

جمهوری اسلامی ایران
سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور

آیین‌نامه طراحی بنادر و سازه‌های دریایی ایران

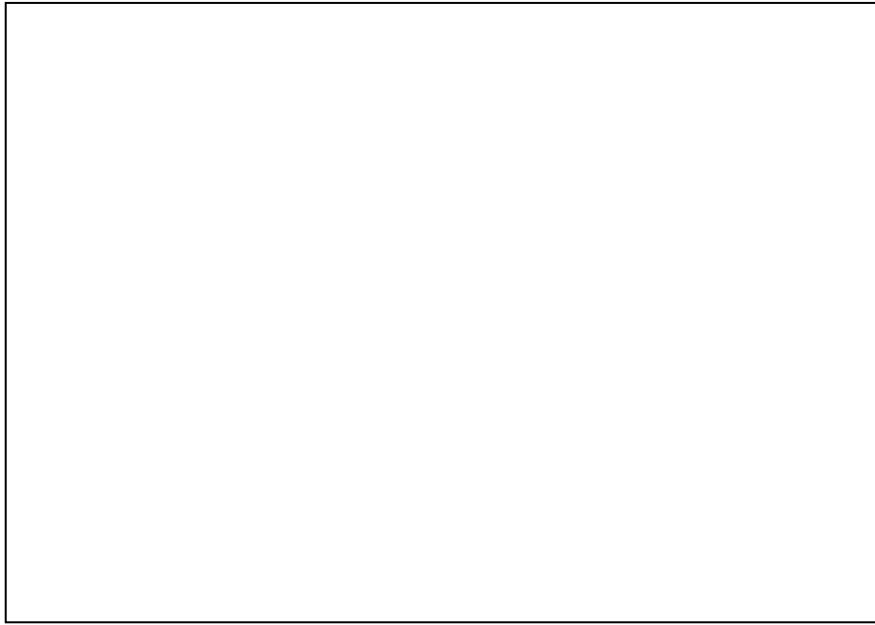
نشریه شماره ۲-۳۰۰
(مصلح)

وزارت راه و ترابری
معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری
پژوهشکده حمل و نقل
www.rahiran.ir

معاونت امور فنی
دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش
خطرپذیری ناشی از زلزله
<http://tec.mporg.ir>

۱۳۸۵

صلى الله عليه وسلم





ریاست جمهوری

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور

رئیس سازمان

بسمه تعالی

شماره: ۱۰۰/۲۰۰۲۸	به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران
تاریخ: ۱۳۸۵/۰۲/۱۱	
موضوع: آیین‌نامه طراحی بنادر و سازه‌های دریایی ایران (مصالح)	

به استناد آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی، موضوع ماده (۲۳) قانون برنامه و بودجه و در چارچوب نظام فنی و اجرایی طرح‌های عمرانی کشور مصوبه شماره ۱۴۸۹۸/ت/۲۴۵۲۵ هـ مورخ ۱۳۷۵/۴/۴ هیأت محترم وزیران به پیوست، نشریه شماره ۳۰۰-۲ دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله این سازمان، با عنوان «آیین‌نامه طراحی بنادر و سازه‌های دریایی ایران (مصالح)» از نوع گروه سوم، ابلاغ می‌شود.

دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور، پیمانکاران و عوامل دیگر می‌توانند از این نشریه به عنوان راهنما استفاده کنند و در صورتی که روش‌ها، دستورالعمل‌ها و راهنماهای بهتری در اختیار داشته باشند، رعایت مفاد این نشریه الزامی نیست. عوامل یاد شده باید نسخه‌ای از دستورالعمل‌ها، روش‌ها و یا راهنماهای جایگزین را برای دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله، ارسال دارند.

فرهاد رهبر

معاون رئیس ~~جمهوری~~ و رئیس سازمان

:

دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور با استفاده از نظر کارشناسان برجسته، مبادرت به تهیه این دستورالعمل نموده و آن را برای استفاده به جامعه مهندسی کشور عرضه نموده است. با وجود تلاش فراوان، این اثر مصون از ایرادهایی نظیر غلط‌های مفهومی، فنی، ابهام، ابهام و اشکالات موضوعی نیست.

از این رو، **از شما خواننده گرامی صمیمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده هرگونه ایراد و**

اشکال فنی، مراتب را به صورت زیر گزارش فرمایید:

- ۱- شماره بند و صفحه موضوع مورد نظر را مشخص کنید.
 - ۲- ایراد مورد نظر را به صورت خلاصه بیان دارید.
 - ۳- در صورت امکان، متن اصلاح شده را برای جایگزینی ارسال نمایید.
 - ۴- نشانی خود را برای تماس احتمالی ذکر فرمایید.
- کارشناسان این دفتر نظرهای دریافتی را به دقت مطالعه نموده و اقدام مقتضی را معمول خواهند داشت.

پیشاپیش از همکاری و دقت نظر جنابعالی قدردانی می‌شود.

نشانی برای مکاتبه: تهران، خیابان شیخ بهایی، بالاتر از ملاصدرا، کوچه لادن، شماره ۲۴

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی

E-mail: tsb.dta@mporg.ir

از زلزله

Web: <http://tec.mporg.ir>

صندوق پستی ۴۵۴۸۱-۱۹۹۱۷

بسمه تعالی

پیشگفتار

استفاده از ضوابط و معیارها در مراحل تهیه (مطالعات امکان‌سنجی)، مطالعه، طراحی و اجرای طرح‌های تملک‌داری سرمایه‌ای به لحاظ توجیه فنی و اقتصادی طرحها و ارتقای کیفیت طراحی و اجرا (عمر مفید) از اهمیت ویژه برخوردار است. از این‌رو نظام فنی و اجرایی طرح‌های عمرانی کشور (مصوبه شماره ۲۴۵۲۵/ت/۱۴۸۹۸ هـ مورخ ۱۳۷۵/۴/۴ هیأت وزیران) به‌کارگیری معیارها، استانداردها و ضوابط فنی در مراحل تهیه و اجرای طرح را مورد تأکید قرار داده است.

بنابر مفاد ماده (۲۳) قانون برنامه و بودجه، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور موظف به تهیه و ابلاغ ضوابط، مشخصات فنی، آیین‌نامه‌ها و معیارهای مورد نیاز طرح‌های عمرانی است، لیکن با توجه به تنوع و گستردگی طرح‌های عمرانی، طی سالهای اخیر سعی شده است در تهیه و تدوین این‌گونه مدارک علمی از مراکز تحقیقاتی دستگاه‌های اجرایی ذی‌ربط نیز استفاده شود. در این راستا مقرر شده است پژوهشکده حمل و نقل در معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری وزارت راه و ترابری در تدوین ضوابط و معیارهای فنی بخش راه و ترابری، ضمن هماهنگی با دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، عهده‌دار این مهم باشد.

در سال ۱۳۸۲، تفاهم‌نامه‌ای با هدف همکاری و هماهنگی معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری وزارت راه و ترابری و معاونت امور فنی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور (دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله) در زمینه تهیه ضوابط و معیارهای فنی بخش راه و ترابری، مبادله و به منظور هدایت، راهبری و برنامه‌ریزی منسجم و اصولی امور مرتبط، کمیته راهبردی متشکل از نمایندگان دو مجموعه تشکیل گردید. این کمیته با تشکیل جلسات منظم نسبت به هدایت و راهبری پروژه‌های جدید و جاری، در مراحل مختلف تعریف و تصویب پروژه‌ها، انجام، نظارت و آماده‌سازی نهایی

و ابلاغ آنها، اقدامهای لازم را انجام داده است. یکی از پروژه‌های حاصل از این فرایند نشریه حاضر می‌باشد.

ایران در مرزهای شمالی و جنوبی خود حدود ۳۰۰۰ کیلومتر ساحل داشته و در سالهای اخیر سرمایه‌گذاری فراوانی در احداث بنادر، تأسیسات و سازه‌های دریایی در دستور کار دولت قرار دارد. سیاستهای کلان بخش حمل‌ونقل نیز بیانگر توجه ویژه به توسعه حمل‌ونقل دریایی می‌باشد.

در سال ۱۳۷۶ سازمان بنادر و کشتیرانی مجموعه‌ای تحت عنوان آیین‌نامه سازه‌های دریایی ایران تهیه و تدوین نمود. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور و مرکز تحقیقات و آموزش وزارت راه و ترابری از سال ۱۳۷۷ ضمن تشکیل کمیته تدوین نهایی آیین‌نامه طراحی بنادر و سازه‌های دریایی ایران، با عضویت نمایندگان سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، سازمان بنادر و کشتیرانی، معاونت ساخت و توسعه بنادر و فرودگاهها و مرکز تحقیقات و آموزش وزارت راه و ترابری، خط مشی و محورهای اصلی آیین‌نامه را ترسیم و پیگیری نمود. تنوع موضوعات مورد نظر در این بخش سبب شد تا تهیه آیین‌نامه مذکور در یازده بخش مجزا تقسیم‌بندی و توسط گروههای کاری جداگانه تدوین آن صورت پذیرد. این یازده بخش عبارتند از:

۱- ملاحظات محیطی و بارگذاری

۲- مصالح

۳- مکانیک خاک و پی

۴- اصول و مبانی مطالعات و طراحی بنادر

۵- موج‌شکنها و سازه‌های حفاظتی

۶- سازه و تجهیزات پهلوگیری

۷- آبراهه و حوضچه

۸- تسهیلات و تجهیزات بهره‌برداری و پشتیبانی بنادر

۹- سکوه‌های دریایی

۱۰- ملاحظات زیست‌محیطی بنادر ایران

۱۱- سازه و تجهیزات تعمیر شناور

مقدمه بخش دوم (مصالح)

امروزه شناخت عمیق از شرایط محیطی دریاها و عوامل مخرب آنها، همچنین دقت در به کارگیری مواد و مصالح متناسب با این شرایط محیطی، نقش تعیین کننده‌ای در طراحی سازه‌های دریایی و بندری دارا می‌باشد.

انتخاب مصالح جهت استفاده در سازه‌های بندری و دریایی به پارامترهایی از جمله نوع مصالح، دسترسی، مقاومت و عمر مصالح در مقایسه با عمر سازه، هزینه‌ها و راحتی نگهداری، مسایل اقتصادی و مسایل مربوط به دوام، خوردگی و ... بستگی دارد. همچنین باید مشخصات مربوط به سازه مورد نظر، از جمله عمر، اهمیت، شرایط محیطی و جوی، محل احداث، شیوه‌های حفاظت و نگهداری سازه در مقابل خوردگی، پایداری و انعطاف‌پذیری سازه‌ای و ... را در انتخاب مصالح مناسب، مورد توجه قرار داد. علاوه بر موارد مذکور، در انتخاب هر نوع مصالحی باید به خصوصیات عمومی آن از جمله خصوصیات مکانیکی، شیمیایی و فیزیکی مطابق با استانداردهای معتبر ذکر شده در متن آیین‌نامه توجه کافی داشت. در این بخش از آیین‌نامه به مواد و مصالحی که کاربرد بسیاری در ساخت سازه‌های مختلف دریایی دارند اشاره شده است. بتن، فولاد، قیر و آسفالت، سنگ و چوب از جمله این مواد هستند که ضوابط مربوط به چگونگی استفاده از آنها در این آیین‌نامه توصیه شده است.

در پایان از تلاش و جدیت پژوهشکده حمل و نقل وزارت راه و ترابری و سازمانها، مؤسسات و ادارات ذی‌ربط به ویژه سازمان بنادر و کشتیرانی و کارشناسان مشروح زیر که در تهیه و تدوین این مجموعه همکاری داشته و زحمات فراوانی کشیده‌اند، تشکر و قدردانی می‌نماید.

اعضای کمیته اجرایی بررسی نهایی و تکمیل آیین‌نامه

مهندس کامبیز احمدی	مهندس میرمحمود ظفری
مهندس مرتضی بنی جمالی	دکتر رضا غیائی
مهندس بهناز پورسید	مهندس مهران غلامی
مهندس علیرضا توتونچی	دکتر مرتضی قارونی
دکتر محرم دولتشاهی	مهندس افشین کلانتری

مهندس حسین مثقالی
مهندس عبدالرضا محبی
مهندس خسرو مشتریخواه

دکتر حمید رحیمی پور
مهندس محمد سعید سجادی پور
دکتر محمود صفارزاده

اعضای کمیته راهبردی

دکتر کیومرث عماد
مهندس مهران غلامی
مهندس طاهر فتح الهی

مهندس حمیدرضا بهرامیان
مهندس بهناز پورسید
دکتر محمود صفارزاده
مهندس میرمحمود ظفری

مجری: مهندسین مشاور کوبان کاو

دکتر پرویز قدوسی
مهندس محمد حسین ماجدی
مهندس سهراب ویسه

بخش دوم (مصالح)

مهندس اسماعیل اسماعیل پور
مهندس حسن تابش
دکتر علیرضا خالو
دکتر هرمز فامیلی

ناظرین: دکتر محمود عامری، دکتر محمد شکرچی زاده، دکتر ابراهیمی، دکتر رسول میرقادری

مهدی تفضلی
معاون امور فنی
۱۳۸۵

فهرست تفصیلی مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل اول - کلیات
۳	۱-۱ خواص مکانیکی (سازه‌ای)
۳	۱-۱-۱ وزن مخصوص.....
۳	۱-۱-۲ مقاومت مصالح.....
۳	۱-۱-۳ مقاومت در مقابل بارهای ضربه‌ای و سیکلی.....
۳	۱-۱-۴ مقاومت لرزه‌ای.....
۳	۱-۱-۵ شکل‌پذیری مصالح.....
۴	۱-۱-۶ اندازه سازه‌ای.....
۴	۲-۱ خواص غیر سازه‌ای
۴	۱-۲-۱ دوام.....
۵	۱-۲-۲ مناسب بودن مصالح برای هدف مورد نظر.....
۶	۱-۲-۳ مقاومت در برابر آتش‌سوزی.....
۷	۳-۱ خواص دیگر
۷	۴-۱ سنگ
۸	۵-۱ چوب و الوار
۸	۱-۵-۱ آسیب مکانیکی.....
۸	۲-۵-۱ اثرات و شرایط محیطی.....
۱۰	۶-۱ فولاد
۱۱	۷-۱ بتن
۱۳	فصل دوم - بتن
۱۵	۱-۲ کلیات، شرایط اقلیمی، محیطی و استانداردها
۱۵	۱-۱-۲ هدف.....
۱۵	۲-۱-۲ بهره‌گیری از آیین‌نامه بتن ایران.....
۱۵	۳-۱-۲ شرایط محیطی ساحلی از نظر آسیب‌رسانی به بتن.....
۱۶	۴-۱-۲ انتخاب استاندارد.....

۱۷	۲-۲ مشخصات مصالح
۱۷	۱-۲-۲ اهمیت مشخصات مصالح.....
۱۷	۲-۲-۲ تأثیر شرایط محیطی.....
۱۷	۳-۲-۲ سیمان.....
۱۷	۴-۲-۲ سنگدانه‌ها.....
۱۸	۵-۲-۲ آب.....
۱۸	۶-۲-۲ مواد افزودنی شیمیایی.....
۱۹	۷-۲-۲ مواد افزودنی معدنی.....
۲۰	۳-۲ نسبت مخلوطهای بتن
۲۰	۱-۳-۲ کلیات.....
۲۰	۲-۳-۲ مقاومت فشاری بتن.....
۲۰	۳-۳-۲ تقسیم‌بندی اقلیمی.....
۲۱	۴-۳-۲ مقادیر مجاز کلریدها.....
۲۲	۵-۳-۲ مقادیر مجاز سولفات.....
۲۲	۶-۳-۲ انتخاب نوع سیمان.....
۲۳	۷-۳-۲ حداکثر مقدار سیمان.....
۲۳	۸-۳-۲ مواد افزودنی کاهنده آب.....
۲۳	۹-۳-۲ حداقل مدت و نوع عمل‌آوری.....
۲۴	۱۰-۳-۲ نسبت مخلوطهای بتن.....
۲۸	۴-۲ تمهیدات اجرایی
۲۸	۱-۴-۲ اختلاط بتن.....
۲۸	۲-۴-۲ انتقال بتن.....
۲۸	۳-۴-۲ بتن‌ریزی.....
۳۰	۴-۴-۲ عمل آوردن بتن.....
۳۱	۵-۴-۲ بتن‌ریزی در هوای گرم.....
۳۲	۶-۴-۲ بتن‌ریزی در هوای سرد.....
۳۳	۵-۲ کنترل کیفیت و پذیرش بتن
۳۳	۱-۵-۲ هدف از کنترل کیفیت.....

۳۳	۲-۵-۲ رده بندی بتن
۳۳	۲-۵-۳ کنترل کیفیت اجزای مخلوط بتن
۳۳	۲-۵-۴ کنترل کیفیت تولید بتن
۳۵	۲-۵-۵ پذیرش بتن
۳۶	۲-۶-۶ بتنهای خاص
۳۶	۲-۶-۱ تعریف
۳۶	۲-۶-۲ بتن پیش ساخته
۳۷	۲-۶-۳ بتن پیش تنیده
۳۸	۲-۶-۴ بتن حاوی الیاف
۴۰	۲-۷-۷ انواع حفاظتها
۴۰	۲-۷-۱ کاربرد
۴۰	۲-۷-۲ انواع حفاظتها
۴۰	۲-۷-۳ انواع حفاظتهای سطحی
۴۱	۲-۷-۴ انواع مواد بازدارنده خوردگی
۴۱	۲-۷-۵ انتخاب مواد حفاظت سطحی و بازدارنده
۴۱	۲-۷-۶ تمیزی سطح بتن پایه
۴۱	۲-۷-۷ مقدار و شرایط استفاده از مواد حفاظتی
۴۲	۲-۸-۸ تعمیر سازه های بتنی
۴۲	۲-۸-۱ دامنه تعمیر
۴۲	۲-۸-۲ ارزیابی سازه
۴۲	۲-۸-۳ مراحل تعمیر
۴۴	۲-۸-۴ انواع مواد تعمیری
۴۴	۲-۸-۵ شرایط رطوبتی بتن پایه
۴۵	۲-۸-۶ انتخاب مواد تعمیری
۴۷	فصل سوم - فولاد
۴۹	۳-۱ تعریف و دامنه کاربرد
۴۹	۳-۲ دسته بندی فولادها
۵۰	۳-۲-۱ روشهای دسته بندی

۵۴	..... فولادهای ساده کربنی	۲-۲-۳
۵۵	..... فولادهای آلیاژی	۳-۲-۳
۵۶	..... فولادهای ساختمانی آلیاژی	۴-۲-۳
۵۷	استانداردهای فولادهای سازه‌ای	۳-۳
۵۷	..... فولادهای متداول	۱-۳-۳
۵۹	..... استانداردهای مصالح پیچها و پرچها	۲-۳-۳
۵۹	..... استانداردهای میلگردها، سیمها و کابل‌های پیش‌تندگی (فولاد در بتن)	۳-۳-۳
۵۹	..... استانداردهای مصالح جوشکاری	۴-۳-۳
۶۰	اتصالات و وسایل اتصال	۴-۳
۶۰	..... اتصالات جوشی	۱-۴-۳
۶۵	..... پیچ و مهره، قطعات رزوه شده و پرچ	۲-۴-۳
۷۲	..... تنش مجاز در پارگی ناشی از برش	۳-۴-۳
۷۲	..... عناصر اتصال دهنده	۴-۴-۳
۷۳	..... لقمه‌ها (فیلرها)	۵-۴-۳
۷۴	..... وصله‌ها	۶-۴-۳
۷۴	..... تنشهای تماسی مجاز	۷-۴-۳
۷۵	..... اثرات خستگی در تنشهای مجاز اتصالات	۸-۴-۳
۷۹	انواع خوردگی و علل آن	۵-۳
۷۹	..... تعریف	۱-۵-۳
۸۱	..... انواع خوردگی	۲-۵-۳
۸۶	..... خوردگی در محیطهای مختلف	۳-۵-۳
۹۰	روشهای محافظت و پیشگیری از خوردگی	۶-۳
۹۰	..... ممانعت‌کننده‌های شیمیایی	۱-۶-۳
۹۲	..... حفاظت کاتدی	۲-۶-۳
۹۵	..... پوششها	۳-۶-۳
۱۰۶	..... انتخاب روش محافظت از خوردگی	۴-۶-۳

۱۱۱	۴-۱ کلیات
۱۱۲	۴-۲ دامنه کاربرد قیر و مخلوطهای آسفالتی
۱۱۳	۴-۳ مواد قیری و مخلوطهای آسفالتی و ملاحظات کلی طراحی
۱۱۳	۴-۳-۱ آسفالت‌های ناتراوا
۱۱۵	۴-۳-۲ آسفالت‌های حفاظتی و انواع آن
۱۱۶	۴-۳-۳ آسفالت‌های تقویتی و انواع آن
۱۱۶	۴-۳-۴ آسفالت‌های مختلط
۱۱۶	۴-۳-۵ ملاحظات کلی طراحی
۱۲۴	۴-۴ مشخصات فنی مصالح
۱۲۴	۴-۴-۱ مواد قیری
۱۲۸	۴-۴-۲ مصالح سنگی
۱۲۹	۴-۴-۳ مشخصات فنی مخلوطهای آسفالتی
۱۳۰	۴-۵ طرح و اجرا
۱۳۰	۴-۵-۱ طرح و اجرای آسفالت‌های ناتراوا
۱۳۷	۴-۵-۲ طرح و اجرای آسفالت متخلخل
۱۳۹	۴-۵-۳ طرح و اجرای آسفالت ماستیک
۱۴۲	۴-۵-۴ طرح و اجرای آسفالت‌های حفاظتی
۱۴۵	۴-۵-۵ طرح و اجرای آسفالت‌های مدفون
۱۴۸	۴-۵-۶ طرح و اجرای ورق‌های پیش ساخته آسفالتی
۱۵۰	۴-۵-۷ طرح و اجرای سایر رویه‌های قیری و آسفالتی
۱۵۳	۴-۶ روسازی آسفالتی شبکه‌های ارتباطی، محوطه‌سازیها و راهها
۱۵۴	۴-۷ آزمایشهای کنترل کیفیت
۱۵۴	۴-۷-۱ مصالح زیرسازی
۱۵۵	۴-۷-۲ مواد قیری
۱۵۵	۴-۷-۳ مصالح سنگی
۱۵۶	۴-۷-۴ مخلوطهای آسفالتی
۱۵۷	۴-۸ تعمیر و نگهداری

۱۵۷	۱-۸-۴ مقدمه
۱۵۷	۲-۸-۴ انواع آسیب‌دیدگی
۱۶۳	۳-۸-۴ تعمیرات سازه‌های آسفالتی ویژه
۱۶۵	فصل پنجم - سنگ
۱۶۷	۱-۵ تعریف
۱۶۷	۲-۵ دامنه کاربرد
۱۶۸	۳-۵ دسته‌بندی
۱۶۸	۱-۳-۵ گرانیت
۱۶۹	۲-۳-۵ بازالت و سنگهای مشابه
۱۶۹	۳-۳-۵ سنگ کربناتی
۱۷۰	۴-۳-۵ ماسه سنگ
۱۷۰	۵-۳-۵ سنگهای متفرقه
۱۷۲	۴-۵ طبقه‌بندی اندازه سنگها
۱۷۴	۵-۵ انواع سازه‌های سنگی ساحلی
۱۷۴	۱-۵-۵ موج شکن
۱۷۴	۲-۵-۵ دیوار ساحلی
۱۷۵	۳-۵-۵ صندوقه
۱۷۵	۴-۵-۵ محافظ پاشنه
۱۷۵	۵-۵-۵ اسکله
۱۷۶	۶-۵ ارزیابی سنگ مورد استفاده
۱۷۶	۱-۶-۵ بررسیهای صحرایی
۱۷۸	۲-۶-۵ بررسیهای سنگ‌شناسی
۱۷۹	۳-۶-۵ آزمایشهای آزمایشگاهی
۱۸۱	۴-۶-۵ گزارش
۱۸۲	۵-۶-۵ ویژگیهای استاندارد و ارزیابی نتایج
۱۸۸	۷-۵ دوام
۱۹۰	۸-۵ مکانیسمهای آسیب‌دیدگی

۱۹۰	۱-۸-۵ تر و خشک شدن متوالی.....
۱۹۰	۲-۸-۵ یخ زدن و آب شدن.....
۱۹۱	۳-۸-۵ حمله شیمیایی.....
۱۹۱	۴-۸-۵ سوراخ کننده‌های سنگ.....
۱۹۱	۵-۸-۵ رویارویی با امواج.....
۱۹۱	۹-۵ تعمیر و نگهداری
۱۹۵	فصل ششم - چوب
۱۹۷	۱-۶ چوب
۱۹۷	۲-۶ دامنه کاربرد
۱۹۷	۳-۶ رده‌بندی
۱۹۸	۴-۶ شیوه تهیه
۱۹۸	۱-۴-۶ چوبهای گرد.....
۱۹۹	۲-۴-۶ چوبهای الواری.....
۱۹۹	۵-۶ درجه‌بندی
۲۰۲	۶-۶ خصوصیات چوب
۲۰۲	۱-۶-۶ بافت.....
۲۰۲	۲-۶-۶ رطوبت.....
۲۰۳	۳-۶-۶ جرم ویژه.....
۲۰۴	۴-۶-۶ خصوصیات مکانیکی.....
۲۰۵	۵-۶-۶ تنشهای مجاز چوب.....
۲۰۶	۷-۶ گروه‌بندی چوبهای سازه‌ای
۲۰۶	۸-۶ کاربرد چوب در سازه‌های دریایی
۲۰۶	۱-۸-۶ تیر و شمعهای چوبی.....
۲۰۸	۲-۸-۶ سپر.....
۲۰۸	۹-۶ جانداران مخرب چوب
۲۰۹	۱۰-۶ حفاظت شیمیایی چوب
۲۱۰	۱۱-۶ کیفیت و پذیرش چوب

۲۱۱

۲۱۱

۲۱۳

۲۲۳

۶-۱۲ اتصالات

۶-۱۳ تعمیرات

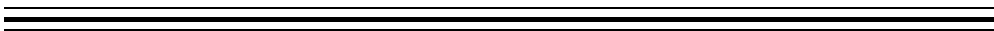
مراجع

واژه‌نامه

فهرست جدولها

عنوان	صفحه
جدول ۱-۲ تقسیم‌بندی شرایط اقلیمی.....	۲۱
جدول ۲-۲ حداکثر مقادیر مجاز کلرید.....	۲۲
جدول ۳-۲ راهنمای نسبت‌های مخلوط بتن و تمهیدات اجرایی در شرایط R4 (جدول ۲-۲).....	۲۴
جدول ۴-۲ نسبت‌های مخلوط بتن و تمهیدات اجرایی در شرایط محیطی R3 (جدول ۲-۲).....	۲۶
جدول ۵-۲ نسبت‌های مخلوط بتن و تمهیدات اجرایی در شرایط محیطی R2 (جدول ۱-۲).....	۲۷
جدول ۶-۲ مدول الاستیسیته سکانت در حد تناسب.....	۳۸
جدول ۱-۳ مشخصات فولادها بر اساس سیستم AISI-SAE (1)	۵۲
جدول ۲-۳ ترکیب شیمیایی و خواص مکانیکی چند گروه متعارف از فولادهای ساختمانی کم‌آلیاژ با استحکام بالا.....	۵۶
جدول ۳-۳ حداقل ضخامت گلوگاه جوش لب.....	۶۰
جدول ۴-۳ حداقل ضخامت بعد جوش گوشه.....	۶۱
جدول ۵-۳ تنشهای مجاز جوش.....	۶۴
جدول ۶-۳.....	۶۴
جدول ۷-۳ اندازه حداکثر سوراخ پیچها.....	۶۶
جدول ۸-۳ تنشهای مجاز در انواع وسایل اتصال (کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع).....	۶۷
جدول ۹-۳ تنش کششی مجاز (Ft) برای اتصال برشی (تماسی) (کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع).....	۶۸
جدول ۱۰-۳ مقادیر C1	۷۰
جدول ۱۱-۳ حداقل فاصله مرکز سوراخ استاندارد تا لبه (میلی‌متر).....	۷۱
جدول ۱۲-۳ مقادیر افزایش یافته تا لبه C2	۷۱
جدول ۱۳-۳ مقدار مجاز دامنه تغییرات تنش (کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع).....	۷۳
جدول ۱۴-۳ تعداد سیکل‌های بارگذاری.....	۷۵
جدول ۱۵-۳ تأثیر نوع و محل مواد بر تنش مجاز خستگی.....	۷۶
جدول ۱۶-۳ لیست استانداردهای موجود.....	۸۰
جدول ۱۷-۳ آزمایش scc	۸۲
جدول ۱۸-۳ حد خستگی و مقاومت خوردگی فلزات مختلف (بررسیهای Mc Adams).....	۸۳

جدول ۳-۱۹	جدول گالوانیکی بعضی از فلزات و آلیاژها در آب دریا	۸۵
جدول ۳-۲۰	مقایسه املاح موجود در آب دریاها و خلیج فارس	۸۷
جدول ۳-۲۱	پتانسیلهای لازم برای رسیدن به حد حفاظت	۹۳
جدول ۳-۲۲	شدت خوردگی بعضی فلزات به عنوان آند	۹۴
جدول ۳-۲۳	مشخصات آندهای فدا شونده	۹۵
جدول ۳-۲۴	مقایسه حفاظت کاتدی به روشهای اعمال جریان و آند فدا شونده	۹۵
جدول ۳-۲۵	برخی حلالهای معروف و مشخصات شیمیایی آنها	۹۸
جدول ۳-۲۶	سیستمهای پوشش	۱۰۳
جدول ۳-۲۷	کاربرد پوششهای مختلف	۱۰۶
جدول ۴-۱	موارد کاربرد و عملکرد مواد قیری و مخلوطهای آسفالتی	۱۱۳
جدول ۴-۲	طبقه‌بندی سنگهای اسیدی و قلیایی	۱۲۴
جدول ۴-۳	دانه‌بندی مخلوطهای بتنی آسفالتی	۱۳۶
جدول ۴-۴	مشخصات قیر مورد استفاده برای مخلوطهای آسفالتی مدفون	۱۴۶
جدول ۴-۵	آزمایشهای کنترل کیفیت عملیات زیرسازی	۱۵۵
جدول ۴-۶	آزمایشهای کنترل کیفیت مصالح سنگی	۱۵۶
جدول ۵-۱	آزمایشهای اجباری سنگ مورد استفاده در سازه‌های دریایی و ساحلی	۱۸۰
جدول ۵-۲	آزمایشهای اختیاری سنگ مورد استفاده در سازه‌های دریایی و ساحلی	۱۸۱
جدول ۵-۳	اندازه‌های استاندارد برای ریپر	۱۸۶
جدول ۵-۴	اثر وزن مخصوص بر وزن سنگ با اشکال مختلف (کیلوگرم)	۱۸۷
جدول ۵-۵	مشخصات اجباری سنگ آرمور یا سنگ مورد استفاده در ساخت سازه‌های	۱۸۸
جدول ۵-۶	مشخصات اختیاری سنگ مورد استفاده در ساخت سازه‌های سنگی ساحلی و دریایی	۱۹۶
جدول ۶-۱	ابعاد چوبهای الواری	۱۹۹
جدول ۶-۲	درجه‌بندی چوب به روش نظری	۲۰۰
جدول ۶-۳	تششهای مجاز چوب بر حسب کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع	۲۰۵
جدول ۶-۴	تششهای مجاز تکیه‌گاهی در جهت مایل نسبت به امتداد الیاف	۲۰۵
جدول ۶-۵	شمعهای اصطکاک: محیط مقطع ضخیم و حداقل محیط مقطع باریک (میلیمتر)	۲۰۷
جدول ۶-۶	شمعهای اتکایی: محیط مقطع ضخیم و حداقل محیط مقطع باریک (میلیمتر)	۲۰۷
جدول ۶-۷	تششهای فشاری مجاز شمع چوبی	۲۰۸



کلیات

◀ ۱-۱ خواص مکانیکی (سازه‌ای)

مهم‌ترین خواص مکانیکی مصالح که نقش مهمی در انتخاب مصالح مناسب دارند به شرح زیر است:

◀ ۱-۱-۱ وزن مخصوص

وزن مخصوص با در نظر گرفتن کاربرد مصالح در آب، ساحل و یا به صورت شناور تعیین می‌شود.

