جمهوری اسلامی ایران

معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس‌جمهور

دستورالعمل طراحی سازه‌های ساحلی

بخش سوم: مصالح

نشریه شماره ۶۳۲

وزارت راه و شهرسازی

سازمان بنادر و دریانوردی

معاونت توسعه و تجهیز بنادر

اداره کل مهندسی سواحل و بنادر

http://coastseng.pmo.ir

معاونت نظارت راهبردی

امور نظام فنی

nezamfanni.ir

۱۳۹۲

بسمه‌تعالی

معاون برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور

بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران	شماره:	۹۲/۲۷۲۹۵
	تاریخ:	۱۳۹۲/۰۴/۰۲

موضوع : دستورالعمل طراحی سازه‌های ساحلی

بخش سوم- مصالح

به استناد ماده (۲۳) قانون برنامه و بودجه و مواد (۶) و (۷) آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی- مصوب سال ۱۳۵۲ و در چارچوب نظام فنی و اجرایی کشور (موضوع تصویب‌نامه شماره ۴۲۳۳۹/ت۳۳۴۹۷هـ مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیأت محترم وزیران)، به پیوست نشریه شماره ۶۳۲ امور نظام فنی، با عنوان «**دستورالعمل طراحی سازه‌های ساحلی، بخش سوم– مصالح**» از نوع گروه دوم ابلاغ می‌شود تا از تاریخ ۱۳۹۲/۷/۱ به اجرا درآید.

یادآور می‌شود نشریات ابلاغی از نوع گروه دوم مطابق بند (۲) ماده (۷) آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی، مواردی هستند که بر حسب مورد و تشخیص عوامل مربوط در نظام فنی اجرایی مفاد آنها با توجه به کار مورد نظر و در حدود قابل قبولی که در آن نشریه‌ها تعیین شده ضمن تطبیق با شرایط کار، مورد استفاده قرار می‌گیرند.

امور نظام فنی این معاونت در مورد مفاد نشریه پیوست، دریافت کننده نظرات و پیشنهادات اصلاحی مربوط بوده و عهده‌دار اعلام اصلاحات لازم به طور ادواری خواهد بود.

بهروز مرادی

ش ش: ۳۰۷۱۶

اصلاح مدارک فنی

خواننده گرامی

امور نظام فنی معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور و سازمان بنادر و دریانوردی، با استفاده از نظر کارشناسان برجسته مبادرت به تهیه این نشریه کرده و آن را برای استفاده به جامعه مهندسی کشور عرضه نموده‌اند. با وجود تلاش فراوان، این اثر مصون از ایرادهایی نظیر غلط‌های مفهومی، فنی، ابهام، ایهام و اشکالات موضوعی نیست.

از این‌رو، ***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 مربوطه نظرهای دریافتی را به دقت مطالعه نموده و اقدام مقتضی را معمول خواهند داشت. پیشاپیش از همکاری و دقت‌نظر جنابعالی قدردانی می‌شود.

نشانی برای مکاتبه:

۱- امور نظام فنی:

تهران، میدان بهارستان، خیابان صفی‌علی‌شاه، مرکز تلفن ۳۳۲۷۱، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، امور نظام فنی.

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

۲- سازمان بنادر و دریانوردی-معاونت توسعه و تجهیز بنادر- اداره کل مهندسی سواحل و بنادر:

تهران، میدان ونک، بزرگراه شهید حقانی، بعد از چهارراه جهان کودک، خیابان دکتر جعفر شهیدی، ساختمان سازمان بنادر و دریانوردی، طبقه ششم، اداره کل مهندسی سواحل و بنادر.

Email: cped@pmo.ir **web: coastseng.pmo.ir**

پیشگفتار

استفاده از ضوابط و معیارهای فنی در مراحل امکان‌سنجی، مطالعات پایه، مطالعات تفصیلی، طراحی و اجرای طرح‌های تملک سرمایه‌ای به لحاظ توجیه فنی اقتصادی طرح‌ها، ارتقای کیفیت، تامین پایایی و عمر مفید از اهمیت ویژه برخوردار است. نظام فنی و اجرایی طرح‌های تملک دارایی سرمایه‌ای کشور، موضوع تصویب نامه شماره ۴۲۳۳۹/ت۳۳۴۹۷هـ مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیأت محترم وزیران و آیین‌نامه استانداردهای اجرایی موضوع ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه ناظر بر به‌کارگیری معیارها، استانداردها و ضوابط فنی در مراحل مختلف طرح‌ها می‌باشند.

بنابر مفاد ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه، معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی موظف به تهیه و ابلاغ ضوابط، مشخصات فنی، آیین‌نامه‌های فنی و معیارهای مورد نیاز طرح‌های عمرانی کشور است، لیکن با توجه به تنوع و گستردگی طرح‌های عمرانی و افزایش ظرفیت تخصصی دستگاه‌های اجرایی طی سالیان اخیر در تهیه و تدوین این‌گونه مدارک فنی از توانمندی دستگاه‌های اجرایی نیز استفاده شده است. بر این اساس و با اعلام لزوم بازنگری نشریه شماره ۳۰۰ با عنوان «آیین‌نامه طراحی بنادر و سازه‌های دریایی ایران» و آمادگی سازمان بنادر و دریانوردی به‌عنوان دستگاه اجرایی مربوط، کار تدوین مجدد دستورالعملی برای طراحی سازه‌های ساحلی با مدیریت و راهبری سازمان بنادر و دریانوردی به انجام رسید.

سازمان بنادر و دریانوردی در راستای وظایف قانونی و حاکمیتی خود در سواحل، بنادر و آبراه‌های تحت حاکمیت کشور مبنی بر ساخت و توسعه و تجهیز بنادر کشور و نیز صدور هرگونه مجوز ساخت‌وساز دریایی و به پشتوانه مطالعات و تحقیقات صورت پذیرفته در بخش مهندسی سواحل و بنادر ازجمله مطالعات پایش و شبیه‌سازی سواحل کشور، شبکه اندازه‌گیری مشخصه‌های دریایی و طرح مدیریت یکپارچه مناطق ساحلی کشور (ICZM) و به منظور ایجاد زمینه‌های لازم برای طراحی و احداث سازه‌ها و تاسیسات دریایی مطمئن و با دوام در سطح کشور لازم دید تا نشریه ویژه طراحی سازه‌های ساحلی تدوین شود و در این کار مدیریت تهیه و تدوین را به‌عهده گرفت.

آن سازمان کار تدوین دستورالعمل طراحی سازه‌های ساحلی را با همکاری پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران به انجام رساند و با تشکیل کمیته‌هایی از دیگر کارشناسان و مهندسان مشاور، مراحل نظرخواهی ادواری و اصلاحات آن صورت پذیرفت. امور نظام فنی- معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی نیز به لحاظ ساختاری در تنظیم و تدوین متن نهایی اقدام نمود.

دستورالعمل طراحی سازه‌های ساحلی به منظور ایجاد هماهنگی و یکنواختی در معیارهای طراحی، ساخت، نظارت و اجرای سازه‌های ساحلی و پروژه‌های موضوع آن دستورالعمل، و همچنین رعایت اصول، روش‌ها و فناوری‌های متناسب با تجهیزات کاربردی و سازگار با شرایط و مقتضیات کشور تهیه و تدوین گردیده و سعی شده است علاوه بر استفاده از بازخوردهای دریافتی نشریات شماره ۳۰۰، دستورالعمل‌ها و متون فنی ارائه شده با ویرایش‌های جدید استانداردها و سایر آیین‌نامه‌های ملی نیز هماهنگ شود و در مواردی که ضوابط و معیارهای ملی نظیر موجود نبوده از استانداردهای معتبر

بین‌المللی استفاده گردد. همچنین سعی شده نشریه به‌گونه‌ای تدوین شود که باتوجه به محدودیت دسترسی به متون استانداردها و آیین‌نامه‌ها و به منظور بسط و توسعه فرهنگ دانش فنی و انتقال آن به عوامل طراحی و اجرایی پروژه‌ها، محتوای دستورالعمل‌ها و ضوابط فنی لازم‌الاجرا تا حد امکان در اختیار استفاده‌کنندگان قرار گیرد.

امروزه حدود ۹۰ درصد مبادلات تجارت جهانی از طریق دریاها و کشتیرانی انجام می‌گردد و نقش و اهمیت بنادر به عنوان حمل‌ونقل دریایی در پاسخ‌گویی به این حجم عظیم اعم از کالا و مسافر بیش از پیش نمایان می‌شود. در کشورهای همجوار با دریا، سواحل به‌عنوان کانون فعالیت‌های اقتصادی اعم از تجارت، صنعت و حمل‌ونقل کالا و مسافر، تفریحی، گردشگری و شیلات و پرورش آبزیان محسوب گردیده و در همه حال فرصت‌های ایده‌آلی را برای توسعه اقتصادی و سرمایه‌گذاری‌های کلان فراهم می‌سازد. وجود قریب به ۵۸۰۰ کیلومتر طول سواحل کشور سبب شده است تا طی دهه‌های اخیر سرمایه‌گذاری‌های قابل توجهی در جهت ساخت و توسعه سازه‌ها و تاسیسات ساحلی و دریایی صورت پذیرد و فاصله پیشرفت‌های قابل توجه در علمی و فنی و اجرائی در زمینه طراحی و ساخت بنادر، احداث سازه‌های ساحلی نظیر موج‌شکن، اسکله، ابنیه حفاظتی و تجهیزات دریایی و بندری و سایر تاسیسات ساحلی و فراساحلی، به نحوی که متضمن تردد ایمن شناورها باشد، حاصل گردد. رفع مشکلات فنی و اجرایی احداث انواع سازه‌های ساحلی و فراساحلی در محیط دریا و صرف هزینه‌های هنگفت اینگونه سازه‌ها و تاسیسات مهندسی اهتمام ویژه به طراحی مهندسی صحیح و مناسب بر طبق ضوابط، استانداردها و معیارهای طراحی بیش از پیش ضروری می‌سازد.

دستورالعمل طراحی سازه‌های ساحلی مشتمل بر ۱۱ بخش به شرح زیر است که هر یک موضوع نشریه‌ای مستقل می‌باشد و نشریه حاضر با شماره ۶۳۲ بخش سوم از آیین‌نامه سازه‌های ساحلی را شامل می‌شود. همچنین مستندات مربوط به تدوین دستورالعمل موضوع نشریه شماره ۶۴۱ می‌باشد.

بخش اول: ملاحظات کلی، موضوع نشریه شماره ۶۳۰

بخش دوم: شرایط طراحی، موضوع نشریه شماره ۶۳۱

بخش سوم: مصالح، موضوع نشریه شماره ۶۳۲

بخش چهارم: قطعات بتنی پیش ساخته، موضوع نشریه شماره ۶۳۳

بخش پنجم: پی‌ها، موضوع نشریه شماره ۶۳۴

بخش ششم: کانال‌های ناوبری و حوضچه‌ها، موضوع نشریه شماره ۶۳۵

بخش هفتم: تجهیزات محافظت بنادر، موضوع نشریه شماره ۶۳۶

بخش هشتم: تاسیسات پهلوگیری (مهار)، موضوع نشریه شماره ۶۳۷

بخش نهم: سایر تجهیزات بندر، موضوع نشریه شماره ۶۳۸

بخش دهم: اسکله‌های ویژه، موضوع نشریه شماره ۶۳۹

بخش یازدهم: اسکله های تفریحی، موضوع نشریه شماره ۶۴۰

مستندات تدوین دستورالعمل طراحی سازه‌های ساحلی، نشریه شماره ۶۴۱

این دستورالعمل مرهون تلاش و زحمات عده کثیری از متخصصین، کارشناسان، صاحب‌نظران و نمایندگان دستگاه‌های اجرایی بوده و نقطه عطفی در تهیه مراجع طراحی سازه‌های ساحلی به شمار می‌رود. اما باید اذعان داشت که برای رسیدن به آیین‌نامه مطلوب‌تر با توجه به شرایط محیطی و منطقه‌ای و با توجه به حجم عظیم سرمایه‌گذاری‌ها و انجام پروژه‌های متنوع، انجام مطالعات و تحقیقات گسترده‌تری در این حوزه و ایجاد سازوکار مناسبی برای بازنگری، به‌روز رسانی و توسعه این دستورالعمل ضروری است.

تمامی عوامل اجرایی که در تدوین آیین‌نامه حاضر مشارکت داشتند شایسته تقدیر و تشکر می‌باشند. آقای دکتر خسرو برگی- مجری طرح از دانشگاه تهران، آقای مهندس سید عطاالله صدر- معاون وزیر و مدیر عامل، آقای مهندس رمضان عرب سالاری- سرپرست وقت معاونت فنی و مهندسی، آقای مهندس علیرضا کبریایی- معاون توسعه و تجهیز بنادر، آقای مهندس محمدرضا الهیار- مدیرکل مهندسی سواحل و بنادر همگی از سازمان بنادر و دریانوردی، آقای مهندس غلامحسین حمزه مصطفوی- رییس امور نظام فنی، اساتید دانشگاه‌ها، متخصصین و کارشناسان شرکت‌های مهندسین مشاور و پیمانکاران که بنحوی در تهیه، تکمیل و ارائه نظرات تخصصی و کارشناسی نقش موثر داشته‌اند. به این وسیله مراتب تشکر خود را از همگی این عزیزان ابراز می‌نمایم.

امید است تلاش صورت گرفته در ایجاد این اثر با ارزش به‌عنوان گامی موثر در راستای توسعه پایدار و اعتلای علمی و فناوری کشور مورد استفاده کلیه متخصصین، مهندسین مشاور، پیمانکاران و سازندگان قرار بگیرد.

معاون نظارت راهبردی

تابستان ۱۳۹۲

تهیه و کنترل دستورالعمل طراحی سازه‌های ساحلی، بخش سوم- مصالح [نشریه شماره ۶۳۲]

مجری و مسئول تهیه متن:

خسرو برگی	دکترای مهندسی عمران	دانشگاه تهران

گروه تهیه کننده:

سید عطاءاله صدر	کارشناس مهندسی عمران	سازمان بنادر و دریانوردی
خسرو برگی	دکترای مهندسی عمران	دانشگاه تهران
علی اکبر رمضانیانپور	دکترای مهندسی عمران	دانشگاه صنعتی امیرکبیر
علیرضا کبریایی	کارشناس ارشد مهندسی عمران	سازمان بنادر و دریانوردی
بهروز گتمیری	دکترای مهندسی عمران	دانشگاه تهران
مجید جندقی علایی	دکترای مهندسی عمران	مهندسان مشاور
محمدرضا الهیار	کارشناس ارشد مهندسی عمران	سازمان بنادر و دریانوردی
سید رسول میرقادری	دکترای مهندسی عمران	دانشگاه تهران
محسن سلطانپور	دکترای مهندسی عمران	دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
رضا کمالیان	دکترای مهندسی عمران	موسسه تحقیقات آب- وزارت نیرو

بررسی و اظهارنظر کنندگان:

علی طاهری مطلق	دکترای مهندسی عمران	شرکت تاسیسات دریایی ایران
بابک بنی‌جمالی	دکترای مهندسی عمران	مهندسان مشاور
بهروز عسگریان	دکترای مهندسی عمران	مهندسان مشاور
میراحمد لشته نشایی	دکترای مهندسی عمران	دانشگاه گیلان
عرفان علوی	دکترای مهندسی عمران	مهندسان مشاور
مرتضی بیک‌لریان	دکترای مهندسی عمران	
شاهین مقصودی زند	کارشناس ارشد مهندسی عمران	مهندسان مشاور

تنظیم و آماده‌سازی:

رضا سهرابی قمی	کارشناس ارشد فیزیک دریا	سازمان بنادر و دریانوردی
بهرنگ نیرومند	کارشناس ارشد مهندسی عمران	سازمان بنادر و دریانوردی
سمیه شوقیان	کارشناس مترجمی زبان	سازمان بنادر و دریانوردی
مانی مقدم	کارشناس ارشد مهندسی عمران	سازمان بنادر و دریانوردی

هماهنگی ابلاغ:

علیرضا توتونچی	معاون امور نظام فنی
حمیدرضا خاشعی	کارشناس مسئول پروژه در امور نظام فنی

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول- کلیات

۱-۱- انتخاب مصالح ۵

۱-۲- ایمنی اعضای سازه‌ای ۵

فصل دوم- فولاد

۲-۱- مصالح ۹

۲-۲- ضرایب ثابت مصالح فولادی در محاسبات طراحی ۹

۲-۳- تنش‌های مجاز ۹

۲-۳-۱- کلیات ۹

۲-۳-۲- فولاد سازه‌ای ۹

۲-۳-۳- شمع فولادی و سپر لوله فولادی ۱۰

۲-۳-۴- سپر فولادی ۱۱

۲-۳-۵- فولاد ریخته‌گری و فولاد آهنگری شده ۱۱

۲-۳-۶- تنش‌های مجاز برای فولاد در نواحی جوش شده و اتصالات ۱۱

۲-۳-۷- افزایش تنش‌های مجاز ۱۳

۲-۴- کنترل خوردگی ۱۳

۲-۴-۱- کلیات ۱۳

۲-۴-۲- نرخ خوردگی مصالح فولادی ۱۴

۲-۴-۳- روش‌های کنترل خوردگی ۱۵

۲-۴-۴- روش حفاظت کاتدی ۱۶

۲-۴-۵- روش روکش کردن ۱۹

فصل سوم- بتن

۳-۱- کلیات ۲۳

۳-۲- اصول طراحی بر اساس روش طراحی حالت حدی ۲۳

۳-۳- اجزا بتن ۲۵

۳-۳-۱- سیمان ۲۵

۳-۳-۲- سنگدانه ۲۶
۳-۳-۳- آب ۲۸
۳-۳-۴- افزودنی‌های بتن ۲۹
۳-۳-۵- الیاف ۳۴
۳-۴- طرح مخلوط بتن و نسبت‌ها و مقادیر اجزای آن ۳۵
۳-۴-۱- کلیات ۳۵
۳-۴-۲- مقاومت فشاری متوسط لازم (مقاومت هدف) برای طرح مخلوط بتن ۳۵
۳-۴-۳- ضوابط تامین دوام بتن ۳۸
۳-۴-۴- ضوابط مقاومت مشخصه ۳۸
۳-۴-۵- ضوابط دوام مشخصه ۳۸
۳-۴-۶- دوام هدف طرح مخلوط بتن ۳۸
۳-۴-۷- کارایی و سایر خواسته‌ها ۳۸
۳-۵- ضوابط عملکردی بتن در سازه‌های دریایی ۳۹
۳-۵-۱- ضوابط نمونه‌برداری و تواتر آن ۳۹
۳-۵-۲- ارزیابی مقاومت فشاری و انطباق آن با رده مورد نظر ۴۰
۳-۵-۳- ارزیابی کارایی و انطباق آن با خواسته مورد نظر ۴۰
۳-۵-۴- ارزیابی دوام بتن و انطباق آن بر دوام مشخصه ۴۱
۳-۵-۵- ضوابط دوام مشخصه بتن در سازه‌های دریایی ۴۱
۳-۵-۶- یون کلرید و سولفات مجاز در بتن به هنگام ساخت سازه‌های دریایی ۴۳
۳-۶- ساخت و اجرای بتن ۴۴
۳-۶-۱- انبار کردن اجزای بتن ۴۴
۳-۶-۲- توزین و پیمانه کردن اجزای بتن ۴۶
۳-۶-۳- اختلاط بتن ۴۶
۳-۶-۴- حمل و ریختن و جای‌دهی بتن ۴۶
۳-۶-۵- تراکم بتن ۴۷
۳-۶-۶- پرداخت سطح بتن ۴۸
۳-۶-۷- عمل‌آوری بتن ۴۸

فصل چهارم- مصالح قیری

۴-۱- کلیات ۵۳
۴-۲- کرباس‌های آسفالتی ۵۳
۴-۲-۱- کلیات ۵۳
۴-۲-۲- مصالح ۵۴
۴-۲-۳- نسبت اختلاط ۵۴
۴-۳- مصالح روسازی ۵۵
۴-۴- ماسه با بتونه قیری ۵۶
۴-۴-۱- کلیات ۵۶
۴-۴-۲- مصالح ۵۶
۴-۴-۳- نسبت اختلاط ۵۶

فصل پنجم- سنگ

۵-۱- کلیات ۶۱
۵-۲- قلوه سنگ برای پی ۶۱
۵-۳- مصالح خاکریز ۶۲
۵-۴- مصالح لایه اساس روسازی ۶۲

فصل ششم- چوب

۶-۱- کیفیت چوب ۶۷
۶-۱-۱- چوب سازه‌ای ۶۷
۶-۱-۲- شمع‌های چوبی ۶۷
۶-۲- تنش‌های مجاز چوب ۶۷
۶-۲-۱- کلیات ۶۷
۶-۳- کیفیت تخته چندلا ۶۷
۶-۳-۱- تنش مجاز تخته چندلا ۶۷
۶-۴- اتصال چوب ۶۷
۶-۵- نگهداری چوب ۶۸

فصل هفتم- سایر مصالح

۷-۱- فلزات غیر فولادی ۷۱

۷-۲- پلاستیک و لاستیک ۷۱

۷-۳- مصالح روکش ۷۴

۷-۴- مواد تزریقی ۷۵

۷-۴-۱- کلیات ۷۵

۷-۴-۲- ویژگی‌های مواد تزریقی ۷۵

فصل هشتم- منابع تجدیدپذیر

۸-۱- کلیات ۷۹

۸-۲- سرباره ۷۹

۸-۳- بتن خرد شده ۸۰

مراجع ۸۳

چکیده انگلیسی .....

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۳-۱- توزیع نرخ خوردگی مصالح فولادی ۱۳
شکل ۳-۲- نمونه‌ای از ساختار کرباس آسفالتی افزایش دهنده اصطکاک ۵۳
شکل ۳-۳- محدوده‌های تراوش مواد تزریقی برای خاک..... ۷۶

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۳-۱- ضرایب ثابت مصالح فولادی ۹
جدول ۳-۲- تنش‌های مجاز برای فولاد سازه‌ای ۱۰
جدول۳-۳- تنش‌های مجاز برای شمع فولادی و سپر لوله فولادی ۱۰
جدول ۳-۴- تنش‌های مجاز برای سپرهای فولادی ۱۱
جدول ۳-۵- تنش‌های مجاز برای فولاد نواحی جوش‌شده ۱۲
جدول ۳-۶- تنش‌های مجاز برای میل مهار و خار ۱۲
جدول ۳-۷- تنش‌های مجاز برای پیچ‌های تمام کاری شده (N/mm^2) ۱۲
جدول ۳-۸- نرخ افزایش تنش‌های مجاز ۱۳
جدول ۳-۹- مقادیر معمول برای نرخ خوردگی مصالح فولادی ۱۵
جدول ۳-۱۰- نسبت کنترل خوردگی روش حفاظت کاتدی ۱۶
جدول ۳-۱۱- مقایسه مشخصات مصالح آند گالوانی ۱۷
جدول ۳-۱۲- چگالی جریان حفاظتی در شروع حفاظت کاتدی (mA/m^2) ۱۸
جدول ۳-۱۳- حداکثر مقادیر مجاز مواد زیان آور در آب مصرفی برای ساخت و عمل‌آوری ۲۹
جدول ۳-۱۴- محدودیت‌های نسبت‌ها و مقادیر اجزای بتن سازه‌های دریایی ۳۶
جدول ۳-۱۵- ضوابط دوام مشخصه بتن در سازه‌های دریایی ۴۲
جدول۳-۱۶- حداکثر مجاز یون کلرید اولیه بتن ۴۳
جدول ۳-۱۷- حداکثر مجاز یون سولفات اولیه (SO_3) موجود در بتن در ساخت سازه‌های دریایی ۴۴
جدول ۳-۱۸- حداقل مدت عمل‌آوری رطوبتی ۵۰
جدول ۳-۱۹- نسبت اختلاط معمول برای آسفالت ۵۵
جدول ۳-۲۰- نسبت مخلوط معمول برای ماسه با بتونه قیری ۵۷
جدول ۳-۲۱- ویژگی‌های فیزیکی سنگ‌ها ۶۱
جدول ۳-۲۲- مقادیر طراحی برای مصالح خاکریز ۶۲
جدول ۳-۲۳- استانداردهای حداقل صفحات فیلتر (بافته نشده) ۷۳
جدول ۳-۲۴- استانداردها برای صفحات فیلتر (بافته شده) ۷۳
جدول ۳-۲۵- استانداردهای صفحات آب‌بند (وینیل کلراید نرم) ۷۳
جدول ۳-۲۶- استانداردهای صفحات آب‌بند (لاستیکی) ۷۳
جدول ۳-۲۷- کیفیت لاستیک بازیافتی ۷۴

جدول ۳-۲۸- کیفیت لاستیک نو ۷۴
جدول ۳-۲۹- مشخصات گروه‌های رنگ ۷۵

بخش ۳

مصالح

فصل ۱

کلیات

۱-۱- انتخاب مصالح

مصالحی که قرار است در اجرای سازه و پی استفاده گردد باید با توجه به نیروهای خارجی وارده، افت کیفیت مصالح با زمان، عمر طراحی سازه، شکل سازه، کارآیی، هزینه، اثرات زیست‌محیطی و سایر موارد انتخاب گردد.

