت می‌شود، ضروری است تمهیدات لازم (مانند نصب فلنج عایقی) برای جلوگیری از

۱- جهت محافظت از لوله‌های زیر مخزن، علی‌رغم فشار داخلی ناچیز لوله‌های خروجی و شستشو، از لوله‌هایی با ضخامت بالا استفاده می‌شود، اطراف لوله‌های مذکور با بتن پرسیمان پوشانده خواهد شد.

ورود جریان حفاظت کاتدیک به شبکه فولادگذاری مخزن پیش‌بینی شود. همچنین به منظور کاهش مشکلات تعمیر و نگهداری، لازم است طول لوله‌های زیر مخزن به حداقل مقدار ممکن برسد.

در طراحی مخزن و تمامی متعلقات آن، به‌خصوص لوله‌های عمودی، سرریز و سیستم تهویه، باید امکان یخزدگی را در نظر گرفت تا در کارکرد مناسب آن‌ها اختلال ایجاد نشود. شیب کلیه‌ی لوله‌ها باید به‌گونه‌ای باشد که پس از تخلیه‌ی آن‌ها، در هیچ نقطه‌ای آب در لوله باقی نماند.

۶-۳- لوله‌های ورودی

قطر لوله‌های ورودی تابع بده ورودی به مخزن است و باید به‌گونه‌ای انتخاب شود که توانایی انتقال حداکثر بده را داشته باشد، بدین معنی که در صورت خارج از سرویس‌بودن یکی از نیم‌مخازن (در صورت وجود)، لوله‌های ورودی به نیم‌مخزن دیگر بتواند بیشینه بده ورودی به مخزن را منتقل نماید. حداکثر سرعت آب در لوله‌های ورودی نباید از ۲/۲۵ متربرثانیه تجاوز کند [۱۰۴].

موقعیت لوله‌های ورودی آب به مخزن و تعداد آن‌ها، با توجه به حجم مخزن و با عنایت به ضرورت جلوگیری از ایجاد مناطق راکد و همچنین فراهم‌نمودن امکان گردش رضایت‌بخش آب از نقطه ورودی تا خروجی تعیین می‌شود. برای این منظور می‌توان لوله‌های ورودی و خروجی را در دو سمت مقابل و در دورترین فاصله نسبت به هم جانمایی کرد و معمولا ورود آب از بالاترین تراز ممکن و خروج آن از کف پیش‌بینی می‌شود. همچنین برای گردش مطلوب و مناسب آب در مخزن، تعداد لوله‌های ورودی به و یا خروجی از هر قسمت از مخزن، دو رشته (یا بسته به‌مورد و حجم مخزن چند رشته) درنظرگرفته می‌شود. در مخازن کوچک (با ظرفیت کم‌تر از ۵،۰۰۰ مترمکعب) می‌توان با نصب یک لوله ورودی و یک لوله خروجی، به‌شرط رعایت فواصل و وضعیت متقابل لوله‌های ورودی و خروجی، گردش قابل‌قبول جریان آب را در مخزن برقرار نمود. برای اطلاعات بیش‌تر در خصوص گردش مناسب آب در مخزن، به پیوست شماره ۴ مراجعه شود.

درصورتی‌که مخزن از بخش‌های مستقل (نیم‌مخزن) تشکیل شده باشد، نصب یک شیر قطع و وصل روی لوله ورودی به هر بخش ضروری است تا بتوان برای هر قسمت از مخزن با قطع جریان آب و تخلیه‌ی آن، عملیات شستشو، بازرسی و تعمیر را انجام داد. بدیهی است، درصورتی‌که مخزن از یک بخش تشکیل شده باشد نیز نصب شیر قطع و وصل بر روی لوله ورودی به مخزن ضروری است.

بر روی لوله‌ی ورودی به مخزن ممکن است انشعاب‌هایی با اندازه‌های مناسب (برای نصب فشارسنج، انشعاب کلرزنی و غیره) در نظر گرفته شود.

۶-۴- لوله‌های خروجی

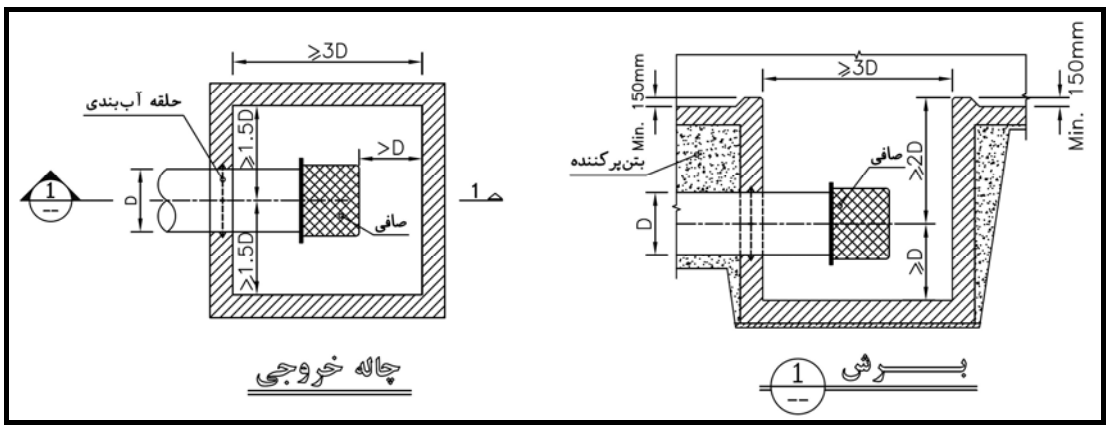
با توجه به مطالب قسمت قبل، لوله‌های خروجی از هر قسمت مخزن در سمت روبروی لوله ورودی و در دورترین فاصله ممکن نسبت به آن قرار می‌گیرند.

وضعیت دهانه‌ی لوله‌های خروجی باید طوری باشد که تخلیه کامل حجم مفید مخزن میسر باشد. این دهانه با توجه به شیب‌بندی کف در مجاورت دیوار بیرونی و در صورت ضرورت و توجیه کافی در کف مخزن و با کم‌ترین فاصله از دیوار قرار می‌گیرد.

درحالت حداقل سطح آب، به علت کاهش ارتفاع آب روی لوله خروجی، امکان بروز پدیده گرداب و مکش هوا به داخل آن وجود دارد. این امر، باعث اختلال در جریان آب لوله‌های خط انتقال، شبکه توزیع و یا کارکرد پمپ‌های واقع در پایین‌دست مخزن (در صورت وجود) می‌شود. برای جلوگیری از بروز چنین حالتی لازم است ارتفاع آب از روی محور لوله خروجی واقع در حوضچه مکش، حداقل دو برابر قطر آن باشد.

تعداد و قطر لوله‌های خروجی با توجه به محدودیت سرعتی که برای جریان آب داخل آن‌ها در نظر گرفته می‌شود، قابل انتخاب است. این محدودیت برای مخازن ذخیره آب و مخازن مکش تلمبه‌خانه‌ها متفاوت است. درصورتی‌که مخزن به عنوان مخزن مکش تلمبه‌خانه محسوب شود، قطر لوله‌های خروجی باید به گونه‌ای انتخاب شود که بیشینه سرعت جریان در داخل لوله‌ها بیش‌تر از ۱/۵ متربرثانیه نباشد. [۱۰۴] در حالتی که مخزن به عنوان مخزن ذخیره باشد، بیشینه سرعت جریان در لوله‌های خروجی، نباید بیش‌تر از ۱/۷۵ متربرثانیه باشد. [۱۰۴] در صورت هم‌زمانی در کاربرد، باید معیار مخزن مکش تلمبه‌خانه در نظر گرفته شود. زمانی که مخزن به عنوان مکش تلمبه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد، طرح لوله خروجی اتصالات باید به نحوی در نظر گرفته شود که کم‌ترین میزان افت فشار حاصل شود. همچنین، برای حفاظت داخلی لوله مکش پمپ‌ها در برابر خوردگی، نباید از پوشش داخلی ملات‌سیمانی استفاده شود.

روی هر لوله خروجی از بخش‌های مستقل مخزن، نصب یک شیر قطع و وصل مستقل ضروری است. در شکل (۶-۱) جزییات نمونه لوله خروجی نشان داده شده، بدیهی است درصورتی‌که مخزن از یک بخش تشکیل شده باشد نیز، نصب شیر قطع و وصل بر روی لوله خروجی به مخزن الزامی است.



شکل ۶-۱- جزییات نمونه لوله خروجی

به منظور تخلیه هوای خط لوله خروجی از مخزن، در محدوده‌ای از خط انتقال خروجی که امکان نصب شیر هوای اتوماتیک (شیر هوای تک‌محفظه- دو روزنه، دومحفظه- دو روزنه و یا خلاشکن) وجود ندارد، دو راه حل (به شرح زیر) متصور است. طراح می‌تواند با لحاظ‌کردن کلیه پارامترهای موثر (شکل پروفیل، تحلیل شرایط ناپایدار، کیفیت و شرایط بهره‌برداری و ...) بهترین راه‌حل را انتخاب نماید.

- انشعابی بر روی تاج لوله در حوضچه شیرهای خروجی در نظر گرفته شود. بر روی این انشعاب شیر کشویی یا کروی نصب می‌شود که در مواقع پر یا خالی کردن لوله خروجی، با باز کردن آن می‌توان عملیات هواگیری یا هوادهی را انجام داد.
- کارگذاری یک لوله هواکش[1] بر روی تاج لوله، که انتهای آن تا تراز بیشینه آب در مخزن ادامه یابد. در این صورت به منظور جلوگیری از ورود آلودگی، باید انتهای هواکش عصایی شکل باشد و انتهای آن با توری با بازشدگی مناسب محافظت شود.

به منظور نمونه‌برداری آب، لازم است تا بر روی تاج لوله‌ی خروجی از مخزن، یک شیر با قطر کمینه‌ی $\frac{۱}{۲}$ اینچ قرار گیرد تا بتوان عملیات نمونه‌گیری از آب را در حین خروج از مخزن انجام داد. این شیر می‌تواند با شیر هواگیری، که پیش از این در بند اول بخش هواگیری شرح داده شد، ادغام شود.

تراز لبه بالایی چاله خروجی، حداقل ۱۵۰ میلی‌متر از تراز کف مخزن در مجاورت چاله بالاتر می‌باشد تا از ورود مواد زاید، که به مرور در کف مخزن ته‌نشین شده‌اند، به داخل لوله خروجی جلوگیری شود. طراح با توجه به کیفیت آب و پیش‌بینی دوره‌های شستشو، می‌تواند فواصلی بیش از مقادیر گفته شده اختیار کند، اما این تغییر نباید از حجم مفید مخزن بکاهد.

ابتدای لوله‌های خروجی یک صافی از نوع یک سر فلنج و یا یک توری با بازشدگی مناسب و از جنس فولاد ضد زنگ نصب می‌شود. با توجه به کیفیت آب مخزن، صافی باید در دوره‌های زمانی مناسبی مورد بازبینی قرار گیرد تا از انسداد و گرفتگی سوراخ‌های صافی و یا توری جلوگیری به عمل آید.

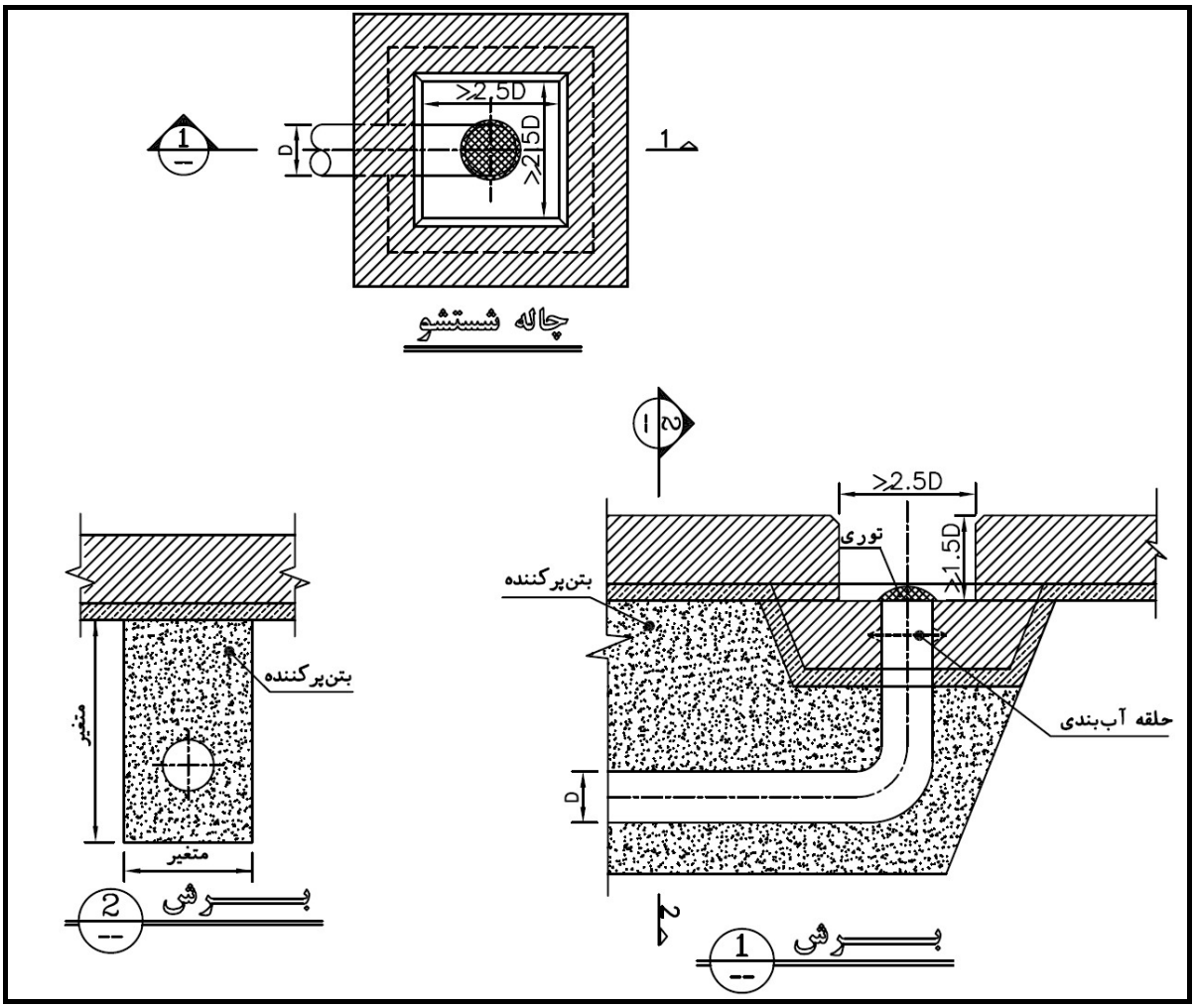
به منظور تخلیه آب چاله خروجی، با نظر طراح می‌توان از لوله‌ای با قطر مناسب در کف چاله استفاده کرد. این لوله باید با شیب مناسب (حداقل $\frac{۱}{۱۰۰}$) به سیستم تخلیه و شستشوی مخزن و یا حوضچه سرریز متصل شود. در این صورت در نظر گرفتن شیر قطع و وصل الزامی است. توصیه می‌شود، در صورت امکان شیر قطع و وصل مشترک برای این لوله و لوله تخلیه و شستشو در نظر گرفته شود. همچنین با نظر طراح می‌توان این لوله را حذف و آب این چاله را با استفاده از پمپ کف‌کش تخلیه کرد.

1- Vent

۶-۵- تجهیزات شستشو

لوله تخلیه آب با توجه به شیب‌بندی کف پایین‌ترین قسمت کف مخزن یا در مجاورت دیوار بیرونی نصب می‌شود. قطر لوله تخلیه با در نظر گرفتن کاربری مخزن طوری تعیین می‌شود که امکان تخلیه ثقلی آب مخزن در زمان مناسب میسر باشد. قطر لوله تخلیه با در نظر گرفتن زمان مناسب برای تخلیه مخزن تعیین شده و به‌طور معمول، این قطر حدود $\frac{۱}{۶}$ الی $\frac{۱}{۴}$ قطر خط لوله تغذیه کننده مخزن در نظر گرفته می‌شود. لوله تخلیه هر بخش مستقل، باید مجهز به شیر قطع و وصل باشد که در بیرون مخزن جانمایی می‌شود. جهت تخلیه مناسب، این لوله‌ها باید دارای شیب (حداقل $\frac{۱}{۱۰۰}$) باشد. لبه چاله شستشو باید حداقل از تراز مبنای مخزن ۱۵۰ میلی‌متر پایین‌تر باشد. لوله‌های شستشو را باید به سازه سرریز یا حوضچه تخلیه متصل نمود، که در این صورت باید انتهای این لوله‌ها به دریچه تخلیه انتهایی[1] مجهز شوند. با توجه به قطر نسبتا کم لوله‌های شستشو و به منظور جلوگیری از انسداد آن‌ها بر اثر ورود گل و لای و سنگریزه، توصیه می‌شود در داخل مخزن و در ابتدای لوله‌های شستشو، صافی و یا توری با بازشدگی مناسب نصب شود. لوله‌های شستشو نباید به‌طور مستقیم به سیستم فاضلاب بهداشتی و یا مجاری آب‌های سطحی و آب باران وصل شوند. جزییات لوله تخلیه یا شستشو در شکل (۶-۲) نشان داده شده است.

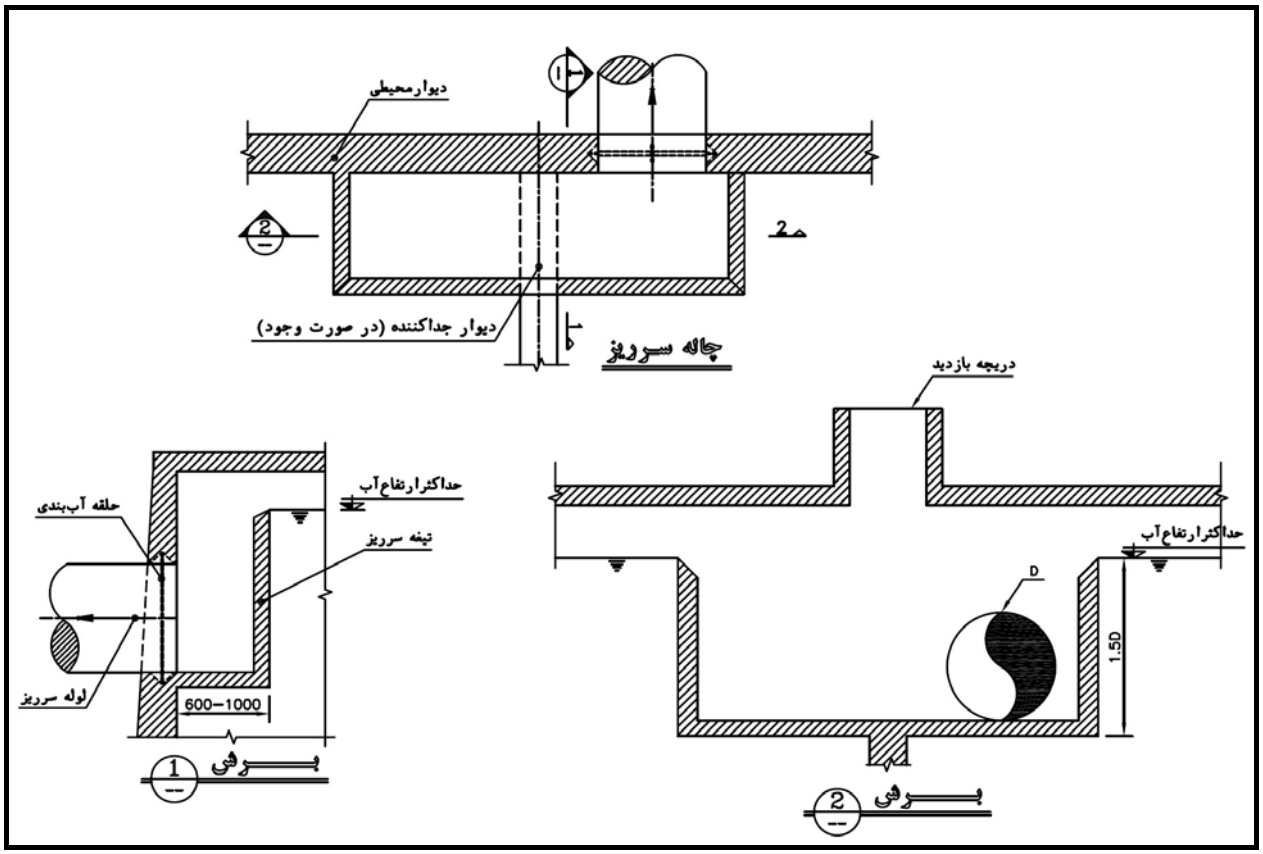
1- Flap Valve



شکل ۶-۲- جزییات نمونه لوله تخلیه یا شستشو

۶-۶- تجهیزات سرریز

حداکثر تراز سطح آب با بهره‌گیری از سرریز اضطراری کنترل می‌شود که محل آن در قسمت فوقانی مخزن و ترجیحا در محل دیوار جداکننده است. حوضچه سرریز، بتنی و شکل آن مکعب مستطیلی است که در محل دیوار جداکننده با هردو قسمت مخزن ارتباط دارد. لوله سرریز از داخل این حوضچه، آب سرریزشده را به سازه سرریز (سازه‌ای بتنی با ابعاد و هندسه مناسب که به همین منظور در بیرون مخزن ساخته شده است) انتقال می‌دهد. سازه سرریز باید به‌گونه‌ای ساخته شود که آب سرریز شده به آسانی قابل مشاهده و تشخیص باشد. آب جمع‌شده در سازه سرریز باید توسط کانال و یا لوله‌ای با شیب مناسب به محلی که تعارضی با سایر تجهیزات شهری یا برون‌شهری نداشته باشد، تخلیه شود. در شکل (۶-۳)، یک نمونه سرریز نشان داده شده است.



شکل ۶-۳ - جزییات نمونه حوضچه سرریز

فاصله بین لبه تیغه سرریز تا زیر سقف (ارتفاع آزاد) باید حداقل ۳۰ سانتی‌متر باشد تا در زمان بروز اشکالات در خط خروجی مخزن، و در نتیجه کاهش یا توقف جریان آب خروجی و افزایش ناگهانی سطح آب مخزن، فضای کافی برای بالا آمدن آب و سرازیر شدن آن به سرریز اضطراری وجود داشته و از به وجود آمدن فشارهای ناخواسته‌ی آب به زیر سقف مخزن، جلوگیری شود.

طول تیغه سرریز برای هر مخزن متفاوت بوده و بر اساس حداکثر جریان ورودی آب و ارتفاع تیغه آب بر روی تیغه سرریز محاسبه می‌شود. ارتفاع تیغه آب بر روی تیغه سرریز حداقل ۱۰ سانتی‌متر و حداکثر برابر با نیمی از ارتفاع آزاد مابین تراز لبه تیغه سرریز تا زیر سقف مخزن می‌باشد.

قطر و تعداد لوله‌های سرریز و ارتفاع حوضچه سرریز باید برای حداکثر دبی ورودی به مخزن محاسبه شود. حداقل قطر لوله سرریز، برابر قطر معادل[1] لوله‌های ورودی به مخزن می‌باشد.

۱- قطر لوله معادل دو لوله هم قطر، ۱/۳۱ برابر قطر یکی از آن‌ها می‌باشد.

لوله سرریز باید تا ۵۰ سانتی‌متری کف سازه سرریز امتداد یابد. در صورتی که امکان احداث سازه سرریز در مجاورت مخزن وجود نداشته باشد لازم است آب سرریز شده تا حوضچه انتهایی سرریز، که قابلیت پذیرش دبی سرریز شده را داشته و همچنین آب سرریز شده در آن به آسانی قابل مشاهده و تشخیص باشد، منتقل گردد. در این حالت آب سرریز شده از مخزن نباید مستقیما به مجاری آبهای سطحی و یا فاضلاب تخلیه گردد. قطر لوله انتقال آب سرریز شده به حوضچه انتهایی سرریز با توجه به ملاحظات هیدرولیکی جریان از تیغه حوضچه سرریز داخل مخزن تا خروجی حوضچه انتهایی سرریز تعیین می‌شود.

بهتر است در انتهای لوله سرریز برای جلوگیری از ورود جانوران و حشرات به داخل لوله و در صورت عدم خطر یخزدگی و مسدود شدن جریان سرریز از توری فولادی ضدزنگ استفاده شود. در صورتی که از توری با بازشدگی‌های کوچک استفاده شود، این توری ممکن است در زمستان باعث یخزدگی و انسداد آب شود، لذا استفاده از توری با بازشدگی کوچک در مناطق سردسیر توصیه نمی‌شود. یادآور می‌شود در صورتی که انتهای لوله سرریز (در محل اتصال با سازه سرریز) افقی باشد، می‌توان از یک دریچه تخلیه انتهایی به جای توری استفاده کرد.

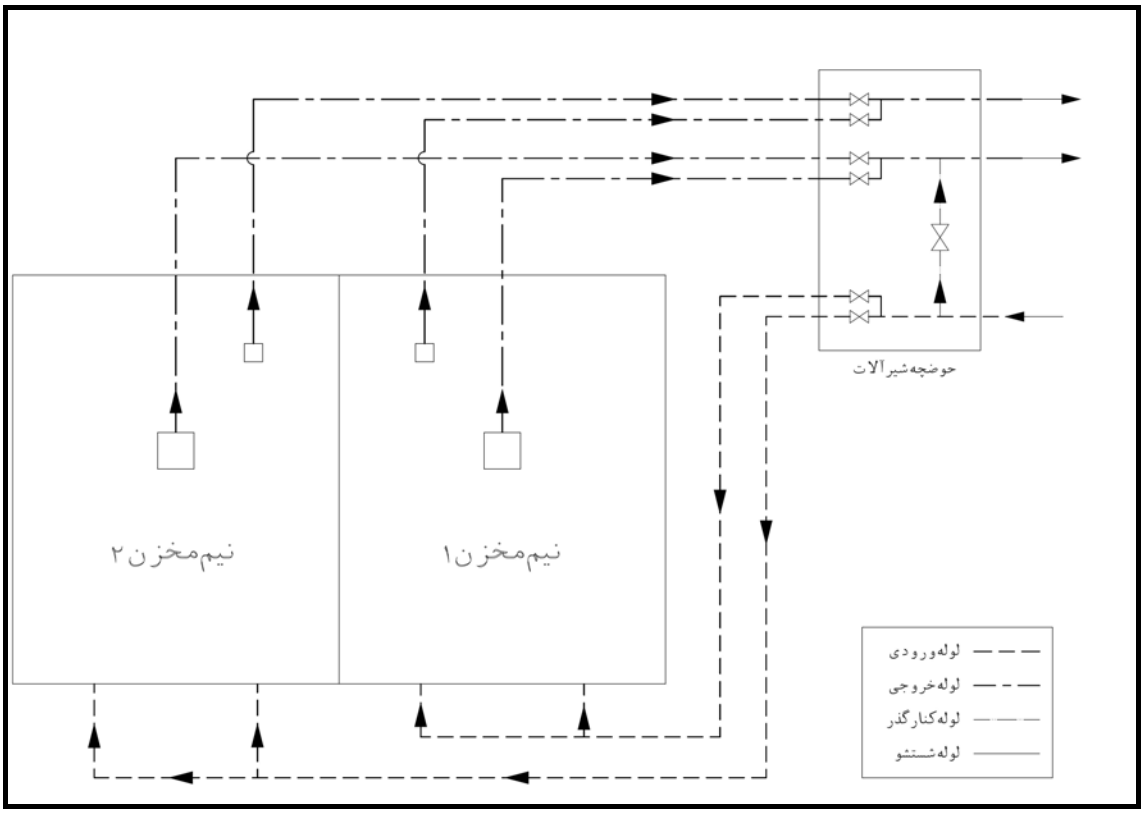
اگر دو یا چند مخزن از یک سازه سرریز مشترک استفاده می‌کنند، طرح لوله‌های سرریز باید به‌گونه‌ای باشد که آب سرریز شده از یک مخزن، به مخزن دیگر منتقل نشود. همچنین در صورت سرریز یکی از مخازن، باید مشخص شود، سرریز از کدام مخزن بوده است.

۶-۷- شیرآلات

شیرها باید به‌گونه‌ای ساخته، انتخاب و نصب شوند که:

- از نفوذ آلودگی‌ها به داخل مخازن جلوگیری شود؛
- به‌گونه‌ای نصب شوند که هیچ نشتی نداشته باشند؛
- دارای تکیه‌گاه مناسب باشند؛
- در برابر هرگونه صدماتی که ممکن است از محیط به آن‌ها وارد شود، محافظت شوند؛
- دارای فضای دسترسی، تعمیر و نگهداری کافی باشند.

طراح با لحاظ نمودن مفاهیم، اهداف و محدودیت‌های پدافند غیرعامل و همچنین توجه به کلیه شرایط تاثیرگذار بر طراحی، باید حتی‌المقدور نسبت به تجمیع شیرآلات ورودی، خروجی، کنترلی و شستشو در یک یا چند شیرخانه مشترک اقدام نماید. نمونه‌ای از این تجمیع در شکل (۶-۴) نشان داده شده است.



شکل ۶-۴- شکل شماتیک تجمیع حوضچه‌های شیرآلات لوله‌های ورودی، خروجی و شستشوی مخزن (این شکل به عنوان نمونه و تنها جهت راهنمایی ارائه شده است)

کلیه شیرها باید به گونه‌ای طراحی و یا انتخاب شوند که آب‌بند آن‌ها به راحتی قابل تعویض بوده و باز کردن و بستن و یا عملکرد آن‌ها حتی‌الامکان ساده و راحت باشد. شیرها باید بتوانند به راحتی در فشار و دمای کاری طرح کار کنند.

توصیه می‌شود با یک لوله کنارگذر[1]، لوله ورودی و خروجی مخزن را به هم وصل نمود تا در زمان تعمیر یا شستشوی مخزن، خللی در کار آبرسانی پیش نیاید. بر روی این خطوط باید شیرهای قطع و وصل و کنترل فشار (در صورت لزوم) نصب شود.

به طور معمول انواع شیرهای مورد استفاده در مخازن، عبارتند از:

- شیرهای قطع و وصل
  - پروانه‌ای[2]؛
  - کشویی[3]؛

1- By-Pass
2- Butterfly Valve
3- Gate Valve

- کروی[1].

– شیرهای کنترلی

- کنترل بده؛
- کنترل فشار؛
- کنترل سطح آب؛
- آزادکننده فشار[2].

– سایر شیرها

- هوا[3]؛
- یک‌طرفه[4]؛
- حفاظت شکستگی (شیر ایمنی)[5].

برای آگاهی از نحوه عملکرد و مبانی انتخاب انواع شیرها و عملگرها، به نشریه شماره ۵۲۹ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس‌جمهوری، «راهنمای انتخاب نوع و موقعیت شیرآلات صنعت آب و بهره‌برداری از آن‌ها»، مراجعه شود.

۶-۸- تجهیزات برق، کنترل، مانیتورینگ و تله‌متری مخازن

تجهیزات برق، کنترل، تله‌متری، ابزاردقیق و اندازه‌گیری، همچنین سامانه‌ی مانیتورینگ هر مخزن باید با توجه به فلسفه‌ی کنترل هر طرح و کاربری و اهمیت مخازن در آن و نیز سیستم تله‌متری تاسیسات آبرسانی و توزیع آب منطقه، انتخاب‌شده و تمهیدات لازم برای تهیه و نصب آن‌ها مدنظر قرار گیرد. طراحی، انتخاب تجهیزات و عملیات نصب آن‌ها باید براساس استانداردهای منتشرشده‌ی داخلی در این زمینه نظیر سازمان ملی استاندارد ایران (ISIRI) و استانداردهای معتبر بین‌المللی نظیر «IEC»، «ISO» و «EN» انجام گردد.

انتقال سیگنال‌های کنترلی تجهیزات مخازن به ایستگاه‌های بالادست و پایین‌دست یا ایستگاه کنترل مرکزی می‌تواند به‌صورت با سیم و یا بی‌سیم و با استفاده از سیستم‌های تله‌متری انجام شود. در این زمینه طراح باید با مقایسه‌ی پارامترهای تاثیرگذار فنی و اقتصادی، طرح مناسب برای انتقال سیگنال‌ها را پیشنهاد نماید.

1- Ball Valve
2- Pressure Relief Valves
3- Air Valve
4- Check Valve
5- Burst Safety Valve

گستره‌ی تجهیزات قابل‌نصب در مخازن آب بر حسب نوع، کاربرد و درجه‌ی اهمیت در سیستم آبرسانی، می‌تواند متفاوت باشد. برخی از مهم‌ترین این تجهیزات به شرح زیر می‌باشند:

۶-۸-۱- حسگرهای سطح آب در مخازن

مخازن باید دارای تجهیزات مستقل اندازه‌گیری و نمایش سطح آب باشند. درصورتی‌که مخازن از دو (یا چند) بخش مستقل تشکیل شده باشند، لازم است هر بخش به صورت جداگانه دارای این تجهیزات باشد. این تجهیزات، دست کم شامل یک دستگاه سطح‌سنج[1]، یک سوییچ سطح بالای بالا[2] و یک سوییچ سطح پایینِ پایین[3] برای هر بخش خواهد بود. شرایط خارج از سرویس بودن هر یک از بخش‌ها باید برای سیستم کنترل قابل تعریف باشد. به‌عنوان مثال، بسته‌بودن شیرهای ورودی و خروجی هر بخش می‌تواند به‌عنوان خارج از سرویس بودن آن بخش تلقی گردد. بدیهی است در این حالت سیگنال‌های دریافتی از سطح‌سنج یا سوییچ‌های سطح، غیرمعتبر شناخته خواهد شد و برای اعمال فرامین لازم، مورد استفاده قرار داده نمی‌شوند. برای فراهم شدن این منظور، استفاده از عملگرهای برقی یا سوییچ‌های حدی برای حالت‌های کاملا باز و کاملا بسته بر روی شیرهای ورودی و خروجی لازم خواهد بود.