◀ ۱-۱-۲ مقاومت مصالح

با توجه به محل استفاده مصالح در سازه مورد نظر، از آزمایشهای متناسب با نیروها و لنگرهای ایجاد شده استفاده می‌شود. آزمایشهای کشش، فشار، خمش و برش، بیشتر مورد استفاده می‌باشند.

◀ ۱-۱-۳ مقاومت در مقابل بارهای ضربه‌ای و سیکلی

با توجه به شرایط امواج و یا جریان طوفانی دریا، مقاومت مصالح مورد استفاده در سازه‌های مورد بحث این آیین‌نامه در برابر بارهای ضربه‌ای و سیکلی مهم است.

◀ ۱-۱-۴ مقاومت لرزه‌ای

مقاومت در برابر بارهای دینامیکی شدید ناشی از وقوع زلزله و همچنین خصوصیات استهلاک و میرایی، دارای اهمیت خاصی در انتخاب مصالح و طراحی سازه‌ها می‌باشند.

◀ ۱-۱-۵ شکل‌پذیری مصالح

شکل‌پذیری یکی از مهم‌ترین خصوصیات مقاومت سازه‌ها در مقابل زلزله و طراحی لرزه‌ای آنها می‌باشد. شکل‌پذیری سازه تابع شکل‌پذیری مصالح می‌باشد و در مناطق لرزه‌خیز، تا حد امکان باید از مصالح دارای شکل‌پذیری زیاد استفاده کرد.

۱-۱-۶ اندازه سازه‌ای

اندازه سازه، تعیین کننده نوع مصالح و جنس سازه می‌باشد. سازه‌های بزرگ ممکن است شامل قطعات مرکب از چند مصالح باشند که به منظور ایجاد سازه‌ای واحد به یکدیگر وصل شده‌اند. سازه‌های کوچک مثل حفاظهای ماسه‌ای، شامل قطعات مستقل و یا مقاطعی از مصالح می‌باشند که به طور مستقل عمل می‌کنند. سازه‌های ساخته شده از سنگ، صخره و آسفالت توانایی مقاومت در مقابل تنش کششی را ندارند و فقط می‌توانند بارهای فشاری، برشی و ضربه‌ای را تحمل نمایند و باید بر مبنای چنین خواصی طراحی گردند. بتن و چوب تا حدی می‌توانند تنشهای کششی یا لنگرهای خمشی را تحمل کنند. اگر بتن، تحت چنین تنشهایی قرار گیرد، لازم است فولاد مسلح کننده یا کابلهای پیش‌تنیده به منظور افزایش توانایی تحمل تنشهای کششی به کار روند. فولاد اگر طبق قاعده و اسلوب طراحی شده باشد، توانایی تحمل کلیه تنشها را دارد. مقاطع، هنگامی که تحت اثر بارهای خمشی قرار می‌گیرند، خمیده شده و یا تغییر شکل می‌دهند و این حرکتها باید در مرحله طراحی در نظر گرفته شوند. مصالح مصنوعی نظیر فیلترها که روی مصالح را می‌پوشانند، عموماً تحت اثر بارهای کششی، ضربه‌ای، خمشی و خستگی می‌باشند و به ندرت تحت اثر بارهای فشاری قرار دارند.

۱-۲-۱ خواص غیر سازه‌ای

سه خاصیت زیر از مهم‌ترین خواص غیر سازه‌ای می‌باشند:

۱-۲-۱-۱ دوام

توانایی مقاومت مصالح تحت شرایط وارد بر آن، دوام می‌باشد. آزمایشهای آزمایشگاهی متعددی جهت اندازه‌گیری دوام مصالح طبق استانداردهای مختلف موجود است، ولی به دست آوردن ارتباط بین آزمایشهای آزمایشگاهی و شرایط عملکرد کارگاهی مشکل است. به دلیل جدی بودن شرایط جوی دریایی، لازم است در انتخاب مصالح از تجربه‌های کارگاهی استفاده شود.

دوام در ارتباط با عمر سازه، رابطه بین هزینه اولیه و نگهداری آن است. سنگهای آذرین بادوام‌ترین نوع سنگ می‌باشند. بعد از چندین سال ممکن است ساخت و ترکیب سازه، گسیخته، تجزیه و یا خرد

شود. سنگهای رسوبی باید به دقت مورد استفاده قرار گیرند زیرا استحکام کافی ندارند و با توجه به تغییر میزان آب و یا تجزیه شیمیایی، ممکن است دچار گسیختگی برشی - ضربه‌ای شوند.

بستر زمین و خاک در حالت کلی با دوام محسوب می‌شوند، مگر آنکه میزان آب و یا اندازه دانه‌ها تغییر یابند. این تغییرها ناشی از اثرهای شیمیایی می‌باشند که منجر به خمیری شدن می‌شوند. بتن جزو مصالح بادوام محسوب می‌شود و می‌تواند در طول زمان مورد نظر، دوام خود را حفظ نماید. فولاد اگر به روش خاص خود نگهداری شود بادوام می‌باشد، ولی تحت اثر سایش، به سرعت تخریب می‌شود. در نواحی که به طور مداوم خشک و تر می‌شود، عمل فرسایش می‌تواند برای فولاد بسیار مخرب باشد.

چوب کمتر از بتن دوام دارد ولی عمر مفید آن به مشخصات، چگونگی مصرف و کیفیت نگهداری آن ارتباط دارد. چوب یک ماده آلی است لذا به راحتی تحت هجوم گیاهان و حیوانات قرار می‌گیرد و در مقابل آتش، نسبت به مصالح دیگر صدمه‌پذیرتر است.

آسفالت در حالت کلی یک ماده بادوام محسوب نمی‌شود و دارای مقاومت کمی در مقابل فشار یا کشش بوده و مقاومت ضربه‌ای و سایشی ندارد.

مصالح مصنوعی در حالت کلی در مقابل حمله عوامل شیمیایی مقاوم نمی‌باشند و اگر در معرض نور آفتاب قرار گیرند به سرعت تخریب می‌شوند. هزینه نگهداری آنها بسیار ناچیز است و باید با توجه به عمر آنها و عمر مفید سازه انتخاب شوند.

◀ ۱-۲-۲ مناسب بودن مصالح برای هدف مورد نظر

در انتخاب مصالح مناسب برای استفاده در سازه‌های بندری و دریایی، محل احداث، اندازه سازه و قابلیت دسترسی به مصالح باید مد نظر قرار گیرد. سازه‌های ساخته شده با خاک و سنگ دارای اشکال متعدد و وسیعی بوده و اغلب چنین مصالحی در دسترس می‌باشند. چنین مصالحی هنگامی که در سازه‌های غیر صلب قرار گیرند دارای عملکرد مطلوبی می‌باشند. سنگ می‌تواند تحت شرایط آب و هوایی مختلف و متنوعی قرار گیرد زیرا قابلیت تحمل تغییرات درجه حرارت را دارد و با تغییر رطوبت، گسیختگی کلی در آن به وقوع نمی‌پیوندد. بتن (مسلح یا غیر مسلح) به منظور استفاده در سازه‌های مورد بحث، بسیار مناسب می‌باشد و موارد استفاده آن شبیه سنگ است، با این تفاوت که گران‌تر ولی دارای

مقاومت سایشی و قابلیت قالب‌گیری است. بتن به عنوان شمع و سپری، در مقاومت و دوام با چوب و فولاد می‌تواند رقابت نماید.

فولاد به علت گرانی فقط در شمعها و سپرها و یا تیرها استفاده می‌شود و برای کاربرد در سازه‌های پیچیده مناسب می‌باشد. تنها محدودیت آن ظرفیت محدود تحت اثر نیروهای امواج و یا جریان دریا در اعماق زیاد است. چوب در مقابل بارهای ضربه‌ای و فرسایشی، مقاومت خوبی دارد و می‌تواند فشار، کشش و برش را تحمل نماید و به منظور ساخت در کارگاه، به راحتی قابل حمل است. مواد مصنوعی و پوششهای محافظ مصالح، در موارد خاص، مورد استفاده قرار می‌گیرند و محدوده و وسعت کاربرد آنها زیاد نمی‌باشد.

۱-۲-۳ مقاومت در برابر آتش‌سوزی

با توجه به این که اسکله‌ها، لنگرگاه‌ها و تأسیسات و سکوه‌های نفتی، سازه‌های مورد بحث این آیین‌نامه می‌باشند، بحث آتش‌سوزی در مورد این سازه‌ها از اهمیت خاصی برخوردار است. سنگ (بخصوص سنگهای آذرین با طبیعت متامورفیک) و خاک در مقابل آتش‌سوزی مقاوم تلقی می‌شوند. بتن در حالت کلی در مقابل آتش مقاوم است مگر این که در معرض حرارت بالا قرار گیرد. بتن مسلح اگر مدت زمان زیادی تحت تأثیر دمای بالا قرار گیرد، به دلیل انبساط آرماتورها و در نتیجه لغزش آنها ترک خورده و دچار آسیب اساسی می‌شود.

فولاد از جمله مصالح قابل احتراق نیست ولی اگر در معرض حرارت بالا قرار گیرد و منبسط شود، تمایل به تاب خوردن (پیچش)، کمانش و کاهش مقاومت پیدا می‌کند. آسفالت نیز نسبت به دما آسیب‌پذیر بوده و در مقابل آتش مقاوم نمی‌باشد. در بین مصالح به کار رفته در سازه‌های دریایی، چوب دارای کمترین مقاومت در مقابل آتش‌سوزی می‌باشد و به خاطر قیر موجود در آن، در برابر آتش بسیار آسیب‌پذیر است. مواد مصنوعی معمولاً در مقابل آتش‌سوزی آسیب‌پذیر بوده و خطرهای ناشی از انتشار دودهای سمی را نیز دارا می‌باشند.

◀◀ ۱-۳ خواص دیگر

علاوه بر خصوصیات مهم فوق، باید به بعضی خصوصیات دیگر نیز در انتخاب نوع مصالح مورد استفاده در سازه‌های دریایی و بندری توجه کافی داشت. بعضی از این خصوصیات عبارتند از:

الف: قابلیت دسترسی

ب: فراوانی

ج: قابلیت حمل (روش حمل و محدودیتهای حمل و نقل)

(پارامترهای فوق دارای تأثیر اقتصادی می‌باشند و علاوه بر جنبه‌های فنی، باید به آنها نیز توجه

کرد.)

د: سازگاری با مصالح و مواد دیگر

ه: در نظر گرفتن شرایط جوی

در ادامه، مطالب مختصری در خصوص شرایط عمومی مصالح مهم مورد بحث در آیین‌نامه یعنی سنگ، بتن، چوب و فولاد به تفکیک آورده شده است.

◀◀ ۱-۴ سنگ

سنگ طبیعی در ساختمانهای حفاظتی در شرایط دریایی و ساحلی مورد استفاده قرار می‌گیرد و در سازه‌هایی نظیر موج‌شکنها، دیوارهای راهنما، دیواره‌های ساحلی و در سطوح شیبدار سنگچینی شده استفاده می‌شود. سنگی که برای اهداف حفاظتی مورد استفاده قرار می‌گیرد، باید محکم و از کیفیت بالایی برخوردار باشد و همچنین از لحاظ دوام باید مورد بررسی قرار گیرد. سنگ مورد استفاده باید عاری از لایه‌بندی و سطوح متورق باشد و از کیفیتی برخوردار باشد که تحت تأثیر هوا، آب، سیکل‌های رطوبت و خشکی، یخ‌زدگی و برخورد امواج، متلاشی و ساییده نشود. سنگ باید قابلیت حمل و نقل بدون شکستگی یا آسیب دیدن را داشته باشد. شکل قطعات سنگها باید تا حد امکان منشوری باشد و طول بعد حداکثر آنها نباید بزرگتر از دو برابر بعد حداقل باشد و هیچ‌گاه از سه برابر تجاوز نکند.

با در نظر گرفتن شرایط سنگ مناسب، اولین انتخاب باید شامل سنگهای آذرین باشد که بادوام‌ترین نوع سنگها می‌باشند. در انتخاب سنگهای رسوبی و دگرگونی دقت بیشتری لازم است. در تعیین کیفیت سنگهای مورد استفاده در سازه‌های حفاظتی، تعدادی آزمایش پیشنهاد گردیده است که فهرست آنها در بخش مربوط به سنگ آورده شده است.

◀◀ ۱-۵ چوب و الوار

گروه زیادی از انواع چوبها در سازه‌های دریایی و ساحلی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در منابع و آیین‌نامه‌های تخصصی، جدولهایی حاوی اطلاعاتی درباره ویژگیهای چوب و الوار، خواص عملکرد، استفاده‌های مهم هر نوع، اندازه‌ها، در دسترس بودن و ... تهیه شده‌اند. دوام الوار در سازه‌های دریایی، تابع دو پدیده آسیب مکانیکی و شرایط محیطی می‌باشد.

◀ ۱-۵-۱ آسیب مکانیکی

علل آسیب مکانیکی شامل فشار و یا خوردگی مکانیکی به دلیل برخورد کشتی‌ها، باربرها، زباله‌های شناور و یا فرسوده شدن الوار توسط عابران پیاده و ترافیک وسایل نقلیه می‌باشد. الوارهایی که بسته به مورد استفاده در مجاورت بستر دریا و در سواحل بی‌حفاظ، در معرض ساییدگی برخورد ذرات شن و ماسه کف دریا که تحت تأثیر جریان آب و همچنین امواج در حال حرکت هستند، قرار دارند. انواعی از چوبها دارای مقاومت بهتری در برابر فرسایش هستند. در بعضی موارد، اثرات فرسایش می‌تواند به وسیله پوشش لازم به حداقل ممکن برسد.

◀ ۱-۵-۲ اثرات و شرایط محیطی

مهم‌ترین اثر محیطی دریا روی چوبها، اثرات بیولوژیکی می‌باشد. خطرات بیولوژیکی برای الوارها در شرایط دریایی، شامل پوسیدگی قارچی (فساد) و همچنین حمله جانوران خورنده دریایی است. پوسیدگی قارچی بر اثر افزایش مقدار رطوبت اتفاق می‌افتد.

در شرایط ساحلی دریا، پدیده مذکور پدیده‌ای عمومی برای چوبها می‌باشد، مگر الواری که مورد استفاده قرار می‌گیرد دوام طبیعی داشته باشد و یا به یکی از روشهای حفاظتی، محافظت شده باشد. در عرشه‌ها، لنگرگاه‌ها و اسکله‌ها، به طور دایم پوسیدگی یافت می‌شود، بخصوص جایی که آب شیرین قادر است رسوبهای نمک را رقیق کرده و رطوبت بالایی را در الوارها نگهداری کند. پوسیدگی به طور شاخص روی سطوح افقی پوشیده شده و در اتصالات رخ می‌دهد، بنابراین باید جزئیات را به دقت بررسی، آبهای سطحی را در مکانهای مذکور زهکشی و همچنین از مکانهایی که آب (آب شیرین) در آنها جمع شده و وارد اتصالات می‌شود اجتناب نمود. علاوه بر این، در جایی که الوار به همراه سایر مصالح مثل بتن، آجر یا خشت (که باعث نگهداری رطوبت می‌شوند) استفاده می‌شود، برای جلوگیری از پوسیدگی باید تدابیری اندیشید.

معمول‌ترین انواع خورنده‌های دریایی که به الوارها حمله می‌کنند، یک نوع سخت‌پوست به نام *Limnobia* و یک نوع کرم به نام کرم کشتی *Mollusc Teredo* می‌باشند که هر دو می‌توانند به سرعت آسیب شدیدی به وجود آورند. البته کرم کشتی معمولاً به بخشهای دریایی و دهانه رودخانه‌های بزرگ محدود می‌گردد و قادر نیست که در آب شیرین زندگی کند.

در شرایط دریایی باید مقاومت لازم در برابر موجودات خورنده و پوسیدگی قارچی ایجاد گردد. مقاومت لازم می‌تواند با استفاده از حفاظت کننده‌های چوبی نیز حاصل شود. در محیطهای آب شیرین، پوسیدگی قارچی بزرگترین تهدید محسوب می‌شود و استفاده از محافظها یا الوارهایی که دوام طبیعی مناسب دارند، ضروری و لازم است. مقاومت طبیعی در مقابل فساد قارچی در انواع مختلف چوب متفاوت است. مقاومت طبیعی در مقابل خورنده‌های دریایی، دقیقاً مقاومت موازی در برابر فساد قارچی نمی‌باشد.

الوارها با دو هدف سازه‌ای و روساختی مورد استفاده قرار می‌گیرند. الوارهایی که با هدف سازه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند باید از لحاظ خصوصیات مکانیکی شناخته شده باشند. الوارهایی که در روساختهای اجزای اصلی ساختمان مورد استفاده قرار می‌گیرند، شبیه الوارهایی هستند که در قسمتهای سازه‌ای به کار می‌روند و مقاومت آنها در برابر فرسایش ترافیک عابرین و وسایل نقلیه، هنگامی که به عنوان گذرگاه (عرشه) به کار می‌روند باید مورد توجه قرار گیرد.

۱-۶ فولاد

فولادهای ساختمانی قابل جوش خوردن، معمول‌ترین فولادهای مورد استفاده در سازه‌های فولادی دریایی می‌باشند که باید مطابق با استانداردهای معرفی شده در آیین‌نامه باشند. فلزهای دیگر که گاهی در سازه‌های دریایی و بندری مورد استفاده قرار می‌گیرند عبارتند از: فولادهای مخصوص حاوی مس، فولادهای زنگ‌نزن، فولادهای خشکه (ریخته‌گری)، چدن، برنز، آلیاژهای آلومینیوم و ... فلزات در سازه‌های دریایی بیشتر از سازه‌های ساحلی تحت تأثیر خوردگی هستند، این موضوع به دو علت است:

الف: تشکیل پیل‌های الکتریکی، که نمک‌های حل شده در آب دریا نیز به عنوان الکترولیت عمل می‌کنند.
ب: فرسایش دایم فرآورده‌های حاصل از خوردگی از قبیل اکسیدها (زنگ‌ها). در مورد فولادهای ساختمانی، به ویژه اگر سازه برای جذب انرژی به وسیله تغییر مکان، طراحی شده باشد، عملکرد موج و تغییر مکانهای متناوب آن اثر نامطلوبی دارد.

ضرورت کنترل خوردگی و پیش‌بینی از بین رفتن فلزات که نتیجه خوردگی تدریجی است، نقش بزرگی در انتخاب مناسب‌ترین فلزات ایفا می‌کنند. سازه‌های فلزی باید تا حد امکان ساده باشند، به ویژه از لحاظ خوردگی، سهولت نگهداری و اتصالاتی که باید در محل، اجرا گردند. تا حد امکان از قطعات پیش‌ساخته استفاده شود و جوشها و رنگ‌آمیزی نیز باید به کمک ماشینهای مکانیکی و با نظارت جدی اجرا گردند. مراحل جوشکاری فولادهای خاص، باید با توجه به ضوابط و استانداردهای جوشکاری، طراحی و اجرا گردد. در خوردگی فولادها، ترکیب شیمیایی به نسبت بعضی عوامل فیزیکی مؤثر در تشکیل پیل‌های الکتریکی از قبیل ناصافی‌ها، وجود سوراخها، گوشه‌های مقعر، ناخالصی و ... دارای تأثیر کمتری است.

درجه‌های فولادی سازه‌ای که در راهنما مجاز شناخته شده و توسط استاندارد ASTM مشخص می‌شوند، تا فولادهای با تنش تسلیم ۷۰۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع را شامل می‌شوند.

بعضی از استانداردهای ASTM نقطه تسلیم حداقل را مشخص می‌کنند و بعضی دیگر، مقاومت تسلیم حداقل را مشخص می‌کنند. عبارت تنش تسلیم در راهنما به صورت یک عبارت کلی به کار

می‌رود که هم شامل نقطه تسلیم و هم مقاومت تسلیم می‌شود. تعدادی از استانداردهای ASTM مربوط به فولادهای خشکه و ریخته‌گری و سایر مواد متعلقه نظیر پرچها، پیچها و الکترودهای جوشکاری نیز برای فولادهای دارای چند درجه مقاومت ذکر شده‌اند.

ضوابط این آیین‌نامه برای سازه‌های فولادی، بر اساس ضریب اطمینان رسیدن به تنش تسلیم مواد متصل شده اصلی تحت بارهای سرویس استوار هستند. در طراحی سازه‌های فولادی، امتداد موزی با امتداد نورد به عنوان امتداد اصلی در نظر گرفته می‌شود. بنابراین تنش تسلیمی که توسط آزمایش کشش استاندارد تعیین می‌شود، خاصیت مکانیکی اصلی است که در انتخاب فولادهای مورد تأیید این آیین‌نامه (طبق استاندارد ASTM) ملاک عمل قرار می‌گیرد. سایر خواص فیزیکی و مکانیکی فولاد نورد شده، نظیر رفتار همگن، قابلیت چکش خواری، قابلیت جذب انرژی در شکافها، شکل‌پذیری، مقاومت در برابر خوردگی و غیره نیز می‌توانند در استفاده رضایت‌بخش از یک سازه مهم باشند. در راهنمای حاضر، امکان درج اطلاعات کافی برای درک کامل تمام عواملی که می‌توانند در انتخاب و تعیین مواد مورد نیاز یک مورد خاص قابل توجه باشند، وجود ندارد. در چنین مواردی توصیه می‌گردد که از مراجع موجود و یا سایر آیین‌نامه‌های معتبر استفاده شود.

استاندارد مورد استفاده در آیین‌نامه برای پیچها، همان استاندارد ASTM است که در بخش مربوطه ذکر گردیده‌اند. استاندارد مورد استفاده برای اتصالات جوشی و بخصوص فلز الکتروود یا پوشش آن، از روی مشخصات AWS تعیین می‌شود، ضوابط استاندارد مورد استفاده باید با دقت مطالعه گردند تا نسبت به کسب آگاهی از مرجع مشخصات اطمینان حاصل شود. انجام این کار امری ضروری است زیرا سیستمهای مشخصات AWS، ثابت و هماهنگ نیستند، به ویژه با در نظر گرفتن شرایط خاص محیطی سازه‌های بندری و دریایی، باید دقت بیشتری در انتخاب الکتروودها داشت.

◀ ۱-۷ بتن

بتن مسلح بر خلاف سایر مصالح سازه‌ای، از دو ماده مستقل بتن و آرماتور (فولاد) تشکیل شده است و رفتار بتن سازه‌ای که مسلح می‌باشد، تابع رفتار بتن و فولاد می‌باشد. در مسائل مربوط به خوردگی ناشی از عوامل محیطی دریاها و سواحل، این موضوع پیچیده‌تر می‌گردد. آیین‌نامه طراح را مجبور می‌کند

که نوع بتن مورد نیاز برای پاسخگویی به نیازهای درخواستی را مشخص کند و استحکام، قدرت و دوام کافی را در سازه‌ها تضمین کند.

دوام بتن بستگی به مصالح مناسب، طراحی مخلوط و عملکرد آن دارد. دوام طولانی مدت بستگی به شناخت عوامل گوناگونی دارد که در آسیب و فرسایش بتن مؤثر می‌باشند. باید توازنی میان عوامل وابسته به هم که شامل مصالح، طراحی، اجرا و هزینه‌ها می‌باشند برقرار گردد. تعدادی از این عوامل کلی می‌توانند به صورت زیر باشند:

الف: سازه ممکن است به طور دایم زیر آب باشد و دسترسی به آن مشکل است.

ب: سازه ممکن است در تماس با امواج در هر جزر و مد باشد، بنابراین شسته و فرسوده می‌گردد.

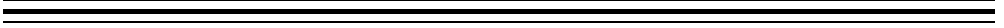
ج: سازه‌هایی که در تماس با امواج هستند، از لحاظ ساخت و اجرا به دلیل تغییرات ناگهانی تراز سطح آب با مشکلات خاصی روبه‌رو هستند.

د: سازه‌های بتنی باید به شکلی باشند که به وسیله قالب‌بندی که می‌تواند به آسانی ثابت نگه داشته شود اجرا گردند. از اشکال پیچیده باید تا حد امکان امتناع کرده و مقاطع نازک و همچنین مقاطعی که پوشش آرماتور آنها نیازمند دقت در تثبیت موقعیت آرماتورها است، نباید به کار برده شوند.

هـ: یک اصل مهم در آرایش و طرح آرماتورها، توجه به مسائل خوردگی (محصور کردن ترکها و شکاف ترکها و همچنین تأمین پوشش کافی آرماتورها) می‌باشد.

و: فرسایش بتن به علت سایش می‌تواند عامل مهمی برای آسیب جدی به سازه‌های دریایی باشد. فرسایش می‌تواند ناشی از وجود اشیای شناور در سطح بستر و مواد ساحلی باشد.

٢



بتن

◀ ۲-۱ کلیات، شرایط اقلیمی، محیطی و استانداردها

◀ ۲-۱-۱ هدف

هدف این فصل از آیین‌نامه، ارایه ضوابط و مقرراتی است که با رعایت آنها حد قابل قبولی از مقاومت و دوام بتن در سازه‌های دریایی و ساحلی تأمین می‌شود.

◀ ۲-۱-۲ بهره‌گیری از آیین‌نامه بتن ایران

در این قسمت از آیین‌نامه تأکید بر ساخت بتن در شرایط اقلیمی و محیطی خاص می‌باشد، بنابراین از ذکر ضوابط و مقررات ارایه شده در جلد اول آیین‌نامه بتن ایران (آبا) صرف نظر شده است. بر این اساس در صورت عدم ذکر ضوابط و مقررات در این بخش از آیین‌نامه مراجعه به آبا ضروری است.

◀ ۲-۱-۳ شرایط محیطی ساحلی از نظر آسیب‌رسانی به بتن

شرایط محیطی بر ساختار بتن اثر می‌گذارند. شرایط محیط خود تابع عوامل متعددی مانند دما، رطوبت، باد و وجود نمکها است. بر همین اساس شرایط از نظر تأثیرپذیری بتن به ماکرو اقلیم یا اقلیم وسیع و میکرو اقلیم یا اقلیم محدود تقسیم می‌گردند. ماکرو اقلیم شامل شرایط در مقیاس کل منطقه است که رطوبت و دما از مهم‌ترین شاخصهای آن است. در این آیین‌نامه، میکرو اقلیم مربوط به شرایط ساحلی می‌گردد که کل سازه یا اعضای سازه در معرض آن قرار دارند که غیر از رطوبت و دما، عوامل دیگر مانند سرعت باد و مقدار نمکها را نیز شامل می‌شود.

کرانه‌های شمالی و جنوبی کشور را از نظر آسیب‌رسانی به بتن می‌توان به شرح زیر تشریح کرد:

الف: کرانه‌های جنوبی

اثر شرایط محیطی کرانه‌های جنوبی که از نوع گرم خشک نمکی است، بر روی بتن به شرح زیر است:

۱- افزایش نیاز مخلوط بتن به آب و افزایش نسبت آب به سیمان

۲- افزایش افت اسلامپ بتن و کاهش کارایی

- ۳- افزایش جمع‌شدگی بتن در حالت خمیری و ترک خوردگی بتن جوان
- ۴- افزایش جمع‌شدگی بتن ناشی از خشک شدن و ترک خوردگی در بتن سخت شده
- ۵- آلوده بودن سنگدانه‌ها به کلریدها و سولفات‌ها (نمکها) و آلوده شدن بتن به این نمکها
- ۶- وجود آب زیرزمینی آلوده و زمین آلوده به نمک و نفوذ این املاح به بتن
- ۷- وجود غبار نمکی در جو و نفوذ نمک به بتن

ب: کرانه‌های شمالی

سواحل و کرانه‌های شمالی (دریای خزر) به دلیل دمای کمتر، رطوبت بیشتر و آلودگی کمتر مصالح و محیط به عناصر مخرب و نمکها نسبت به کرانه‌های جنوبی، از نظر آسیب‌رسانی به بتن از شدت کمتری برخوردارند.

◀ ۲-۱-۴ انتخاب استاندارد

آزمایشها باید بر اساس استانداردهای منتشر شده توسط مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران انجام شوند و در صورت عدم ارایه استاندارد مورد نظر توسط مؤسسه، می‌توان از استانداردهای ASTM^۱، BS^۲، AASHTO^۳، ACI^۴، RILEM/CE B/FIP^۵، ISO^۶، CSA^۷، IS^۸ استفاده کرد. به منظور هماهنگی با آبا، فهرست مشخصات و آزمایشهای استاندارد با شماره‌گذاری دفتر امور فنی و تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری زلزله سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور ارایه شده است.

1. American Society for Testing and Materials
2. British Standard Institution
3. American Association of State Highway and Transportation Officials
4. American Concrete Institute
5. Reunion Internatioale des Laboratoires des Laboratioies
6. International Standard Organization
7. Canadian Standards Association
8. Indian Standards

۲-۲-۲ مشخصات مصالح

۱-۲-۲ اهمیت مشخصات مصالح

کیفیت سازه‌های بتنی ساحلی و دریایی، به دلیل نوع سازه‌ها و شرایط محیطی خاص از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، بنابراین برای تأمین عمر مفید پیش‌بینی شده این نوع سازه‌ها، باید مشخصات ویژه‌ای در نظر گرفته شوند و انتخاب مصالح با دقت بیشتری انجام گردد.

۲-۲-۲ تأثیر شرایط محیطی

در بررسی کیفیت مصالح، علاوه بر حصول اطمینان از انطباق ویژگی آنها با استانداردها، دستگاه نظارت می‌تواند عملکرد مصالح را در شرایط مورد نظر به ویژه در هوای گرم و خشک نمکی بررسی نماید. بر این اساس علاوه بر انجام آزمایشها در شرایط استاندارد آزمایشگاهی، لازم است بر روی مصالح در شرایط محیطی واقعی و یا در شرایط شبیه‌سازی شده آزمایشهایی نیز انجام گیرد.

۳-۲-۲ سیمان

الف: مشخصات سیمانهای پرتلند، پرتلند آمیخته پوزولانی، روبراه‌ای و آهکی مصرفی باید با استانداردهای مندرج در بند ۲-۱-۴ مطابقت داشته باشند.