۱-۲- ایمنی اعضای سازه‌ای

بررسی ایمنی اعضای سازه‌ای در برابر نیروهای خارجی باید یا بر اساس روش تنش مجاز و یا روش طراحی حالت حدی و با توجه به مشخصات سازه، مصالح و مشخصات بار انجام گیرد. البته به طور معمول بررسی ایمنی اعضای سازه‌های بتن مسلح به روش طراحی حالت حدی انجام می‌گیرد.

i

فصل ۲

فولاد

۲-۱- مصالح

کیفیت مصالح فولادی باید مطابق استانداردهای موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران (ISIRI) بوده و یا کیفیتی مشابه یا بهتر از آن داشته باشد.

تفسیر

محصولات خارجی در صورتی که مطابق استانداردهای مذکور بوده و یا دارای کیفیت مشابه یا بهتر از آن باشد، حتی اگر هنوز استاندارد نشده باشد، قابل استفاده است.

۲-۲- ضرایب ثابت مصالح فولادی در محاسبات طراحی

ضرایب ثابت مصالح مورد استفاده در طراحی فولاد و فولاد ریخته‌گری شده باید با توجه به مشخصات مقاومتی و سایر خصوصیات، به نحو مناسبی تعیین گردد.

نکات فنی

در جدول (۳-۱) مقادیر مرجع ضرایب ثابت مصالح برای فولاد معمولی و فولاد ریخته‌گری شده دیده می‌شود.

جدول ۳-۱- ضرایب ثابت مصالح فولادی

ضریب ارتجاعی (E)	$۲/۰\times۱۰^{۵}\ N/mm^2$
مدول برشی (G)	$۷/۷\times۱۰^{۴}\ N/mm^2$
ضریب پواسون (ν)	۰/۳۰
ضریب انبساط حرارتی خطی (α)	$۱۲\times۱۰^{-۶}\ 1/°C$

۲-۳- تنش‌های مجاز

۲-۳-۱- کلیات

به طور معمول تعیین تنش‌های مجاز، با توجه به نوع مصالح فولادی و مطابق بندهای (۲-۳-۲) فولاد سازه‌ای، و (۲-۳-۳) شمع فولادی و سپر لوله فولادی، انجام می‌گیرد.

۲-۳-۲- فولاد سازه‌ای

تنش‌های مجاز معمول برای فولاد سازه‌ای در جدول (۳-۲) بر اساس کیفیت فولاد و نوع تنش‌ها ارائه شده است.

نکات فنی

۱) در کاربرد مقادیر جدول (۳-۲) تنش‌های مجاز برای فولاد سازه‌ای، باید مقدار تنش تسلیم F_y با توجه به مشخصات فنی محصول مورد استفاده و متناظر با ضخامت مورد کاربرد آن در نظر گرفته شود.

۲) از آنجا که فولاد سازه‌ای تقریبا به طور ثابت در مناطقی که خطر کمانش کم باشد، استفاده می‌شود، مقادیر تنش‌های مجاز جدول (۳-۲) برای حالاتی تعیین شده است که خطر ایجاد کمانش وجود ندارد.

جدول ۳-۲- تنش‌های مجاز برای فولاد سازه‌ای

نوع تنش		حداکثر مقدار مجاز
تنش کششی محوری (وارد بر سطح مقطع خالص)		$0.6\sigma_y$
تنش فشاری محوری (وارد بر کل سطح مقطع)		$0.6\sigma_y$
تنش کششی خمش (وارد بر سطح مقطع خالص)		$0.6\sigma_y$
تنش فشاری خمش (وارد بر کل سطح مقطع)		$0.6\sigma_y$
تنش برشی (وارد بر کل سطح مقطع)		$\sigma_y/3$
تنش لهیدگی	بین صفحات فولادی	$0.9\sigma_y$
	محاسبه شده به روش معادله Hertz	$2.4\sigma_y$

که در آن، σ_y تنش تسلیم فولاد مورد استفاده می‌باشد.

۲-۳-۳- شمع فولادی و سپر لوله فولادی

تنش‌های مجاز معمول برای شمع فولادی و سپر لوله فولادی در جدول (۳-۳) بر اساس کیفیت فولاد و نوع تنش ارائه شده است.

جدول۳-۳- تنش‌های مجاز برای شمع فولادی و سپر لوله فولادی

نوع تنش	حداکثر مقدار مجاز
تنش کششی محوری (وارد بر سطح مقطع خالص)	$0.6\sigma_y$
تنش فشاری محوری (وارد بر کل سطح مقطع)	$0.6\alpha\sigma_y$
تنش کششی خمش (وارد بر سطح مقطع خالص)	$0.6\sigma_y$
تنش فشاری خمش (وارد بر کل سطح مقطع)	$0.6\sigma_y$
بررسی اعضایی که همزمان تحت نیروی محوری و لنگر خمشی هستند	۱) تنش کششی محوری: $\sigma_t + \sigma_{bt} \le \sigma_{ta}$ و $-\sigma_t + \sigma_{bc} \le \sigma_{ba}$ ۲) تنش فشاری محوری: $\frac{\sigma_c}{\sigma_{ca}} + \frac{\sigma_{bc}}{\sigma_{ba}} \le 1.0$
تنش برشی (وارد بر کل سطح مقطع)	$\sigma_y/3$

که در آن :

σ_y: تنش تسلیم فولاد مورد استفاده

l : طول کمانش موثر عضو

r : شعاع ژیراسیون کل سطح مقطع عضو

α : ضریب بی بعدی است که با توجه به مشخصات هندسی و مادی قطعه‌ی فولادی مورد بررسی به صورت زیر تعیین می‌گردد:

$$\sim = \begin{cases} 1 & : \frac{l}{r} \le 0.2® \sqrt{\frac{E}{\pm_y}} \\ 1.109 - 0.545(\frac{1}{®}\sqrt{\frac{\pm_y}{E}})\frac{l}{r} & : 0.2® \sqrt{\frac{E}{\pm_y}} < \frac{l}{r} \le ® \sqrt{\frac{E}{\pm_y}} \\ \frac{1}{0.773 + \frac{\pm_y}{®^2 E}\left(\frac{l}{r}\right)^2} & : ® \sqrt{\frac{E}{\pm_y}} < \frac{l}{r} \end{cases}$$

σ_t و σ_c: به‌ترتیب تنش‌کششی ناشی از نیروی‌کششی محوری و تنش فشاری ناشی از نیروی فشاری محوری وارد بر مقطع

σ_{bt} و σ_{bc}: به ترتیب حداکثر تنش کششی و حداکثر تنش فشاری ناشی از لنگر خمشی وارد بر مقطع

σ_{ta} و σ_{ca}: به ترتیب تنش مجاز کششی و تنش مجاز فشاری محوری نسبت به کوچکترین ممان اینرسی

σ_{ba}: تنش مجاز فشاری خمش

۲-۳-۴- سپر فولادی

تنش‌های مجاز معمول برای سپر فولادی در جدول (۳-۴) براساس کیفیت فولاد و نوع تنش ارائه شده است.

جدول ۳-۴- تنش‌های مجاز برای سپرهای فولادی

نوع تنش	حداکثر مقدار مجاز
تنش کششی خمش (وارد بر سطح مقطع خالص)	$0.6\sigma_y$
تنش فشاری خمش (وارد بر کل سطح مقطع)	$0.6\sigma_y$
تنش برشی (وارد بر کل سطح مقطع)	$\sigma_y/3$

که در آن، σ_y تنش تسلیم فولاد مورد استفاده می‌باشد.

۲-۳-۵- فولاد ریخته‌گری و فولاد آهنگری شده

تنش‌های مجاز معمول برای فولاد ریخته‌گری و فولاد آهنگری شده باید بر اساس کیفیت فولاد و نوع تنش تعیین گردد.

۲-۳-۶- تنش‌های مجاز برای فولاد در نواحی جوش شده و اتصالات

تنش‌های مجاز برای فولاد در نواحی جوش‌شده و اتصالات باید بر اساس کیفیت فولاد و نوع جوش تعیین گردد.

نکات فنی

۱) در جدول (۳-۵) مقادیر مرجع برای تنش مجاز نواحی جوش شده ارائه شده است. وقتی مصالح فولادی با مقاومت‌های متفاوت به هم متصل می شود، مصالح فولادی با مقاومت کمتر تعیین کننده خواهد بود.

۲) در جدول (۳-۶) مقادیر مرجع تنش مجاز برای پیچ مهار و خار مشاهده می‌گردد.

جدول ۳-۵- تنش‌های مجاز برای فولاد نواحی جوش شده

نوع تنش / نوع جوش			حداکثر مقدار مجاز
جوش کارخانه‌ای	جوش شیاری با نفوذ کامل	فشاری	$0.6\sigma_y$
		کششی	$0.6\sigma_y$
		برشی	$\sigma_y/3$
	جوش گوشه و جوش شیاری با نفوذ ناقص	برشی	$\sigma_y/3$
جوش در محل (کارگاهی)			۱) اصولا باید مقادیری همانند جوش کارخانه‌ای داشته باشد. ۲) برای شمع لوله فولادی و سپر لوله فولادی، مقادیر تنش مجاز ۹۰ درصد مقادیر تنش مجاز جوش کارخانه‌ای تعیین گردد.

که در آن، $\pm_y$ تنش تسلیم فولاد مورد استفاده می‌باشد.

جدول ۳-۶- تنش‌های مجاز برای میل مهار و خار

نوع	نوع تنش	حداکثر مقدار مجاز
میل مهار	برش	$0.15\sigma_u$
خار	خمش	$0.8\sigma_y$
	برش	$0.4\sigma_y$
	لهیدگی	$0.9\sigma_y$

که در آن، σ_y تنش تسلیم و σ_u مقاومت کششی فولاد مورد استفاده می‌باشد.

۳) تنش مجاز توصیه شده برای پیچ مهار بر فرض اینکه در بتن مدفون باشد، ارائه شده است.

۴) مقادیر مرجع تنش‌های مجاز برای پیچ‌های تمام کاری شده در جدول (۳-۷) مشاهده می‌شود.

جدول ۳-۷- تنش‌های مجاز برای پیچ‌های تمام کاری شده (N/mm^2)

رده مقاومتی / نوع تنش	۴/۶	۸/۸	۱۰/۹
کشش	۱۴۰	۳۶۰	۴۷۰
برش	۹۰	۲۰۰	۲۷۰
لهیدگی	۲۱۰	۵۴۰	۷۰۰

۲-۳-۷- افزایش تنش‌های مجاز

وقتی ترکیب چند نیروی خارجی وجود داشته باشد، تنش‌های مجاز در بندهای (۲-۳-۲) تا (۲-۳-۶)، را می‌توان مطابق جدول (۳-۸) افزایش داد.

جدول ۳-۸- نرخ افزایش تنش‌های مجاز

ترکیب نیروها و بارهای خارجی	نرخ افزایش
با در نظر گرفتن اثر تغییر دما	۱/۱۵
با در نظر گرفتن اثر زلزله	۱/۵۰

نکات فنی

برای یک نیروی خارجی ویژه، می‌توان نرخ افزایش بزرگتری نسبت به جدول (۳-۸) به‌کار برد.

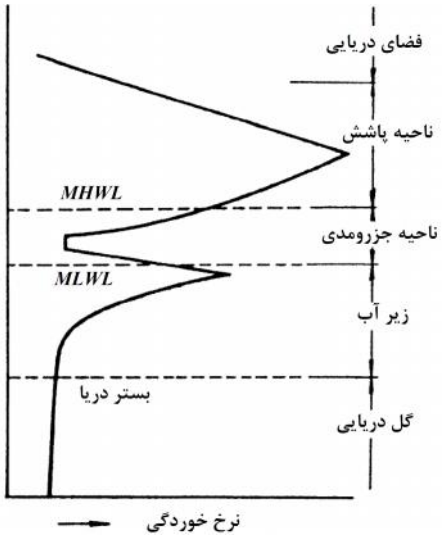
۲-۴- کنترل خوردگی

۲-۴-۱- کلیات

کنترل خوردگی در طراحی تاسیساتی استفاده می‌گردد که در آنها مصالح فولادی به‌کار رفته در معرض شرایط محیطی بسیار خورنده قرار داشته باشد. به علت احتمال بسیار بالای خوردگی به‌ویژه در بخش‌هایی که بلافاصله زیر تراز میانگین جزر آب قرار دارد، باید اقدامات مقابله‌ای مناسب انجام گیرد.

تفسیر

توزیع نرخ خوردگی با توجه به عمق قرارگیری مصالح فولادی در دریا، به صورت کلی در شکل (۳-۱) مشاهده می‌گردد.



شکل ۳-۱- توزیع نرخ خوردگی مصالح فولادی

خوردگی در ناحیه پاشش بسیار زیاد است زیرا در این ناحیه سازه در معرض پاشش آب دریا قرار داشته و اکسیژن به مقدار کافی وجود دارد. نرخ خوردگی در بخش بلافاصله بالای تراز میانگین مد (MHWL) بیشترین مقدار را داراست. از میان بخش‌های مستغرق در شکل (۳-۱)، نرخ خوردگی در بخش بلافاصله زیر ناحیه جزرومدی، حداکثر می‌باشد که تغییرات نرخ خوردگی در این بخش تا حد زیادی وابسته به شرایط محیطی و شکل سطح مقطع سازه می‌باشد. در سپر فولادی و شمع لوله فولادی مستغرق در آب دریا، نرخ خوردگی در بخش دقیقا زیر تراز میانگین جزر (MLWL) تفاوت چندانی با سایر بخش‌های میانه آب ندارد. البته با توجه به شرایط محیطی سازه، ممکن است نرخ خوردگی در بخش دقیقا زیر MLWL بسیار بزرگتر از نرخ خوردگی در بخش‌های داخل آب باشد، و در بعضی حالات حتی ممکن است از نرخ خوردگی ناحیه پاشش هم بزرگتر شود. این خوردگی مشخص منطقه‌ای، خوردگی متمرکز نام دارد.

۲-۴-۲- نرخ خوردگی مصالح فولادی

نرخ خوردگی مصالح فولادی به دلیل وابستگی به شرایط خورندگی محیطی، با توجه به شرایط محیطی منطقه قرارگیری سازه تعیین می‌گردد.

تفسیر

نرخ خوردگی مصالح فولادی مورد استفاده در تاسیسات بندر و لنگرگاه تحت تاثیر شرایط محیطی شامل شرایط آب و هوایی، درجه شوری و آلودگی آب دریا، وجود جریان آب رودخانه‌ای و غیره می‌باشد. بنابراین نرخ خوردگی باید با مراجعه به پروژه‌های پیشین در حوالی منطقه و نتایج مطالعات تحت شرایط مشابه تعیین گردد.

نکات فنی

۱) نرخ خوردگی مصالح فولادی به طور کلی با مراجعه به مقادیر ارائه شده در جدول (۳-۹) تعیین گردد که بر اساس نتایج مطالعات سازه‌های فولادی موجود تهیه شده است. البته مقادیر جدول (۳-۹) مقادیر متوسط بوده و ممکن است نرخ خوردگی واقعی بنابر شرایط محیطی مصالح فولادی، بیشتر از مقادیر ارائه شده در جدول باشد. بنابراین برای تعیین نرخ خوردگی مصالح فولادی، باید به نتایج مطالعات خوردگی تحت شرایط مشابه مراجعه نمود. شایان ذکر است در جدول (۳-۹) فقط نرخ خوردگی یک طرف مصالح فولادی ارائه شده است. زمانی که دو طرف مصالح فولادی در معرض خوردگی باشد، باید از جمع نرخ‌های خوردگی دو طرف که بر اساس مقادیر جدول (۳-۹) به دست آمده باشد، استفاده کرد.

۲) مقادیر مربوط به «HWL یا بالاتر» در جدول (۳-۹) نشان دهنده نرخ خوردگی بلافاصله بالای HWL می‌باشد. نرخ خوردگی بین HWL و بخش‌های میانی آب باید بر اساس نرخ خوردگی واقعی و با توجه به خصوصیات آب دریا در اطراف سازه تعیین گردد. علت این امر، مطالعات پیشین می‌باشد که نشان می‌دهد نرخ خوردگی با توجه به خصوصیات آب دریا و عمق آب تغییر می‌کند. مقادیر موجود در جدول (۳-۹) به عنوان مرجع و با دامنه تغییرات احتمالی، ارائه شده است. به طور کلی باید رویکرد جداگانه‌ای برای خوردگی در ناحیه جزرومدی و بخش‌های میانی آب به دلیل تفاوت در شرایط محیطی اتخاذ نمود. مرز مناسب بین این دو در حدود ۱/۰ متر زیر عمق LWL است.

۳) در صورت وجود خوردگی متمرکز، نرخ خوردگی از مقادیر موجود در جدول (۳-۹) بسیار فراتر خواهد رفت و بنابراین استفاده از این مقادیر در چنین حالاتی مناسب نمی‌باشد.

۴) در فضای بسته مانند داخل شمع لوله فولادی، می‌توان فرض نمود که به علت نبود اکسیژن، امکان ایجاد خوردگی وجود نخواهد داشت.

جدول ۳-۹- مقادیر معمول برای نرخ خوردگی مصالح فولادی

محیط خورنده		نرخ خوردگی (mm/year)
سمت دریا	HWL یا بالاتر	۰/۳
	HWL تا LWL -1 m	۰/۱ تا ۰/۳
	LWL -1 m تا بستر دریا	۰/۱ تا ۰/۲
	زیر بستر دریا	۰/۰۳
سمت خشکی	بالای سطح زمین و در معرض هوا	۰/۱
	زیر سطح زمین (بالای تراز آب باقیمانده)	۰/۰۳
	زیر سطح زمین (زیر تراز آب باقیمانده)	۰/۰۲

۲-۴-۳- روش‌های کنترل خوردگی

روش‌های کنترل خوردگی مصالح فولادی باید از روش حفاظت کاتدی، روش روکش کردن یا دیگر روش‌های کنترل خوردگی و با توجه به شرایط محیطی مصالح فولادی به طور متناسب انتخاب شود. روش متعارف کنترل خوردگی برای بخش‌های زیر تراز میانگین جزر (MLWL)، روش حفاظت کاتدی می‌باشد. روش متعارف برای بخش‌های بالای عمق ۱متر زیر تراز میانگین جزر ماهیانه (LWL)، روش روکش کردن می‌باشد.

تفسیر

۱) روش‌های کنترل خوردگی مورد استفاده برای سازه‌های فولادی بندر و لنگرگاه شامل روش حفاظت کاتدی و روش روکش کردن می‌باشد.

۲) در ناحیه جزرومدی و ناحیه مستغرق، بسته به شرایط محیطی خورنده خطر خوردگی شدید به علت خوردگی متمرکز وجود دارد. بنابراین، اصولا کنترل خوردگی به وسیله ضخامت اضافی نباید به عنوان روش کنترل خوردگی استفاده گردد. البته برای سازه‌های موقت استفاده از روش ضخامت اضافی به عنوان روش کنترل خوردگی، قابل قبول خواهد بود.

۳) سمت مدفون سپر فولادی در زمین، نرخ خوردگی کمتری نسبت به سمت دریا دارد. در نتیجه برای سمت مدفون، اصولا کنترل خوردگی لازم نمی‌باشد. البته در حالتی که احتمال خورندگی محیط در اثر وجود مصالح زائد در خاکریز زیاد باشد، قبل از هر کار باید مطالعات لازم انجام شده و اقدامات مناسب صورت گیرد.

۴) بهترین نتایج با استفاده از روش روکش کردن برای بالای ناحیه جزرومدی و روش حفاظت کاتدی برای بخش‌های میانه آب و بستر دریا به دست آمده و اعتبار آن نیز تایید شده است. وقتی از روش روکش کردن در بخش‌های میانی آب استفاده

می‌شود، مصالح روکش باید با توجه به دوام آن انتخاب و دقت شود تا هنگام نصب یا در برخورد قطعات شناور، از آسیب‌دیدگی روکش جلوگیری به عمل آید.

۲-۴-۴- روش حفاظت کاتدی

۲-۴-۴-۱- دامنه کاربرد

دامنه کاربرد روش حفاظت کاتدی از تراز میانگین جزر (MLWL) به پایین می‌باشد.

تفسیر

کنترل خوردگی بالای MLWL باید به روش روکش کردن انجام گیرد. ناحیه بین MLWL و LWL برای مدت زمان کمتری نسبت به زیر LWL مستغرق می‌باشد و بنابراین کارایی کنترل خوردگی حفاظت کاتدی کمی پایین خواهد بود. همچنین از آنجا که بخش‌های بلافاصله زیر MLWL به راحتی در معرض خوردگی می‌باشد، روکش باید تا عمق مشخصی پایین‌تر از MLWL/دامه یافته و همزمان از روش حفاظت کاتدی هم استفاده شود.

نکات فنی

۱) همانطور که در جدول (۳-۱۰) ملاحظه می‌شود، اثر روش حفاظت کاتدی (نرخ کنترل خوردگی) وقتی دوره فرو رفتن مصالح فولادی در معرض خوردگی در آب دریا بیشتر باشد، افزایش می‌یابد و بالعکس اگر این دوره کمتر باشد، اثر روش نیز کاهش می‌یابد. نسبت فرو رفتن در آب دریا و نرخ کنترل خوردگی به ترتیب در رابطه (۲-۱) و (۲-۲) بیان شده است.

جدول ۳-۱۰- نسبت کنترل خوردگی روش حفاظت کاتدی

نسبت فرو رفتن در آب دریا	نرخ کنترل خوردگی
زیر ۴۰٪	زیر ۴۰٪
برابر ۴۰٪ و بیشتر تا ۸۰٪	برابر ۴۰٪ و بیشتر تا ۶۰٪
برابر ۸۰٪ و بیشتر تا ۱۰۰٪	برابر ۶۰٪ و بیشتر تا ۹۰٪
۱۰۰٪	برابر ۹۰٪ و بیشتر

$$\text{نسبت زمانی فرو رفتن در آب دریا} = \frac{\text{دوره فرو رفتن نمونه}}{\text{کل دوره آزمایش}} \times ۱۰۰\ (\٪) \qquad (۲-۱)$$

$$\text{نرخ کنترل خوردگی} = \frac{\text{(افت وزنی نمونه با جریان الکتریکی- افت وزنی نمونه بدون جریان الکتریکی)}}{\text{افت وزنی نمونه بدون جریان الکتریکی}} \times ۱۰۰\ (\٪) \qquad (۲-۲)$$

۲) نرخ کنترل خوردگی متعارف برای منطقه زیر تراز میانگین جزر، حداقل ۹۰ درصد می‌باشد.

۳) حفاظت کاتدی به روش حفاظت کاتدی با آند گالوانی و روش جریان برق یک طرفه تقسیم می‌شود. در روش آند گالوانی، آلومینیوم، منیزیم، روی و سایر آندها به سازه فولادی متصل شده و از جریان الکتریکی ایجاد شده ناشی از اختلاف پتانسیل بین دو فلز به عنوان جریان کنترل خوردگی استفاده می‌گردد. مشخصات مصالح آند گالوانی در جدول (۳-۱۱) مشاهده

می‌شود. آندهای آلیاژ آلومینیوم (Al-Zn-In) بالاترین شار جریان تولید شده در واحد جرم را ارائه کرده و بسیار اقتصادی بوده و برای محیط‌های میانه آب و بستر دریا مناسب می‌باشند. بنابراین آند آلیاژ آلومینیوم برای استفاده در سازه‌های فولادی بندر و لنگرگاه‌ها بسیار معمول است.

در روش حفاظت کاتدی به وسیله جریان برق یک طرفه، آند قربانی شونده به قطب مثبت منبع برق جریان مستقیم (DC) خارجی و قطب منفی به سازه فولادی متصل می‌گردد. در نتیجه جریان حفاظتی از آند قربانی شونده به سازه فولادی جریان می‌یابد. در آب دریا، معمولا از آلیاژ سرب-نقره به عنوان مدار جریان استفاده می‌گردد. از آنجا که ولتاژ خروجی در این روش به راحتی قابل تنظیم است، در محیط‌های دارای نوسان مشخص همانند جریان شدید یا جریان آب رودخانه و یا مکان‌هایی که نیاز به یک پتانسیل کنترل مناسب دارد، کاربرد دارد.