سطح‌سنج‌ها و سوییچ‌های سطح می‌توانند از انواع اولتراسونیک، جابجایی، لرزشی، مقاومتی یا شناوری، بسته به دقت‌های موردنیاز در طرح انتخاب شوند. درهرحال، دقت در درجه‌ی حفاظت مناسب و مقاومت در برابر خوردگی از نکات مهمی است که در انتخاب این تجهیزات باید مورد توجه ویژه قرار گیرد.

تمهیدات لازم برای تامین فضای مناسب و کافی برای نصب سوییچ‌های سطح و سطح‌سنج‌ها بر روی دیواره دریچه‌های بازدید هر یک از بخش‌ها، از مواردی است که به نصب مناسب تجهیزات کمک شایانی خواهد نمود.

۶-۸-۲- بده‌سنج‌ها

انتخاب نوع بده‌سنج‌ها به جنس، قطر، فشار خط لوله، نوع و سرعت سیال (آب خام، آب تصفیه‌شده)، نوع پوشش داخلی و خارجی و دقت اندازه‌گیری مورد نیاز بستگی دارد. بر این اساس، درصورتی‌که دقت بالاتر مدنظر باشد می‌توان از بده‌سنج‌های الکترومغناطیسی فلنجی استفاده نمود. به‌کارگیری بده‌سنج‌های اولتراسونیک در لوله‌های با قطرهای بالا می‌تواند موجب کاهش هزینه‌های طرح شود.

1- Level Transmitter
2- High-High Level Switch
3- Low-Low Level Switch

برای نصب بدەسنج‌ها در ورودی و خروجی مخازن، رعایت کامل محدودیت‌ها و دستورالعمل‌های نصب سازندگان نظیر رعایت فاصله مناسب از زانویی‌ها، سه‌راهی‌ها و شیرهای کنترلی در بالادست و پایین‌دست، همچنین رعایت حداقل سرعت مجاز اعلام شده از سوی سازنده و پر بودن خط لوله در تمام شرایط کارکرد برای کارکرد صحیح و دقیق بدەسنج‌ها، ضروری است.

۶-۸-۳- سیستم‌های مانیتورینگ

سیستم‌های مانیتورینگ که برای نمایش و ثبت اطلاعات مورد استفاده قرار می‌گیرند به دو دسته محلی و مرکزی تقسیم می‌شوند. تجهیزات ابزاردقیق نظیر ترانسمیترهای بده، سطح و فشار دارای صفحه‌های نمایش کوچک «ال‌سی‌دی»[1] با قابلیت برنامه‌ریزی محدود برای نمایش اطلاعات اندازه‌گیری‌شده در محل هستند. در پاره‌ای از موارد با تعبیه تجهیزات ذخیره‌ی اطلاعات[2] بر روی این تجهیزات می‌توان اطلاعات را در محل ثبت و ذخیره نمود.

سیستم‌های مانیتورینگ در سطوح ساده می‌توانند شامل تابلوهای میمیک یا مانیتورهای کوچک صنعتی با قابلیت برنامه نویسی باشند. ایراد عمده‌ی تابلوهای میمیک، علی‌رغم سهولت در بهره‌برداری، عدم امکان اعمال تغییرات بعدی بدون تغییرات سخت‌افزاری در آن‌ها است از این‌رو برای ازبین‌بردن این ایراد می‌توان مانیتورهای کوچک صنعتی با قابلیت نصب بر روی تابلوها و امکان برنامه‌نویسی و اتصال به سایر تجهیزات کنترلی نظیر «پی ال سی»ها[3] را در سیستم‌های مانیتورینگ محلی و مرکزی با تابلوهای میمیک ترکیب نمود.

سیستم‌های مانیتورینگ مرکزی پیچیده‌تر، می‌توانند شامل کامپیوترهای صنعتی و نرم‌افزارهای مانیتورینگ به همراه مانیتورهای نشان‌گر تصویر بزرگ و با قابلیت اتصال به سیستم‌های تله‌متری و اسکادا[4] باشند.

تهیه و نصب نسخه‌های اصل نرم‌افزارها به همراه قفل‌های سخت افزاری و نرم‌افزاری (رمزهای عبور) به‌همراه امکان تعریف سطوح دسترسی مختلف (مدیر بهره‌برداری، کارشناسان بهره‌بردار یا تکنسین‌های بهره‌برداری) و امکان گزارش‌گیری از اطلاعات به‌صورت قابل‌فهم و کاربردی در بازه‌های زمانی قابل تعریف و در اشکال مختلف (جدول، نمودار یا گراف)، ثبت و نگهداری ساعت و تاریخ کلیه رویدادهای سامانه از جمله خطاها و آلارم‌ها و تغییرات در مقادیر قابل تنظیم، باید در سیستم‌های مانیتورینگ مورد توجه قرار گیرد.

ترسیم صفحات اصلی و فرعی و نمایش سیگنال‌ها، خطاها و آلارم‌های صوتی و بصری باید مطابق فلسفه کنترل طرح انجام شود. طول، مسیر، قطرهای لوله‌ها به‌همراه ابعاد، نوع و شکل‌های تجهیزات مورداستفاده نظیر شیرها، موتورها، پمپ‌ها و... تا حد امکان باید با طرح اصلی مطابقت داشته یا متناسب باشند. امکان استفاده از زبان فارسی و سادگی در،

1- LCD
2- Data Logger
3- PLC
4- SCADA

دسترسی بهره‌بردار به اطلاعات و گزارش‌ها باید در انتخاب نرم‌افزار و برنامه‌نویسی در نظر گرفته شود. بهتر است در صفحه‌ی اصلی ضمن نمایش کلیات طرح، به ارائه اطلاعات ضروری اکتفا شود و اطلاعات تکمیلی هر بخش یا تجهیز در صفحات فرعی به‌صورت جداگانه ارائه گردند. همچنین لازمست، امکان دسترسی به هر بخش از صفحات اصلی و فرعی در نظر گرفته شود. رنگ‌های مورداستفاده در صفحات مانیتورینگ تابع الگوی خاص و مشخص باشند. به‌عنوان نمونه، برای جریان آب در لوله‌ها از رنگ آبی و برای خطاها از رنگ قرمز و برای آلارم‌ها از رنگ‌های هشدار دهنده زرد یا نارنجی استفاده شود.

همچنین باید، برای شرایط تغییر وضعیت الکتروپمپ‌ها (درحال‌راه‌اندازی) و شیرهای مجهز به عملگرهای برقی یا دریچه ها (درحال باز یا بسته‌شدن) از حالت چشمک‌زن استفاده شود. وضعیت‌های سیستم کنترل (دستی و خودکار، از راه دور و محلی) و شرایط ارتباط سیستم‌های تله‌متری بر روی صفحات مانیتورینگ نمایش داده شود. در صورت لزوم باید واکنش‌های بهره‌بردار در قبال خطاها و حوادث به‌صورت متن بر روی صفحات مانیتورینگ نیز نمایش داده شود.

در هنگام طراحی معماری اتاق‌های کنترل و مانیتورینگ، علاوه بر جانمایی تابلوهای سیستم‌های کنترل و مانیتورینگ، کامپیوترها و سرورها موارد دیگری از جمله ابعاد، دکوراسیون، آرایش و چیدمان تجهیزات اداری در اتاق‌ها نیز باید در نظر گرفته شود. توجه به شرایط بهره‌برداری و شرایط آب و هوایی منطقه برای انتخاب سیستم‌های سرمایش و گرمایش مناسب برای هر یک از فضاها ضروری‌است.

گستره‌ی به‌کارگیری سیستم‌های مانیتورینگ، بستگی مستقیم به ابعاد طرح دارد. طراحان با توجه به فلسفه‌ی کنترل درصورتی‌که بخواهند یک سیستم مانیتورینگ جامع برای تاسیسات آبرسانی که مخزن بخشی از آن است، طرح نمایند باید تمامی موارد گفته شده در این بخش را مد نظر قرار دهند. بدیهی است که برای سامانه‌هایی که تنها شامل یک مخزن می‌باشند، سیستم مانیتورینگ ساده‌تری قابل استفاده می‌باشد.

۶-۸-۴- سیستم‌های گرمایش صنعتی الکتریکی[1]

برای جلوگیری از یخ‌زدگی آب در لوله‌ها، شیرها و دیگر تجهیزات فلزی در داخل یا خارج شیرخانه‌ها، تصفیه‌خانه‌ها و ایستگاه‌های پمپاژ در فصول سرد سال می‌توان از سیستم‌های گرمایش صنعتی الکتریکی استفاده نمود. این تجهیزات می‌توانند شامل کابل‌های حرارتی، ژاکت‌های حرارتی، ژاکت‌های مدفون در بتن و تجهیزات گرمایش تابشی باشند. برای این سیستم‌ها باید کلیه‌ی قطعات وابسته به این تجهیزات شامل منابع تغذیه،

1- Electrical Heat Tracing

ترموستات‌ها، ترمینال‌ها، تابلوها، کابل‌کشی‌های برقی و کنترلی، عایق‌کاری سطح تجهیزات، سیستم‌های هشدار و آلارم مناسب در نظر گرفته شوند.

۶-۸-۵- سیستم برق اصلی اضطراری (دائمی و موقت)

با توجه به فلسفه کنترل مخازن، درصورتی‌که قطعی برق در تاسیسات مخزن، موجب اخلال در عملکرد مورد انتظار تجهیزات مخزن گردد، برای جلوگیری از سرریز مخازن یا خالی شدن آن‌ها می‌توان تمهیداتی نظیر خاموش و روشن‌کردن شیرها یا پمپ‌های بالادست یا پایین‌دست مخازن در سیستم برق و کنترل در نظر گرفت. بدیهی است در این حالت، تامین برق دائمی و موقت مورد نیاز سیستم‌های کنترل و تله‌متری نیز از دو منبع جداگانه نظیر شبکه سراسری یا انرژی خورشیدی برای تامین برق دائمی و دیزل ژنراتور برق اضطراری (درصورت‌وجود) به‌همراه منابع تغذیه‌ی ایمن بدون وقفه[1] برای تامین برق موقت قابل توصیه می‌باشد. برای جلوگیری از تاثیرات نامناسب قطع و نوسانات برق شبکه بر روی سیستم کنترل و مانیتورینگ، در تمام حالت‌ها تغذیه این سیستم‌ها از خروجی منابع تغذیه ایمن بدون وقفه توصیه می‌شود.

ظرفیت باتری‌های منابع تغذیه‌ی ایمن بدون وقفه، باید به‌گونه‌ای انتخاب شود که دست کم توانایی تامین ۲ ساعت نیازهای سیستم کنترل و تله‌متری را داشته باشند.

با توجه به سطح وسیع و مسطح سقف مخازن بتنی آب، چنانچه ملاحظات پدافند غیرعامل استتار را الزامی نداند، می‌توان با نصب صفحات سلول‌های خورشیدی بر روی سقف، ضمن برخورداری از انرژی‌های پاک، بخشی از برق مورد نیاز محوطه مخازن را تامین نمود.

۶-۸-۶- سایر تجهیزات

سایر مواردی که می‌تواند در صورت‌لزوم یا نیاز در سیستم برق و کنترل و تله‌متری مخازن در نظر گرفته شود عبارتند از:

۶-۸-۶-۱- اندازه گیری پارامترهای کیفی آب، نظیر کلر باقی‌مانده و کدورت

در صورت نیاز به اندازه‌گیری پارامترهای کیفی آب نظیر کدورت یا کلر باقی‌مانده در سمت ورودی و یا خروجی مخازن، تمهیدات لازم برای تامین برق مورد نیاز پمپ‌های نمونه‌برداری، تعبیه‌ی انشعاب مناسب برای نمونه‌گیری و نیز نصب و کابل‌کشی حسگرهای اندازه‌گیری در ورودی و خروجی مخازن باید در نظر گرفته شود.

1- Uninterruptable Power Supply

سیستم‌های کدورت‌سنج علاوه بر نمایش و اندازه‌گیری کدورت جذب‌شده در آب در مواقع سیلاب و یا شکستگی لوله‌ها، برای تشخیص زمان شستشوی مخازن بر اساس میزان کدورت آب نیز کاربرد دارند. این تجهیزات (در صورت نصب) باید دارای سیستم خودکار سنسور بوده و بتوانند دما را نیز اندازه‌گیری نمایند.

۶-۸-۶-۲- اندازه‌گیری فشار خط

برای اندازه‌گیری فشار، با توجه به نیاز طرح می‌توان نصب نمایشگر فشار[1] یا فشارسنج[2] در بالادست یا پایین‌دست شیر ورودی به مخازن را در طرح گنجاند.

۶-۸-۶-۳- کنترل دریچه‌های بازدید

ضمن این‌که دریچه‌های بازدید مخازن باید مجهز به قفل‌های مکانیکی باشند، برای آگاهی از بازشدن دریچه‌های بازدید توسط افراد غیرمجاز، تمام این دریچه‌ها می‌توانند به حسگرهایی مجهز گردند تا در صورت بازشدن غیرمجاز، سیستم کنترل محلی یا مرکزی در اتاق کنترل را آگاه نمایند.

۶-۸-۶-۴- شست‌وشوی مخازن

برای شست‌وشوی مخازن باید تمهیدات لازم برای تامین برق مورد نیاز پمپ‌ها و یا سایر ادوات شست‌وشو در محل نصب آن‌ها و تامین روشنایی موقت در زمان شست‌وشوی مخازن در نظر گرفته شود. در صورت استفاده از دستگاه‌های قابل حمل، علاوه بر تامین برق باید برای تجهیزات لازم جهت حمل و نقل این دستگاه‌ها به روی سقف و داخل مخازن نیز پیش‌بینی‌های لازم صورت پذیرد.

۶-۸-۶-۵- تمهیدات لازم برای کابل‌گذاری

برای عبور کابل‌های برق و کنترل باید بازشوهای مناسب در دریچه‌های مخازن، همچنین لوله‌گذاری در سقف مخازن و دیوارهای پیرامونی مدنظر قرار گیرد. پی‌سازی برای پایه‌های چراغ‌های سیستم روشنایی و دوربین های پایش از راه دور در محوطه از جمله مواردی است که باید در هنگام طراحی و اجرای عملیات سازه‌ای در نظر گرفته شود.

1- Pressure Indicator
2- Pressure Transmitter

۶-۸-۶-۶- تولید برق

در خطوط لوله‌ی ثقلی درصورتی‌که در ورودی مخازن فشار قابل‌توجهی وجود داشته باشد، به‌جای استفاده از شیرهای فشارشکن، در صورت وجود توجیه فنی و اقتصادی ممکن است بتوان با نصب توربوژنراتور در ورودی مخزن، از برق تولیدی آن نیز استفاده نمود.

فصل ۷

مخازن وزنی

۷-۱- کلیات

مخازن وزنی، مخازنی هستند که عامل پایداری دیوارهای آن‌ها در مقابل نیروهای افقی، وزن دیوارها و خاک روی آن است. چنین مخازنی در دو حالت کاملا متفاوت مورد استفاده قرار می‌گیرند. حالت اول، مخازن خیلی بزرگ که در آن‌ها دیوارها تقریبا نقش سدهای وزنی را دارند و مطالعه و بررسی آن‌ها خارج از محدوده این ضوابط است. حالت دوم، مخازن کوچک با حجم کم‌تر از ۱۰۰۰ مترمکعب که با نظارتی در حد متوسط، توسط مجریان محلی اجرا می‌شوند. در این فصل، ضوابطی برای طراحی و اجرای مخازن در حالت دوم ارائه می‌شود. مطالعات نشان می‌دهد که این‌گونه مخازن وزنی از نظر اقتصادی مزیتی بر مخازن بتن مسلح ندارند و برتری آن‌ها تنها از نقطه‌نظر کاربرد در مناطقی است که امکانات قالب‌بندی، آرماتوربندی و بتن‌ریزی در حد ضوابط قابل قبول برای بتن مسلح وجود ندارد. با توجه به مصالح به‌کاررفته، مخازن وزنی به‌صورت زیر طبقه‌بندی می‌شوند:

الف – مخازن یا دیوارهای وزنی بتنی

این‌گونه دیوارها معمولا از دیوارهای بتن غیرمسلح ساخته می‌شوند. از آن جهت که تنش‌های کششی در این‌گونه دیوارها وجود ندارد و یا بسیار کم است، در آن‌ها از آرماتور استفاده نمی‌شود، برای مقابله با مسایل مربوط به انقباض و انبساط حرارتی و نیز مسایل مربوط به افت و خزش بتن، در فواصل مناسب از انواع درزها استفاده می‌شود.

خصوصیات لازم برای بتن مصرفی را می‌توان در تراکم زیاد، نفوذپذیری کم و دوام خوب خلاصه کرد. وزن مخصوص بتن مصرفی را می‌توان در حدود ۲۲ الی ۲۴ کیلونیوتن بر مترمکعب درنظرگرفت.

ب- دیوارهای وزنی سنگی

سنگ‌های کارشده در دیواره مخازن وزنی، بیش‌تر به‌صورت لاشه‌ای و یا کلنگی می‌باشند. سنگ‌های مورد مصرف باید دارای خصوصیات زیر باشند:

- مقاومت فشاری آن‌ها حداقل ۵۰ مگاپاسکال باشد؛
- دارای سختی نسبتا خوبی باشند (حداقل سختی لازم برای این‌گونه سنگ‌ها، ۴ است)؛
- از تخلخل نسبتا کمی (حداکثر۳ الی ۴ درصد) برخوردار بوده و عاری از شیار، ترک و رگه‌های سست و پوسیدگی باشد؛
- دارای خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مناسب در برابر عوامل طبیعی نظیر تابش آفتاب، یخبندان، بارش، بخار آب، رطوبت و ... باشند؛
- از میزان آب‌گذری کم برخوردار باشند و حداکثر جذب آب در آن‌ها ۳ درصد وزن سنگ باشد؛
- از دوام زیاد برخوردار باشند؛
- از نظر زیبایی ظاهری و رنگ، مناسب باشند؛
- وزن مخصوص زیادی داشته باشند (حدود ۲۴ الی ۲۸ کیلونیوتن بر مترمکعب).

برای تخمین کمی خصوصیات فوق، انجام آزمایش سلامت[1] و سایر آزمایش‌های استاندارد مربوطه لازم می‌باشد.

به‌طورکلی می‌توان عوامل موثر در به‌کارگیری این‌گونه سنگ‌ها را در دوام، فراوانی، فاصله‌ی حمل و قیمت خلاصه کرد. بنابراین در به‌کارگیری آن‌ها، همواره باید موازنه‌ای بین قیمت تمام‌شده و دوام مصالح مصرفی، برقرار کرد. برای کسب اطلاعات بیش‌تر در این زمینه، می‌توان به نشریه شماره ۹۰ دفتر تحقیقات و معیارهای فنی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، تحت عنوان «دیوارهای سنگی» مراجعه کرد.

وزن مخصوص سنگ‌های مورد مصرف در مخازن، معمولا بین ۲۴ تا ۲۸ کیلونیوتن بر مترمکعب متغیر است. درصورتی‌که این مساله با آزمایش تایید گردد، در محاسبات با توجه به وجود درزها و بندها و حجم اشغال‌شده توسط ملات، وزن مخصوص متوسط دیوار سنگی ۲۴ کیلونیوتن بر مترمکعب درنظرگرفته می‌شود.

۷-۲- بارهای وارد بر مخازن وزنی

بارهای وارد بر مخازن وزنی، شامل بارهای مرده، زنده، فشار استاتیکی مایع نگهداری‌شده و فشار استاتیکی خاک، نیروی برکنش[2]، نیروهای ناشی از تغییرات درجه حرارت و نیروهای وارده به هنگام زلزله شامل اضافه فشار هیدرودینامیکی آب، فشار دینامیکی خاک و نیروی اینرسی وارد بر دیوار و سقف می‌باشد که در فصل سوم این ضابطه ارائه شده است. علاوه بر بارهای فوق، تاثیر دو بارگذاری زیر در طراحی مخازن وزنی حائز اهمیت است:

الف- نیروی برکنش ناشی از تراوش آب از زیر دیوار

در مخازن وزنی به علت عدم آب‌بندی مناسب کف و وجود درزهای اجرایی افقی، آب درون مخزن ممکن است از زیر یا درون دیوار راهی به سمت بیرون باز کند که نتیجه‌ی آن ایجاد نیروی برکنش در پای دیوارها و یا هر تراز افقی دیگر در دیوار می‌باشد. توزیع نیروی برکنش به صورت خطی با مقداری مساوی ارتفاع آب در سمت داخل مخزن (مجاور آب) و مقدار مساوی صفر در سمت خارجی مخزن درنظرگرفته می‌شود.

ب- نیروی اینرسی ناشی از زلزله

علاوه بر فشار دینامیکی ناشی از ارتعاشات آب ذخیره‌شده‌ی درون مخزن که طبق روابط ارائه‌شده در بخش ۳-۵ محاسبه می‌شود، جرم دیوار وزنی نیز تحت شتاب افقی زلزله قرار گرفته و در آن نیروی القایی افقی زلزله ایجاد می‌شود. باتوجه به سنگین بودن دیوار، اثر این نیروی افقی مهم و قابل‌توجه خواهد بود.

1- Soundness Test
2- Uplift

در محاسبات سدهای وزنی بتنی، مقدار ضریب نیروی افقی زلزله C، رقمی در حدود ۰/۱۵ تا ۰/۲ برای مناطق زلزله‌خیز خیلی زیاد است. باتوجه به درجه اهمیت بسیار بالای سد نسبت به مخزن وزنی، می‌توان این‌طور قضاوت نمود که ضریب نیروی افقی زلزله (۰/۲) عدد نسبتا بزرگی است لذا، انتخاب ضریب نیروی افقی زلزله $C = 0.5A$ برای مناطق مختلف لرزه‌خیزی کشور، قابل‌توصیه است (A شتاب مبنای طرح برای مناطق مختلف است).

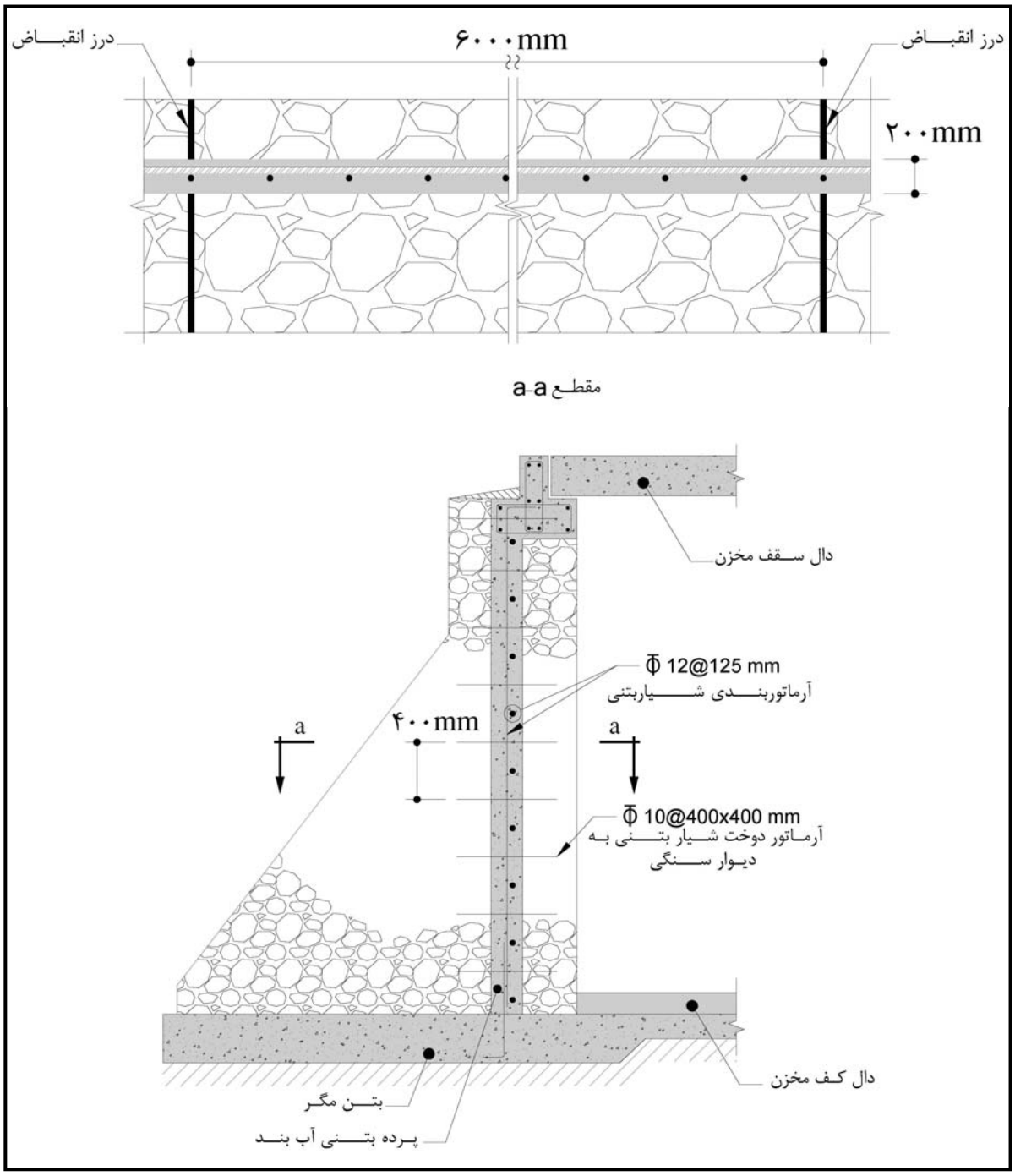
علاوه بر مولفه افقی، زلزله می‌تواند شتاب قائم نیز ایجاد نماید. لیکن در روش جاری محاسبات، این شتاب قائم درنظرگرفته نمی‌شود.

۷-۳- آب‌بندی دیوارها و کف مخازن

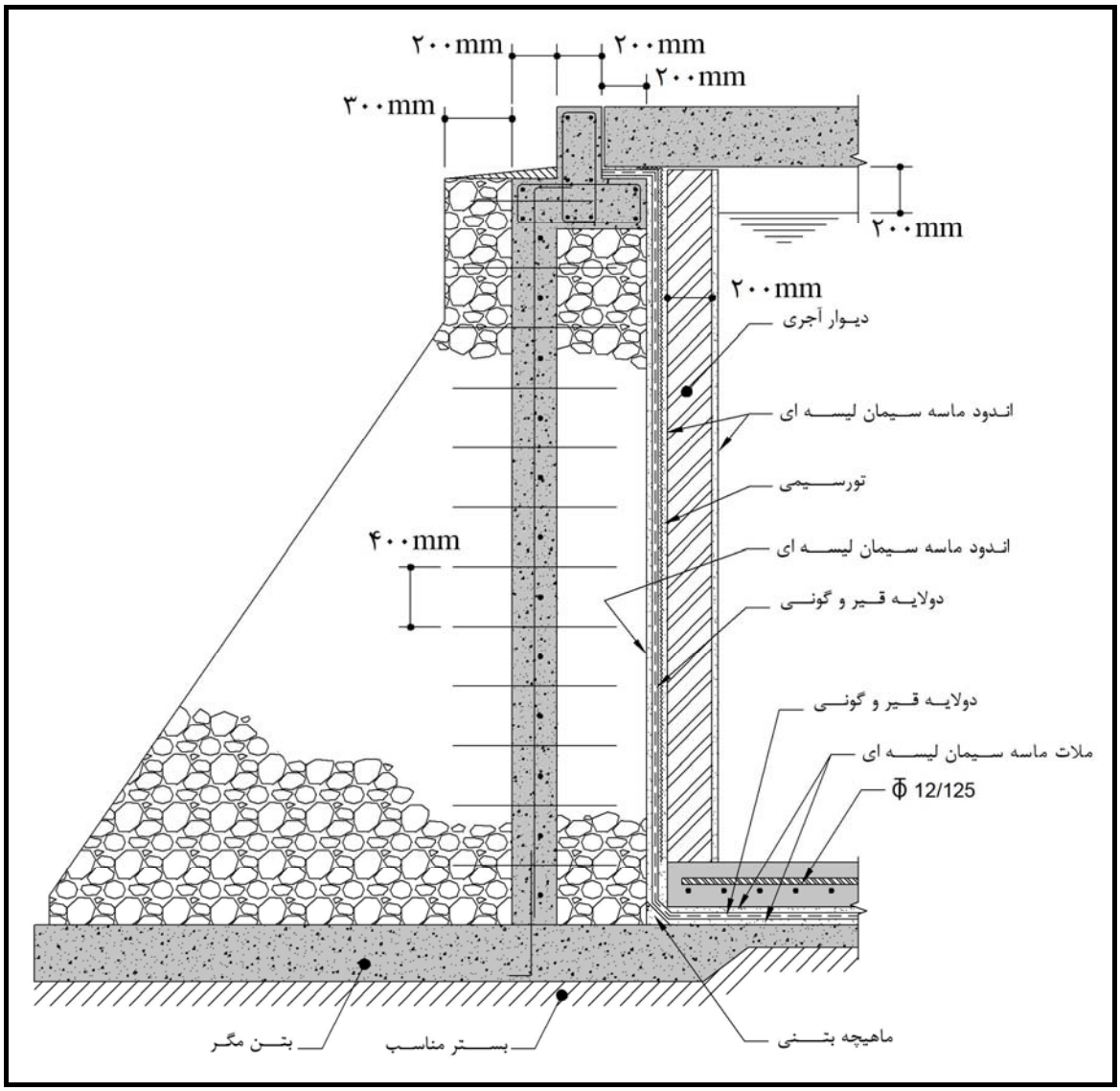
باتوجه به عدم تعبیه میلگردهای حرارتی در مخازن وزنی بتنی، برای جلوگیری از هرگونه ترک در دیوار مخازن، لازم است درزهای انقباضی و انبساطی در دیوارها در فواصل مناسب تعبیه گردد. طبق نظریه‌های ارائه‌شده در بخش ۴-۷-۳-۲، حداکثر فواصل درزهای انقباضی برای حالتی که بتوان از حداکثر توان کششی بتن استفاده نمود، حدود ۲/۷ متر به دست می‌آید که با توجه به آن، فواصل ۳ متری برای درزها قابل‌توصیه است. بدیهی است که در این درزها باید نوار آب‌بند قرار گیرد، ولی لزومی ندارد که در محل درز، دو لبه بتن از هم فاصله داشته باشد و لبه‌ها می‌توانند در مجاورت یکدیگر بتن‌ریزی شوند.

در مورد دیوارهای سنگی با توجه به عدم قفل و بست کافی بین قطعات سنگ، فواصل درزها را می‌توان تا ۶ متر افزایش داد. لیکن برای آب‌بند نمودن دیوارها، لازم است یک لایه بتن مغزی مطابق مشخصات شکل (۷-۱) اجرا گردد. اجرای این پرده بتنی آب‌بند، شرایط استاندارد شماره ۲۸۰۰ ایران تحت عنوان «آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله» درخصوص مسلح‌کردن دیوارهای بنایی را نیز برآورده می‌کند.

برای آب‌بندی کف مخازن، استفاده از یک دال بتنی به ضخامت حداقل ۲۰ سانتی‌متر با شبکه میلگردهای نمره ۱۲ به فواصل ۱۲۵ میلی‌متر (Φ12.125) توصیه می‌شود. جزییات اتصال دیوار به کف مطابق شکل (۷-۲) می‌باشد. برای تکمیل آب‌بندی دیوار، داخل دیوارهای مخزن اندود سیمان شده و روی آن دولایه قیروگونی اجرا و توسط یک تیغه آجری ۲۲ سانتی‌متری محافظت می‌شود.



شکل ۷-۱- جزییات آب‌بندنمودن دیوارهای سنگی با هسته بتنی مسلح با ضخامت ۲۰ الی ۳۰ سانتی‌متر (مقطع دیوار) [۳۲]



شکل ۷-۲- جزییات اتصال بتن آب‌بند کف به عایق دیوار [۳۲]

۷-۴- تناسب‌های هندسی اولیه در طراحی دیوارهای وزنی

در طراحی دیوارهای وزنی، داشتن تناسب‌های هندسی اولیه معقول، کمک موثری در کاستن تعـداد سـعی و خطاهـا می‌باشد. در این قسمت با مبنا قراردادن دو اصل مهم در طراحی سازه‌های بنایی، تناسب‌های هندسی دیوارهای وزنـی در حالات مختلف به‌دست می‌آید.

این دو اصل عبارتند از:

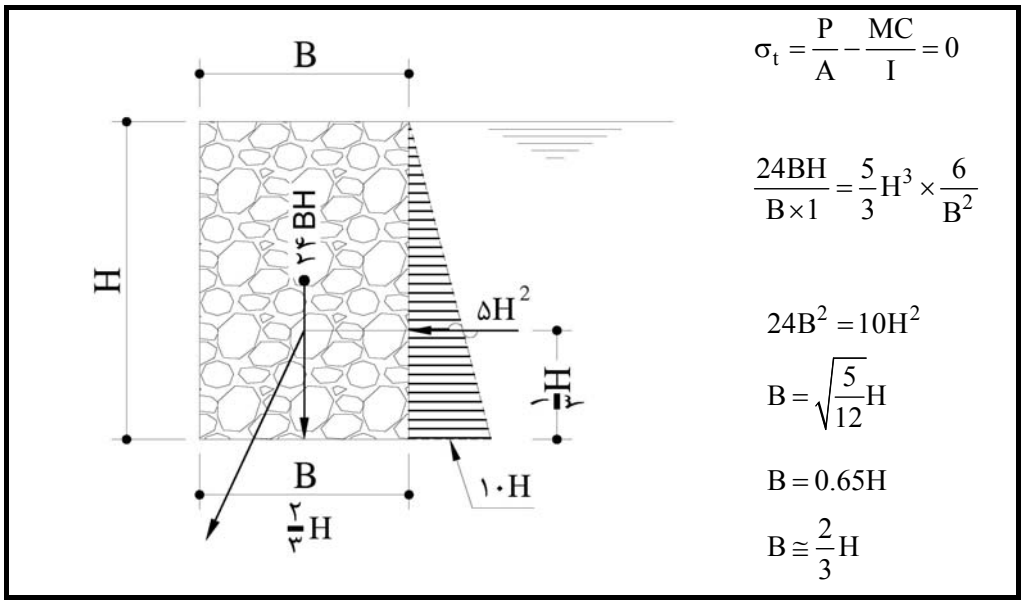
الف- ضریب اطمینان دیوار در مقابل واژگونی، تحت اثر بارهای استاتیکی حداقل مساوی ۱/۷۵ باشد؛ و

ب- برآیند فشار باید در $\frac{۱}{۳}$ میانی مقطع افقی قرار گیرد (این فرض ضریب اطمینان واژگونی را بیش‌تر از ۱/۷۵ بـرای بارهای استاتیکی نتیجه می‌دهد).