ب: اگر در آزمایش واکنش قلیایی سنگدانه‌های مصرفی، مستعد بودن آنها به انجام واکنش تأیید شود، مقدار قلیایی معادل نهایی سیمان $\text{Na}_2\text{O} + 0.658 \text{K}_2\text{O}$ نباید از (۰/۶٪) تجاوز نماید.

ج: اگر در آزمایش واکنش قلیایی سنگدانه‌ها مطابق با استانداردهای معتبر، مستعد نبودن سنگدانه‌ها به انجام واکنش قلیایی تأیید گردد، می‌توان از سیمان با مقدار معادل قلیایی بیشتر از (۰/۶٪) استفاده کرد.

د: مقدار سولفات سیمان مصرفی، نباید از مقدار ذکر شده در بند ۲-۳-۵ بیشتر باشد.

۴-۲-۲ سنگدانه‌ها

الف: مشخصات سنگدانه‌ها باید با استانداردهای مندرج در آبا مطابقت داشته باشند.

ب: چنان‌چه دانه‌بندی سنگدانه‌ها مطابق با حدود تعیین شده در آبا نباشد اما بررسی آزمایشگاهی، مصرف آنها را برای ساخت بتن با مقاومت و دوام مورد نظر تأیید کند، استفاده از آن دانه‌بندی با تأیید دستگاه نظارت بلامانع است.

ج: حداکثر مقادیر مواد زیان‌آور باید مطابق با مشخصات آبا باشد.

د: سنگدانه‌ها از نظر واکنش قلیایی نباید فعال باشند (باعث آسیب‌دیدگی بتن گردند) و قبل از مصرف باید تحت آزمایش‌های توصیه شده در آبا قرار گیرند و پس از تأیید، مصرف شوند.

ه: بزرگترین اندازه اسمی سنگدانه‌های درشت باید مطابق ضوابط ذکر شده در آبا باشد.

و: در شرایط محیطی مهاجم مانند مواردی که سازه در معرض مستقیم نفوذ کلریدها و سولفات‌ها قرار می‌گیرد، به منظور کاهش نفوذپذیری بتن باید بزرگترین اندازه اسمی سنگدانه‌های درشت از ۲۰ میلیمتر تجاوز نکند.

ز: مشخصات مصالح سنگی مورد مصرف در بتن باید مطابق استاندارد "د ت ۲۰۱" آبا باشد.

◀ ۲-۲-۵ آب

آب مصرفی در ساخت بتن باید آب آشامیدنی باشد و مقادیر مواد زیان‌آور آن، باید با مقادیر مجاز حداکثر داده شده در مشخصات آبا مطابقت داشته باشد.

◀ ۲-۲-۶ مواد افزودنی شیمیایی

افزودنی شیمیایی ماده‌ای است به غیر از سیمان، سنگدانه، آب و الیاف که قبل از مخلوط کردن بتن یا در هنگام مخلوط کردن به آن اضافه می‌گردد.

الف: مواد افزودنی مصرفی باید با مشخصات آبا مطابقت داشته باشند. هوای گرم ممکن است اثر مواد افزودنی، روی خواص بتن تازه و سخت شده را نامطلوب کند، بنابر این لازم است اثر این مواد در خواص بتن در محیط واقعی و یا محیط شبیه‌سازی شده مورد بررسی قرار گیرند. در صورتی که تأمین این شرایط، امکان‌پذیر نباشد لازم است سازنده مواد افزودنی، اسناد معتبر مبنی بر عدم اثر نامطلوب این مواد بر روی خواص بتن در شرایط هوای مورد نظر ارائه دهد.

- ب: اگر بیش از یک نوع ماده افزودنی در بتن استفاده می‌شود باید سازگاری آن مواد در بتن، بر اساس نتایج آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گیرد.
- ج: مواد افزودنی نباید حاوی کلرید باشند و در صورت وجود کلرید در آنها، مقدار کلرید در بتن نباید از مقادیر ذکر شده در مشخصات آبا تجاوز نماید.
- د: استفاده از ماده افزودنی کندگیر کننده در هوای گرم و خشک مجاز نیست، زیرا احتمال افزایش جمع‌شدگی خمیری وجود دارد. اما استفاده از مواد افزودنی کاهنده آب (روان کننده و فوق روان کننده) با خاصیت کندگیر کنندگی بلامانع است. مشخصات مواد افزودنی مصرفی باید با استانداردهای د ت ۴۰۱ تا د ت ۴۰۴ و د ت ۴۰۸ تا د ت ۴۱۰ آبا مطابقت داشته باشند.
- ه: مصرف مواد بازدارنده خوردگی در بتن، فقط بر پایه نیتريت کلسیم مجاز است.
- و: مقدار مصرفی مواد افزودنی باید به طور دقیق اندازه‌گیری شود و از دستگاههای خودکار برای سنجش میزان آنها استفاده گردد.
- ز: باید اطلاعات کافی به شرح زیر از طرف سازنده مواد افزودنی به مصرف کننده ارائه گردد:
- ۱- نام و علامت سازنده
 - ۲- محدوده مقدار مجاز
 - ۳- نام شیمیایی و عناصر اصلی ماده
 - ۴- تأییدیه عدم وجود کلرید در ماده و یا ذکر مقدار کلرید
 - ۵- شرایط نگهداری ماده، شامل دما و مدت نگهداری
 - ۶- مدارک مبنی بر اثر ماده در خواص بتن مانند کارایی، مقاومت، زمان گیرش و سایر خواص مورد نیاز دستگاه نظارت در هوای گرم

۲-۲-۷ مواد افزودنی معدنی

افزودنیهای معدنی به دو گروه عمده تقسیم می‌شوند:

الف: افزودنیهای پوزولانی که خود به دو گروه پوزولانهای طبیعی و مصنوعی (مانند خاکستر بادی و دوده سیلیسی) تقسیم می‌شوند. پوزولانها به تنهایی دارای خاصیت سیمانی کم هستند اما در حضور

رطوبت، با آهک حاصل از هیدراتاسیون سیمان پرتلند واکنش نشان می‌دهند و خواص سیمانی ایجاد می‌نمایند.

ب: افزودنیهای سیمانی مانند سرباره کوره آهن‌گدازی که خود خاصیت سیمانی دارند و از آهک حاصل از هیدراتاسیون سیمان پرتلند فقط به عنوان کاتالیزور استفاده می‌کنند. مشخصات افزودنیهای معدنی مصرفی باید با مشخصات آبا مطابقت داشته باشد. مهم‌ترین کاربرد افزودنیهای معدنی، بهبود دوام بتن است، هر چند در بعضی موارد برای افزایش مقاومت بتن نیز استفاده می‌شوند.

◀ ۳-۲ نسبت مخلوطهای بتن

◀ ۱-۳-۲ کلیات

ضوابط مندرج در این فصل برای ساخت بتن بادوام به کار می‌رود، به نحوی که سازه بتواند مقاومت پیش‌بینی شده در طراحی را در طول مدت کاربرد در محیط مورد نظر حفظ کند. در صورتی که بررسی و آزمایش نشان دهد که سازه در معرض شرایط محیطی معمولی قرار دارد، طرح اختلاط بتن بر اساس مقاومت فشاری متوسط کفایت می‌کند. به عبارت دیگر، ساخت بتن طبق مفاد این فصل ممکن است منجر به مقاومت فشاری بیشتر از مقاومت مشخصه مورد نظر در طرح سازه گردد.

◀ ۲-۳-۲ مقاومت فشاری بتن

تعاریف و ضوابط مقاومت فشاری مشخصه و مقاومت فشاری متوسط، مطابق تعاریف آبا است مگر آنکه خلاف آن در این فصل ذکر شده باشد.

◀ ۳-۳-۲ تقسیم‌بندی اقلیمی

شرایط اقلیمی و محیطی سواحل دریای خزر متفاوت از سواحل و دریای جنوب کشور است. از نظر ساخت سازه‌های بتن‌آرمه بخصوص دوام آنها، شرایط رویارویی سازه‌ها در سواحل کشور به چهار گروه ذکر شده در جدول ۱-۲ تقسیم می‌شود.

جدول ۱-۲ تقسیم‌بندی شرایط اقلیمی

علامت اختصاری	شرایط اقلیمی محدود ^۲	شرایط اقلیمی وسیع ^۱	درجه‌بندی ریسک‌پذیری
R4	بتن در معرض چرخه‌های خیس شدن و خشک شدن یا میعان شدید قرار دارد. بتن در معرض آب، خاک و غبار آلوده به کلریدها و سولفات‌ها در حد زیاد است. بتن در معرض سایش قرار دارد.	گرم مرطوب و گرم خشک ملایم در محدوده دریا و کرانه ^۳ و ساحل ^۴ تا محدوده ۵۰۰ متری از کرانه منطقه خلیج فارس	شدید
R3	بتن در معرض چرخه‌های خیس شدن و خشک شدن یا میعان شدید، در معرض آب، خاک و غبار آلوده به کلریدها و سولفات‌ها در حد متوسط و در معرض سایش قرار دارد. احتمال یخ‌زدگی و آب شدن وجود دارد.	گرم مرطوب در محدوده دریا و کرانه و ساحل تا محدوده ۵۰۰ متری از منطقه دریای خزر	زیاد
R2	بتن در تماس با آب یا خاک و غبار غیر آلوده یا با آلودگی کم است.	گرم مرطوب و گرم خشک ملایم یا گرم مرطوب در محدوده بعد از ۵۰۰ متری از کرانه منطقه دریای خزر و خلیج فارس	متوسط
R1	مشابه ریسک‌پذیری متوسط، اما سطوح بتن از مرطوب شدن محافظت شده‌اند.	مشابه ریسک‌پذیری متوسط	کم

۱- Macro climate

۲- Micro climate

۳- کرانه، فصل مشترک خشکی با آب دریا است.

۴- ساحل محدوده‌ای که از کرانه آغاز می‌شود.

◀ ۲-۳-۴ مقادیر مجاز کلریدها

مقادیر کلرید موجود در بتن که قابل حل در اسید می‌باشند، نباید از مقادیر جدول ۲-۲ بیشتر باشد. مقدار کلرید در بتن، بر اساس مجموع مقادیر کلرید موجود در کلیه مواد تشکیل دهنده مصالح بتن محاسبه می‌گردد.

جدول ۲-۲ حداکثر مقادیر مجاز کلرید

شرایط اقلیمی	نوع قطعه بتنی	حداکثر یونهای کلرید قابل حل در اسید بر حسب وزن سیمان
R4	بتن آرمه	۰/۱۰
	بتن پیش‌تنیده	۰/۰۶
R3	بتن آرمه	۰/۱۰
	بتن پیش‌تنیده	۰/۰۶
R2	بتن آرمه	۰/۱۵
	بتن پیش‌تنیده	۰/۰۶
R1	بتن آرمه	۰/۲۰
	بتن پیش‌تنیده	۰/۰۸

۲-۳-۵ مقادیر مجاز سولفات

مقدار سولفات قابل حل در اسید در بتن، نباید از (۴٪) وزن سیمان تجاوز کند. تعیین مقدار سولفات در بتن بر حسب SO_3 ، بر اساس مجموع مقادیر سولفات موجود در کلیه مواد تشکیل دهنده محاسبه می‌گردد.

۲-۳-۶ انتخاب نوع سیمان

در شرایطی که سازه یا عضو سازه‌ای در معرض تهاجم سولفات‌ها و کلریدها به صورت توأم قرار دارد (مانند شرایط R4 و R3) استفاده از سیمان پرتلند نوع ۵ مجاز نیست. در چنین مواردی سیمان پرتلند نوع ۲ با مقدار C_3A بین (۸٪-۵٪) باید مصرف شود.

در شرایطی که سازه یا عضو سازه‌ای فقط در معرض نفوذ کلریدها است، استفاده از سیمان پرتلند نوع ۱ و یا نوع ۲ بلامانع می‌باشد.

در شرایطی که سازه یا عضو سازه‌ای فقط در معرض نفوذ سولفات‌ها است، بر اساس مقادیر سولفات‌های موجود در آب و خاک می‌توان نوع سیمان پرتلند را مطابق مشخصات آبا انتخاب کرد.

تعیین هر یک از شرایط ذکر شده از بند ۲-۳-۶ تا ۲-۳-۸ باید بر اساس آزمایش‌ها و بررسی‌ها در محل انجام پذیرد.

◀ ۲-۳-۷ حداکثر مقدار سیمان

مقدار سیمان در مخلوط بتن نباید از ۵۰۰ کیلوگرم در هر متر مکعب تجاوز کند، مگر آن که بررسیها و آزمایشها مقادیر بیشتری را بدون افزایش خطر ترک خوردن ناشی از جمع‌شدگی حاصل از خشک شدن در مقاطع نازک و تنشهای حرارتی در مقاطع ضخیم تأیید کنند. در مواردی که سطح بتن نازک است و یا بتن حجیم می‌باشد، به دلیل مشکلات گرادیان حرارتی نباید مقدار سیمان در هر متر مکعب مخلوط بیشتر از ۴۲۰ کیلوگرم باشد.

◀ ۲-۳-۸ مواد افزودنی کاهنده آب

از آنجا که نسبتهای آب به سیمان ذکر شده در بند ۲-۳-۱۰ در حد کم هستند، تأمین کارایی مورد نظر با نسبتهای آب به سیمان، بدون استفاده از افزودنیهای کاهنده آب (مانند روان کننده و فوق روان کننده) امکان‌پذیر نیست و لذا مصرف این مواد باید ملحوظ شود.

◀ ۲-۳-۹ حداقل مدت و نوع عمل‌آوری

حداقل مدت عمل‌آوری برای تمام بتنهای ذکر شده در بند ۲-۳-۱۰، ۷ روز است. استفاده از مواد عمل‌آوری غشایی شیمیایی بخصوص در شرایط هوای گرم مجاز نیست، مگر آنکه بررسیها و آزمایشها عملکرد مطلوب آنها را تأیید کند. به هر حال در مواردی که قرار است بر روی سطوح بتن، پوششهای حفاظتی اعمال شود، نباید از مواد عمل‌آوری غشایی استفاده شود، زیرا این مواد چسبندگی سطوح بتن با پوششهای حفاظتی را کاهش می‌دهند. در هوای گرم و خشک، احتمال ترک خوردگی بخصوص در بتن حاوی دوده سیلیسی به دلیل جمع‌شدگی خمیری افزایش می‌یابد، زیرا مقدار آب انداختن این نوع بتن بسیار کم است و مقدار تبخیر بیشتر از مقدار آب انداختن خواهد بود. بنابراین در چنین مواردی باید بلافاصله پس از بتن‌ریزی، سطوح بتن با پوشش پلاستیک محافظت گردند. برای توضیحات بیشتر به بند ۲-۴-۲ رجوع شود.

۲-۳-۱۰ نسبت مخلوطهای بتن

در هوای گرم یا هوای سرد باید تمهیدات خاص اجرایی طبق فصل چهارم بدون در نظر گرفتن درجه‌بندی شرایط اقلیمی رعایت گردد. نسبت مخلوطهای بتن در شرایط اقلیمی R1، R2، R3، و R4 به شرح زیر است.

۲-۳-۱۰-۱ نسبتهای اختلاط در شرایط R4

نسبتهای اختلاط، ضخامت پوشش و نوع حفاظت ذکر شده در جدول ۲-۳ برای شرایط اقلیمی R4 توصیه می‌شود.

جدول ۲-۳ راهنمای نسبتهای مخلوط بتن و تمهیدات اجرایی در شرایط R4 (جدول ۲-۲)

پارامترهای مخلوط بتن - تمهیدات اجرایی						انواع سازه
نوع حفاظت ⁺⁺⁺	حداقل ضخامت پوشش mm	حداقل رده بتن ⁺⁺	حداکثر نسبت آب به مواد سیمانی	حداقل مقدار سیمان kg/m ³	نوع سیمان قابل مصرف	
عایق آب‌بند یا نم‌بند و یا پوشش حفاظت سطحی ^{**}	۷۵	C۵۰	۰/۴۰	۴۰۰	پرتلند نوع ۲ ⁺ افزودنی معدنی ⁺	الف- سازه‌های ساحلی ۱- زیرسازه (پی‌ها و ستونهای زیر خاک)
پوشش حفاظت سطحی یا اندود اپکسی بر روی آرماتور	۶۰ برای ستونها و تیرها - ۵۰ برای دالها	C۴۵	۰/۴۲	۳۷۰	پرتلند نوع ۱ افزودنی معدنی ⁺	۲- روسازه: در معرض محیط خارجی
-	۵۰ برای ستونها و تیرها - ۴۰ برای دالها	C۴۵	۰/۴۲	۳۷۰	پرتلند نوع ۱ افزودنی معدنی ⁺	در معرض محیط داخلی

پارامترهای مخلوط بتن - تمهیدات اجرایی						انواع سازه
نوع حفاظت ⁺⁺⁺	حداقل ضخامت پوشش ^{mm}	حداقل رده بتن ⁺⁺	حداکثر نسبت آب به مواد سیمانی	حداقل مقدار سیمان ^{kg/m³}	نوع سیمان قابل مصرف	
پوشش حفاظت سطحی	۷۵	C۵۰	۰/۴۰	۴۰۰		ب- سازه‌های دریایی: ۱- منطقه جزر و مد و پاشیدگی
	۷۵	C۵۰	۰/۴۰	۴۰۰	پرتلند نوع ۲* افزودنی معدنی ⁺ پرتلند نوع ۲* افزودنی معدنی ⁺	۲- منطقه غوطه‌ور

⁺ افزودنی معدنی شامل خاکستر بادی یا سرباره یا دوده سیلیسی است که قبل از مصرف باید مشخصات و عملکرد آنها مورد بررسی قرار گیرند.

⁺⁺ اعداد نشان داده شده در رده بتن برابر با مقاومت مشخصه نمونه‌های استوانه‌ای ۱۵×۳۰ سانتی‌متر در ۲۸ روز بر حسب مگاپاسکال هستند.

⁺⁺⁺ برای اطلاعات بیشتر درباره حفاظتها به فصل هفتم مراجعه شود.

* سیمان پرتلند نوع ۲ را می‌توان جایگزین با سیمان پرتلند نوع ۱ کرد.

** اگر قطعه بتنی در معرض مستقیم آب تحت فشار قرار دارد، باید از عایق آب‌بند استفاده شود و اگر قطعه بتنی در معرض آب بدون فشار قرار دارد، باید از عایق نم‌بند استفاده گردد و اگر بتن در معرض مستقیم آب قرار ندارد، از پوششهای حفاظت سطحی استفاده شود.

- برای حصول اطمینان بیشتر از دوام مناسب سازه‌ها استفاده از ماده افزودنی بازدارنده خوردگی نیتريت کلسیم در تمام موارد مذکور توصیه می‌شود.

۲-۳-۱۰-۲ نسبتهای اختلاط در شرایط R3

نسبتهای اختلاط، ضخامت پوشش و نوع حفاظت ذکر شده در جدول ۲-۴ برای شرایط اقلیمی R3

توصیه می‌شود.

جدول ۲-۴ نسبت‌های مخلوط بتن و تمهیدات اجرایی در شرایط محیطی R3 (جدول ۲-۲)

پارامترهای مخلوط بتن - تمهیدات اجرایی						انواع سازه
نوع حفاظت ⁺⁺⁺	حداقل ضخامت پوشش ^{mm}	حداقل رده بتن ⁺⁺	حداکثر نسبت آب به مواد سیمانی	حداقل مقدار سیمان ^{kg/m³}	نوع سیمان قابل مصرف	
عایق آب‌بند یا نم‌بند و یا پوشش حفاظت سطحی	۷۵	C۴۰	۰/۴۵	۳۵۰	پرتلند نوع ۲* افزودنی معدنی ⁺	الف- سازه‌های ساحلی ۱- زیر سازه (پی‌ها و ستونهای زیر خاک)
پوشش حفاظت سطحی یا اندود اپکسی بر روی آرماتور (اختیاری)	۵۰ برای ستونها و تیرها - ۴۰ برای دالها	C۴۰	۰/۴۵	۳۵۰	پرتلند نوع ۱	۲- رو سازه: - در معرض محیط خارجی
**	۵۰ برای ستونها و تیرها - ۳۰ برای دالها	C۴۰	۰/۴۵	۳۵۰	پرتلند نوع ۱ افزودنی معدنی ⁺	- در معرض محیط داخلی
-	۶۰	C۵۰	۰/۴۰	۴۰۰	پرتلند نوع ۲* × افزودنی معدنی ⁺	ب- سازه‌های دریایی: ۱- منطقه جزر و مد و پاشیدگی
پوشش حفاظت سطحی	۶۰	C۵۰	۰/۴۰	۴۰۰	پرتلند نوع ۲* افزودنی معدنی ⁺	۲- منطقه غوطه‌ور

** اگر بررسی و ارزیابی نشان دهد که بتن در محیط واقعی از دوام کافی برخوردار است، می‌توان از حفاظت صرف نظر کرد.

⁺⁺ اعداد نشان داده شده در رده بتن برابر با مقاومت مشخصه نمونه‌های استوانه‌ای ۱۵×۳۰ سانتی‌متر در ۲۸ روز بر حسب مگاپاسکال هستند.

+++ در مواردی که بتن در معرض چرخشهای یخزدگی و آبشستگی قرار دارد و خیس است، باید از ماده افزودنی حباب هواساز استفاده شود. درصد حباب هوای بتن باید مطابق مفاد فصل ششم آبا باشد.
- توضیحات مندرج در جدول ۲-۳ در موارد مربوط، در این جدول نیز صادق است.

۲-۳-۱۰-۳ نسبتهای اختلاط در شرایط R2

نسبتهای اختلاط، ضخامت پوشش و نوع حفاظت ذکر شده در جدول ۲-۵ برای شرایط اقلیمی R2 توصیه می‌شود.

جدول ۲-۵ نسبتهای مخلوط بتن و تمهیدات اجرایی در شرایط محیطی R2 (جدول ۲-۱)

پارامترهای مخلوط بتن - تمهیدات اجرایی						انواع سازه
نوع حفاظت +++	حداقل ضخامت پوشش mm	حداقل رده بتن ++	حداکثر نسبت آب به مواد سیمانی	حداقل مقدار سیمان kg/m ³	نوع سیمان قابل مصرف	
عایق آب‌بند یا نهم‌بند و یا پوشش حفاظت سطحی	۵۰	C۳۵	۰/۵	۳۰۰	پرتلند نوع ۲	زیر سازه
(اختیاری)* -	۴۰	C۳۵	۰/۵	۳۰۰	پرتلند نوع ۱	رو سازه

- توضیحات مندرج در جدول ۲-۳ در موارد مربوط، در این جدول نیز صادق است.

- استفاده از مواد افزودنی معدنی اختیاری است.

* اگر بررسی شرایط عملی نشان دهد که بتن در معرض کلریدها و سولفات‌ها و یا در معرض مستقیم آب قرار ندارد، می‌توان از حفاظت صرف نظر کرد.

۲-۳-۱۰-۴ نسبتهای اختلاط در شرایط R1

برای شرایط اقلیمی R1 تمهید خاصی نیاز نیست و طرح اختلاط بر اساس مقاومت فشاری متوسط منظور می‌شود، اما تمهیدات اجرایی مانند بتن‌ریزی در هوای گرم و هوای سرد باید رعایت شوند.

۴-۲ تمهیدات اجرایی

۴-۲-۱ اختلاط بتن

اختلاط بتن باید مطابق با فصل هفتم آبا انجام گردد و توصیه می‌شود که از مخلوط‌کن‌هایی که جام غیر خم‌شونده دارند، برای مخلوط‌های مستعد جداشدگی استفاده نگردد.

۴-۲-۲ انتقال بتن

انتقال بتن باید مطابق با فصل هفتم آبا انجام گردد و وسایل انتقال نباید به عناصر مضر مانند نمکها و یا مواد زاید آلوده باشند، در هنگام انتقال بتن، نباید مخلوط بتن به عناصر و مواد مضر آلوده شود.

۴-۲-۳ بتن‌ریزی

بتن‌ریزی باید مطابق با فصل هفتم آبا و موارد زیر انجام شود.

- ۱- قبل از بتن‌ریزی باید درون قالبها و سطح میلگردها از هر گونه مواد زاید و زبان‌آور مانند نمکها، پاک و تمیز گردند و در صورت وجود آلودگی یا زنگ بر روی میلگردها، باید آنها را با وسایل مناسب و با توجه به ضوابط تعیین شده در بخش فولاد رفع کرد.
- ۲- اگر میلگردها دارای خوردگی از نوع حفره‌ای هستند، نباید از آنها استفاده شود.
- ۳- بتن‌ریزی باید بلافاصله پس از تمیز شدن قالبها و میلگردها و با تأیید دستگاه نظارت انجام شود.
- ۴- فاصله نگاهدارنده‌های میلگرد (لقمه) باید از مصالح مناسب و بادوام ساخته شده باشد و نباید منجر به خوردگی آرماتور شود.
- ۵- لقمه‌ها و میلگردها باید در موقعیت خود تثبیت شده باشند و بتن‌ریزی سبب حرکت آنها نگردد.
- ۶- تمام وسایل و تجهیزات بتن‌ریزی باید تمیز بوده و فاقد هرگونه مواد زبان‌آور سطحی باشند.
- ۷- در هنگام ریختن بتن درجا و قبل از تخلیه کامل از کامیون حمل بتن (تراک میکسر) در صورت افت اسلامپ مخلوط نباید آب اضافی مازاد بر مقدار تعیین شده در طرح اختلاط، به مخلوط اضافه گردد.

- ۸- در صورت بتن‌ریزی از ارتفاع برای جلوگیری از جداشدگی بتن، باید از شوت یا قیف هادی مناسب یا تلمبه بتن استفاده شود.
- ۹- ضخامت لایه‌های بتن‌ریزی نباید کمتر از ۱۵۰ میلیمتر (به استثنای دالها) و بیشتر از ۶۰۰ میلیمتر باشد.
- ۱۰- برای جابه‌جایی توده بتن در قالب، نباید از وسایل و ابزاری مانند بیل و لرزاننده به نحوی استفاده شود که موجب جداشدگی بتن گردد.
- ۱۱- اگر فاصله زمانی بین بتن‌ریزی جدید و لایه قبلی طولانی باشد، باید سطح لایه بتن قدیم به طور کامل تمیز شود و با بکار بردن ابزار مناسب زبر گردد. همچنین قبل از بتن‌ریزی جدید، شرایط رطوبتی بتن قدیم باید به حالت اشباع با سطح خشک درآید.
- ۱۲- برای متراکم نمودن بتن، لرزاننده باید به صورت عمودی (به استثنای دالها) و در فواصل یکنواخت به داخل بتن فرو برده شود.
- ۱۳- سر لرزاننده باید به داخل لایه بتن تازه زیرین نفوذ کند.
- ۱۴- برای حذف ترک خوردگی ناشی از جمع‌شدگی خمیری و یا نشست خمیری، انجام تراکم مجدد مجاز است، اما نباید بعد از گیرش اولیه انجام گردد.
- ۱۵- عملیات شمشه‌گیری سطح بتن، باید قبل از شروع به آب انداختن بتن و عملیات ماله کشی، پس از اتمام آب انداختن انجام شوند. لازم است از پرداخت سطح بتن در هنگام آب انداختن بتن اجتناب گردد.
- ۱۶- برای حذف آب ناشی از آب انداختن بتن، نباید بر روی سطح بتن سیمان پاشیده شود. در چنین مواردی استفاده از پمپ مکش مخصوص مجهز به فیلتر مناسب برای کشیدن آب از سطح بتن مجاز است.
- ۱۷- توصیه می‌شود برای افزایش مقاومت سایشی سطح بتن، عملیات پرداخت نهایی با ماله فولادی مناسب انجام گردد.

۴-۴-۲ عمل آوردن بتن

۴-۴-۲-۱ کلیات

کلیات عمل‌آوری بتن باید مطابق با فصل هفتم آبا باشد.

۴-۴-۲-۲ روشهای عمل‌آوری

برای عمل‌آوری بتن می‌توان یکی از روشهای زیر را به کار برد:

الف: حفظ رطوبت بتن با نگهداری قالب در محل خود

ب: حفظ رطوبت بتن با پوشش دادن سطح بتن با مصالح غیر قابل نفوذ مانند ورق پلی‌اتیلن (نایلون)

ج: حفظ رطوبت بتن با ترکیبات شیمیایی غشایی

د: افزایش رطوبت بتن با پوششهای جاذب آب مانند پارچه چتایی

ه: افزایش رطوبت بتن با ایجاد برکه آب بر سطح بتن

تبصره ۱- در مواردی که نسبت آب به سیمان بتن در حد بسیار کم است (کمتر از ۰/۴۰) نباید از روشهای حفظ رطوبت بتن مذکور استفاده شود، بلکه فقط باید از روشهای افزایش رطوبت بتن استفاده گردد.

تبصره ۲- در مواردی که از روشهای افزایش رطوبت بتن استفاده می‌شود، باید از وجود آب به طور مداوم اطمینان حاصل شود و از بروز چرخه‌های تر و خشک شدن اجتناب گردد.

تبصره ۳- در صورت استفاده از ترکیبات شیمیایی غشایی، باید از عملکرد مناسب آن با انجام بررسی آزمایشگاهی و یا به استناد مدارک معتبر اطمینان حاصل کرد. در مواردی که قرار است سطح بتن با پوششهای حفاظتی آندود شود، نباید از ترکیبات شیمیایی غشایی استفاده شود.

۴-۴-۲-۳ مدت عمل‌آوری

در مواردی که رطوبت محیط بیشتر از (۸۰٪) است و سطح بتن در برابر خورشید و باد حفاظت شده است، حداقل مدت عمل‌آوری بتن، ۷ روز می‌باشد. در مواردی که رطوبت نسبی محیط کمتر از (۸۰٪) است و سطح بتن در برابر خورشید و باد حفاظت نشده است، حداقل مدت عمل‌آوری ۱۰ روز می‌باشد.

۴-۲-۵ بتن ریزی در هوای گرم

الف: در هوای گرم باید تمهیدات خاص در مراحل اختلاط بتن و بتن ریزی و عمل آوری مبذول گردد تا از دمای زیاد و افت رطوبت بتن که سبب ترک خوردگی حرارتی و خمیری و کاهش مقاومت و دوام می گردد اجتناب شود.

ب: دمای بتن نباید از ۳۰ درجه سانتیگراد تجاوز کند و اگر دمای بتن به بیش از ۳۰ درجه سانتیگراد برسد یا وقتی که دمای کمتر با ترکیبی از سرعت زیاد باد و رطوبت نسبی کم، احتمال خشک شدن زودرس بتن را افزایش می دهد، باید تمهیدات بتن ریزی در هوای گرم اجرا شود.

ج: برای کاهش دمای بتن می توان یک یا چند مورد به شرح زیر را انجام داد:

- ۱- مصالح از قبیل کیسه های سیمان در سایه نگهداری شوند و سنگدانه ها در سایه دپو شوند.
- ۲- قبل از بتن ریزی، قالبها خیس شوند و آب آزاد از سطح قالبها خارج گردد.
- ۳- سنگدانه ها خیس شوند، اما آب موجود در سنگدانه ها باید در تعیین مقدار آب مخلوط منظور گردد.