جدول ۳-۱۱- مقایسه مشخصات مصالح آند گالوانی

مشخصات		Al-Zn-In		روی (Zn) خالص، آلیاژ روی	منیزیم (Mg)خالص، Mg-Mn	Mg-6Al-3Zn
وزن مخصوص		۲/۶ تا ۲/۸		۷/۱۴	۱/۷۴	۱/۷۷
ولتاژ آند مدار باز (V) (SCE)		۱/۰۸		۱/۰۳	۱/۵۶	۱/۴۸
اثر ولتاژ بر آهن (V)		۰/۲۵		۰/۲۰	۰/۷۵	۰/۶۵
شار الکتریکی ایجاد شده تئوریک (A.h/g)		۲/۸۷		۰/۸۲	۲/۲۰	۲/۲۱
در آب دریا با 1 mA/cm2	کارایی جریان (٪)	۸۰	۹۰	۹۵	۵۰	۵۵
	شار الکتریکی تولید شده (A.h/g)	۲/۳۰	۲/۶۰	۰/۷۸	۱/۱۰	۱/۲۲
	حجم از بین رفته (kg/A/year)	۳/۸	۳/۴	۱۱/۸	۸/۰	۷/۲
در خاک با 0.03 mA/cm2	کارایی جریان (٪)	۶۵*		۶۵	۴۰	۵۰
	شار الکتریکی تولید شده (A.h/g)	۱/۸۶*		۰/۵۳	۰/۸۸	۱/۱۱

* بنابر ترکیبات مصالح متغیر می‌باشد.

۲-۴-۴-۲- پتانسیل حفاظتی

به عنوان یک مقدار مرجع، پتانسیل حفاظتی سازه‌های فولادی بندر و لنگرگاه با الکترود آب دریا- کلرید نقره برابر ۷۸۰ mV- می‌باشد.

تفسیر

اگر برای حفاظت کاتدی از جریان حفاظتی در سازه فولادی استفاده شود، پتانسیل سازه فولادی به تدریج به مقدار پایه نزدیک می‌شود (کمتر می‌شود). وقتی به پتانسیل خاصی برسد، خوردگی کنترل می‌شود. این پتانسیل، پتانسیل حفاظتی نام دارد.

نکات فنی

۱) برای اندازه‌گیری پتانسیل سازه فولادی، باید از یک الکترود که دارای مقادیر مرجع ثابت حتی در شرایط محیطی مختلف است، استفاده نمود. الکترودی که مقدار استاندارد را تامین می‌کند الکترود مرجع نامیده می‌شود. در آب دریا، علاوه بر

الکترود آب دریا-کلرید نقره، بعضا الکترود کلرید جیوه اشباع و الکترود سولفات مس اشباع نیز استفاده می‌شود. مقدار پتانسیل حفاظتی براساس الکترود مرجع مورد استفاده برای اندازه‌گیری، متغیر بوده و در زیر ارائه شده است.

الکترود آب دریا-کلراید نقره: -۷۸۰ mV

الکترود کلراید جیوه اشباع: -۷۷۰ mV

الکترود سولفات مس اشباع: -۸۵۰ mV

۲) در صورت ترکیب روش‌های حفاظت کاتدی و روکش کردن (بویژه روش حفاظت کاتدی جریان برق)، نباید اجازه داد که لایه روکش در اثر جریان اضافی از بین برود. در این حالت پتانسیل باید -۸۰۰mV تا -۱۱۰۰mV (با استفاده از الکترود مرجع کلراید جیوه اشباع) باشد.

۲-۴-۴-۳- چگالی جریان حفاظتی

چگالی جریان حفاظتی باید مقدار مناسبی باشد زیرا وابستگی زیادی به شرایط محیط دریایی دارد.

تفسیر

۱) وقتی از حفاظت کاتدی استفاده می‌شود، چگالی جریان خاصی در واحد سطح مصالح فولادی لازم است تا پتانسیل مصالح فولادی به مقدار پایه بیشتری نسبت به پتانسیل حفاظتی تغییر کند که این چگالی موسوم به چگالی جریان حفاظتی می‌باشد. مقدار این چگالی جریان حفاظتی با گذر زمان از مقدار اولیه در شروع حفاظت کاتدی کاهش یافته و نهایتا به مقدار ثابتی در حدود ۴۰٪ تا ۵۰٪ مقدار اولیه می‌رسد.

۲) چگالی جریان حفاظتی با دمای آب، جریان، موج و کیفیت آب تغییر می‌کند. در جایی که جریان ورودی آب رودخانه یا جریان معکوس وجود دارد و یا در جایی که غلظت سولفید بالا باشد، به طور کلی احتیاج به جریان حفاظتی افزایش می‌یابد. همچنین در جایی که سرعت جریان آب بالا باشد نیاز به جریان حفاظتی افزایش می‌یابد. هنگام طراحی تاسیسات، مقدار طراحی چگالی جریان حفاظتی باید با مراجعه به عملکرد واقعی سازه‌های موجود در دریا تعیین گردد.

نکات فنی

۱) چگالی جریان حفاظتی در شروع حفاظت کاتدی باید بر اساس مقادیر متعارف برای مصالح فولادی در شرایط دریایی معمولی در جدول (۳-۱۲) باشد.

جدول ۳-۱۲- چگالی جریان حفاظتی در شروع حفاظت کاتدی (mA/m^2)

	محیط دریایی پاک	محیط دریایی آلوده
در آب دریا	۱۰۰	۱۳۰ تا ۱۵۰
در خاکریز قلوه سنگی	۵۰	۶۵ تا ۷۵
در خاک (زیر بستر دریا)	۲۰	۳۰
در خاک (بالای بستر دریا)	۱۰	۱۰

۲) *جریان تولید شده برای حفاظت کاتدی با گذر زمان ضعیف‌تر می‌شود. بنابراین متوسط چگالی جریان تولید شده برای محاسبه طول عمر آند بر اساس طول دوره حفاظت عمدتا به صورت زیر می‌باشد:*

حفاظت به مدت ۵ سال: چگالی جریان ایجاد شده اولیه × ۰/۵۵

حفاظت به مدت ۱۰ سال: چگالی جریان ایجاد شده اولیه × ۰/۵۲

حفاظت به مدت ۱۵ سال: چگالی جریان ایجاد شده اولیه × ۰/۵۰

اگر حفاظت برای مدت زمانی بیش از ۱۵ سال در نظر گرفته شده باشد، از همان مقدار ۱۵ سال استفاده می‌گردد.

۳) *اگر قسمتی که با مواد روکش کننده روکش شده است در محدوده کاربرد حفاظت کاتدی باشد، مقدار چگالی جریان حفاظتی باید با فرض نرخ مشخصی از آسیب دیدگی روکش تعیین گردد. در آب دریا می‌توان از مقادیر زیر استفاده نمود:*

رنگ: $۲۰+۱۰۰\ S\ (mA/m^2)$

بتن: $۱۰+۱۰۰\ S\ (mA/m^2)$

روکش آلی: $۱۰۰\ S\ (mA/m^2)$

که در آن S نرخ آسیب‌دیدگی می‌باشد که عبارت از نسبت سطح روکش‌دار آسیب دیده فرض شده به کل سطح روکش شده می‌باشد. البته اگر چگالی جریان حفاظتی به دست آمده از روابط بالا بیشتر از مقادیر جدول (۳-۱۲) باشد، باید از مقادیر جدول استفاده نمود.

۲-۴-۵- روش روکش کردن

۲-۴-۵-۱- گستره کاربرد

روش روکش کردن برای بخش‌های بالای عمق ۱متر زیر تراز میانگین جزر ماهیانه (LWL) و برای کنترل خوردگی کاربرد دارد.

تفسیر

روش روکش کردن برای سازه‌های بندر و لنگرگاه به این دلیل استفاده می‌گردد که در این بخش‌ها که طول فرو رفتن در آب دریا کوتاه است، نمی‌توان از حفاظت کاتدی استفاده نمود. همانطور که در بند (۲-۴-۴) روش حفاظت کاتدی، بیان شد، دامنه کاربرد روش حفاظت کاتدی زیر تراز میانگین جزر می‌باشد. اما احتمال روی دادن خوردگی متمرکز در اطراف تراز مذکور هنگامی که طول زمان فرو رفتن در آب دریا به علت اثرات امواج و نوسانات فصلی در تراز جزرومدی کوتاه شده است، زیاد است. بنابراین روش روکش کردن در بخش‌های بالای عمق ۱متر زیر LWL باید با حفاظت کاتدی ترکیب گردد.

نکات فنی

در محیط دریایی کم عمق، گاهی روش حفاظت کاتدی برای کل طول سازه دیواره سپری فولادی در عمق، استفاده می‌شود. با ترکیب روش‌های حفاظت کاتدی و روکش کردن در بخش‌های موجود در آب دریا، می‌توان عمر آند گالوانی را افزایش داد.

۲-۴-۵-۲- روش‌های قابل اجرا

روش روکش کردن مورد استفاده در سازه‌های فولادی بندر و لنگرگاه یکی از چهار روش زیر می‌باشد:

۱) رنگ کردن

۲) روکش آلی

۳) روکش نفتی

۴) روکش معدنی

۲-۴-۵-۳- انتخاب روش

برای انتخاب روش و تعیین ویژگی‌ها، مشخصات هر روش بررسی شده و موارد زیر مطالعه و مرور می‌گردد:

۱) شرایط محیطی

۲) دامنه کنترل خوردگی

۳) طول عمر

۴) نگهداری

۵) شرایط عملیات اجرایی

۶) سایر موارد

برای سازه‌های موجود، موارد زیر نیز مطالعه می‌گردد:

۷) درجه خوردگی و شرایط افت کیفیت یا خرابی لایه رنگی یا روکش موجود

۸) شرایط طراحی اولیه

فصل ۳

بتن

۳-۱- کلیات

۱) طراحی سازه‌های بتنی نظیر موج‌شکن و تاسیسات پهلوگیری باید مطابق استاندارد و به روش طراحی حالت حدی باشد.

۲) انتخاب مصالح برای سازه‌های بتنی به جز در مواردی که در این متن آمده باید مطابق آیین‌نامه بتن ایران (نشریه ۱۲۰ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی کشور) باشد.

تفسیر

از روش طراحی حالت حدی در آیین‌نامه بتن ایران (آبا) به کار رفته است. از آنجا که روش طراحی حالت حدی نسبت به روش طراحی تنش مجاز منطقی‌تر است، این روش برای طراحی موج‌شکن و تاسیسات پهلوگیری به کار می‌رود. برای بتن پیش‌تنیده از آیین‌نامه طرح و محاسبه قطعات پیش‌تنیده (نشریه ۲۵۰ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی کشور) استفاده شود.

۳-۲- اصول طراحی بر اساس روش طراحی حالت حدی

۱) بررسی ایمنی سازه با استفاده از روش طراحی حالت حدی باید در حالت حدی نهایی و حالت حدی بهره‌برداری انجام گیرد.

۲) برای ضرایب اطمینان جزئی باید مقادیر مناسب با توجه به مصالح و بارها مطابق نوع حالت حدی انتخاب گردد.

۳) در آیین‌نامه بتن ایران حالت خستگی زیر مجموعه حالت حدی نهایی در نظر گرفته شده است، اما در صورت لزوم می‌توان با مراجعه به منابع و روش‌های معتبر حالت حدی خستگی را نیز بررسی نمود.

تفسیر

حالات حدی به حالت‌های ۱) حالت حدی نهایی: مربوط به خرابی کلی ناشی از حداکثر بار در عمر سازه، ۲) حالت حدی بهره‌برداری: مربوط به حالت آسیب جزئی نظیر ترک‌خوردگی بیش از حد و سایر عیب‌های نسبتا کوچک ناشی از اثر بار معمول در طول عمر سازه تقسیم می‌گردد.

حالت حدی خستگی ممکن است در اثر تکرار نیروی موج بر موج‌شکن یا در اثر تکرار بارهای متحرک بر عرشه نیز ایجاد شود. در دیوارهای ساحلی نوع وزنی می‌توان خرابی ناشی از خستگی را حذف نمود زیرا اثرات تکرار بار متحرک محتمل نبوده و در نتیجه عامل ایجاد خستگی وجود ندارد. اگرچه اگر ضربه بارهای متحرک را نتوان نادیده گرفت، باید حالت حدی خستگی نیز بررسی گردد.

نکات فنی

۱) در مورد ضرایب اطمینان جزئی نکات زیر در نظر گرفته شود.

الف) ضرایب مورد استفاده همان ضرایب آیین‌نامه بتن ایران بوده و دیگر ضرایب اطمینان جزئی ارائه شده ویژه طراحی سازه‌های دریایی می‌باشد. ضمنا می‌توان این ضرایب را بر اساس تحلیل موردی، مطالعات مقایسه‌ای ایمنی با روش تنش مجاز و مقایسه با سایر سازه‌ها نیز تعیین نمود.

ب) فشار هیدرواستاتیک، فشار آب داخلی، فشار آب باقیمانده و فشار خاک خاکریز جزء بارهای مرده محسوب شده و نیروی موج و فشار بالابرنده از زمره بارهای زنده به حساب می‌آید. بار زلزله، نیروی پهلوگیری شناور، نیروی کشش شناور، فشار بالابرنده (وقتی بر عرشه اسکله شمع و عرشه وارد می‌شود)، فشار باد و بار برخورد هم از یک نوع بار به حساب می‌آید. البته پهلوگیری شناور و نیروی کشش در صورت نیاز باید به عنوان بار زنده در نظر گرفته شده و ایمنی در برابر حالت حدی بهره برداری تایید گردد.

ضریب بار موج‌شکن در برابر نیروی موج با توجه به نوع موج‌شکن، عمق استقرار، شیب بستر دریا و نمودار توزیع ارتفاع مرتفع‌ترین امواج تغییر می‌کند. اما در نظر گرفتن مقدار ۱/۳ برای حالت حدی نهایی برای انواع موج‌شکن معمولی و صندوقه‌ای کافی می‌باشد. البته برای سازه با شکل خاص نظیر موج‌شکن صندوقه‌ای با درز منحنی، به نظر می‌رسد ضریب بار مقدار بزرگتری باشد و بنابراین لازم است به وسیله انجام آزمایش روی مدل تعیین شود.

پ) ضرایب اطمینان جزئی ارائه شده صرفا مقادیری استاندارد می‌باشد و اگر با استفاده از روش‌های دیگر بتوان مقادیر مناسب‌تری بدست آورد، می‌توان از آن استفاده نمود.

۲) مقادیر مشخصه مورد استفاده در طراحی را می توان مطابق روش‌های ارائه شده در بخش‌های مربوطه این متن محاسبه نمود. مقادیر بار هنگام بررسی حالت حدی بهره‌برداری باید به صورت زیر باشد:

الف) ارتفاع موج برای محاسبه فشار موج وارد بر موج‌شکن باید برابر ارتفاع موج با تعداد رخداد با مرتبه 10^4 در طول عمر طراحی (مثلا ۵۰ سال) باشد که احتمال رخداد چنین موجی در نواحی مختلف متفاوت می‌باشد (منظور از ارتفاع موج، ارتفاع مرتفع‌ترین موج است).

ب) در حالات دیگر، مقادیر مشخصه باید طبق رابطه (۳-۱) محاسبه گردد.

$$S_k = k_p S_p + k_r S_r \qquad (۳-۱)$$

که در آن:

S_k مقدار مشخصه بار برای بررسی حالت حدی بهره‌برداری

S_p مقدار مشخصه بار مرده

S_r مقدار مشخصه بار زنده

k_p و k_r مقادیر ثابت نشان‌دهنده اثرات بار مرده و زنده به ترتیب بر عرض ترک و خوردگی فولاد. می‌توان مقدار k_p را برابر ۱/۰ و k_r را برابر ۰/۵ در نظر گرفت. می‌توان هر دو مقدار را هنگام ساخت و اجرا برابر ۰/۵ در نظر گرفت.

برای بررسی حالت خستگی موج‌شکن، می‌توان از روش‌های معتبر موجود برای تخمین مقدار مشخصه بار استفاده نمود.

۳) هنگام بررسی حالت حدی بهره‌برداری، متعارف است که ایمنی در برابر ترک‌خوردگی بیش از حد بررسی شود که می‌توان رابطه موجود در آیین‌نامه بتن ایران را برای محاسبه عرض ترک‌های خمشی به کار برد. برای سازه‌های موجود در منطقه پاشش و جزرومدی باید عرض ترک کمتر از ۰/۰۰۳ پوشش بتن روی میلگرد و برای سازه‌های در معرض باد حاوی کلراید عرض ترک کمتر از ۰/۰۰۳۵ پوشش بتن روی میلگرد سازه باشد. برای حالات دیگر نیز عرض ترک باید کمتر از ۰/۰۰۴ پوشش بتن روی میلگرد سازه باشد.

از آنجا که عرض ترک خمشی هم تحت تاثیر تنش میلگردها و هم تحت تاثیر قطر و گام میلگردها قرار دارد، در طراحی چینش میلگردها باید مراقبت کافی نمود. وقتی از مصالح و یا اعضا با شکل خاص استفاده می‌شود، می‌توان از روابط دیگر و یا مطالعات آزمایشگاهی برای تخمین عرض ترک استفاده نمود. علاوه بر آن، اصولا نزدیک‌ترین مصالح فولادی کششی به سطح بتن، مصالح فولادی تسلیح یا پیش‌تنیدگی هستند که برای ترک‌های خمشی بررسی می‌شوند.

ترک‌هایی که در سازه به علت عواملی غیر از اثر بار (مانند عیوب اولیه) به وجود آمده و حتی اگر با برداشتن بار بسته نخواهد شد، باید به طور جداگانه بررسی شود زیرا در گستره روش بررسی حاضر قرار نمی‌گیرد.

۴) اگر بار وارد بر عرشه اسکله شمع و عرشه از طرف تجهیزات انتقال بار نسبتا بزرگ باشد و تغییرشکل بیش از مقداری باشد که در کار انتقال بار مشکل ایجاد نمی‌کند، در صورت نیاز، باید ایمنی در برابر وقوع تغییرشکل به عنوان حالت حدی بهره‌برداری تایید گردد.

۳-۳- اجزا بتن

اجزا بتن شامل سیمان، سنگدانه، آب، افزودنی و الیاف باید مطابق استانداردهای ملی ایران باشد.

۳-۳-۱- سیمان

سیمان پرتلند باید طبق استاندارد ۳۸۹، سیمان آمیخته پوزولانی طبق ۳۴۳۲، سیمان آمیخته روباره‌ای طبق استاندارد ۳۵۱۷، سیمان پرتلند آهکی طبق استاندارد ۴۲۲۰ و سیمان پرتلند سفید طبق استاندارد ۲۹۱۳ ایران باشد. ضمنا برای تامین دوام و کیفیت لازم است نکات زیر رعایت شود.

۳-۱-۳-۱

در حاشیه خلیج فارس و دریای عمان در بتن مسلح یا پیش تنیده لازم است مقدار C_3A موجود در سیمان پرتلند از ۶ درصد بیشتر و از ۸ درصد کمتر باشد. در سیمان‌های آمیخته، لازم است C_3A موجود در کلینکر آن از ۶ درصد بیشتر و از ۱۰ درصد کمتر باشد. بدیهی است سیمان پرتلند نوع ۵ (ضد سولفات) را نمی‌توان در بتن مسلح مصرف نمود. در بتن غیرمسلح حد پایینی برای C_3A وجود ندارد و لازم است حد بالایی آن رعایت گردد. بدیهی است در این موارد مصرف سیمان پرتلند نوع ۵ (ضد سولفات) مانعی ندارد و توصیه می‌شود.

۲-۱-۳-۳

در حاشیه دریای خزر مقدار C_3A موجود در سیمان پرتلند و کلینکر سیمان آمیخته در بتن مسلح یا پیش تنیده نباید از ۵ درصد کمتر و از ۸ درصد بیشتر شود. مصرف سیمان پرتلند نوع ۵ (ضد سولفات) توصیه نمی‌شود. در بتن غیر مسلح حد پایینی حذف می‌شود و بنابراین مصرف سیمان پرتلند نوع ۵ (ضد سولفات) مانعی ندارد و توصیه می‌گردد.

۳-۱-۳-۳

به طور کلی مصرف سیمان‌های آمیخته پوزولانی و روباره‌ای با درنظر گرفتن ضوابط بند (۳-۳-۱-۱) و (۳-۳-۱-۲)، توصیه می‌شود.

۴-۱-۳-۳

در صورت واکنش‌زایی سنگدانه‌ها با قلیایی‌های سیمان، مقدار قلیایی معادل اکسید سدیم سیمان‌های پرتلند و آمیخته نباید از ۰/۶درصد وزن سیمان تجاوز کند. در صورتی که دسترسی به چنین سیمانی امکان‌پذیر نباشد لازم است مقدار قلیایی معادل اکسید سدیم ($Na_2O+0.658\ K_2O$) در مخلوط بتن از ۲/۴ کیلوگرم بر متر مکعب بتن تجاوز نکند و در غیر این صورت باید راهکارهای مناسب دیگری برای جلوگیری از انبساط مخرب اتخاذ شود.

۵-۱-۳-۳

درصد یون کلرید سیمان پرتلند و آمیخته برای بتن مسلح در حاشیه خلیج فارس و دریای عمان نباید از ۰/۰۵ درصد تجاوز کند و در بتن پیش تنیده این مقدار برای حاشیه خلیج فارس و دریای عمان به ۰/۰۲ درصد و برای دریای خزر به ترتیب به ۰/۰۸ و ۰/۰۳ درصد محدود می‌شود. در بتن غیرمسلح محدودیتی برای یون کلرید سیمان وجود دارد.

۳-۳-۲- سنگدانه

سنگدانه‌ها باید از نظر دانه‌بندی، مواد زیان‌آور و دوام منطبق بر استاندارد اجباری ایران به شماره ۳۰۲ باشد. ضمنا در برخی موارد ضوابط سخت‌گیرانه‌تری حاکم می‌شود که در ذیل به آنها اشاره می‌گردد.

۱-۲-۳-۳

اگر دانه‌بندی شن یا ماسه یا هر دو خارج از محدوده استاندارد ۳۰۲ ایران باشد می‌توان از آنها استفاده کرد مشروط بر اینکه دانه‌بندی مخلوط بتن در محدوده مطلوب روش ملی طرح مخلوط بتن برای حداکثر اندازه اسمی مورد نظر باشد.

۳-۲-۳-۲

برای بتن مسلح، حداکثر اندازه اسمی سنگدانه بتن بهتر است از ۲۰ میلی‌متر بزرگتر نباشد (در حاشیه دریای خزر می‌توان ۵ میلی‌متر به این مقدار افزود). برای بتن غیرمسلح بهتر است این اندازه از ۴۰ میلی‌متر تجاوز نکند. بدیهی است ضوابط و محدودیت‌های حداکثر اندازه اسمی سنگدانه‌ها با توجه به ابعاد قطعه، فواصل آزاد میلگردها و ضخامت پوشش بتنی روی میلگرد و غیره به قوت خود باقی است.

۳-۲-۳-۳

در ساخت بتن مسلح توصیه می‌شود از سنگدانه درشت شکسته یا نیمه‌شکسته و ماسه ترجیحا گردگوشه استفاده شود. به هر حال استفاده از اشکال دیگر مجاز بوده اما توصیه نمی‌شود.

۳-۲-۳-۴

محدودیت‌های ذرات پولکی و کشیده که طبق استاندارد BS 812 اندازه‌گیری می‌شود برای حاشیه دریای‌خزر طبق استاندارد ۳۰۲ ایران به قوت خود باقی است و برای حاشیه خلیج فارس و دریای عمان ۰/۷۵ حد مندرج در استاندارد ۳۰۲ ایران خواهد بود.

۳-۲-۳-۵

مقدار مجاز یون کلرید سنگدانه درشت در بتن مسلح به ۰/۰۲ درصد و در بتن پیش تنیده به ۰/۰۱ درصد وزن سنگدانه محدود می‌شود. در صورت تجاوز یون کلرید از این مقادیر، به شرط آنکه میزان یون کلرید محلول در آب یا محلول در اسید مخلوط بتن از حد مجاز بالاتر نرود، می‌توان سنگدانه مزبور را به کار برد. در صورتی که بتن غیرمسلح باشد محدودیتی برای یون کلرید وجود ندارد.