به علاوه وزن مخصوص مصالح دیوار ۲۴ کیلونیوتن بر مترمکعب و وزن مخصوص آب، ۱۰ کیلونیوتن بر مترمکعب درنظرگرفته می‌شود.

۷-۴-۱- دیوار تحت فشار جانبی آب – بدون نیروی برکنش و بدون تاثیر نیروی زلزله

شکل (۷-۳)، نیروهای وارد بر یک دیوار با مقطع مستطیلی به عرض B و ارتفاع H را با تراز آب در بالای دیوار، نشان می‌دهد. برای برآورده‌کردن شرط ۷-۴- ب، میزان تنش در تار دور سمت کشش قاعده، مساوی صفر قرار داده می‌شود.



شکل ۷-۳- نیروهای وارد بر دیوار با مقطع مستطیلی [۳۲]

بنابراین ملاحظه می‌شود برای این‌که هیچ‌گونه کششی در قاعده ایجاد نشود، عرض قاعده‌ی دیوار با مقطع مستطیلی باید $\frac{۲}{۳}$ ارتفاع آن باشد. در شکل (۷-۴) نتیجه چنین محاسباتی برای سه حالت مختلف اجرایی نشان داده شده است.

حالت (الف): دیوار مستطیلی به ارتفاع H، قاعده $\frac{۲}{۳}$H و وزن مخصوص ۲۴ کیلونیوتن بر مترمکعب؛

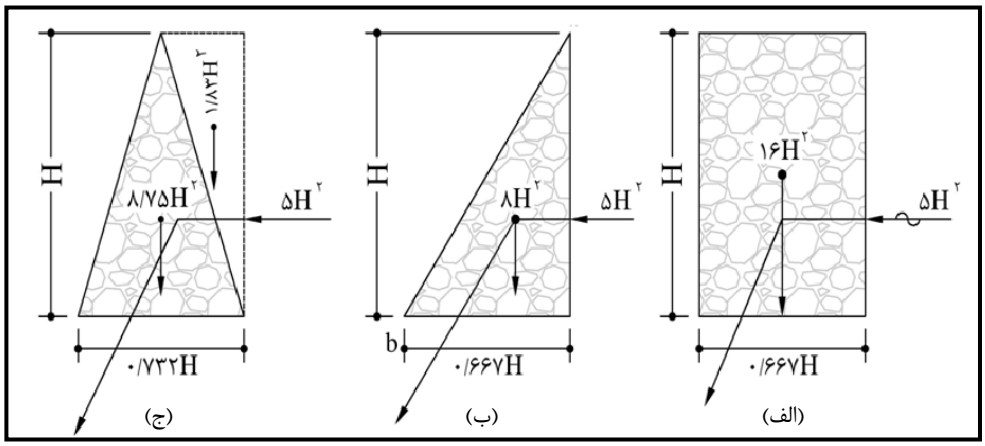
وزن دیوار: $\frac{2}{3}H \times H \times 24 = 16H^2$

حالت (ب): دیوار مثلثی به ارتفاع H، قاعده $\frac{۲}{۳}$H و وزن مخصوص ۲۴ کیلونیوتن بر مترمکعب؛ و

وزن دیوار: $\frac{2}{3}H \times \frac{1}{2}H \times 24 = 8H^2$

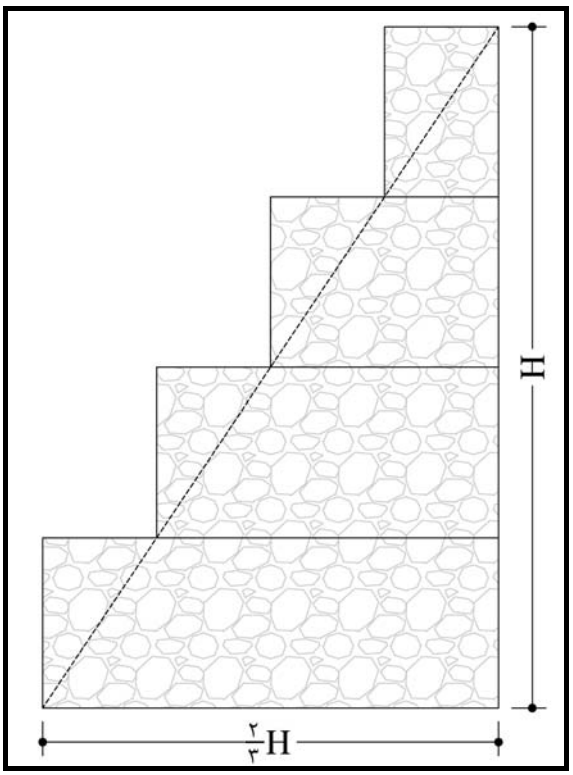
حالت (ج): دیوار مثلثی به ارتفاع H، قاعده ۰/۷۳۲ H و وزن مخصوص ۲۴ کیلونیوتن بر مترمکعب.

وزن دیوار: $0.732H \times \frac{1}{2}H \times 24 = 8.784H^2$



شکل ۷-۴- شمای محاسباتی در حالت اجرای دیوار برای فشار بر کنش [۳۲]

در عمل دیوار مثلثی را همانند شکل (۷-۵) می‌توان به صورت پله‌ای اجرا نمود. دراین حالت نسبت تصویر افقی خط‌چین به تصویر قائم آن باید مساوی $\frac{۲}{۳}$ باشد.



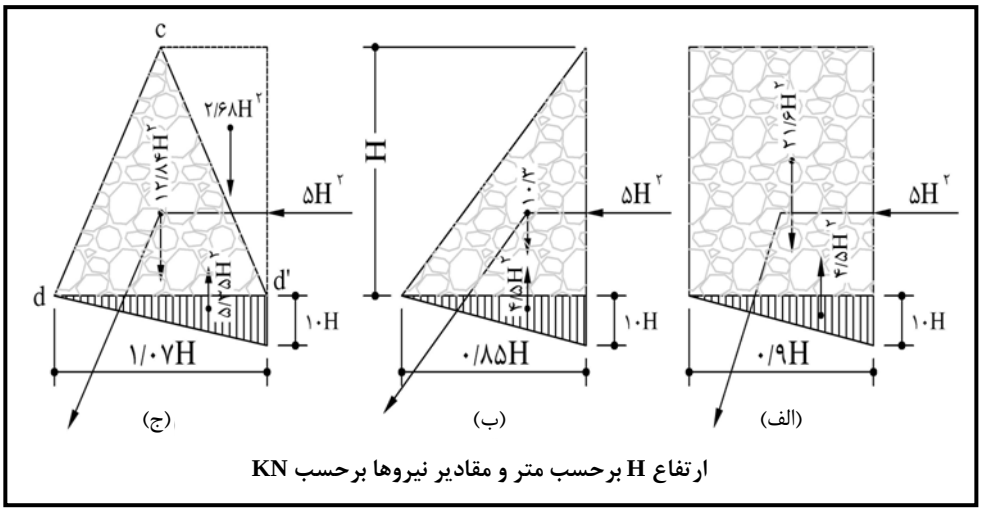
شکل ۷-۵- اجرای پله‌ای دیوار مثلثی [۳۲]

۷-۴-۲- دیوار تحت فشار جانبی آب- با نیروی برکنش و بدون تاثیر نیروی زلزله

اگر خطر راه‌پیداکردن آب ناشی از نشت کف مخزن به زیر دیوار وجود داشته باشد، اما زمین اطراف مخزن دارای قابلیت زهکشی خوب باشد، می‌توان فرض کرد که فشار برکنش در زیر پایه، از فشارنظیر ارتفاع آب در وجه داخل دیوار

تا مقدار صفر در وجه خارجی دیوار متغیر است. با این فرض که خط فشار در $\frac{۱}{۳}$ میانی مقطع افقی قرار گیرد، سه مقطع مقدماتی دیوار مطابق شکل (۷-۶) به دست می‌آیند.

تمام مقاطع شکل (۷-۶) در مقابل واژگونی، ضریب اطمینان حداقل ۱/۷۵ در مقابل افزایش فشار جانبی دارند.



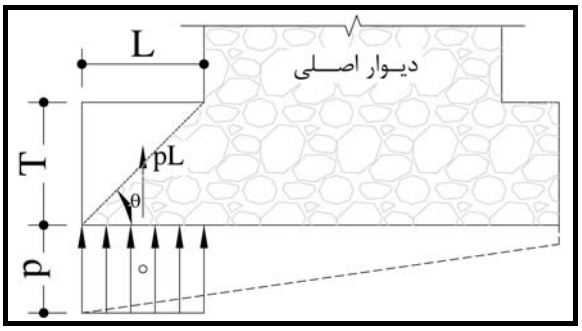
شکل ۷-۶- شمای محاسباتی که حالت اجرای دیوار (با اعمال فشار بر کنش) [۳۲]

در زمین‌های رسی که زهکشی به کندی انجام می‌شود، توزیع فشار برکنش درعرض شالوده به صورت یکنواخت با مقداری مساوی فشار استاتیکی آب می‌باشد. در این حالت برای مقاطع مستطیلی (شکل ۷-۶- الف) دیوار با همان عرض به‌خوبی پایدار می‌ماند ولی برای شکل (۷-۶-ب) عرض دیوار باید به مقدار H ۱/۱۶ و برای شکل (۷-۶- ج) به مقدار H ۱/۱۱۵ افزایش یابد تا حداقل ضریب اطمینان واژگونی در مقابل افزایش فشار جانبی مساوی ۱/۷۵ باشد.

در زمین‌های آب‌دار، اجرای مخزن با کف نازک بندرت عملی است و ضخامت کف مخزن بر اساس فشار برکنش ناشی از اختلاف رقوم کف مخزن و تراز ایستایی آب زیرزمینی تعیین می‌شود. در زمین‌های رسی بهسازی و افزایش کیفیت زهکشی می‌تواند مورد توجه قرار گیرد.

۷-۵- پنجه دیوارهای وزنی

در طراحی دیوارها برروی زمین‌های سست به منظور گسترده‌ترکردن بار روی مساحتی بیش‌تر، ممکن است امتداد دادن پنجه لازم باشد. آن قسمت از پنجه که نسبت به وجه دیوار اصلی جلو آمده است، باید به‌عنوان دال طره‌ای طراحی گردد. معمولا، اجرای این قسمت با بتن صورت می‌گیرد. اگر میزان جلوآمدگی L و شدت فشار حداکثر خالص p باشد، لنگر دال کنسولی برای هر متر عرض حدودا برابر با $\frac{1}{2}pL^2$ خواهد شد. این لنگر در تار تحتانی ایجاد کشش می‌نماید که ضخامت T باید براساس تنش کششی مجاز بتن محاسبه گردد. مقدار تنش کششی مجاز بتن، می‌تواند مساوی $f_r = ۰/۶\sqrt{f_c}$ منظور شود که f_c مقاومت مشخصه‌ی بتن مصرفی برحسب مگاپاسکال و f_r تنش کششی (ناشی از خمش) بتن می‌باشد.



شکل ۷-۷- نیروی محاسباتی پنجه دیوارهای وزنی [۳۲]

۷-۶- ترکیبات بارگذاری

حداقل ترکیبات بارگذاری که در طراحی مخازن وزنی باید موردتوجه قرار گیرند بر اساس بنـد ۳-۶، و جـدول (۳-۳) تعیین می‌گردد. با توجه به نظارت کارگاهی متوسط توصیه‌شده در اجرای مخازن وزنی، طراحی این مخازن به روش تنش مجاز طبق بند ۷-۷ انجام می‌گردد.

۷-۷- تنش‌های مجاز

۷-۷-۱- تنش مجاز فشاری در دیوارهای وزنی بتنی

تنش مجاز فشاری در دیوارهای وزنی بتنی مساوی $0.33f_c$ درنظر گرفته می‌شود که f_c مقاومت مشخصه نمونه‌ی ۲۸ روزه استوانه‌ای استاندارد می‌باشد. برای ترکیباتی که در آن‌ها نیروی زلزله وجـود دارد، تـنش فشـاری مجـاز، ۳۳ درصـد افزایش می‌یابد و یا ضریب ۰/۷۵ در ترکیبات بارگذاری ضرب می‌گردد.

۷-۷-۲- تنش مجاز فشاری در دیوارهای وزنی سنگی

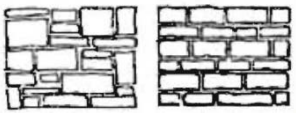
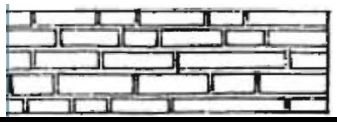
سنگ‌هایی که در کارهای ساختمانی موردمصرف قرار می‌گیرند، برحسب مقاومت فشاری نهایی طبق جدول (۷-۱) به پنج گروه تقسیم می‌شوند.

تنش مجاز فشاری سنگ‌چینی‌های مختلف برحسب گروه سنگ و شکل تراش با ملات باتارد و یا ماسه سیمان طبـق جدول (۷-۲) درنظرگرفته می‌شود، توجه شود که تنها ملات مجاز برای استفاده در دیواره‌های بنـایی سـنگی حایـل آب، ملات ماسه سیمان و یا باتارد می‌باشد.

جدول ۷-۱- مقاومت فشاری سنگ‌های مورداستفاده درکارهای ساختمانی [۳۲]

گروه	شرح	حداقل مقاومت فشاری (N/mm^2 Mpa)
A	سنگ‌های آهکی- تراورتن- توف‌های آتش‌فشانی	۲۰
B	ماسه سنگ‌های متراکم	۳۰
C	سنگ های آهکی متراکم- دولومیت و مرمر متراکم	۵۰
D	ماسه‌سنگ‌های کوارتزی و نظایر آن	۸۰
E	گرانیت، سینیت، دیوریت، پرفیرکوارتزی، ملافیر، دیاباز و نظایر آن	۱۲۰

جدول ۷-۲- تنش‌های مجاز فشاری سنگ‌چینی [۳۲]

نوع سنگ‌چینی	نوع ملات مصرفی	مقاومت مجاز برحسب (N/mm^2(Mpa برای گروه‌های سنگ (طبق جدول شماره ۷-۱)				
		A	B	C	D	E
لاشه‌چینی با قفل و بست کامل	ملات باتارد	۰/۲	۰/۳	۰/۵	۰/۷	۰/۹
	ملات ماسه سیمان	۰/۳	۰/۵	۰/۶	۱/۰	۱/۲
سنگ‌چینی با سنگ بادبر با ابعاد نامنظم	ملات باتارد	۰/۵	۰/۷	۰/۹	۱/۲	۱/۶
	ملات ماسه سیمان	۰/۶	۱/۰	۱/۲	۱/۶	۲/۲
سنگ‌چینی با سنگ کلنگی و رگ‌های نامنظم 	ملات باتارد	۰/۷	۰/۹	۱/۲	۱/۶	۲/۲
	ملات ماسه‌سیمان	۱/۰	۱/۲	۱/۶	۲/۲	۳/۰
سنگ‌چینی با سنگ تیشه‌ای منظم با رگ‌های منظم (مانند آجرچینی) 	ملات باتارد	۱/۲	۱/۶	۲/۲	۳/۰	۴/۰
	ملات ماسه‌سیمان	۱/۶	۲/۲	۳/۰	۴/۰	۵/۰

تبصره ۱: استفاده از ارقام جدول (۷-۲) فقط در مورد دیوارهایی که لاغری $\frac{h}{d}$ آن‌ها کوچک‌تر از ۱۰ می‌باشد، مجاز است. h ارتفاع و d کوچک‌ترین بعد مقطع پایه (یا ضخامت دیوار) می‌باشد.

تبصره ۲: برای ترکیباتی که در آن‌ها نیروی زلزله وجود دارد، مقادیر تنش فشاری مجاز جدول (۷-۲)، به میزان ۳۳ درصد افزایش می‌یابد.

۷-۷-۳- تنش کششی مجاز

هرچند که بتن مقداری مقاومت کششی از خود نشان می‌دهد، لیکن به علت وجود درزهای اجرایی افقی احتمالی و همچنین مساله‌ی اتصال پای دیوار به زمین، تنش کششی مجاز چه در دیوارهای وزنی سنگی و چه در دیوارهای وزنی بتنی، مساوی صفر درنظرگرفته می‌شود.

۷-۸- محاسبه تنش‌ها

۷-۸-۱- محاسبه تنش‌ها برای ترکیباتی از بارگذاری که در آن‌ها نیروی زلزله وجود ندارد

در ترکیباتی از بارگذاری که در آن‌ها نیروی زلزله وجود ندارد، اجازه هیچ‌گونه ترک کششی در مقطع داده نمی‌شود و برآیند R ناشی از کلیه نیروهای وارد برقطعه موردنظر، اعم از فشار افقی و قائم آب، وزن قطعه، نیروی برکنش و وزن خاک احتمالی روی قطعه، باید درثلث میانی قاعده قرارگیرد (شکل۷-۸). دراین صورت بااستفاده از مفاهیم مقطع همگن، تنش فشاری حداکثر در هر مقطع افقی برابر است با:

$$\sigma = \frac{\sum W}{A} \pm \frac{\sum We}{S} \qquad (۱-۷)$$

که در رابطه (۷-۱):

σ = تنش قائم در مقطع؛

$\sum W$ = برآیند تمام نیروهای قائم شامل نیروی برکنش $\sum W = W_W + W_S - U$؛

e= برون‌محوری نیروی $\sum W$ نسبت به محور مرکزی مقطع؛

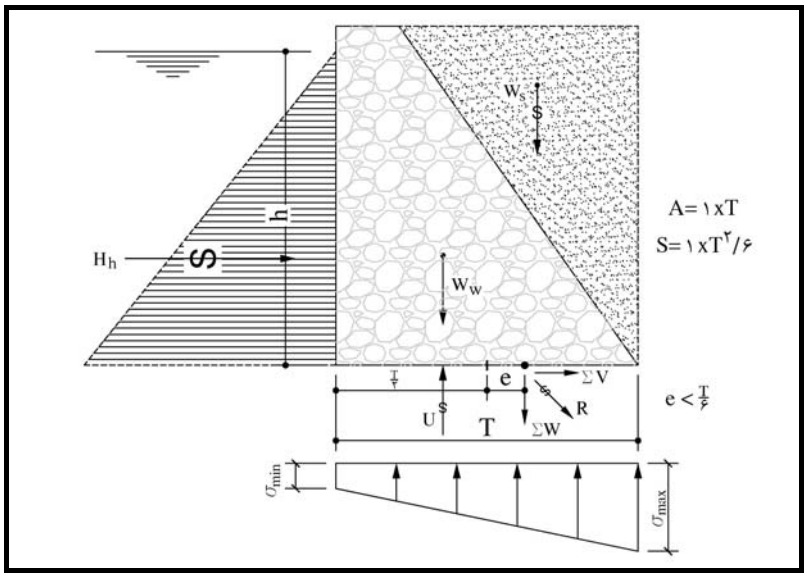
A= مساحت کلی مقطع $= T \times 1$؛

S = اساس مقطع کلی مقطع $= \frac{1 \times T^2}{6}$؛

U = برآیند نیروی برکنش؛

W_W = وزن دیوار؛

W_S = وزن خاک متکی.



شکل ۷-۸- نیروهای وارده بر دیوار وزنی (بدون حضور نیروی زلزله) [۳۲]

۷-۸-۲- محاسبه تنش‌ها برای ترکیباتی از بارگذاری که در آن‌ها نیروی زلزله وجود دارد

در ترکیباتی از بارگذاری که در آن‌ها نیروی زلزله وجود دارد، به‌شرطی که پایداری کلی دیوار تامین شود، وجود ترک خمشی در مقطع مجاز می‌باشد. در هنگام زلزله با توجه به آنی‌بودن بازشدن ترک‌ها، هیچ‌گونه تغییری در فشار برکنش منظور نمی‌شود. مطابق شکل (۷-۹)، اگر $\sum W$ برآیند کلیه نیروهای قائم وارد بر قطعه موردنظر بوده و $e > \frac{T}{6}$ باشد، تنش فشاری حداکثر از روابط زیر محاسبه می‌شود:

$b = 1$ (عرض دیوار) (واحد)

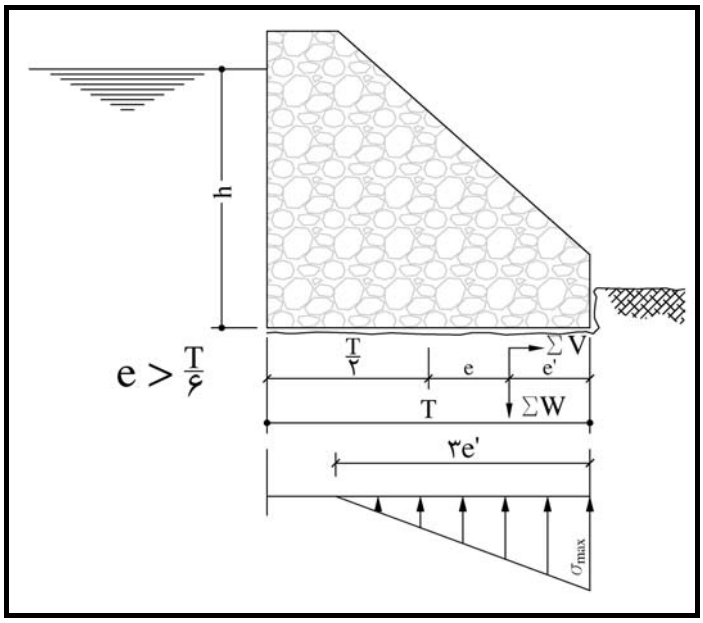
$$\frac{1}{2}(3e')\sigma_{max} = \sum W$$

$$\sigma_{max} = \frac{2\sum W}{3e'} \qquad (۲-۷)$$

در رابطه‌ی فوق:

$\sum W$ = برآیند کلی نیروهای قائم وارد بر قطعه‌ی موردنظر (شامل نیروی برکنش)؛

T = عرض قاعده $e' = \frac{T}{2} - e$



شکل ۷-۹- نیروهای وارد بر دیوار وزنی (با حضور نیروی زلزله) [۳۲]

۷-۹- کنترل های پایداری

۷-۹-۱- کنترل پایداری در مقابل واژگونی

برای ترکیباتی از بارگذاری که در آن‌ها نیروی زلزله وجود ندارد، ضریب اطمینان در مقابل واژگونی مساوی ۱/۷۵ و برای ترکیباتی که در آن‌ها نیروی زلزله وجود دارد، مساوی ۱/۱۵ می‌باشد. البته، در حالت بدون نیروی زلزله، با توجه به رعایت شرط عدم به وجود آمدن تنش کششی در بستر، ضریب اطمینان در مقابل واژگونی به مراتب بزرگ‌تر از ۱/۷۵ خواهد شد.

۷-۹-۲- کنترل پایداری در مقابل لغزش

ضریب اطمینان در مقابل لغزش از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$F.S = \frac{(\sum N - \sum U)\mu + P_p}{\sum V} \qquad (۳-۷)$$

$\sum N$ = مجموع نیروهای قائم؛

$\sum U$ = مجموع نیروهای برکنش؛

μ = ضریب اصطکاک طبق جدول (۷-۳)؛

$\sum V$ = مجموع نیروهای افقی؛

Pp = فشار مقاوم خاک جلوی پنجه‌ی دیوار (در محاسبات ضریب اطمینان می‌توان صرف‌نظر نمود).

حداقل ضریب اطمینان در مقابل لغزش برای ترکیباتی که در آن نیروی زلزله وجود ندارد، مساوی ۱/۵ و برای ترکیباتی که در آن نیروی زلزله وجود دارد، مساوی ۱/۱۵ می‌باشد.

جدول ۷-۳- ضریب اصطکاک μ در رابطه ۷-۳ [۳۲]

نوع خاک	μ
مصالح دانه درشت بدون لای	۰/۵۵
مصالح دانه درشت بالای	۰/۴۵
لای	۰/۳۵
سنگ سخت (با سطح زبر)	۰/۸
بتن روی سنگ با مقداری لایه‌بندی	۰/۷

فصل ۸

ضوابط طراحی اجزای جانبی مخازن آب بتنی

۸-۱- کلیات

همان‌طورکه مطالعات کیفی و پایش آب، شناخت مشکلات کیفی را میسر می‌سازد، نحوه بهره‌برداری، نگهداری و بازدیدهای دوره‌ای از مخازن نیز بسیاری از اطلاعات با ارزش را در این خصوص فراهم می‌آورد. بازدید از داخل و خارج مخازن، باید به‌صورت دوره‌ای انجام شود تا صحت و سلامت فیزیکی مخازن و در نتیجه سطح ایمنی و کیفیت آب قابل ارزیابی باشد. به منظور دستیابی به این امر، باید شرایط مطلوبی برای بهره‌برداری و نگهداری از مخازن تامین شود.

در این قسمت، مجموعه ضوابط و معیارهای طراحی اجزای جانبی مخازن و تمهیدات موردنیاز برای بهره‌برداری و نگهداری از مخازن ارائه شده است.

در رابطه با بهره‌برداری، تعمیرات و نگهداری از مخازن، علاوه بر ضوابط ارائه شده در این فصل، ضروری است الزامات نشریه شماره ۱۳۷ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری با عنوان «راهنمای بهره‌برداری و نگهداری از مخازن آب شهری (بازنگری اول)» و همچنین نشریه شماره ۱۲۴ سازمان برنامه و بودجه با عنوان «مشخصات فنی عمومی مخازن آب زمینی»، نیز کاملا رعایت شود.

۸-۲- محل قرارگیری مخازن

عوامل متعددی در جانمایی مخازن تاثیرگذارند که در ذیل به تعدادی از آن‌ها اشاره می‌شود.

الف- تراز قرارگیری مخازن [۳۲] و [۱۰۱]

تراز اولیه‌ی قرارگیری مخازن باید بر اساس نتایج آنالیز هیدرولیکی تعیین شود. تراز نهایی قرارگیری کف مخازن باید به گونه‌ای تعیین شود که حداقل ۵۰ درصد آب درون مخازن بالای سطح زمین قرار گیرد و همچنین فاصله‌ی تراز بالای مخازن از سطح طبیعی زمین نباید کم‌تر از ۶۰ سانتی‌متر باشد.

ب- فاصله مجاز از منابع و مجاری آلودگی [۳۲] و [۱۰۱]

در جانمایی مخازن باید فاصله‌های مجاز از منابع و مجاری آلودگی مانند محل دفن زباله‌ها، محل دفع پساب تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب، زهکش‌ها و برکه‌های حاصل از جریان‌های سطحی، رعایت گردد. فاصله مجاز با توجه به نوع، کیفیت و میزان آلودگی توسط مراجع ذی‌صلاح تعیین می‌شود، لیکن در هیچ حالتی نبایداز ۱۵ متر کم‌تر باشد.

ج- موقعیت قرارگیری مخازن

موقعیت مخازن در پلان باید به صورتی تعیین شود که بهترین شرایط هیدرولیکی را برای سیستم مهیا نماید. شرایطی مانند سیستم کنارگذر، استفاده از دو مخزن مجزا و چیدمان اجزای طرح براساس جهت جریان آب و عملکرد آن‌ها باید در این قسمت مد نظر قرار گیرد.

د- ملاحظات لرزه‌خیزی

قابلیت لرزه‌خیزی، مشخصات زمین‌شناسی و ژئوتکنیک منطقه‌ی طرح باید در زمان جانمایی مخازن مدنظر قرار گیرد.

هـ- پدافند غیرعامل

رعایت ضوابط پدافند غیرعامل شامل مکان‌یابی، پراکندگی، حفاظت فیزیکی، استتار، اختفا، فریب و مدیریت بحران در جانمایی مخازن ضروری می‌باشد.

و- رعایت حریم‌ها

در تعیین محل مخازن و تاسیسات وابسته، رعایت حریم‌های تاسیسات و مستحدثات مانند خطوط انتقال آب، خطوط انتقال برق، جاده‌های بین شهری و کانال‌های انتقال آب ضروری می‌باشد.

ز- در نظر گرفتن تراز سیلاب [۱۰۱]

در تعیین تراز کف مخازن باید تراز سیلاب مد نظر قرار گرفته شود. تراز کف مخازن باید حداقل ۱ متر بالاتر از تراز سیلاب ۱۰۰ ساله در نظر گرفته شود.

ح- احداث مخازن در مجاورت و یا بر روی شیب‌های تند

توصیه می‌شود از احداث مخازن در مجاورت و یا بر روی شیب‌های تند اجتناب گردد. در غیر این‌صورت، لازم است پایداری شیب در طول دوره بهره‌برداری مخازن، با عطف نظر به طرح‌های توسعه‌ی آینده‌ی منطقه، به دقت مورد بررسی قرار گیرد.

۸-۳- حفاظت

الف- سقف مخازن باید کاملا آب‌بند باشد، به‌طوری‌که از ورود پرندگان، خزندگان، حشرات و گرد و خاک به داخل مخازن جلوگیری نماید؛

ب- جهت تامین حفاظت فیزیکی و ایمنی مخازن، باید ضمن رعایت ضوابط ارائه شده در فصل نهم این ضابطه، با کشیدن حصار دور محوطه مخازن، قفل کردن دریچه‌های ورودی به مخازن و سایر تدابیر امنیتی لازم، از احتمال هرگونه خرابکاری در مخازن جلوگیری شود.

۸-۴- زهکشی

سیستم زهکشی زیر مخازن در فصل پنجم این ضابطه تشریح گردیده است. سیستم دفع و هدایت کانال زهکش مخازن باید به نحوی طراحی گردد که هیچ‌کدام از زهکش‌های مخازن به‌طور مستقیم به لوله فاضلاب یا تخلیه آب باران وصل نشود.

۸-۵- سرریز

لوله سرریز، آب سرریز شده از حوضچه سرریز داخل مخزن را، جهت جمع‌آوری به سازه‌ی سرریز احداث شده در مجاورت مخزن منتقل می‌نماید. سازه‌ی سرریز، سازه‌ای بتنی می‌باشد که مشخصات هندسی و ابعادی آن باید متناسب با بده آب سرریز شده تعیین شود. این سازه باید به‌گونه‌ای ساخته شود که آب سرریز شده به آسانی قابل مشاهده و تشخیص باشد. همچنین به منظور حفاظت کف سازه‌ی سرریز در برابر ریزش آب سرریز شده، باید تمهیداتی نظیر نصب صفحه فلزی در کف بتنی این سازه، در محل ریزش آب پیش‌بینی شود.

آب جمع‌شده در سازه‌ی سرریز باید به وسیله کانال یا لوله با شیب مناسب به آبراهه‌ای تخلیه گردد. در سیستم جمع‌آوری، هدایت و تخلیه آب سرریزشده از مخزن، باید از اتصال به سیستم فاضلاب و یا زهکش آب باران اجتناب نمود.

علاوه بر ضوابط یاد شده در بالا، کلیه ضوابط ارائه شده در فصل ششم این ضابطه که مرتبط با سرریز مخازن می‌باشند نیز، باید کاملا رعایت گردد.

۸-۶- دسترسی‌ها

۸-۶-۱- دریچه بازدید [۳۲]، [۱۰۱]، [۷۷]، [۷۱]

جهت امکان دسترسی و بازدید لوله‌های ورودی و سرریز، باید دریچه‌ی بازدید بر روی سقف مخازن تعبیه گردد. همچنین به منظور دسترسی به داخل مخازن باید در هر نیم‌مخزن حداقل دو دریچه بازدید تعبیه شود.

در طراحی دریچه‌های بازدید رعایت ضوابط زیر ضروری می‌باشد:

- ابعاد دریچه‌ها باید با درنظر گرفتن ابعاد لوله و تجهیزاتی که در هنگام راه‌اندازی و یا بهره‌برداری، به مخزن داخل و یا از آن خارج می‌گردند انتخاب شود؛ و
- حداقل ابعاد داخلی دریچه‌ها ۱۰۰ × ۸۰ سانتی‌متر می‌باشد. در مخازن مدفون دیواره‌های دریچه‌های بازدید باید تا حداقل ۸۰ سانتی‌متر بالاتر از سطح تمام شده‌ی خاکریز روی مخازن ادامه یافته و درپوش فلزی در انتهای دیوارها به‌صورت مناسب نصب شود.

درپوش دریچه‌های بازدید باید دارای ویژگی‌های زیر باشد:

- آب‌بند باشد؛
- در برابر خوردگی مقاوم باشد؛
- سبک باشد؛
- به راحتی قابل باز و بسته کردن باشد؛
- در پیرامون آن زایده مناسب جهت نصب قفل پیش‌بینی شود.

رعایت تمهیدات ایمنی ارائه شده در جدول (۹-۴) این ضابطه در خصوص الزامات درپوش دریچه‌های بازدید مخازن نیز، ضروری است.

در ساخت درپوش دریچه‌های بازدید، استفاده از ورق آلومینیومی به ضخامت ۵ میلی‌متر توصیه می‌گردد.

۸-۶-۲- نردبان [۷۹]، [۷۱]

جهت امکان دسترسی به داخل مخزن و حوضچه‌ی سرریز، باید در زیر هر دریچه بازدید، یک نردبان تعبیه گردد. به طورمعمول، دریچه‌های بازدید تعبیه شده در بالای لوله‌های ورودی مخازن نیاز به نردبان ندارند. مشخصات ابعادی نردبان‌های دسترسی به شرح زیر می‌باشند:

- حداقل فاصله محور بالاترین پله تا روی دریچه بازدید برابر ۱۵ سانتی‌متر،
- حداکثر فاصله بین محورهای پله‌ها برابر ۳۰ سانتی‌متر،
- حداکثر فاصله محور پایین‌ترین پله از کف مخزن برابر ۳۰ سانتی‌متر،
- حداقل عرض پله‌ها برابر ۴۰ سانتی‌متر،
- حداقل فاصله نردبان از دیوار مخزن برابر ۱۸ سانتی‌متر، و
- شیب نردبان‌های دسترسی به کف مخزن برابر ۲۰ قائم به ۱ افقی.