۴- برای ساخت بتن از آب سرد و پودر یخ استفاده شود.

۵- برای کاهش سرعت باد، بر روی سطح بتن سایه بان نصب گردد.

۶- سطوح منابع آب، لوله های انتقال آب و سیلوها با رنگ سفید اندود شوند.

د: مدت انتقال بتن توسط کامیون مخصوص حمل بتن (تراک میکسر) باید کمتر از ۱ ساعت باشد و یا چرخش جام کامیون، به کمتر از ۳۰۰ دور محدود شود. سرعت چرخش جام در حد سرعت مربوط به هم زدن (۳ تا ۶ دور در دقیقه) باشد، در این مرحله از سرعت مخلوط کردن (۶ تا ۱۵ دور در دقیقه) تا حد امکان اجتناب گردد.

ه: بلافاصله بعد از بتن ریزی و متراکم کردن بتن، باید سطح بتن به طور کامل با ورق پلی اتیلن پوشش داده شود (در صورت تازه بودن بتن، ورق با مقداری فاصله از سطح باید نصب گردد). پس از گیرش اولیه، عمل آوری با آب و یا پوشش خیس (چتایی) آغاز گردد، برای پرداخت سطح می توان به طور موقت ورق پلی اتیلن را جمع آوری کرد.

و: چنانچه مقدار تبخیر آب بیشتر از ۱ کیلوگرم در متر مربع از سطح بتن در ساعت گردد، ترک‌خوردگی ناشی از جمع‌شدگی پلاستیک رخ خواهد داد. چنانچه تبخیر، بیشتر از مقدار مذکور باشد، باید نسبت به حفاظت از سطح بتن با پوشش مناسب (ورق پلاستیک) اقدام شود. در صورت استفاده از میکروسیلیس در بتن، احتمال ترک‌خوردگی در مقادیر تبخیر کمتر از ۱ کیلوگرم در متر مربع در ساعت وجود دارد، لذا حفاظت از سطح بتن حاوی میکروسیلیس بلافاصله پس از ریختن بتن ضروری می‌باشد.

۴-۲-۶- بتن‌ریزی در هوای سرد

اگر بتن‌ریزی در دمای کمتر از ۲ درجه سانتیگراد انجام گیرد یا بتن بر سطح زمین یخ زده ریخته شود، باید تمهیدات بتن‌ریزی در هوای سرد مطابق با فصل هفتم آبا انجام گردد. برای حفاظت بتن تازه و بتن سخت شده در مقابل یخ زدن و آب شدن، می‌توان از یک یا چند مورد به شرح زیر استفاده کرد:

الف: گرم کردن مصالح مخلوط بتن شامل آب و مصالح سنگی

ب: استفاده از ماده افزودنی شیمیایی حباب‌زا

ج: استفاده از ماده افزودنی شیمیایی تسریع کننده گیرش و مقاومت

د: کاهش نسبت آب به سیمان

ه: پوشش سطح بتن با ورق و پارچه‌های عایق حرارتی

و: گرم کردن محیط اطراف بتن

ز: استفاده از سیمان‌های دارای حرارت هیدراتاسیون زیاد

۵-۲ کنترل کیفیت و پذیرش بتن

۱-۵-۲ هدف از کنترل کیفیت

هدف از کنترل کیفیت به حداقل رسانیدن تغییرات کیفی است به نحوی که بتن تولید شده مطابق با مشخصات فنی عمومی و خصوصی پروژه باشد. با اعمال کنترل کیفیت، امکان تغییرات در یکنواختی و کیفیت بتن که ناشی از تغییرات در کلیه مراحل، شامل کیفیت اجزای مخلوط بتن، پیمانان کردن، مخلوط نمودن، جای دهی مخلوط، تراکم، پرداخت، عمل آوری و آزمایش نمونه‌ها می‌باشد، حداقل می‌گردد.

۲-۵-۲ رده بندی بتن

تعاریف و مشخصات رده بندی بتن، مقاومت فشاری مشخصه، مقاومت فشاری متوسط بتن و انحراف استاندارد و همچنین ساخت مخلوطهای آزمایشی برای کسب مقاومت فشاری لازم، باید مطابق با فصل ششم آبا باشد.

۳-۵-۲ کنترل کیفیت اجزای مخلوط بتن

خواص اجزای تشکیل دهنده بتن شامل سیمان، آب، سنگدانه‌ها و مواد افزودنی معدنی شیمیایی، باید مورد آزمایش قرار گیرند و در محدوده منطبق با رواداری‌های تعیین شده با مشخصات مندرج در این آیین‌نامه باشد.

۴-۵-۲ کنترل کیفیت تولید بتن

۱-۴-۵-۲ کنترل کیفیت بتن تازه

ساخت بتن باید با توجه به موارد زیر انجام گردد:

الف: اندازه‌گیری اجزای مخلوط بتن شامل سیمان، آب، سنگدانه‌ها و مواد افزودنی معدنی، بر اساس وزن انجام شود و از اندازه‌گیری حجمی اجتناب گردد (به جز در مورد سازه‌های کم اهمیت).

- ب: تغییرات میزان رطوبت سنگدانه‌ها باید با تنظیم مقدار آب مخلوط بتن کنترل شود تا نسبت آب به سیمان مخلوط ثابت بماند.
- ج: در صورت استفاده از پودر یخ برای کاهش دمای مخلوط بتن در هوای گرم، مقدار پودر یخ نباید سبب افزایش نسبت آب به سیمان مورد نظر گردد.
- د: در هر نمونه‌برداری، باید نمونه‌هایی برای انجام آزمایش‌های روانی، دمای بتن، وزن مخصوص و حباب هوای بتن (اگر از ماده افزودنی حباب‌زا استفاده شده است) تهیه شوند. تواتر نمونه‌برداری باید بر اساس بند ۲-۴-۵-۲ باشد.

۲-۴-۵-۲ کنترل کیفیت بتن سخت شده

برای کنترل کیفیت بتن سخت شده باید موارد زیر رعایت گردند:

- الف: هر نمونه‌برداری از بتن شامل چهار نمونه آزمایشی است که دو نمونه برای تعیین مقاومت فشاری در سن ۷ روز به عنوان راهنما و تخمین مقاومت ۲۸ روزه یا درازمدت استفاده می‌شوند و نتایج آن نباید به عنوان ارزیابی یا پذیرش، در نظر گرفته شوند. دو نمونه دیگر برای تعیین مقاومت فشاری در سن ۲۸ روز، یا هر سن مقرر شده دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرند که متوسط مقاومت فشاری این دو نمونه به عنوان نتیجه نهایی آزمایش منظور می‌گردد.
- ب: به منظور کنترل و تصحیح نسبت اجزای مخلوط‌های بتن، باید از روش‌های نموداری کنترل کیفیت بر اساس نتایج مقاومت فشاری نمونه‌های آزمایشی (مانند روش مجموع تجمعی) استفاده شود.
- ج: تواتر نمونه‌برداری باید بر اساس مفاد ذکر شده در فصل ششم آبا و مورد ذکر شده به شرح زیر باشد:
- چنانچه سازه از نوع دریایی یا کرانه‌ای (خط مشترک دریا و ساحل) مانند دکلهای دریایی و اسکله‌ها باشد، از هر قسمت سازه که به عنوان یک عضو مستقل محسوب می‌گردد (مانند شمعها، ستونها، دالها، عرشه‌ها و دیوارها)، باید نمونه‌برداری انجام پذیرد.

۲-۵-۵ پذیرش بتن

۲-۵-۵-۱ تواتر نمونه برداری

تواتر نمونه برداری باید مطابق با بند ۲-۵-۴ باشد.

۲-۵-۵-۲ پذیرش بتن تازه

پذیرش بتن تازه باید مطابق با موارد زیر انجام شود:

الف: روانی

رواداری روانی برای بتن‌ها با اسلامپ مقرر شده حداکثر ۵۰ میلی‌متر باید ± 15 میلی‌متر، برای بتن‌های با اسلامپ مقرر شده بین ۵۰ تا ۱۰۰ میلی‌متر، باید ± 25 میلی‌متر و برای بتن‌های با اسلامپ بیش از ۱۰۰ میلی‌متر، باید ± 35 میلی‌متر باشد.

ب: دمای بتن

رواداری دمای مخلوط‌های بتن در زمان بتن‌ریزی باید در محدوده ± 2 درجه سانتیگراد از دمای تعیین شده باشد.

ج: وزن مخصوص

رواداری وزن مخصوص مخلوط‌های بتن نباید از محدوده ($\pm 3\%$) مقدار تعیین شده تجاوز نماید.

د: هوای بتن

رواداری اختلاف مقدار هوا باید در محدوده ($\pm 1\%$) مقدار هوای تعیین شده باشد.

۲-۵-۵-۳ پذیرش بتن سخت شده

پذیرش بتن سخت شده باید مطابق با موارد زیر انجام گردد:

الف: چنانچه مقاومت دو آزمون آزمایشی، دارای تفاوتی بیش از ($\pm 5\%$) نسبت به مقاومت میانگین باشد،

نتیجه نمونه برداری نباید برای پذیرش، مورد استفاده قرار گیرد.

ب: ضوابط پذیرش بتن باید مطابق فصل ششم آبا باشد.

۶-۲-۲ بتن‌های خاص

۶-۲-۲-۱ تعریف

در این آیین‌نامه بتن‌های خاص به قطعات پیش‌ساخته، بتن پیش‌تنیده و بتن حاوی الیاف، اطلاق می‌شود.

۶-۲-۲-۲ بتن پیش‌ساخته

بتن پیش‌ساخته به صورت گسترده‌ای در ساخت سازه‌های دریایی استفاده می‌شود. با توجه به این که المانهای پیش‌ساخته بر اساس مشخصات مورد نظر در محل کارخانه ساخته می‌شوند، از کیفیت بالایی برخوردار می‌باشند. اعضای پیش‌ساخته پس از حمل در محل مورد نظر نصب می‌گردند. فاصله اقتصادی برای حمل قطعات پیش‌ساخته، بستگی به امکانات موجود (از قبیل تریلر، لنج و کشتی) و ابعاد اعضا دارد و می‌تواند در برخی موارد به بیش از ۲۵۰ کیلومتر برسد. سرعت و کیفیت بالای این روش ساخت، مزاد بر مزیت‌های اقتصادی از ویژگی‌های سیستم پیش‌ساخته به حساب می‌آید. جزئیات اجرای اتصالات در این‌گونه قطعات، توجه خاص را می‌طلبد. آبگیرها، شمعها، حوضچه‌های خشک، پایه و تیرهای پلها، اعضای موج‌شکنها، ایستگاه‌های پمپاژ، دیوارهای ساحلی و لوله‌های زیرآبی، برخی از کاربردهای بتن پیش‌ساخته را شامل می‌شوند. در شمعهای بلند به علت تنش کششی ناشی از بلند کردن شمع جهت نصب و احتمال کماتش آن در هنگام کوبیدن، استفاده از بتن پیش‌تنیده گریزناپذیر است. در محل نصب قطعات پیش‌ساخته به جرثقیلهای مناسب نیاز است.

الزامهای طراحی، قالب‌بندی، عمل‌آوری، شکل ظاهری و رواداری‌های قطعات تولید شده، باید با الزامهای آیین‌نامه ACI به ترتیب با شماره‌های (117R و 124.1R، 517.2R، 347R، 550R) مطابقت داشته باشد.

۲-۶-۲-۱ مصالح مصرفی و نسبت‌های مخلوط

تمام مفاد ذکر شده در این آیین‌نامه در خصوص حداکثر مقدار آلودگی مصالح مصرفی به مواد زیان‌آور، مشخصات مصالح، نسبت‌های مخلوط و تمهیدات اجرایی در مورد ساخت قطعات پیش‌ساخته نیز باید رعایت گردند.

۲-۶-۲-۲ عمل‌آوری تسریع شده با بخار

چنانچه از دمای بخار برای عمل‌آوری تسریع شده قطعات پیش‌ساخته استفاده می‌شود، باید چرخه اعمال و حذف حرارت بر اساس ضوابط مندرج در آیین‌نامه ACI 517.2R طراحی و سپس بر اساس آزمایش در کارگاه، چرخه نهایی انتخاب شود. در صورت نامناسب بودن چرخه حرارتی، در درازمدت مقاومت و دوام بتن می‌تواند به شدت کاهش یابد.

۲-۶-۲-۳ عمل‌آوری در مخزن آب

اگر از مخزن آب برای عمل‌آوری قطعات پیش‌ساخته استفاده شود، مشخصات آب مخزن باید مطابق با بند ۲-۵ باشد.

۲-۶-۲-۴ انتقال قطعات

انتقال قطعات باید با روش‌هایی انجام پذیرد که سبب ایجاد ترک در قطعات نگردد.

۲-۶-۲-۵ اتصالات

اتصالات فولادی که در انتهای قطعات بتنی نصب می‌شوند، باید پس از نصب به طور کامل محافظت گردند تا خوردگی حاصل نگردد. انتخاب نوع حفاظت بسته به نوع اتصالات و شرایط محل اتصال دارد، اما به هر حال می‌توان از پوشش‌های حفاظتی مانند اپکسی استفاده نمود.

۲-۶-۳-۱ بتن پیش‌تنیده

کاربرد عمده بتن پیش‌تنیده، در قطعات پیش‌ساخته می‌باشد تا با استفاده در دهانه‌های بلند، ابعاد عضو و وزن آن کاهش یابد. در بتن پیش‌تنیده از بتن با کیفیت بالا و فولاد با مقاومت زیاد استفاده

می‌شود که تشکیل یک ماده همگن ارتجاعی دارای دوام زیاد را می‌دهند. در قطعات پیش‌تنیده، ترک در بتن وجود ندارد و مقاومت کششی آن محدود است. همچنین از بتن پیش‌تنیده به صورت پس کشیده، می‌توان در سازه‌های دریایی سود جست.

آب مصرفی در کارهای پیش‌تنیدگی، محدودیت بیشتری نسبت به بتن معمولی از نظر مواد زیان‌آور مانند نمک، لای و مواد آلی دارد. این محدودیتها شامل ناخالصی‌هایی می‌باشند که در مقایسه با آب تصفیه شده سبب تغییر زمان گیرش بیش از (۲/۵٪) یا کاهش در مقاومت ۱۴ روزه، بیش از (۵٪) شوند.

جدول ۲-۶ مدول الاستیسیته سکانت در حد تناسب

مدول سکانت (گیگا پاسکال)	فولاد
۱۸۶-۲۰۷	سیمها
۱۸۶-۲۰۰	رشته‌های بافته پیش کشیدگی
۱۶۵-۱۷۹	رشته‌های بافته پس کشیدگی
۱۷۲-۱۹۳	میله‌ها

در سیستم پیش‌تنیدگی، یک نیروی تقریباً ثابت و دائمی به مقدار مشخص به عضو وارد می‌گردد، به نحوی که در حین حمل بار توسط قطعه، تنش در هر بخشی از آن به صورت فشاری یا به مقدار مجاز محدودی، کششی باشد. پیش‌تنیدگی به دو روش پیش کشیدگی و پس کشیدگی انجام می‌گیرد. در روش پیش کشیدگی، قبل از بتن‌ریزی، فولاد را تحت کشش قرار می‌دهند و در روش پس کشیدگی، پس از آنکه بتن خود را گرفت و به مقدار کافی مقاوم شد، فولاد را می‌کشند.

جزئیات طراحی و نحوه ساخت و عمل‌آوری این بتن که بسیار تخصصی می‌باشد، در محدوده آیین‌نامه‌ی حاضر نمی‌باشد.

۴-۶-۲ بتن حاوی الیاف

بتن الیافی بتنی است که الیاف در آن به طور تصادفی و به صورت تقریباً همگن پخش شده است. از الیاف در بتن برای جلوگیری از ایجاد ترکهای ناشی از حرارت و به ویژه جمع‌شدگی در کوتاه‌مدت و بلندمدت استفاده می‌شود. همچنین بتن مرکب الیافی، مقاومت قابل توجهی از خود در برابر بارهای

ضربه‌ای نشان می‌دهد و رفتار بتن را به رفتار نرم و انعطاف‌پذیر تحت بارهای فشاری، کششی، خمشی، برشی و ضربه‌ای تبدیل می‌کند. مقاومت بتن حاوی الیاف در برابر بارهای چرخه‌ای و خستگی، بسیار قابل ملاحظه در مقایسه با بتن ساده است. برخی از موارد کاربرد بتن الیافی، کف پلها و عرشه سکوها، بارگیری در بنادر و شمعهای بتنی می‌باشد. در اعضای پیش‌ساخته، از الیاف نیز برای جلوگیری از شکستهای موضعی استفاده می‌شود.

الیاف مورد استفاده به صورت فولادی، کربنی، پلی‌پروپیلنی و شیشه‌ای می‌باشد. هزینه به‌کارگیری الیاف شیشه‌ای و به ویژه کربنی بسیار بالا است. الیاف فولادی و پلی‌پروپیلنی بیشترین کاربرد را دارند. الیاف فولادی به صورتهای دندانه‌ای، دم پهن و قلابدار بیشترین تأثیر را برای بهبود مقاومت و شکل‌پذیری فراهم می‌آورند. مناسب‌ترین نسبت طول به قطر معادل سطح مقطع الیاف، بین ۳۰ تا ۶۰ است. تاکنون گزارشی در ارتباط با خوردگی الیاف فولادی در بتن که سبب خرابی سازه شده باشد، ارایه نشده است. در هنگام انتخاب نوع الیاف از گروه پلیمری و یا فولادی، باید بر اساس آزمایشها، اسناد و مدارک، اطمینان حاصل گردد که آن الیاف تأثیر نامطلوب در بتن نخواهد داشت. بخصوص الیاف فولادی باید با پوشش مناسب مانند گالوانیزه در مقابل خوردگی حفاظت شوند.

در موقع ساخت بتن الیافی باید توجه لازم برای جلوگیری از پدیده گلوله‌ای شدن الیاف (تجمع الیاف در یک محل) به عمل آید. اگر چه این پدیده در بتن با الیاف فولادی کمتر است لیکن پیشنهاد می‌شود تا از افزودنی روانساز در این نوع بتن استفاده شود. محدوده مقدار بهینه الیاف فولادی در بتن از نظر خواص بتن تازه و سخت شده، بین ۲۵ تا ۵۵ کیلوگرم در متر مکعب است. بتن الیافی مقاومت قابل توجهی در برابر پدیده سایش، فرسایش و به ویژه کاویتاسیون در سازه‌های آبی از خود نشان می‌دهد و سبب افزایش عمر مفید سازه تا چند برابر بتن ساده می‌شود.

◀ ۷-۲ انواع حفاظتها

◀ ۷-۲-۱ کاربرد

حفاظت سازه‌های جدید ساخته شده، در مواردی که در بند ۲-۳-۱۰ ذکر شده ضروری است. چنانچه بتن سازه‌های قدیمی، آلوده به عناصر زیان‌آور مانند کلریدها نباشد و یا مقدار آلودگی آن کم باشد (کمتر از حداکثر مجاز مندرج در بند ۲-۳-۴ و ۲-۳-۵) استفاده از حفاظت سطحی توصیه می‌شود، زیرا سبب تأخیر در تخریب سازه می‌شود. پس از اتمام عملیات تعمیر سازه‌های آسیب دیده، اعمال پوشش حفاظتی بر روی سطح بتن تعمیر شده و تعمیر نشده توصیه می‌گردد.

◀ ۷-۲-۲ انواع حفاظتها

حفاظتها به انواع حفاظت سطحی با اندودهای سطحی، بازدارنده‌های خوردگی، حفاظت کاتدی، اندود اپکسی آرما تور و آرما تورهای ضد زنگ تقسیم می‌شوند. توصیه‌ها در مورد حفاظت کاتدی، اندود اپکسی آرما تور و آرما تورهای ضد زنگ، در فصل فولاد ارایه شده است.

◀ ۷-۲-۳ انواع حفاظتهای سطحی

حفاظتهای سطحی به سه سیستم و یا گروه آب‌بند (ضد آب)، نم‌بند (ضد رطوبت)، و پوششهای محافظ تقسیم می‌شوند. سیستم آب‌بند در مواردی که بتن در معرض مستقیم آب تحت فشار، سیستم نم‌بند در مواردی که بتن در معرض آب بدون فشار و سیستم پوششهای محافظ برای مواردی که بتن در معرض عناصر مخرب مانند کلریدها هستند استفاده می‌شوند. بعضی از انواع آب‌بند شامل قیر به صورت‌های مایع و ورق و قطران زغال سنگ است. بعضی از انواع مواد نم‌بند شامل لایه‌ای از خمیر سیمان با لاتکس پلیمری، رنگهای پلی‌یورتان، قطران و اپکسی است. از انواع مواد محافظ می‌توان پلی‌وینیل با تیرال، اپکسی، سیلان (سیلن) و سیلوکسان، قطران، اپکسی قطران و پلی‌استر را نام برد.

۴-۷-۲ انواع مواد بازدارنده خوردگی

بازدارنده‌های خوردگی، مواد افزودنی هستند که در هنگام ساخت مخلوط بتن به آن افزوده می‌شوند. تنوع در مواد بازدارنده زیاد است که بعضی از آنها شامل نیتريت سدیم، نیتريت کلسیم و کروماتها می‌گردند اما فقط مصرف ماده بازدارنده نیتريت کلسیم قابل توصیه می‌باشد. سایر مواد بازدارنده، سبب ایجاد اثر نامطلوب در خواص مکانیکی بتن می‌شوند و در حال حاضر قابل توصیه نمی‌باشند.

۵-۷-۲ انتخاب مواد حفاظت سطحی و بازدارنده

انتخاب گروه یا سیستم مواد حفاظتی، باید بر اساس توصیه‌های درج شده در فصل سوم و بندهای ۳-۷-۲ و ۴-۷-۲ انجام پذیرد. اما برای انتخاب نوع مواد، باید بررسی و آزمایش بر روی نمونه‌های حفاظت شده در شرایط واقعی کارگاه و یا شرایط شبیه‌سازی شده مشابه کارگاه صورت گیرد، زیرا انواع مواد مانند اپکسی‌ها، خود انواع متعددی را شامل می‌گردند و در صورتی که زمان کافی برای بررسی آزمایشگاهی وجود نداشته باشد، باید بر اساس مدارک معتبر ارایه شده از طرف سازنده که مبنی بر عملکرد مطلوب مواد در شرایط واقعی یا مشابه کارگاه باشد، ماده مورد نظر انتخاب گردد.

۶-۷-۲ تمیزی سطح بتن پایه

قبل از اعمال مواد حفاظت سطحی، باید سطح بتن پایه به طور کامل تمیز گردد تا پیوستگی بین مواد و بتن پایه افزایش یابد. بهترین روش برای تمیز کردن بتن پایه، پاشیدن آب با فشار و یا ماسه‌پاشی می‌باشد.

۷-۷-۲ مقدار و شرایط استفاده از مواد حفاظتی

مقدار و شرایط استفاده از مواد بازدارنده خوردگی و مواد حفاظت سطحی باید مطابق توصیه‌های ارایه شده از طرف سازنده باشد.

۸-۲ تعمیر سازه‌های بتنی

۸-۲-۱ دامنه تعمیر

سازه‌های بتنی باید در دو حالت، ظاهر شدن آسیب دیدگی و آلوده شدن بتن به مواد زیان‌آور مانند کلریدها (بدون آنکه آسیب دیدگی قابل مشاهده باشد) تحت تعمیر قرار گیرند. تأخیر در تعمیرات باعث افزایش هزینه به میزان چشمگیری می‌گردد. مواد ذکر شده در این فصل شامل سازه‌های پیش‌تنیده نمی‌گردد.

۸-۲-۲ ارزیابی سازه

قبل از تعمیر سازه باید علت یا علل تخریب و وسعت خرابی مشخص گردد. ارزیابی شامل مشاهدات ظاهری، بررسی نقشه‌های ساخت، تاریخچه ساخت (طرح اختلاط، نوع مصالح و ...) و آزمایشها است. حتی اگر آسیب دیدگی قابل مشاهده نباشد، لازم است برای جلوگیری از آسیب دیدگی احتمالی بعدی، سازه‌های دریایی مورد ارزیابی قرار گیرند. بر این اساس توصیه می‌شود که ارزیابی سازه‌های دریایی به‌صورت ادواری (هر دو سال یک بار) انجام شود و شناسنامه برای آنها تهیه گردد.

۸-۲-۳ مراحل تعمیر

تعمیر باید مطابق با مراحل زیر انجام پذیرد.

۸-۲-۳-۱ برداشتن بتن آسیب دیده

قسمتهای بتن آسیب دیده و آلوده به مواد زیان‌آور، باید با روش مناسب مانند پاشیدن آب با فشار یا ماسه‌پاشی برداشته شود. چنانچه بتن بیشتر از حداکثر مقدار تعیین شده در بند ۲-۳-۴ به یونهای کلرید آلوده باشد، باید از محل خارج گردد. اگر میلگردهای درون بتن دچار خوردگی شده باشند، باید بتن آلوده به کلرید تا پشت آرماتورها برداشته شود تا امکان دسترسی به پشت میلگردها برای تمیز کردن آنها و جای دادن مواد تعمیری فراهم گردد.

۲-۳-۸-۲ تمیز کردن آرماتور

قبل از اعمال اندود محافظ آرماتور و مواد تعمیری، باید زنگ و بتن آلوده به کلرید اطراف میلگردها به طور کامل زدوده و تمیز گردد. برای تمیز کردن میلگردها باید از روشهای مناسب مانند پاشیدن آب با فشار یا ماسه پاشی استفاده نمود و از به کار بردن برس سیمی اجتناب شود.

۲-۳-۸-۳ وصله میلگردها

در مواردی که قطر میلگردها پس از تمیز کردن بیشتر از (۱۰٪) قطر اسمی اولیه کاهش یافته باشد، باید از وصله پوششی میلگردها مطابق دستورالعمل آبا استفاده شود.

۲-۳-۸-۴ اندود کردن میلگردها

برای اندود کردن میلگردها در قسمت تحت تعمیر، باید از اپکسی غنی شده با روی استفاده شود. اگر اندود کردن کلیه میلگردهای هر عضو سازه‌ای مستقل (بدون ارتباط به میلگردهای سایر اعضا) مورد نظر باشد، می‌توان از انواع دیگر اپکسی نیز استفاده نمود.

۲-۳-۸-۵ اندود چسبنده

برای افزایش مقاومت پیوستگی بین مواد تعمیری و بتن پایه بخصوص در تعمیر موضعی، استفاده از اندود با چسبندگی مناسب مانند اپکسی یا آکرلیک توصیه می‌شود.

۲-۳-۸-۶ تمیز کردن سطح بتن

قبل از اعمال مواد تعمیری و یا اندود چسبنده، سطح بتن پایه باید از مواد زاید، گرد و غبار و سنگدانه‌های لق شده زدوده شود. چنانچه برای برداشتن بتن از روشهای پاشیدن آب با فشار و یا ماسه پاشی استفاده شده است، نیاز به تمیز کردن سطح بتن نیست.

۲-۸-۳-۷ اعمال مواد تعمیری

مواد تعمیری باید زمانی اعمال شوند که اندود چسبیده کاملاً خشک نشده باشد. در صورت خشک شدن اندود چسبنده، باید یک لایه اندود دیگر بر اندود خشک شده اعمال نمود، هر چند در این موارد مقاومت پیوستگی به طور نسبی کاهش می‌یابد.

۲-۸-۳-۸ عمل‌آوری ملات یا بتن

اگر برای کاهش جمع‌شدگی و انجام فرایند هیدراتاسیون، از ملات یا بتن با پایه سیمانی استفاده شود، پس از گیرش ملات یا بتن باید توسط پوشش چتایی خیس و ورق پلاستیک، نسبت به عمل‌آوری آن اقدام شود و پس از سخت شدن بتن می‌توان از روشهای دیگر عمل‌آوری استفاده نمود. چنانچه ملات یا بتن پایه سیمانی اصلاح شده با پلیمر است، باید به مدت ۲ روز (۴۸ ساعت) از زمان گیرش مواد نسبت به عمل‌آوری اقدام شود، در این مرحله هیدراتاسیون انجام می‌گردد. پس از مدت ۲ روز باید ملات یا بتن به حالت خشک نگهداری گردد تا مرحله انعقاد پلیمر انجام شود.

◀ ۲-۸-۴ انواع مواد تعمیری

مواد تعمیری به سه گروه ملات یا بتن با پایه‌های سیمانی، ملات یا بتن با پایه سیمانی اصلاح شده با پلیمر (لاتکس) و رزینهای پلی استر و اپکسی تقسیم می‌شوند. استفاده از مواد افزودنی شیمیایی و معدنی مناسب برای بهبود خواص بتن تازه و سخت شده توصیه می‌شود. بخصوص برای کاهش نسبت آب به سیمان ملات یا بتن تعمیری و کاهش جمع‌شدگی آنها، استفاده از فوق روان کننده (ماده کاهنده آب) ضروری است. در صورت استفاده از لاتکس، نیاز به فوق روان کننده نیست و یا به مقدار کم مورد نیاز است، زیرا لاتکس خود به صورت روان کننده عمل می‌کند.

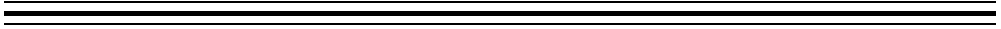
◀ ۲-۸-۵ شرایط رطوبتی بتن پایه

در مواردی که از ملات یا بتن تعمیری با پایه سیمانی معمولی و یا اصلاح شده با پلیمر استفاده می‌شود، رطوبت بتن پایه باید در حالت اشباع با سطح خشک باشد.

۶-۸-۲ انتخاب مواد تعمیری

انتخاب مواد تعمیری باید بر اساس آزمایشها، بررسی در محل کارگاه و یا شرایط شبیه‌سازی شده مشابه کارگاه انجام پذیرد. در صورت کافی نبودن وقت برای بررسی آزمایشگاهی، انتخاب مواد باید به استناد مدارک ارزیابی شده از طرف سازنده، مبنی بر عملکرد مطلوب مواد در شرایط واقعی و یا مشابه کارگاه انجام گردد. به طور کلی مهم‌ترین اصل در انتخاب مواد تعمیری، سازگاری مواد تعمیری با بتن پایه است.

۳



فولاد

۳-۱ تعریف و دامنه کاربرد

سازه‌های فلزی مورد بحث در این آیین‌نامه، به سازه‌هایی از جنس انواع فولاد (که در قسمت استانداردهای فولاد ذکر شده) با اتصالات فلزی (جوشی، پیچ و پرچ) اطلاق می‌گردد که در سازه‌های دریایی و بندری با اهداف عمومی برای بارهای بهره‌برداری و بر اساس طراحی به روش تنش‌های مجاز، مورد بهره‌برداری قرار خواهند گرفت.