۳-۲-۳-۶

مقدار مجاز یون کلرید سنگدانه ریز در بتن مسلح ۰/۰۴ درصد و در بتن پیش‌تنیده ۰/۰۲ درصد وزن سنگدانه می‌باشد. در صورتی که مقدار یون کلرید در ماسه از این مقادیر تجاوز کند، به شرط آنکه میزان یون کلرید محلول در آب یا محلول در اسید مخلوط بتن از حد مجاز آن بالاتر نرود، می‌توان سنگدانه مزبور را به‌کار برد. در صورتی که بتن غیرمسلح باشد محدودیتی برای یون کلرید وجود ندارد.

۳-۲-۳-۷

در صورتی که بتن در معرض سایش و ضربات موج باشد، مقدار درصد سایش در آزمایش لوس‌آنجلس با هر روش استاندارد و بر روی اندازه‌های مختلف سنگدانه به ۳۰ درصد محدود می‌شود. در سایر موارد حداکثر درصد سایش ۴۰ درصد خواهد بود.

۳-۲-۳-۸

در صورتی که بتن در معرض پاشش آب دریا و یا یخبندان و آب‌شدگی نباشد، محدودیتی برای افت وزنی در آزمایش سلامت سنگدانه منظور نمی‌شود.

۳-۲-۳-۹

با توجه به در معرض رطوبت بودن بتن و بویژه در حاشیه خلیج فارس و دریای عمان، وجود دمای زیاد باعث می‌شود واکنش قلیایی‌ها با سنگدانه‌های واکنش‌زا تشدید گردد، بنابراین در این شرایط باید توجه بیشتری به پتانسیل واکنش‌زایی سنگدانه‌ها معطوف شود.

۳-۲-۳-۱۰

توصیه می‌شود حداکثر جذب آب سنگدانه درشت از ۲/۵ درصد و حداکثر جذب آب سنگدانه ریز از ۳/۵ درصد در شرایط محیطی دریایی تجاوز نکند.

۳-۲-۳-۱۱

در صورتی که مقدار SO_3 سنگدانه از ۰/۴ درصد وزن آن بیشتر شود اما مقدار SO_3 در بتن به صورت محلول در آب از ۴ درصد وزن سیمان و SO_3 بتن به صورت محلول در اسید (کل) از ۵ درصد وزن سیمان بیشتر نباشد سنگدانه مزبور برای بتن مناسب است اما اگر بتن به صورت مسلح یا پیش‌تنیده باشد این مقادیر به ترتیب به ۳/۲ و ۴ درصد وزن سیمان محدود می‌شود.

۳-۳-۳- آب

اگر آب ساخت و عمل‌آوری بتن، آب آشامیدنی باشد مشکلی وجود نخواهد داشت.

۳-۳-۳-۱

در صورتی که به هر علت آب آشامیدنی در دسترس نباشد، آب موجود با رعایت ضوابط و محدودیت‌های زیر قابل مصرف می‌باشد:

- pH آب باید بین ۵ تا ۸/۵ باشد.
- زمان گیرش خمیر سیمان با آب مشکوک نباید بیش از یک ساعت زودتر یا ۱/۵ ساعت دیرتر از زمان گیرش خمیر سیمان با آب مقطر باشد.
- مقاومت ملات ۷ و ۲۸ روزه ماسه سیمان با آب مشکوک نباید کمتر از ۹۰ درصد مقاومت همان ملات با آب مقطر باشد.
- حداکثر میزان مواد زیان‌آور طبق جدول (۳-۱۳) باشد.

جدول ۳-۱۳- حداکثر مقادیر مجاز مواد زیان آور در آب مصرفی برای ساخت و عمل‌آوری

ماده زیان آور	شرح	حداکثر مجاز (ppm)	روش آزمایش
ذرات جامد معلق	بتن مسلح در شرایط محیطی شدید، بتن پیش تنیده	۱۰۰۰	ASTM D1888 ISIRI 5904
	بتن مسلح در شرایط محیطی ملایم، بتن فاقد میلگرد	۲۰۰۰	
مواد محلول[+]	بتن مسلح در شرایط محیطی شدید، بتن پیش‌تنیده	۱۰۰۰	ASTM D1888 ISIRI 5904
	بتن مسلح در شرایط محیطی ملایم	۲۰۰۰	
	بتن بدون میلگرد و اقلام فلزی	۲۰۰۰۰	
یون کلرید	بتن مسلح در شرایط محیطی شدید، بتن پیش‌تنیده	۵۰۰[*]	ASTM D512 ISIRI 2350
	بتن مسلح در شرایط مرطوب، با خورندگی کم	۱۰۰۰[*]	
	بتن بدون میلگرد و اقلام فلزی	۱۰۰۰۰	
یون سولفات (SO_4)	بتن مسلح و پیش‌تنیده	۱۰۰۰[**]	ASTM D516 ISIRI 2354
	بتن بدون میلگرد و اقلام فلزی	۳۰۰۰[**]	
قلیایی‌ها	$(Na_2O+0.658\ K_2O)$	۶۰۰[++]	-

+ کل مواد باقیمانده تبخیر (مواد جامد) TDS مجموع ذرات جامد معلق و مواد محلول در آب می‌باشد. در صورتی که آزمایش هدایت الکتریکی برای آب انجام شود باید با توجه به تجربیات موجود نتیجه مزبور را به مواد محلول در آب تبدیل نمود و مقایسه را انجام داد. بدیهی است مجموع مقادیر یون کلرید و یون سولفات و سایر املاح نباید بیشتر از مواد محلول در آب باشد.

++ در صورتی که سنگدانه‌ها واکنش‌زا نباشد برای این مواد محدودیتی وجود ندارد.

* در صورتی که مقدار یون کلرید در آب بیش از مقادیر مذکور باشد اما مقدار یون کلرید در بتن از حد مجاز بالاتر نرود مصرف آب مورد نظر مانعی ندارد.

** در صورتی که مقدار یون سولفات در آب بیش از مقادیر مذکور باشد اما مقدار یون سولفات در بتن از حد مجاز بالاتر نرود مصرف آب مورد نظر مانعی ندارد.

۳-۳-۴- افزودنی‌های بتن

افزودنی‌های بتن به دو دسته افزودنی‌های پودری معدنی (مکمل) و افزودنی‌های شیمیایی تقسیم می‌شود. افزودنی‌های پودری معدنی (مکمل) معمولا به میزان بیش از ۵ درصد وزن سیمان و به عنوان جایگزین آن مصرف شده و افزودنی‌های شیمیایی معمولا به میزان کمتر از ۵ درصد وزن سیمان و مازاد بر آن به‌کار می‌رود.

۳-۳-۴-۱- افزودنی‌های پودری معدنی (مواد مکمل سیمان)

افزودنی‌های پودری معدنی به دو دسته فعال و غیرفعال تقسیم می‌شود. مواد غیرفعال مانند پودر سنگ را نمی‌توان به عنوان ماده مکمل سیمان تلقی کرد اما به عنوان افزودنی می‌توان به‌کار برد. از جمله می‌توان به پودر سنگ‌های آهکی و کوارتزی (سیلیسی) اشاره نمود که در بتن قابل مصرف هستند. بعضا رنگدانه‌ها نیز جزو مواد پودری معدنی غیرفعال به حساب آمده و باید طبق استاندارد ASTM C979 یا ISIRI 8287 باشد. افزودنی‌های پودری معدنی فعال (مواد مکمل سیمان) به دو صورت پوزولان و روباره در بتن‌های مختلف قابل استفاده است و توصیه می‌شود در شرایط محیطی حاکم بر سازه‌های دریایی به کار رود.

۳-۳-۴-۱-۱- پوزولان

پوزولان به دو صورت طبیعی و مصنوعی وجود دارد که در بتن قابل مصرف می‌باشد و باید مشخصاتی منطبق با ISIRI 3433 یا ASTM D618 داشته باشد. پوزولان با آهک موجود در خمیر سیمان در محیط مرطوب ترکیب شده و تولید جسم چسباننده پرکننده می‌کند و منافذ بزرگ را به منافذ کوچک تبدیل می‌نماید و از قلیاییت محیط خمیر سیمان نیز می‌کاهد و ضمن اینکه ناحیه انتقالی (وجه مشترک سنگدانه و خمیر سیمان) را بهبود می‌بخشد، نفوذپذیری را کاهش می‌دهد. پوزولان‌های طبیعی شامل خاکسترهای آتشفشانی، توف‌ها، برخی شیل‌ها، خاک‌های دیاتومه‌ای و زئولیت به صورت خام یا کلسینه می‌باشد و مقادیر مصرف آن بین ۵ تا ۲۵ درصد توصیه می‌شود. این مواد معمولا مقدار آب مصرفی بتن را افزایش می‌دهد و نیاز به روان‌کننده احساس می‌گردد. پوزولان‌های مصنوعی شامل خاکستر بادی (خاکستر کوره زغال سنگ)، دوده سیلیسی و خاکستر پوسته برنج و بعضا متاکائولن می‌باشد که در رابطه با خاکستر بادی و دوده سیلیسی موارد ذیل قابل توجه است.

- خاکستر بادی: خاکستر بادی باید منطبق با استاندارد ASTM D618 یا EN 450 یا ISIRI 6171 باشد. مقدار مصرف آن بین ۱۵ تا ۲۵ درصد وزنی مواد سیمانی و جایگزین سیمان توصیه می‌شود و اگر همراه با سایر پوزولان‌ها مانند دوده سیلیسی به کار رود توصیه می‌شود مقدار آن به ۱۵ درصد محدود گردد مگر اینکه آهک هیدراته به همراه آن به کار رود. به هر حال مصرف خاکستر بادی در محیط خورنده دریایی بویژه در بتن مسلح توصیه می‌شود زیرا مقاومت الکتریکی بتن را بالا می‌برد. مقدار یون کلرید خاکستر بادی به ۰/۱ درصد وزن آن محدود می‌گردد مگر اینکه مقدار یون کلرید موجود در بتن از حد مجاز بالاتر نرود. مصرف خاکستر بادی در صورت واکنش‌زا بودن سنگدانه‌ها توصیه می‌شود اما لازم است مقدار معادل قلیایی موجود در آن به اندازه‌ای نباشد که مقدار معادل قلیایی در بتن از حد مجاز بیشتر شود.

- دوده سیلیسی: دوده سیلیسی یا میکروسیلیس یک سیلیس غیر بلوری (آمورف) حاصل از غبار کوره‌های فروسیلیس یا فروآلیاژ و یا کوره‌های مشابه است و به هیچ وجه نباید با سیلیس ریز آسیاب شده و میکرونیزه اشتباه شود. دوده سیلیسی به شکل گرد گوشه و با ذراتی در حدود ۰/۰۵ تا ۰/۲۵ میکرون می‌باشد و باید منطبق بر استاندارد

ASTM C1240 یا EN 13263 باشد. دوده سیلیسی به شدت مقاومت الکتریکی را بالا می‌برد و از این نظر بی‌نظیر است و خوردگی میلگرد و شدت آن را کاهش می‌دهد که دلیل عمده مصرف این ماده در بتن است. مقدار مصرف آن بین ۶ تا ۸ درصد وزن مواد سیمانی به عنوان جایگزین سیمان توصیه می‌شود. در صورتی که همراه با سایر پوزولان‌ها مصرف شود مقدار آن می تواند بین ۵ تا ۶ درصد باشد. مقدار یون کلرید دوده سیلیسی باید به ۰/۱ درصد وزن آن محدود شود. به هر حال مقادیر بیشتر وقتی قابل قبول است که درصد یون کلرید بتن بیش از حد مجاز نشود. در صورت واکنش‌زا بودن سنگدانه‌ها، دوده سیلیسی می‌تواند خسارت‌ها را کاهش دهد اما مقدار قلیایی موجود در آن نباید باعث شود میزان قلیایی معادل در بتن از حد مجاز بالاتر رود.

دوده سیلیسی به صورت پودر خشک و یا به شکل دوغاب (در ایران ژل میکروسیلیس به دوغاب نسبتا سفت اطلاق می‌شود که حاوی روان‌کننده یا فوق روان‌کننده نیز می‌باشد) مصرف می‌شود. مصرف دوده سیلیسی به صورت دوغاب (آماده یا تهیه شده در کارگاه) توصیه می‌شود. مقدار مصرف توصیه شده در بالا برای پودر خشک دوده سیلیسی است و در صورت مصرف دوغاب میکروسیلیس باید صرفا میزان ماده خشک میکروسیلیس در محدوده مورد نظر واقع شود. به علت ریزی فوق‌العاده زیاد آن باید فوق روان کننده همراه با دوده سیلیسی مصرف شود زیرا در غیر این صورت آب مورد نیاز بتن افزایش می‌یابد و دوده سیلیسی در بتن به صورت کلوخه در می‌آید که مطلوب نیست. دوغاب‌های تولیدی ایران معمولا حاوی فوق روان‌کننده هستند و ممکن است در مواردی به فوق روان‌کننده اضافی نیاز نباشد.

۳-۳-۴-۱-۲- روباره‌ها

روباره‌ها در کوره ذوب فلزات به صورت سرباره یا تفاله بر روی فلز مذاب می‌ایستد که پس از سرد کردن سریع آن، آسیاب شده آن به عنوان ماده مکمل سیمان به کار می‌رود. این مواد با آب در محیط قلیایی آهک‌دار ترکیب می‌دهد و مانند سیمان، جسم چسباننده به وجود می‌آورد و قلیاییت خمیر سیمان را کم نمی‌کند اما نفوذپذیری خمیر سیمان را کاهش می‌دهد. معمول‌ترین روباره، روباره کوره بلند آهن‌گدازی است که مصرف آن از ۲۵ تا ۷۰ درصد وزن مواد سیمانی و به عنوان جایگزین سیمان توصیه می‌شود و نتایج خوبی را در محیط‌های خورنده کلریدی به بار می‌آورد. با کندشدن آهنگ سرد کردن روباره‌ها ممکن است خواص سیمانی آن کاهش یابد و نتایج بسیار مطلوبی به بار نیاورد و به مصرف بیشتر این ماده نیاز باشد هم‌چنان‌که در مورد روباره‌های کوره آهن‌گدازی ایران چنین موردی مشاهده می‌شود و باید سطح انتظار از روباره ایران را تعدیل نمود. روباره آسیاب شده دارای گوشه‌های تیز همچون ذرات سیمان است و ریزی آن نیز در حدود ریزی سیمان یا کمی بیشتر می‌باشد. بنابراین نیاز به آب بتن را چندان تغییر نمی‌دهد. روباره مصرفی باید منطبق بر استاندارد ASTM C989 و یا EN 15167 باشد.

۳-۳-۴-۲- افزودنی‌های شیمیایی

افزودنی‌های شیمیایی برای تغییر خواص بتن یا ملات‌های خمیری (تازه) و یا سخت شده دقیقا قبل از اختلاط یا در حین اختلاط به اجزای مخلوط اضافه می‌شود. برخی افزودنی‌های شیمیایی در استاندارد ASTM یا ایران دارای مشخصات استاندارد هستند و برخی فاقد هرگونه مشخصات استاندارد می‌باشند. مواد روان‌کننده (کاهنده آب)، فوق روان‌کننده (کاهنده آب قوی)، زودگیرکننده (زود سخت‌کننده) و دیرگیرکننده‌ها، حباب‌زاها و مواد روان‌کننده یا فوق روان‌کننده دو منظوره (دیرگیر یا زودگیر) از جمله مواد افزودنی شیمیایی هستند که در ISIRI 2930 دارای مشخصات فنی استاندارد می‌باشند. این مواد در سه استاندارد ASTM C260 (حباب‌زا)، ASTM C494 (کاهنده آب، زودگیر، کندگیر و مواد دو منظوره) و ASTM C1017 (مواد روان‌کننده یا فوق روان‌کننده) دارای مشخصات فنی هستند. اما موادی همچون منبسط‌کننده‌ها، لزجت‌زاها، بازدارنده‌های خوردگی، مواد گاززا، مواد بهداشتی، مواد اتصال‌زا، مواد ضد آب و نم (آب‌بندکننده و نم‌بندکننده‌ها) و مواد کاهنده انبساط مخرب واکنش قلیایی-سنگدانه در استاندارد ایران فعلا مشخصات فنی استاندارد ندارند. در ASTM برای مواد منبسط‌کننده، مواد کف‌زا و مواد اتصال‌زا مشخصات استاندارد وجود دارد اما سایر مواد فاقد مشخصات هستند.

در کارهای دریایی حسب مورد می‌توان از این مواد استفاده نمود اما مصرف مواد حباب‌زا، روان‌کننده (کاهنده آب) و فوق روان‌کننده، دیرگیرکننده، آب‌بند یا نم‌بندکننده‌ها و بازدارنده‌های خوردگی کاربرد بیشتری دارند هر چند ممکن است در مواردی بتوان از زودگیرکننده‌ها (در قطعات پیش ساخته)، لزجت‌زاها (در بتن‌های خود تراکم)، اتصال‌زاها (در محل درزهای اجرایی) و منبسط‌کننده‌ها به صورت محدودتری استفاده نمود.

۳-۳-۴-۲-۱- مواد حباب‌زا

این مواد در بتن تازه باعث ایجاد روانی و انسجام می‌شود و آب انداختن را کم می‌کند و جمع‌شدگی و جداشدگی را کاهش می‌دهد و در بتن سخت‌شده موجب کاهش نفوذپذیری، کاهش جذب آب و افزایش دوام به‌ویژه در برابرچرخه‌های یخبندان و آب شدن می‌شود. همچنین دوام بتن در محیط‌هایی که پی‌درپی تر و خشک می‌شوند را بالا می‌برد. اما مقاومت فشاری را در نسبت آب به سیمان ثابت کاهش می‌دهد. حباب‌های هوا با اندازه‌های کمتر از ۵۰ میکرون مشروط بر اینکه در فواصل نزدیک به هم در خمیره سیمان حضور داشته باشند، موثر خواهند بود. طرح مخلوط مناسب با درصد هوای مورد نظر، کنترل درصد هوا در کارگاه پس از ساخت بتن، توجه به شرایط محیطی به‌ویژه وقتی دمای هوا یا بتن بالا می‌رود و توجه به شرایط اجرایی (مدت اختلاط، مدت حمل با همزن، پمپاژ طولانی و لرزاندن طولانی) از مشکلات معمول استفاده از مواد حباب‌زا می‌باشد و موجب می‌شود در ایران از این مواد با احتیاط بیشتری استفاده نمود.

۳-۳-۴-۲-۲- مواد روان کننده (کاهنده آب) یا فوق روان‌کننده

در یک بتن معین، استفاده این مواد به افزایش روانی منجر می‌شود که نام روان کننده یا فوق روان‌کننده برازنده آنها خواهد بود. همچنین می‌توان با حفظ مقدار سیمان و روانی بتن، از مقدار آب آن کاست و نسبت آب به سیمان را پایین آورد که به افزایش مقاومت و دوام آن منجر می‌شود که در این حالت نام کاهنده آب یا فوق کاهنده آب (کاهنده آب قوی) مناسب‌تر خواهد بود. به کمک این مواد می‌توان ضمن کاهش مقدار آب و حفظ نسبت آب به سیمان و روانی بتن، عیار سیمان را کاهش داد. در این حالت نام کاهنده آب و شاید کاهنده سیمان مناسب‌تر است. به صورت ترکیبی نیز می‌توان بخشی از سه حالت فوق را مد نظر قرار داد.

با توجه به محدودیت‌های حداکثر نسبت آب به سیمان و حداکثر عیار سیمان مصرفی در کارهای دریایی و محدودیت‌های اجرایی همچون تامین روانی لازم برای ریختن و تراکم بتن مانند پمپ کردن، ریختن بتن در زیر آب با لوله ترمی، استفاده از بتن خودتراکم و روان در قطعات مختلف، استفاده از این گونه مواد تقریبا در اکثر بتن‌های مسلح و پیش‌تنیده توجیه دارد و گاه الزامی است. امروزه کاهش آب یا عیار سیمان بالغ بر ۳۰ درصد بسته به نوع ماده و میزان مصرف آن امکان‌پذیر می‌باشد. اما نباید تصور نمود روانی ایجاد شده پایدار است بلکه بسته به نوع ماده مصرفی، روند کاهش روانی در طول زمان متفاوت خواهد بود.

۳-۳-۴-۲-۳- کندگیر کننده‌ها (دیرگیر کننده‌ها)

افزایش زمان گیرش به ویژه در هوای گرم و یا در مواردی که زمان حمل طولانی می‌شود، ضرورت پیدا می‌کند. برای جلوگیری از ایجاد درز سرد در قطعاتی که دارای سطح زیاد هستند و توان ساخت بتن و بتن‌رسانی محدود است نیز از این مواد استفاده می‌شود. اگر قرار باشد بتن به مدت طولانی در قالب به صورت خمیری بماند احتمال ترک‌خوردگی ناشی از جمع‌شدگی به ویژه در مناطقی که تبخیر زیاد است بسیار زیاد می‌باشد. در بتن‌ریزی‌های حجیم، استفاده از دیرگیرکننده‌ها می‌تواند زمان رسیدن به حداکثر دمای مغز بتن را افزایش دهد ضمن اینکه حداکثر دمای مغز بتن نیز اندکی کاهش می‌یابد.

۳-۳-۴-۲-۴- زودگیرکننده‌ها و زود سخت‌کننده‌ها

کاهش زمان گیرش و در اکثر موارد افزایش مقاومت‌های کوتاه مدت از اهداف به کارگیری اینگونه مواد می‌باشد. در بتن‌ریزی قطعات پیش‌ساخته و بویژه از نوع پیش‌تنیده پیش‌کشیده، در بتن‌ریزی در هوای سرد و هم‌چنین هنگامی که نیاز به قالب‌برداری سریع‌تر وجود دارد از این مواد استفاده می‌شود. امروزه به کارگیری مواد زودگیر کننده کلریدی (کلرید سدیم) در بتن مسلح و بتن پیش‌تنیده ممنوع است اما مصرف آن در بتن غیر مسلح مجاز می‌باشد. در قطعات مسلح و یا پیش‌تنیده از نیترات یا نیتریت کلسیم، فرمات کلسیم و فلوئورها یا برخی کربنات‌ها و سیلیکات‌ها استفاده می‌شود.

۳-۳-۴-۲-۵- مواد بازدارنده خوردگی

این مواد بدون اینکه الزاما موجب کاهش نفوذپذیری شوند باعث تاخیر در شروع خوردگی و یا کاهش شدت خوردگی می‌شوند. دو نوع آندی و آندی-کاتدی دارد. بازدارنده‌های خوردگی نوع آندی معمولا به صورت نیتریت کلسیم است که مدت‌ها است در دنیا تولید و مصرف می‌شود و گزارش‌های ضد و نقیضی در مورد تاثیر آنها وجود دارد. بازدارنده‌های نوع آندی-کاتدی بر پایه مشتقات استرآمین‌ها ساخته می‌شود و از به کارگیری آنها در سازه‌های دریایی مدت زیادی نمی‌گذرد و عملکرد آنها هنوز کاملا مورد تایید قرار نگرفته است.

۳-۳-۵- الیاف

امروزه انواع مختلفی از الیاف طبیعی یا مصنوعی از نوع آلی یا غیر آلی (معدنی) در بتن‌ها مصرف می‌شود. دو هدف عمده از مصرف الیاف در بتن دنبال می‌گردد. اولین هدف می‌تواند کاهش جمع‌شدگی و کاهش استعداد ترک خوردگی بتن باشد. هدف دوم افزایش مقاومت‌های کششی، خمشی و برشی است که می‌تواند افزایش مقاومت فشاری را نیز سبب شود. کاهش جمع‌شدگی و کاهش احتمال ترک‌خوردگی می‌تواند به کاهش نفوذپذیری و افزایش دوام بتن منجر گردد که برای سازه‌های بتنی دریایی از اهمیت برخوردار است.

۳-۳-۵-۱- الیاف طبیعی

الیاف گیاهی به عنوان الیاف طبیعی آلی به کار می‌رود که برخی از آنها در محیط قلیایی بتن پایدار نیستند. از الیاف طبیعی غیر آلی می‌توان از آزبست نام برد که استفاده از آن امروزه مجاز نیست.

۳-۳-۵-۲- الیاف مصنوعی

الیاف سلولزی (گیاهی) فرآوری شده کاربردی جدی دارد. الیاف مصنوعی پلیمری یکی از پرمصرف‌ترین الیاف آلی محسوب می‌شود. الیاف نایلونی، الیاف پلی‌پروپیلن و الیاف پلی‌آرامید از این گروه هستند که الیاف پلی‌پروپیلن از مهمترین آنها به حساب می‌آید. امروزه از الیاف مصنوعی کربنی به عنوان الیاف آلی نیز استفاده می‌شود که گران قیمت می‌باشد. الیاف مصنوعی غیر آلی شامل الیاف شیشه و الیاف فولادی است.