سایر مشخصات فنی[۱] نردبان‌های دسترسی باید مطابق موارد زیر رعایت شود:

- پایداری در برابر عوامل خورنده و لغزنده؛
- کسب تاییدیه‌های لازم مبنی بر غیرسمی بودن، درصورت استفاده در مخازن آب آشامیدنی؛
- سهولت نصب.

با توجه به این‌که نردبان‌های پلیمری با هسته فولادی و یا مسلح شده با الیاف شیشه، ویژگی‌های فوق را تامین می‌نماید، استفاده از آن‌ها در مخازن توصیه می‌گردد.

در مخازن با ارتفاع بیش از ۵ متر، جهت حفاظت و جلوگیری از سقوط پرسنل بهره‌بردار، پیش‌بینی قفس محافظ برای نردبان دسترسی توصیه می‌شود.

۱- مشخصات فنی نردبان‌های دسترسی داخل مخازن باید مطابق با الزامات ارائه شده در استاندارد EN13101 باشد.

۸-۷- هواکش‌ها [۱۰۱]، [۷۵]، [۷۱]

طراحی سیستم تهویه‌ی مخازن به تفصیل در بند ۱-۷ از فصل یکم این ضابطه با عنوان «تهویه در مخازن بتنی» ارائه گردیده است. لوله‌ی سرریز مخازن نباید برای تهویه‌ی مخازن درنظر گرفته شود. در مخازن کوچک با تعبیه‌ی تعداد مناسبی هواکش عصایی از جنس چدنی یا فولادی با پوشش گالوانیزه، می‌توان شرایط مطلوب برای تهویه مخازن را فراهم آورد. انتهای باز هواکش‌های عصایی باید حداقل یک متر از سطح خاکریز سقف فاصله داشته باشد. در انتهای سر آن‌ها نصب دو توری از جنس فولاد ضد زنگ و یا سایر مصالح مقاوم غیرخورنده با مش ۱۶[۱]، الزامی است.

در مخازن بزرگ می‌توان به‌جای تعداد زیادی هواکش عصایی، از تعداد محدودی سازه‌های تهویه، مطابق با آنچه در بند ۱-۷ از فصل یکم این ضابطه ارائه گردیده، استفاده نمود.

هواکش‌ها در مخازن بتنی باید دارای خصوصیات زیر باشند:

- امکان ورود آب باران و آب‌های سطحی از طریق هواکش‌ها به داخل مخازن وجود نداشته باشد؛
- ورود حشرات، پرندگان، خزندگان و گرد و خاک از طریق هواکش‌ها به داخل مخازن ممکن نباشد.

۸-۸- پوشش خارجی سقف و دیوارهای جانبی مخازن

۸-۸-۱- عایق‌کاری حفاظتی بتن

به منظور حفاظت بتن در مقابل حملات شیمیایی خاک و آب‌های نفوذی، سطح خارجی دیوار در مناطقی که در تماس با خاک است و همچنین سقف مخازن باید با استفاده از گونی قیراندود و یا مشمع قیراندود عایق‌کاری شود.

جهت تعیین مشخصات فنی مصالح مصرفی و جزییات روش عایق‌کاری، الزامات ارائه‌شده در نشریه شماره ۱۲۴ سازمان برنامه و بودجه، با عنوان «مشخصات فنی عمومی مخازن آب زمینی»، باید رعایت گردد.

۸-۸-۲- پوشش گیاهی بر روی سقف مخازن

ایجاد پوشش گیاهی بر روی خاکریز و سقف مخازن به‌دلیل خطر احتمال نشت زه‌آب و آلوده کردن آب مخازن مجاز نمی‌باشد. برای از بین بردن گیاهان روییده شده بر روی خاکریز و سقف مخازن می‌توان از روش‌های مکانیکی کمک گرفت. استفاده از علف‌کش‌ها در این خصوص مجاز نمی‌باشد.

۱- اندازه بازشوهای توری برابر با $\frac{۱}{۱۶}$ اینچ باشد.

لیکن در موارد ضروری جهت ایجاد پوشش گیاهی بر روی خاکریز و سقف مخازن باید تمامی تمهیدات و ضوابط پیوست شماره ۵ جهت جلوگیری از آلوده شدن آب مخازن به‌طورکامل مورد توجه قرار گیرد. در صورت احداث فضای سبز، باید سربار حاصل در مراحل طراحی مخازن، در نظر گرفته شود.

اجرای پوشش‌های پلیمری بر روی سقف مخزن درصورت رعایت ضوابط مربوطه از جمله پدافند غیرعامل، بهداشت آب داخل مخزن و... قابل توصیه می‌باشد.

۸-۹- شیب‌بندی

۸-۹-۱- شیب‌بندی کف مخازن [۳۲]

برای تخلیه کامل آب مخازن و شستشوی آن‌ها، ایجاد شیبی در حدود ۱/۱۵۰ الی ۱/۱۰۰ به طرف حوضچه شستشوی مخازن ضروری است. در مورد مخازن بزرگ، شیب طولی به میزان ۱/۵۰۰ و شیب عرضی در حدود ۱/۲۰۰ الی ۱/۱۰۰ کافی می‌باشد.

همچنین به‌منظور هدایت جریان آب و رسوبات به‌هنگام شستشوی مخازن، تعبیه لوله‌های زهکش در پای دیوارهای داخلی مخازن بزرگ توصیه می‌شود.

۸-۹-۲- شیب‌بندی سقف مخازن

برای تخلیه‌ی آب جریان‌یافته بر روی سقف مخازن، باید سیستم عایق‌کاری و شیب‌بندی مناسبی بر روی سقف مخازن اجرا شود. در مخازن نمایان یا نیمه مدفون لوله‌های آبروِی سقف نباید وارد مخازن شده و یا از داخل آن عبور نمایند. همچنین، استفاده از دست‌انداز در پیرامون سقف مخازن نمایان یا نیمه مدفون، به دلیل ممانعت از جریان آب و جلوگیری از زهکشی سقف مخازن مجاز نمی‌باشد، مگر این‌که سقف مخازن کاملا عایق‌کاری شده و لوله‌های زهکش کافی در دست‌انداز پیرامونی سقف مخازن، تعبیه گردد.

در مخازن مدفون، نیز باید سیستم عایق‌کاری و شیب‌بندی مناسبی بر روی سقف و زیر خاکریز اجرا شود تا آب باران نفوذ کرده به خاکریز، بر روی سقف به‌راحتی جریان یافته و تخلیه گردد.

۸-۱۰- محافظت در برابر یخزدگی

مخازن باید با کمک خاکریزی یا عایق‌بندی مناسب، در مقابل یخزدگی محافظت گردند. راه‌کارهای جلوگیری از یخزدن در مخازن، در بند ۱-۶ این نشریه با عنوان «یخزدگی در مخازن بتنی زمینی» و بررسی امکان یخزدگی و نحوه محاسبه این پدیده با عنوان «یخزدگی در مخازن بتنی، نمونه محاسبات» در پیوست شماره ۱ ارائه گردیده است.

۸-۱۱- آزمایش‌های آب‌بندی مخازن

۸-۱۱-۱- آزمایش آب‌بندی کف و دیوارهای مخازن [۱۰۰]، [۵۰]

پس از اتمام عملیات اجرایی و قبل از هرگونه خاکریزی پشت دیوارهای جانبی و روی سقف، مخازن باید کاملا تمیز شده و برای جلوگیری از خروج آب در طول دوره آزمایش، کلیه بازشوهای خروجی مخازن به‌طور کامل مسدود گردند. همچنین در صورت بالا بودن سطح آب زیرزمینی، لازم است پیش از شروع آزمایش برای پایین آوردن سطح آب زیرزمینی تا ترازی پایین‌تر از تراز روی فونداسیون مخازن، تمهیدات لازم اعمال شود.

به منظور پیشگیری از بروز نشست‌های نامتقارن در مراحل اولیه بارگذاری، توصیه می‌شود پر و خالی کردن دو نیم مخزن به صورت هم‌زمان انجام شود.

در زمانی که پیش‌بینی می‌شود احتمال تغییرات دمای هوا در دوره زمانی انجام آزمایش، به بیش از ۲۰ درجه سانتی‌گراد برسد و یا سرمای هوا به‌حدی باشد که احتمال یخ‌زدن سطح آب در مخزن وجود داشته باشد، آزمایش آب‌بندی مخازن نباید انجام شود.

برای انجام آزمایش آب‌بندی، باید با سرعت حداکثر دو متر در روز تا ترازی برابر با کوچک‌ترین دو مقدار ۱۰۰ میلی‌متر پایین‌تر از تراز تاج سرریز و حداکثر تراز سطح آب، مخازن را با آب تمیز پر کرد. پس از گذشت حداقل ۷ روز (زمان لازم برای جذب آب توسط دیوار و کف و انجام واکنش ترمیم خودبخودی بتن)، سطح آب باید علامت‌گذاری شده و ۷ روز بعد از زمان علامت‌گذاری، مقدار افت سطح آب از تراز علامت‌گذاری‌شده تعیین گردد. در طول دوره آزمایش تراز سطح آب باید هر ۲۴ ساعت اندازه‌گیری شود. میزان افت سطح آب پس از اصلاح برای کاهش سطح آب ناشی از تبخیر یا افزایش سطح آب ناشی از بارندگی، نباید از کوچک‌ترین دو مقدار ۱۰ میلی‌متر و $\frac{۱}{۵۰۰}$ عمق آب مخزن، تجاوز نماید.

درصورتی که نتیجه آزمایش رضایت‌بخش نباشد، باید ترک‌ها و محل‌های احتمالی نشت آب مورد جستجو قرار گرفته و تعمیر گردند. پس از تعمیر، باید آزمایش آب‌بندی مجددا انجام شود.

۸-۱۱-۲- آزمایش آب‌بندی سقف مخازن

سقف مخازن آب آشامیدنی باید کاملا آب‌بند باشد. آب‌بندی سقف توسط یکی از دو آزمایش زیر کنترل می‌شود:

الف- آب انداختن سقف به مدت حداقل ۲۴ ساعت و در صورت امکان با عمق حداقل ۲۵ میلی‌متر؛

ب- برقراری جریان دائمی آب به مدت حداقل ۶ ساعت بر روی سقف توسط سیستم آب‌پاش.

در هر یک از دو آزمایش فوق، درصورتی‌که آثاری از قبیل چکه‌کردن و یا نم‌زدن در سقف مشاهده نشود، آب‌بندی سقف رضایت‌بخش تلقی می‌شود.

۸-۱۲- شیب‌بندی محوطه و معابر اطراف مخازن

۸-۱۲-۱- شیب‌بندی محوطه‌ی اطراف مخازن [۳۲]

محوطه اطراف مخازن باید به طور مناسب شیب‌بندی شود، به‌طوری‌که از ورود جریان‌های سطحی به فاصله ۱۵متری اطراف مخازن جلوگیری گردد. تا حدامکان باید مخازن را در محلی با رقوم ارتفاعی بالاتر نسبت به محوطه اطراف جانمایی کرد. با این حال چنانچه به هر دلیلی، مخازن در رقوم ارتفاعی پایین‌تر نسبت به محوطه قرار گیرند و یا در شیب واقع شوند، باید با کمک کانال‌های زهکش، آب‌های سطحی محتمل را از محدوده‌ی مخازن دور نگاه داشت.

۸-۱۲-۲- معابر پیرامون مخازن

۸-۱۲-۲-۱- فاصله معابر پیرامون مخازن [۱۰۲]

در جانمایی معابر، علاوه بر ضوابط ارائه شده در فصل نهم این ضابطه، باید عرض خاکریز مخازن و همچنین حداقل فاصله‌ی مجاز بین پای خاکریز تا لبه‌ی معبر، معادل ۳ متر در نظر گرفته شود.

۸-۱۲-۲-۲- مشخصات فنی جاده‌های دسترسی

مشخصات فنی و ابعادی جاده‌های پیرامون مخازن و جاده‌های سرویس باید با توجه به مشخصات وسایل نقلیه طرح و بر اساس ضوابط مشخص شده در نشریات شماره ۱۰۱ و ۴۱۵ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری به ترتیب با عناوین «مشخصات فنی و عمومی راه ـ تجدیدنظر دوم» و «آیین‌نامه طرح هندسی راه‌های ایران» تعیین شود.

۸-۱۳- حفاظت اجزای فلزی داخل مخازن

کلیه اجزای فلزی مخازن باید پس از پاک‌سازی کامل سطح آن‌ها از زنگار و آلودگی، با پوشش اپوکسی بهداشتی با حداقل ضخامت ۵۰۰ میکرون رنگ‌آمیزی شوند.

۸-۱۴- شست و شو، رسوب‌زدایی و ضدعفونی‌کردن مخازن

نظر به‌این‌که در زمان ویرایش و بازنگری ضابطه‌ی حاضر، نشریه شماره ۱۳۷ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری با عنوان «راهنمای بهره‌برداری و نگهداری از مخازن آب شهری (بازنگری اول)» تدوین و انتشار یافته و ضوابط مرتبط با مباحث شست‌وشو، رسوب‌زدایی و ضدعفونی‌کردن مخازن به تفصیل در این ضابطه ارائه شده است، لذا ضوابط مرتبط با این بند به نشریه شماره ۱۳۷ ارجاع داده می‌شود.

۸-۱۵- بازدید شیرآلات و سایر تجهیزات و تاسیسات مخازن

نظر به‌این‌که در زمان ویرایش و بازنگری ضابطه حاضر، نشریه شماره ۱۳۷ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری با عنوان «راهنمای بهره‌برداری و نگهداری از مخازن آب شهری (بازنگری اول)» تدوین و انتشار یافته و ضوابط مرتبط با بحث بازدید شیرآلات و سایر تجهیزات و تاسیسات مخازن به تفصیل در این ضابطه ارائه شده است، لذا ضوابط مرتبط با این بند به نشریه شماره ۱۳۷ ارجاع داده می‌شود.

۸-۱۶- نگهبانی

نظر به‌این‌که در زمان ویرایش و بازنگری ضابطه حاضر، نشریه شماره ۱۳۷ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری با عنوان «راهنمای بهره‌برداری و نگهداری از مخازن آب شهری (بازنگری اول)» تدوین و انتشار یافته و ضوابط مرتبط با بحث نگهبانی از مخازن به تفصیل در این ضابطه ارائه شده است، لذا ضوابط مرتبط با این بند به نشریه شماره ۱۳۷ ارجاع داده می‌شود.

فصل ۹

ملاحظات پدافند غیرعامل در طراحی مخازن بتنی زمینی

۹-۱- کلیات

آسیب‌رسانی یا تخریب سامانه‌های آبرسانی بر اثر عملیات مجرمانه، تروریستی، تهدیدهای نظامی و مسلحانه و همچنین بلایای طبیعی، می‌تواند تامین نیازهای حیاتی شهروندان را مختل نموده، سلامت عمومی و محیط‌زیست را تهدید کرده و حتی باعث ازدست‌رفتن حیات انسان‌ها گردد.

«پدافند غیرعامل» به مجموعه اقدامات غیرمسلحانه‌ای اطلاق می‌گردد که به‌منظور افزایش بازدارندگی، کاهش آسیب‌پذیری، تداوم فعالیت‌های ضروری، ارتقای پایداری ملی و تسهیل مدیریت بحران انجام می‌شود. حجم اقدامات مذکور و میزان اهمیت آن‌ها در مراحل مختلف طراحی مخازن آب آشامیدنی، به سطح تاثیرگذاری مخزن مورد نظر[۱] در زمان بروز حملات و نوع تهدیدات احتمالی بستگی دارد. این اقدامات از بحث‌های آمایش سرزمین، مکان‌یابی مخازن و ملاحظات طراحی آغاز شده و با تمهیداتی نظیر استتار، اختفا، فریب، پوشش، حفاظت فیزیکی و حراست در سطوح مختلف امنیتی، دنبال می‌شود و در نهایت به فراهم‌نمودن پیش‌نیازهای ضروری جهت اعمال مدیریت بحران پس از وقوع حملات، ختم می‌گردد. لازم به ذکر است که بر اساس مطالعات انجام شده توسط مراکز تخصصی پدافند غیرعامل، مخازن مهم[۲]، معمولا در معرض تهدیداتی همچون خرابکاری و آلودگی آب، و مخازن با الویت حساس معمولا در معرض تهدیداتی نظیر خرابکاری، آلودگی بیولوژیکی آب و بمب‌گذاری قرار دارند.

با عنایت به مدفون نمودن مخازن آب و لوله‌های ورودی و خروجی، در صورت منظورکردن تمهیداتی از قبیل تامین امکان جایگزینی، پراکندگی، استتار و منظور نمودن تاسیسات کنارگذر مخازن، و همچنین استفاده از تجهیزات پیشگیری، اعلام خبر، مانیتورینگ، بازدارندگی (شامل اقدامات حراستی) و حفاظت فیزیکی، می‌توان در حد قابل قبولی با تهدیدات قابل انتظار برای مخازن با اولویت مهم و حساس مقابله نمود.

در این فصل ضوابط کلی پدافند غیرعامل تا آن حد که در ارتباط با ضوابط طراحی مخازن آب زمینی می‌باشد، معرفی می‌گردد.

با توجه به احتمال عملیات مجرمانه و تروریستی (به‌خصوص بیوتروریسم) در مخازن ذخیره آب آشامیدنی، دسته‌بندی خطرات محتمل در مخازن آب و همچنین روش‌های حفاظت فیزیکی مقابله با تهدیدات، در بند ۹-۴ ارائه شده است.

۱- برای ملاحظه‌ی نحوه‌ی تعیین سطح تاثیرگذاری مخازن (مهم، حساس و حیاتی) به بند ۹-۲ مراجعه گردد.

۲- از آنجا که در زمان تهیه این نشریه ضوابطی در رابطه با رعایت «اصول پدافند غیرعامل در طراحی سامانه‌های آبی» ابلاغ نشده است، در این مجموعه سعی شده با توجه به اصول کلی پدافند غیرعامل، توصیه‌ها و ملاحظات طراحی جهت استفاده مهندسین طراح ارایه شود. بدیهی است که پس از ابلاغ ضوابط خاص پدافند غیرعامل در «سامانه‌های آبی» از سوی سازمان‌های ذی‌صلاح، رعایت آن ضوابط مقدم می‌باشد.

لازم به توضیح است که به منظور مقابله با اثرات ناشی از بروز عملیات مجرمانه و تروریستی در مخازن ذخیره‌ی آب آشامیدنی، پیاده نمودن سیستم مدیریت بحران نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد که در این فصل ضوابط کلی آن ارائه گردیده است.

به منظور اولویت‌بندی مخازن از نظر سطح تاثیرگذاری و همچنین تعیین سطح رعایت ضوابط پدافند غیرعامل در مخازن، لازم است در دستگاه‌های اجرایی کمیته پدافند غیرعامل، متشکل از مسئولین سیاسی و امنیتی استان با هماهنگی نهادهای ذیربط تشکیل شده، و با عطف نظر به موقعیت و عملکرد مخازن، و با بهره‌گیری از مشاورین ذی‌صلاح و مجرب، تصمیمات لازم اتخاذ گردد.

در طراحی ساختمان‌های جنبی و محوطه مخازن، تا زمان ارائه‌ی ضوابط ویژه، رعایت ضوابط ارائه‌شده در مبحث ۲۱ مقررات ملی ساختمان، حاکم می‌باشد.

۹-۲- اولویت‌بندی مخازن از نقطه‌نظر سطح تاثیرگذاری

مطابق طبقه‌بندی‌های انجام‌شده در سطح کشور، کلیه‌ی سامانه‌ها با توجه به میزان تاثیرگذاری آن‌ها در زمان وقوع حادثه، در یکی از سطوح زیر طبقه‌بندی می‌شوند:

الف- مراکز حیاتی: مراکزی هستند که انهدام کل یا قسمتی از آن‌ها موجب بروز بحران، آسیب و صدمات جدی و مخاطره‌آمیز در نظام سیاسی، هدایت، کنترل و فرماندهی، تولیدی و اقتصادی، پشتیبانی، ارتباطی و مواصلاتی، اجتماعی و دفاعی با «سطح تاثیرگذاری سراسری» در کشور گردد.

ب- مراکز حساس: مراکزی هستند که انهدام کل یا قسمتی از آن‌ها موجب بروز بحران، آسیب و صدمات قابل توجه در نظام سیاسی، هدایت، کنترل و فرماندهی، تولیدی و اقتصادی، پشتیبانی، ارتباطی و مواصلاتی، اجتماعی و دفاعی با «سطح تاثیرگذاری منطقه‌ای» گردد.

ج- مراکز مهم: مراکزی هستند که انهدام کل یا قسمتی از آن‌ها موجب بروز آسیب و صدمات محدود در نظام سیاسی، هدایت، کنترل و فرماندهی، تولیدی و اقتصادی، پشتیبانی، ارتباطی و مواصلاتی، اجتماعی و دفاعی با «سطح تاثیرگذاری محلی» گردد.

عوامل موثر در اولویت‌بندی سامانه‌ها به قرار زیر می‌باشند:

- اهمیت استراتژیک؛
- گستره حوزه نفوذ؛
- عمق تاثیرگذاری؛
- انحصاری بودن و یا امکان تجدیدپذیری؛
- امکان استفاده از خدمات جایگزین و موازی؛
- میزان، نوع و پایداری تهدید؛

- ارزش اقتصادی مستحدثات و بازدهی ارزی و ریالی.

در جدول (۹-۱) زیرمجموعه‌های هر یک از عوامل یاد شده به همراه ضریب تاثیرگذاری آن‌ها ارائه شده است. پیش از آغاز مراحل طراحی مخازن آب آشامیدنی، کمیته پدافند غیرعامل کارفرما با توجه به کلیه شرایط، نسبت به تکمیل جدول اولویت‌بندی سامانه‌های آبی اقدام نموده و سطح تاثیرگذاری مخزن را مشخص می‌کند. از آنجا که با عنایت به عوامل موثر در سطح‌بندی، بخش اعظم مخازن ذخیره آب آشامیدنی جزو مراکز مهم و یا حساس به‌حساب می‌آیند، در این ضابطه به بررسی مخازن با اولویت مهم و حساس پرداخته شده و برای مخازن با الویت حیاتی، بسته به مورد ممکن است ضوابط خاص دیگری، با نظر کمیته پدافند غیرعامل در نظر گرفته شود.

جدول ۹-۱- اولویت‌بندی سامانه‌های آبی

وزارت:

سازمان:

معیارها	حوزه‌های فرعی	شاخصهای کیفی و کمی / مراکز (محل جغرافیایی)					
سطح‌بندی		مهم		۲۰-۳۹			
		حساس		۴۰-۶۹			
		حیاتی		۷۰<			
نمره کل							
ارزش اقتصادی مستحدثات و بازدهی ارزی و ریالی		کم		۱			
		متوسط		۲			
		زیاد		۳			
میزان، نوع و پایداری تهدید	نوع تهدید	خرابکارانه		۱			
		زمینی		۱			
		دریایی		۱			
		هوایی		۲			
	میزان پایداری و تهدید	اهمیت و حساسیت	پایین	۱			
			متوسط	۲			
			بالا	۳			
		وضعیت مکانی و دفاعی	خوب	۱			
			متوسط	۲			
			ضعیف	۴			
امکان استفاده از خدمات جایگزین و موازی		قابل تجدیدپذیری		۲			
		به سختی قابل تجدیدپذیری		۵			
انحصاری‌بودن و یا امکان تجدیدپذیری	نیروی انسانی	قابل تجدیدپذیری		۱			
		به سختی قابل تجدیدپذیری		۲			
	تاسیسات	قابل تجدیدپذیری		۱			
		به سختی قابل تجدیدپذیری		۳			
	تجهیزات	قابل تجدیدپذیری		۱			
		به سختی قابل تجدیدپذیری		۳			
	مکان	قابل تجدیدپذیری		۱			
		به سختی قابل تجدیدپذیری		۳			
عمق تاثیرگذاری	اداره کشور	سطحی		۲			
		میانی		۳			
		عمیق		۵			
	تامین نیازهای حیاتی	سطحی		۲			
		میانی		۳			
		عمیق		۵			
گستره حوزه نفوذ	جمعیت	محلی		۲			
		منطقه‌ای		۳			
		سراسری		۵			
	جغرافیا	محلی		۲			
		منطقه‌ای		۳			
		سراسری		۵			
اهمیت استراتژیک	فرهنگی اعتقادی			۰،۱،۲،۳،۴			
	نظامی			۰،۱،۲،۳،۴			
	اقتصادی			۰،۱،۲،۳،۴			
	اجتماعی			۰،۱،۲،۳،۴			
	سیاسی			۰،۱،۲،۳،۴			
جمع							

بررسی کنندگان:

ردیف	نام و نام خانوادگی	عنوان مسئولیت	امضا

تاریخ ارزیابی:

تاریخ شروع:

تاریخ خاتمه:

۹-۳- ضوابط طراحی مخازن آب زمینی براساس اصول پدافند غیرعامل

۹-۳-۱- مکان‌یابی مخازن آب

در انتخاب محل احداث مخازن آب، به خصوص مخازن حساس، باید علاوه بر ضوابط هیدرولیکی، بررسی‌های لازم امنیتی با هدف کاهش آسیب‌پذیری مخزن صورت گیرد. از جمله مهم‌ترین عوامل مکان‌یابی مخازن آب می‌توان به موارد اصلی زیر اشاره نمود:

- از احداث مخازن حساس در دشت‌های مسطح و یا نسبتا هموار حتی‌المقدور پرهیز گردد؛
- از احداث مخازن حساس در کنار بزرگراه‌ها، جاده‌های اصلی، سواحل دریا، رودخانه‌ها، نزدیکی مرزها و همچنین مراکز پرخطر مانند پادگان‌ها، مراکز صنعتی مهم، مراکز اداری و امنیتی طبقه‌بندی‌شده اجتناب شود. در صورت ضرورت احداث مخازن در مجاورت مکان‌های یاد شده، رعایت فاصله مجاز امنیتی مطابق نظر مراجع ذی‌صلاح و کمیته پدافندغیرعامل کارفرما ضروری می‌باشد؛
- پیش‌بینی امکان دسترسی آسان به موقعیت مخازن در شرایط بحران.

۹-۳-۲- پراکنده‌سازی مخازن

در مراحل محاسبه حجم مخازن و تعیین موقعیت قرارگیری آن‌ها، توصیه می‌گردد با رعایت اصل تمرکززدایی، به‌جای انتخاب یک مخزن با حجم بزرگ، آن را به تعدادی مخازن با حجم کوچک تقسیم نموده و حتی‌الامکان دور از یکدیگر جانمایی شوند. در مخازن حساس رعایت اصل تمرکززدایی الزامی می‌باشد.

در سامانه‌های کوچک و مراکز غیرحساس، پراکندگی مخازن در یک سایت در صورت امکان با متعددکردن مخازن و یا دوقلو نمودن آن‌ها، قابل‌حصول است.

۹-۳-۳- استتار، اختفا و فریب (CCD)[1]

یکی از اقدامات پدافند غیرعامل، رعایت اصول «اِفا» (استتار، فریب و اختفا) می‌باشد.

الف- استتار: به همرنگ‌سازی و هم‌شکل‌نمودن تاسیسات و تجهیزات با محیط اطراف گفته می‌شود؛

ب- فریب: به مجموعه اقداماتی اطلاق می‌گردد که به‌طور کلی موجب گمراهی تهدیدکننده شده و دشمن را در تشخیص هدف و هدف‌گیری با شک و تردید مواجه نماید؛

1- Camouflage/Concealment/Deception

ج- اختفا: به کلیه اقداماتی اطلاق می‌گردد که مانع از قرار گرفتن تاسیسات و تجهیزات در دید تهدیدکننده شده و یا تشخیص تاسیسات و تجهیزات و همچنین انجام فعالیت‌های خاص را غیرممکن یا مشکل می‌سازد.

در مراجع موجود، جهت اجرایی‌نمودن هریک از اصول یادشده روش‌های متعددی پیشنهاد شده است که با توجه به سطح تاثیرگذاری مخازن و شرایط ویژه طرح، قابل بررسی و انتخاب می‌باشد. در مخازن مهم، با توجه به پایین‌بودن سطح تاثیرگذاری، اصول «اِفا» با اجرای خاکریز مناسب بر روی مخازن تا حد قابل‌قبولی حاصل می‌گردد. بدین‌ترتیب، در مراحل طراحی کلیه مخازن، پیش‌بینی اجرای خاکریز بر روی مخازن و لوله‌های ورودی و خروجی با مصالح مناسب به صورتی که در تطابق با شرایط محیط باشد، ضروری است.

۹-۳-۴- مدیریت بحران ناشی از عملیات مجرمانه و تروریستی

مدیریت بحران، علمی کاربردی است که ضمن بررسی و مشاهده سیستماتیک بحران و تجزیه و تحلیل آن، در جستجوی یافتن ابزاری است که به‌وسیله آن بتوان از بروز بحران‌ها پیشگیری کرده، و یا در صورت بروز بحران، در خصوص کاهش اثرات آن اقدام نمود.

شناسایی بحران‌های محتمل با توجه به شرایط خاص طرح، موضوع مهمی در بحث مدیریت بحران می‌باشد. در مخازن آب آشامیدنی، پاره‌ای از بحران‌ها مشترک می‌باشند که تمهیدات لازم برای مقابله با آن‌ها می‌تواند شامل مواردی به شرح زیر باشد:

- پیش‌بینی سیستم کنارگذر[1] برای مخزن؛
- پیش‌بینی امکان انتقال آب به سایر مخازن و یا مخازن سیار، در شرایط بروز بحران؛
- پیش‌بینی اتصالات لازم جهت برداشت آب از سیستم کنارگذر در شرایط بروز بحران؛
- پیش‌بینی تجهیزات هوشمند جهت اعلام وضعیت و قطع جریان آب در شرایط بروز بحران؛
- پیش‌بینی تمهیداتی برای انتقال آب آلوده‌شده مخزن به اماکن مجاز؛
- پیش‌بینی امکان بهره‌برداری کامل از تاسیسات به‌صورت دستی در شرایط اضطراری.

مهندس طراح باید قبل از شروع به طراحی مخازن، با توجه به بررسی‌های جامع میدانی نسبت به شناسایی سایر بحران‌های احتمالی و چگونگی مقابله با آن‌ها اقدامات لازم را انجام داده و طرح پیشنهادی را با درنظرگرفتن جمیع جهات تهیه نماید.

1- By Pass

۹-۴- حفاظت فیزیکی از مخازن آب

حفاظت فیزیکی مخازن به مجموعه تمهیدات امنیتی اطلاق می‌گردد که به منظور تعویق و ردیابی اقدامات تهدیدآمیز (مجرمانه و تروریستی) تا زمان رسیدن نیروهای امنیتی، در نظر گرفته می‌شود.

۹-۴-۱- ارزیابی تهدیدات

اقدامات تهدیدآمیز بر مبنای سطح تهدید در دو گروه مجرمانه و تروریستی طبقه‌بندی می‌گردد. اقدامات مجرمانه مجموعه اقداماتی می‌باشد که توسط افراد شرور با ابزاری ابتدایی همچون ابزارهای دستی مانند انبردست، چکش، دیلم، چاقو و اسلحه دستی و یا مواد و وسایل آتش‌زا جهت دسترسی، آسیب‌رسانی و تخریب تجهیزات و ابنیه صورت می‌گیرد. اقدامات تروریستی نیز به مجموعه اقداماتی اطلاق می‌شود که توسط گروه‌های خرابکار یا تروریست به منظور تخریب و ویرانی تجهیزات و ابنیه، متوقف‌کردن عملکرد سیستم و یا آلوده کردن آب صورت می‌گیرد. در این دسته اقدامات ممکن است از انواع اسلحه و مهمات پیشرفته‌تری نظیر آرپی‌جی، بمب و یا مواد آلاینده‌ی آب استفاده شود. تهدیدهای این گروه اساسی تلقی شده و تمهیدات هزینه‌بر امنیتی برای مقابله با آن موردنیاز می‌باشد.

۹-۴-۲- تمهیدات و تجهیزات حفاظت فیزیکی

حفاظت فیزیکی از مخازن آب آشامیدنی شامل نصب تجهیزات و منظورنمودن تمهیدات در چهارچوب بخش‌های زیر می‌باشد:

- پیرامون محوطه؛
- محوطه (فضای مابین دیوار پیرامونی و ابنیه)؛
- ابنیه و تاسیسات وابسته؛
- کیفیت آب؛
- سیستم برق، کنترل و تله‌متری.

تجهیزات حفاظت فیزیکی، شامل مجموعه‌ای از ابزار و ادوات حفاظتی، امنیتی و مانیتورینگ، مانند قفل‌ها، حسگرها و دوربین‌ها می‌باشد که امکان کنترل، بازدید، بازرسی تاسیسات، فضاهای پیرامونی و داخلی و همچنین تجهیزات مخزن را در اختیار بهره‌برداران قرار می‌دهد. به‌طورکلی استفاده از این تجهیزات بسته به نوع و کاربری سامانه و سطح تاثیرگذاری مخزن می‌تواند شامل مواردی به شرح زیر باشد:

- درهای غیرقابل نفوذ قفل‌شونده و یا برقی، برای کنترل ورود و خروج اشخاص و خودروها به محوطه، ساختمان‌ها، مخازن و سایر فضاها، احیانا همراه با سیستم کنترل الکترونیکی؛
- سیستم ردیابی تردد غیرمجاز در فضاهای پیرامونی، محوطه‌ها، ساختمان‌ها، مخازن، حوضچه‌ها و غیره؛
- دوربین‌های مدار بسته و سیستم روشنایی جهت پایش محدوده‌ی مخازن از داخل اتاق کنترل؛
- سیستم مانیتورینگ کیفیت آب (اتوماتیک لحظه ای یا غیراتوماتیک دستی)؛

- سیستم‌های کنترل الکترونیکی تردد؛
- ابزاردقیق مناسب و مقاوم در برابر نویزهای احتمالی نظیر سیستم‌های التراسونیک یا جابجایی[1]؛
- استفاده از سیستم‌های مخابراتی مطمئن نظیر فیبرنوری به‌جایِ و یا به‌عنوانِ پشتیبان سیستم‌های رادیویی و ماهواره‌ای به‌عنوان بستر اصلی سیستم مخابراتی؛
- سیستم تله‌متری و انتقال اطلاعات.