دامنه کاربرد ضوابط و کمیته‌های ارایه شده برای خصوصیات مکانیکی در متن این قسمت آیین‌نامه، بدون توجه به اثرات خوردگی و خستگی می‌باشد، که هر دو پارامترهای مهمی در سازه‌های مورد بحث این آیین‌نامه می‌باشند. لذا با توجه به تنوع رفتاری انواع سازه‌ها برای اثرات خوردگی و خستگی که خود نیز از لحاظ اثرات، مکانیسم و شرایط محیطی دارای تنوع زیادی می‌باشند، باید اثرات مذکور را در هر پروژه با توجه به ضوابط مربوط به خستگی و خوردگی در متن آیین‌نامه، با ارایه نظرهای مستدل کارشناسی، برآورد و در کیفیت مصالح مورد استفاده از لحاظ خصوصیات مکانیکی، فیزیکی و شیمیایی مورد توجه قرار داد.

۳-۲ دسته‌بندی فولادها

استفاده از فولاد به عنوان یکی از مهم‌ترین مصالح برای ساخت سازه‌های دریایی از سال ۱۸۰۰ میلادی معمول گشته و همچنان به طور گسترده در سراسر جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد. علت این امر تولید این فلز در مقیاسی وسیع و همچنین محدوده وسیع خواص مکانیکی آن می‌باشد. فولادها را می‌توان با تنش تسلیم متوسط (در حدود ۳۰۰-۲۰۰ مگاپاسکال) و با قابلیت شکل‌دهی^۱ عالی تا

۱. قابلیت شکل‌دهی، چکش‌خواری یا نرمی یک ماده با تغییر شکل ممکن تا مرحله شکست توسط آزمایش کشش و به صورت درصد ازدیاد طول یا درصد کاهش سطح مقطع تعیین می‌شود.

تنش تسلیم بالا (در حدود ۱۴۰۰ مگاپاسکال) و با چقرمگی شکستی^۱ مناسب تولید نمود.

در حین استفاده از فولاد در سازه‌های دریایی، علاوه بر در نظر گرفتن پایداری سازه از نقطه نظر مکانیکی، توجه به مسائل خوردگی ناشی از محیط، حائز اهمیت است. بنابراین طی زمان به کارگیری فولاد در سازه‌های فولادی یا در سازه‌های بتن مسلح واقع در مناطق خورنده (همانند نواحی جنوب کشور) تمهیدات لازم باید در نظر گرفته شوند. این تمهیدات باید تحت نظارت مهندسین خوردگی و با به کارگیری روشهای مختلف حفاظتی (نظیر حفاظت کاتدی، استفاده از ممانعت کننده‌های خوردگی، اعمال پوشش و ...) یا انتخاب فولادهای مقاوم در برابر خوردگی مد نظر قرار گیرند.

در این بخش، روشهای مختلف دسته‌بندی کلی فولادهای مصرفی و تقسیم‌بندی فولادها بر اساس ترکیب شیمیایی آورده شده است. لازم به ذکر است که کلیه فولادهای مورد استفاده در سازه‌های معمول را می‌توان در سازه‌های دریایی و بنادر استفاده نمود به شرطی که مسائل مربوط به خوردگی و پایداری، در زمان ساخت و دوره سرویس دهی سازه مورد توجه قرار گیرند.

۱-۲-۳ روشهای دسته‌بندی

فولادها را می‌توان بر اساس فاکتورهای زیر به دسته‌های مختلفی تقسیم‌بندی نمود:

- ۱- ترکیب شیمیایی
نظیر فولادهای کربنی، کم آلیاژی یا زنگ نزن
- ۲- ریزساختار
نظیر فولادهای پرلیتی، فریتی یا مارتنزیتی
- ۳- روش تولید
نظیر روش کوره الکتریکی، روش زیمنس - مارتین اسیدی و یا قلیایی
- ۴- روش تمام‌کاری

۲. چقرمگی شکست مشخصه‌ای است از مواد که هنگام طراحی به روش آنالیز شکست کاربرد داشته و بیانگر حساسیت ماده به شکست ترد می‌باشد. این مشخصه به عواملی نظیر جنس ماده، شرایط عملیات حرارتی، ریزساختار، تنشهای باقیمانده، اندازه دانه‌ها، مقدار و اندازه ناخالصیها و دانسیته نابه‌جایی‌ها بستگی دارد.

نظیر نورد گرم و یا سرد

۵- شکل محصول

نظیر شمش، ورق، تیوب و یا نوار

۶- روش اکسید زدایی

نظیر فولادهای کشته و یا کشیف

۷- مقدار مقاومت مورد نیاز

نظیر آنچه در استانداردهای ASTM آورده شده است.

۸- روش عملیات حرارتی

نظیر آنیل، کوئنچ و یا تمپر

۹- توصیفات کیفیت

نظیر کیفیت خلل و فرج و یا کیفیت تجاری

در جدول ۳-۱ دو نوع تقسیم‌بندی آلیاژهای آهنی (بر اساس ترکیب شیمیایی و ریزساختار) آورده شده است. استفاده از ترکیب شیمیایی به منظور تقسیم‌بندی فولادها، روشی معمول در این زمینه است که توسط بیشتر مصرف‌کنندگان فولاد مورد استفاده قرار می‌گیرد، لذا در ادامه این مبحث این نوع دسته‌بندی آورده شده است. به منظور تعیین ترکیب شیمیایی فولادها، از روشهای آنالیز شیمیایی تر و یا روشهای اسپکتروشیمیایی استفاده می‌شود.

جدول ۳-۱ مشخصات فولادها بر اساس سیستم (1) AISI-SAE

شماره و نشانه سری	نوع فولاد - ترکیب شیمیایی تقریبی بر حسب درصد
فولادهای کربنی	
۱۰XX	کربنی ساده (حداکثر دارای ۱٪ منگنز)
۱۱XX	خوش تراش، گوگرد داده شده مجدد
۱۲XX	خوش تراش، گوگرد و فسفر داده شده مجدد
۱۵XX	کربنی ساده (حداکثر منگنز (۱/۶۵-۱)٪)
فولادهای منگنز دار	
۱۳XX	۱/۷۵ منگنز
فولادهای نیکل دار	
۲۳XX	۳/۵ نیکل
۲۵XX	۵ نیکل
فولادهای نیکل - کروم دار	
۳۱XX	۱/۲۵ نیکل، ۰/۸ - ۰/۶۵ کروم
۳۲XX	۱/۷۵ نیکل، ۱/۰۷ کروم
۳۳XX	۳/۵ نیکل، ۱/۵۷ - ۱/۵ کروم
۳۴XX	۳ نیکل، ۰/۷۷ کروم
فولادهای مولیبدن دار	
۴۰XX	۰/۲ - ۰/۲۵ مولیبدن
۴۴XX	۰/۴ - ۰/۵۲ مولیبدن
فولادهای کروم - مولیبدن دار	
۴۱XX	۰/۵ - ۰/۹۵ کروم، ۰/۱۲ - ۰/۳ مولیبدن
فولادهای نیکل - کروم - مولیبدن دار	
۴۳XX	۱/۸۲ نیکل، ۰/۸ - ۰/۵ کروم، ۰/۲۵ مولیبدن
۴۳B۷XX	۱/۸۲ نیکل، ۰/۵ کروم، ۰/۱۲ مولیبدن، حداکثر ۰/۰۳ وانادیم
۴۷XX	۱/۰۵ نیکل، ۰/۴۵ کروم، ۰/۳۵ - ۰/۲ مولیبدن
۸۱XX	۰/۳ نیکل، ۰/۴ کروم، ۰/۱۲ مولیبدن
۸۶XX	۰/۵۵ نیکل، ۰/۵ کروم، ۰/۲ مولیبدن
۸۷XX	۰/۵۵ نیکل، ۰/۵ کروم، ۰/۳۵ مولیبدن
۸۸XX	۰/۵۵ نیکل، ۰/۵ کروم، ۰/۳۵ مولیبدن
۹۳XX	۳/۲۵ نیکل، ۱/۲ کروم، ۰/۱۲ مولیبدن
۹۴XX	۰/۴۵ نیکل، ۰/۴ کروم، ۰/۱۲ مولیبدن

شماره و نشانه سری	نوع فولاد - ترکیب شیمیایی تقریبی بر حسب درصد
۹۷XX	۰/۵۵ نیکل، ۰/۲ کروم، ۰/۲ مولیبدن
۹۸XX	۱ نیکل، ۰/۸ کروم، ۰/۲۵ مولیبدن
فولادهای نیکل - مولیبدن دار	
۴۶XX	۱/۸۲ - ۰/۸۵ نیکل، ۰/۲۵ - ۰/۲۰ مولیبدن
۴۸XX	۳/۵ نیکل، ۰/۲۵ مولیبدن
فولادهای کروم دار	
۵۰XX	۰/۶۵ - ۰/۲۷ کروم
۵۱XX	۱/۰۵ - ۰/۸ کروم
۵۰XXX	۰/۵ کروم، حداقل کربن ۱
۵۱XXX	۱/۰۲ کروم، حداقل کربن ۱
۵۲XXX	۱/۴۵ کروم، حداقل کربن ۱
فولادهای کروم - وانادیم دار	
۶۱XX	۰/۹۵ - ۰/۶ کروم، ۰/۱۵ - ۰/۱ وانادیم
فولادهای تنگستن - کروم دار	
۷۲XX	۱/۷۵ تنگستن، ۰/۷۵ کروم
فولادهای سیلیسیم - منگنزدار	
۹۲XX	۲ - ۱/۴ سیلیسیم، ۰/۸۵ - ۰/۶۵ منگنز، ۰/۸۵ - ۰ کروم
فولادهای بر دار	
XXBXX	۰/۰۰۳ - ۰/۰۰۰۵ بر
فولادهای سرب دار	
XXLXX	۰/۳۵ - ۰/۱۵ سرب
فولادهای زنگ نزن	
۳XX	فولادهای نیکل - کروم دار آستنیتی، ترکیب معمول ۱۸ کروم، ۸ نیکل
۴XX	فولادهای نیکل - کروم - منگنز دار آستنیتی، ترکیب معمول ۱۸ کروم، ۵ نیکل، ۸ منگنز
۴XX	فولادهای کروم دار فریتی، ترکیب معمول ۱۷ کروم
۴XX	فولادهای کروم دار مارتنزیتی، مقدار کروم کمتر از ۴XX فریتی، گاهی برای بهبود مقاومت به خوردگی نیکل اضافه می‌شود، ترکیب معمول ۱۲ کروم
۶XX	فولادهای پیر سخت شونده

۳-۲-۲ فولادهای ساده کربنی

فولادهای کربنی، آلیاژی از آهن و کربن هستند که در آنها کربن به عنوان مهم‌ترین عامل استحکام دهنده عمل می‌کند. مؤسسه آهن و فولاد آمریکا (AISI)^۱ طبق تعریف دقیقی، فولادهای ساده کربنی را فولادهایی می‌داند که در آنها مقدار کربن به (۲٪) محدود شده و مقادیر سیلیکون، مس و منگنز به ترتیب از (۰/۶٪)، (۰/۶٪) و (۱/۶۵٪) تجاوز نمایند.

اغلب فولادهای کم کربن حاوی کمتر از (۰/۲٪) کربن که قابلیت شکل‌پذیری و جوشکاری مناسب دارند ولی فاقد قابلیت سخت شوندگی تا عمق قابل توجه هستند، ساختاری فریتی و پرلیتی دارند و معمولاً پس از نوعی فرایند شکل دهی گرم یا سرد مورد استفاده قرار می‌گیرند.

فولادهای کربن متوسط حاوی (۰/۲٪) تا (۰/۵٪) کربن هستند و اگر سریع سرد شوند، به شرط آنکه ابعاد سطح مقطع کوچک باشد ساختاری مارتنزیتی یا بینیتی تشکیل می‌دهند. این فولادها مقاومت زیاد در برابر خستگی دارند و چقرمگی همراه با مقاومت نهایی^۲ و سختی مناسب، به نحو مطلوبی در این دسته فولادها وجود دارد. این نوع فولادها در بازار بسیار متداول بوده و کاربردهای مکانیکی فراوانی پیدا کرده‌اند.

فولادهای پر کربن حاوی بیش از (۰/۵٪) کربن هستند. چقرمگی و شکل‌پذیری این نوع فولادها بسیار پایین است ولی مقاومت در برابر سایش بسیار بالایی دارند. ساختار این فولادها در اثر سرد شدن سریع، به مارتنزیت تبدیل می‌شود.

فولادهای ساده کربنی ارزان قیمت و پرکاربرد هستند، با این وجود محدودیتهایی در کاربرد آنها وجود دارد. در مواردی که ماده مرغوب‌تری مورد نیاز باشد، کیفیت فولاد را با افزودن یک یا چند عنصر آلیاژی بالا می‌برند.

1. American Iron & Steel Institute

۲. مقاومت نهایی حداکثر تنش مقاوم بر مبنای سطح مقطع اولیه می‌باشد. در تنش مقاومت نهایی، یک ماده ترد می‌شکند در حالی که یک ماده نرم به تغییر شکل و ازدیاد طول ادامه می‌دهد.

۳-۲-۳ ◀ فولادهای آلیاژی

تعیین مرز بین فولادهای ساده کربنی و فولادهای آلیاژی، تا اندازه‌ای دلخواه است. طبق نظر مؤسسه AISI فولادهایی که حاوی بیش از (۱/۶۵٪) منگنز، (۰/۶٪) سیلیسیم و یا (۰/۶٪) مس هستند، فولادهای آلیاژی نامیده می‌شوند. در ضمن چنانچه مقدار حداقل یا مشخصی از عناصر کروم، نیکل، مولیبدن، وانادیم، تنگستن، کبالت و ... در فولاد وجود داشته باشد، فولاد آلیاژی خواهد بود. این طیف از فولادها بسیار گسترده بوده و می‌توان آنها را به دو دسته فولادهای کم آلیاژی [با مجموع عناصر زیر (۸٪)] و فولادهای پر آلیاژی [با مجموع عناصر آلیاژی بالای (۸٪)] تقسیم‌بندی نمود.

این فولادها به طور گسترده در قطعاتی با قابلیت عملیات حرارتی به منظور تأمین مقاومت نهایی، مقاومت سایش و چقرمگی مورد نیاز کاربرد دارند. ذکر انواع و خصوصیات مختلف فولادهای آلیاژی در این مختصر امکان‌پذیر نیست ولی به منظور تکمیل بحث، در جدول ۳-۱ شماره و ترکیب شیمیایی تقریبی تعدادی از فولادهای پرمصرف آورده شده است. از روی ترکیب به دست آمده از این جدول و یا آنالیز شیمیایی فولاد و دانستن تأثیر هر یک از این عناصر آلیاژی بر روی فولاد (جدول ۳-۲) می‌توان تاحدی خصوصیات فولاد مورد نظر را حدس زد. با این وجود فاکتورهای متعددی (نظیر ترکیب دقیق عناصر موجود، ساختار فولاد، تاریخچه عملیات حرارتی، روش تولید و ...) وجود دارند که بر روی خواص فولاد، مؤثر می‌باشند. بنابراین مراجعه به کتابهای موجود در این زمینه (نظیر کلید فولاد) توصیه می‌شود.

جدول ۳-۲ ترکیب شیمیایی و خواص مکانیکی چند گروه متعارف از فولادهای ساختمانی کم‌آلیاژ با استحکام بالا

خواص مکانیکی			ترکیب شیمیایی				گروه	
درصد ازدیاد طول	استحکام (مگاپاسکال)	استحکام تسلیم (مگاپاسکال)	وانادیم	کلمبیوم	سیلیسیم	منگنز	کربن	
۲۰	۴۸۳	۳۷۹	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۳۰	۱/۲۵	۰/۲۰	کلسیم - وانادیم
۳۵	۴۱۴	۲۷۶	۰/۲۰	—	۰/۱۰	۰/۵۰	۰/۱۰	وانادیم - منگنز
۲۰	۵۱۷	۳۴۵	—	—	۰/۳۰	۱/۲۰	۰/۲۵	مس - منگنز
۲۲	۴۸۳	۳۴۵	۰/۰۲	—	۰/۳۰	۱/۲۵	۰/۲۲	مس - وانادیم - منگنز

۳-۲-۴ فولادهای ساختمانی آلیاژی

بسیاری از قطعات تولیدی نیاز به فولادهایی با قابلیت سخت شوندگی، چقرمگی و مقاومت خستگی دارند، ولی در کاربردهای ساختمانی مقاومت تسلیم بالا، جوش‌پذیری مناسب، مقاومت در برابر خوردگی به همراه چقرمگی محدود و سخت شوندگی پایین اهمیت بیشتری دارند. پیشرفت در زمینه تولید فولادهایی با این ویژگیها به کمک فرایند نورد، امکان صرفه‌جویی فراوان در هزینه و وزن محصولاتی چون اتومبیل، قطار، پل و ساختمانها را فراهم کرده است.

مقاومت تسلیم فولادهای ساختمانی کم آلیاژ تقریباً در برابر فولادهای ساختمانی کربن‌دار ساده می‌باشد. افزایش استحکام همراه با مقاومت در برابر تشکیل مارتنزیت در ناحیه جوش، نتیجه افزودن درصد کمی عناصر آلیاژی از جمله منگنز، سیلیسیم، نیوبیوم (کلمبیوم) و وانادیم است. اغلب با افزودن حدود (۰/۲٪) از این عناصر آلیاژی در اندازه‌ها و ترکیبات مختلف، می‌توان طیف وسیعی از فولادهای ساختمانی با خواص گوناگون به دست آورد. در جدول ۳-۲ چهار گروه از عناصر آلیاژی متداول ارایه شده‌اند.

فولادهای ساختمانی کم آلیاژ سهم مهمی را در مواد ساختمانی ایفا می‌کنند. کاربرد این فولادها سبب (۲۰٪-۳۰٪) صرفه‌جویی در وزن می‌شود البته بدون هیچ‌گونه کاهش استحکام یا ایمنی. هم‌اکنون تولید این فولادها در ظرفیتهای بسیار زیاد صورت می‌گیرد.

◀ ۳-۳ استانداردهای فولادهای سازه‌ای

◀ ۱-۳-۳ فولادهای متداول

مواردی که در زیر آورده شده است را می‌توان در ساختمانهای متداول فولادی به کار برد. این لیست باید مطابق آخرین ویرایش و ضوابط ASTM باشد که توسط آیین‌نامه AISC پیشنهاد گردیده است:

ASTM A36

ASTM A53 (Grade B)

ASTM A242

ASTM A441

ASTM A500

ASTM A501

ASTM A514

ASTM A529

ASTM A570 (Grades D and E)

ASTM A572

ASTM A588

ASTM A606

ASTM A607

ASTM A618

علاوه بر لیست فوق، استانداردهای زیر که بیشتر در صنایع و سازه‌های دریایی مورد استفاده هستند

پیشنهاد می‌گردد:

مشخصات استاندارد و فولاد سازه‌ای کشتی‌ها

ASTM A131

مشخصات استاندارد برای فولادهای صفحه‌ای و میله‌ای با مقاومت کششی کم تا متوسط

ASTM A283

مشخصات استاندارد برای فولادهای صفحه‌ای با مقاومت کم تا متوسط

ASTM A284

کربن سیلیکان برای قطعات ماشین‌آلات و استفاده‌های عمومی
مشخصات استاندارد جهت شمع کوبی با صفحات فولادی

ASTM A328

مشخصات فولاد ساختمانی با مقاومت بالا

ASTM A440

مشخصات استاندارد جهت صفحات فولادی کربن‌دار با نرمی اصلاح شده

ASTM A573

مشخصات استاندارد جهت فولادهای معمولی پرمقاومت کم آلیاژ

ASTM A633

مشخصات استاندارد جهت فولادهای پرمقاومت کم آلیاژ و شمع‌های H

ASTM A690

سپرکوبی مورد استفاده در سازه‌های دریایی

ASTM A699

ASTM A709

ASTM A710

گزارش‌های تأیید شده آزمایش‌های انجام شده توسط کارخانه و یا یک مرکز آزمایشگاهی معتبر براساس استاندارد **ASTM A6** یا **ASTM A568** (هر کدام که قابل استفاده باشند) باید شواهد کافی دل‌بر مطابقت محصول با استانداردهای مذکور داشته باشند.

اگر وضعیت سطحی فولادهای بی‌اسم بر اساس معیارهای مندرج در **ASTM A6** قابل قبول باشند، می‌توانند برای اعضا و یا اجزای بی‌اهمیتی که در آنها خواص دقیق فیزیکی و یا جوش‌پذیری فولاد، تأثیر چشمگیری روی مقاومت سازه نمی‌گذارد به کار رود.

◀ ۳-۳-۲ استانداردهای مصالح پیچها و پرچها

پرچهای فولادی مورد استفاده، باید با مشخصاتی که در استاندارد ASTM A502 آمده مطابقت نمایند. پیچهای فولادی به همراه گل میخها و مهرهها و واشرهای مورد استفاده، باید منطبق بر یکی از استانداردهای زیر باشند:

ASTM A307 ASTM A325 ASTM A449
ASTM A490 ASTM A563 ASTM F436

پیچهای منطبق با استاندارد A449 را فقط در اتصالاتی که نیازمند پیچهایی با قطر بزرگتر از ۳۸ میلیمتر می باشند، می توان به کار برد و نباید از آنها در اتصالات اصطکاکی استفاده کرد. البته مصالح A449 جهت میل مهارهای پرمقاومت و میله های حدیده شده با هر قطری قابل قبول است.

◀ ۳-۳-۳ استانداردهای میلگردها، سیمها و کابلهای پیش تنیدگی (فولاد در بتن)

مشخصات میلگردها، سیمها و کابلهای پیش تنیدگی، باید حداقل منطبق بر یکی از استانداردهای زیر باشد:

ASTM A615 ASTM A616 ASTM A706 ASTM A617
ASTM A185 ASTM A184 ASTM A82 ASTM A416
ASTM A421 ASTM A496 ASTM A497 ASTM A722
ASTM A767 ASTM A775 ASTM A722

◀ ۳-۳-۴ استانداردهای مصالح جوشکاری

مصالح مورد نیاز جوشکاری باید منطبق بر یکی از آیین نامه های AWS، ISO، DIN و BS یا هر آیین نامه معتبر دیگری باشد.

۳-۴-۳ اتصال و وسایل اتصال

۳-۴-۳-۱ اتصالات جوشی

۳-۴-۳-۱-۱ جوشهای لب (شیاری)

سطح مقطع مؤثر: سطح مقطع مؤثر در جوشهای لب (شیاری) عبارت است از حاصلضرب طول مؤثر جوش در ضخامت گلوگاه مؤثر. طول مؤثر جوش برابر با پهنای قطعه جوش شونده و ضخامت گلوگاه مؤثر جوش لب با نفوذ کامل، برابر با ضخامت قطعه نازک‌تر در نظر گرفته می‌شود. ضخامت گلوگاه مؤثر در جوش لب با نفوذ نسبی، برابر با عمق شیار جوش منهای ۳ میلی‌متر در نظر گرفته می‌شود. استفاده از این جوش در وضعیتی که بارگذاری متناوب (خستگی) کششی وجود داشته باشد مجاز نیست. ضخامت مؤثر جوش شیاری که بین دو لبه گرد (مثل شیار بین دو میلگرد) و یا بین یک لبه گرد و یک لبه تخت (مثل میلگرد در مجاورت ورق) داده می‌شود، طبق استانداردهای مجاز از جمله AWS می‌باشد.

محدودیت: ضخامت گلوگاه مؤثر نباید از مقادیر مندرج در جدول ۳-۳ کمتر شود. حداقل ضخامت گلوگاه مؤثر با توجه ضخامت قطعه ضخیم‌تر تعیین می‌شود، از طرفی بعد جوش نباید از ضخامت نازک‌ترین قطعه متصل شونده تجاوز کند.

جدول ۳-۳ حداقل ضخامت گلوگاه جوش لب

حداقل گلوگاه جوش	ضخامت قطعه ضخیم‌تر
۳ میلی‌متر	تا ۶ میلی‌متر
۴/۵ میلی‌متر	۶ تا ۱۲ میلی‌متر
۶ میلی‌متر	۱۲ تا ۲۰ میلی‌متر
۸ میلی‌متر	۲۰ تا ۳۸ میلی‌متر
۱۰ میلی‌متر	۳۸ تا ۵۷ میلی‌متر
۱۲ میلی‌متر	۵۷ تا ۱۵۲ میلی‌متر
۱۶ میلی‌متر	بالاتر از ۱۵۲ میلی‌متر

۳-۴-۱-۲ جوشهای گوشه

سطح مقطع مؤثر: سطح مقطع مؤثر در جوشهای گوشه، برابر حاصلضرب طول مؤثر در ضخامت گلوگاه مؤثر در نظر گرفته می‌شود. طول مؤثر جوش گوشه (به جز جوشهایی که در سوراخ و شکاف قرار می‌گیرند) برابر با طول کلی نوار جوش شامل قسمتهای برگشت خورده می‌باشد. ضخامت گلوگاه مؤثر در جوش گوشه، برابر کوتاه‌ترین فاصله بین عمیق‌ترین نقطه مقطع جوش تا سطح خارجی آن می‌باشد، به عبارت دیگر برابر ارتفاع وارد بر وتر مثلث مقطع جوش به حساب می‌آید. برای جوشهای گوشه در سوراخ و شکاف، طول مؤثر برابر با طول محوری (میانتری) که از مقطع گلوگاه جوش می‌گذرد در نظر گرفته می‌شود.

محدودیت: حداقل بعد جوش گوشه باید طبق جدول ۳-۴ تعیین شود. حداقل بعد جوش، تابع ضخامت قطعه ضخیم‌تر می‌باشد. از طرفی نباید بعد جوش از ضخامت نازک‌ترین قطعه متصل شونده تجاوز کنند.

جدول ۳-۴ حداقل ضخامت بعد جوش گوشه

حداقل بعد جوش گوشه	ضخامت قطعه ضخیم‌تر متصل شونده
۳ میلیمتر	تا ۷ میلیمتر
۵ میلیمتر	۷ تا ۱۲ میلیمتر
۷ میلیمتر	۱۲ تا ۲۰ میلیمتر
۸ میلیمتر	بیش از ۲۰ میلیمتر

حداکثر بعد جوش گوشه در لبه قطعات متصل شونده در قطعات با ضخامت کمتر از ۷ میلیمتر، از ضخامت قطعه بیشتر نباشد و در قطعات با ضخامت ۷ میلیمتر و بیشتر، برابر با ضخامت قطعه منهای ۱/۵ میلیمتر باشد.

طول مؤثر جوش گوشه فقط در لبه‌های طولی و موازی در انتهای تسمه‌های کششی استفاده می‌شود، طول هر طرف نباید از فاصله عمودی بین آنها (عرض تسمه) کمتر باشد و این فاصله عمودی نباید از ۲۰ سانتی‌متر تجاوز کند. جوشهای گوشه منقطع برای انتقال تنشهای محاسبه شده، هنگامی لازم است که،

نیروی انتقالی از مقاومتی که با جوش سراسری و حداقل بعد جوش تأمین می‌شود کمتر باشد. استفاده از این نوع جوش در اتصال جان و بال تیرهای مرکب شناخته شده از ورق و یا دیگر مقاطع ساخته شده و اتصال ورقهای تقویتی بال نیز مجاز می‌باشد. طول مؤثر قطعات جوش نباید از ۴ برابر بعد جوش و از ۴۰ میلیمتر کمتر شود. فاصله آزاد بین قطعات جوش نباید از ۱۶ برابر ضخامت نازک‌ترین قطعه متصل شونده وقتی در فشار است و از ۲۴ برابر این ضخامت وقتی که در کشش است بیشتر شود. در اتصال دوقطعه‌ای که روی هم قرار می‌گیرند، طول روی هم‌آمدگی نباید از ۵ برابر ضخامت قطعه نازک‌تر کمتر باشد و در هیچ حالتی از ۲۵ میلیمتر کمتر نشود.

اتصالات روی هم که ورقها و تسمه‌های تحت تأثیر تنشهای محوری را به یکدیگر متصل می‌کنند، باید در ضلع انتهایی هر یک از قسمتهای متصل شونده، توسط جوش گوشه اتصال یابند. مگر وضعیتی که اتصال به اندازه کافی نگهداری شده باشد یا تغییر شکل خمشی، آنقدر محدود باشد که از باز شدن اتصال تحت اثر بار حداکثر جلوگیری شود. استفاده از جوش گوشه در لبه سوراخ و شکاف در اتصالات روی هم، به منظور انتقال برش یا جلوگیری از کمانش و یا جدایی قسمتهای متصل شونده مجاز است. کلیه جوشهای گوشه که در لبه کناری و یا ضلع انتهایی عضو انجام می‌شود، باید در آخر ضلع و بر روی ضلع دیگر برگشت داده شود که حداقل طول این برگشت ۲ برابر بعد جوش می‌باشد. این شرط برای تکیه‌گاه‌های ساخته شده لچکی (براکت) در جوشهای قائم و گوشه سر بالا نیز صدق می‌کند. شرط اخیر برای نبشی‌های نشیمن تیر و اتصالات نظیر صادق است. در نبشی‌های اتصال تیر و ستون یا ورقهای این نوع اتصال، برگشت به انتهایی جوش گوشه نباید از ۴ برابر بعد جوش بیشتر باشد. برگشت به انتها در جوش گوشه، باید در نقشه‌ها و جزئیات اجرایی قید شود.

۳-۴-۱-۳ جوش انگستانه و کام

سطح مقطع مؤثر: سطح مقطع مؤثر در برش برای جوش انگستانه و کام، برابر با سطح مقطع اسمی سوراخ و شکاف در صفحه برش به حساب می‌آید. محدودیت: می‌توان از این جوش برای انتقال برش در اتصال عناصری که روی هم قرار گرفته‌اند و یا جلوگیری از کمانش در عناصر روی هم آمده در اعضای مرکب ساخته شده استفاده کرد. قطر سوراخ در

جوش انگستانه نباید از ضخامت قطعه سوراخ شده به اضافه ۸ میلیمتر کمتر باشد. همچنین قطر مذکور نباید از مقدار حداقل به اضافه ۳ میلیمتر و یا ۲/۲۵ برابر ضخامت جوش بزرگتر شود. حداقل فاصله مرکز به مرکز جوشهای انگستانه، ۴ برابر قطر سوراخ می‌باشد. حداقل فاصله مرکز به مرکز شکافها در امتداد عمود بر طول، ۴ برابر پهنای شکاف و حداقل فاصله مرکز به مرکز شکافها در امتداد طول، ۲ برابر طول شکاف می‌باشد که طول شکاف نیز نباید از ۱۰ برابر ضخامت جوش بیشتر شود. پهنای شکاف نباید از ضخامت قطعه بریده شده به اضافه ۸ میلیمتر کمتر و همچنین از ۲/۲۵ برابر ضخامت جوش بیشتر باشد. انتهای شکاف باید به صورت نیم‌دایره یا خطی مستقیم که در گوشه‌ها تبدیل به ربعی از دایره با شعاعی بزرگتر از ضخامت قطعه می‌شود باشد. ضخامت جوش انگستانه و کام در قطعاتی که ضخامت آنها ۱۶ میلیمتر و یا کمتر است، باید برابر با ضخامت قطعه باشد. در قطعاتی که ضخامت آنها بیش از ۱۶ میلیمتر است، ضخامت این جوش باید حداقل نصف ضخامت قطعه باشد، ولی در هر حال از ۱۶ میلیمتر نیز کمتر نشود.