۳-۳-۵-۳

از الیاف سلولزی و الیاف پلیمری و حتی شیشه‌ای معمولا برای کاهش احتمال ترک‌خوردگی استفاده می‌شود و نمی‌توان انتظار داشت که مقاومت‌های کششی و خمشی را چندان تغییر دهند. با استفاده از الیاف فولادی و کربنی انتظار افزایش مقاومت‌های کششی و خمشی وجود دارد هر چند کاهش جمع‌شدگی و ترک‌خوردگی را نیز با خود همراه می‌آورد. مقدار مصرف الیاف از ۰/۱ تا ۱ درصد حجم بتن بسته به نوع الیاف، میزان عیار سیمان و خمیر سیمان مصرفی،

و مشخصات مورد نیاز تغییر می‌کند. در ساخت دال‌ها و کف‌ها، عرشه پل‌های اسکله و اسکله و بارانداز و تیرها می توان از الیاف استفاده نمود. در ساخت قطعات غیر مسلح نیز برای کاهش ترک خوردگی و افزایش دوام در برابر ضربات امواج، الیاف نقش مناسبی را ایفا می‌نمایند.

۳-۴- طرح مخلوط بتن و نسبت‌ها و مقادیر اجزای آن

۳-۴-۱- کلیات

ایجاد محدودیتهای مختلف برای طرح مخلوط بتن و نسبت‌ها و مقادیر اجزای آن برای ایجاد عملکرد مناسب در شرایط حاکم بر پروژه است. چنانچه بدون رعایت این محدودیت‌ها نشان داده شود که بتن مورد نظر ضوابط عملکردی را ارضا می‌کند، بتن مزبور قابل استفاده خواهد بود. تهیه طرح مخلوط آزمایشگاهی برای بتن‌هایی با اهمیت متوسط تا زیاد ضرورت دارد حتی اگر مقاومت فشاری مشخصه ۲۸ روزه استوانه‌ای آنها از ۲۵ MPa بیشتر نباشد. درصورتی‌که محدودیت نسبت آب به سیمان یا محدودیت عیار سیمان برای بتن وجود نداشته باشد و یا مقاومت مشخصه آن ۲۵ MPa یا کمتر باشد می‌توان از مخلوط‌های تجویزی نیز استفاده نمود.

۳-۴-۲- مقاومت فشاری متوسط لازم (مقاومت هدف) برای طرح مخلوط بتن

مقاومت فشاری متوسط لازم برای طرح مخلوط بتن طبق آیین‌نامه بتن ایران (نشریه ۱۲۰ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی کشور) و روش ملی طرح مخلوط بتن ایران (نشریه ۴۷۹ مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن) به‌دست می‌آید. حاشیه اطمینان (اختلاف مقاومت هدف با مقاومت مشخصه) نباید از ۵ MPa یا ۲۰ درصد مقاومت مشخصه (هر کدام بیشتر باشد)، کوچکتر باشد. همچنین حاشیه اطمینان نباید از آنچه در آیین‌نامه بتن ایران (آبا) و روش ملی طرح مخلوط بتن داده شده است، بیشتر شود.

جدول ۳-۱۴- محدودیت‌های نسبت‌ها و مقادیر اجزای بتن سازه‌های دریایی

نوع بتن	نام منطقه یا دریا	شرایط تماس یا رویارویی با آب دریا	ماده مکمل	حداکثر نسبت آب به سیمان		حداقل رده‌مقاومتی‌بتن (حداقل‌مقاومت‌مشخصه ۲۸روزه‌استوانه‌ای) N/mm^2	حداکثر اندازه اسمی سنگدانه (میلی متر)	عیار موادسیمانی		حداقل‌ضخامت‌پوشش‌بتنی روی‌میلگردها (تیر و ستون) (میلی متر)
				دارای‌چرخه‌های یخبندان‌وآب‌شدگی	بدون‌چرخه‌های جدی یخبندان‌وآب‌شدگی			حداقل	حداکثر	
غیر مسلح	خلیج‌فارس و دریای‌عمان و دریاچه‌ارومیه	جزر و مد، پاشش و ضربات امواج	اختیاری	۰/۴۵	۰/۵	۲۵	۳۸ ۲۵	۳۰۰ ۳۲۵	۳۵۰ ۳۷۵	
		دائما مغروق، دائمامدفون، بیرون‌آب و بدون‌تعریق	اختیاری	۰/۵	۰/۵	۲۰	۳۸ ۲۵	۳۰۰ ۳۲۵	۳۵۰ ۳۷۵	
		بیرون آب، بالای‌سطح‌آب، با تعریق	اختیاری	۰/۴۵	۰/۵	۲۵	۳۸ ۲۵	۳۰۰ ۳۲۵	۳۵۰ ۳۷۵	
	دریای‌خزر و سایرآب‌ها	جزر و مد، پاشش و ضربات امواج	اختیاری	۰/۴۵	۰/۵	۲۵	۳۸ ۲۵	۳۰۰ ۳۲۵	۳۵۰ ۳۷۵	
		دائما مغروق، دائمامدفون، بیرون‌آب و بدون‌تعریق	اختیاری	۰/۵	۰/۵	۲۰	۳۸ ۲۵	۳۰۰ ۳۲۵	۳۵۰ ۳۷۵	
		بیرون آب، بالای‌سطح‌آب، با تعریق	اختیاری	۰/۴۵	۰/۵	۲۵	۳۸ ۲۵	۳۰۰ ۳۲۵	۳۵۰ ۳۷۵	
مسلح	خلیج‌فارس و دریای‌عمان و دریاچه‌ارومیه	جزر و مد، پاشش و ضربات امواج	الزامی	۰/۴	۰/۴	۴۰	۲۰	۳۷۵	۴۲۵	۷۵
		دائما مغروق، دائمامدفون، بیرون‌آب و بدون‌تعریق	اختیاری	۰/۴۵	۰/۴۵	۳۰	۲۵	۳۵۰	۴۰۰	۷۵
		بیرون آب، بالای‌سطح‌آب، با تعریق	الزامی	۰/۴	۰/۴	۳۵	۲۰	۳۷۵	۴۲۵	۷۵
	دریای خزر و سایرآب‌ها	جزر و مد، پاشش و ضربات امواج	اختیاری	۰/۴۵	۰/۴۵	۳۵	۲۵	۳۵۰	۴۰۰	۶۰
		دائما مغروق، دائمامدفون، بیرون‌آب و بدون‌تعریق	اختیاری	۰/۵	۰/۵	۲۵	۳۸ ۲۵	۳۰۰ ۳۲۵	۳۵۰ ۳۷۵	۶۰
		بیرون آب یا بالای سطح آب با تعریق	اختیاری	۰/۴۵	۰/۴۵	۳۰	۲۵	۳۵۰	۴۰۰	۶۰

هنگام استفاده از جدول (۳-۱۴) توجه به نکات زیر ضروری می‌باشد:

۱) در صورتی که بتن حباب‌دار با درصد هوای مورد نظر در آیین‌نامه بتن ایران برای شرایط شدید به کار رود می‌توان به حداکثر نسبت آب به سیمان به میزان ۰/۰۵ افزود و رده مقاومتی را MPa ۵ کاهش داد.

۲) در مورد نوع سیمان مصرفی به بند (۳-۳-۱) سیمان، مراجعه گردد.

۳) در مواردی که دو حداکثر اندازه داده شده است ممکن است محدودیت‌های هندسی دیگری نیز تعیین‌کننده باشد. به هر حال ممکن است حداکثر اندازه سنگدانه مصرفی از حد داده شده در جدول فوق کوچکتر باشد.

۴) در صورتی که رده مقاومتی ارائه شده توسط طراح پروژه بیشتر از حداقل رده مقاومتی جدول باشد، مقدار بیشتر تعیین‌کننده است و در صورتی که این مقدار کوچکتر از حداقل رده جدول باشد، حداقل رده ارائه شده تعیین‌کننده می‌باشد.

۵) در صورتی که حداکثر اندازه سنگدانه کوچکتر از مقدار ارائه شده در جدول باشد، لازم است حداقل و حداکثر عیار مواد سیمانی افزایش یابد. در صورت کاهش حداکثر اندازه از ۲۵ به ۲۰ یا از ۲۰ به ۱۳میلی‌متر، مقدار kg/m^3 ۲۵ به حداقل و حداکثر عیار مواد سیمانی اضافه می‌شود.

۶) حداقل عیار سیمان برای تامین خمیر سیمان لازم و کاهش نفوذپذیری، و حداکثر عیار سیمان برای جلوگیری از افزایش حجم خمیر سیمان و فضای خالی و جلوگیری از جمع‌شدگی بیش از حد و در نتیجه ممانعت از ترک‌خوردگی و در نهایت کاهش نفوذپذیری و جذب آب ارائه می‌شود. بنابراین هر دو یک هدف را به دنبال می‌آورد که آن افزایش دوام بتن در شرایط موجود می‌باشد. بدیهی است در قطعات حجیم یا نیمه‌حجیم لازم است محدودیت بیشتری را در عیار مواد سیمانی اعمال نمود تا از ایجاد گرادیان حرارتی و ترک‌خوردگی ناشی از تنش‌های حرارتی جلوگیری نمود.

۷) در صورتی که از نسبت آب به سیمان کمتری استفاده شود و یا با استفاده از مواد کمکی مانند دوده سیلیسی بتوان نفوذ یون کلرید را کاهش داد، می‌توان از حداقل ضخامت پوشش بتنی روی میلگرد کاست. این کاهش نباید از ۱۵ میلی‌متر تجاوز کند. در صورت افزایش MPa ۵ رده مقاومتی، می‌توان ۵ میلی‌متر از پوشش بتنی کاست.

۸) در شالوده‌ها لازم است ۱۵ میلی‌متر به مقادیر حداقل ضخامت پوشش بتنی روی میلگردها افزود. برای دال‌ها، دیوارها و پوسته‌ها می توان ۱۵ میلی‌متر از حداقل مزبور کاست.

در هر حال در بند (۷) و (۸)، ضخامت پوشش بتنی برای میلگردهای تیر و ستون که بدون پوشش بوده و یا ضد زنگ نباشند، نباید در محیط خلیج فارس و دریای عمان از ۵۰ میلی‌متر و در دریای خزر و غیره از ۳۵ میلی‌متر کمتر شود.

۳-۴-۳- ضوابط تامین دوام بتن

برای تامین دوام بتن، ایجاد محدودیت در نسبت آب به سیمان، حداقل و حداکثر عیار سیمان، حداکثر اندازه اسمی سنگدانه، نوع سیمان و به صورت غیرمستقیم محدودیت در مقاومت مشخصه پیش‌بینی می‌شود. تامین حداقل و حداکثر درصد هوای بتن نیز در تامین دوام موثر است. برخی محدودیت‌ها مانند نسبت آب به سیمان با حداقل ضخامت پوشش بتنی روی میلگردها در ارتباط است. مقادیر ارائه شده برای زمانی است که حداقل ضخامت موردنظر به کار رود.

۳-۴-۴- ضوابط مقاومت مشخصه

مقاومت فشاری مشخصه ۲۸ روزه استوانه‌ای نباید از ۲۰ MPa کمتر و از ۵۰ MPa بیشتر باشد.

۳-۴-۵- ضوابط دوام مشخصه

همان‌گونه که مقاومت مشخصه تعریف می‌شود، می‌توان انواع پارامترهای دوام مشخصه را نیز تعریف کرد که در ادامه مقادیر دوام مشخصه ارائه می‌شود.

۳-۴-۶- دوام هدف طرح مخلوط بتن

همان‌گونه که مقاومت هدف طرح مخلوط برای تهیه طرح مخلوط بتن به کار می‌رود و مقاومت مخلوط آزمون با آن مقایسه می‌شود، دوام بتن مخلوط آزمون نیز با پارامترهای دوام هدف مقایسه می‌گردد. بدیهی است پس از ساخت بتن در کارگاه، مبنای مقایسه همان دوام مشخصه بتن خواهد بود. به هر حال پارامترهای دوام هدف طرح مخلوط باید حداقل ۲۰ درصد از دوام مشخصه بالاتر باشد (بتن بهتری را نشان دهد).

۳-۴-۷- کارایی و سایر خواسته‌ها

طرح مخلوط بتن باید چنان ارائه شود که کارایی لازم را برای عملیات اجرایی در پای کار داشته باشد و این امر در آزمایشگاه باید مورد بررسی قرار گیرد. در این صورت لازم است فاصله زمانی ساخت تا ریختن (فاصله زمانی حمل بتن) با توجه به وسائل حمل و معطلی‌های محتمل توسط گروه اجرا و نظارت به طراح مخلوط اعلام گردد. مواردی همچون استعداد جداشدگی و آب انداختن بتن و در صورت نیاز جمع‌شدگی خمیری نیز باید بررسی و اعلام شود و اگر بیش از حد قابل قبول باشد در طرح مخلوط باید تجدید نظر شود.

۳-۵- ضوابط عملکردی بتن در سازه‌های دریایی

ضوابط عملکردی بتن از نظر مقاومت، دوام و کارایی در این بخش ارائه می‌شود. عدم ارضاء این ضوابط نشان می‌دهد که بتن مناسبی ساخته نشده است. به این منظور لازم است طبق تواتر خاصی از بتن‌ها نمونه‌گیری شود و با انجام آزمایش بر روی آنها، بر اساس نتیجه حاصله قضاوت مناسبی انجام داد.

۳-۵-۱- ضوابط نمونه‌برداری و تواتر آن

۳-۵-۱-۱- نمونه‌برداری

از بتن طبق استاندارد ISIRI 3201 یا ASTM C172 نمونه‌برداری انجام می‌شود. بر روی بخشی از نمونه بتن تازه آزمایش‌های کارایی طبق استانداردهای مربوطه انجام می‌گردد و بخش دیگری طبق استاندارد ISIRI 581 یا ASTM C192 و همچنین EN 12390:2 در قالب‌های مخصوص آزمایش‌های مختلف ریخته و متراکم می‌گردد و طبق استاندارد عمل‌آوری می‌شود.

برای کنترل بتن در کارگاه در سن مقاومت مشخصه، ۲ آزمونه برای هر آزمایش لازم است در حالی که برای مخلوط آزمون آزمایشگاهی ۳ آزمونه به کار می‌رود. میانگین این آزمونه‌ها به عنوان نتیجه آن نوبت نمونه‌برداری مورد استفاده واقع می‌شود. در صورتی که اختلاف نتیجه هر آزمونه با میانگین بیش از ۵ درصد میانگین باشد، نتیجه حذف می‌شود و بقیه نتایج در محاسبه میانگین به کار می‌روند. نمونه‌برداری به صورت تصادفی باید انجام شود و نباید هیچ‌گونه گزینشی به کار رود.

۳-۵-۱-۲- تواتر نمونه‌برداری

در صورتی که حجم هر نوبت ساخت (محموله) بتن یک متر مکعب یا بیشتر باشد، تواتر نمونه‌برداری به صورت زیر می‌باشد.

- از هر ۳۰ متر مکعب بتن یا هر ۱۵۰ متر مربع سطح دال و دیوار و بلوک‌ها و صندوقه‌ها حداقل یک نوبت نمونه‌برداری از هر نوع و رده بتن (هر کدام زودتر حاصل شود)
- از هر ۲۰ متر مکعب بتن یا هر ۱۰۰ متر طول تیر یا کلاف (در صورت جدا بودن از دال) حداقل یک نوبت نمونه برداری از هر نوع و رده بتن (هر کدام زودتر حاصل شود)
- از هر ۱۰ متر مکعب بتن یا هر ۵۰ متر طول ستون حداقل یک نوبت نمونه‌برداری از هر نوع و رده بتن (هر کدام زودتر حاصل شود)
- حداقل یک نوبت نمونه‌برداری در هر روز برای هر نوع و رده بتن به نحوی که تعداد نوبت‌های نمونه‌برداری در یک سازه برای هر نوع و رده بتن از ۶ نوبت کمتر نشود.

اگر حجم هر نوبت بتن‌ریزی از یک متر مکعب به مراتب بیشتر شود (تا حداکثر ۴ متر مکعب)، مقادیر فوق متناسبا افزایش می‌یابد، به عبارتی تعداد نوبت‌های نمونه‌برداری کاهش می‌یابد.

در کنترل کارایی دستگاه نظارت می‌تواند هر محموله را مورد بررسی قرار دهد.

۳-۵-۲- ارزیابی مقاومت فشاری و انطباق آن با رده مورد نظر

در ابتدا باید نتیجه هر نوبت نمونه‌برداری را در سن مقاومت مشخصه ثبت کرده و آنها را به ترتیب تاریخ و ساعت نمونه‌برداری فهرست نمود. مسلما در این مرحله نتایج هر آزمونه کاربردی ندارد. انطباق با رده مورد نظر در دو حالت زیر برقرار است:

الف) اگر در نتایج موجود نتیجه‌ای کمتر از مقاومت مشخصه وجود نداشته باشد، در غیر این صورت وقتی انطباق وجود دارد که هر دو شرط بند (ب)، برقرار باشد.

ب) میانگین هر سه نتیجه متوالی نوبت‌های نمونه‌برداری کمتر از مقاومت مشخصه به اضافه ۱/۵ مگاپاسکال نباشد و هیچ یک از نتایج بیش از ۴ مگاپاسکال کمتر از مقاومت مشخصه نباشد.

در صورتی که انطباق با رده حاصل نباشد اما میانگین هر سه نتیجه متوالی کمتر از مقاومت مشخصه نباشد و هیچ یک از نتایج نیز بیش از ۴ مگاپاسکال کمتر از مقاومت مشخصه نباشد، طراح پروژه می‌تواند به تشخیص خود، بتن را از نظر سازه‌ای بدون بررسی بیشتر (بررسی بتن کم مقاومت) بپذیرد.

در صورتی که انطباق حاصل نباشد و شرط فوق نیز برقرار نباشد، نیاز به بررسی بتن کم مقاومت وجود دارد که باید به آیین‌نامه بتن ایران و تفسیر بخش اول آن مراجعه گردد.

۳-۵-۳- ارزیابی کارایی و انطباق آن با خواسته مورد نظر

در صورتی که حداکثر خاصی برای کارایی پیش‌بینی شده باشد کارایی نباید از آن تجاوز کند و از طرفی حداقل آن نباید از ۶۰ درصد حداکثر مجاز کمتر باشد (کاهش ۴۰ درصدی نسبت به حداکثر مجاز).

در صورتی که متوسط کارایی (کارایی هدف) مشخص شده باشد رواداری کارایی ۲۵± درصد متوسط مزبور خواهد بود.

در صورتی که از بتن خود تراکم استفاده شود کاهش کارایی نباید آنقدر باشد که بتن را از حالت خود تراکم خارج نماید.

۳-۵-۴- ارزیابی دوام بتن و انطباق آن بر دوام مشخصه

با توجه به دوام مشخصه که در بند (۳-۵-۵)، بدان اشاره می‌شود، دوام بتن مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و انطباق بر دوام مورد نظر بررسی می‌گردد. بدین منظور شبیه آنچه در ارزیابی مقاومت مشاهده شد، عمل می‌گردد و انطباق در دو حالت زیر برقرار می‌شود:

الف) اگر در نتایج موجود (میانگین آزمونه‌های هر نوبت نمونه‌برداری) نتیجه‌ای ضعیف‌تر مشاهده نشود انطباق از نظر دوامی حاصل است. در غیر این صورت انطباق زمانی وجود دارد که هر دو شرط بند (ب)، برقرار باشد.

ب) میانگین هر سه نتیجه متوالی ضعیف‌تر از دوامی که ۵ درصد از دوام مشخصه بهتر است، نباشد و هیچ یک از نتایج بیش از ۱۵درصد ضعیف‌تر از دوام مشخصه نباشد.

اگر شرط (ب) نیز برقرار نباشد اما میانگین هر سه نتیجه متوالی ضعیف‌تر از دوام مشخصه نباشد و هیچ یک از نتایج نیز بیش از ۱۵درصد ضعیف‌تر از دوام مشخصه نباشد، می‌توان از نظر دوامی بتن را پذیرفت هر چند انطباق با دوام مشخصه برقرار نباشد.

۳-۵-۵- ضوابط دوام مشخصه بتن در سازه‌های دریایی

در حال حاضر در این متن از چهار پارامتر برای ارزیابی دوام بتن در سازه‌های دریایی استفاده می‌شود.

آزمایش مقاومت ویژه الکتریکی را می‌توان به سهولت در زمان بسیار کوتاهی و در هر سن بر روی نمونه اشباع از آب انجام داد و بدین لحاظ انجام آن بر روی همه نمونه‌های کنترلی (آزمایشی) مانند آزمایش مقاومت فشاری توصیه می‌شود. همچنین می‌توان بدون ساخت آزمونه‌های خاص، این آزمایش را بر روی آزمونه‌های مقاومت فشاری قبل از خشک شدن سطوح آن و قبل از کلاهک‌گذاری (کپینگ) پیوسته (متصل) بر روی آزمونه استوانه‌ای و یا بر روی آزمونه مکعبی شکل انجام داد.

آزمایش جذب آب نیم‌ساعته نیاز به آزمونه‌های مغزه‌گیری شده از آزمونه‌های مکعبی یا دال شکل دارد و باید به مدت حداقل سه روز آن را خشک کرد.

آزمایش عمق نفوذ آب نیاز به آزمونه‌های خاص خود (حداقل به ابعاد ۱۵۰ میلی‌متر) به شکل استوانه‌ای یا مکعبی و نیاز به صرف وقت در حدود ۳ روز دارد.

آزمایش نفوذ سریع یون کلرید (شاخص عبور جریان الکتریکی یا شاخص مقاومت در برابر نفوذ یون کلرید) نیاز به آزمونه‌های استوانه‌ای به قطر حدود ۱۰۰ میلی‌متر و یا مغزه به قطر حدود ۱۰۰ میلی‌متر دارد و لازم است طی مدت چندین ساعت آن را اشباع کرد و انجام آزمایش آن از ابتدا تا انتها در حدود یک روز به طول می‌انجامد. لذا پیشنهاد می‌شود بسته به اهمیت پروژه در ۱۰ تا ۳۰ نوبت نمونه‌برداری، یک نوبت آزمایش نفوذ سریع یون کلرید انجام شود و در

صورتی که نیاز باشد آزمایش جذب آب نیم ساعته و عمق نفوذ آب نیز یک بار در هر ۱۰ تا ۳۰ نوبت نمونه‌برداری انجام گردد. کلیه آزمایش‌ها زمانی انجام می‌شود که آزمونه‌ها سن ۲۸ روز (سن مقاومت مشخصه) را دارا می‌باشند.

در جدول (۳-۱۵) ضوابط دوام مشخصه بتن در سازه‌های دریایی ارائه شده است.

(۱) آزمایش جذب آب نیم‌ساعته طبق استاندارد BS 1881:122، آزمایش عمق نفوذ آب تحت فشار طبق 12390:8 EN و آزمایش نفوذ سریع یون کلرید طبق ASTM C1202 انجام می‌شود. آزمایش مقاومت ویژه الکتریکی با یک دستگاه تعیین مقاومت الکتریکی و ترجیحا با جریان متناوب با فرکانس ۱ KHz انجام می‌شود و دو صفحه برنجی برای قرار دادن در دو انتهای بتن همراه با خمیر سیمان تازه برای اتصال بهتر به کار می‌رود. مقاومت ویژه الکتریکی ρ_z پس از تعیین مقاومت الکتریکی Z از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$\rho_z = \frac{Z.A}{L} \qquad (۳-۲)$$

که در آن:

Z: مقاومت الکتریکی اندازه‌گیری شده (اهم)

A: سطح مقطع نمونه (متر مربع)

L: ارتفاع نمونه (فاصله دو صفحه برنجی) (متر)

(۲) مقادیر ارائه شده در جدول (۳-۱۵) برای عمر مفید حدود ۳۰ سال می‌باشد. در صورتی که در بتن مسلح و پیش‌تنیده عمر ۵۰ سال انتظار برود مقاومت ویژه الکتریکی را باید ۵۰ درصد افزایش داد و نتیجه نفوذ سریع یون کلرید باید در $\frac{۲}{۳}$ ضرب شود. همچنین جذب آب نیم‌ساعته و عمق نفوذ آب تحت فشار نیز باید در $\frac{۲}{۳}$ ضرب گردد. بدیهی است ممکن است نیاز به کاهش شدید نسبت آب به سیمان و مصرف مواد مکمل در این حالت وجود داشته باشد.