به هنگام انتخاب روش‌های یاد شده باید به ریسک وقوع اقدامات مجرمانه و یا تروریستی و سطح تاثیرگذاری مخازن توجه شود. بر این اساس، جدول‌های شماره (۹-۲) تا (۹-۵) می‌تواند به عنوان راهنما، مدنظر قرار گیرد. برای تهیه این جدول‌ها از راهنمای حفاظت فیزیکی تاسیسات آبی [۸۹] استفاده شده است.

توجه: در جداول مذکور، تجهیزات و تمهیدات امنیتی برای مخازن مهم و حساس ارائه شده است. در شرایطی که ریسک وقوع اقدامات تروریستی در سامانه‌های حیاتی محتمل باشد، علاوه بر پیش‌بینی‌های مندرج در جداول مذکور، ممکن است نصب تجهیزات کنترلی پیشرفته‌تری مانند پرده‌ی اولتراسونیک، فنس لیزری و کنتاکتورهای اولتراسونیک ضروری باشد. بدیهی است برای مخازن با الویت حیاتی، بسته به مورد ممکن است ضوابط خاص دیگری، با نظر کمیته پدافند غیرعامل نیز در نظر گرفته شود.

برای ملاحظه‌ی جزییات اجرایی تجهیزات و تمهیدات امنیتی مندرج در جدول‌های شماره (۹-۲) تا (۹-۵)، به نشریه ۱۲۴، «مشخصات فنی عمومی مخازن آب زمینی» مراجعه گردد.

جدول ۹-۲- تجهیزات و تمهیدات امنیتی پیرامون محوطه [۱۸، ۸۹]

تجهیزات و تمهیدات امنیتی	هدف		اقدامات مجرمانه		اقدامات تروریستی	
	تعویق	ردیابی	مهم	حساس	مهم	حساس
دیوار با حداقل ارتفاع ۳ متر	●		✓	✓	✓	✓
تعبیه موانع ایذایی در قسمت فوقانی‌دیوارمحوطه‌شامل سیم‌خاردارباارتفاع‌حداقل ۸۰ سانتی‌متر و متمایل به خارج	●		✓	✓	✓	✓
سیستم‌ردیاب پیرامون محوطه جهت ردیابی ورود غیرمجاز		●		✓	✓	✓
در ورودی قفل‌شونده	●		✓		✓	
در ورودی با سیستم کنترل الکترونیکی	●	●		✓		✓
عدم نصب پایه روشنایی در نزدیکی دیوار محوطه، در محدوده‌ی خارج آن	●		✓	✓	✓	✓
استفاده از چراغ‌های دوطرفه جهت تامین پوشش کامل روشنایی پشت دیوار محوطه و جاده گشت‌زنی داخلی		●	✓	✓	✓	✓
روشنایی در ورودی		●	✓	✓	✓	✓
حفاظ مقاوم برای بازشوهای دیوار پیرامونی با مساحت بازشوی بیش از ۶۲۵ سانتی‌مترمربع	●		✓	✓	✓	✓
تابلوی «ورود غیرمجاز پیگرد قانونی دارد» (هر۱۵متر)	●		✓	✓	✓	✓

1- Displacer

جدول ۹-۳- تجهیزات و تمهیدات امنیتی محوطه (فضای مابین دیوار پیرامونی و ابنیه) [۱۸، ۸۹]

تجهیزات و تمهیدات امنیتی	هدف		اقدامات مجرمانه		اقدامات تروریستی	
	تعویق	ردیابی	مهم	حساس	مهم	حساس
نور فعال شونده با حرکت		●		✓	✓	✓
تامین حداقل فاصله مابین ابنیه و دیوار محوطه (حداقل ۶ متر)	●	●		✓	✓	✓
تامین حداقل فاصله مابین ابنیه و محل پارک خودروها (حداقل ۹ متر)	●					✓
اجرای فنس‌کشی داخلی دور مخزن در داخل محوطه	●				✓	
اجرای فنس‌کشی داخلی دور مخزن در داخل محوطه (مقاوم در برابر برش و غیرقابل‌صعود)	●					✓
نصب ردیاب ورود غیرمجاز در فنس‌کشی داخلی دورمخزن		●			✓	✓
عمیق کردن فونداسیون فنس‌کشی داخلی دور مخزن	●				✓	✓
در ورودی با سیستم کنترل الکترونیکی برای فنس‌کشی داخلی دور مخزن	●	●				✓
ترانسفورماتور (واقع در فضای باز)- محفظه‌ی قفل‌شونده	●			✓	✓	✓
ژنراتور (واقع در فضای باز)- محفظه‌ی قفل‌شونده	●			✓	✓	✓
تابلوی برق (واقع در فضای باز)- محفظه‌ی قفل‌شونده	●			✓	✓	✓
محوطه‌سازی به نحوی که مانع از رویت تردد نگردد		●	✓	✓	✓	✓
دریچه‌بازدید منهول- قفل‌شونده و غیرقابل نفوذ	●		✓	✓		
دریچه‌بازدید منهول- قفل‌شونده با سیستم ردیاب ورود غیرمجاز	●	●			✓	✓
حداقل کردن علایم معرفی موقعیت اجزای سایت	●		✓	✓	✓	✓

جدول ۹-۴- تجهیزات و تمهیدات امنیتی ابنیه و تاسیسات وابسته [۸۹]

تجهیزات و تمهیدات امنیتی	هدف		اقدامات مجرمانه		اقدامات تروریستی	
	تعویق	ردیابی	مهم	حساس	مهم	حساس
پیش بینی اجرای خاکریز بر روی مخزن و لوله‌های ورودی و خروجی	●		✓	✓	✓	✓
درپوش قفل‌شونده برای عملگر و فلکه شیرآلات	●			✓	✓	✓
دریچه حوضچه شیرآلات- قفل‌شونده با پوشش فلزی محافظ قفل	●		✓			
دریچه حوضچه شیرآلات- دوقفله با پوشش فلزی محافظ قفل	●			✓	✓	
دریچه حوضچه شیرآلات- دوقفله با پوشش فلزی محافظ قفل و سیستم ردیاب ورود غیرمجاز	●	●				✓
دریچه بازدید مخزن- قفل‌شونده با پوشش فلزی محافظ قفل	●		✓			
دریچه بازدید مخزن- دوقفله با پوشش فلزی محافظ قفل	●			✓	✓	
دریچه بازدید مخزن- دوقفله با پوشش فلزی محافظ قفل و سیستم ردیاب ورود غیرمجاز	●	●				✓
هواکش مخزن- لوله عصایی با دو لایه توری فولادی ضدزنگ	●		✓	✓	✓	✓
لوله سرریز با یک زانویی ۹۰ درجه و دارای توری انتهایی از جنس فولاد ضدزنگ[1]	●		✓	✓	✓	
لوله سرریز با دو زانویی ۹۰ درجه و دارای دریچه تخلیه انتهایی	●	●				✓
ردیابی تردد غیرمجاز از روی مخزن و یا خاکریز آن		●		✓	✓	✓

۱- جزییات نصب توری فولادی انتهایی به نحوی باشد که امکان انجام اقدامات مجرمانه و تروریستی به حداقل ممکن برسد.

ادامه جدول ۹-۴- تجهیزات و تمهیدات امنیتی ابنیه و تاسیسات وابسته [۸۹]

تجهیزات و تمهیدات امنیتی	هدف		اقدامات مجرمانه		اقدامات تروریستی	
	تعویق	ردیابی	مهم	حساس	مهم	حساس
تعبیه شیر اتوماتیک به منظور قطع و وصل مخزن از راه‌دور	●				✓	✓
ترانسفورماتور (فضای بسته)- محفظه قفل‌شونده	●				✓	✓
ژنراتور (فضای بسته)- محفظه قفل‌شونده	●			✓	✓	✓
تابلوی برق (فضای بسته)- محفظه قفل‌شونده	●				✓	✓

جدول ۹-۵- تجهیزات و تمهیدات امنیتی سیستم برق، کنترل و تله‌متری [۸۹]

تجهیزات و تمهیدات امنیتی	هدف		اقدامات مجرمانه		اقدامات تروریستی	
	تعویق	ردیابی	مهم	حساس	مهم	حساس
تجهیزات کنترل کیفیت آب						
سیستم مانیتورینگ کیفیت آب (به‌صورت دستی و غیراتوماتیک)		●	✓		✓	
سیستم مانیتورینگ لحظه‌ای کیفیت آب		●		✓		✓
تلویزیون مدار بسته - دوربین ثابت						
حوزه‌ی دید- درهای ورودی و خروجی		●		✓		
حوزه‌ی دید- حصارها، دیوارها، نردبان‌های دسترسی		●		✓		✓
تلویزیون مدار بسته - دوربین متحرک با قابلیت بزرگنمایی						
درهای اصلی		●				✓
محوطه مخزن		●				✓
محوطه‌های حفاظت‌شده‌ی داخلی		●				✓
منابع تغذیه برق، کابل‌کشی‌های برق، کنترل و مخابرات						
تعبیه سیستم پشتیبان برای تجهیزات برقی (UPS)	●		✓	✓	✓	✓
حفاظت فیزیکی سیم‌کشی‌ها، کابل‌کشی‌ها و سینی‌گذاری‌ها	●		✓	✓	✓	✓
مسیرهای ارتباطی حفاظت‌شده‌ی اضافی جهت برقراری مکالمه در شرایط اضطراری	●					✓
سیستم کنترل و مانیتورینگ- امنیت فیزیکی سیستم SCADA [1]						
قفل نرم‌افزاری برنامه کنترل و مانیتورینگ و تعریف سطوح دسترسی	●	●	✓	✓	✓	✓
سیستم پشتیبان (Backup) اطلاعات کنترل و مانیتورینگ	●	●	✓	✓	✓	✓
- قفل‌شونده PLC[2]/RTU[3] محوطه و اتاق	●		✓	✓	✓	✓
حفاظت از سیم‌کشی‌ها و سینی‌گذاری‌های ابزاردقیق	●		✓	✓	✓	✓
حفاظت فیزیکی درهای ورودی و خروجی						
سیستم‌های کنترل تردد پرسنل (RFID)[4]	●	●		✓		✓

1- Supervisory Control and Data Acquisition
2- Programmable Logic Controller
3- Remote Terminal Unit
4- Radio Frequency Identification

۹-۵- ملاحظات طراحی سازه‌ای

از آنجاکه با منظور کردن اصول استتار و مدفون نمودن مخازن آب، امنیت نسبی در خصوص اصابت گلوله اسلحه‌های نیمه‌سنگین به‌وجود می‌آید، در مراحل طراحی سازه‌ای مخازن، با هدف کاهش هزینه‌ها، درنظرگرفتن نیروهای حاصل از انفجار بمب‌های نفوذگر نظیر AP[1] یا SAP[2] برای مخازن آب مدفون در مراکز مهم و حساس توصیه نمی‌گردد. بدیهی است، در شرایط خاص برای مخازن حیاتی می‌توان با نظر کمیته پدافند غیرعامل، بارگذاری و طراحی مخازن را بشرح زیر انجام داد:

- بارگذاری انفجاری مخزن بتنی زمینی به‌منظور مدل‌نمودن طراحی مخزن (انفجارهای سطحی، هوای‌آزاد و غیرسطحی)،
- طراحی مخازن بتنی تحت شرایط انفجار، نفوذ و برخورد،
- ارزیابی آسیب‌پذیری و میزان خسارت درحالت الاستیک خطی و غیرخطی (خمیری) و بررسی رفتار مصالح بتن آرمه در نرخ کرنش‌های بالا،
- بررسی مقاوم‌سازی و کاهش خسارت با استفاده ازدیوارهای برشی و مصالح FRP[3]،
- مدل نمودن مخازن بتنی با استفاده از مصالح FRP جهت تقویت مقاومت خمشی و برشی در مقابل انفجار.

1- Armour Piercing Projectiles
2- Semi Armour Piercing
3- Fiber Reinforced Polymer

پیوست ۱

یخ‌زدگی در مخازن بتنی، نمونه‌ی محاسبات

علایم اختصاری:

حجم	V
انتقال حرارت	Q
نرخ انتقال حرارت	$\dot{Q}$
ضریب انتقال حرارت	U
مساحت	A
طول موثر	L
مقاومت حرارتی	R
ارتفاع	h
دما	T
زمان	t
اختلاف دما	ΔT
واحد انرژی انگلیسی	BTU
درجه فارنهایت	$^{\circ}F$
واحد طول انگلیسی	ft
ساعت	hr

زیرنویس‌ها:

مخزن	res
هوای داخل	air, in
هوای خارج	air, out
بتن	concrete
حرارتی	th
کلی	tot
خاک	Ground
ورودی	in
خروجی	out
قبلی	old
جدید	new

پ.۱-۱- کلیات

برای آشنایی مهندسان طراح با نحوه بررسی امکان یخزدن آب در مخازن بتنی و تعیین ضخامت عایق حرارتی، در این پیوست نمونه‌ی محاسباتی به عنوان راهنما ارائه شده است.

با عنایت به لزوم رعایت ضوابط پدافند غیرعامل، لازم است مخازن آب شرب مدفون باشند. لیکن، در مواردی که به هر دلیل امکان مدفون‌کردن مخازن وجود نداشته باشد و یا مخزنی در مناطق سردسیر احداث می‌گردد، ضخامت خاکریزی یا عایق حرارتی و امکان یخزدگی مخزن را می‌توان با راهنمایی نمونه محاسبات این پیوست مورد بررسی قرار داد. مهندس محاسب باید با توجه به شرایط خاص هر پروژه، بررسی‌های لازم را جهت مقابله با یخ زدگی انجام دهد.

پ.۱-۲- مخازن نیمه‌مدفون

پ.۱-۲-۱- فرضیات کلی

ابعاد مخزن:

$26\text{m} \times 17.4\text{m} \times 4.35$ (مخزن ۲۰۰۰ مترمکعبی)

تراز روی سقف مخزن:

$+4.05\ \text{m}$

تراز کف مخزن:

$-0.30\ \text{m}$

تراز خاک (اطراف مخزن):

$+1.90\ \text{m}$

ضخامت سقف مخزن:

$20\ \text{cm}$

ارتفاع آب داخل مخزن همسطح با تراز روی خاک درنظرگرفته می‌شود، بنابراین حجم آب داخل مخزن برابر می‌گردد با:

$V_{res} = 2.2 \times 452.4 = 995.5\ \text{m}^3$

ناحیه‌هایی که مخزن با محیط در تبادل گرمایی است را می‌توان به صورت زیر تقسیم نمود:

۱- سقف؛

۲- دیوارهای جانبی در تماس با هوا؛

۳- دیوارهای جانبی مدفون در خاک؛

۴- کف مخزن.

در جهت اطمینان، انتقال حرارت از سقف و دیوارها را از مخزن به محیط و انتقال حرارت از کف بـه داخـل مخـزن را ناچیز فرض نموده و درنظر گرفته نمی‌شوند. از طرفی، دمای خاک را برای دیوارهای کناری برابر با دمای هوای بیـرون در نظر گرفته و دمای خاک زیر مخزن را از روی جداول (نزدیک به واقعیت) به‌دسـت آورده مـی‌شـوند. همچنـین آب درون مخزن راکد و بدون ورودی و خروجی فرض می‌شود، زیرا در صورت جریان آب، احتمال یخ‌زدگی در مخزن بسیار کـم‌تـر خواهد بود.

پ.۱-۲-۲- فرمول کلی محاسبه انتقال حرارت

انتقال حرارتی که بین دو منبع انجام می‌شود به صورت زیر محاسبه می‌گردد که حاصل‌ضرب ضریب انتقـال حـرارت در مساحت ناحیه‌ای که انتقال حرارت رخ می‌دهد و اختلاف دمای بین دو منبع می‌باشد:

$$Q = U.A.\Delta T$$

البته برای دیوارهای مدفون در خاک، مساحت با طول موثر جای خود را عوض می‌کند.

$$Q = U.L.\Delta T$$

پ.۱-۲-۳- محاسبه‌ی ضرایب انتقال حرارت

۱- سقف

مقاومت حرارتی سقف شامل مقاومت حرارتی هوای داخلی، دال بتنی و هوای خارج است که به صورت زیـر محاسـبه می‌گردد:

$$R_{th} = R_{air,in} + R_{concrete} + R_{air,out}$$

مقاومت حرارتی هوای خارج:

$$R_{air,out} = 0.17 \frac{hr.ft^2.^\circ F}{BTU}$$

مقاومت حرارتی سقف بتنی ۸ اینچی:

$$R_{concrete} = 8 \times 0.2 = 1.6 \frac{hr.ft^2.^\circ F}{BTU}$$

مقاومت حرارتی هوای داخل:

$$R_{air,in} = 0.68 \frac{hr.ft^2.^\circ F}{BTU}$$

مقاومت حرارتی کل:

$$R_{th} = 0.17 + 1.6 + 0.68$$

$$R_{th} = 2.45 \frac{hr.ft^2.^\circ F}{BTU}$$

پ.۱-۲-۴- ضریب انتقال حرارت سقف

$$U = \frac{1}{R_{th}} = 0.41 \frac{BTU}{hr.ft^2.^\circ F}$$

۲- دیوارهای جانبی در تماس با هوا

دیوارهای جانبی نیز مانند سقف، شامل مقاومت حرارتی هوای داخلی، دیوار بتنی و هوای خارج است که به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$R_{th} = R_{air,in} + R_{concrete} + R_{air,out}$$

دیوارها با ضخامت متغیر اجرا خواهند شد، بنابراین در جهت اطمینان کم‌ترین ضخامت دیوارها که برابر ۳۰ سانتی‌متر (۱۲ اینچ) است در نظر می‌شود.

مقاومت حرارتی دیوار بتنی ۱۲ اینچی:

$$R_{concrete} = 12 \times 0.2 = 2.4 \frac{hr.ft^2.^\circ F}{BTU}$$

مقاومت حرارتی کل:

$$R_{th} = 0.17 + 23.4 + 0.68$$

$$R_{th} = 3.25 \frac{hr.ft^2.^\circ F}{BTU}$$

پ.۱-۲-۵- ضریب انتقال حرارت دیوار در تماس با هوا

$$U = \frac{1}{R_{th}} = 0.31 \frac{BTU}{hr.ft^2.^\circ F}$$

۳- دیوارهای جانبی مدفون در خاک

مطابق جدول ۳۶ هندبوک Carrier ضریب انتقال حرارت محیطی دیوارهای مدفون در خاک برابر است با ۱/۱

$$U = 1.1 \frac{BTU}{hr.ft.^\circ F}$$

۴- کف مخزن

مطابق جدول ۳۶ هندبوک Carrier ضریب انتقال حرارت از کف مخزن ۰/۰۵ می‌باشد.

$$U = 0.05 \frac{BTU}{hr.ft^2.^\circ F}$$

پ.۱-۲-۶- مساحت ناحیه‌های تبادل حرارت

۱- سقف (و کف)

- مساحت سقف مخزن

$$A = 26 \times 17.4 = 452.4 m^2 = 4869.6\ ft^2$$

۲- دیوارهای غیر مدفون

- ارتفاع مخزن داخل هوا

$$H = +4.05 - 1.90 - 0.2 = 1.95\ m = 6.4\ ft$$

$$A = (26 + 17.4) \times 2 \times 1.95 = 169.3 m^2 = 1822 ft^2$$

۳- دیوارهای مدفون در خاک

$$A = (26 + 17.4) \times 2 = 86.8 = 284.7\ ft$$

پ.۱-۲-۷- نمونه‌ی محاسبات

به عنوان نمونه‌ی محاسبات، تعیین نرخ انتقال حرارت مخزن نیمه مدفون در دمای ۳۰- درجه فارنهایت در ادامه آمده است:

دمای هوای محیط:

$$T = -30^\circ F = -34.4^\circ C$$

دمای آب درون مخزن:

$$T = 35^\circ F = 1.66^\circ C$$

دمای خاک مطابق جدول ۳۷ فصل اول هندبوک Carrier:

$$T = 40^\circ F = 4.4^\circ C$$

۱- نرخ انتقال حرارت از سقف:

$$\dot{Q}_1 = U.A.\Delta T = 0.41 \times 4869.6 \times (-30 - (35)) = -129,774.9 \frac{BTU}{hr}$$

۲- نرخ انتقال حرارت از دیوارهای غیر مدفون:

$$\dot{Q}_2 = U.A.\Delta T = 0.31 \times 1822 \times (-30 - (35)) = -36,713.3 \frac{BTU}{hr}$$

۳- نرخ انتقال حرارت از دیواره‌های مدفون در خاک:

$$\dot{Q}_3 = U.L.\Delta T = 1.1 \times 284.7 \times (-30 - (35)) = -20,356 \frac{BTU}{hr}$$

۴- نرخ انتقال حرارت از کف:

$$\dot{Q}_4 = U.A.\Delta T = 0.05 \times 4869.6 \times (40 - 35) = 1,217 \frac{BTU}{hr}$$

مجموع حرارت داده شده

$$\dot{Q}_{out} = |Q_1 + Q_2 + Q_3| = 186,844 \frac{BTU}{hr}$$

مجموع حرارت گرفته شده

$$\dot{Q}_{in} = Q_4 = 1217 \frac{BTU}{hr}$$

بالانس خالص پرت حرارتی

$$\dot{Q}_{out} = -185,627 \frac{BTU}{hr}$$

با توجه به حجم آب درون مخزن و نرخ انتقال حرارت، می‌توان مدت زمانی که برای کاهش ۱ درجه فارنهایت مخـزن مورد نیاز است را محاسبه کرد:

$$m = \rho.V = 998.2 \times 995.5 = 993,807\ Kg = 2,190,969\ lb$$

$$\rightarrow Q = m.Cp.\Delta T = 2,190,969 \times 1 \times 1 = 2,190,969\ BTU$$

$$t = \frac{Q}{\dot{Q}_{tot}} = 11.8\ hr$$

بنابراین زمان مورد نیاز برای کاهش ۱ درجه فارنهایت دمای مخزن در حدود ۱۱/۸ ساعت خواهد بود. و بـرای آن‌کـه مخزن به حد یخزدگی برسد باید دما از ۳۵ درجه فارنهایت به ۳۲ درجه فارنهایت برسد کـه در حـدود ۳۵ سـاعت زمـان لازم است.

مطابق با مثال، برای مخازن آب نیمه مدفون در دمای $-10^\circ F$ و $0^\circ F$ نیز تحلیل صورت گرفته کـه خلاصـه نتـایج در جدول (پ.۱-۱) آمده است:

جدول پ.۱-۱- زمان مورد نیاز برای شروع یخزدگی – مثال مخزن نیمه‌مدفون

دمای محیط ($^\circ F$)	دمای آب ($^\circ F$)	دمای خاک ($^\circ F$)	نرخ انتقال حرارت ($\frac{BTU}{hr}$)				نرخ خالص انتقال حرارت ($\frac{BTU}{hr}$)	زمان مورد نیاز برای کاهش $1^\circ F$ آب مخزن (hr)	زمان مورد نیاز برای شروع یخزدگی (hr)
			سقف	دیوار مدفون	دیوار غیرمدفون	کف			
-۳۰	۳۵	۴۰	-۱۲۹۷۷۴/۹	-۲۰۳۵۶	- ۳۶۷۱۳	۱۲۱۷	-۱۸۵۶۲۶	۱۱/۸	۳۵
-۱۰	۳۸	۵۰	-۹۵۸۳۳/۸	-۱۵۰۳۲	-۲۷۱۱۲	۲۹۲۱	-۱۳۵۰۵۶	۱۶/۲	۹۷
۰	۳۸	۵۵	-۷۵۸۶۸/۴	-۱۱۹۰۰	-۲۱۴۶۳	۴۱۳۹	-۱۰۵۰۹۲	۲۰/۸	۱۲۵

با توجه به این‌که تقریبا در همه موارد حدود ۷۰٪ افت حرارتی از سقف صورت می‌گیرد اهمیت عایق کاری سقف نمایان می‌گردد.

در منطقه فوق از ظرفیت حرارتی مصالح صرف‌نظر شده و شرایط در جهت افزایش ضریب اطمینان در نظر گرفته شده است.

پ.۱-۳- مخازن مدفون

پ.۱-۳-۱- فرضیات کلی

تمام فرضیات بجز تراز روی خاک مشابه با مخزن نیمه مدفون می‌باشد:

تراز روی خاک (۴۵ سانتی‌متر خاک بالاتر از سقف مخزن):

$+4.50\ \mathrm{m}$

نواحی‌ای که مخزن با محیط در تبادل گرمایی است را می‌توان به صورت زیر تقسیم نمود:

۱- سقف

۲- دیوارهای جانبی

۳- کف مخزن

پ.۱-۳-۲- محاسبه ضرایب انتقال حرارت

در مخازن مدفون ضریب انتقال حرارت دیوارها تا عمق ۲/۴ متر مانند مخازن غیر مدفون و از عمق ۲/۴ به بعد برابر با $0.08\ \frac{\mathrm{BTU}}{\mathrm{hr.ft.^\circ F}}$ می‌باشد، همچنین باید توجه داشت که ضریب انتقال حرارت از دیوارهای اطراف، تابعی از دمای محیط و بالطبع دمای خاک است که نتیجه نهایی و خلاصه آن را در محاسبات استفاده کرده‌ایم. کف مانند مخازن نیمه مدفون است ولی ضریب انتقال حرارت سقف به دلیل وجود خاک متفاوت خواهد بود.

سقف:

مقاومت حرارتی سقف شامل مقاومت حرارتی هوای داخلی، دال بتنی، خاک روی سقف و هوای خارج است که به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$R_{th} = R_{air,out} + R_{concrete} + R_{Ground} + R_{air,in}$$

مقاومت حرارتی هوای خارج:

$$R_{air,out} = 0.17\frac{\mathrm{hr.ft^2.^\circ F}}{\mathrm{BTU}}$$

مقاومت حرارتی سقف بتنی ۸ اینچی:

$$R_{concrete} = 8 \times 0.2 = 1.6 \frac{hr.ft^2.^\circ F}{BTU}$$

مقاومت حرارتی خاک (۱۸ اینچ):

$$R_{Ground} = 18 \times 0.4 = 7.2 \frac{hr.ft^2.^\circ F}{BTU}$$

مقاومت حرارتی هوای داخل:

$$R_{air,in} = 0.68 \frac{hr.ft^2.^\circ F}{BTU}$$

مقاومت حرارتی کل:

$$R_{th} = 0.17 + 1.6 + 7.2 + 0.68 = 9.65 \frac{hr.ft^2.^\circ F}{BTU}$$

پ.۱-۳-۳- ضریب انتقال حرارت سقف:

$$U = \frac{1}{R_{th}} = 0.104 \frac{BTU}{hr.ft^2.^\circ F}$$

پ.۱-۳-۴- مساحت ناحیه‌های تبادل حرارت

۱- سقف (و کف):

- مساحت سقف مخزن:

$$A = 26 \times 17.4 = 452.4 m^2 = 4869.6\ ft^2$$

۲- دیوارهای مدفون در خاک:

- ارتفاع مخزن مدفون در خاک:

$$A = (26 + 17.4) \times 2 = 86.8\ m = 284.8\ ft$$

پ.۱-۳-۵- نمونه محاسبات

به عنوان یک نمونه محاسبات تعیین نرخ انتقال حرارت مخزن مدفون در دمای ۳۰- درجه فارنهایت در ادامه آمده است:

دمای هوای محیط:

$$T = -30^\circ F = -34.4^\circ C$$

دمای آب درون مخزن:

$$T = 35^\circ F = 1.66^\circ C$$

دمای خاک مطابق جدول ۳۷ فصل اول هندبوک Carrier:

$$T = 40^{\circ}F = 4.4^{\circ}C$$

۱- نرخ انتقال حرارت از سقف:

$$\dot{Q}_1 = U.A.\Delta T = 0.104 \times 4869.6 \times (-30 - (35)) = -32,918.5 \frac{BTU}{hr}$$

۲- نرخ انتقال حرارت از دیواره‌های مدفون در خاک (U=1.28):

$$\dot{Q}_2 = U.L.\Delta T = 1.28 \times 284.7 \times (-30 - (35)) = -23,648 \frac{BTU}{hr}$$

۳- نرخ انتقال حرارت از کف:

$$\dot{Q}_3 = U.A.\Delta T = 0.05 \times 4869.6 \times (40 - 35) = 1,217 \frac{BTU}{hr}$$

مجموع حرارت داده شده

$$\dot{Q}_{out} = |Q_1 + Q_2| = 56,566 \frac{BTU}{hr}$$

مجموع حرارت گرفته شده

$$\dot{Q}_{in} = Q_3 = 1217 \frac{BTU}{hr}$$

بالانس خالص پرت حرارتی

$$\dot{Q}_{tot} = -55,349 \frac{BTU}{hr}$$

با توجه به حجم آب درون مخزن و نرخ انتقال حرارت، می‌توان مدت زمانی که برای کاهش ۱ درجه فارنهایت مخـزن مورد نیاز است را محاسبه کرد:

$$m = \rho.V = 998.2 \times 995.5 = 993,807\ Kg = 2,190,969\ lb$$

$$\rightarrow Q = m.Cp.\Delta T = 2,190,969 \times 1 \times 1 = 2,190,969\ BTU$$

$$t = \frac{Q}{\dot{Q}_{tot}} = 39.6\ hr$$

بنابراین زمان مورد نیاز برای کاهش ۱ درجه فارنهایت دمای مخزن در حدود ۳۹/۶ ساعت خواهد بود. و بـرای آن‌کـه مخزن به حد یخ‌زدگی برسد باید دما از ۳۵ درجه فارنهایت به ۳۲ درجه فارنهایت برسد که در حدود ۱۱۹ سـاعت زمـان لازم است.

البته قابل ذکر است که در محاسبات مخازن مدفون و در جهت اطمینان بیش‌تر، حرارت بدست آمده از کف مخزن و دیوارهای جانبی با عمق بیش از ۲/۴ متر را در نظر نگرفته‌ایم.

مطابق با مثال، برای مخازن آب مدفون در دمای $-10^{\circ}F$ نیز تحلیل صـورت گرفتـه کـه خلاصـه نتـایج در جـدول (پ.۱-۲) آمده است:

جدول پ.۱-۲- زمان مورد نیاز برای شروع یخزدگی – مثال مخزن مدفون

دمای محیط ($^\circ F$)	دمای آب ($^\circ F$)	دمای خاک ($^\circ F$)	نرخ انتقال حرارت $(\frac{BTU}{hr})$		نرخ خالص انتقال حرارت $(\frac{BTU}{hr})$	زمان مورد نیاز برای کاهش $1^\circ F$ آب مخزن (hr)	زمان مورد نیاز برای شروع یخزدگی (hr)
			سقف	دیوار مدفون			
-۳۰	۳۵	۴۰	-۳۲۹۱۸/۵	-۲۳۶۴۸	-۵۵۳۴۹	۳۹/۶	۱۱۹
-۱۰	۳۸	۵۰	-۲۴۳۰۹	-۱۷۴۹۱	-۴۱۸۰۰	۵۲/۴	۳۱۵

همان‌طور که از نتایج مشخص است، برای شروع یخزدگی مخزن در دمای ۳۰- درجه فارنهایت حداقل ۵ شبانه روز و در دمای ۱۰- درجه فارنهایت حداقل ۱۳ شبانه روز باید بگذرد.

پ.۱-۴- بررسی اثر عایق حرارتی بر مخزن نیمه مدفون

در صورت اضافه کردن عایق حرارتی به ضخامت یک اینچ و با مقاومت حرارتی معادل $R = 2.66\frac{hr.ft^2.^\circ F}{BTU}$ به سقف و دیواره‌های اطراف مخزن، ضریب انتقال حرارت به صورت زیر تغییر می‌کند:

ضریب انتقال حرارت سقف:

$$R_{new} = R_{old} + R_{ins} = 2.45 + 2.66 = 5.11$$

$$U_{new} = \frac{1}{5.11} = 0.196\frac{BTU}{hr.ft^2.^\circ F}$$

که نسبت به حالت قبل نصف می‌گردد. به همین ترتیب انتقال حرارت از دیواره‌های خارجی نیز نصف می‌گردد.

پ.۱-۴-۱- دمای هوای خارج ۳۰- درجه فارنهایت

افزودن عایق، نصف شدن ضرایب انتقال حرارت و نتیجه آن کاهش ۵۰ درصدی نرخ انتقال حرارت به بیرون باعث افزایش دو برابری زمان مورد نیاز برای مهیا شدن شرایط یخ زدن می‌شود. به گونه‌ای که در مقایسه با حالت قبلی (بدون عایق) زمان مورد نیاز برای کاهش ۳ درجه‌ای آب در حدود ۷۰ ساعت یا ۴/۵ شبانه‌روز خواهد بود.

پ.۱-۴-۲- دمای هوای خارج ۱۰- درجه فارنهایت

همانند مخزن در دمای ۳۰- درجه، زمان مورد نیاز این حالت نیز دو برابر شده و به حدود ۲۵۰ ساعت یا حدود ۱۰/۵ شبانه روز خواهد بود.

پ.۱-۵- بررسی گرادیان دما در سقف مخازن

پ.۱-۵-۱- بررسی گرادیان دما در سقف مخزن نیمه مدفون در دمای خارج $-30^{\circ}F$

به منظور ارزیابی امکان یخزدگی در سطح و عمق بتن سقف مخزن، لازم است گرادیان دما در ضخامت سقف مورد بررسی قرار گیرد.

$$T_{out} = -30^{\circ}F$$

$$T_{in} = +35^{\circ}F$$

بالانس حرارتی:

$$\frac{(T_{in} - T_{si})}{R} = \frac{Q_1}{A}$$

$$\frac{T_{si} - T_{so}}{R} = \frac{Q_2}{A}$$

$$\frac{T_{so} - T_{o}}{R} = \frac{Q_3}{A}$$

$$Q_1 = Q_2 = Q_3$$

$$\frac{35^{\circ} - T_{si}}{0.68} = \frac{Q}{A} = \frac{129775}{4869.6}$$

$$T_{si} = 16.9^{\circ}F = -8.4^{\circ}C$$

بنابراین احتمال یخزدگی دارد.