۳-۴-۱-۴ تنشهای مجاز جوشها

به جز حالتی که عامل خستگی، تعیین کننده باشد، جوشها باید طوری محاسبه شوند که محدودیتهای تنش مندرج در جدول ۳-۵ را با اعمال ضرایب مربوطه دارا باشند.

جدول ۳-۵ تنشهای مجاز جوش *

تنش مجاز	نوع تنش	نوع جوش
متناسب با فلز مادر **	کششی یا فشاری، در امتداد عمود بر مقطع مؤثر	جوش لب با نفوذ کامل و لبه آماده شده
متناسب با فلز مادر **	کششی یا فشاری، موازی با محور جوش	
مقاومت نهایی کششی فلز جوش $\times 0.3$	برشی، در مقطع مؤثر	
متناسب با فلز مادر **	فشاری در امتداد عمود بر مقطع مؤثر	جوش لب یا نفوذ نسبی
متناسب با فلز مادر **	کششی یا فشاری، موازی با محور جوش	
مقاومت نهایی کششی فلز جوش $\times 0.3$ (تنش کششی در فلز مادر، نباید از $0.6 F_y$ فلز مادر بیشتر شود)	کششی در امتداد عمود بر مقطع مؤثر	
مقاومت نهایی کششی فلز جوش $\times 0.3$	کششی یا فشاری، موازی با محور جوش	
مقاومت نهایی کششی فلز جوش $\times 0.3$	برشی در مقطع مؤثر	جوش گوشه
مقاومت نهایی کششی فلز جوش $\times 0.3$	برشی، موازی سطح برش شونده (روی مقطع مؤثر)	جوش انگشتانه و کام

* این تنشها باید در ضرایب ϕ مربوطه ضرب شوند که عبارتند از:

در صورت انجام آزمایشهای غیر مخرب نظیر رادیوگرافی و التراسونیک: $\phi = 1.0$

در صورت انجام جوش در کارخانه و یا شرایط مشابه و بازرسی چشمی جوش توسط افراد مجرب $\phi = 0.85$

در صورت انجام جوش در محل و بازرسی چشمی توسط افراد مجرب: $\phi = 0.75$

** فلز جوش (الکتروود مصرفی) باید با فلز مادر سازگار باشد و محدودیت مقاومت الکتروود مطابق با مقادیر زیر تأمین شود:

جدول ۳-۶

حد جاری شدن فلز مادر F_y (کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع)	مقاومت نهایی کششی فلز الکتروود F_{ue} (کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع)
۲۹۵۰	۴۲۰۰
۳۸۶۰	۴۹۰۰
۴۵۷۰	۵۶۰۰

۳-۴-۱-۵ ترکیب جوشها

اگر از دو یا چند نوع جوش (جوش لب، جوش گوشه، جوش انگشترانه و یا کام) در یک اتصال استفاده شود، باید ظرفیت مؤثر هر یک را جداگانه نسبت به محور مجموعه جوش محاسبه و سپس ظرفیت مجاز مجموعه جوش را تعیین کرد.

۳-۴-۱-۶ فلز جوش مختلط

اگر طاقت نمونه زخم‌دار به عنوان شرطی برای مصالح جوش تعیین شده باشد، مصالح و روش جوشکاری برای فلز تمام جوشها اعم از خال‌جوش، عبور جوش در عمق، ریشه اتصال و یا عبورهای بعدی که جوش اضافی را در اتصال ایجاد می‌کند، باید مشابه باشد تا طاقت نمونه زخم‌دار برای فلز جوش مختلط محرز شود.

۳-۴-۱-۷ پیش گرم کردن قطعات سنگین

برای نیمرخهای نورد شده سنگین و قطعات مرکب ساخته شده با جوش که ورقهای آنها ضخیم‌تر از ۵۰ میلیمتر باشد، باید قبل از انجام جوش لب، پیش گرم کردن تا دمای ۱۸۰ درجه سانتیگراد یا بیشتر صورت گیرد.

۳-۴-۲ پیچ و مهره، قطعات رزوه شده و پرچ**۳-۴-۲-۱ پیچهای پرمقاومت**

به جز مواردی که در این آیین‌نامه ذکر شده، استفاده از پیچهای پرمقاومت مطابق با استاندارد پیچهای مصرفی مجاز می‌باشد.

۳-۴-۲-۲ اندازه‌ها و سوراخها

اندازه حداکثر برای سوراخ پیچها، در جدول ۳-۷ داده شده است. برای میل‌مهراهای پای ستون در شالوده بتنی، استفاده از سوراخهای بزرگتر مجاز می‌باشد.

جدول ۳-۷ اندازه حداکثر سوراخ پیچها

اندازه حداکثر سوراخ (میلیمتر)				قطر پیچ (میلیمتر)
لوبیایی بلند (طول × عرض)	لوبیایی کوتاه (طول × عرض)	بزرگ شده (قطر)	استاندارد (قطر)	
$(d+15) \times (2.5d)$	$(d+1.5) \times (d+7)$	d+5	d+1.5	d

سوراخهای لوبیایی کوتاه در تمام حالتها در اتصالات اصطکاکی مجاز هستند و در اتصالات اتکایی باید عمود بر امتداد نیرو باشند.

سوراخهای لوبیایی بلند در اتصالات اتکایی فقط در امتداد عمود بر مسیر نیرو مجاز هستند و در اتصالات اصطکاکی، فقط می‌توانند در یکی از ورقهای اتصال در هر جهت اختیاری وجود داشته باشند.

۳-۴-۲-۳ سطح مؤثر در تنش لهدگی (فشار تماسی)

سطح مؤثر تماسی در فشار مستقیم برای پیچها، قطعات رزوه شده و پرچها باید به صورت حاصلضرب قطر در ضخامت تماس به حساب آید، مگر در پیچها و پرچهای کله خزینه که نصف عمق خزینه باید کم شود.

۳-۴-۲-۴ تنشهای کششی و برشی مجاز

تنشهای کششی و برشی مجاز را برای پیچها و قطعات دندانه‌دار (رزوه شده) باید از جدول ۳-۸ استخراج کرد. محل اثر این تنشها، مقطع پرچ (قبل از عمل پرچ کاری) و مقطع دندانه فشرده پیچ یا میله‌های حدیده شده (غیر از میله‌های دارای دندانه‌های برجسته) در نظر گرفته می‌شود. پیچهای پرمقاومت که بار وارده را به صورت کشش مستقیم تحمل می‌کنند، باید طوری محاسبه شوند که تنش متوسط در مقطع اسمی پیچ، بدون در نظر گرفتن هرگونه نیروی پیچش تنیدگی، از مقادیر مندرج در جدول ۳-۸ تجاوز نکند. نیروی مؤثر باید برابر نیروی خارجی به اضافه اثر اهرم شدن (ناشی از تغییر شکل در قطعات متصل شده) باشد. در طراحی و محاسبه پیچها، قطعات دندانه شده و پرچهایی که تحت اثر خستگی قرار می‌گیرند، اثرات خستگی باید لحاظ گردد.

جدول ۳-۸ تنشهای مجاز در انواع وسایل اتصال (کیلوگرم بر سانتی متر مربع)

تنش برشی مجاز					تنش کششی مجاز (F_t)	نوع وسیله اتصال
اتصال برشی (اتکایی)**	اتصال اصطکاکی *			سوراخ استاندارد		
	سوراخ لوبیایی بلند	سوراخ بزرگ شده و لوبیایی کوتاه				
	بار در امتداد عرضی	بار در امتداد طولی				
$0.6F_y$					$0.75F_y$	پرچ
$0.17F_u$ (b)					$0.33F_u$ (a)	پیچ معمولی
$0.17F_u$					$0.33F_u$ (a)	قطعه دندانه شده طبق مشخصات تعیین شده، در حالتی که سطح برش از قسمت دندانه شده می‌گذرد.
$0.22F_u$					$0.33F_u$ (a)	قطعه دندانه شده طبق مشخصات تعیین شده، در حالتی که سطح برش از قسمت دندانه شده نمی‌گذرد.
$0.20F_u$	$0.09F_u$	$0.10F_u$	$0.12F_u$	$0.15F_u$	$0.38F_u$ (b)	پیچ پرمقاومت که سطح برش از قسمت دندانه شده می‌گذرد.
$0.28F_u$	$0.09F_u$	$0.10F_u$	$0.12F_u$	$0.15F_u$	$0.38F_u$ (d)	پیچ پرمقاومت که سطح برش از قسمت دندانه شده نمی‌گذرد.

در جدول فوق **a** بیانگر بار استاتیکی و **b** بیانگر قرار گرفتن دندانه‌ها در سطح برش مجاز می‌باشند، **d** نیز برای پیچهای **A325** و **A490** و یا مشابه تحت اثر خستگی می‌باشد.

* با ضریب اصطکاک 0.33 برای وضعیتی که سطوح تماس تمیز با فلز ناشی از عمل نورد کارخانه‌ای باشند.

** وقتی که فاصله اولین و آخرین پیچ در امتداد نیرو از 1150 میلیمتر تجاوز کند، این تنشهای مجاز را باید (20%) کاهش داد.

F_u *** تنش نهایی مصالح پیچ و F_y تنش جاری شدن مصالح پرچها بر حسب کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع می‌باشند. F_u برای پیچهای معمولی A307 برابر ۴۲۰۰، برای پیچ A325 با قطری مساوی و یا کمتر از ۲۵ میلیمتر مساوی ۸۲۰۰ و با قطر بزرگتر از ۲۵ میلیمتر مساوی ۷۲۵۰ و برای پیچ A490 مساوی ۱۰,۰۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع می‌باشد.

۳-۴-۲-۵ اثر مشترک کشش و برش در اتصالات برشی (اتکایی)

پیچها و پرچهای که تحت اثر عمل مشترک برش و کشش قرار می‌گیرند، باید طوری محاسبه شوند که تنش کششی F_t ناشی از نیروهای مؤثر بر عضو متصل شده در مقطع اسمی A_n ، از مقادیر حاصل از روابط مندرج در جدول ۳-۹ بیشتر نشود. تنش برشی f_v که همزمان توسط همین نیروها به وجود می‌آید، نباید از مقادیر برشی که در جدول ۳-۸ داده شده بیشتر شود.

در حالتی که تنش مجاز برای اثر باد، زلزله و یا موج، به تنهایی و یا در ترکیب با بارهای دیگر در تنشها منظور شده باشد، تنشهای مجاز مربوط را می‌توان به میزان $\frac{1}{3}$ افزایش داد، مشروط بر آنکه مقطع محاسبه شده به این روش، کمتر از مقدار لازم برای حالت ترکیبی بار مرده، بار زنده و اثر ضربه (در صورت وجود) بدون منظور نمودن $\frac{1}{3}$ افزایش در تنش مجاز نباشد.

در حالتی که بارهای مذکور، ضرایب مندرج در جدول ۳-۹ نیز باید به میزان $\frac{1}{3}$ افزایش یابد، ولی ضریب مربوط به f_v را نباید افزایش داد.

جدول ۳-۹ تنش کششی مجاز (F_t) برای اتصال برشی (تماسی) (کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع)

نوع وسیله اتصال	سطح برش از قسمت دندان شده می‌گذرد	سطح برش خارج از قسمت دندان شده قرار دارد
پیچ معمولی	$0.43F_u - 1.8F_v \leq 1400$	
پیچ پرمقاومت	$\sqrt{(0.38F_u)^2 - 4.39F_v^2}$	$\sqrt{(0.38F_u)^2 - 2.15F_v^2}$
قطعه دندان شده	$0.43F_u - 1.8F_v \leq 0.33F_u$	$0.43F_u - 1.4F_v \leq 0.33F_u$
پرچ	$1.05F_y - 1.3F_v \leq 1600$	

F_u = تنش نهایی مصالح پیچ (کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع)

F_y = تنش جاری شدن مصالح پرچ (کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع) - F_v = تنش برشی موجود (کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع)

۳-۴-۲-۶ اثر مشترک کشش و برش در اتصالات اصطکاکی

برای پیچهای پرمقاومت که در اتصالات اصطکاکی مورد استفاده قرار می‌گیرند، باید تنش برشی مجازی را که در جدول ۳-۸ تعیین شده است در ضریب کاهش دهنده $\gamma = \frac{f_t A_b}{T_b}$ ضرب کرد. در این ضریب، f_t تنش کششی متوسط ناشی از نیروی کششی اعمالی بر تمام پیچها، T_b نیروی پیش‌تنیدگی پیچ و A_b سطح مقطع اسمی پیچ می‌باشند. مقدار حداقل نیروی پیش‌تنیدگی برابر $T_b = 0.55 F_u \cdot A_b$ می‌باشد.

۳-۴-۲-۷ مقدار مجاز فشار تماسی در سوراخهای پیچ (تنش لهیدگی)

فشار تماسی مجاز بر روی سطح تصویر شده پیچ با پرچ (حاصلضرب قطر در ضخامت قطعه) برای اتصالات برشی (تماسی) که در آنها حداقل فاصله مرکز به مرکز پیچها $3d$ و فاصله انتهایی بعد از سوراخ تا لبه (در امتداد نیرو) حداقل $1/5d$ باشد، به شرح زیر تعیین می‌شود:

الف: برای سوراخهای استاندارد یا سوراخهای لوبیایی کوتاه که دو یا چند پیچ در خط نیرو داشته باشند:

$$F_p = 1.2F_u \quad (1)$$

که در آن F_p تنش تماسی مجاز در فشار است.

ب: برای سوراخهای لوبیایی بلند که محور شکاف عمود بر امتداد بارگذاری باشد و یا دو یا چند پیچ در خط نیرو باشند:

$$F_p = 1.0F_u \quad (2)$$

ج: برای سوراخهای استاندارد و یا سوراخهای کوتاه در سطح تصویر شده نزدیک‌ترین پیچ و پرچ به لبه، که فاصله تا لبه در آنها کمتر از $1/5d$ و در تمام اتصال یک عدد پیچ در خط نیرو داشته باشند:

$$F_p = (Le \cdot F_u / 2d) \leq 1.2F_u \quad (3)$$

که در آن Le فاصله از لبه آزاد تا مرکز پیچ و d قطر پیچ است.

۳-۴-۲-۸ حداقل فواصل

فاصله مرکز به مرکز سوراخهای استاندارد یا سوراخهای بزرگ شده و یا سوراخهای لوبیایی، نباید از ۳ برابر قطر وسیله اتصال کمتر باشد و همچنین در صورتی که مقدار F_p از روابط ۱ و ۲ تعیین می‌شود، فاصله بین مراکز سوراخها S در امتداد نیروهای انتقالی، نباید از $3d$ کمتر باشد. در غیر این صورت فاصله بین مراکز سوراخها نباید از مقادیر زیر کمتر باشد:

الف: در سوراخهای استاندارد

$$S \leq (2P/F_u T) + d/2 \quad (4)$$

که در آن P نیروی منتقل شده توسط وسیله اتصال به عضو مورد نظر، F_u حداقل مقاومت نهایی کششی قطعه، t ضخامت قطعه متصل شونده و d قطر اسمی وسیله اتصال است.

ب: برای سوراخهای بزرگ شده و سوراخهای لوبیایی، مقدار به دست آمده از رابطه ۴ با مقدار C1 حاصل از جدول ۳-۱۰ جمع می‌شود، ولی فاصله خالص بین سوراخها نباید از قطر پیچ کمتر شود.

جدول ۳-۱۰ مقادیر C1

سوراخ لوبیایی (میلیمتر)		در امتداد عمود بر خط نیرو	سوراخ بزرگ شده (میلیمتر)
در امتداد موازی با خط نیرو			
لوبیایی بلند	لوبیایی کوتاه		
$1/5d - 1/5$	۷	۰	۵

ج: حداقل فاصله تا لبه

فاصله مرکز سوراخهای استاندارد تا لبه قطعه متصل شونده، نباید از مقادیر جدول ۳-۱۱ کمتر و همچنین مقدار حاصل از رابطه ۵ کمتر باشد.

در طول یک خط انتقال نیرو، در صورتی که F_p از روابط ۱ و ۲ تعیین شده باشد، فاصله از مرکز سوراخ استاندارد تا لبه قطعه متصل شونده Le نباید از $1/5d$ کمتر باشد، در غیر این صورت باید رابطه ۵ صادق باشد.

$$Le \geq \frac{2P}{F_u t} \quad (5)$$

P و F_u و t در بند ۳-۴-۲-۸ تعریف شده‌اند.

برای سوراخ بزرگ شده و لوبیایی، فاصله مرکز سوراخ تا لبه نباید از آنچه که برای سوراخ استاندارد تعیین شده به اضافه مقدار $C2$ مربوط از جدول ۳-۱۲ کمتر شود.

جدول ۳-۱۱ حداقل فاصله مرکز سوراخ استاندارد تا لبه (میلیمتر)

لبه بریده شده با قیچی	لبه بریده شده ورق، نیمرخ، تسمه و نیز لبه بریده شده با شعله یا اره	قطر اسمی پیچ یا پرچ
$1/75 d$	$1/35 d$	d

جدول ۳-۱۲ مقادیر افزایش یافته تا لبه $C2$

سوراخ لوبیایی (میلیمتر)		سوراخ بزرگ شده (میلیمتر)	
موازی با لبه	عمود بر امتداد لبه		
		لوبیایی بلند	لوبیایی کوتاه
۰	$0.75 d$	۵	۳

د: حداکثر فاصله تا لبه و فاصله مرکز به مرکز

حداکثر فاصله از مرکز هر پیچ و یا پرچ تا نزدیک‌ترین لبه قطعات در تماس، ۱۲ برابر ضخامت قطعه متصل شونده می‌باشد ولی نباید از ۱۵۰ میلیمتر تجاوز کند. برای قطعات مرکب (ساخته شده) رنگ نشده که تحت اثر خوردگی و زنگ‌زدگی ناشی از عوامل جوی قرار داشته باشند، فاصله وسایل اتصال که دو ورق یا ورق و نیمرخ را متصل می‌کنند، نباید از ۱۴ برابر ضخامت نازک‌ترین قسمت متصل شونده و همچنین از ۲۱۰ میلیمتر بیشتر شود. فاصله تا لبه نباید از ۸ برابر ضخامت نازک‌ترین قطعه و یا از ۱۲۵ میلیمتر تجاوز کند.

ه: اتصال با طول گیره بلند

در استفاده از پیچهای معمولی که تنش محاسبه شده‌ای را تحمل می‌کنند و طول گیره در آنها از ۵ برابر قطر بیشتر است، باید به ازای هر $1/5$ میلیمتر که طول گیره از ۵ برابر قطر بیشتر باشد، (۱٪) تعداد پیچها را اضافه کرد.

۳-۴-۳ تنش مجاز در پارگی ناشی از برش

در اتصال انتهایی تیرها که قسمتی از بال فوقانی تیر برداشته شده است و یا در حالت‌های نظیر که ممکن است به علت برش در سطح که از وسیله اتصال می‌گذرد و یا به علت اثر ترکیبی برشی در سطح گذرنده بر وسیله اتصال و کشش در سطح عمود بر آن خرابی اتفاق افتد، تنش برشی مجاز عبارت است از:

$$F_v = 0.3 F_u \quad (۶)$$

که F_v در مقطع خالص (باقیمانده) برشی A_v در نظر گرفته می‌شود. تنش کششی مجاز نیز عبارت است از:

$$F_t = 0.5 F_u \quad (۷)$$

که F_t در مقطع خالص (باقیمانده) کششی A_t در نظر گرفته می‌شود. F_u نیز تنش نهایی مصالح می‌باشد. در اتصالات جوشی باید مسیر حداقل برای پارگی در جوشها کنترل شود.

۳-۴-۳ عناصر اتصال دهنده

این ماده مربوط به عناصر اتصال دهنده مانند قطعات تقویتی، ورق‌های اتصال، نبشی‌ها، براکتها و ناحیه چشمه اتصال تیر به ستون است.

۳-۴-۳-۱ اتصالات خارج از مرکز

در اتصال اعضای با نیروی محوری، باید سعی شود که محورهای گذرنده بر مرکز ثقل اعضا، در یک نقطه تلاقی کنند، در غیر این صورت باید برای خمش و برش ناشی از خروج از مرکز، پیش‌بینی‌های لازم صورت گیرد.

۳-۴-۳-۲ برش مجاز در پارگی

در حالتی که ممکن است از اثر برش در صفحه‌ای که از وسایل اتصال می‌گذرد و یا در حالتی که از عمل مشترک برش در امتداد صفحه‌ای که از وسایل اتصال می‌گذرد و کشش در امتداد صفحه عمود بر آن می‌باشد خرابی اتفاق افتد، به بند ۳-۴-۳ (بحث تنش مجاز کششی) مراجعه شود.

◀ ۳-۴-۵ لقمه‌ها (فیلرها)

در اتصالات جوشی، هر لقمه‌ای که ضخامت آن ۶ میلیمتر و بیشتر باشد باید از لبه ورق وصله به اطراف، مقداری ادامه یابد و به قطعه‌ای که روی آن قرار می‌گیرد جوش شود. این جوش باید برای انتقال تنشهای ورق وصله هنگامی که به صورت خارج از مرکز بر سطح لقمه تأثیر می‌کند کافی باشد. جوشهایی که ورق وصله را به لقمه متصل می‌کنند، باید برای انتقال تنشهای ورق وصله کافی باشند و نیز طول کافی داشته باشند تا ورق لقمه بیش از حد، تحت تنش قرار نگیرد.

هر لقمه‌ای که ضخامت آن کمتر از ۶ میلیمتر باشد، باید لبه‌هایش برابر وصله و صاف با آن تمام شود و بعد جوش باید به اندازه‌ای باشد که ضخامت لقمه را پوشش دهد و در مقابل تنشهای ورق وصله نیز مقاوم باشد. در اتصالات پیچی و پرچی که تنشهای محاسبه شده‌ای تحمل می‌شود و پیچ یا پرچ از میان لقمه‌ای با ضخامت بیش از ۶ میلیمتر می‌گذرد، باید طرز انتقال نیروها مطالعه و مطابق با وضع موجود ابعاد وسایل اتصال و لقمه محاسبه شود.

جدول ۳-۱۳ مقدار مجاز دامنه تغییرات تنش (کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع)

بارگذاری نوع ۴ F4	بارگذاری نوع ۳ F3	بارگذاری نوع ۲ F2	بارگذاری نوع ۱ F1	طبقه تنش از جدول ۳-۴-۱۱
۱۶۸۵	۱۶۸۵	۲۵۳۰	۴۲۲۰	A
۱۱۲۵	۱۲۶۵	۱۹۴۵	۳۱۶۵	B
۷۰۰	۹۱۵	۱۳۳۵	۲۲۵۰	C
۴۹۰	۷۰۰	۱۱۲۵	۱۹۰۰	D
۳۵۰	۵۶۰	۸۸۰	۱۴۷۵	E
۵۶۰	۶۳۰	۸۴۵	۱۰۵۵	F

برای تنش خمشی، دامنه تغییرات به اندازه ۸۴۵ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع در انتهای ریشه جوش صفحات تقویت جان یا بال مجاز می‌باشد.

◀ ۳-۴-۶ وصله‌ها

جوشهای لب با لبه آماده شده، در تیرهای نورد شده و تیرهای مرکب باید حداقل ظرفیت کامل مقطع کوچکتر وصله شونده را فراهم آورند. انواع دیگر وصله در مقاطع تیرهای مرکب، باید مقاومت مطمئن برای تنشهای موجود در نقطه وصله را به وجود آورند.

۳-۴-۶-۱ وصله در بال تیر

وصله در بال تیر باید تا حد امکان از محل تنش خمشی حداکثر دور باشد. اگر از ورق تقویتی بال برای وصله استفاده می‌شود، سطح مقطع آن باید حداقل (۵٪) از سطح مقطع بال وصله شونده بیشتر و مرکز ثقل آن تا حد امکان به مرکز ثقل بال نزدیک یا منطبق باشد. تعداد پیچها، پرچها و یا مقادیر جوش در هر طرف مقطع وصله، باید برای تأمین مقاومتی که مقدارش حداقل ۱/۵ برابر نیروی موجود در قطعه وصله شده است کافی باشد.

۳-۴-۶-۲ وصله در جان تیر

وصله در جان تیرها و تیرهای مرکب، باید برای نیروی برشی و سهم لنگر خمشی مربوط به جان در محل درز اتصال محاسبه شود. اگر از ورقهای وصله جان استفاده می‌شود، باید ورقهای مذکور را به صورت قرینه و با ضخامت مساوی در دو طرف جان قرار داد.

◀ ۳-۴-۷ تنشهای تماسی مجاز

در تماس سطوح صاف و آماده شده و انتهای قطعات تقویتی با انتقال تنش تماسی و روی سطح تصویر پین‌ها در سوراخهای تنظیم شده برای خار، تنش فشاری تماسی مجاز عبارت است از:

$$F_p = 0.9 F_y$$

اگر دو یا چند عضو در تماس دارای حد جاری شدن F_y مختلف باشند، F_y کوچکتر ملاک خواهد بود. در روی غلتکها و کفشکهای تکیه‌گاه، رابطه زیر برقرار است:

$$F_p = (F_y - 920) / 1400 \times 46.3 d$$

که در آن F_p بر حسب کیلوگرم بر سانتی متر طول، F_y بر حسب کیلوگرم بر سانتی متر مربع و d قطر غلتک یا کفشک بر حسب سانتی متر است.

◀ ۳-۴-۸ اثرات خستگی در تنشهای مجاز اتصالات

در طراحی اتصالاتی که تحت تأثیر تنشهای متغیر مکرر ناشی از بارهای زنده واقع می‌شوند، باید به تعداد دفعات تغییر تنش، حدود تغییرات قابل پیش‌بینی، نوع و محل عضو و یا جزئیات مربوطه توجه داشت. وضعیت بارگذاری در جدول ۳-۱۴ دسته‌بندی شده است. نوع و محل مواد نیز در جدول ۳-۱۵ طبقه‌بندی شده‌اند.

جدول ۳-۱۴ تعداد سیکل‌های بارگذاری

وضعیت بارگذاری	از	تا
۱	تقریباً معادل دو بار در هر روز به مدت ۲۵ سال	تقریباً معادل ده بار در هر روز به مدت ۲۵ سال
۲	تقریباً معادل ده بار در هر روز به مدت ۲۵ سال	تقریباً معادل پنجاه بار در هر روز به مدت ۲۵ سال
۳	تقریباً معادل ۵۰ بار در هر روز به مدت ۲۵ سال	تقریباً معادل دویست بار در هر روز به مدت ۲۵ سال
۴	بیش از ۲۰۰۰۰۰	

۳-۴-۸-۱ تنشهای مجاز

حداکثر تنش نباید از مقدار تنش مجاز پایه که در بخشهای قبلی این آیین‌نامه آمده است بیشتر شود. همچنین حداکثر دامنه تغییرات تنش نباید از مقادیری که در جدول ۳-۱۵ داده شده است تجاوز نماید.

جدول ۳-۱۵ تأثیر نوع و محل مواد بر تنش مجاز خستگی

شرایط کلی	وضعیت	نوع تنش	طبقه تنش (به جدول ۳-۱۳ مراجعه شود)
مصالح ساده	فلز مینا با سطوح نورد شده یا پرداخت شده	T یا REV	A
اعضای ساخته شده از دو یا چند نیمرخ	فلز مینا و فلز جوش در اعضای قرار دارند که ملحقاتی از قبیل قطعات اتصال برشی و غیره ندارند و از صفحات یا نیمرخهایی درست شده‌اند که نوسط جوش لب به لب با نفوذ کامل، ناقص با خطوط پیوسته و یا جوش گوشه پیوسته به موازات تنشهای وارده، به هم وصل شده‌اند.	T یا REV	B
	تنش خمشی محاسبه شده f_b در فلز مینا در انتهای ریشه جوش جان تیر ورقها و یا در بالهای مجاور به ورقهای تقویتی که به جان تیرها جوش داده شده است.	T یا REV	C
	فلز مینا در انتهای یک قطعه ورق پوششی با اتصال جوشی قرار دارد. ورق پوششی دارای انتهای چهار گوش یا اریب می‌باشد و ممکن است به فلز مینا در انتها جوش داده شده یا نشده باشد.	T یا REV	E
اتصالات مکانیکی (پیچ و پرچ)	فلز مینا در مقطع ناخالص اتصال نوع اصطکاکی که با پیچ پرمقاومت ساخته شده است قرار دارد. اتصالاتی که تحت اثر تنشهای متناوب کششی و فشاری قرار دارند و همچنین اتصالاتی که تحت اثر بارهای محوری قرار دارند و در اعضا لنگرهایی ایجاد می‌کنند که در داخل صفحات اعضا قرار ندارند، شامل این وضعیت نمی‌شوند.	T یا REV	B
اتصالات مکانیکی (پیچ و پرچ)	فلز مینا در مقطع خالص اتصالاتی قرار دارد که با سایر پیچها و پرچها ساخته شده‌اند.	T یا REV	D
اتصالات با جوش گوشه	فلز مینا در مقطع خالص اتصال نوع برشی (اتکایی) با پیچ پرمقاومت قرار دارد.	T یا REV	B
	فلز مینا در اتصالی با جوش گوشه منقطع قرار دارد.	T یا REV	E
	فلز مینا در اتصالی می‌باشد که با جوش گوشه ایجاد شده است و نیروی وارده محوری می‌باشد. جوشکاری در اطراف محور عضو باید طوری انجام شده باشد که تنشهای جوشها در حالت تعادل باشند (امتداد نیروی محوری از مرکز سطح خطوط جوش عبور نماید).	T یا REV	E

شرایط کلی	وضعیت	نوع تنش	طبقه تنش (به جدول ۳-۱۳ مراجعه شود)
	فلز جوش در اتصالی با جوش گوشه پیوسته یا منقطع، در امتداد و یا عمود بر نیروی وارده قرار دارد.	S	F
جوشهای لب به لب	فلز مینا و فلز جوش در وصله قطعاتی با سطح مقطع مشابه و هم سطح که توسط جوش لب به لب با نفوذ کامل به هم وصل شده اند قرار دارند. جوش در امتداد تنشها کاملاً سنگ زده شده و از بی عیب بودن جوش با رادیوگرافی و یا آزمایش اولتراسونیک مطابق ضوابط آخرین ویرایش آیین نامه AWS اطمینان حاصل شده است.	REV یا T	B
	فلز مینا و فلز جوش در وصله تبدیلی یا جوش لب به لب با نفوذ کامل قرار دارند و عرض و ضخامت قطعاتی که به هم جوش داده شده اند، با هم تفاوت دارند.	REV یا T	B
	فلز مینا در اتصال با جوش لب به لب با نفوذ ناقص قرار دارد. خط جوش در امتداد موازی با تنش قرار گرفته است و اتصال دارای شعاع تبدیل R به اندازه ۵ سانتی متر یا بیشتر است و سطح جوشها صیقلی می باشد:	REV یا T	B
	سانتی متر $R \geq 60$	REV یا T	C
	سانتی متر $15 \leq R < 60$	REV یا T	D
	سانتی متر $5 \leq R < 15$	REV یا T	
	فلز مینا در اتصال با جوش لب به لب یا جوش گوشه قرار دارد و بعد اتصال در جهت موازی با تنش a کمتر از ۵ سانتی متر است.	REV یا T	C
	فلز مینا در گل میخ اتصال برشی که توسط جوش گوشه متصل شده است قرار دارد.	REV یا T	C
	تنش برشی بر روی سطح مقطع اسمی گل میخهای اتصال برشی	S	F

برای تنش خمشی، دامنه تغییرات به اندازه ۸۴۵ کیلوگرم بر سانتی متر مربع در انتهای ریشه جوش صفحات تقویت جان یا بال مجاز می باشد.