جدول ۳-۱۵- ضوابط دوام مشخصه بتن در سازه‌های دریایی

نوع بتن	نام منطقه یا دریا	شرایط تماس یا رویارویی با آب دریا	مقاومت ویژه الکتریکی (Ω.m)	جذب آب نیم‌ساعته (درصد)	عمق نفوذ آب تحت فشار (میلی‌متر)	نفوذ سریع یون کلرید (کولمب)
غیر مسلح	خلیج فارس و دریای عمان و دریاچه ارومیه	جزر و مد، پاشش و ضربات امواج	۸۰	۳	۳۰	۳۰۰۰
		دائما مغروق، دائما مدفون، بیرون آب و بدون تعریق	۶۰	۴	۵۰	۴۰۰۰
		بیرون آب، بالای سطح آب با تعریق	۸۰	۳	۳۰	۳۰۰۰
	دریای خزر و سایر آب‌ها	جزر و مد، پاشش و ضربات امواج	۸۰	۳	۳۰	۳۰۰۰
		دائما مغروق، دائما مدفون، بیرون آب و بدون تعریق	۶۰	۴	۵۰	۴۰۰۰
		بیرون آب، بالای سطح آب با تعریق	۸۰	۳	۳۰	۳۰۰۰

جدول ۳-۱۵-ادامه- ضوابط دوام مشخصه بتن در سازه‌های دریایی

مسلح	خلیج فارس و دریای عمان و دریاچه ارومیه	جزر و مد، پاشش و ضربات امواج	۱۲۰	۲	۱۰	۲۰۰۰
		دائما مغروق، دائما مدفون، بیرون آب و بدون تعریق	۸۰	۳	۳۰	۳۰۰۰
		بیرون آب، بالای سطح آب با تعریق	۱۲۰	۲	۱۰	۲۰۰۰
	دریای خزر و سایرآب‌ها	جزر و مد، پاشش و ضربات امواج	۸۰	۳	۳۰	۳۰۰۰
		دائما مغروق، دائما مدفون، بیرون آب و بدون تعریق	۶۰	۴	۵۰	۴۰۰۰
		بیرون آب، بالای سطح آب با تعریق	۸۰	۳	۳۰	۳۰۰۰

۳-۵-۶- یون کلرید و سولفات مجاز در بتن به هنگام ساخت سازه‌های دریایی

۳-۵-۶-۱- یون کلرید مجاز اولیه بتن

یون کلرید اولیه بتن به دو صورت یون کلرید محلول در آب (آزاد) و یون کلرید محلول در اسید (کل) طبق استانداردهای ISIRI 8946 و ISIRI 8947 یا ASTM C1218 و ASTM C1152 به‌دست می‌آید. همواره یون کلرید محلول در اسید بیشتر از یون کلرید محلول در آب می‌باشد. پیوندهای فیزیکی و شیمیایی بین یون کلرید و محصولات هیدراسیون خمیر سیمان باعث می‌شود تا این اختلاف به‌وجود آید.

اگر با جمع‌کردن یون کلرید اجزای بتن، یون کلرید بتن بدست آید معمولا نزدیک به یون کلرید محلول در اسید خواهد بود و با آن مقایسه خواهد شد.

جدول۳-۱۶- حداکثر مجاز یون کلرید اولیه بتن به منظور پرهیز از شروع زود هنگام خوردگی میلگردها در بتن مسلح و پیش‌تنیده

نوع بتن و شرایط رویارویی	درصد کلرید محلول در آب موجود در بتن نسبت به وزن مواد سیمانی	درصد کلرید محلول در اسید موجود در بتن نسبت به وزن مواد سیمانی
بتن پیش‌تنیده که در زمان بهره‌برداری در معرض رطوبت، کلرید و اکسیژن قرار دارد	۰/۰۶*	۰/۰۸*
بتن مسلح که در زمان بهره‌برداری در معرض رطوبت، کلر و اکسیژن قرار می‌گیرد	۰/۱۵	۰/۲
بتن مسلح که در معرض رطوبت و کلرید قرار دارد اما فاقد اکسیژن کافی است (مغروق یا مدفون)	۰/۳	۰/۴
بتن مسلحی که در زمان بهره‌برداری از رطوبت و یون کلرید محافظت می‌شود	۱/۰۰	۱/۳۳

* درصورتی که بتن پیش‌تنیده در معرض اکسیژن نباشد (حالت دائما مغروق یا مدفون در خاک) این مقادیر می‌تواند دو برابر شود.

۳-۵-۶-۲- یون سولفات مجاز موجود در بتن در هنگام ساخت سازه‌های دریایی بر حسب SO_3

یون سولفات موجود در بتن از جمع‌کردن SO_3 موجود در اجزای بتن بدست می‌آید که عمدتا مربوط به سیمان است. SO_3 نیز به دو صورت سولفات محلول در آب و سولفات کل (محلول در اسید) اندازه‌گیری می‌شود. برای محاسبه SO_3 در بتن همه SO_3 ها باید از یک جنس باشند.

جدول ۳-۱۷- حداکثر مجاز یون سولفات اولیه (SO_3) موجود در بتن در ساخت سازه‌های دریایی بر حسب وزن سیمان بتن

	یون سولفات SO_3 محلول در آب موجود در بتن	یون سولفات SO_3 کل بتن
بتن مسلح یا پیش‌تنیده	۳/۲	۴
بتن غیر مسلح	۴	۵

۳-۶- ساخت و اجرای بتن

انبار کردن اجزای بتن، توزین یا پیمانه کردن اجزای بتن، اختلاط بتن، حمل و ریختن، جایدهی و تراکم، پرداخت و عمل‌آوری آن از مراحل مهم ساخت و اجرای بتن می‌باشد که کنترل و تضمین کیفیت نیز با آن همراه است. در ساخت و اجرای سازه‌های دریایی باید به نکات زیر در مورد هر مرحله از ساخت توجه ویژه‌ای مبذول گردد. همچنین باید به نکاتی که در آیین‌نامه بتن ایران بدان اشاره شده است توجه شود.

۳-۶-۱- انبار کردن اجزای بتن

علاوه بر آنچه در آیین‌نامه بتن ایران و تفسیر بخش اول آن آمده است، به نکات زیر توجه گردد.

۳-۶-۱-۱- انبار کردن سیمان

- با توجه به شرایط ویژه حاکم در مناطق ساحلی، سیمان فله‌ای باید حتما در سیلوی فلزی به مدت حداکثر ۲ ماه نگهداری شود. سیمان پاکتی در انبار مناسب و خشک با ارتفاع حداکثر ۸ پاکت سیمان به مدت حداکثر ۲ ماه نگهداری شود.

- دمای سیمان در طول نگهداری و بویژه در هنگام مصرف از ۶۰ درجه سانتیگراد تجاوز نکند.

- در صورت مشاهده کلوخه سیمان، قبل از انجام آزمایش افت سرخ شدن و مقاومت فشاری ملات ماسه سیمان استاندارد، از آن در بتن سازی‌های مهم تا متوسط استفاده نگردد.

۳-۶-۱-۲- انبار کردن سنگدانه

- از تماس آب دریا با سنگدانه جلوگیری شود.

- به مدت طولانی سنگدانه‌ها در معرض بادهای ساحلی حاوی یون کلرید قرار نگیرند.

- اجازه داده نشود دمای سنگدانه‌ها به بیش از ۵۰ درجه سانتیگراد برسد (به‌ویژه قبل از مصرف)

- بهتر است سنگدانه‌ها در محل سرپوشیده یا دارای سایه‌بان باشد و یا پوششی بر روی آن در مواقعی که بتن‌سازی متوقف است کشیده شود.

- ماسه‌های شسته قبل از انبار شدن در پشت بتن‌ساز مرکزی (بچینگ) در محل دیگری ریخته شود و پس از یک یا دو روز هنگامی که از ثبات رطوبتی برخوردار شد به پشت بتن‌ساز انتقال داده شود.

۳-۶-۱-۳- آب

آب باید در مخازن تمیز نگهداری شود. بهتر است مخازن مزبور مدفون در زمین باشد تا از تغییرات شدید روزانه و فصلی در امان باشد. مخازن نباید دارای جلبک و سبزینه باشد و باید مرتبا تمیز گردد. دمای آب مصرفی نباید از ۶۰ درجه سانتی‌گراد تجاوز کند.

۳-۶-۱-۴- افزودنی‌ها

افزودنی‌های مختلف باید طبق دستور سازنده از نظر دما، رطوبت و تابش آفتاب نگهداری شوند.ترجیح دارد افزودنی‌ها در محل سرپوشیده و بدور از آفتاب مستقیم باشد. به‌ویژه افزودنی‌های آلی نباید حتی در هوای خنک نیز در معرض تابش مستقیم آفتاب باشد. در صورتی که تاریخ مصرف افزودنی‌ها به سر آمده باشد نباید آنها را مصرف کرد مگر اینکه سازنده آنها صحت عملکرد آنها را تایید کند.

هر چند دوده سیلیسی و سایر پوزولان‌های طبیعی و مصنوعی و روباره‌ها در معرض رطوبت واکنش نمی‌دهند اما به دلیل سهولت اجرا و عدم نیاز به رطوبت‌سنجی آنها، بهتر است در محل خشک و به دور از بارش باران و برف نگهداری شوند. رطوبت می‌تواند باعث خیس شدن و کلوخه شدن آنها شود و نتوان آنها را تخلیه و توزین نمود.

برخی خاکسترهای بادی که حاوی اکسید کلسیم قابل توجهی هستند (نوع C) در مجاورت رطوبت واکنش پوزولانی می‌دهند و باید به شدت در برابر رطوبت محافظت شوند.

مراقبت شود تا علامت‌های شناسایی روی بسته‌بندی افزودنی‌ها در مرحله انبارکردن و جابجایی‌های معمول از بین نرود.

۳-۶-۱-۵- الیاف

الیاف باید طبق دستور تولید کننده در انبار نگهداری شود. الیاف پلیمری باید در محل سرپوشیده و دور از آفتاب مستقیم نگهداری شود. الیاف باید در برابر بارش حفاظت گردد.

۳-۶-۲- توزین و پیمانه کردن اجزای بتن

علاوه بر آنچه در آیین‌نامه بتن ایران و تفسیر بخش اول آن آمده است، به نکات زیر توجه ویژه‌ای مبذول گردد.

- به دلیل حساسیت کنترل نسبت آب به سیمان، رطوبت سنگدانه‌ها منظور گردد و مقدار سنگدانه و آب مصرفی بدست آید.
- استفاده از دستگاه‌هایی که دارای حسگر رطوبتی و نرم افزار محاسباتی تعدیل مقادیر اجزای بتن هستند توصیه می‌شود. با این حال این دستگاه‌ها فقط در مورد ماسه عمل می‌کنند و برای شن باید مستقیما وارد عمل شد.

۳-۶-۳- اختلاط بتن

علاوه بر آنچه در آیین‌نامه بتن ایران و تفسیر بخش اول آن آمده است، به نکات زیر توجه شود.

- امکان اختلاط کامل با تراکم یکسر وجود دارد مشروط بر اینکه حجم بتن مخلوط شده از دو سوم حجم اسمی دیگ تجاوز نکند، حداکثر اندازه سنگدانه از ۵۰ میلی‌متر بیشتر نباشد، اسلامپ بتن کمتر از ۵۰ میلی‌متر نباشد، دوده سیلیسی پودری خشک مصرف نشود و پس از ریختن آخرین جزء بتن، دیگ با دور تند ۷۰ تا ۱۰۰ دور بچرخد. می‌توان بخشی از اختلاط را در بچینگ و بخش دیگری را در تراکم میکسر به انجام رسانید.
- در صورتی که از مخلوط‌کن‌های گرانشی (پره متصل به دیگ) استفاده شود رعایت نکات فوق ضروری است و در صورت چرخاندن دیگ طبق دستور سازنده، حداقل ۱/۵ دقیقه اختلاط مورد نیاز است.
- در صورتی که از مخلوط‌کن‌های اجباری (پره جدا از دیگ) استفاده شود محدودیت‌های حداکثر اندازه سنگدانه، اسلامپ و مصرف دوده سیلیسی پودری خشک بر طرف می‌شود اما به هر حال باید حداقل زمان اختلاط با توجه به نتایج آزمایش‌های محلی مشخص و رعایت گردد.
- رواداری نسبت آب به سیمان ۰/۰۲± و رواداری اسلامپ ۲۵± درصد اسلامپ متوسط (هدف) یا ۴۰- درصد حداکثر مجاز اسلامپ می‌باشد.
- بهتر است دوده سیلیسی به صورت دوغاب درآید و به بتن اضافه شود. بدیهی است آب موجود در دوغاب باید از آب مصرفی بتن کاسته شود.
- حداکثر دمای مجاز مخلوط بتن در هوای گرم ۲۸ درجه سانتی‌گراد می‌باشد مگر اینکه دمای کمتری در مشخصات فنی لحاظ شده باشد.

۳-۶-۴- حمل و ریختن و جای‌دهی بتن

علاوه بر آنچه در آیین‌نامه بتن ایران و تفسیر بخش اول آن آمده است، به نکات زیر توجه شود.

- هر وسیله یا هر روشی که به جداشدگی بتن بیانجامد مردود است و باید تغییر داده شود. برخی وسائل استعداد جداشدگی در بتن را شکوفاتر می‌کنند و باید با احتیاط یا تدابیر خاص به کار روند.
- حمل با تراکم یکسر در شرایط هوای معمولی و خنک تا مدت ۱/۵ ساعت میسر است مشروط بر اینکه جمع دورهای چرخش از ۳۰۰ دور (تند و کند) تجاوز نکند. در هوای گرم ممکن است این مدت را حتی به ۰/۵ ساعت محدود نمود.
- وقفه در انتقال نباید در حدی باشد که سبب از دست رفتن حالت خمیری بتن بین بتن‌ریزی‌های متوالی شود زیرا در این حالت درز سرد به وجود می‌آید.
- هنگام ریختن بتن در قالب دمای بتن نباید از ۳۰ درجه سانتی‌گراد تجاوز کند. در هوای سرد این دما نباید از حد مجازی که در آیین‌نامه بتن ایران آمده است کمتر شود اما در هر صورت نباید از ۵ درجه سانتی‌گراد کمتر باشد.
- در بتن‌ریزی با پمپ و لوله، به دلیل گرم شدن جداره لوله و بتن مجاور آن به‌ویژه در هوای گرم می‌تواند باعث بروز مشکل گردد که خنک کردن لوله پمپ توصیه می‌شود. به کارگیری اسلامپ بیشتر، دانه‌بندی مناسب و وجود ریزدانه کافی و پرهیز از مصرف سیمان و ریزدانه‌های اضافی و استفاده از شکل گرد گوشه در سنگدانه‌های ریز می‌تواند مشکل را کاهش دهد. وجود دوده سیلیسی مشکل پمپ کردن بتن را بیشتر می‌کند. مصرف فوق روان‌کننده در این حالت کمک بزرگی محسوب می‌شود.
- بجز در مورد بتن خودتراکم و بتن دال‌ها، بتن باید در لایه‌هایی به ضخامت ۱۵۰ تا ۶۰۰ میلی‌متر ریخته و متراکم شود.
- در بتن‌ریزی باید سعی شود از ریختن بتن به صورت مورب و با سرعت زدن بتن به قالب قائم و برخورد مکرر بتن در ارتفاع با میلگردها جلوگیری شود. ارتفاع زیاد می‌تواند به جداشدگی بیشتر چنین بتن‌هایی منجر شود. استفاده از لوله یا قیف هادی و شوت سقوطی می‌تواند کمک موثری برای جلوگیری از بروز مشکل باشد.
- بتن باید به خوبی اطراف میلگردها را پر کند و روانی مطلوب را داشته باشد. بنابراین بتن باید با روانی مناسب چنان ساخته شود که در هنگام ریختن، روانی مطلوب را دارا باشد و افت اسلامپ در طول حمل و معطلی‌های معمول در اسلامپ اولیه پیش‌بینی گردد.

۳-۶-۵- تراکم بتن

باید طبق آیین‌نامه بتن ایران و تفسیر بخش اول آن تراکم بتن را انجام داد و به نکات زیر توجه نمود.

- در صورت استفاده از لرزاننده خرطومی، لازم است با توجه به روانی بتن، حداکثر اندازه سنگدانه و ابعاد قطعه و فاصله میلگردها نسبت به انتخاب قطر مناسب لرزاننده اقدام کرد.

- هدف از تراکم، خروج هوای غیرعمدی بتن است. تراکم لرزشی نباید به جداشدگی آن بیانجامد. لرزش زیاده از حد و یا استفاده از لرزاننده قوی با قطر بیش از حد موجب پایین رفتن سنگدانه‌ها و بالا آمدن شیره بتن می‌گردد.
- لرزاننده خرطومی باید بصورت عمودی و در فواصل یکنواخت به درون بتن فرو برده شود و تا زمانی که هوای بتن خارج شود و شیره شروع به رو زدن نماید باید ادامه یابد. فاصله مناسب بین نقاط فرو بردن لرزاننده، ۱/۵ برابر شعاع عمل موثر آن می‌باشد. پس از اینکه لرزاندن کامل شد، لرزاننده را باید به آرامی خارج کرد.
- تراکم دال‌های نازک و بخش فوقانی تیر و دال با وسائل تراکم دستی مانند تخته ماله میسر است. در تراکم مجدد نیز می‌توان از تخته ماله استفاده کرد و ترک‌های سطحی خمیری یا ترک‌های ناشی از نشست خمیری را کاهش داد.
- توصیه می‌شود در فاصله نیم تا دو ساعت پس از تراکم اولیه مشروط بر اینکه بتن دچار گیرش نشده باشد آن‌را مجددا متراکم نمود تا کیفیت مکانیکی و دوام آن افزایش یابد. در قسمت فوقانی ستون و دیوار، تراکم مجدد به کاهش ترک خوردگی افقی در بخش‌های فوقانی منجر می‌گردد.

۳-۶-۶- پرداخت سطح بتن

مشکل بزرگ در پرداخت سطح فوقانی قطعات به‌ویژه دال‌ها و کف‌ها، آب انداختن بتن می‌باشد. پرداخت سطح بتن پس از آب انداختن و از بین رفتن یا از بین بردن آب رو زده باید آغاز گردد در غیر این صورت باعث ضعیف شدن لایه سطحی بتن و کاهش مقاومت و دوام سایشی و افزایش نفوذپذیری آن می‌گردد. علاوه بر آنچه در آیین‌نامه بتن ایران و تفسیر بخش اول آن آمده است، باید به نکات زیر توجه شود.

- نباید با آب رو زده پرداخت را انجام داد و نباید با ریختن پودر سیمان و پودر سنگ سطح بتن را پرداخت نمود.
- پس از حذف آب رو زده باید با ضربه زدن به سطح بتن با ماله آن را پرداخت نمود.
- نباید اجازه داد قبل از پرداخت، سطح بتن خشک شود و ترک بخورد و حفاظت آن توسط نایلون یا مواد مشابه امکان‌پذیر است.

۳-۶-۷- عمل‌آوری بتن

ضمن توجه به نکاتی که در آیین‌نامه بتن ایران و تفسیر آن آمده است به نکات زیر در عمل‌آوری باید توجه کرد. از آنجا که دوام بتن در سازه‌های دریایی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، نیاز به رعایت موارد خاصی وجود دارد.

۳-۶-۷-۱

عمل‌آوری رطوبتی با رطوبت‌رسانی مستقیم و غیرمستقیم به عمل‌آوری صرفا عایقی (صرفا جلوگیری از تبخیر) همواره ارجحیت دارد و توصیه می‌شود تا در صورت عدم اضطرار، از روش‌های توام با رطوبت‌رسانی استفاده شود، به‌ویژه اگر نسبت آب به سیمان بیشتر از ۰/۴۲ نباشد.

حداقل مدت عمل‌آوری رطوبتی به کیفیت عمل‌آوری، نوع سیمان و افزودنی‌ها، دمای محیط مجاور یا سطح بتن و شرایط محیطی از نظر رطوبتی و وزش باد و تابش آفتاب ارتباط دارد. همچنین نوع بتن از نظر مقاومتی و دوامی و نسبت آب به سیمان در این مدت بی‌تاثیر نیست. از آنجا که بخشی از عمل‌آوری به صورت طبیعی پس از عمل‌آوری عمدی در کارگاه و در محیط مجاور انجام می‌شود و امکان خسارت و ترک‌خوردگی در محیط‌های خشک و دارای باد و آفتاب بیشتر است، هر چه شرایط محیطی ضعیف‌تر باشد، مدت عمل‌آوری عمدی باید بیشتر گردد. به همین دلیل اگر شرایط محیطی خوب باشد آیین‌نامه‌ها هیچ زمان خاصی را برای عمل‌آوری رطوبتی توصیه نمی‌کنند و می‌توان بتن را از همان ابتدا بدون تدابیر خاصی رها نمود. دمای آب عمل‌آوری نباید بیش از ۱۲ درجه سانتی‌گراد کمتر از دمای بتن باشد. در طول عمل‌آوری رطوبتی نباید وقفه ایجاد شود و تری و خشکی پی‌درپی به کیفیت بتن لطمه می‌رساند.

حداقل مدت عمل‌آوری رطوبتی با توجه به رابطه بلوغ طبق جدول (۳-۱۸) به‌دست می‌آید.

۳-۶-۷-۲- عمل‌آوری حرارتی

بهترین راه برای عمل‌آوری حرارتی استفاده از بخار آب است. در روش‌های گرمارسانی با وسایل دیگر باید مراقب بود تا بتن دچار خشک‌شدگی و ترک‌خوردگی نشود و رطوبت خود را از دست ندهد.

برای شروع گرمارسانی باید منتظر گیرش اولیه بتن شد. این مدت زمان تاخیر در گرمادهی نام دارد و معمولا بسته به دمای بتن و هوای مجاور و نوع مواد سیمانی بین ۱ تا ۳ ساعت پس از ریختن و تراکم آن می‌باشد. اگر به دلیل دمای کم، گیرش به تعویق افتد می‌توان دما را تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد قبل از گیرش افزایش داد.

آهنگ افزایش دمای بتن برای قطعات نازک ۲۵ °C/hr و برای قطعات ضخیم ۱۰ °C/hr می باشد. حداکثر دمای مجاز بتن در عمل‌آوری حرارتی ۶۵ درجه سانتی‌گراد و حداکثر دمای محیط عمل‌آوری ۷۵ درجه سانتیگراد می‌باشد. آهنگ کاهش دمای بتن پس از خاتمه مدت عمل‌آوری برای قطعات نازک ۲۰ °C/hr و برای قطعات ضخیم ۵ °C/hr می باشد.

حداکثر مدت بخاردهی بتن با دمای زیاد با احتساب زمان تاخیر، افزایش دما و کاهش دما بهتر است از ۱۸ ساعت تجاوز نکند.

برای دانستن مقاومت بتن پس از مدت خاص عمل‌آوری می‌توان از نمونه آگاهی استفاده نمود و بدین ترتیب مدت دقیق عمل‌آوری را مشخص کرد.

طبق آیین‌نامه بتن ایران و تفسیر آن می‌توان کفایت مدت و روش عمل‌آوری را با تهیه نمونه‌های عمل‌آمده در شرایط عمل‌آوری کارگاهی و مقایسه آن با نمونه‌های عمل‌آمده در شرایط استاندارد آزمایشگاهی کنترل نمود.

جدول ۳-۱۸- حداقل مدت عمل‌آوری رطوبتی با توجه به نوع سیمان، شرایط محیطی و دمای محیط بر حسب روز

روند هیدراسیون / شرایط محیطی	خیلی سریع	سریع	متوسط	کند	خیلی کند
ضعیف	$\frac{120}{T+10}$	$\frac{150}{T+10}$	$\frac{180}{T+10}$	$\frac{210}{T+10}$	$\frac{240}{T+10}$
متوسط	$\frac{90}{T+10}$	$\frac{120}{T+10}$	$\frac{150}{T+10}$	$\frac{180}{T+10}$	$\frac{210}{T+10}$
خوب	-	-	-	-	-

- T متوسط دمای سطح بتن در شبانه روز و یا دمای متوسط هوای مجاور سطح بتن در شبانه‌روز می‌باشد. در این رابطه T تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد اعتبار دارد.

- شرایط محیطی خوب، وجود رطوبت نسبی بالاتر از ۸۵ درصد و بدون وزش باد و آفتاب مستقیم در تمام مدت پس از عمل‌آوری می‌باشد.

- شرایط محیطی ضعیف، وجود رطوبت نسبی کمتر از ۵۰ درصد و همراه وزش باد و آفتاب مستقیم در تمام مدت پس از عمل‌آوری است.

- شرایط محیطی متوسط، شرایطی بین حالت خوب و ضعیف می‌باشد.