یعنی بخارات حاصل از تبخیر سطحی آب روی مخزن روی جداره داخلی سقف مخزن به صورت برفک و قندیل یخ خواهد زد و در حالی که آب داخل مخزن هنوز کاملا مایع است و تا مرز یخزدگی فاصله زیادی داد.

پ.۱-۵-۲- بررسی گرادیان دما در سقف مخزن نیمه مدفون در دمای خارج $-10^{\circ}F$

$$T_{out} = -10^{\circ}F$$

$$T_{in} = +38^{\circ}F$$

با توجه به بالانس حرارتی مشابه قسمت قبل خواهیم داشت

$$\frac{38^{\circ} - T_{si}}{0.68} = \frac{Q}{A} = \frac{95834}{4869.6}$$

$$T_{si} = 24.6^{\circ}F = -4.11^{\circ}C$$

بنابراین احتمال یخزدگی دارد و بخار آب روی دیوارها برفک ایجاد می‌کند.

پ.۱- ۵-۳- بررسی گرادیان دما در سقف مخزن مدفون در دمای خارج $-30^{\circ}F$

$T_{out} = -30^{\circ}F$

$T_{in} = +35^{\circ}F$

بالانس حرارتی:

$$\frac{35^{\circ} - T_{si}}{0.68} = \frac{Q}{Q} = \frac{32918.8}{4869.6}$$

$T_{si} = 30.4^{\circ}F = -0.9^{\circ}C$

پ.۱-۵-۴- بررسی گرادیان دما در سقف مخزن مدفون در دمای خارج $-10^{\circ}F$

$T_{out} = -10^{\circ}F$

$T_{in} = +38^{\circ}F$

بالانس حرارتی:

$$\frac{38^{\circ} - T_{si}}{0.68} = \frac{Q}{A} = \frac{24309}{4869.6}$$

$T_{si} = 34.6^{\circ}F = 1.5^{\circ}C$

از داخل یخ نمی‌زند.

پیوست ۲

بتن‌های خودتراکم (SCC)

پ.۲-۱- کلیات

بتن خودتراکم بتنی است که تحت وزن خود جاری شده و بدون نیاز به هرگونه تراکم خارجی به طور کامل قالب‌ها را پر کرده و حالت همگن خود را نیز حفظ نماید. علت اصلی مقبولیت و گسترش استفاده از بتن خودتراکم، کارآیی زیاد این بتن و عدم نیاز به تراکم می‌باشد که مزایای زیادی را همچون سرعت در اجرا، کاهش نیروی انسانی مورد نیاز، دست‌یابی به سطوح تمام شده صاف و به ویژه امکان بتن‌ریزی در قسمت‌هایی که دسترسی و تراکم بتن‌های معمول به دلیل حجم زیاد آرماتور در آن‌ها امکان پذیر نمی باشد را به همراه دارد.

باید توجه داشت که بتن خودتراکم باید علاوه بر داشتن روانی مناسب، پایداری خود را نیز حفظ کند. تامین روانی بتن خودتراکم تازه، با افزایش مقدار آب اختلاط و یا استفاده از افزودنی‌های شیمیایی و معدنی مناسب امکان‌پذیر است، اما روانی زیاد بتن خودتراکم، احتمال وقوع ناپایداری را در آن افزایش می‌دهد. ناپایداری به معنای ناهمگنی در توزیع مصالح تشکیل دهنده‌ی بتن و جدا شدن هر یک از اجزای تشکیل‌دهنده‌ی آن می‌باشد و ممکن است از زمان اختلاط تا زمان سخت شدن بتن رخ دهد. برای اطمینان از کسب مقاومت و دوام مورد انتظار، بتن خودتراکم باید در تمام مراحل بتن‌ریزی و ساخت، پایداری نسبی خود را حفظ کند.

ناپایداری در بتن خودتراکم ممکن است به شکل‌های مختلفی مانند آب‌انداختگی، جداشدگی و یا انسداد اتفاق بیافتد. وقوع هر یک از انواع ناپایداری در بتن خودتراکم، علاوه بر کاهش کارایی بتن تازه، به شدت بر خصوصیات بتن سخت‌شده نیز تاثیر می‌گذارد و باعث کاهش مقاومت و دوام آن می‌گردد. بنابراین، لازم است با شناخت انواع ناپایداری بتن خودتراکم تازه، روش‌های اندازه‌گیری، علل وقوع و نحوه کنترل هر یک از آن‌ها، از طراحی و اجرای بتن‌های روان با ساختار غیریکنواخت و ناپایدار، جلوگیری نمود.

الزامات و محدودیت های مختلف بتن خودتراکم، به جز مواردی که به روشنی در این پیوست شرح داده شده‌اند، مطابق بتن معمولی، مندرج در بخش اول آیین‌نامه‌ی «آبا»، می‌باشد. با این وجود کنترل کیفیت مواد و مصالح اولیه و بتن تازه در بتن‌های خودتراکم از اهمیت بیش‌تری نسبت به بتن‌های معمول برخوردار بوده و ضروری است از افراد مجرب که سابقه‌ی طرح و اجرای این نوع بتن را دارند، استفاده گردد. در غیر این صورت باید یک قطعه آزمایشی در مقیاس مورد نظر دستگاه نظارت ساخته شود.

گردش کار لازم برای اجرای صحیح بتن خودتراکم به این صورت است که با توجه به نوع قطعه، تراکم آرماتورها، ابعاد قالب و مواد و مصالح در دسترس، طرح اختلاط اولیه‌ی بتن خودتراکم ارائه می‌شود. سپس آزمایش‌های لازم برای تعیین مشخصات این بتن در حالت خمیری و سخت‌شده در آزمایشگاه انجام شده و اصلاحات لازم بر روی طرح اختلاط انجام می‌گردد. پس از نهایی شدن طرح اختلاط آزمایشگاهی، در صورت نیاز یک قطعه آزمایشی با مقیاس مورد تایید دستگاه نظارت ساخته شده و پس از بررسی آن و تعیین روش تولید و اجرای بتن خودتراکم و نفرات و تجهیزات لازم، آزمایش‌های مورد نیاز برای کنترل کیفیت کارگاهی و معیارهای پذیرش آن‌ها و همچنین تواتر انجام آن‌ها، تعیین می‌شود.

پ.۲-۲- خصوصیات مهندسی

در حالی‌که خصوصیات بتن خودتراکم تازه به طور کلی با بتن‌های معمول متفاوت می‌باشد، اما مشخصات مهندسی بتن خودتراکم سخت‌شده، ساخته شده با مصالح و رده‌ی مقاومتی یکسان، با بتن‌های معمول تقریبا مشابه بوده و در نتیجه آزمایش‌ها و معیارهای بتن خودتراکم سخت‌شده تفاوت زیادی با بتن‌های معمول نخواهد داشت.

با توجه به این‌که در ساخت بتن خودتراکم می‌توان به مقدار زیادی از مواد جایگزین سیمان استفاده کرد، در این صورت همانند بتن‌های معمولی، در صورت تایید مهندس مشاور می‌توان از نتایج آزمایش بتن سخت‌شده در سنین پس از ۹۰ روز نیز استفاده نمود.

با توجه به عیار نسبتا زیاد مواد سیمانی و پودری (مواد ریزتر از ۰/۱۲۵ میلی‌متر) و همچنین حجم کم‌تر سنگدانه‌ها در بتن خودتراکم، جمع‌شدگی و نشست خمیری در این نوع بتن بیش‌تر از بتن‌های معمول بوده و باید مورد بررسی و کنترل قرار گیرد. هرچند ترک‌های به وجود آمده در اثر این عوامل معمولا سطحی می‌باشند، اما برای جلوگیری از وقوع آن‌ها می‌توان از مواد انبساط‌زا و کاهش‌دهنده‌ی جمع‌شدگی نیز استفاده کرد. این امر به ویژه در مورد سازه‌هایی همچون مخازن بتنی آب که آب‌بندی و دوام آن‌ها از اهمیت زیادی برخوردار است، حیاتی می‌باشد.

با استفاده از پرداخت دوباره‌ی سطح بتن در زمان مناسب (قبل از گیرش اولیه‌ی سیمان و هنگامی که بر روی سطح بتن آب‌انداختگی وجود ندارد)، عمل‌آوری زودهنگام، محدود کردن دمای اولیه‌ی بتن و خنک نگه‌داشتن آن در طول مدت عمل‌آوری، کاهش عیار مواد سیمانی و پودری (مواد ریزتر از ۰/۱۲۵ میلی‌متر) مصرفی و همچنین استفاده از سنگدانه‌های اشباع در ساخت بتن نیز، می‌توان نسبت به کنترل میزان جمع‌شدگی و نشست خمیری بتن خودتراکم اقدام کرد.

پ.۲-۳- مصالح و مواد اولیه

سیمان، مواد جایگزین سیمان، سنگدانه‌ها و مواد افزودنی مختلف به کار رفته در ساخت بتن‌های خودتراکم باید ضوابط ارائه‌شده در فصل دوم را برآورده کنند. با این وجود، کنترل دقیق این موارد و حفظ ثبات کیفیت مواد و مصالح به کار رفته در ساخت بتن خودتراکم از اهمیت بسیاری برخوردار است.

سنگدانه‌های مصرفی باید دارای دانه‌بندی مناسب بر اساس روش ملی طرح اختلاط بتن باشند، اما درصورتی‌که با ساخت و آزمایش نمونه‌های مناسب، نشان داده شود که خصوصیات بتن خودتراکم تازه و سخت‌شده برآورده می‌شود، دانه‌بندی آن می‌تواند خارج از محدوده‌ی استاندارد بتن‌های معمولی نیز، در نظر گرفته شود. به‌طور کلی، با توجه به مشخصات مواد و مصالح مصرف‌شده در ساخت بتن خودتراکم، باید از دانه‌بندی بهینه‌ی سنگدانه‌ها برای کاهش عیار سیمان مصرفی، جلوگیری از وقوع انسداد، جداشدگی، تامین روانی و قابلیت پرکنندگی مناسب، استفاده گردد. برای بهینه‌کردن مشخصات طرح اختلاط بتن خودتراکم ارائه شده، باید تا حدامکان از حداکثر اندازه سنگدانه‌ی بزرگ‌تر و

حجم سنگدانه‌ی بیش‌تر، ضمن حفظ خصوصیات بتن خودتراکم تازه، استفاده نمود. با این وجود در اغلب پروژه‌ها حداکثر اندازه‌ی سنگدانه به ۲۰ میلی‌متر محدود می‌شود.

نقص‌های دانه‌بندی سنگدانه‌ها را می‌توان با مخلوط‌کردن آن با سایر منابع و یا کاربرد پودر سنگ مرتفع کرد. به این منظور استفاده از پودر سنگ آهک، انتخاب مناسبی است. در هر حال، توصیه می‌شود برای حفظ روانی بتن خودتراکم، ریزدانه‌ها گردگوشه باشند.

حجم پیشنهادی اولیه‌ی خمیر (شامل مواد سیمانی، پودری، آب، افزودنی‌های شیمیایی و هوا) برابر ۳۴ تا ۴۰ درصد و حجم پیشنهادی اولیه‌ی ملات (شامل حجم خمیر به اضافه‌ی سنگدانه‌های عبوری از الک شماره ۴) نیز بین ۶۰ تا ۷۰ درصد توصیه می‌شود. در نهایت این مقادیر باید به نحوی تعیین گردد که خصوصیات مورد انتظار از بتن خودتراکم تازه و سخت‌شده، برآورده گردد.

فوق روان‌سازهای با پایه پلی‌کربوکسیلات، بهترین نوع برای ساخت بتن خودتراکم با مشخصات مقاومتی و دوامی مناسب می‌باشند. به غیر از این مواد، سایر افزودنی‌ها نظیر مواد حباب‌زا (AEA)، اصلاح‌کننده‌ی لزجت (VMA)، روان‌ساز، مواد کاهنده‌ی جمع‌شدگی و ... نیز می‌توانند در بتن خودتراکم، بعد از آزمایش اثر آن‌ها بر روی یکدیگر و همچنین مواد سیمانی مصرفی، مورد استفاده قرار گیرند. مشخصات افزودنی‌ها باید مطابق ضوابط ارائه شده در فصل دوم این ضابطه باشد.

استفاده از افزودنی کنترل‌کننده لزجت (VMA)، به خصوص در مواردی که ریزدانه‌های کمی در سنگدانه‌ها وجود دارد و استفاده از پودرسنگ نیز امکان‌پذیر نمی‌باشد، برای جلوگیری از وقوع جداشدگی در بتن خودتراکم تازه مناسب است. همچنین این افزودنی تا حدی باعث کاهش حساسیت بتن خودتراکم به تغییرات در سنگدانه‌ها و میزان آب مصرفی می‌شود. در صورت استفاده از افزودنی‌ها و مواد جایگزین سیمان باید این مواد به طور همگن در بتن توزیع شوند.

عیار سیمان مناسب برای بتن خودتراکم بین ۳۵۰ تا ۴۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد. عیار سیمان بیش‌تر از این مقدار خطر ترک‌خوردگی ناشی از جمع‌شدگی خمیری را افزایش می‌دهد. درصورتی‌که ارزیابی طرح اختلاط ارائه شده، نشان‌دهنده‌ی کنترل ترک‌خوردگی بتن توسط عواملی مانند افزودنی‌های کاهنده‌ی جمع‌شدگی و سایر موارد باشد، می‌توان تا حداکثر ۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب از سایر مواد پوزولانی نیز استفاده نمود. در این صورت مجموع عیار مواد سیمانی مصرفی، حداکثر ۵۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب خواهد بود.

پ.۲-۴- مشخصات و روش آزمایش بتن تازه

تفاوت اصلی بتن خودتراکم با سایر بتن‌ها مربوط به خواص آن در حالت خمیری می‌باشد. دو موضوع مهم که باید در بتن خودتراکم مورد توجه قرار گیرد شامل روانی و پایداری بتن تازه است. روانی بتن خودتراکم باید به نحوی باشد که بدون نیاز به تراکم بتواند از میان آرماتورها عبور کرده و تمام فضای قالب را پر کند. به این منظور باید تا حد امکان تنش تسلیم بتن خودتراکم پایین باشد تا تحت نیروی وزن خود جریان یابد. اما در همین بتن روان، نباید در هنگام بتن‌ریزی و

یا پس از آن تا زمانی که بتن در حالت خمیری قرار دارد، ناپایداری اتفاق بیافتد. به این منظور باید لزجت بتن نیز به اندازه کافی تامین شود.

کارآیی بتن ترکیبی از مفاهیم سیالیت، چسبندگی، قابلیت حمل، تراکم‌پذیری، پرداخت و چسبناکی می‌باشد. کارایی بتن خودتراکم از بیش‌ترین کارایی بتن‌های معمولی نیز بیش‌تر بوده و باید با توجه به شکل و ابعاد قالب و همچنین تراکم آرماتورها در نظر گرفته شود. این خصوصیت بتن خودتراکم با توجه به سه قابلیت زیر تعیین می‌شود:

- قابلیت پر کردن[1]
- قابلیت عبور (مقاومت در برابر انسداد)[2]
- قابلیت پایداری (مقاومت در برابر جداشدگی)[3]

به طور کلی، قابلیت پایداری (مقاومت در برابر جداشدگی) بتن خودتراکم، به دو دسته پایداری دینامیکی و استاتیکی تقسیم می‌شود. پایداری دینامیکی به معنای مقاومت بتن در برابر جدا شدن اجزای تشکیل‌دهنده‌ی آن در حین حمل، بتن‌ریزی و جای‌دهی در قالب‌ها می‌باشد. همچنین بتن خودتراکم، علاوه بر حفظ همگنی در حالت دینامیکی، باید پس از اتمام بتن‌ریزی و زمانی که بتن در حالت سکون قرار دارد نیز همگنی خود را حفظ کند. به این نوع پایداری، پایداری استاتیکی گفته می‌شود که شامل مقاومت در برابر آب‌انداختگی، جداشدگی و ته‌نشینی سنگدانه‌ها، در زمانی که بتن‌ریزی و جای‌دهی بتن به اتمام رسیده اما بتن هنوز در حالت خمیری قرار دارد، می‌باشد.

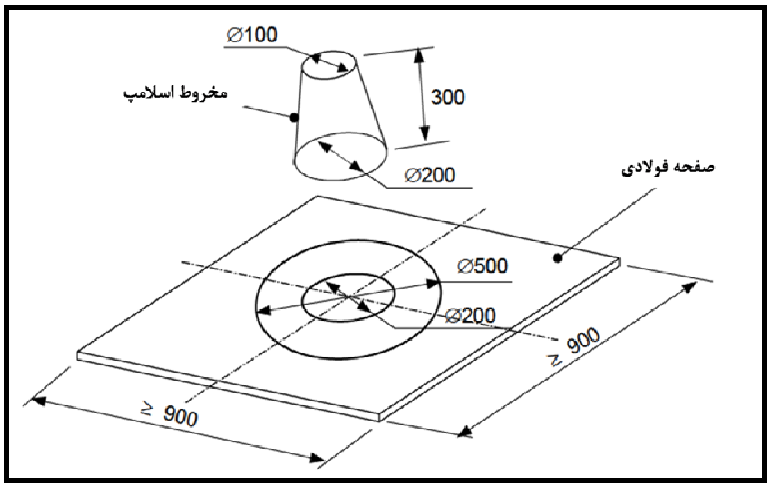
کارآیی مورد نیاز بتن خودتراکم وابسته به روش اجرا، شکل و ابعاد قالب و همچنین تراکم آرماتورها می‌باشد. بنابراین قابلیت مورد نیاز بتن برای پرکنندگی، عبور و پایداری در برابر جداشدگی استاتیکی و دینامیکی نیز به همین عوامل باز می‌گردد. به طور مثال، بتن خودتراکمی که در پی سازه‌ای به کار می‌رود، درصورتی‌که فاصله‌ی میان آرماتورها زیاد باشد می‌تواند حداکثر اندازه‌ی سنگدانه‌ی بزرگ‌تر و قابلیت پرکنندگی و عبور کم‌تری نسبت به بتن خودتراکمی که در ستون همان سازه به کار می‌رود، داشته باشد. هرچند بتنی که در ستون به کار می‌رود باید دارای مقاومت بیش‌تری در برابر جداشدگی باشد. بنابراین، معیارهای مناسب برای ارزیابی کارآیی طرح اختلاط و آزمایش‌های لازم برای کنترل کیفیت بتن خودتراکم و میزان تواتر آن‌ها نیز، باید با توجه به نحوه‌ی اجرای بتن خود تراکم و کاربرد آن مشخص گردد.

تاکنون هیچ آزمایش واحد یا ترکیبی نتوانسته است برای تعیین همه‌ی ابعاد و مفاهیم کارآیی بتن خودتراکم تازه مورد تایید جهانی قرار گیرد. به هر حال، آزمایش‌های ضروری و استانداردشده برای کنترل کیفیت کارآیی بتن خودتراکم مخازن طرح به شرح زیر می‌باشند:

1- Filling Ability
2- Passing Ability
3- Resistance to Segregation

پ.۲-۴-۱- آزمایش جریان اسلامپ[1]

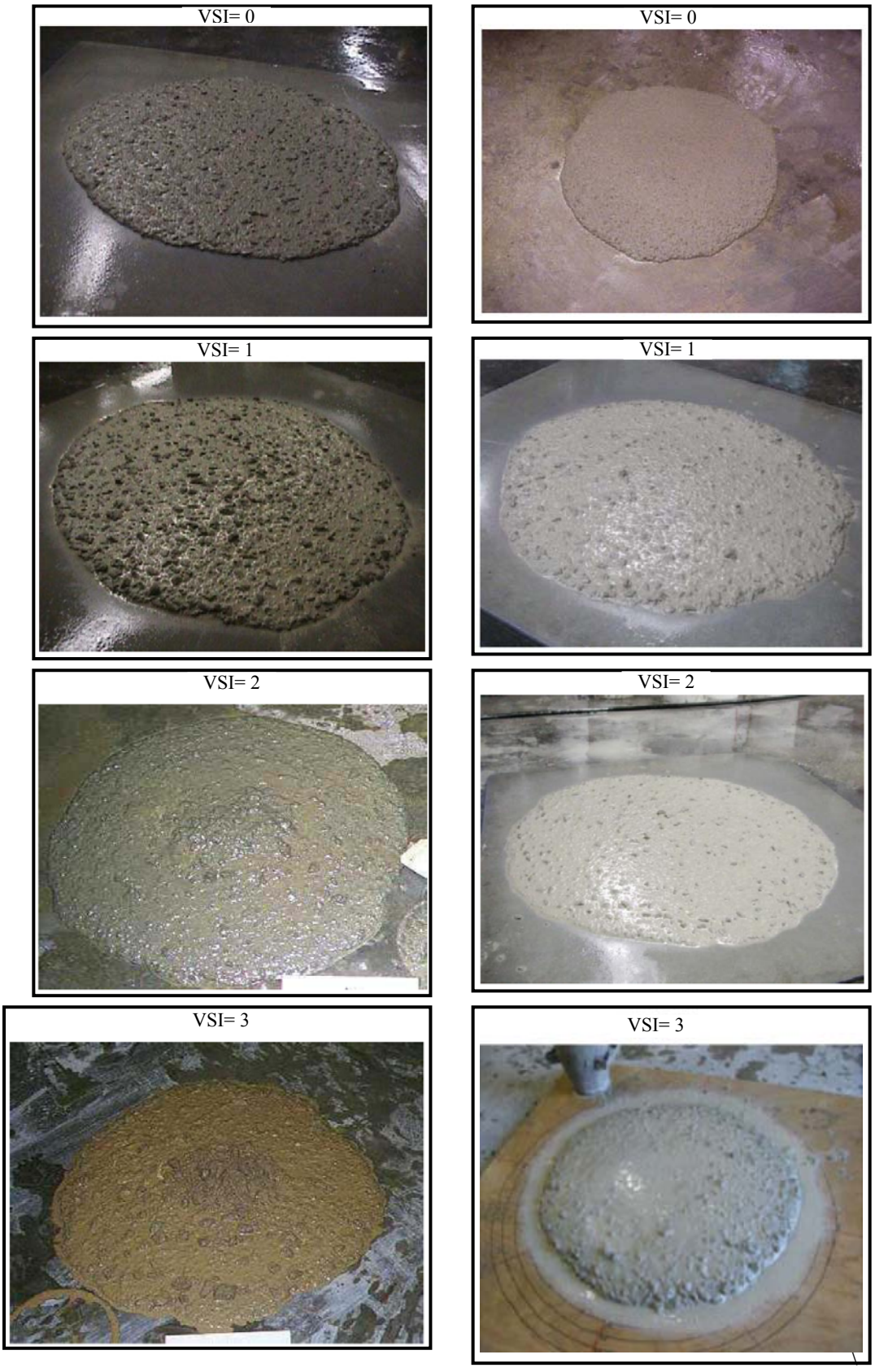
آزمایش جریان اسلامپ به منظور تعیین توانایی حرکت بتن در سطح افقی به هنگام نبود مانع انجام می‌شود. اساس این آزمایش، که باید بر اساس استاندارد ملی ایران به شماره ۱۱۲۷۰ تحت عنوان «اندازه‌گیری جریان اسلامپ بتن خودتراکم – روش آزمون» انجام شود، بر اصولی استوار است که آزمایش اسلامپ معمولی بر آن بنا نهاده شده است. قطر بازشدگی نهایی، زمان رسیدن قطر بازشدگی به ۵۰۰ میلی‌متر و شاخص پایداری چشمی باید در این آزمایش ثبت گردند. این نتایج می‌توانند به صورت غیرمستقیم نشان‌دهنده‌ی توانایی پرکنندگی و پایداری بتن خودتراکم نیز باشند. این آزمایش باید بر روی صفحه فولادی کاملا صاف، تمیز و تراز، انجام شده و دهانه بزرگ‌تر مخروط اسلامپ (آبرام) بر روی صفحه فولادی و در مرکز آن قرار گیرد (شکل پ.۲-۱).



شکل پ.۲-۱- نمای شماتیک نحوه انجام آزمایش جریان اسلامپ

قطر دایره‌ای که بتن پس از پخش شدن می‌سازد، معیار سنجش قابلیت پرکنندگی بتن خواهد بود. زمان لازم برای رسیدن قطر بازشدگی بتن خودتراکم به ۵۰۰ mm (T500) نیز به خوبی می‌تواند نشانگر میزان لزجت آن باشد. شاخص پایداری چشمی نیز با برآورد چشمی نحوه بازشدگی جریان اسلامپ، ساده‌ترین آزمایش ارزیابی پایداری دینامیکی بتن خودتراکم تازه می‌باشد. از آنجا که این شاخص به صورت چشمی اندازه‌گیری می‌شود، نتیجه آن تقریبی بوده و به قضاوت کارشناس باتجربه بستگی دارد. بنابراین، هرچند ضریب پایداری چشمی ابزار بسیار مناسبی برای کنترل کیفیت بتن خودتراکم است اما، نمی‌تواند به تنهایی برای تایید یا مردودکردن یک مخلوط بتنی به کار رود. در شکل (پ.۲-۲) و جدول (پ.۲-۱) معیارهایی برای برآورد دقیق‌تر شاخص پایداری چشمی ارائه شده است.

1- Slump Flow



شکل پ.۲-۲- ضریب پایداری چشمی برای آزمایش جریان اسلامپ

جدول پ.۲-۱- شاخص پایداری چشمی

شاخص پایداری چشمی (VSI)	معیار
۰ (کاملا پایدار)	هیچ‌گونه جداشدگی یا آب‌انداختگی مشاهده نمی‌شود.
۱ (پایدار)	هیچ‌گونه جداشدگی مشاهده نمی‌شود و مقدار کمی آب‌انداختگی به صورت درخشندگی در سطح بتن دیده می‌شود.
۲ (ناپایدار)	لایه نازکی از ملات (کم‌تر از ۱ سانتی‌متر) در اطراف و/یا توده‌ی سنگدانه در وسط سطح بتن مشاهده می‌شود.
۳ (کاملا ناپایدار)	جداشدگی مشخص، به همراه لایه‌ای از ملات (بیش‌تر از ۱ سانتی‌متر) و/یا توده بزرگ سنگدانه‌ها در وسط بتن دیده می‌شود.

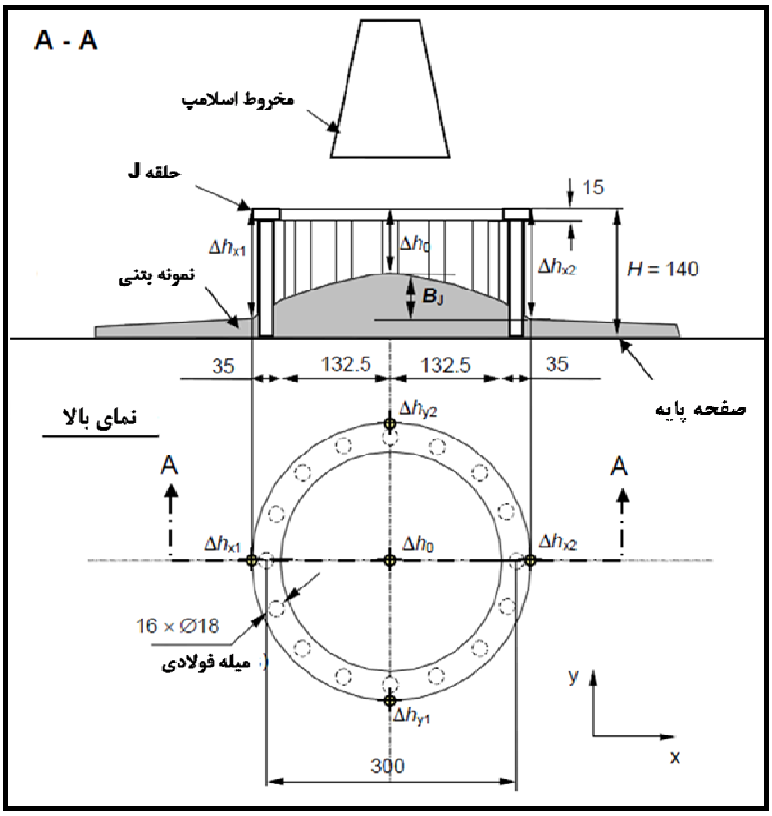
محدوده‌ی قابل قبول جریان اسلامپ بتن خودتراکم برای اعضای سازه‌ای افقی با تراکم آرماتور کم مانند دال‌ها، ۵۵۰ تا ۶۰۰ میلی‌متر و برای اعضای قائم مانند دیوارها و ستون‌ها، ۶۵۰ تا ۷۰۰ میلی‌متر می‌باشد. محدوده زمانی قابل قبول برای رسیدن قطر بازشدگی بتن خودتراکم به ۵۰۰ میلی‌متر (T500) نیز بین ۲ تا ۵ ثانیه است. در مواردی که قابلیت مقاومت بتن در برابر جداشدگی استاتیکی نیز از اهمیت زیادی برخوردار است (مانند ستون‌ها و دیوارها)، باید شاخص پایداری بتن خودتراکم برابر صفر و یا ۱ باشد.

پ.۲-۴-۲- آزمایش حلقه J [1]

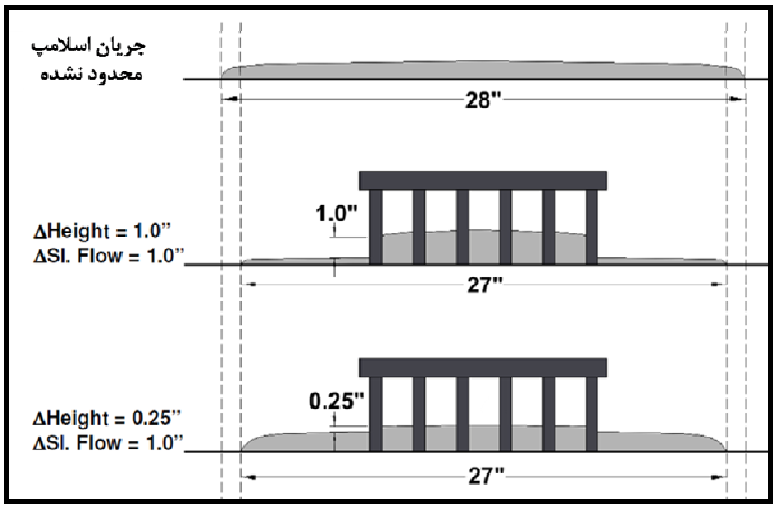
آزمایش حلقه‌ی J، یک آزمایش ساده برای برآورد توانایی عبور بتن خودتراکم و مقاومت آن در برابر انسداد می‌باشد که هم در آزمایشگاه و هم در کارگاه به راحتی قابل استفاده است. این آزمایش که باید براساس استاندارد ملی ایران به شماره ۱۱۲۷۱ تحت عنوان «اندازه‌گیری قابلیت عبور بتن خودتراکم به‌وسیله دستگاه حلقه j – روش آزمون» انجام شود، به نوعی می‌تواند نشان‌دهنده قابلیت پایداری و پرکنندگی بتن خودتراکم نیز باشد. قطر بازشدگی نهایی و اختلاف سطح بتن در بیرون و داخل حلقه باید در این آزمایش ثبت گردند. این آزمایش باید بر روی صفحه فولادی کاملا صاف، تمیز و تراز، انجام شده و دهانه‌ی بزرگ‌تر مخروط اسلامپ (آبرام) بر روی صفحه فولادی و در مرکز آن قرار گیرد (شکل پ.۲-۳ و شکل پ.۲-۴).

درصورتی‌که اختلاف قطر بازشدگی در آزمایش جریان اسلامپ و حلقه J کم‌تر از ۲۵ میلی‌متر باشد، قابلیت عبور (مقاومت در برابر انسداد) بتن خودتراکم بسیار مناسب ارزیابی می‌شود و مقادیر بیش از ۵۰ میلی‌متر برای این پارامتر غیرقابل‌قبول تلقی می‌گردد. اختلاف سطح بتن در درون و بیرون حلقه نیز، باید به ۵ تا حداکثر ۱۰ میلی‌متر محدود گردد.

1- J-ring



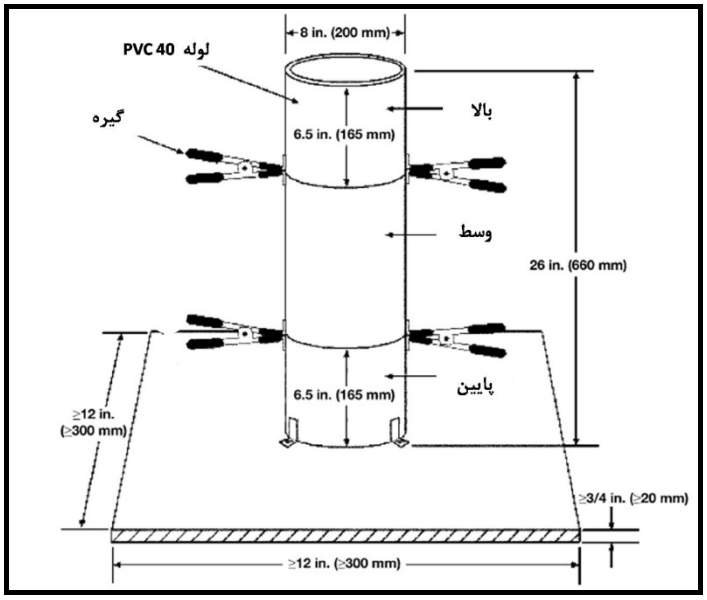
شکل پ.۲-۳- نمای شماتیک نحوه‌ی انجام آزمایش حلقه‌ی J (اندازه ها به میلی‌متر می‌باشد)



شکل پ.۲-۴- لزوم ثبت اختلاف سطح بتن در بیرون و داخل حلقه‌ی J به عنوان معیاری برای قابلیت عبور

پ.۲-۴-۳- آزمایش جداشدگی استاتیکی با استفاده از روش ستون[1]

این آزمایش باید براساس استاندارد ملی ایران به شماره ۱۲۲۵۵ تحت عنوان «بتن - اندازه گیری میزان جدا شدگی ایستایی بتن خود تراکم با استفاد از روش فنی ستون -روش آزمون» انجام شود. درصورتی‌که بتن خودتراکم دچار جداشدگی استاتیکی نشود جرم سنگدانه‌های درشت (شن) در قسمت بالایی و پایینی ستون تقریبا برابر خواهند بود. درصد جداشدگی کم‌تر از ۷ درصد در این آزمایش برای ستون‌ها و دیوارها که باید مقاومت بیش‌تری در برابر جداشدگی استاتیکی داشته باشند قابل قبول است. (شکل پ.۲-۵)



شکل پ.۲-۵ - نمای شماتیک دستگاه آزمایش جداشدگی با استفاده از روش ستون

پ.۲-۵- تولید و کنترل کیفیت کارگاهی

مواد و مصالح به کار رفته در تولید بتن خودتراکم باید از کیفیت ثابتی برخوردار باشند. به این منظور باید این مواد و مصالح در طول انجام پروژه از منابع ثابتی تهیه شوند. کنترل دقیق نسبت آب به سیمان و رطوبت سنگدانه‌ها در بتن خودتراکم، از اهمیت بیش‌تری نسبت به بتن‌های معمولی برخوردار است. بنابراین، برای جلوگیری از وقوع جداشدگی بهتر است رطوبت سنگدانه به وسیله نگهداری در یک محل سرپوشیده ثابت نگه‌داشته شود و آزمایش‌های دانه‌بندی و تعیین رطوبت سنگدانه‌ها به تعداد دفعات بیش‌تری انجام شود. در هر حال، با توجه به حساسیت این بتن نسبت به تغییر در میزان آب مصرفی، توصیه می‌شود برای ساخت این بتن‌ها از دستگاه‌های بتن پیمانه‌ای[2] استفاده شود که دارای سیستم کنترل خودکار میزان رطوبت

1- Column Segregation
2- Batching

سنگدانه‌ها و محاسبه میزان آب اضافی مورد نیاز هستند. در غیر این صورت، میزان رطوبت سنگدانه‌ها باید به طور منظم (هر ۴ ساعت) بر اساس استانداردهای ASTM C70 و یا ASTM C566 کنترل گردد. در صورت استفاده از سیستم خودکار نیز، باید هر روز و قبل از شروع به ساخت بتن از کالیبره‌بودن دستگاه اطمینان حاصل شود.