در جدول فوق T بیانگر این است که تنش همواره کششی است. REV بیانگر تنش کششی یا فشاری (به طور متناوب) و S بیانگر تنش برشی است که ممکن است مثبت یا منفی باشد.

این مثالها به عنوان راهنما ارائه شده‌اند و شامل مواردی که به طور منطقی مشابه اینها هستند می‌شوند.

۳-۴-۸-۲ شرایط اتصال دهنده‌های مکانیکی (پیچ و پرچ)

الف: برای پیچهای A325 یا A490 که به درستی محکم شده‌اند، نیازی به در نظر گرفتن دامنه تغییرات تنش کششی نیست، ولی حداکثر تنش محاسبه شده از جمله تنش ناشی از عمل اهرمی نباید از مقادیر جدول ۳-۸ تجاوز نماید مشروط بر آنکه:

اتصالاتی را که تحت تأثیر بیش از ۲۰۰۰۰ و کمتر از ۵۰۰۰۰۰ سیکل کششی مستقیم قرار دارند، می‌توان برای مجموع تنشهای حاصل از بار وارده و بار ناشی از عمل اهرمی طراحی کرد، به شرط آنکه مقدار بار ناشی از عمل اهرمی از ۱۰٪ بار خارجی اعمال شده بیشتر نشود. اگر مقدار بار ناشی از عمل اهرمی از ۱۰٪ تجاوز کند، تنشهای مجاز کششی را که در جدول ۳-۸ ذکر شده‌اند، باید به اندازه ۴۰٪ کاهش داد و طراحی را فقط بر اساس بار خارجی انجام داد.

اتصالاتی را که تحت تأثیر بیش از ۵۰۰۰۰۰ سیکل کششی مستقیم قرار دارند، می‌توان برای مجموع تنشهای حاصل از بار وارده و بار ناشی از عمل اهرمی طراحی کرد، به شرط آنکه مقدار بار ناشی از عمل اهرمی از ۵٪ بار خارجی اعمال شده بیشتر نشود. اگر مقدار بار اهرمی از ۵٪ تجاوز کند، تنشهای مجاز کششی را که در جدول ۳-۸ ذکر شده‌اند، باید به اندازه ۵۰٪ کاهش داد و طراحی را فقط بر اساس بار خارجی انجام داد.

ب: استفاده از سایر پیچها و قطعات حدیده شده که تحت تأثیر خستگی کششی قرار می‌گیرند، توصیه نمی‌شود.

ج: هنگامی که مقاومت اتصال دهنده‌ها در مقابل خستگی مورد نظر باشند، می‌توان پرچها، پیچها و قطعات حدیده شده‌ای را که تحت تأثیر بارهای متناوب برشی قرار می‌گیرند، بر اساس تنشهای برشی در اتصال نوع برشی که در جدول ۳-۸ ذکر شده است طراحی نمود.

۳-۵ انواع خوردگی و علل آن

با توجه به گستردگی مبحث خوردگی و اهمیت آن در تخریب سازه‌ها (اعم از فولادی یا بتنی) در نواحی جنوبی کشور و با توجه به این که انتخاب روش مناسب جهت محافظت از خوردگی بر حسب شرایط میکرو اقلیم منطقه و نوع سازه بسیار متغیر است، لذا توصیه می‌شود قبل از اتخاذ هرگونه تصمیمی با مهندسین خوردگی مشورت شود.

۳-۵-۱ تعریف

خوردگی را می‌توان به صورت انهدام و فساد یا تغییر و دگرگونی در خواص و مشخصات مواد (فلزات) به علت واکنش آنها با محیط اطراف تعریف نمود.

خوردگی فلزات پدیده‌ای پیچیده است که تحت تأثیر پارامترهای گوناگون قرار دارد، به نحوی که حتی با دانستن تمام متغیرهای لازم، پیش‌بینی رفتار دقیق ماده‌ای بخصوص در محیطی مشخص همیشه امکان‌پذیر نمی‌باشد. لذا در این‌گونه موارد نیاز به انجام تستهای خوردگی و مقایسه بین مواد مناسب احساس می‌شود.

اکثر پروسه‌های خوردگی را می‌توان با آموختن جنبه‌های مرتبط با خوردگی زیر، مورد ارزیابی، تحلیل و بررسی قرار داد:

الف: رشد لایه شامل:

۱- اکسیداسیون

۲- ترمودینامیک

۳- ایجاد لایه

ب: خوردگی الکتروشیمیایی شامل:

۱- واکنشهای آندی و کاتدی

۲- سری‌های گالوانیکی

۳- تأثیر سطح

۴- اختلاف ترکیب شیمیایی

۵- اضافه نمودن به الکترولیت

به منظور رعایت اختصار، از توضیح موارد فوق احتراز می‌گردد و علاقه‌مندان می‌توانند جهت کسب اطلاعات بیشتر در این خصوص به مراجع مختلف خوردگی مراجعه کنند. همچنین استفاده از استانداردهای موجود در جدول ۳-۱۶ در مواقع لزوم توصیه می‌گردد.

جدول ۳-۱۶ لیست استانداردهای موجود

کد	موضوع
ASTM G15	تعاریف اصلاحات خوردگی
ASTM G1	توصیه‌های کاربردی در خصوص آماده‌سازی و تمیز کردن نمونه‌ها و ارزیابی خوردگی نمونه
ASTM G31	تست آزمایشگاهی خوردگی به روش غوطه‌وری
ASTM G4	توصیه‌های کاربردی در خصوص طرح و نحوه اجرای آزمایشهای خوردگی
ASTM G5	توصیه‌های کاربردی در خصوص روش استاندارد برای اندازه‌گیری پلاریزاسیون آند در حالت پتانسیو استاتیکی و پتانسیو دینامیکی
ASTM Δ G59	اندازه‌گیری مقاومت پلاریزاسیون در حالت پتانسیو دینامیکی
ASTM G102	اندازه‌گیری سرعت خوردگی و اطلاعات مربوطه به وسیله روشهای الکتروشیمیایی
ASTM B117	آزمایش پاشش نمک
ASTM G85	آزمایش پاشش نمک اصلاح شده
ASTM G16	آنالیز آماری و تحلیل داده‌های مربوط به خوردگی
NACE – PRO – 272-72	محاسبه مستقیم تعیین و ارزیابی اقتصادی میزان خوردگی
73 – NACE – PRO – 173	جمع‌آوری و جداسازی محصولات خوردگی
NACE – TMO – 169-76	آزمایشهای خوردگی مواد در آزمایشگاه برای پروسه‌های صنعتی
70 – NACE – TMO – 270	آزمایشهای کنترل سرعت خوردگی در آزمایشگاه

به طور کلی آیین‌نامه و استاندارد مورد استناد، آخرین چاپ کتب ASTM یا NACE یا هر آیین‌نامه معتبر جهانی می‌باشد که در مورد نحوه انجام آزمایشها، رجوع به آنها پیشنهاد می‌شود.

۳-۵-۲ انواع خوردگی

خوردگی می‌تواند در شکل‌های متعدد و متفاوتی رخ دهد که هر کدام دارای نامی مخصوص به خود می‌باشند. در زیر توضیح بسیار مختصری در مورد چند نوع از انواع معمول خوردگی و استانداردهای مرتبط با انواع مهم آن آورده شده است. اطلاعات بیشتر در کتابهای خوردگی نظیر **Metals Handbook** آورده شده است.

۳-۵-۲-۱ خوردگی یکنواخت

معمول‌ترین و متداول‌ترین نوع خوردگی می‌باشد که به وسیله یک واکنش شیمیایی یا الکتروشیمیایی در سراسر سطحی که در تماس با محلول خورنده قرار دارد مشخص می‌شود. خوردگی یکنواخت از نظر تناژ مقدار فلز خورده شده بالاترین رقم را دارد، ولی این نوع خوردگی از نقطه نظر فنی اهمیت چندانی ندارد، زیرا عمر تجهیزاتی که تحت این نوع خوردگی قرار می‌گیرند را می‌توان با آزمایشهای ساده‌ای (جدول ۳-۱۶) تخمین زد.

۳-۵-۲-۲ خوردگی تحت تنش

این نوع خوردگی به معنی ترک خوردن فلز در نتیجه اعمال هم‌زمان تنش کششی و محیط خورنده می‌باشد. فاکتورهای متالورژیکی مؤثر در این نوع خوردگی، ترکیب شیمیایی فلز، جهات مرجع کریستالها، ترکیب و توزیع رسوبات در داخل فلز، واکنش نابه‌جایی‌ها با یکدیگر و میزان پیش‌روی تغییر حالت‌های فازی می‌باشند. فاکتورهای مذکور به علاوه ترکیب شیمیایی محیط، درجه حرارت و مقدار تنش اعمال شده، زمان شکست را تعیین می‌کنند.

معمولاً محیط‌هایی که سبب این نوع خوردگی می‌شوند، قابل پیش‌بینی می‌باشند. به منظور تست SCC، بسته به نوع ماده و محیط مورد نظر، آزمایشهای مختلفی انجام می‌شوند که تعدادی از آنها در جدول ۳-۱۷ آورده شده‌اند. اطلاعات بیشتر را می‌توان از ایندکس آزمایشهای ASTM به دست آورد.

جدول ۳-۱۷ آزمایش scc

کد	موضوع
ASTM G35	توصیه‌های کاربردی برای تعیین قابلیت فولاد زنگ‌نزن و آلیاژهای آهن، نیکل و کرم در برابر scc در محیط اسید پلی‌تتیک
ASTM G36	توصیه‌های کاربردی برای آزمایش ایجاد scc در محلول جوشان کلرید منیزیم
ASTM G37	توصیه‌های کاربردی برای استفاده از محلول ماتسون با PH بیش از ۷/۲ برای ارزیابی قابلیت ایجاد scc در آلیاژهای مس و روی
ASTM G38	توصیه‌های کاربردی برای ساخت و به‌کارگیری نمونه‌های رینگی شکل برای آزمایش scc
ASTM G39	آماده‌سازی و نحوه استفاده از نمونه آزمایشی مقاومت تیرهای خمیده در برابر scc
ASTM G41	توصیه‌های کاربردی جهت تعیین قابلیت scc در آلیاژهای تیتانیوم تحت شرایط تنش‌های ناشی از قرار گرفتن در محیط‌های داغ حاوی نمک
ASTM G44	بررسی مقاومت فلزات و آلیاژها در محلول (۲/۵٪) کلرید سدیم
ASTM G47	توصیه‌های کاربردی برای تعیین قابلیت ایجاد scc در آلیاژهای آلومینیوم سری ۷XXX
ASTM G58	آماده‌سازی نمونه برای آزمایش scc در قطعات دارای جوش

۳-۵-۲-۳ خوردگی خستگی

فلزاتی که تحت نیروهای سیکی قرار می‌گیرند، در اثر رشد ترک‌های موجود دچار انهدام می‌شوند. این فرایند هنگامی که فلز تحت محیط خورنده قرار گیرد، تشدید شده و به عنوان خوردگی خستگی شناخته می‌شود. اگر محیط خورنده نباشد و مقدار تنش کمتر از حد خستگی باشد، فلز صدمه نخواهد دید. در مورد فولادها این حد تحمل، نصف مقاومت کششی آنها می‌باشد. باید دقت شود که در محیط‌های خورنده، حد تحمل حقیقی وجود ندارد و به طور کلی شکست فلز، تحت هر مقدار تنشی اتفاق می‌افتد، به شرطی که تناوب و تکرار آن به حد کفایت انجام گیرد. ترک‌های ناشی از خوردگی خستگی به صورت داخل دانه‌ای می‌باشد.

جدول ۳-۱۸ حد خستگی و مقاومت خوردگی فلزات مختلف (بررسیهای Mc Adams)

مقاومت به خوردگی خستگی (مگاپاسکال)		حد خستگی در هوا (مگاپاسکال)	فلز
آب شوره	آب چاه		
۱۱۰	-	۱۷۰	فولاد (C ۰/۱۱)
۱۴۰	۵۰	۲۴۰	فولاد (C ۰/۱۶)
۱۶۰	-	۲۹۰	فولاد (C ۰/۱۶)
۲۰۰	-	۳۴۰	فولاد (C ۱/۰۹)
۱۵۰	-	۲۹۰	فولاد (C ۰/۳، NI ۳/۵)
۲۴۰	۱۲۵	۳۴۵	فولاد (C ۰/۵، V ۱٪، Cr ۰/۹)
۳۴۵	۱۷۰	۳۴۵	فولاد (C ۰/۱، Cr ۱۳/۸)
۱۶۰	۱۵۰	۲۲۵	فولاد (C ۰/۲، Ni ۸٪، Cr ۱۷٪)
۱۸۰	۱۹۰	۲۵۰	نیکل (Ni ۹۸/۹۶)
۱۲۵	۱۲۵	۱۳۰	مونل (Cu ۲۹/۵، Ni ۶۷/۵)
۷۰	۷۰	۶۷/۵	کوپرونیکل (Cu ۷۸٪، Ni ۲۱٪)
-	۰/۱	۰/۳	مس (Cu ۱۰۰٪)
۳۸	۲۵	۷۵	آلومینیوم (Al ۹۹/۴)
۵۳	۴۵	۱۱۵	آلومینیوم (Al ۹۸٪، Mn ۱/۲)
۱۲۵	-	۱۴۵	دور آلومین

۳-۲-۵-۴ خوردگی شیاری

در بیشتر شیارها و نواحی دیگری روی سطح که حالت مرده^۱ داشته و در معرض محیط خورنده قرار دارند، خوردگی موضعی شدیدی رخ می‌دهد که تفاوت ترکیب شیمیایی بین محیط داخل و خارج شیار سبب پیشرفت آن می‌گردد.

۱. حالت مرده به نواحی از سطح اجسام گفته می‌شود که به سبب سکون محیط (الکترولیت) در آنها تجمعی از یونهای خورنده ایجاد می‌شود. ناحیه بین صفحات فلزی پرچ شده، نواحی زیر رسوبات، بیچها، مهره‌ها، واشرها و ... از جمله مثالهای نواحی مرده می‌باشند.

فولادهای زنگ‌نزن^۱ به این نوع خوردگی بسیار مستعد می‌باشند، برای مثال یک ورقه فولاد زنگ‌نزن را می‌توان با قرار دادن یک کش لاستیکی به دور آن و فرو بردن در آب دریا از وسط به دونیم کرد. در مورد آزمایشهای مربوط به این نوع خوردگی، می‌توان از بند ۳-۵-۲-۵ استفاده نمود.

۳-۵-۲-۵ خوردگی حفره‌ای

برای توضیح تمام انواع خوردگی موضعی که در آنها جسم در معرض حملات ناشی از حفره‌های ریز ولی عمیق قرار می‌گیرد، از این واژه استفاده می‌شود. در این حالت کل مقدار فلز خارج شده می‌تواند اندک باشد ولی با این وجود، احتمال سوراخ شدن مقطع تحت خوردگی زیاد است. حفره‌ها ممکن است به‌طور اتفاقی و یا در اثر تغییر مقطع، ترکیب شیمیایی و یا ریزساختار، در سطح توزیع شوند. رشد حفره‌ها با سرعت دپلاریزاسیون در مناطق کاتدی کنترل می‌شود. در آب دریا مقدار و قدرت دستیابی به اکسیژن حل شده بسیار مهم می‌باشد. یک دپلاریزه کننده بسیار مؤثر در برابر اکسیژن حل شده، کلرفریدیک است که می‌تواند سبب بروز حفرات با سرعت نفوذ بالا گردد. لازم به ذکر است که فولاد زنگ‌نزن نسبت به فولاد معمولی، به این نوع خوردگی حساس‌تر بوده لذا در محل‌هایی که احتمال وقوع این نوع خوردگی بالا می‌باشد (نظیر مناطقی که در معرض یون کلرور نسبتاً بالا می‌باشند) استفاده از فولاد زنگ‌نزن توصیه نمی‌شود.

تست‌ها و آزمایشهای زیادی در ارتباط با این نوع خوردگی وجود دارند که تعدادی از آنها عبارتند از:

الف: تست پلاریزاسیون سیکلی گالوانوستاتیکی، به منظور تعیین حساسیت به خوردگی حفره‌ای و

شیاری ASTM G100

ب: تست پلاریزاسیون سیکلی پتانسیودینامیکی، به منظور تعیین حساسیت آلیاژهای آهن، نیکل و پایه

کبالت نسبت به خوردگی حفره‌ای و شیاری ASTM Δ G6

ج: اندازه‌گیری و ارزیابی خوردگی حفره‌ای آلیاژهای زنگ‌نزن پایه نیکل در آب دریا و یا دیگر

محیطهای آبی حاوی یون کلرور ASTM G78

۱. فولادهای زنگ‌نزن آلیاژی از آهن، کروم و دیگر عناصر مقاوم در برابر خوردگی می‌باشند که دارای حداقل (۵/۱۰٪) کروم بوده و در محیطهای اکسید کننده، حالت روپین پیدا می‌کنند.

د: تست خوردگی حفره‌ای فولادهای زنگ‌نزن و آلیاژهای مربوطه، با استفاده از محلول کلرور فریک
ASTM G48

۳-۵-۲-۶ خوردگی گالوانیکی

اگر فلزات غیر متشابه در حضور یک محیط هادی به یکدیگر متصل شوند، یک پیل الکترولیتی تشکیل خواهند داد که در آن، فلز فعال حکم آند پیدا کرده و با سرعتی بیشتر از حالت بدون اتصال دچار خوردگی خواهد شد. در این حالت فلز نجیب‌تر تحت محافظت قرار گرفته و از خوردگی آن تا حد زیادی کاسته می‌شود.

در زیر یک سری گالوانیکی از تعدادی فلزات و آلیاژهای مورد استفاده مشاهده می‌شود. همان‌طور که معلوم است، فولاد زنگ‌نزن در دو محل جدا مشاهده می‌شود که به علت رفتار فعال - غیر فعال این ماده می‌باشد. (جداول کامل‌تر در کتابهای مرجع خوردگی وجود دارند).

جدول ۳-۱۹ جدول گالوانیکی بعضی از فلزات و آلیاژها در آب دریا

فولادهای زنگ‌نزن	اینکونل	نجیب (کاتدی) طلا
فولاد کربنی	نیکل	فولادهای زنگ‌نزن
چدن	آلیاژهای کاپرونیکل	مونل
آلیاژهای آلومینیوم	برنز	هاستولی C
روی	مس	تیتانیوم
منیزیم فعال (آندی)	برنج	نقره

راهنمایی‌های لازم به منظور استفاده از سری‌های گالوانیکی برای پیش‌بینی خوردگی گالوانیکی در ASTM G71، تست خوردگی گالوانیکی ایجاد شده در اتمسفر در ASTM G104 و راهنمایی‌های موجود در مورد خوردگی فلزات در الکترولیت در ASTM G71 آورده شده‌اند. همچنین استفاده از تست‌های ASTM F1130، ASTM F1131، ASTM F1132، و ASTM F1133 در مواقع لزوم می‌توانند مفید واقع شوند.

۳-۵-۲-۷ خوردگی بیولوژیکی

این نوع خوردگی از بین رفتن یا انهدام یک فلز به وسیله فرایندهای خوردگی که نتیجه فعالیت مستقیم یا غیر مستقیم موجودات جاندار است می‌باشد. این موجودات شامل انواع میکروسکوپی مثل باکتری‌ها و انواع ماکروسکوپی نظیر جلبکها و جانوران دریایی دیگر می‌باشند. علاوه بر خوردگی‌های ذکر شده، خوردگی می‌تواند به صورتهای متعدد دیگری نیز بر روی مواد مختلف رخ دهد. در قسمت B کتاب *Fulmer Material Optimizer, Vol.1*، انواع مختلف خوردگی که می‌توانند بر روی فلزات مختلف در محیطهای متفاوت رخ دهند، در جداولی بر حسب نوع فلز ارایه شده‌اند که مراجعه به آنها در هنگام انتخاب مواد توصیه می‌گردد.

۳-۵-۳ خوردگی در محیطهای مختلف

۳-۵-۳-۱ خوردگی در خاک

به علت تنوع ترکیب شیمیایی، خوردگی خاکها طیف وسیعی را شامل می‌شود و نتایج آزمایش در یک محل، فقط برای همان محل قابل استفاده می‌باشد. فاکتورهای مؤثر در خوردگی خاکها عبارتند از: رطوبت، درجه قلیایی، اسیدیته، قابلیت نفوذ آب و هوا، اکسیژن، نمکها، جریانهای سرگردان، اجزای بیولوژیکی و فشرده‌گی و بافت خاک. اکثر این فاکتورها بر مقاومت الکتریکی تأثیر می‌گذارند، لذا اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی معیار بسیار مناسبی برای ارزیابی خوردگی خاکها می‌باشد. روش اندازه‌گیری مقاومت خاک با روش چهار الکترودی (متدوئر) در *ASTM G57* و همچنین آزمایش تعیین PH خاک در *ASTM G51* آورده شده است. در ضمن، خوردگی خاکها به وسیله اداره ملی استاندارد NBS مطالعه شده است.

۳-۵-۳-۲ خوردگی در آب

خوردگی در آب را می‌توان به خوردگی در آب دریا، آب آشامیدنی، آب شور و آب خیلی خالص تقسیم‌بندی نمود که بسته به نوع آن، فاکتورهای متعددی در خوردگی دخیل می‌شوند. میزان خوردگی فولاد تحت تأثیر آب دریا، بیش از آب خالص می‌باشد. آب دریا حدود (۷٪) نمک دارد و اندکی قلیایی

می‌باشد (PH=۸)، الکترولیت خوبی بوده و می‌تواند باعث خوردگی گالوانیکی و شیاری گردد. خوردگی در آب دریا بستگی به مقدار اکسیژن، سرعت حرکت، درجه حرارت و اجزای بیولوژیکی دارد. در جدول ۳-۲۰ مقدار نمکهای اصلی موجود در آب خلیج فارس که از آزمایشهای انجام یافته بر روی نمونه‌های برداشته شده از نزدیکی تنگه هرمز به دست آمده، با نمکهای مشابه آن در آبهای آزاد جهان که به عنوان یک معیار سنجش به کار می‌رود، مقایسه شده است.

جدول ۳-۲۰ مقایسه املاح موجود در آب دریاها و آزاد و خلیج فارس

نمک	آب دریا (ppm)	خلیج فارس (ppm)
کلسیم	۵۰-۴۸۰	۴۸۰
منیزیم	۲۶۰-۱۴۱۰	۱۶۰۰
سدیم	۲۱۹۰-۱۲۲۰۰	۱۲۶۰۰
پتاسیم	۷۵-۵۵۰	۴۷۰
سولفات	۵۸۰-۲۸۱۰	۳۳۰۰
کلرور	۳۹۶۰-۲۰۰۰۰	۲۲۴۰۰

توصیه‌های کاربردی برای هدایت صحیح آزمایشهای خوردگی سطوح فلزات و آلیاژها در آب دریا در ASTM G52، تست خوردگی آب در هنگام عدم انتقال حرارت با استفاده از روشهای الکتروشیمیایی در ASTM P2776 و تست خوردگی آب در هنگام عدم انتقال حرارت با استفاده از روش کاهش وزن در ASTM D2688 آمده است.

بیشترین خوردگی در سطح آب یا منطقه پاشش اتفاق می‌افتد، زیرا در این منطقه، تر و خشک شدن، مکرراً صورت می‌گیرد و هوا نیز وجود دارد.

آزمایشها و تجربه نشان داده است که میزان خوردگی فولاد در آب دریا و آبهای دیگر، به مقدار زیادی به اکسیژن موجود در آن بستگی دارد. فولاد کربنی در تماس با آبی که با اکسیژن اشباع شده است، معمولاً دارای خوردگی به میزان ۹mpy می‌باشد. زمانی که آب فاقد اکسیژن باشد، مقدار خوردگی فولاد کربنی ۱mpy و یا حتی کمتر می‌شود. خوردگی سپرهای فولادی که در معرض آب دریا در اطراف خط لجن قرار دارند، به میزان زیادی متغیر است و همان‌طور که اشاره شد، به میزان اکسیژن موجود در

آب بستگی دارد. در محل‌های عمیق‌تر که آب، مقدار کمتری اکسیژن دارد، خوردگی کمتر شده و به میزان $3-6 \text{ mpy}$ می‌رسد.

فولاد ضد زنگ و آلومینیوم، به طور قابل ملاحظه‌ای در مقابل خوردگی در منطقه پاشش آب مقاومت دارند، ولی آلومینیوم مقاومت کمتری در اعماق بیشتر دارد. شمع‌های ساخته شده از فولاد کم آلیاژی و مس، مطابق استاندارد **ASTM A690** دارای مقاومتی ۲ تا ۳ برابر فولاد ساده کربنی در منطقه پاشش هستند. با این وجود چنین فولادهایی در اعماق زیاد، مقاومت خوردگی خیلی بالایی از خود نشان نمی‌دهند. آب‌های آلوده اغلب حاوی سولفید هیدروژن هستند که اثرات مخرب زیادتری روی فلزات حساس نسبت به سولفیدها دارند. فولادهای سخت شده و جوشها ممکن است در اثر وجود سولفیدها و خوردگی ناشی از آنها ترک بخورند.

ممکن است در آب آلوده مقدار کمی بخار آمونیاک حضور داشته باشد که باعث خوردگی و خرابی آلیاژهای روی و مس شوند. استفاده از آلیاژ مس - نیکل در هنگامی که آمونیاک وجود داشته باشد، ترجیح داده می‌شود و آلیاژ مس - نیکل (۹۰-۱۰) نتایج مطلوب و رضایت‌بخشی را در مناطقی که آلودگی ناشی از سولفید وجود داشته باشد ارائه می‌دهند. فلزات در مقابل آب غیر قابل نفوذ می‌باشند. در مورد مقاومت فلزات مختلف در مقابل خوردگی شیاری و همچنین مقاومت در برابر رشد موجودات زنده در آب دریا، جداولی در کتاب **corrosion Engineering Fontana** آورده شده است.

۳-۳-۵ خوردگی در بتن

پوشش بتن به همراه تعدادی پدیده‌های فیزیکی‌شیمیایی، باعث حفاظت فولاد آرماتور می‌گردند که عبارتند از:

الف: **PH** بالا که باعث تشدید شکل‌گیری لایه محافظ اکسیدی روی سطح فولاد می‌شود.

ب: فراهم شدن یک سد فیزیکی برای جلوگیری از نفوذ رطوبت، نمک‌های محلول، دی اکسید کربن و اکسیژن

ج: فراهم شدن یک سد شیمیایی برای جلوگیری از حمله مواد اسیدی مانند دی اکسید کربن و دی اکسید گوگرد

د: عبور جریان الكترولیتی از طریق هدایت كم الكتریکی بتن محدود می‌شود. درجه مؤثر بودن بتن برای جلوگیری از خوردگی به عوامل متعددی بستگی دارد که در مجموع به کیفیت بتن بستگی پیدا می‌کند. بتن مرغوب دارای نفوذپذیری کم و PH بالا می‌باشد. آمار و بررسیهای انجام شده نشان می‌دهند که حدود (۹۰٪) از خرابی‌های سازه‌های بتنی، ناشی از خوردگی آرماتورهای تقویت کننده آن می‌باشد.

نمونه‌هایی از مشکلات ناشی از خوردگی را در اغلب موارد کاربرد بتن مسلح یا بتن پیش‌تنیده، نظیر سازه‌ها، تیرها، دالهای پل، پایه‌ها، لوله‌ها و ... می‌توان مشاهده کرد. بعضی اوقات اولین نشانه این مشکلات، پیدا شدن لکه‌های قهوه‌ای رنگ روی بتن در اطراف آرماتور است. این لکه‌های قهوه‌ای رنگ که ناشی از خوردگی فولاد می‌باشند، ممکن است بدون ترک خوردن بتن به طرف سطح آن انتشار یابند، اما معمولاً با ترک خوردگی همراه بوده و یا ترک خوردگی مدت کوتاهی بعد، اتفاق خواهد افتاد. ترک خوردگی در بتن به علت چندین برابر حجم‌تر بودن محصول خوردگی فولاد از آهنی که از آن تولید می‌شود رخ می‌دهد. نیروهای تولید شده توسط این فرایند انبساطی، می‌توانند از مقاومت کششی بتن بسیار فراتر روند و در نتیجه باعث ترک خوردن آن شوند. با ترک خوردن بتن، دستیابی محیط به آرماتور راحت‌تر صورت پذیرفته، لذا خوردگی با سرعت بیشتری ادامه می‌یابد و به این ترتیب عوامل تخریب سازه فراهم می‌شوند.

خوردگی فولاد نه تنها باعث بروز مشکلات ناشی از لکه‌گذاری، ترک خوردگی و پاشش بتن می‌شود، بلکه ممکن است موجب شکست سازه‌ای در اثر کاهش سطح مقطع و در نتیجه کاهش ظرفیت کششی فولاد شود، که این امر در رشته‌های فولادی پیش‌تنیده بحرانی‌تر از میلله‌های آرماتور معمولی است.

بررسی خوردگی فولاد تقویت کننده بتن در حالت بدون پوشش با استفاده از اندازه‌گیری پتانسیل در ASTM C876 و ملاحظات طراحی در مورد کنترل خوردگی فولاد در سازه بتنی مسلح در NACE-PRO-187-87 درج شده‌اند.

۳-۵-۳-۴ خوردگی اتمسفری

خوردگی ناشی از اتمسفرهای مختلف از نظر هزینه و تناژ، از خوردگی در هر محیط منفرد دیگری بیشتر باعث انهدام می‌شود. اتمسفرها را می‌توان به سه دسته صنعتی، دریایی، و روستایی تقسیم‌بندی نمود. عمده خوردگی اتمسفری به دلیل رطوبت و اکسیژن می‌باشد، ولی در حضور ناخالصی‌هایی نظیر ترکیبات گوگردی و نمک طعام موضوع حادث می‌شود. خوردگی فولاد در ساحل دریا ۴۰۰ تا ۵۰۰ برابر خوردگی آن در یک ناحیه کویری می‌باشد، همچنین سرعت خوردگی نمونه‌های فولادی که ۲۵ متر از ساحل دریا فاصله داشتند، ۱۲ برابر سرعت خوردگی نمونه‌هایی بود که در ۲۵۰ متری ساحل دریا قرار داشتند.

ویژگیهای محلهای تست خوردگی اتمسفری در ASTM G92، توصیه‌های کاربردی در خصوص هدایت آزمایشهای خوردگی در شرایط اتمسفری بر روی فلزات در ASTM G59 و راهنمایی‌های لازم به منظور ارزیابی مقاومت در برابر خوردگی اتمسفری فولاد کم آلیاژی هوازده در ASTM G104 ارائه شده‌اند. همچنین از تستهای ASTM G91، ASTM G84، ASTM D1654، و ASTM B537 می‌توان در مواقع لزوم به منظور تست خوردگی اتمسفری استفاده نمود.