- سیمان پرتلند نوع ۳ (با مقاومت اولیه زیاد) از روند هیدراسیون خیلی سریع، سیمان پرتلند نوع ۴۲۵-۱ و ۵۲۵-۱ از هیدراسیون سریع، سیمان پرتلند نوع ۳۲۵-۱ و نوع ۲ و سیمان پرتلند سفید و پرتلند آهکی از هیدراسیون با سرعت متوسط، سیمان پرتلند نوع ۵ و سیمان پرتلند پوزولانی (با کمتر از ۱۵ درصد پوزولان) و سیمان پرتلند سرباره‌ای (با کمتر از ۲۵ درصد سرباره) از روند هیدراسیون کند و سیمان پرتلند نوع ۴، سیمان پرتلند پوزولانی ویژه (با پوزولان بیش از ۱۵ درصد) و سیمان پرتلند سرباره‌ای ضد سولفات (با سرباره بیش از ۲۵ درصد) از روند هیدراسیون خیلی‌کند برخوردار هستند.

- استفاده از افزودنی‌های زودگیر کننده یا دیرگیر کننده، روند هیدراسیون را یک درجه بالا یا پایین می‌آورند.

- استفاده از دوده سیلیسی در بتن بر خلاف سایر پوزولان‌ها و سرباره‌ها باعث تغییر در روند هیدراسیون نمی‌شود.

- در صورتی که عمل‌آوری تسریع شده با دمای متوسط بیش از ۳۰ درجه سانتیگراد انجام شود رابطه ارائه شده اعتبار ندارد و عملا مدت عمل‌آوری به مراتب کمتر از مقدار محاسبه شده از رابطه مزبور خواهد بود.

فصل ۴

مصالح قیری

۴-۱- کلیات

مصالح قیری مورد استفاده در تاسیسات بندر و لنگرگاه باید کیفیت و عملکرد مورد نیاز در رابطه با مواردی چون خاصیت ارتجاعی، چسبندگی، نفوذناپذیری، ضد آب بودن، دوام و مقاوم در برابر هوازدگی تامین نماید.

تفسیر

۱) امروزه قیر پرکاربردترین مصالح قیری مورد استفاده در تاسیسات بندر و لنگرگاه می‌باشد. دو نوع قیر طبیعی و پایه نفتی وجود دارد که از نوع نفتی بیشتر استفاده می‌گردد. در اینجا منظور از قیر همان قیر پایه نفتی می‌باشد مگر اینکه دقیقا ذکر گردد. دیگر مصالح قیری علاوه بر قیر، قطران، زفت (باقیمانده قطران تقطیر شده) و محلول قیری می‌باشند.

۲) مصالح قیری به ندرت برای عایق‌بندی استفاده می‌شوند. به طور مثال از قیر به همراه سنگدانه برای روسازی آسفالتی، کرباس‌های آسفالتی، ماسه با بتونه قیری و تثبیت قیری استفاده می‌گردد. نوع و نسبت اختلاط قیر به کاربرد آن بستگی داشته و بنابراین انتخاب مصالحی که احتیاج پروژه را بر طرف کند مهم می‌باشد.

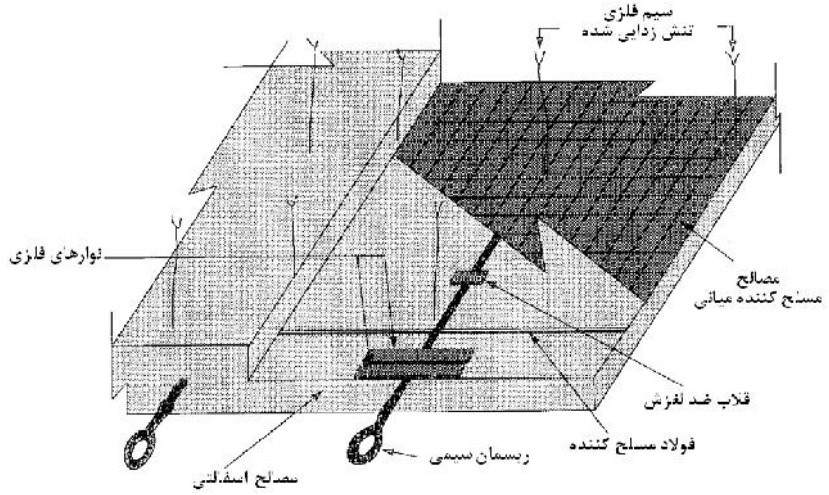
۴-۲- کرباس‌های آسفالتی

۴-۲-۱- کلیات

کرباس‌های آسفالتی با توجه به مقاومت، دوام و کارایی مورد نیاز مطابق کاربرد آن، محل اجرا و شرایط دریایی محلی، باید ساختار مناسبی داشته باشد.

تفسیر

کرباس آسفالتی از مصالح مسلح‌کننده مدفون و ریسمان‌های سیمی برای قرارگیری داخل مصالح ترکیبی شامل قیر، پرکننده آهکی، ماسه و شن ساخته شده و سپس شبیه به آنچه در شکل (۳-۲) نشان داده شده است مانند فرش پهن می‌شود.



شکل ۳-۲- نمونه‌ای از ساختار کرباس آسفالتی افزایش دهنده اصطکاک

۴-۲-۲- مصالح

مصالح کرباس آسفالتی به گونه‌ای انتخاب می‌گردد تا به طور مناسبی مقاومت و دوام لازم را تامین کند.

تفسیر

مصالح زیر در کرباس آسفالتی استفاده می‌شوند:

۱) قیر

قیر مورد استفاده در کرباس آسفالتی باید قیر عادی یا دمیده بوده و مطابق ISIRI 124,125,126 (مشخصات قیر) باشد.

۲) ماسه

باید از ماسه تمیز و عاری از گرد و خاک، گل، مواد آلی و سایر مواد مضر با حداکثر اندازه ذرات ۲/۵ میلی‌متر استفاده گردد.

۳) پرکننده

باید از مصالحی مطابق ISIRI 5719 «آهک هیدراته برای استفاده در مخلوط‌های بتن قیری- ویژگی‌ها» استفاده گردد.

۴) شن

باید مصالحی مطابق آیین‌نامه روسازی آسفالتی راه‌های ایران (نشریه ۲۳۴ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی کشور) استفاده شود.

نکات فنی

۱) قیر عادی یا دمیده مطابق ISIRI 124,125,126 (مشخصات قیر) برای استفاده مناسب است. روانی خمیری و سایر ویژگی‌های این دو نوع قیر بسیار متفاوت بوده و رسیدن به مقاومت و انتقال آسان برای کرباس‌ها فقط با یکی از این دو نوع دشوار می‌باشد. بنابراین از مخلوط دو نوع قیر برای رسیدن به ویژگی‌های مورد نیاز استفاده می‌شود. در این حالت باید قیر عادی با نفوذ ۴۰ تا ۶۰ و قیر دمیده با نفوذ ۱۰ تا ۴۰ استفاده گردد.

۲) شن، درشت‌دانه‌ای می‌باشد که در کرباس‌های قیری به کار می‌رود و اثر بسیار زیادی بر مقاومت کرباس دارد. بنابراین باید از کیفیت مطلوبی برخوردار باشد. به علت مسائل اجرایی، حداکثر اندازه شن نباید از یک ششم ضخامت کرباس بیشتر باشد. در مواردی که کرباس نقش افزایش اصطکاک تحت فشار زیاد را دارد، می‌توان از اندازه‌های بزرگتر نیز استفاده نمود.

۳) به جز مصالح بالا، کرباس آسفالتی احتیاج به مصالح مسلح‌کننده و ریسمان سیمی برای تعلیق دارد که این مصالح مسلح‌کننده معمولا پارچه شیشه‌ای یا تور نوارهای الیاف شیشه می‌باشد.

۴-۲-۳- نسبت اختلاط

معمولا برای تعیین نسبت اختلاط آسفالت برای رسیدن به مقاومت و انعطاف‌پذیری مورد نیاز، از آزمایش مخلوط استفاده می‌گردد.

نکات فنی

نسبت اختلاط مورد استفاده برای آسفالت اثر زیادی بر مقاومت و انعطاف‌پذیری آن دارد. بنابراین برای تعیین آن باید آزمایش مخلوط انجام داد.

کرباس‌های افزایش اصطکاک و کرباس‌های ضد سایش تاریخ طولانی و سابقه کاربرد نسبتا زیادی دارد که باعث شده است تا امروزه در به‌کارگیری آن‌ها مشکل خاصی وجود نداشته باشد. بنابراین می‌توان از مقادیر جدول (۳-۱۹) به جز در شرایط خاص، استفاده نمود.

جدول ۳-۱۹- نسبت اختلاط معمول برای آسفالت

مصالح	نسبت اختلاط وزنی (٪)	
	کرباس‌های افزایش اصطکاک	کرباس‌های ضد سایش
قیر	۱۰ تا ۱۴	۱۰ تا ۱۴
خاک	۱۴ تا ۲۵	۱۴ تا ۲۵
ریزدانه	۲۰ تا ۵۰	۳۰ تا ۵۰
درشت دانه	۳۰ تا ۵۰	۲۵ تا ۴۰

توجه: منظور از خاک، ماسه یا پرکننده با اندازه ذرات کمتر از ۰/۰۷۵ میلی‌متر می‌باشد.
منظور از ریزدانه، شن، ماسه یا پرکننده با اندازه دانه ۰/۰۷۵ میلی‌متر تا ۴/۷۵ میلی‌متر می‌باشد.
منظور از درشت دانه، شن با اندازه دانه برابر یا بزرگتر از ۴/۷۵ میلی‌متر می‌باشد.

۴-۳- مصالح روسازی

اصولا مصالح روسازی به جز در مناطق در معرض شرایط بار ویژه، مطابق آیین‌نامه روسازی آسفالتی راه‌های ایران (نشریه ۲۳۴ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی کشور) می‌باشد.

تفسیر

عرشه باراندازها نمونه‌ای از «مناطق در معرض شرایط بار ویژه» می‌باشد. رفت و آمد بر روی روسازی (و به‌ویژه روسازی عرشه) در مناطق بندر و لنگرگاه، بر خلاف راه‌های مناطق شهری، تقریبا به‌طور یکنواخت شامل عبور وسائل نقلیه سنگین شامل ماشین‌آلات سنگین با سطح تماس فشار زیاد است. همچنین این نوع بار برای قراردهی کالاها استفاده شده و بنابراین برای کاربرد مصالح روسازی در چنین مناطقی باید مراقب بود که مصالح قیری به بارگذاری استاتیک حساس می‌باشند (به بخش ۸، فصل ۲۰، عرشه، مراجعه شود).

۴-۴- ماسه با بتونه قیری

۴-۴-۱- کلیات

نکات فنی

۱) ماسه با بتونه قیری آسفالتی است که تقریبا عاری از فضای خالی بوده و نیاز به تراکم غلتکی بعد از ریختن ندارد و از قیر گرم مخلوط شده با پرکننده با پایه سنگ معدن فلزی یا افزودنی و ماسه تشکیل می‌شود.

۲) ماسه با بتونه قیری در دمای بالای مشخصی بین فواصل قلوه‌سنگ‌ها، داخل خاکریز قلوه‌سنگی ریخته می‌شود. ماسه با بتونه قیری ریخته شده، اطراف قلوه‌سنگ‌ها را می‌پوشاند تا یک واحد را تشکیل دهد، بنابراین از بیرون افتادن و شسته‌شدن سنگ‌ها جلوگیری شود. این روش زمانی به کار می‌رود که تامین درشت دانه با اندازه مورد نیاز در محاسبات طراحی ممکن نبوده و یا غیر اقتصادی باشد. ماسه با بتونه قیری زیر آب از هم جدا نمی‌شود.

۳) برای طراحی ماسه با بتونه قیری، تمام توجه باید به روانی خمیری ناشی از ویژگی‌های مصالح قیری باشد تا مشکل پایداری به وجود نیاید.

۴-۴-۲- مصالح

مصالح مورد نیاز برای ماسه با بتونه قیری برای رسیدن به مقاومت و دوام لازم باید درست انتخاب شود.

تفسیر

۱) قیر

قیر مورد استفاده برای ماسه با بتونه قیری در زیر آب باید قیر عادی با محدوده نفوذ ۴۰ تا ۶۰، ۶۰ تا ۸۰ و یا ۸۰ تا ۱۰۰ و ISIRI 124,125,126 (مشخصات قیر) باشد.

۲) ماسه

باید از ماسه ساده عاری از خاک، گل، مواد آلی و سایر مواد مضر با حداکثر اندازه دانه ۲/۵ میلی‌متر استفاده شود.

۳) پرکننده

باید از مصالح مطابق ISIRI 5719 «آهک هیدراته برای استفاده در مخلوط‌های بتن قیری- ویژگی‌ها» استفاده نمود.

۴-۴-۳- نسبت اختلاط

نسبت اختلاط از طریق آزمایش‌های مخلوط برای بدست آوردن روانی و مقاومت لازم برای اجرا و شرایط طبیعی، تعیین می‌گردد.

نکات فنی

۱) کلیات

مقادیر معمول مورد استفاده در نسبت اختلاط برای ماسه با بتونه قیری زیر آب در جدول (۳-۲۰) مشاهده می‌شود. در جدول، منظور از خاک، ماسه یا پرکننده گذشته از الک ۰/۰۷۵ میلی‌متر بوده و ریزدانه عبارت از شن، ماسه یا پرکننده مانده روی الک ۰/۰۷۵ میلی‌متر است.

جدول ۳-۲۰- نسبت مخلوط معمول برای ماسه با بتونه قیری

مصالح	نسبت وزنی (٪)
قیر	۱۶ تا ۲۰
خاک	۱۸ تا ۲۵
ریزدانه	۵۵ تا ۶۶

۲) روش محاسبه مقدار ماسه با بتونه قیری لازم

رابطه (۴-۱) برای محاسبه مقدار ماسه با بتونه قیری لازم برای خاکریز سنگی به کار می‌رود.

$$V = \sim A(h\nu + d) \qquad (۴-۱)$$

که در آن:

V: مقدار ماسه با بتونه قیری لازم (m^3)

A: سطح خاکریز سنگی که ماسه با بتونه قیری در آن ریخته شده است (m^2)

h: ضخامت لایه سنگی که ماسه با بتونه قیری در آن ریخته شده است (متر)

ν: نسبت فضای خالی خاکریز سنگی

d: ضخامت پوشش ماسه با بتونه قیری روی خاکریز سنگی (متر)

α: شاخص ویژه با در نظر گرفتن چسبندگی داخل لایه پایینی سنگ‌ها

۳) نکات طراحی

طراحی ماسه با بتونه قیری تحت تاثیر موارد زیر می‌باشد:

الف) نباید در محلی که مستقیما تحت اثر ضربات قدرتمند فشار موج یا اجسام شناور قرار دارد، استفاده گردد.

ب) نباید در محلی که امکان نشست ناگهانی وجود دارد، استفاده شود.

پ) شیب سطح سنگ‌ها نباید بیشتر از ۱:۱/۳ باشد.

ت) بالای شیب، پنجه شیب و لبه‌های محل اجرا باید به طور مناسبی مسلح شود.

ث) رابطه بین طول عمر سازه و دوام ماسه با بتونه قیری باید کاملا مدنظر قرار گیرد.

فصل ۵

سنگ

۵-۱- کلیات

سنگ باید با توجه به کیفیت و عملکرد مورد نیاز برای رسیدن به هدف و هزینه مناسب انتخاب گردد.

نکات فنی

۱) به طور کلی از سنگ به طور فراوانی در موج‌شکن، اسکله و سایر سازه‌های بندر و لنگرگاه استفاده می‌شود. انتخاب مصالح سنگی اثر زیادی بر پایداری سازه و همچنین مدت و هزینه ساخت دارد.

۲) انواع سنگ‌هایی که به طور عمده در ساخت استفاده می‌شود به همراه ویژگی‌های فیزیکی آن‌ها در جدول (۳-۲۱) ارائه شده است. باید به این نکته توجه نمود که ممکن است ویژگی‌های فیزیکی سنگ‌هایی با رده مشابه، بسته به منطقه و محل معدن متفاوت باشد.

جدول ۳-۲۱- ویژگی‌های فیزیکی سنگ‌ها

دسته‌بندی سنگ	زیر دسته	وزن مخصوص (ظاهری)	نرخ جذب آب (٪)	مقاومت فشاری (N/mm^2)
سنگ آذرین	گرانیت	۲/۶۰ تا ۲/۷۸	۰/۰۷ تا ۰/۶۴	۸۵ تا ۱۹۰
	آندزیت	۲/۵۷ تا ۲/۷۶	۰/۲۷ تا ۱/۱۲	۷۸ تا ۲۶۹
	بازالت	۲/۶۸ (مطلق)	۱/۸۵	۸۵
	گابرو	۲/۹۱ (مطلق)	۰/۲۱	۱۷۷
	پریدوتیت	۳/۱۸	۰/۱۶	۱۸۷
	دیاباز	۲/۷۸ تا ۲/۸۵	۰/۰۰۸ تا ۰/۰۳	۱۲۳ تا ۱۸۲
سنگ رسوبی	توف	۲/۶۴	۰/۱۶	۳۷۷
	سنگ لوح	۲/۶۵ تا ۲/۷۴	۰/۰۸ تا ۱/۳۷	۵۹ تا ۱۸۵
	ماسه سنگ	۲/۲۹ تا ۲/۷۲	۰/۰۴ تا ۳/۶۵	۴۸ تا ۱۹۶
	سنگ آهک	۲/۳۶ تا ۲/۷۱	۰/۱۸ تا ۲/۵۹	۱۷ تا ۷۶
	چرت	۲/۶۴	۰/۱۴	۱۱۹
سنگ دگردیسی	هورنفلس	۲/۶۸	۰/۲۲	۱۹۱

۵-۲- قلوه سنگ برای پی

قلوه‌سنگ برای خاکریز پی باید سخت، متراکم، با دوام و عاری از ترک خوردگی ناشی از هوازدگی و یخبندان بوده و شکل قلوه‌سنگ‌ها نباید تخت یا سوزنی باشد.

تفسیر

برای تعیین نوع سنگ مورد استفاده، باید آزمایش‌های لازم انجام و ویژگی‌های مصالح کاملا معلوم شود.

نکات فنی

۱) ویژگی‌های برشی قلوه‌سنگ‌ها با استفاده از آزمایش‌های فشاری سه محوری بزرگ مقیاس مختلفی بر اساس حالت واقعی استفاده قلوه‌سنگ در عملیات اجرایی بنادر و لنگرگاه‌ها مورد مطالعه قرار گرفته است.

۲) اگر مقاومت فشاری تک محوری برابر $۳۰\ N/mm^2$ یا بیشتر باشد، برای تعیین ثابت مقاومت بدون انجام آزمایش فشاری سه محوری بزرگ مقیاس، می‌توان انتظار مقاومت برشی برابر $۰/۰۲\ N/mm^2$ و زاویه اصطکاک داخلی برابر ۳۵ درجه را داشت.

۵-۳- مصالح خاکریز

مصالح خاکریز با توجه به زاویه اصطکاک داخلی، وزن مخصوص و سایر ویژگی‌ها انتخاب می‌شود.

تفسیر

به طور کلی از قلوه سنگ، شن غربال نشده، لاشه سنگ و سرباره فولاد به عنوان مصالح خاکریز استفاده می‌گردد. ویژگی‌های مصالح گل سنگ، ماسه سنگ و سرباره فولاد بسیار متغیر می‌باشد و بنابراین قبل از استفاده باید به خواص آن‌ها توجه نمود.

نکات فنی

۱) مقادیر طراحی معمول برای مصالح خاکریز در جدول (۳-۲۲) دیده می‌شود.

جدول ۳-۲۲- مقادیر طراحی برای مصالح خاکریز

		زاویه اصطکاک داخلی (درجه)	وزن مخصوص		مقدار شیب
			بالای تراز آب باقیمانده (kN/m^3)	زیر تراز آب باقیمانده (kN/m^3)	
قلوه‌سنگ	نوع معمولی	۴۰	۱۸	۱۰	۱:۱/۲
	نوع ترد	۳۵	۱۶	۹	۱:۱/۲
شن غربال نشده		۳۰	۱۸	۱۰	۱:۲ تا ۱:۳
لاشه سنگ		۳۵	۱۸	۱۰	۱:۲ تا ۱:۳

۲) شن غربال نشده متشکل از ماسه و شن با نسبت تقریبا برابر می‌باشد.

۳) مقدار شیب برابر مقدار استاندارد شیب طبیعی مصالح خاکریز اجرا شده در دریا می‌باشد. به طور کلی، مقدار شیب بیشتر زمانی استفاده می‌شود که امواج کوچکتری حین اجرای خاکریز وجود داشته باشد و اگر امواج بزرگتر باشد، شیب هم کمتر خواهد شد.

۴) برای سرباره فولاد به بند (۸-۲) سرباره، مراجعه شود.

۵-۴- مصالح لایه اساس روسازی

مصالح اساس روسازی به گونه‌ای انتخاب می‌شود که ظرفیت باربری لازم، دوام زیاد و امکان تراکم راحت را داشته باشد.

تفسیر

معمولا از مصالح دانه‌ای، خاک تثبیت شده با سیمان یا خاک تثبیت شده با قیر برای مصالح اساس استفاده می‌گردد. مصالح دانه‌ای شامل سنگ شکسته، سرباره فولاد، شن غربال نشده، شن نخودی، سنگ شکسته غربال نشده، خاک سنگ شکسته و ماسه می‌باشد. البته هر کدام را می‌توان به تنهایی و یا مخلوط با سایر مصالح دانه‌ای استفاده نمود.

نکات فنی

نقش لایه اساس، پخش کردن سربار منتقل شده از بالا و انتقال آن به بستر بوده و معمولا به دو بخش اساس پایینی و بالایی تقسیم می‌شود. مصالح اساس پایینی ارزان‌تر و به نسبت ظرفیت باربری کمتری دارد و اساس بالایی نیاز به مصالح با کیفیت بهتر و ظرفیت باربری بیشتری دارد.

فصل ۶

چوب

۶-۱- کیفیت چوب

۶-۱-۱- چوب سازه‌ای

چوب مورد استفاده در اعضای معمولی سازه‌ای باید دارای کیفیت مطابق استاندارد ایران (ISIRI) و یا کیفیت معادل و یا بهتر از آن باشد.

۶-۱-۲- شمع‌های چوبی

برای شمع‌های چوبی، چوبی انتخاب گردد که مناسب‌ترین ویژگی‌ها نظیر دوام و مقاومت را دارا باشد.

۶-۲- تنش‌های مجاز چوب

۶-۲-۱- کلیات

مقاومت طراحی چوب باید با ارزیابی کامل افزایش وکاهش مقاومت ناشی از عوامل گوناگون و با توجه به محدودیت‌های تغییر شکل قابل تحمل سازه مورد طراحی، تعیین گردد.

۶-۲-۲- تنش‌های مجاز چوب سازه‌ای

تنش مجاز چوب سازه‌ای با توجه به کاهش مقاومت ناشی از اشباع شدن با آب یا امکان افزایش مقاومت برای بار فوق‌العاده زلزله تعیین می شود.

۶-۳- کیفیت تخته چندلا

تخته چندلای مورد استفاده به عنوان چوب سازه‌ای باید دارای کیفیتی مطابق استاندارد ایران (ISIRI) و یا کیفیتی معادل و یا بهتر از آن باشد.

۶-۳-۱- تنش مجاز تخته چندلا

تنش مجاز تخته چندلا بر اساس هدف از استفاده آن تعیین می‌گردد.

۶-۴- اتصال چوب

روش اتصال سازه‌های چوبی با توجه به عملکرد لازم سازه یا اعضای سازه‌ای انتخاب می‌گردد.

۶-۵- نگهداری چوب

اگر موجوداتی باعث آسیب و یا فرسودگی چوب در محلی که چوب در آن استفاده می‌شود می‌گردند، اقدامات لازم برای جلوگیری از آن باید انجام گیرد.

فصل ۷

سایر مصالح

۷-۱- فلزات غیر فولادی

برای استفاده از فلزات غیر فولادی، مصالح فلزی مورد نیاز باید با توجه به محل و هدف کاربرد، شرایط محیطی، دوام و هزینه آن انتخاب گردد.

نکات فنی

فلزات غیر فولادی مورد استفاده در تاسیسات بندر و لنگرگاه شامل فولاد ضدزنگ، آلومینیوم، تیتانیوم و غیره می‌باشد.

۷-۲- پلاستیک و لاستیک

برای استفاده از پلاستیک و لاستیک، مصالح مورد نیاز باید با توجه به محل و هدف کاربرد، شرایط محیطی، دوام و هزینه آن انتخاب شود.