برای اطلاع از حساسیت طرح اختلاط بتن خودتراکم به تغییر در میزان آب مصرفی، بهتر است این مقدار در هنگام ارائه‌ی طرح اختلاط بتن خودتراکم محاسبه گردد. به این منظور، باید بتن خودتراکم با حداقل کارایی قابل‌قبول ساخته شده و با اضافه کردن تدریجی آب، حداکثر مقدار خطای ممکن برای حفظ کارآیی مناسب بتن خودتراکم ثبت گردد. به هر حال، برای جلوگیری از وقوع جداشدگی، ناشی از استفاده بیش از حد آب، بهتر است در هنگام ارائه‌ی طرح اختلاط بتن خودتراکم، اسلامپ آن قبل از اضافه کردن فوق‌روان‌کننده، مانند بتن‌های معمول آزمایش شده و مقدار آن به ۲۰۰ میلی‌متر محدود شود.

با توجه به این‌که برای ساخت، کنترل کیفیت و پرداخت سطح بتن خودتراکم تجهیزات خاصی مورد نیاز است، اکیدا توصیه می‌شود عوامل ساخت و مدیریت کارگاه، تجربه ساخت این نوع بتن را داشته باشند. در غیر این صورت باید ابتدا یک نمونه آزمایشگاهی در مقیاس مورد تایید دستگاه نظارت ساخته شود. برای اختلاط بتن‌های خودتراکم بهتر است از مخلوط‌کن‌های دارای پرده‌ی چرخان[1] شامل مخلوط‌کن‌های نوع پارویی[2] استفاده گردد. مدت زمان لازم برای رسیدن به همگنی مناسب در این نوع بتن ممکن است بین ۳۰ تا ۹۰ ثانیه طولانی‌تر از بتن‌های معمول باشد.

برای کنترل کیفی کارگاهی کارآیی بتن خودتراکم، درصورتی‌که فرد مجربی این آزمایش‌ها را انجام دهد و با توجه به کاربرد آن نگرانی خاصی در مورد وقوع جداشدگی استاتیکی در آن وجود نداشته باشد، استفاده از ترکیب آزمایش‌های جریان اسلامپ با حلقه J کافی است. در این صورت، علاوه بر کنترل چشمی تمامی بتن‌های تحویلی می‌توان تواتر آزمایش‌های بتن خودتراکم تازه را مانند بتن معمولی در بخش اول آیین‌نامه «آبا» در نظر گرفت. هر چند بهتر است، برای اطمینان از ثبات تولید و هماهنگی و کسب تجربه‌ی لازم برای همه‌ی عوامل، در ابتدای کار تمامی محموله‌های بتن مورد آزمایش قرار گیرند. به هر حال تمامی این آزمایش‌ها باید در آخرین مرحله‌ی ممکن قبل از جایدهی بتن در قالب، انجام شود.

آزمایش‌های تعیین وزن مخصوص و درصد هوای بتن نیز باید برای کنترل کیفیت آن انجام شوند. با توجه به عیار سیمان نسبتا بالای این بتن‌ها، برای حفظ مشخصات مقاومتی و دوامی بتن خودتراکم و محدود کردن جمع‌شدگی و نشست خمیری در آن، حداکثر دمای بتن در هنگام بتن‌ریزی به ۲±۲۸ درجه سانتی‌گراد محدود می‌شود و همچنین حداقل دمای بتن‌ریزی، مطابق آیین‌نامه‌ی بتن ایران (آبا) نظیر بتن معمولی رعایت شود.

1- Forced Action
2- Paddle

پ.۲-۶- انتقال، بتن‌ریزی و پرداخت نهایی

تجهیزات انتقال بتن خودتراکم باید مطابق استاندارد ASTM C 94 باشد. به هر حال، مخزن حمل بتن باید کاملا تمیز و مرطوب باشد، یعنی عاری از پسماندهای بتن حمل‌شده در گذشته و همچنین پسماندهای آب شستشو باشد. برای انتقال بتن خودتراکم از تجهیزات مورد استفاده در انتقال بتن‌های معمول می‌توان استفاده کرد. با این وجود رعایت نکات زیر الزامی است:

۱- با توجه به روانی بتن خودتراکم، بیش از ۸۰ درصد ظرفیت تراک مخلوط‌کن‌ها نباید مورد استفاده قرار گیرد. (برای اطمینان از سرریز نکردن بتن در سربالایی‌ها و توقف‌های ناگهانی درون کارگاه) می‌توان بتن خودتراکم را بدون اضافه کردن فوق‌روان‌کننده (در حالتی که روانی آن مانند بتن‌های معمولی است) به کارگاه حمل کرد و در آخرین مرحله، فوق روان‌کننده را اضافه کرد. در این صورت، حتما باید نسبت به همگن‌بودن کامل بتن خودتراکم اطمینان حاصل شود و تنها از چرخش تراک مخلوط‌کن در دور تند به مدت لازم استفاده گردد.

۲- در صورت استفاده از جام (باکت) باید جریان اسلامپ بتن خودتراکم افزایش داده شود (حداقل برابر mm ۶۰۰).

۳- بتن خودتراکم بهتر از بتن معمولی می‌تواند پمپ شود. بدین ترتیب، کنترل عدم وقوع جداشدگی پس از پمپاژ ضروری می‌باشد.

علیرغم قابلیت بتن خودتراکم در حرکت افقی همگن، بهتر است برای جلوگیری از وقوع جداشدگی، حداکثر فاصله جریان افقی بتن خودتراکم به ۱۰ متر محدود گردد. همچنین، برای جلوگیری از وقوع جداشدگی دینامیکی، باید تمهیدات لازم در نظر گرفته شود.

به طور معمول سرعت بتن‌ریزی برای بتن‌های خودتراکم بیش‌تر از بتن‌های معمولی می‌باشد. به همین علت به ویژه در مورد دال‌ها، باید یک نمونه آزمایشی در مقیاس واقعی ساخته شود تا روش، نفرات و تجهیزات لازم برای پرداخت اولیه، نهایی و عمل‌آوری زودهنگام بتن خودتراکم مشخص شود. انرژی جنبشی وارد شده به بتن خودتراکم در هنگام جای‌دهی در قالب نیز یکی از پارامترهای مهم در تعیین کارآیی مورد نیاز برای بتن خودتراکم می‌باشد.

بتن خودتراکم نباید تحت ویبره، ضربه و به طور کلی تراکم خارجی قرار گیرد، زیرا ممکن است منجر به بروز جداشدگی در این نوع بتن شود. در واقع، این نکته تفاوت اصلی میان بتن خودتراکم و بتن روان است. با وجودی که بتن خودتراکم در دال‌های گسترده به خوبی پخش می‌شود، اما اگر سطح آن به طور مناسبی (با وسایل مناسب این نوع بتن) پرداخت نشود، زبر خواهد بود. همچنین، برای رفع ترک‌خوردگی‌های ناشی از جمع‌شدگی اولیه، پرداخت دوباره و نهایی بتن در زمان مجاز، قبل از گیرش اولیه سیمان و در هنگامی که بر روی سطح بتن آب‌انداختگی وجود ندارد.، الزامی است (شکل پ.۲-۶).

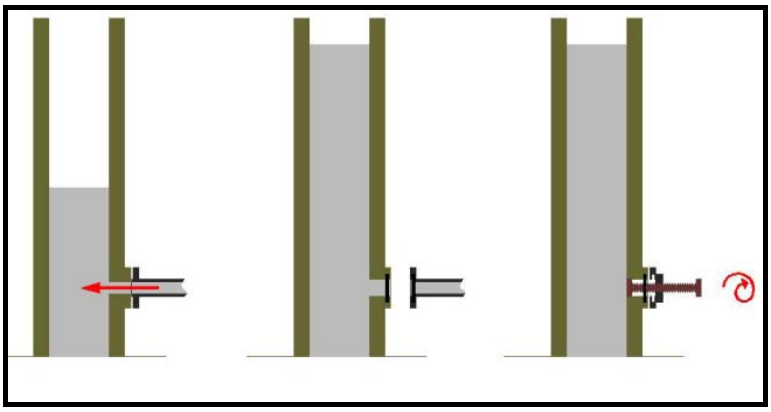
شکل پ.۲-۶- پرداخت سطح بتن خودتراکم

برای جلوگیری از جداشدگی استاتیکی و ته‌نشینی سنگدانه‌های درشت باید حداکثر ارتفاع بتن‌ریزی در یک مرحله محدود گردد. میزان آن با توجه به کارآیی بتن خودتراکم و همچنین نوع قطعه، ابعاد آن، تراکم آرماتورها و سرعت بتن‌ریزی در ارتفاع، توسط دستگاه نظارت تعیین می‌گردد. توصیه می‌شود این مقدار به ۳ متر محدود گردد، اما درصورتی‌که حداکثر ارتفاع بتن‌ریزی در یک مرحله بیش از ۵ متر در نظر گرفته شود، باید با ساخت یک قطعه آزمایشی نشان داده شود که پایداری استاتیکی بتن خودتراکم تامین می‌شود. همچنین باید آزمایش جداشدگی استاتیکی با استفاده از روش ستون نیز در کارگاه انجام شده و در صورت نیاز معیارهای سختگیرانه‌تری نیز برای آن در نظر گرفته شود.

در طراحی قالب‌ها برای بتن خودتراکم، در صورت عدم انجام آزمایش در مقیاس واقعی برای تعیین فشار جانبی بتن خودتراکم، برای بتن‌ریزی به روش معمول و از بالای قالب باید فشار هیدرواستاتیکی کامل بر روی قالب اعمال شود. قالب‌های بتن خودتراکم باید بر اساس معادله ۲-۱ موجود در استاندارد ACI 347 طراحی شوند. با توجه به اضافه فشار ناشی از بتن‌ریزی با سرعت زیاد در ارتفاع، که بیش‌تر در مورد ستون‌ها و دیوارها صادق است، باید پیش‌بینی لازم در طراحی قالب‌ها انجام پذیرد.

درزبندی این قالب‌ها نیز، به خصوص زمانی که بتن خودتراکم دارای لزجت کم می‌باشد، از اهمیت زیادی برخوردار است و باید به طور کامل انجام شود. بنابراین، حساسیت طراحی قالب بتن خودتراکم بیش از بتن‌های معمولی می‌باشد تا از به وجود آمدن کرموشدگی و نقص در سطح آن جلوگیری شود. شبکه آرماتوربندی سازه نیز باید به نحو مناسبی مهار شود تا بر اثر فشار وارده ناشی از بتن‌ریزی با بتن خودتراکم، پوشش آرماتورها و فواصل میان آن‌ها از محدوده مجاز خارج نشود.

برای بتن خودتراکم می‌توان از روش پمپاژ بتن از ناحیه تحتانی قالب نیز استفاده کرد. در این صورت فشار اعمال شده به قالب ستون‌ها و دیوارها حدود دو برابر فشار اعمال شده به قالب در صورت بتن‌ریزی به روش معمول و از بالای قالب می‌باشد (شکل پ.۲-۷).



شکل پ.۲-۷- بتن‌ریزی از قسمت پایین قالب‌های ستون و دیوار

پیوست ۳

شبکه زهکش در زیر مخزن

پ.۳-۱- کلیات

دراین بخش اجزای مختلف شبکه‌های زهکش، به عنوان یکی از متداول‌ترین روش‌های جمع‌آوری و هدایت زه‌آب به صورت نمونه ارائه می‌شود.

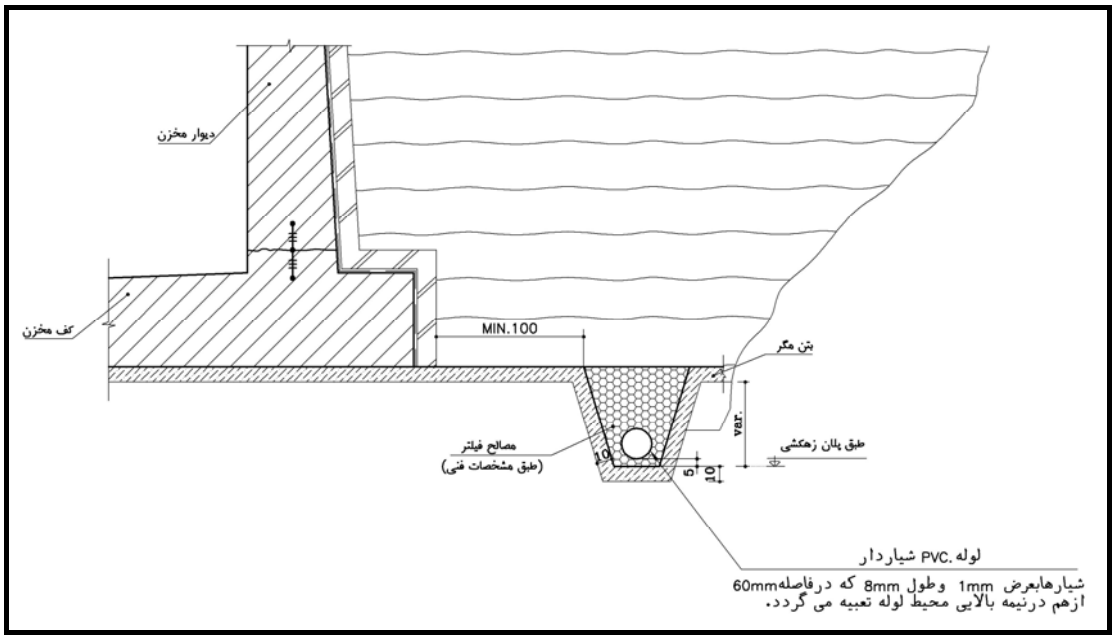
پ.۳-۲- هندسه شبکه زهکش

شبکه‌ی زهکش، متشکل از شاخه‌ی اصلی و شاخه‌های فرعی می‌باشد. شاخه‌ی اصلی شاخه‌ای پیرامونی است که در تمام محیط مخزن قرار می‌گیرد و وظیفه‌ی آن، علاوه بر جمع‌آوری و دفع نشت آب احتمالی شاخه‌های فرعی زیر درزها، زهکشی حایلی مخزن با قطع جریان‌های سطحی، نفوذی و زیرزمینی به سمت مخزن می‌باشد. در شکل (پ.۳-۱)، یک مقطع پیشنهادی برای شاخه‌ی پیرامونی نشان داده شده است. شاخه‌های فرعی، شبکه‌ای از کانال‌ها و یا لوله‌های زهکش، و یا ترکیب لوله و کانال واقع در زیر مخازن (در محل درزها) می‌باشند که با هندسه‌ی مشخصی، زه‌آب احتمالی را به سمت شاخه‌ی پیرامونی هدایت می‌نمایند. در شکل (پ.۳-۲)، مقطع پیشنهادی برای شاخه‌ی فرعی نشان داده شده است.

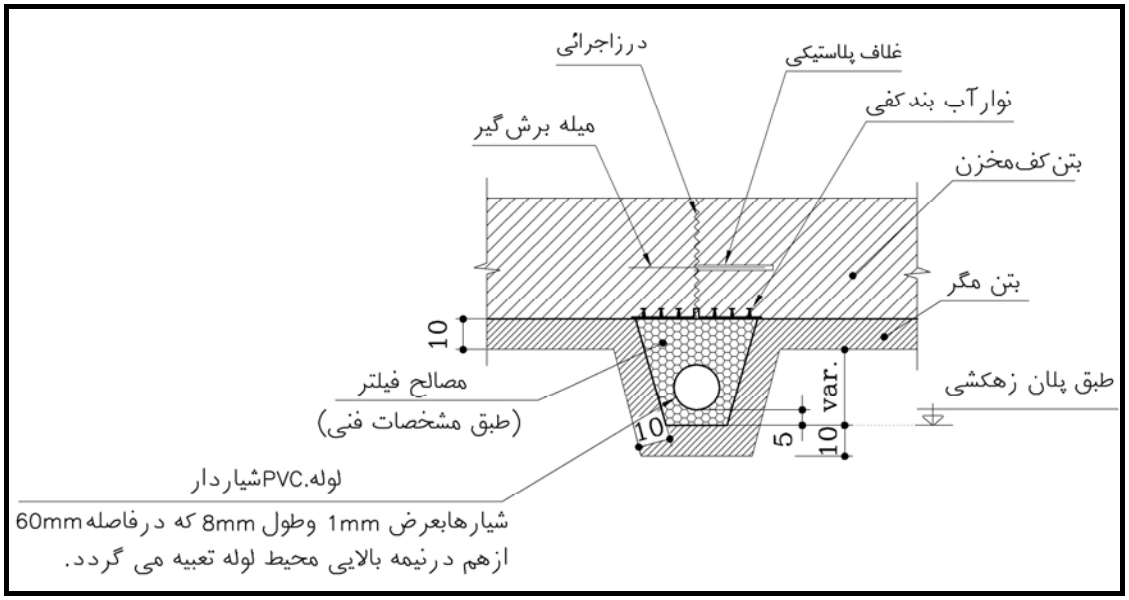
پ.۳-۳- انتخاب فواصل و قطر شبکه زهکش

درصورتی‌که کف مخزن زیر سطح آب زیرزمینی قرار گرفته و هدف از اجرای شبکه‌ی زهکش پایین آوردن سطح آب زیرزمینی باشد، قطر شاخه‌ی پیرامونی و همچنین قطر و فواصل شاخه‌های فرعی باید به کمک روابط نظری مربوط محاسبه شود. توصیه می‌گردد با توجه به احتمال عمل‌نکردن سیستم زهکش، برای مخازن آب شرب شهری، مساله غوطه‌وری با توجه به مواردی که قبلا توضیح داده شد، موردنظر قرار گیرد.

درصورتی‌که منطقه عاری از آب زیرزمینی بالا باشد، هدف از شبکه‌ی زهکش، دفع آب‌های سطحی و نفوذی و همچنین تخلیه‌ی آب‌های نشتی احتمالی از کف مخزن می‌باشد. در این حالت انجام محاسبات ویژه لازم نبوده و طراحی شبکه‌ی زهکش به صورت تجربی انجام می‌شود. در این حالت به منظور جلوگیری از بسته‌شدن مسیر زهکش، استفاده از یک شاخه‌ی پیرامونی با قطر داخلی حداقل ۲۰۰ میلی‌متر و تعدادی شاخه فرعی به قطر حداقل ۱۵۰ میلی‌متر توصیه می‌شود.



شکل پ.۳-۱- هندسه پیشنهادی برای زهکش پیرامونی (ابعاد به سانتی‌متر)



شکل پ.۳-۲- هندسه پیشنهادی برای شاخه‌های فرعی (ابعاد به سانتی‌متر)

پ.۳-۴- شیب لوله‌ها یا کانال‌های زهکش

از لحاظ تئوری، شیب یک در هزار برای هدایت ثقلی زه آب در داخل لوله‌های زهکش کافی است، لیکن به علت مسایل اجرایی، شیبی در حدود ۳ تا ۴ درهزار قابل‌توصیه است.

پ.۳-۵- مصالح پوششی اطراف لوله‌های زهکش (مصالح فیلتر)

نقش لایه‌ی پوششی در اطراف لوله‌های زهکش به شرح زیر است:

الف- از ورود ذرات ریز خاک مانند ماسه ریز و لای به داخل لوله‌های زهکشی جلوگیری می‌کند و موجب می‌شود خاک اطراف لوله‌های زهکشی در جای خود پایدار بماند؛

ب- مصالح پوششی به عنوان مجرایی برای انتقال زه‌آب به محل لوله‌های زهکشی عمل می‌کند؛ و

پ- لایه‌ی پوششی شرایط بستر برای لوله‌های زهکشی را بهبود می‌بخشد.

از مناسب‌ترین مصالح برای فیلتر، شن عاری از مواد گیاهی، رس و دیگر مواد زیان‌آور است که می‌توانند در طول زمان، نفوذپذیری آن را تغییر دهند.

معیار انتخاب دانه‌بندی مصالح فیلتر به ترتیب زیر است:

- برای جلوگیری از بسته شدن سوراخ‌های یک لوله‌ی سوراخ‌دار با مصالح فیلتر، باید شرط زیر حکم‌فرما باشد:

$$\frac{\text{مصالح فیلتر}\ ^{1}\ D_{85}}{\text{اندازه سوراخ‌ها}} > 1 \qquad (\text{پ.۳-۱})$$

- برای جلوگیری از حرکت دانه‌های خاک به داخل مصالح فیلتر باید شرایط زیر صادق باشد:

$$\frac{\text{مصالح فیلتر}\ D_{15}}{\text{خاک محافظت شده}\ D_{85}} \le 5 \qquad (\text{پ.۳-۲})$$

و همچنین

$$\frac{\text{مصالح فیلتر}\ D_{50}}{\text{خاک محافظت شده}\ D_{50}} \le 25 \qquad (\text{پ.۳-۳})$$

- برای آن‌که امکان جریان زه‌آب به داخل لوله وجود داشته باشد باید شرط زیر برقرار باشد:

$$\frac{\text{مصالح فیلتر}\ D_{15}}{\text{خاک محافظت شده}\ D_{15}} \ge 5 \qquad (\text{پ.۳-۴})$$

ضمن ریختن مصالح فیلتر در کانال‌ها، دانه‌های درشت تمایل به جداشدن از دانه‌های ریزتر را دارند. برای محدودساختن این پدیده، ضریب یکنواختی مصالح ($C_u = D60 / D10$) باید کوچک‌تر از ۲۰ باشد. به همین دلیل مصالح فیلتر نباید دانه‌بندی میان‌تهی داشته باشند. مصالح فیلتر باید همواره در حالت مرطوب ریخته شوند، وجود رطوبت موجب جلوگیری از به‌هم‌خوردن دانه‌بندی مصالح می‌شود.

۱- منظور از این اندازه، اندازه‌ای است که ۸۵٪ وزنی مصالح از این اندازه کوچک‌تر هستند.

پ.۳-۶- مجاری زهکش

۱- تنبوشه‌های سفالی: تنبوشه‌های سفالی، معمولا در قطعات ۳۰ تا ۵۰ سانتی‌متری ساخته می‌شوند. این قطعات توسط ماشین یا با دست و به دنبال هم در خندق کار گذارده شده و آب از محل اتصال لوله‌ها وارد تنبوشه می‌شود. تنبوشه‌های سفالی در برابر اسید و سولفات‌های خاک مقاوم بوده و در خاک از بین نمی‌روند.

۲- تنبوشه‌های بتنی: درصورتی‌که تنبوشه‌ی سفالی در دسترس نبوده و یا لوله‌هایی با قطر بزرگ‌تر (از ۳۰۰ تا ۴۰۰ میلی‌متر) مورد نیاز باشد، از تنبوشه‌های بتنی استفاده می‌شود. بزرگ‌ترین نقطه‌ضعف این تنبوشه‌ها، تاثیر احتمالی مخرب خاک روی آن‌ها ست که در این صورت باید از سیمان ضدسولفات برای ساختن آن‌ها استفاده نمود. در این لوله‌ها نیز آب از محل اتصال دو لوله وارد زهکش می‌شود. گاهی بدنه‌ی لوله‌ها دارای سوراخ‌هایی است که جریان آب را تسهیل می‌کند ولی ممکن است پس از چندی ذرات خاک این سوراخ‌ها را مسدود نماید.

۳- لوله‌های پلاستیکی: این لوله‌ها اغلب از PVC ساخته می‌شوند که در سرمای زیاد شکننده هستند. لوله‌های پلاستیکی به صورت صاف یا خرطومی به بازار عرضه می‌شوند. نوع خرطومی به علت تحمل بار بیش‌تر، شکل‌پذیری و امکان این‌که به صورت چنبره درآیند، برنوع صاف ترجیح داده می‌شود. هر چند، به‌علت وجود تضاریس خرطومی، مقاومت در برابر جریان، قابل‌توجه بوده و برای انتقال مقدار ثابتی از جریان، باید قطر این لوله‌ها ۲۰ درصد بیش از قطر لوله‌های صاف باشد.

۴- لوله‌های فلزی: در عملیات زهکشی از لوله‌های فلزی در موارد زیر استفاده می‌شود:

الف- به صورت آخرین قطعه در یک خط تنبوشه سفالی یا پلاستیکی

ب- در مواردی که سایر انواع تنبوشه قادر به تحمل فشار خاک نیستند.

ج- وقتی که عبور وسایل نقلیه‌ی سنگین از روی زهکش محتمل باشد.

د- برای نصب در قسمت‌هایی از خاک که شن روان وجود داشته و استفاده از یک لوله‌ی بلند و یکپارچه ضروری باشد.

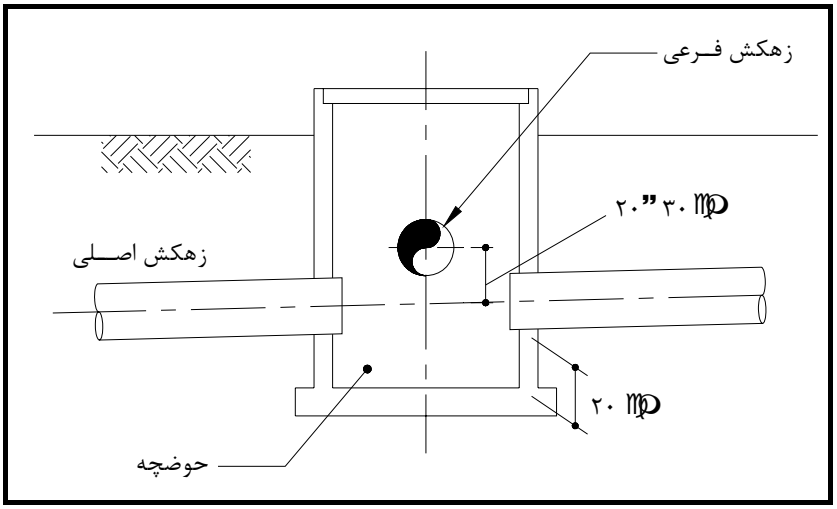
۵- کانال‌های بتنی: برای کانال‌های بتنی زهکش، اشکال متفاوتی را می‌توان در نظر گرفت. در شکل‌های ۱ و ۲ نمونه‌ای از این اشکال ارائه شده است.

پ.۳-۷- نگهداری سیستم زهکش

برای نگهداری و مراقبت از شبکه زهکشی طی دوره بهره‌برداری در مقابل رسوب املاح و گل‌ولای و سایر گرفتگی‌های احتمالی، استفاده از جت (لوله آب تحت‌فشار) برای شستشوی مواد ته‌نشین‌شده در لوله‌ها پیش‌بینی می‌شود.

پ.۳-۸- چاهک بازدید

به منظور بازرسی وضعیت نشت در بخش‌های مختلف مخزن و لوله‌های زهکشی، وجود یک یا چند چاهک بازدید در سیستم زهکش ضروری است. (شکل پ.۳-۳)



شکل پ.۳-۳- چاهک بازدید و اتصال زهکش فرعی به زهکش اصلی به آن [۳۲]

پیوست ۴

ملاحظات کیفی آب ذخیره‌شده

پ.۴-۱- کلیات

یکی از مشکلاتی که همواره در مخازن آب مطرح است، تغییر در کیفیت آب داخل مخازن است. این موضوع می‌تواند از جنبه‌های میکروبیولوژیکی، شیمیایی و فیزیکی مورد بحث و بررسی قرار گیرد.

از مهم‌ترین عوامل تغییر در کیفیت آب داخل مخزن، ماندگاری بیش ازحد آب یا ماندآب می‌باشد. طولانی‌بودن زمان نگهداری آب[1] که باعث به‌وجودآمدن ماندآب می‌شود، می‌تواند منجر به رشد و تکثیر میکروبی و تغییرات شیمیایی آب گردد.

پ.۴-۲- ماندآب و اثرات آن بر کیفیت آب

ماندآب می‌تواند به دو دلیل ایجاد گردد:

- کم بهره‌گیری[2] از آب مخزن (به این معنی که آب در تجهیزات و مخزن برای مدت طولانی استفاده نشود)؛ و
- چرخش ناکافی آب در مخزن (اختلاط ضعیف[3] که موجب لایه‌بندی[4] آب در مخزن می‌شود و می‌تواند افت کیفیت آب را با به‌وجود آوردن ناحیه‌هایی در مخزن که ماندآب در آن نواحی نسبت به بقیه‌ی نواحی مخزن بیش‌تر است، تشدید کند.)

در جدول (پ.۴-۱)، خلاصه‌ای از مشکلات کیفی در مخازن آب معرفی شده‌اند.

جدول پ.۴-۱- خلاصه‌ای از مشکلات کیفی آب در مخازن ذخیره [۱۰۵]

مشکلات شیمیایی	مشکلات بیولوژیکی	مشکلات فیزیکی
کاهش تاثیرات ضدعفونی‌کننده‌ها	افزایش رشد میکروب‌ها	خوردگی در مخزن و تجهیزات
افزایش آلاینده‌های شیمیایی	نیتروژن‌زایی	لایه‌بندی آب/ تغییر دمای آب
تشکیل DBP[5]ها	آلودگی‌های بیماری‌زا	رسوب
تغییر در بو و مزه‌ی آب	تغییر در بو و مزه‌ی آب	

در ادامه، آن دسته از مسایلی که در ارتباط مستقیم با سلامت بشر قرار دارند، به طور خلاصه مورد بررسی قرار می‌گیرد.

1- Long Detention Time
2- Under Utilization
3- Poor Mixing
4- Stratification
5- Disinfectant By-Product

پ.۴-۲-۱- محصولات جانبی گندزدایی (DBP)

اگرچه کلر و دیگر موادگندزدا در گندزدایی‌کردن آب آشامیدنی، سبب حذف بیماری‌های آب‌آورده همچون حصبه و وبا در کشورهای توسعه‌یافته شده است، اما تحقیقات اوایل دهه‌ی هفتاد میلادی نشان داد که این ضدعفونی‌کننده‌ها در فعل و انفعالات داخلی با مواد ارگانیک طبیعی[1] موجود در منابع آب، سبب تشکیل موادی می‌شوند که به محصولات جانبی گندزدایی (DBP) معروف هستند. این مواد بسیار خطرناک بوده و در طول سال‌ها، امکان مبتلاشدن به سرطان را در مصرف‌کننده‌ها افزایش می‌دهند.

فضای مخزن با فراهم کردن فرصتی برای افزایش زمان سکون هیدرولیکی، امکان تشکیل DBP ها را فراهم می‌کند. افزودن مجدد و مکرر کلر در مخزن، آب ذخیره‌شده را در معرض مقدار کلر بالاتری قرار داده که به صورت بالقوه افزایش امکان تشکیل DBP ها را دربر دارد. همچنین، بالارفتن دمای آب در مخازن فولادی و در طول فصل تابستان می‌تواند تشکیل DBP ها را افزایش دهد. مخازن با سطوح داخلی بتنی نیز اغلب pH آب را افزایش داده که می‌تواند تشکیل تری‌هالومتان‌ها[2] را بیش‌تر کند.

پ.۴-۲-۲- آلودگی‌های بیماری‌زا و رشد میکربی

آلودگی‌های میکروبی ناشی از پرندگان و حشرات، یکی از عمده‌ترین مشکلات در ارتباط با کیفیت آب در مخازن ذخیره‌ی آب است. بسیاری از این مشکلات بهداشتی، ناشی از کاستی‌های طراحی مرتبط با دریچه‌های سقف مخازن و منفذها می‌باشند که شرایط مناسب آب‌بندی را فراهم نمی‌کنند.

پ.۴-۲-۳- کاهش تاثیر ضدعفونی‌کننده‌ها

افت و کاهش ضدعفونی‌کننده‌های باقی‌مانده[3] در مخازن، لزوما به صورت مستقیم تهدیدی برای سلامت عمومی محسوب نمی‌گردد (بسیاری از سیستم‌های آب در سراسر دنیا در حال کار بدون استفاده از ضدعفونی کننده‌های باقی‌مانده هستند). لیکن، اضمحلال ضدعفونی‌کننده‌ها می‌تواند در بروز مشکلات میکروبیولوژی همانند رشد ارگانیسم‌ها در آب یا رسوب‌های کف مخزن مشارکت داشته باشد. نرخ اضمحلال ضدعفونی‌کننده‌ها تحت عوامل آلودگی خارجی، دما، نیتروژن‌زایی، نور ماورا بنفش و میزان و نوع کلر مصرفی (همچون آلی یا معدنی بودن آن)، متغیر می‌باشد. نگهداری طولانی مدت آب می‌تواند امکان کاهش و از بین رفتن کامل ضدعفونی‌کننده‌های باقی‌مانده را فراهم کند، که در نتیجه‌ی

1- Natural Organic Matter (NOM)
2- Trihalomethane
3- Disinfected Residual

آن حفظ سلامت آب از آلودگی‌های میکروبی که ممکن است در سیستم توزیع در پایین‌دست مخزن حضور داشته باشد را کاهش می‌دهد.