نکات فنی

۱) محل استفاده از محصولات پلاستیکی و لاستیکی در عملیات ساخت بندر و لنگرگاه در موارد زیر می‌باشد:

الف) ژئوسینتتیک

موارد استفاده ژئوسینتتیک در عملیات ساخت بندر و لنگرگاه شامل موارد زیر است:

(۱) تسلیح خاکریز

وقتی خاک با کیفیت خوب روی زمین اصلاح شده با رس لایروبی قرار می‌گیرد، یک صفحه یا توری ژئوسینتتیک مستقیما روی سطح پهن شود که هدف از این کار جلوگیری از نشست خاک با کیفیت خوب هنگام عبور ماشین‌آلات سنگین می‌باشد. اغلب از روش تور در اصلاح زمین نرم استفاده شده است.

(۲) جلوگیری از نفوذ و فرسایش

برای استفاده از ژئوسینتتیک به عنوان مصالح فیلتر با هدف جلوگیری از نفوذ ماسه، اغلب یک صفحه فیلتر بر روی سطح خاکریز سنگی یا پشت خاکریز سنگی دیواره ساحلی و زیر کف آن یا زیر بخش سمت ساحل خاکریز قرار می‌گیرد. همچنین می‌توان از آن به عنوان اقدامی برای جلوگیری از فرسایش استفاده نمود.

ب) مصالح درزبند

این مصالح شامل صفحات آب‌بند، صفحات درز و مواد تزریقی مورد استفاده در داخل یا روی قسمت درز سازه‌های بتنی می‌باشد.

پ) ضربه‌گیر

ت) مواد تزریقی برای پی

به بند (۷-۴) مواد تزریقی، مراجعه گردد.

ث) مصالح روکش

به بند (۷-۳) مصالح روکش، مراجعه گردد.

ج) مصالح آب‌بند

این مصالح شامل آب‌بندهای درزهای لوله لایروبی، درزبند لاستیکی تونل‌های مغروق و غیره می‌باشد.

چ) چسب‌ها

چسب‌های مختلفی بر پایه رزین‌های مصنوعی برای اتصال اعضای پل فلزی، اتصال دال‌های پیش‌ساخته بتنی و تعمیر ترک‌های بتن استفاده شود.

خ) مصالح آستر

این مصالح برای کنترل خوردگی فولاد و تسلیحات و همچنین محافظت در برابر ضربه استفاده شود.

د) مصالح زهکش

ذ) اتصالات و تکیه‌گاه‌ها

از لاستیک منبسط شونده اتصالات و تکیه‌گاه‌ها به صورت یک لایه یا چندلایه در پل‌ها استفاده می‌شود.

ر) تجهیزات فرعی

بعضی از انواع بویه، پانتون و سایر اجسام شناور از الیاف تقویت شده پلیمری (FRP) ساخته می‌شود. نردبان، نرده و دیگر تجهیزات فرعی نیز ممکن است از لاستیک یا FRP ساخته شوند.

ز) پلی‌استایرن منبسط شده

این محصول به خاطر سبکی، برای بویه، پانتون شناور و سایر سازه‌های عمرانی استفاده می‌گردد. بلوک‌های پلی‌استایرن منبسط شده (EPS) و دانه‌های EPS به عنوان مصالح در مهندسی عمران به کار می‌رود. به طور کلی، بلوک‌های EPS برای کاهش فشار خاک، مقابله با نشست خاکریز روی زمین نرم و ایجاد پی راه‌های موقت استفاده می‌شود. دانه‌های EPS با سیمان یا سایر مصالح چسباننده به همراه خاک مخلوط شده و به عنوان مصالح سبک در خاکریزها استفاده می‌شود تا نشست و فشار خاک را کاهش دهد.

۲) *استانداردهای صفحات فیلتر، صفحات آب‌بند و نمدهای لاستیکی که معمولا برای جلوگیری از فرسایش، رگاب یا نفوذ در تاسیسات بندر و لنگرگاه استفاده می‌گردد به صورت زیر می‌باشد.*

الف) صفحات فیلتر

صفحات فیلتر برای جلوگیری از نفوذ رسوب در خاکریز استفاده می‌شود و با توجه به شرایط اجرایی مانند روش جای‌دهی خاکریز، تراز آب باقیمانده، دقت تسطیح خاکریز و غیره تعیین می‌گردند.

صفحات فیلتری که زیر کف خاکریز سنگی برای جلوگیری از نشت خاک زیرین استفاده می‌شود، با توجه به شرایط اجرایی و طبیعی مانند ارتفاع موج، جریان جزرومدی، اندازه قلوه‌سنگ‌ها و غیره تعیین می‌گردد.

استانداردهای حداقل صفحات بافته‌شده و بافته‌نشده تحت شرایط اجرایی مساعد در جدول‌های (۳-۲۳) و (۳-۲۴) دیده می‌شود.

جدول ۳-۲۳- استانداردهای حداقل صفحات فیلتر (بافته نشده)

نوع	ضخامت	مقاومت کششی	ازدیاد طول	جرم
پارچه بافته نشده	۴/۲mm یا بیشتر	۸۸۰ N/5cm یا بیشتر	٪۶۰ یا بیشتر	۵۰۰g/m^2 یا بیشتر

توجه: ضخامت ۴/۲ میلی‌متر یا بیشتر برای صفحه تحت بارگذاری ۲ kN/m^2 استفاده می‌شود. در صورت نبود بارگذاری، ضخامت باید ۵ میلی‌متر یا بیشتر باشد.

جدول ۳-۲۴- استانداردها برای صفحات فیلتر (بافته شده)

نوع	ضخامت	مقاومت کششی	ازدیاد طول
پارچه بافته شده	۰/۴۷ mm یا بیشتر	۴۰۸۰ N/5cm یا بیشتر	٪۱۵ یا بیشتر

ب) صفحات آب‌بند

ضخامت معمول صفحات آب‌بند برای درزهای عمودی صندوقه برای جلوگیری از بیرون زدن خاکریز ۵ میلی‌متر می‌باشد. صفحات آب‌بند باید مطابق استانداردهای جدول (۳-۲۵) باشد. در مناطق سردسیر گاهی صفحات لاستیکی استفاده می‌شود که در این حالت باید از مقادیر جدول (۳-۲۶) استفاده نمود.

جدول ۳-۲۵- استانداردهای صفحات آب‌بند (وینیل کلراید نرم)

مورد آزمایش	ویژگی‌ها		مقادیر استاندارد
	نمونه آزمایش	جهت کشش	
مقاومت کششی	نمونه آزمایش دمبلی	عرضی	۱۴/۷ MPa یا بیشتر
مقاومت پارگی	نمونه آزمایش شکل زاویه طبیعی	طولی	۴۹ N/mm یا بیشتر
ازدیاد طول	نمونه آزمایش دمبلی	عرضی	٪۱۸۰ یا بیشتر
مقاومت در برابر آب دریا نسبت مقاومت کششی باقیمانده	-	عرضی	٪۹۰ یا بیشتر
مقاومت در برابر آب دریا نسبت ازدیاد طول باقیمانده	-	عرضی	٪۹۰ یا بیشتر
وزن مخصوص	-	-	۱/۳۵ ± ۰/۰۵
مقاومت نواری شدن	نمونه نواری شکل mm ۲۵۰ ×۲۵	طولی	۳۰ N/cm یا بیشتر

جدول ۳-۲۶- استانداردهای صفحات آب‌بند (لاستیکی)

مورد آزمایش	مقادیر استاندارد
مقاومت کششی	۴۴۰۰ N/3cmیا بیشتر

ج) نمدهای لاستیکی

نمدهای لاستیکی برای افزایش اصطکاک از لاستیک نو یا بازیافتی تهیه می‌گردد که کیفیت معمول آن در جدول‌های (۳-۲۷) و (۳-۲۸) ارائه شده است.

جدول ۳-۲۷- کیفیت لاستیک بازیافتی

مورد آزمایش			عملکرد	ملاحظات
آزمایش‌های فیزیکی	قبل از کهنگی	مقاومت کششی مقاومت پارگی سختی ازدیاد طول	۴/۹ MPa یا بیشتر ۱۸ N/mm یا بیشتر ۵۵ تا ۷۰ درجه‌بندی ٪۱۶۰ یا بیشتر	
	بعد از کهنگی	مقاومت کششی مقاومت پارگی سختی ازدیاد طول	۳/۹ MPa یا بیشتر - درحدود مقدار ±۸ قبل از کهنگی ٪۱۴۰ یا بیشتر	دمای کهنگی: $70^{\circ}\pm1^{\circ}$ زمان کهنگی: $96^{\cdot}_{-2}$ ساعت

جدول ۳-۲۸- کیفیت لاستیک نو

مورد آزمایش			عملکرد	روش/شرایط آزمایش
آزمایش‌های فیزیکی	قبل از کهنگی	مقاومت کششی مقاومت پارگی سختی ازدیاد طول	۹/۸ MPa یا بیشتر ۲۵ N/mm یا بیشتر ۵ ± ۷۰ درجه‌بندی ٪۲۵۰ یا بیشتر	
	بعد از کهنگی	مقاومت کششی مقاومت پارگی سختی ازدیاد طول	۹/۳ MPa یا بیشتر - درحدود مقدار ±۸ قبل از کهنگی ٪۲۰۰ یا بیشتر	دمای کهنگی: $70^{\circ}\pm1^{\circ}$ زمان کهنگی: $96^{\cdot}_{-2}$ ساعت
	کرنش پلاستیک فشاری		٪۴۵ یا کمتر	دمای کهنگی: $70^{\circ}\pm1^{\circ}$ زمان کهنگی: $24^{\cdot}_{-2}$ ساعت

۷-۳- مصالح روکش

هنگام انتخاب مصالح روکش باید موارد زیر مد نظر قرار گیرد:

۱) هدف روکش کردن

۲) جنس و مشخصات سطحی که روکش می‌شود

۳) عملکرد و ترکیبات مصالح روکش

۴) هزینه

۵) نگهداری

نکات فنی

رنگ مصالح روکش متنوع بوده و معمولا با توجه به کاربرد، ظاهر و هزینه تعیین می‌گردد. مشخصات شش گروه رنگ (رنگ‌های پایه رزین پلی‌اورتان) که بیشتر برای اهداف زیبایی معمول است در جدول (۳-۲۹) مشاهده می‌شود.

جدول ۳-۲۹- مشخصات گروه‌های رنگ

	خاکستری (کمرنگ)	آبی	زرد	نارنجی	قرمز	سبز
پایداری رنگ	◎ تا ○	○	○	○	○	○
مشخص نبودن تغییر رنگ یا کمرنگ شدن (برای‌چشم)	◎	○	○	○	△	○
هزینه	۱	۲	۳	۴	۵	۶
توان پوشش	◎	○	△	○ تا △	○ تا △	○
مقاومت شیمیایی	◎	◎	○	○	○	◎

توجه: در ردیف هزینه، ۱ نشان دهنده کمترین هزینه و ۵ بیشترین هزینه است.

◎ : عالی، ○ : رضایت‌بخش، △ : نیاز به توجه

۷-۴- مواد تزریقی

۷-۴-۱- کلیات

روش تزریق دوغاب با ارزیابی شرایط محل و با توجه به اثر بر روی محیط اطراف انتخاب می‌گردد.

تفسیر

مواد تزریقی برای مقاوم کردن زمین یا قطع کردن جریان آب زیرزمینی با پرکردن درزهای سنگ‌ها و خاک، فضاهای خالی در داخل یا اطراف سازه و یا خلل و فرج درشت دانه با مواد تزریقی به کار می‌رود. مواد تزریقی مختلفی براساس مشخصات زمین مورد نظر استفاده می‌گردد.

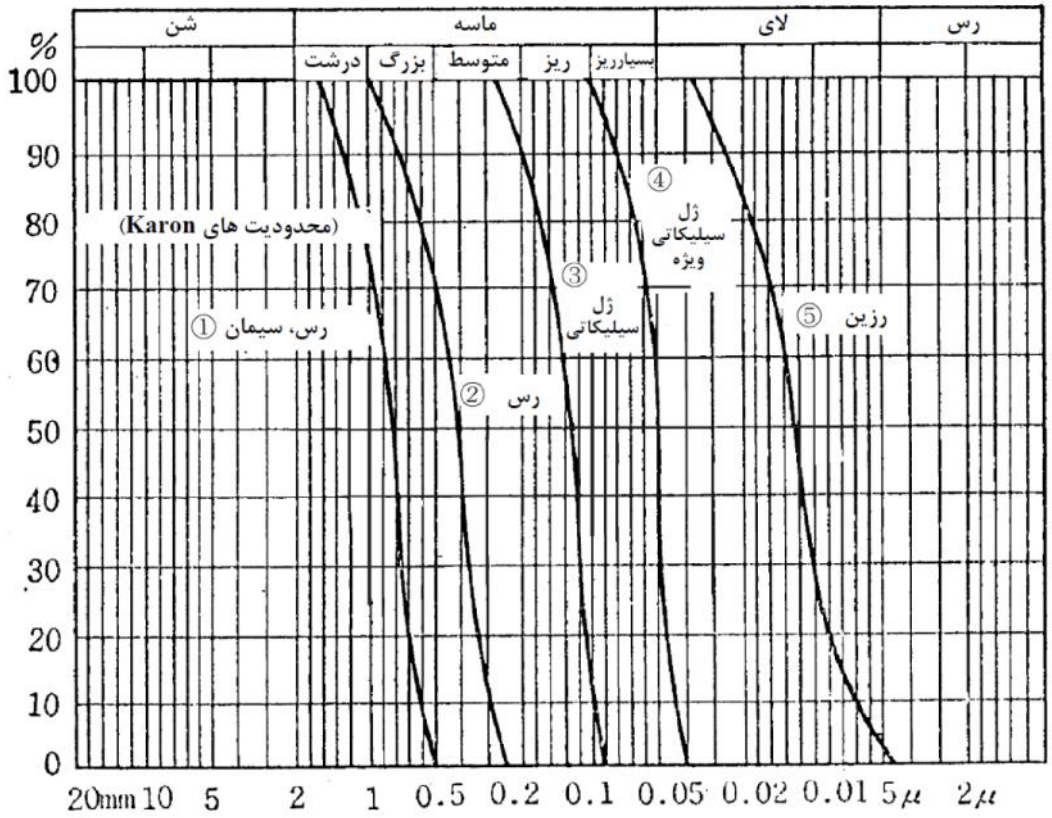
۷-۴-۲- ویژگی‌های مواد تزریقی

مواد تزریقی با توجه به عملکرد لازم برای خاک مورد تزریق دوغاب انتخاب می‌گردد.

تفسیر

ویژگی‌های اساسی و لازم مواد تزریقی شامل کارایی تراوش، پرکنندگی و گیرش، مقاومت و نفوذناپذیری جسم تثبیت‌شده می‌باشد. مناسب بودن دوغاب متاثر از کارایی تراوش مصالح می‌باشد.

شکل (۳-۳) محدوده‌های تراوش مواد تزریقی مختلف برای خاک را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۳- محدوده‌های تراوش مواد تزریقی برای خاک

فصل ۸

منابع تجدیدپذیر

۸-۱- کلیات

منابع تجدیدپذیر با توجه به مشخصات منابع و سازه طراحی شده استفاده می‌گردد.

تفسیر

۱) منابع (مصالح) تجدیدپذیر که در ساخت تاسیسات بندر و لنگرگاه به کار می‌رود شامل سرباره، بتن، مصالح لایروبی و آسفالت می‌باشد. بیشتر این مصالح را می‌توان به عنوان مصالح خاکریز، مصالح زیر اساس راه، مصالح بهبود خاک و مصالح سنگی بتن استفاده نمود.

۲) ویژگی‌های مصالح تجدیدپذیر بسیار متغیر بوده و بنابراین ویژگی‌های فیزیکی و دینامیکی و حجم مورد نیاز باید قبل از حتمی شدن کاربرد، کاملا ارزیابی شود.

نکات فنی

کاربرد موثر منابع تجدیدپذیر برای توسعه پایدار جامعه بسیار پر اهمیت است. در عملیات اجرایی بندر و لنگرگاه مقادیر حجیمی مصالح خاکی استفاده می‌شود و بنابراین حفاظت محیط‌زیست با کاهش استفاده از منابع طبیعی و کسب ارزش افزوده با استفاده از ویژگی‌های منابع تجدیدپذیر بسیار مهم می‌باشد.

از طرف دیگر به هیچ عنوان نباید باعث آلودگی محیط‌زیست شد و بنابراین مهم‌ترین پیش شرط کنترل کامل قبل از تایید نبود مشکلات زیست‌محیطی می‌باشد.

۸-۲- سرباره

نکات فنی

در این متن در مورد سرباره فولاد، سرباره ریزشده کوره مس و سرباره فرونیکل ریزشده بحث خواهد شد.

سرباره فولاد جزو زائدات صنعتی می‌باشد که در صنعت فولاد بسیار زیاد تولید و به طور کلی به دو دسته سرباره کوره آهن‌گدازی و سرباره تولید فولاد تقسیم می‌گردد. سرباره کوره آهن‌گدازی با هوا سرد شده مصالح دانه‌ای می‌باشد که در عرف به نام سرباره یا تفاله شناخته می‌شود و به طور عمده در راهسازی استفاده می‌گردد. تقریبا همه تولیدات آن مصرف می‌شود. سرباره کوره آهن‌گدازی ریز شده، مصالح ماسه شکل سبک می‌باشد و علاوه بر استفاده به عنوان مصالح خام برای کوره سیمان، به علت سبک بودن به طور فزاینده‌ای به عنوان مصالح خاکریز بنادر استفاده می‌گردد. این سرباره نیز به طور کامل مورد مصرف قرار می‌گیرد.

در گذشته کاربرد سرباره تولید فولاد به علت سنگینی ناشی از وجود آهن و مشخصات گسیختگی انبساطی آن فقط برای راهسازی بود. البته زاویه اصطکاک داخلی زیاد، نفوذپذیری بالا و وزن مخصوص زیاد از مزایای آن برای راهسازی به شمار می‌رفت.

سرباره ریز شده کوره مس مصالحی ماسه مانند است که از سرد کردن سریع با آب در فرآیند خالص‌سازی مس به دست می‌آید و چگالی ذرات آن از ماسه بیشتر است. با وجود مستعد بودن ذرات برای شکست، زاویه اصطکاک داخلی و نفوذپذیری آن شبیه ماسه دریایی می‌باشد. علاوه بر استفاده از آن در لایه گسترده ماسه‌ای و به عنوان مصالح پرکننده، به طور آزمایشگاهی در روش شمع تراکم ماسه (SCP) نیز به کار می‌رود.

سرباره ریزشده کوره فرونیکل حین تولید فرونیکل که از مصالح خام فولاد ضد زنگ می‌باشد، به‌دست می‌آید. وزن مخصوص آن بیشتر از ماسه است و به‌عنوان مصالح پرکننده صندوقه استفاده می‌شود.

۸-۳- بتن خرد شده

نکات فنی

وقتی از بتن خرد شده به عنوان مصالح سنگی استفاده می‌شود، ویژگی‌هایی نظیر زاویه اصطکاک داخلی به بتن اولیه وابسته بوده و بنابراین تحت چنین شرایطی ارائه مقادیر استاندارد برای ویژگی‌های آن دشوار می‌باشد.

مراجع

1-Osamu KIYOMIYA, Hiroshi YOKOTA, Takashi NAGAO: “Design of reinforced maritime structures by the limit state design method”, Gihodo, 1999 (in Japanese).

2-Takashi NAGAO: “Studies on the application of the limit state design method to reinforced concrete port structures”, Rept. of PHRI, Vol. 33, No. 4, 1994 (in Japanese).

3-Takashi NAGAO: “Case studies on safety factors about seismic stability for the slab of caisson type quaywalls”, Tech. Note of PHRI, No. 867, 1997 (in Japanese).

4-Takashi NAGAO, Hiroshi YOKOTA, Koichiro TAKECHI, Susumu KAWASAKI, Noboru OKUBO: “Fatigue limit state design method for superstructures of open type wharves in view of cargo handling machine loads”, Rept. of PHRI, Vol. 37,No. 2, 1998 (in Japanese).

5-Tsutomu FUKUTE, Kunio YAMAMOTO, Hidenori HAMADA: “Study on the durability of concrete mixed with sea water”,Rept. of PHRI, Vol. 29, No. 3, 1990 (in Japanese).

6-Tsutomu FUKUTE, Hidenori HAMADA, Kouji MIURA, Yoshitaka NAKAJIMA, Kiyoshi SATO, Atsurou MORIWAKE,Katsutoshi HAMAZAKI: “Applicability of super-workable concrete using viscous agent to densely reinforced concrete members”, Rept. of PHRI, Vol. 33, No. 2, 1994 (in Japanese).

7-Hidenori HAMADA, Tsutomu FUKUTE, Masami ABE, Kunio YAMAMOTO: “Effect and evaluation of concrete surface coatings for the prevention of salt attack”, Tech. Note of PHRI, No. 706, 1991 (in Japanese).

8-Hiroshi SEKI, Sachio ONODERA, Hiroshi MARUYAMA: “Deterioration of plain concrete for coastal structures under maritime environments”, Tech. Note of PHRI, No. 142, 1972 (in Japanese).

9-Nobuaki OTSUKI, Masamitsu HARAMO, Hidenori HAMADA: “Test on the effects of joints on the durability of concrete in marine environment (after 10 years’ exposure)”, Tech. Note of PHRI, No. 606 (in Japanese).

10-Yoshihiro SHOJI: “Study on shearing properties of rubbles with large-scale triaxial compression test”, Rept. of PHRI, Vol. 22,No. 4, 1983 (in Japanese).

11-Junichi MIZUKAMI, Masaki KOBAYASHI: “Strength characteristics of rubble by large-scale triaxial compression test”,Tech. Note of PHRI, No. 699, 1991, 20 p. (in Japanese).

12-Kiyoshi TERAUCHI: “Study on deterioration and painting specification of bridges located in port area”, Tech. Note of PHRI,No. 651, 1989 (in Japanese).

13-Kunio TAKAHASHI: “Utilization of fly ash and steel slug”, Tech. Note of PHRI, No. 886, 1997 (in Japanese).

14-Jun-ichi MIZUKAMI, Yoshiaki KIKUCHI, Hiroyuki YOSHINO: “Characteristics of concrete debris as rubble in marine construction”, Tech. Note of PHRI, No. 906, 1998 (in Japanese).

15- “Technical Standards for Port and Harbour Facilities in Japan” , Port and Harbour Research Institude , Ministry of Transport, Tokyo, Japan,1999.

Abstract

This volume, which is the 3rd part of the Coastal Structures Design Manual, introduces the materials, their properties and design methods for structural application, reviewed in eight chapters.

The first chapter, General, discusses selection of materials and safety of structural elements. The second chapter, Steel, introduces steel material constants used in design calculation, then reviewing allowable stresses, steel piles and steel pipe sheet piles, steel sheet piles, cast steel and forged steel, allowable stress for steel at welded zones and spliced sections and increase of allowable stresses. Finally, mentions corrosion rate of steel materials, corrosion control method, cathodic protection method and coating method. The third chapter, Concrete, introduces basics of design based on the limit design method, design based on allowable stress method, concrete materials, concrete quality and performance and underwater concrete. The fourth chapter, Bituminous Materials, discusses asphalt mat, paving material and sand mastic asphalt. The fifth chapter, Stone, discusses rubble for foundation, backfilling materials and base course materials of pavement. The sixth chapter, Timber, reviews quality of timber, allowable stresses of timber, quality of glued laminated timber, joining of timber and maintenance of timber. The seventh chapter, Other Materials, discusses metals other than steel, plastics and rubbers and coating materials. Finally in last chapter, Recyclable Resources, slag, coal ash, cashed concrete are reviewed.

Islamic Republic of Iran
Vice presidency for Strategic Planning and Supervision

Coastal Structures Design Manual

Part 3: Materials

No. 632

Vice presidency for Strategic Planning and Supervision
Office of Deputy for Strategic Supervision
Department of Technical Affairs
Nezamfanni.ir

Ministry of Road and Urban Development
Port and Maritime Organization
Deputy of Development and Equipping of Ports
Department of Coasts and Ports Engineering
http://coastseng.pmo.ir

2013

این نشریه

با عنوان دستورالعمل طراحی سازه‌های ساحلی [مصالح] شامل هشت فصل است.

کلیات، فولاد، بتن، مصالح قیری، سنگ، چوب، سایر مصالح، و منابع تجدیدپذیر، فصل‌های مختلف نشریه را تشکیل می‌دهند.

دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور، پیمانکاران و عوامل دیگر لازم است از این نشریه به عنوان دستورالعمل در طراحی سازه‌های ساحلی استفاده نمایند.