پ.۴-۲-۴- نیتروژن‌زایی

نیتروژن‌زایی در مخازن آب، به‌دلیل تشکیل نیتریت‌ها و نیترات‌ها، یکی از دغدغه‌های حائز اهمیت در زمینه سلامتی است. این پدیده ممکن است در مخزن به دلیل زمان سکون هیدرولیکی طولانی مدت[1] روی دهد.

پ.۴-۲-۵- آلودگی‌های شیمیایی

برای جلوگیری از خوردگی مخازن فولادی و تامین آب‌بندی در مخازن بتنی، می‌توان از مواد شیمیایی پوشش‌دهنده‌ی سطح استفاده نمود. این محصولات اگرچه عملکردی مناسب در آب‌بندی و مقابله با خوردگی از خود نشان می‌دهند، اما ممکن است باعث تولید مواد شیمیایی سمی در آب آشامیدنی در حد خطرناک و غیرقابل‌قبول گردند.

پوشش‌دهنده‌های پایه گریسی، بسته به نوع ترکیبات تشکیل‌دهنده‌ی آن‌ها اعم از مواد گیاهی یا آلی، نیز می‌توانند به عنوان منبع تغذیه‌ی خوب و مناسبی برای باکتری‌های موجود در آب عمل کرده و سبب کاهش کلر و ضدعفونی‌کننده‌های باقی‌مانده گردند. این پوشش‌دهنده‌ها همچنین می‌توانند مزه، طعم و بوی قابل‌اعتراضی را در پی داشته باشند از اینرو استفاده از این مواد در پوشش‌دهی مخازن مجاز نمی‌باشد.

استاندارد ANSI/NSF 61، یک استاندارد بین‌المللی پذیرفته شده در رابطه با تاثیرات سلامتی مواد در تماس با آب می‌باشد که مهندسین طراح می‌توانند در تعیین پوشش سطوح داخلی مخازن از آن بهره گیرند.

پ.۴-۳- جلوگیری از مانداب در مخازن آب شرب

شاخص‌های متعددی برای پیش‌بینی کاهش کیفیت آب در مخزن وجود دارد که می‌تواند با کنترل و پایش مخزن مشخص شده و یا حتی توسط مصرف‌کنندگان تشخیص داده شود.

شاخص‌هایی که می‌تواند توسط مصرف‌کننده تشخیص داده شود، شامل موارد زیر می‌باشد:

- طعم و بوی نامناسب؛
- انباشتگی رسوبات؛
- دمای آب

1- Long Hydraulic Residence Time

اهم شاخص‌های پایش که نیازمند جمع‌آوری و آنالیز نمونه‌ها و داده‌ها است، شامل موارد زیر می‌باشند:

- کاهش سطح ضدعفونی‌کننده‌های باقی‌مانده؛
- افزایش سطح DBP ها؛
- افزایش شمار باکتری‌ها؛
- افزایش سطح نیتریت و نیترات

پ.۴-۳-۱- بازرسی مخزن

بازرسی مخزن اطلاعات سودمندی را برای استفاده در تشخیص و ارزیابی مشکلات بالقوه و جاری کیفیت آب فراهم می‌کند. بازرسی داخلی و بازرسی خارجی مخازن برای اطمینان یافتن از ایمنی، بی‌نقصی و تغییر کیفیت آب به‌کار گرفته می‌شود. نوع بازرسی و تناوب آن تحت تاثیر فاکتورهای بسیاری که شامل نوع مخزن (برای مثال مخزن فلزی یا مخزن بتنی زمینی)، پتانسیل تخریب، عمر مخزن، شرایط، برنامه‌ی زمان‌بندی تمیزکاری مخزن یا تاریخچه‌ی تعمیرات و نگهداری، تاریخچه‌ی کیفیت آب، تامین بودجه و پرسنل است، می‌باشد.

پ.۴-۳-۲- فعالیت‌های تعمیرات و نگهداری

فعالیت‌های تعمیرات و نگهداری مخزن شامل: نظافت و تمیزکاری مخزن، رنگ‌آمیزی و پوشش‌دهی، تعمیرات اجزای مخزن برای حفظ و نگهداری تجهیزات در وضعیت کاری و بهره‌برداری مناسب می‌باشد.

نشریه‌ی شماره ۱۳۷ تحت عنوان «راهنمای بهره‌برداری و نگهداری از مخازن آب شهری» (بازنگری اول) دفتر مهندسی و معیارهای فنی آب و آبفا، دوره‌های زمانی و شرح عملیات بازرسی و تعمیر و نگهداری مخازن را ارائه نموده است.

پ.۴-۳-۳- فعالیت‌های عملیاتی

همان‌طور که اشاره شد، مقوله مانداب یکی از مهم‌ترین پارامترها در مدیریت کیفیت در مخازن آب است. از نظر عملیاتی، مانداب در مخازن به وسیله‌ی خالی و پرکردن‌های[1] دوره‌ای مخزن و نوسانات سطح آب در مخزن مدیریت می‌شود. محققانی مانند کارمی‌یر و همکاران، خالی و پرکردن مخزن را در بازه‌ی زمانی ۳ تا ۵ روز پیشنهاد کردند. واحد بهره‌برداری و مدیریت مخازن آب باید کیفیت آب ورودی به مخزن، شرایط محیطی، مدیریت تقاضا و همچنین مدیریت فاکتورهای مشخص مرتبط با طراحی مخزن و بهره‌برداری از آن، همچون سرعت جریان ورودی به مخزن و تغییرات

1- Turn Over

سطح بهره‌برداری و طراحی مخزن را همواره مدنظر داشته باشند. دستورالعمل‌های دردسترس برای نرخ خالی و پرکردن مخزن در دیگر کشورها در جدول (پ.۴-۲) ارائه شده است.

جدول پ.۴-۲- نمونه‌ی دستورالعمل نرخ خالی و پرکردن مخازن آب [۱۰۵]

مرجع	روش خالی و پرکردن پیشنهادی
بخش محافظت از منابع طبیعی ایالت جورجیای آمریکا	۵۰ درصد از حجم آب مخزن به صورت روزانه خالی و پر گردد، این مقدار می‌تواند تا ۳۰ درصد کاهش یابد.
بخش مهندسی تامین آب و سلامت ایالت ویرجینیای آمریکا	هر ۷۲ ساعت، کل آب مخزن تخلیه گردد و دوباره آب‌گیری شود.
آژانس حفاظت از محیط زیست اوهایو	توصیه برای خالی و پرکردن ۲۵ درصد از حجم آب به صورت روزانه (این مقدار در شرایط اضطراری می‌تواند تا ۲۰ درصد کاهش پیدا کند)
منابع مرتبط در کشور اسکاتلند	کاهش ۵۰ درصدی عمق آب در مخزن در ۲۴ ساعت و آبگیری مجدد
منابع مرتبط در کشور سوییس	حداکثر، دوره‌ی ۱ تا ۳ روزه برای خالی و پر کردن مخزن

فرآیند اختلاط در مخازن باید برای به حداقل رساندن مانداب کنترل شود. هنگامی که اختلاط در مخزن روی نمی‌دهد، ممکن است نواحی ساکن و راکد در داخل مخزن ایجاد گردد. بنابراین جریان مختلط[1]، نسبت به جریان یکنواخت[2] ارجحیت دارد. اختلاط یک سیال نیازمند منبعی از انرژی ورودی است و در مخزن، این انرژی می‌تواند توسط سرعت جریان آب ورودی تامین شود. این اختلاط را می‌توان با جت جریان آب ورودی در شرایط آشفته و متلاطم تقویت کرد. به محض این‌که آب وارد مخزن می‌گردد، با شکل‌گیری جت جریان، آب به درون جت کشیده‌شده و با به‌چرخش‌درآمدن آب، اختلاط ایجاد می‌گردد. به منظور اختلاط موثر و پربازده، جت جریان باید مغشوش و متلاطم بوده و به اندازه‌ی کافی بلند باشد تا امکان توسعه‌ی پروسه‌ی اختلاط را فراهم نماید. سیستم‌های اختلاط، به دو دسته‌ی سیستم‌های اختلاط غیرفعال[3] و سیستم‌های اختلاط فعال[4] تقسیم می‌شوند. به منظور اطمینان از ایجاد جت جریان مغشوش، رابطه‌ی زیر به‌ازای دمای آب، باید برای جریان ورودی Q (بر حسب لیتر بر ثانیه) و قطر دهانه‌ی ورودی جریان d (بر حسب متر) صادق باشد.

$$Q / d > 2.4 \text{ at } 20^{\circ}C$$

$$Q / d > 3.6 \text{ at } 5^{\circ}C$$

1- Mixed Flow
2- Plug Flow
3- Passive Mixing System
4- Active Mixing System

اختلاف دما بین جریان ورودی و آب داخل مخزن نیز می‌تواند سبب تشکیل لایه‌های مختلف با دماهای متفاوت شده و در نتیجه این لایه‌بندی موجب عدم اختلاط آب گردد. لایه‌بندی آب[1] در مخازن با ارتفاع زیاد، همچون برج‌های آب[2]، مخازن با قطر ورودی بزرگ، رایج‌تر و معمول‌تر است.

پ.۴-۳-۴- ملاحظات طراحی

تجربیات عملی بهره‌برداری از مخازن آب شرب و مدل‌سازی‌های کامپیوتری این مخازن به روشنی نشان می‌دهد که در بیش‌تر موارد، مانداب در گوشه‌های مخازن مستطیلی و یا تورفتگی‌های ناشی از دیواره‌های برشی داخل مخزن تشکیل می‌شود. از این رو، طراحی جزییات قالب‌بندی مخازن می‌تواند به‌نحوی‌که کم‌ترین گوشه را داشته باشد، انجام شود (مانند استفاده از مخازن دایروی یا گردکردن گوشه‌ها به گونه‌ای که جریان آب مخزن به تمامی گوشه‌ها برسد). همچنین چیدمان دیواره‌های برشی به صورتی که برای جریان یکنواخت و اختلاط آب در مخزن مزاحمت ایجاد ننمایند، می‌تواند در کاهش ایجاد مانداب موثر باشد.

تعداد، قطر و جانمایی لوله‌های خروجی، همچنین تعداد، قطر، زاویه‌ی ورود آب و جانمایی لوله‌های ورودی و یا ایجاد دیواره‌های هدایت آب در داخل مخزن، از مهم‌ترین ابزارهای موجود در دست طراح‌اند که به وسیله‌ی آن می‌تواند اختلاط آب در مخازن را به بیش‌ترین حد خود برساند. استفاده از چند لوله‌ی ورودی با زوایای مختلف که می‌توانند به صورت نامتقارن و با زوایای غیر قائمه به مخزن وارد شوند یا نزدیک‌نمودن محل لوله‌های خروجی به فضاهایی که احتمال بروز مانداب در آن‌ها بیش‌تر است، نیز می‌تواند توسط طراح در نظر گرفته شود.

سرعت ورود آب به داخل مخازن (که در تعیین قطر لوله‌های ورودی موثر است) یکی از پارامترهای مهمی است که باید تحت کنترل قرار گیرد. درصورتی‌که سرعت جریان آب ورودی زیاد باشد، جریان ورودی بر روی لایه‌های موجود در مخازن لغزیده و در کوتاه‌ترین مسیر ممکن خود را به لوله‌های خروجی می‌رساند. از این رو، بهینه‌سازی سرعت آب ورودی به مخازن بر اساس جانمایی لوله‌های ورودی و خروجی می‌تواند در کنترل ایجاد مانداب موثر باشد.

1- Stratification
2- Stand Pipe

پیوست ۵

ایجاد پوشش گیاهی بر روی خاکریز سقف و پیرامون مخازن

پ.۵-۱- کلیات

پوشش گیاهی به روی سقف مخازن آب اکیدا توصیه نمی‌گردد و برای ممانعت از رویش گیاهان باید از روش های غیرشیمیایی استفاده شود. لیکن، به هر علتی مانند تمهیدات پدافند غیرعامل ایجاد پوشش گیاهی بر روی سقف مخازن ضروری باشد، ضمن منظورنمودن حداکثر سرباری معادل ۵۰۰ میلی‌متر خاکریزی بر روی سقف مخزن در طرح سازه ای آن، باید تمهیدات ویژه این پیوست به‌طورکامل مدنظر قرار گرفته و بهره‌بردای نیز به‌گونه‌ای باشد که همواره از عدم نفوذ زه‌آب به مخزن، اطمینان حاصل شود.

جریان زه‌آب حاصل از آبیاری حاوی مواد آلی و معدنی می‌باشد که نشت آن به داخل مخزن سبب آلوده‌شدن آب موجود در آن می‌گردد. برای جلوگیری از نشت زه‌آب، معمولا ۵ تا ۷ لایه به روی مخزن ایجاد شده و گیاه بر روی آخرین لایه کاشته می‌شود. بیش‌تر این لایه‌ها از مواد پلیمری و با تکنولوژی خاصی تولید می گردند که مشخصات آن باید به تایید کارفرما برسد.

ترتیب قرارگرفتن لایه‌ها از پایین (محل تماس با سقف مخزن) به سمت بالا (محل کشت گیاه) می‌تواند مطابق شکل شماره (پ.۴-۱) و به قرار زیر باشد:

۱- عایق رطوبتی؛
۲- لایه‌ی محدودکننده‌ی عبور ریشه‌ها؛
۳- لایه‌ی زهکش؛
۴- لایه‌ی جذب‌کننده‌ی آب؛ و
۵- بسترکشت گیاه.

گیاهانی که برای ایجاد پوشش سبز استفاده می‌شوند، معمولا گیاهان علفی چندساله و خزه‌ها هستند و باید ریشه آن‌ها کم‌عمق و افشان باشند. استفاده از گونه‌هایی که در برابر کم‌آبی مقاوم هستند، ارجحیت دارند.

برای نمونه می‌توان به گل ناز، ترەفرنگی، بومادران اشاره نمود.

منابع و مراجع

۱- آیین‌نامه اجرایی قانون برنامه چهارم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی جمهوری اسلامی ایران، ۱۳۸۳.

۲- آزمایش بارگذاری صفحه‌ای روی خاک و سنگ نرم-کاربرد، روش و تفسیر، نشریه شماره ۲۳۱-الف دفتر استانداردها و معیارهای فنی شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۱۳۸۴.

۳- استاندارد ویژگی‌های سیمان‌های سرباره‌ای، استاندارد شماره ۳۵۱۷ موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۷۳.

۴- اسکندری، حمید، دانستنی‌های پدافند غیرعامل، نشر بوستان حمید، ۱۳۸۹.

۵- اندازه‌گیری جریان اسلامپ بتن خود تراکم -روش آزمون، استاندارد شماره ۱۱۲۷۰ موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۸۷.

۶- اندازه‌گیری قابلیت عبور بتن خود تراکم به وسیله دستگاه حلقه J-روش آزمون، استاندارد شماره ۱۱۲۷۱ موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۸۷.

۷- اندازه‌گیری میزان جداشدگی ایستایی بتن خود تراکم با استفاد از روش فنی ستون -روش آزمون، استاندارد شماره ۱۲۲۵۵ موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۸۸.

۸- آیین‌نامه بتن حجیم ایران (بخش الحاقی به آیین‌نامه بتن ایران «آبا»)، نشریه شماره ۳۴۴ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۸۵.

۹- آیین‌نامه پایایی بتن در محیط خلیج فارس و دریای عمان، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۸۴.

۱۰- آیین‌نامه طرح هندسی راه‌های ایران، نشریه شماره ۴۱۵، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری، ۱۳۹۱.

۱۱- مجموعه نقشه‌های تیپ اجرایی مخازن آب زمینی، نشریه شماره ۱۲۵، سازمان برنامه بودجه، ۱۳۷۲.

۱۲- آیین‌نامه بتن ایران (آبا)، نشریه شماره ۱۲۰ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۸۳.

۱۳- آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله-استاندارد ۲۸۰۰، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۹۲.

۱۴- بتن – مواد افزودنی شیمیایی – ویژگی‌ها، استاندارد شماره ۲۹۳۰ موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۸۳.

۱۵- پیوست شماره ۵ قانون پنجساله پنجم توسعه جمهوری اسلامی ایران، ۱۳۸۹.

۱۶- تصاویر قالب‌های بتن‌ریزی، گروه صنعتی بوذرجمهر، ۱۳۹۲

۱۷- حداقل بار وارده بر ساختمان‌ها و ابنیه فنی، استاندارد ۵۱۹ موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران ، ۱۳۷۵.

۱۸- دستورالعمل ساخت انواع حصار در تاسیسات صنعت آب و برق، بخشنامه وزارت نیرو.

۱۹- دوده سیلیس (میکروسیلیس) مورد استفاده در مخلوط های سیمانی – ویژگی‌ها، استاندارد شماره ۱۳۲۷۸ موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۸۹.

۲۰- دیوارهای سنگی، نشریه شماره ۹۰ سازمان برنامه و بودجه، ۱۳۶۲.

۲۱- راهنمای انتخاب نوع و موقعیت شیرآلات صنعت آب و بهره برداری از آنها، نشریه شماره ۵۲۹ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری، ۱۳۸۹.
۲۲- راهنمای بهره‌برداری و نگهداری از مخازن آب شهری (بازنگری اول)، نشریه شماره ۱۳۷ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری، ۱۳۹۱.
۲۳- راهنمای طراحی دیوارهای حائل، نشریه شماره ۳۰۸ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۸۴.
۲۴- روش ملی طرح مخلوط بتن، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۸۸.
۲۵- سنگدانه-سبکدانه برای بتن سازه ای-ویژگی‌ها، استاندارد شماره ۴۹۸۵ موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۹۰.
۲۶- سنگدانه‌های بتن –ویژگی‌ها، استاندارد شماره ۳۰۲ موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۸۱.
۲۷- سیاست های کلی ابلاغی توسط مقام معظم رهبری در بخش پدافند غیرعامل، پرتال مجمع تشخیص مصلحت نظام، ۱۳۸۹.
۲۸- سیمان پرتلند آهکی-ویژگی‌ها، استاندارد شماره ۴۲۲۰ موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۸۴.
۲۹- سیمان پرتلند پوزولانی-ویژگی‌ها، استاندارد شماره ۳۴۳۲ موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۸۰.
۳۰- سیمان پرتلند زیولیتی-ویژگیها، استاندارد شماره ۱۶۴۸۱ موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۹۲.
۳۱- ضوابط عمومی طراحی سازه‌های آبی بتنی، نشریه شماره ۳۱۲ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۸۴.
۳۲- ضوابط و معیارهای طرح و محاسبه مخازن آب زمینی، نشریه شماره ۱۲۳ سازمان برنامه و بودجه، ۱۳۷۴.
۳۳- عباس پور، جمشید، مقدمه‌ای بر اصول و مبانی اساسی پدافند غیرعامل، قرارگاه پدافند هوایی خاتم الانبیاء(ص)، ۱۳۸۳.
۳۴- مبحث بیست و یکم مقررات ملی ساختمان ایران (پدافند غیرعامل)، دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، ۱۳۸۹.
۳۵- مبحث ششم مقررات ملی ساختمان ایران (بارهای وارد بر ساختمان)، دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، ۱۳۸۵.
۳۶- مبحث نهم مقررات ملی ساختمان ایران (طرح و اجرای ساختمان‌های بتن آرمه)، دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، ۱۳۸۵.
۳۷- مجموعه مقالات پدافند غیرعامل، پرتال قرارگاه پدافند هوایی خاتم الانبیاء(ص).
۳۸- مشخصات فنی و عمومی راه ـ تجدیدنظر دوم ـ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری، ۱۳۹۲.
۳۹- مشخصات فنی عمومی مخازن آب زمینی، نشریه شماره ۱۲۴ سازمان برنامه و بودجه، ۱۳۷۲.
۴۰- نگرشی اجمالی بر مخازن بزرگ غیرتیپ، استاندارد شماره ۷۸-ن استانداردهای مهندسی آب کشور،۱۳۷۲.
۴۱- نوارهای آب‌بند از جنس پلیمرهای ترموپلاستیک برای استفاده در درزهای بتن درجا، قسمت ۱- ویژگی‌های ظاهری، استاندارد شماره ۱-۱۳۲۷۷ موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۸۹.
۴۲- ویژگی‌های پوزولان‌های طبیعی، استاندارد شماره ۳۴۳۳ موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۷۲.

۴۳- ویژگی‌های سیمان پرتلند (تجدید نظر سوم)، استاندارد شماره ۳۸۹ موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۷۸.

44- ACI 224.3R , Joints in Concrete Construction, American Concrete Institute, 2001.

45- ACI 305.3, Seismic Design of Liquid-Containing Concrete Structures and Commentary, American Concrete Institute, 2006.

46- ACI 318, Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary, American Concrete Institute, 2011.

47- ACI 347, Guide To Formwork For Concrete، American Concrete Institute, 2004.

48- ACI 347-04, Guide to Formwork for Concrete, American Concrete Institute, 2008.

49- ACI 350, Code Requirements for Environmental Engineering Concrete Structures and Commentary, American Concrete Institute, 2006.

50- ACI 350.1R-01, Tightness Testing Of Environmental Engineering Concrete Structures and Commentary, American Concrete Institute, 2001.

51- ACI 350.4R, Design Considerations for Environmental Engineering Concrete Structures, American Concrete Institute, 2004.

52- ACI 504R, Guide to Sealing Joints in Concrete Structures, American Concrete Institute, 2008.

53- Anchor, R.D., Arnold, E., Design of Liquid Retaining Concrete Structures, 1992.

54- ASHRAE 1999 HVAC Application Handbook, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 1999.

55- ASHRAE 2000 HVAC Systems and Equipment Handbook, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2000.

56- ASHRAE 2001 HVAC Fundamentals Handbook, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2001.

57- ASTM C1012M, Standard Test Method for Length Change of Hydraulic-Cement Mortars Exposed to a Sulfate Solution, American Society of Testing and Materials, 2004.

58- ASTM C1202, Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist, American Society of Testing and Materials, 2010.

59- ASTM C1218M, Standard Test Method for Water-Soluble Chloride in Mortar and Concrete, American Society of Testing and Materials, 1999.

60- ASTM C566, Standard Test Method For Total Evaporable Moisture Content Of Aggregate By Drying، American Society of Testing and Materials, 2004.

61- ASTM C618, Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete, American Society of Testing and Materials, 2005.

62- ASTM C666, Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing, American Society of Testing and Materials, 2008.

63- ASTM C70, Standard Test Method for Surface Moisture in Fine Aggregate AASHTO No.T142 R, American Society of Testing and Materials, 2006.

64- ASTM C845, Standard Specification for Expansive Hydraulic Cement, American Society of Testing and Materials, 2004.

65- ASTM C94, Standard Specification for Ready-Mixed Concrete، American Society of Testing and Materials, 2009.
66- ASTM D1056, Standard Specification for Flexible Cellular Material -Sponge or Expanded Rubber, American Society of Testing and Materials, 2007.
67- ASTM D1752, Standard Specification for Preformed Sponge Rubber Cork and Recycled PVC Expansion Joint Fillers for Concrete Paving and Structural Construction, American Society of Testing and Materials, 2008.
68- AWWA 1995c, Modeling, Analysis and Design of Water Distribution Systems, American Water Work Association, 1995.
69- AWWA C652-92 Disinfection of Water-Storage Facilities, American Water Work Association, 2002.
70- AWWA D110, Wire and Strand Wound Circular Prestressed Concrete Water Tank, American Water Work Association, 1995.
71- AWWA D115-06, Tendon-Prestressed Concrete Water Tanks, American Water Works Association, 2006.
72- AWWA D115-95, Circular Prestressed Concrete Water Tanks with Circumferential Tendons, American water work association, 1996.
73- AWWA M25, Flexible-Membrane Covers and Linings for Potable-Water Reservoirs, American Water Work Association, 2000.
74- AWWA M32, Distribution Network Analysis for Water Utilities, American Water Work Association, 1989.
75- AWWA M42, Steel Water-Storage Tanks, American Water Work Association, 1998.
76- BS 5337, Structural use of concrete for rataining aqueous liquids, British Standards Institution, 1976.
77- BS 8007, British Standard Code of Practice for Design of Concrete Structures for Retaining Aqueous Liquids, British Standards Institution, 1987.
78- BS EN 12390 Part8, Testing Hardened Concrete. Depth of Penetration of Water under Pressure, European Committee for Standardization, 2009.
79- BS EN 13101, Steps for underground man entry chambers. Requirements, marking, testing and evaluation of conformity, European Committee for Standardization, 2002.
80- BS EN 1992-3, Design of Concrete Structures - Part 3: Liquid retaining and containment structures, European Committee for Standardization, 2006.
81- CIRIA C660, Early-Age Thermal Crack Control in Concrete, P.B. Bamforth, CIRIA, 2007.
82- DIN 18197:2011-04, Abdichten von Fugen in Beton mit Fugenbandern, Deutsche Norm, 2011.
83- DIN 18541 Part 1, Thermoplastics Sealing Strips for Sealing Joints in In-situ Concrete-Concepts, Geometry and Dimentions, Deutsche Norm, 1992.
84- DIN 18541 Part 2, Thermoplastics Sealing Strips for Sealing Joints in In-situ Concrete-Requirements, Testing and Inspection, Deutsche Norm, 1992.
85- Fintel, M., Handbook of Concrete Engineering, Van Nostrand Reinhold Company, Second Edition, 1985.
86- Gergely, P., Lutz, L. A., "Maximum Crack Width in Reinforced Concrete Flexural Members," Causes, Mechanism, and Control of Cracking in Concrete, SP-20, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 1968, pp. 87-117.

87- Grayman et al., Water Quality Modeling of Distribution System Storage Facilities, American Water Works Association, 2000.

88- Guide to Water Supply Regulations, Abu Dhabi Regulations & Supervision Bureau, 2003.

89- Guideline for the physical security of water utilities, American Society of Civil Engineers, 2006.

90- Handbook of Air Conditioning System Design, American Society of Heating and Refrigerating and Air Conditioning Design (ASHRAE).

91- Kirmeyer et al., Maintaining Water Quality in Finished Water Storage Facilities, American Water Works Association, 1999.

92- Manning, G.P., Concrete Reservoirs and Tanks, Concrete Publication, 1972.

93- Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, American Society of Civil Engineers, 2010.

94- Munshi, J.A., Rectangular Concrete Tanks, Portland Cement Association, 1998.

95- Munshi, J.A., Circular Concrete Tanks Without Prestressing, Portland Cement Association, 1993.

96- Munshi, J.A., Design of Liquid Containing Concrete Structures for Earthquake Forces , Portland Cement Association, 2002.

97- NCHRP Report 611, Seismic Analysis and Design of Retaining Walls, Buried Structures, Slopes, and Embankments, American Association of State Highway, National Cooperative Highway Research Program, 2008.

98- Nourbakhsh, S.A., Jaumotte, B.A., Hirsch, C., Parizi, H.B., Turbopumps and Pumping Systems, Springer, 2008.

99- NSF/ANSI 61, Drinking Water System Components - Health Effects, NSF National Standard/ANSI National Standard, 2010

100- NZS 3106, Design of concrete structures for the storage of liquids, Cement and Concrete Association of New Zealand, Standards Association of New Zealand, 2009.

101- Recommended Standards for Water Works, Great Lakes- Upper Mississippi River Board of State and Provincial Public Health and Environmental Managers, Health Research Inc., Health Education Services Division, P.O.Box 7126, Albany, NY 12224, 2012

102- SA Water TG 106, Planning and Infrastructure, Above Ground Circular Concrete Tank, Manager Engineering, 2008.

103- Selected Earthquake Engineering Papers of George W. Housner, American Society of Civil Engineers, 1990.

104- Specification for Construction of Concrete Reservoirs, Standard Specifications and Drawings Specification for Construction of Concrete Reservoirs, Gold Coast, Australia, SS 11, 2004.

105- TM 5-809-10, Seismic Design Guidelines for Essential Buildings, US Department of the ARMY, Washington, D.C., 1986.

106- USEPA Finished Water Storage Facilities, U.S. Environmental Protection Agency, 2002.

107- Walski, T.M., Hydraulic Design of Water Distribution Storage Tanks, McGraw-Hill, 2000.

خواننده گرامی

امور نظام فنی و اجرایی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، با گذشت بیش از سی سال فعالیت تحقیقاتی و مطالعاتی خود، افزون بر پانصد عنوان نشریه تخصصی - فنی، در قالب آیین‌نامه، ضابطه، معیار، دستورالعمل، مشخصات فنی عمومی و مقاله، به‌صورت تالیف و ترجمه، تهیه و ابلاغ کرده است. ضابطه حاضر در راستای موارد یاد شده تهیه شده، تا در راه نیل به توسعه و گسترش علوم در کشور و بهبود فعالیت‌های عمرانی به کار برده شود. فهرست نشریات منتشر شده در سال‌های اخیر در سایت اینترنتی **nezamfanni.ir** قابل دستیابی می‌باشد.

Design and Analysis of Ground Concrete Water Reservoirs

(A revision on Standard No. 123) [ ]

Executive Body: Band-Ab Consulting Engineers

Chief Author: Abbas Yari Karourani

Authors & Contributors Committee :

Mohammadreza A. Leylabadi	Band-Ab Consulting Engineers	M.Sc. in Civil Engineering-Structures
Ali Pourfarzaneh	Band-Ab Consulting Engineers	M.Sc. in Mechanical Engineering-Fluids
Mehdi Pirayadi	Band-Ab Consulting Engineers	B.Sc. in Electrical Engineering-Power
Hooman Jalali	Band-Ab Consulting Engineers	B.Sc. in Mechanical Engineering-Fluids
Ali Hassankhani	Band-Ab Consulting Engineers	Ph.D. in Civil Engineering-Structures
Amirhossein Hamidirad	Band-Ab Consulting Engineers	M.Sc. in Civil Engineering-Structures
Ameneh Rastineh	Band-Ab Consulting Engineers	B.Sc. in Civil Engineering
Mohammad Shekarchizadeh	Construction Material Institute (CMI), University of Tehran	Ph.D. in Civil Engineering-Structures
Shapoor Tahouni	Amirkabir University of Techgnology	M.Sc. in Civil Engineering-Structures
Ali Enayatifar	Band-Ab Consulting Engineers	B.Sc. in Mechanical Engineering-Solids
Mojtaba Fazeli	Power & Water University of Technology (PWUT(	Ph.D. in Environmental Engineering
Payam Vosough	Band-Ab Consulting Engineers	M.Sc. in Civil Engineering-Structures
Abbas Yari Karourani	Band-Ab Consulting Engineers	B.Sc. in Civil Engineering

Supervisory Committee

Davoud Amini	National Water & Wastewater Engineering Company	M.Sc. in Civil Engineering-Structures
Abolghaseme TouTounchi	Iran-Ab Consulting Engineers	M.Sc. in Civil Engineering
Mina Zamani	Office of Deputy for Technical and Infrastructure Development Affairs	B.Sc. in Chemical Engineering
Hossein Mehrabali	Freelance Designer	M.Sc. in Industrial Engineering

Confirmation Committee:

Nematollah Elahipanah	National Water & Wastewater Engineering Company	M.Sc. in Civil Engineering-Hydrology
Abolghasem Toutounchi	Iran-Ab Consulting Engineers	M.Sc. in Civil Engineering
Alireza Tavallaee	Freelance Expert	M.Sc. in Civil Engineering

Abbas Hajhariri	Freelance Expert	M.Sc. in Industrial Managment
Hasan Sadeghpour	Tehran Mirab Co.	M.Sc. in Civil Engineering
Seyyed Abbas Sadeghian	Iran Water Resources Management Co.	B.Sc. in Civil Engineering – Operation of Dams & Irrigation structures
Elham Azizzadeh Araei	Office of Deputy for Technical and Infrastructure Development Affairs	M.Sc. in Microbiology
Seyyed Ahmad Alavi	Freelance Designer	B.Sc. in Mechanical Engineering-Energy Conversion
Mojtaba Fazeli	Power & Water University of Technology (PWUT)	Ph.D. in Environmental Engineering

This standard is a revised version of Standard No. 123 originally issued and published by Iran Management Planning and Organisation in 1999.

Steering Committee:

Alireza Toutounchi	Deputy of Technical Affairs Department
Farzaneh Agha Ramezanali	Head of Water & Agriculture Group, Technical Affairs Department
Seyyed Vahidedin Rezvani	Expert in Irrigation & Drainage Engineering, Technical Affairs Department

Abstract

Design, construction and maintenance of potable reservoirs are of great importance. Due to population growth, expanding municipal areas and improvements in people life quality, a great number of reservoirs are being built throughout the country every year to cope with water demands. Therefore, as an infrastructure, it is required to unify design and analysis of such reservoirs according to the latest local and international standards in order to keep their performance reliable .

This regulation is in accordance to the latest revision of Iranian Concrete Code and up-to-date international standards. It is also updated to ensure comply to current practice of construction methods and equipments in order to unify their design.

Islamic Republic of Iran
Management and Planning Organization

Design and Analysis of Ground Concrete Water Reservoirs

(A revision on Standard No. 123)

No .

Office of Deputy for Technical and
Infrastructure Development Affairs
Department of Technical Affairs

nezamfanni.ir

Ministry of Energy
Bureau of Technical, Engineering, Social and
Environmental standards of water and waste water

http://seso.moe.gov.ir

2015

این ضابطه

با عنوان «ضوابط و معیارهای طرح و محاسبه مخازن آب بتنی زمینی» به منظور انطباق طرح و محاسبه مخازن ذخیره آب آشامیدنی شهروندان بر اساس آخرین استانداردهای ملی و جهانی تدوین شده تا مورد استفاده شرکت‌های مهندسی مشاور، پیمانکاران، شرکت‌های آب و فاضلاب و نیز تمام مصرف‌کنندگان این سامانه‌های زیربنایی باشد.