۳-۶ روشهای محافظت و پیشگیری از خوردگی

۳-۶-۱ ممانعت کننده‌های شیمیایی

انجمن بین‌المللی مهندسين خوردگی، ممانعت کننده‌ها را موادی تعریف نموده‌اند که وقتی به مقدار کم به محیط اضافه شوند، سبب کاهش سرعت خوردگی می‌گردند. ممانعت کننده‌ها با استفاده از یک یا چند روش از روشهای زیر، سبب کنترل سرعت خوردگی می‌شوند:

الف: به وسیله جذب به صورت یک لایه نازک در سطح ماده‌ای که در حال خورده شدن می‌باشد.

ب: با ایجاد یک لایه ضخیم از محصولات خوردگی.

ج: با تغییر شرایط محیط به وسیله ایجاد رسوبات محافظ به نحوی که محیط خورنده نباشد.

د: عقیم نمودن و یا خارج ساختن عوامل مهاجم به نحوی که ماده خورده نشود.

ممانعت کننده‌ها را می‌توان بر حسب مکانیسم و ترکیب، به ترتیب زیر طبقه‌بندی نمود:

الف: ممانعت کننده‌های جذبی

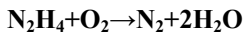
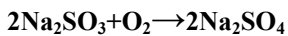
این مواد بزرگترین گروه ممانعت کننده‌ها هستند. به طور کلی این نوع ممانعت کننده‌ها ترکیبات آلی می‌باشند که جذب سطح فلز شده و واکنشهای انحلال فلز و احیا را کند می‌کنند. در اکثر موارد، ممانعت کننده‌های جذبی روی هر دو فرایند آندی و کاتدی تأثیر می‌گذارند. آمینهای آلی نمونه‌ای از این گروه می‌باشند.

ب: سموم تصعید هیدروژن

این مواد مثل یونهای آرسنیک و آنتیموان، واکنش آزاد شدن هیدروژن را مانع می‌گردند. لذا این‌گونه مواد در محلولهای اسیدی خیلی مؤثر هستند ولی در محیطهایی که واکنشهای کاتدی دیگر نظیر احیای اکسیژن کنترل کننده باشند، بی‌اثر می‌گردند.

ج: مواد حذف کننده عوامل مضر

این مواد، عوامل خورنده را از محیط حذف می‌نمایند. مثالهایی از این نوع ممانعت کننده‌ها عبارتند از سولفیت سدیم و هیدرازین که طبق روابط زیر با اکسیژن حل شده در محیط ترکیب می‌شوند:



د: مواد اکسید کننده

موادی مثل کرومات، نیتрат و نمکهای فریک، در بسیاری موارد به عنوان یک ممانعت کننده مورد استفاده قرار می‌گیرند. این مواد برای جلوگیری از خوردگی فلزات و آلیاژهایی که انتقال فعال - غیرفعال از خود نشان می‌دهند به کار برده می‌شوند.

ه: ممانعت کننده‌های فاز بخار آب

این ترکیبات خیلی شبیه ممانعت کننده‌های جذبی بوده و دارای فشار بخار خیلی بالایی می‌باشند. از این مواد می‌توان بدون تماس مستقیم برای جلوگیری از خوردگی اتمسفری فلزات استفاده نمود. ممانعت کننده‌های فاز بخار، معمولاً موقعی مؤثر خواهند بود که در فضای بسته نظیر داخل بسته‌بندی قطعات یا داخل ماشین‌آلات در مراحل انبار و حمل و نقل، مورد استفاده قرار گیرند.

عوامل مهم در میزان تأثیر بازدارنده‌ها عبارتند از: طبیعت سطح فلز، طبیعت محیط، غلظت بازدارنده‌ها، PH سیستم، درجه حرارت سیستم، تأثیرات میکرو ارگانسیم‌ها، سرعت حرکت مایع، هوادهی سیستم و اختلاط بازدارنده‌ها.

۳-۶-۳ حفظت کاتدی

حفاظت کاتدی عبارت است از کاهش یا متوقف کردن خوردگی توسط اعمال یک جریان خارجی یکسو و یا اتصال آند فدا شونده به سازه مورد نظر، به طوری که آن سازه به صورت کاتد درآید. حفاظت کاتدی، موارد استفاده بسیار زیاد و گسترده‌ای پیدا کرده است به طوری که امروزه جهت محافظت خطوط لوله و تأسیسات زیرزمینی، کابل‌های زیرزمینی، دریچه‌های کانال‌ها، مبدل‌های حرارتی، کشتی‌ها و زیردریایی‌ها، مخازن آب، اسکله‌ها و تأسیسات دریایی و ... به کار برده می‌شود.

در حفاظت کاتدی به علت ایجاد یک شدت جریان خارجی، الکترونهاى لازم جهت واکنش‌های کاتدی تأمین و به این ترتیب از ورود یون‌های فلز به محلول (محیط اطراف) جلوگیری می‌شود. شدت جریان مورد نیاز جهت حفاظت کاتدی کامل، بستگی به فلز و محیط اطراف آن دارد. شدت جریان اعمال شده باید از شدت جریانی که معادل با میزان خوردگی در همان محیط است بیشتر باشد. در سازه‌ها علاوه بر حفاظت کاتدی از پوشش نیز استفاده می‌شود. برای میزان مؤثر بودن حفاظت کاتدی، معیارهای متعددی وجود دارند که عبارتند از:

الف: معیار پتانسیل

این معیار ساده‌ترین و معمول‌ترین روش به منظور اندازه‌گیری درجه حفاظت می‌باشد. در این معیار، رسیدن پتانسیل سازه به حدی خاص، لازمه رسیدن سازه به حد حفاظت محسوب می‌شود. در جدول ۳-۲۱ تعدادی از این مقادیر آورده شده‌اند.

جدول ۳-۲۱ پتانسیلهای لازم برای رسیدن به حد حفاظت

پتانسیل لازم نسبت به الکتروود مرجع مس - سولفات مس (ولت)	جنس فلز
-۰/۶	سرب
-۰/۹۵ - ۱/۲	آلومینیوم
-۰/۸۵	آهن (در حضور اکسیژن)
-۰/۹	آهن (در حضور باکتری‌ها)
-۰/۹۵	آهن (در محیطهای بدون هوا)

ب: معیار جریان

در این روش شدت جریان لازم برای رسیدن به حد حفاظت از رسم منحنی‌های پلاریزاسیون به‌دست آمده و با دانستن سطح سازه، کل جریان لازم محاسبه می‌شود. علاوه بر دو روش فوق معیارهای دیگری نظیر شکست پتانسیل، افت پتانسیل و شیفت پتانسیل نیز در مواردی به منظور اطمینان از حصول حفاظت، مورد استفاده قرار می‌گیرند. دو روش برای اعمال حفاظت کاتدی وجود دارد:

۱- حفاظت با اعمال جریان

۲- حفاظت کاتدی به وسیله آندهای فدا شونده

۳-۶-۱ حفاظت کاتدی با اعمال جریان

در این روش ساده، مولد جریان مستقیم به قطب منفی وصل شده و قطب مثبت به یک آند خنثی، نظیر گرافیت یا قراضه آهن متصل می‌شود. محل اتصال به سازه و آند خنثی به طور کامل عایق‌بندی می‌شوند تا از نشست جریان جلوگیری شود. در هنگام استفاده از حفاظت کاتدی در خاک، معمولاً آندها به وسیله پشت‌بند احاطه می‌شوند. اغلب پشت‌بندها از جنس پودر کک، گچ یا بتونیت ساخته می‌شوند. به این ترتیب ابعاد آند افزایش یافته، توزیع جریان اطراف سازه و مقدار خوردگی در روی سطح آند یکنواخت گشته و مقاومت فصل مشترک آند - الکتروولیت کاهش می‌یابد. در جدول ۳-۲۲ شدت خوردگی بعضی فلزات (به عنوان آند) آورده شده است.

جدول ۳-۲۲ شدت خوردگی بعضی فلزات به عنوان آند

شدت تخمینی (کیلوگرم بر آمپر در سال)	فلز	شدت تخمینی (کیلوگرم بر آمپر در سال)	فلز
۳۳/۳۶	سرب	۲/۶۷ فقط در آب شهری	آلومینیوم
۲۰/۴۶	مس	۰/۸۹	کربن
۱۹/۱۳	قلع	۰/۴۴ <	چدن پرسلیس
۱۰/۲۳ در آب و خاک	روی	۰/۴۴۵ <	مگنتیت
۸/۹	آهن	۰/۴۴۵ < فقط در آب دریا	سرب حاوی نقره
۷/۵۶ فقط در خاک	منیزیم	۰/۰۰۰۰۴۴ <	تیتانیم پلاتینزه شده

۳-۶-۲-۲-۲ حفاظت کاتدی به وسیله آند فدا شونده

در این حالت با اتصال فلزاتی خاص به سازه، یک پیل گالوانیکی میان سازه و فلز ایجاد می‌شود که در آن پیل گالوانیکی سازه حکم کاتد داشته و محافظت می‌شود و فلز اتصال، نقش آند داشته و خوردگی بر روی آن متمرکز می‌گردد. در این روش اختلاف پتانسیل بین آند و کاتد، نیروی محرکه لازم جهت حفاظت را تأمین می‌نماید، لذا نیازی به منبع جریان خارجی نیست. در حفاظت کاتدی با آندهای فداشونده، جنس فلزاتی که به عنوان آند به کار برده می‌شوند، به دو دلیل زیر محدود می‌باشند:

الف: باید پتانسیل مدار باز آند از پتانسیل مدار باز سازه منفی‌تر باشد.

ب: پتانسیل خوردگی آند نیز از پتانسیل خوردگی سازه در آن محیط خاص منفی‌تر باشد، به نحوی که در هنگام اتصال به سازه بتواند حد حفاظت برای سازه مورد نظر را تأمین نماید.

فلزاتی که معمولاً به عنوان آند فدا شونده مورد استفاده قرار می‌گیرند، آلیاژهای آلومینیوم، روی و منیزیم می‌باشند که بعضی مشخصات آنها در جدول ۳-۲۳ آورده شده است.

جدول ۳-۲۳ مشخصات آندهای فدا شونده

نرخ مصرف (کیلوگرم بر آمپر در سال)	ظرفیت انرژی (آمپر ساعت بر کیلوگرم)	آلیاژ
۳/۲-۳	۲۷۵۰-۲۸۴۰	آلومینیوم - روی - جیوه
۵/۲-۳/۶	۱۶۷۰-۲۴۰۰	آلومینیوم - روی - ایندیم
۹/۴-۳/۴	۹۲۰-۲۶۰۰	آلومینیوم - روی - قلع
۱۰/۷	۸۱۰	روی
۷/۹	۱۱۰۰	منیزیم

در جدول ۳-۲۴ دو روش حفاظت کاتدی، به طور اجمال با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

جدول ۳-۲۴ مقایسه حفاظت کاتدی به روشهای اعمال جریان و آند فدا شونده

حفاظت کاتدی با اعمال جریان	حفاظت کاتدی به وسیله آند فدا شونده
نیاز به منبع جریان دارد.	منبع جریان لازم نیست.
مقدار جریان نامحدود می‌باشد.	جریان محدود است.
مقاومت مدار مشکل ساز نیست.	در محلهای با مقاومت پایین قابل استفاده می‌باشد.
طراحی مشکل می‌باشد.	طراحی ساده است.
تعداد آندها کمتر می‌باشد.	تعداد آندها بسیار بیشتر است.
کنترل سیستم به طور اتوماتیک انجام می‌شود.	تغییر جریان امکان ندارد.
منطقه حفاظت شده وسیع‌تر است.	ناحیه محدودی محافظت می‌شود.
محلهای بازرسی را باید پیش‌بینی نمود.	هر آند به طور جداگانه بازرسی می‌شود.
خطرات ناشی از حفاظت اضافی وجود دارد.	احتمال حفاظت اضافی خیلی کمتر است.
هزینه بیشتری دارد.	هزینه کمتری دارد.

◀ ۳-۶-۳ پوششها

پوشش کامل از تماس الکتریکی آند و کاتد با الکترولیت اطراف جلوگیری نموده و به این ترتیب از جاری شدن جریان خوردگی ممانعت به عمل می‌آورد. البته ایجاد پوششی که از لحاظ الکتریکی عایق

کامل باشد، غیر عملی و غیر ممکن بوده و کلیه پوششها در طول زمان در نواحی که از نقطه‌نظر پوشش ضعیف هستند از بین رفته و فلز زیر آن نمایان می‌شود.
از دیدگاه دیگر، عمل حفاظتی پوششها از یک یا چند مکانیسم که در زیر به آنها اشاره می‌شود ناشی می‌گردد، که عبارتند از:

الف: جلوگیری از تماس بین محیط و جسم مورد نظر
ب: محدود ساختن تماس بین محیط و جسم مورد نظر
ج: انتشار موادی که سبب کندکندگی حملات محیط بر روی جسم مورد نظر می‌شوند.
د: تولید جریانهای الکتریکی جهت محافظت جسم مورد نظر
پوششهای محافظ از نقطه نظر جنس، معمولاً به سه دسته تقسیم می‌شوند:
الف: پوششهای محافظ از نقطه‌نظر پوششهای نیکل، روی، سرب، آلومینیوم، کرم، قلع، مس، نقره، کادمیم و ...

ب: پوششهای آلی نظیر رنگها، لاکها، لعابها یا رویه‌های روغنی، لعابهای سخت، رنگهای پخته یا کوره‌ای، لاستیکها، پوششهای قیری، پلاستیکها و ...
ج: پوششهای معدنی نظیر لعابهای شیشه‌ای، پوششهای سیمانی و پوششهای تبدیل شیمیایی
اقدام بسیار مهمی که در ایجاد و اجرای سیستمهای پوششی در عمل باید انجام شود، تمیزکاری و آماده‌سازی سطحی قطعات و وسایل مورد حفاظت می‌باشد، زیرا در غیر این صورت، تأثیر و نتیجه بهترین نوع پوشش، کمتر از یک پوشش نامرغوب خواهد بود.

۳-۶-۳-۱ تمیزکاری و آماده‌سازی سطح

در اغلب عملیات پوشش دادن، $\frac{2}{3}$ هزینه کل کار جهت آمادگی سطح در نظر گرفته می‌شود.
روشهای مختلفی به منظور آماده‌سازی وجود دارند که عبارتند از:
۱- استفاده از حلالها و شوینده‌های شیمیایی
۲- تمیزکاری به وسیله بخار
۳- تمیزکاری با ابزارهای دستی

۴- تمیزکاری با ابزارآلات

۵- تمیز کردن با پاشش آب

۶- تمیز کردن با پاشش مواد ساینده

به طور کلی در عمل، آماده‌سازی سطح شامل دو مرحله اصلی ذیل می‌باشد:

الف: تمیزکاری سطح از گریس، روغن‌ها، چربی‌ها و کثافات

برای این منظور معمولاً از یکسری محلولهای قلیایی و یا حلالهای خاص استفاده می‌شود. به‌کارگیری محلولهای آبی قلیایی، معمولاً ارزان‌تر، کم‌خطرتر و مؤثرتر از حلالها می‌باشد، ولی برای تمیز کردن روغنهای سنگین و یا روغنهای سوخته، تأثیر کمتری دارد. از محلولهای مناسب این گروه عبارتند از فسفات سدیم Na_3PO_4 ، سود سوز آور NaOH ، کربنات سدیم Na_2CO_3 و ترکیبات دیگری نظیر براکس، پیرو فسفات سدیم و متا فسفات سدیم که اغلب این محلولها را همراه مواد نفوذی و مرطوب کننده به کار می‌برند. نام و بعضی مشخصات حلالهای مورد استفاده در چربی‌گیری، در جدول ۳-۲۵ آورده شده است.

ب: زنگ‌زدایی و رسوب‌زدایی کامل قطعات و دستگاهها

برای این منظور معمولاً قطعات را در اسیدهای مشخصی غوطه‌ور می‌سازند. انواع اسیدهای معمول به منظور رسوب‌زدایی عبارتند از: اسید کلریدریک HCl ، اسید سولفوریک H_2SO_4 ، اسید نیتریک HNO_3 ، اسید فلئوئوریدریک H_2F_2 ، اسید سولفامیک $\text{NH}_2\text{SO}_2\text{OH}$ ، اتیلن دی آمین تترا استات EDTA و ...

علاوه بر زنگ‌زدایی توسط اسیدها، می‌توان از روشهای دیگری نظیر پاشش مواد ساینده به سطح قطعات، پاشیدن آب یا بخار آب با فشار بالا، به‌کارگیری تیغه‌های ساینده، تمیزکاری با شعله و ... نیز استفاده نمود.

جدول ۳-۲۵ برخی حاللهای معروف و مشخصات شیمیایی آنها

نقطه جوش (درجه سانتیگراد)	حلالیت در آب (%wt)	نقطه اشتعال (O ₂)	میزان حلالیت	نوع حلال
۱۶۵-۱۷۶	∞	۶۰	ضعیف	الکل اتیلیک
۱۴۷-۱۴۹	∞	۵۸	ضعیف	الکل متیلیک
۳۴۵-۵۲۵	<۰/۱	۱۴۹	خوب	نفت سفید
۱۷۶-۱۷۷	<۰/۱	۱۰	خوب	بنزین
۲۳۰-۲۳۲	<۰/۱	۴۵	خوب	تولوئن
۱۷۰-۱۷۲	<۰/۱	-	عالی	تترا کلرور کربن
۱۰۴-۱۰۵	۰/۲	-	عالی	کلرور متیلن
۲۵۰-۲۵۴	<۰/۱	-	عالی	پرکلرو اتیلن
۱۶۵-۱۹۴	<۰/۱	-	عالی	تری کلرو اتان
۱۸۸-۱۹۰	<۰/۱	-	عالی	تری کلرو اتیلن
۱۷۴-۱۷۹	۲۷	۲۸	خوب	استن

۳-۶-۳ پوششهای فلزی و معدنی

پوششهای نازک فلزی یا معدنی می‌توانند سد یا مانع مناسبی بین فلز و محیط آن باشند. کار اصلی این‌گونه پوششها (صرف نظر از پوششهای فدا شونده نظیر روی) ایجاد سدی مؤثر بین فلز و محیط می‌باشد. پوششهای فلزی معمولاً قابلیت تغییر شکل دارند، در حالی که پوششهای معدنی ترد می‌باشند. تخلخل پوشش یا نواقص دیگر می‌تواند باعث خوردگی موضعی فلز زمینه در اثر خوردگی گالوانیکی گردد.

پوششهای فلز با روشهای متعددی نظیر آبکاری الکتریکی، پاشیدن مشعلی، روکش کردن، غوطه‌وری گرم و یا روش گازی به دست می‌آیند. پوششهای معدنی به وسیله پاشش، دیفوزیون و یا تبدیل شیمیایی اعمال می‌گردند.

۳-۶-۳-۲-۱ آبکاری الکتریکی

این روش مشتمل بر فرو کردن قطعه داخل الکترولیتی از فلزی که باید پوشش داده شود و عبور جریان مستقیم بین قطعه و یک الکترود دیگر است. مشخصات رسوب بستگی به عوامل متعدد شامل درجه حرارت، دانسیته جریان، زمان و ترکیب شیمیایی محلول دارد. با تنظیم عوامل مذکور می‌توان پوششهای نرم (سرب) یا سخت (کرم) و انعطاف‌پذیر یا ترد به دست آورد. پوشش می‌تواند از یک لایه فلز یا چند لایه فلزی تشکیل شده باشد و یا حتی دارای ترکیب آلیاژی باشد (مثل برنج).

۳-۶-۳-۲-۲ پاشیدن شعله‌ای

این فرایند مشتمل است بر هدایت سیم فلزی یا پودر فلزی از طریق یک تفنگ شعله‌ای که باعث ذوب آن می‌شود و به صورت ذرات ریز مذاب به سطح فلزی که باید پوشش داده شود پاشیده می‌شود. این پوششها معمولاً متخلخل بوده و در شرایط حاد خورنده مرطوب، محافظ نیستند. معمولاً با افزایش نقطه ذوب فلز تخلخل پوشش افزایش می‌یابد.

۳-۶-۳-۲-۳ روکش کردن

این روش مشتمل است بر پوشش دادن سطح فلز به وسیله نورد کردن دو ورق به یکدیگر. به عنوان مثال، با نورد گرم یک ورق فولادی و ورق نیکی می‌توان یک ورق دو لایه یا سه لایه به وجود آورد و با نیکل، روی فولاد را پوشاند.

۳-۶-۳-۲-۴ روش غوطه‌وری

این روش با فرو کردن فلزاتی که باید پوشش داده شوند به داخل حمامی حاوی فلز مذاب با نقطه ذوب پایین (مثلاً روی، قلع، سرب و آلومینیوم) انجام می‌شود. فولاد گالوانیزه مثال شناخته شده این روش می‌باشد. قطعات پوشش داده شده را با عملیات حرارتی و به وجود آوردن باند آلیاژی بین پوشش و فلز زمینه، می‌توان کامل تر نمود.

۳-۶-۳-۲-۵ روش گازی

در این روش، فلزی که باید پوشش باشد، به وسیله جریان الکتریکی حرارت داده شده و بخار حاصل از آن روی سطح قطعه‌ای که باید پوشش داده شود می‌نشیند. این عمل در یک محفظه یا خلأ بالا انجام می‌شود.

۳-۶-۳-۲-۶ روش نفوذی

این روش مشتمل است بر عملیات حرارتی برای به وجود آوردن آلیاژ روی سطح در اثر نفوذ یک فلز به داخل فلز دیگر. این روش را آلیاژسازی سطحی نیز می‌نامند. *chromizing*، *sherardizing* و *calorizing* مثالهایی از این روش هستند.

۳-۶-۳-۲-۷ تبدیل شیمیایی

در این روش با خورده شدن سطح فلز، لایه‌ای محافظ شامل اکسیدها، هیدروکسیدها و فسفات‌ها به وجود می‌آید. آندیزه کردن، فسفات‌کاری و کرومات‌نمودن قطعات مختلف، مثالهایی در این مقوله می‌باشند.

۳-۶-۳-۳ پوششهای بتنی و روشهای جلوگیری از خوردگی در آنها

در بسیاری از موارد جهت جلوگیری از خوردگی فولاد، از بتن استفاده می‌شود. پوشاندن فولادهای ساختمانی و لوله‌ها با روکش بتنی جهت مقابله با خوردگی و همچنین برای بالا بردن مقاومت سازه در برابر آتش به کار می‌رود. این پوششها با توجه به موارد استعمال، محاسن و مزایای زیادی دارند که عبارتند از: ارزان بودن، داشتن ضریب انبساطی در حدود فولاد، آسان بودن کار با آنها، قابلیت تعمیر و ... برای ایجاد این پوششها می‌توان به روش گریز از مرکز (مثلاً پوشش سطوح داخلی لوله‌ها)، روش ماله‌کشی و یا به طریقه پاششی عمل نمود. ضخامت این پوششها را معمولاً در حدود ۲/۵-۰/۵ سانتی‌متر در نظر می‌گیرند. اگر پوششهای ضخیم‌تری مد نظر باشند، لازم است که توسط شبکه‌های سیمی یا مفتولهای آهنی، آن را مسلح نمود. از معایب موجود در پوششهای سیمانی، حساسیت آنها در مقابل

شوکه‌های حرارتی و مکانیکی می‌باشد. پوشش‌های سیمانی در مقابل آب دریا و آبهای معدنی، مقاومت بسیار خوبی دارند.

هنگامی که نفوذ عوامل مهاجم از محیط و خوردگی اجزای تقویت کننده بتن مسلح و یا پوشش بتنی، به قدری گسترش یابد که دیگر، سازه توانایی تحمل تنش، کرنش، نفوذپذیری و ... در مدت زمان عمر خود را از دست بدهد، نیاز به حفاظت از سازه بیشتر احساس می‌شود.

برای مقابله با خوردگی روش‌های مختلفی ارائه شده‌اند که به دو دسته تقسیم می‌شوند:

الف: روش‌هایی که از رسیدن عوامل خوردنده به سطح آرماتور جلوگیری می‌کنند، نظیر ممانعت کننده‌های خوردگی و یا استفاده از پوشش بر روی بتن.

ب: روش‌هایی که در آنها سعی می‌شود به نوعی آرماتور در مقابل عوامل خوردنده مقاوم گردد، مانند استفاده از پوشش بر روی آرماتور، به کار بردن آرماتورهای آلیاژی و یا حفاظت کاتدی.

۳-۶-۳ پوشش‌های آلی

این پوشش‌ها شامل ترکیبی از مواد خام می‌باشند که در حالت کلی می‌توان آنها را مشتمل بر سه بخش دانست:

۳-۶-۳-۱ قسمت مایع پوشش

شامل رزین، حلال و پلاستیک کننده‌ها می‌باشد.

۱- رزین

در خواص اولیه پوشش، نظیر مقاومت در مقابل آب، مقاومت شیمیایی، زمان گیرش، نرمی و چسبندگی به سطح زیرین مؤثر می‌باشد. پوشش‌ها معمولاً بر حسب سیستم رزین به کار رفته در آن نام‌گذاری می‌شوند. به عنوان مثال سیستم پوشش الکید شامل رزین الکید، پوشش اپوکسی دارای رزین اپوکسی و پوشش الکید سیلیکان دارای رزین الکید به عنوان رزین مینا و مقداری رزین سیلیکان است.

۲- پلاستیک کننده‌ها

به منظور اصلاح خواص رزین به سیستم پوشش اضافه می‌شوند.

۳- حلالها

برای حل کردن رزین و بهبود و کنترل خواص پوشش مورد استفاده قرار می‌گیرند. به عنوان مثال در شرایط آب و هوای سرد، حلال باید به اندازه کافی فرار باشد تا بتواند در دمای پایین تبخیر شود. بر عکس در شرایط آب و هوای گرم، حلال باید دارای خاصیت فرار کم باشد تا قبل از بخار شدن بتواند به راحتی جریان یافته و کل سطح مورد نیاز را بپوشاند.

۳-۶-۳-۴-۲ قسمت جامد پوشش

شامل ذرات جامد ریز می‌باشد که به بخش مایع اضافه می‌شود تا خواص کلی پوشش نظیر رنگ، مقاومت در برابر خوردگی و بدنه اصلی آن را ایجاد کند.

۳-۶-۳-۴-۳ مواد افزودنی

مواد اضافه ویژه‌ای که به مقدار کم به پوشش اضافه می‌شوند تا خواص ویژه بسیاری را در آن ایجاد نمایند.

جدول ۳-۲۶ فهرست انواع مختلف پوششهای مناسب برای بتن و فولاد خارج از آب و داخل آب را ارائه می‌دهد.

جدول ۳-۲۶ سیستم‌های پوشش

نوع پوشش	نوع سطح
قطران زغالی قطران زغالی و اپوکسی اپوکسی	بتن
الکید الکید سیلیکان دار اکریلیک سیلیکان دار قطران زغالی اپوکسی - قطران زغالی اپوکسی وینیل روی مناسب	فولاد خارج از آب
قطران زغالی اپوکسی - قطران زغالی اپوکسی اپوکسی فنلی	فولاد درون آب
فنل وینیل	

در ارتباط با کاربرد پوشش‌های ارائه شده، توصیه‌های زیر باید مورد توجه قرار گیرند:

۱- الکیدها

باید در شرایط جوی متعادل و در سازه‌های دریایی مشخص استفاده گردند و نباید از این پوشش در بخش‌هایی از سازه که درون آب است استفاده شود. الکیدها خواص رطوبتی خوبی دارند و مقاومت ضعیفی در مقابل اسیدها و بازها از خود نشان می‌دهند. الکیدها مقاومت خوبی در مقابل سایش دارند.

۲- الکید سیلیکان‌دار

دارای خواص مشابه الکیدها می‌باشد ولی دارای مقاومت بهتری در مقابل شرایط جوی، حرارت و گرما می‌باشد و در ضمن، مقاومت کمتری در مقابل سایش دارد. این پوشش نیز در آب به کار نمی‌رود. الکیدهای اصلاح شده دارای رزینهای اضافی نظیر استر، فنل، وینیل و اکریلیک می‌باشند تا خواصی نظیر مقاومت در برابر هوازدهی و خوردگی در آنها افزایش یابد. از این پوششها می‌توان در سازه‌های ساحلی استفاده نمود ولی به دلیل مقاومت محدود الکید در برابر خوردگی، کاربرد آنها در شرایط محیطی نامناسب و در زیر آب توصیه نمی‌شود.

۳- اکریلیکها

دارای مقاومت خوبی در برابر هوازدهی بوده و خاصیت پایداری رنگ خوبی دارند. مقاومت خوبی در برابر حرارت، ضربه و خوردگی دارند و جهت استفاده در سازه‌های غوطه‌ور توصیه نمی‌شوند.

۴- لاستیک کلرینه

پوشش لاستیک کلرینه که یک پوشش پلیمر لاستیکی شیمیایی است، مقاومت خوبی در برابر خوردگی در محیط دریایی دارد. پایداری رنگ و مقاومت مناسبی را در برابر هوازدهی دارا می‌باشد. در محیط آب دریا یا آبهای دیگر تا ۴۹ درجه سانتیگراد کارایی خوبی نشان می‌دهد. مقاومت آن در برابر سایش و ضربه خوب بوده ولی مقاومت ضعیفی در برابر ارگانیزمهای شناور دارد.

۵- قطران زغالی

یک پوشش عالی برای مصالح ساختمانی در محیطهای دریایی است. در مناطق ترشح آب و زیر آب کاربرد دارد و معمولاً به صورت پاشیدنی به کار می‌رود. قیمت ارزان، مقاومت عالی در برابر آب، مقاومت کم در برابر سایش و ارگانیزمهای آبی و نرمی پایین از مشخصات آن است. معمولاً با افزودن مواد دیگر نظیر اپوکسی، نقاط ضعف آن را می‌پوشانند.

۶- قطران زغالی - اپوکسی

ترکیب اپوکسی و قطران زغالی، دارای چسبندگی و نرمی خوب، مقاومت در برابر ضربه و مقاومت سایشی بالا بوده و در برابر حلالهای شیمیایی مقاومت خوبی از خود نشان می‌دهد. مقاومت کم در برابر هوا و آفتاب و مشکلات تعمیر آن، از معایب این پوشش است.

۷- اپوکسی

این پوشش دارای رزین اپوکسی است. دوام عالی و مقاومت خوبی در برابر رطوبت و عوامل شیمیایی و چسبندگی و مقاومت سایشی بالایی دارد. در محیط‌های دریایی در بالا و زیر آب به کار می‌رود و در برابر خوردگی، مقاومت بالایی از خود نشان می‌دهد. در مقابله با اسیدها و هوازدهی مقاومت ضعیفی دارد.

۸- اپوکسی - فنل

این پوشش از نوع اپوکسی است که رزین فنل به منظور بالا بردن مقاومت در برابر خوردگی به آن اضافه شده است. در مقایسه با اپوکسی، شکنندگی بیشتر، نرمی کمتر و مقاومت ضربه‌ای پایین‌تری نشان می‌دهد. مشکلات دسترسی به آن و دشواری‌های تعمیر که ناشی از چسبندگی کم است، در رابطه با این پوشش وجود دارد. در پوشش مخازن، کشتی‌ها، بارچها و لوله‌ها کاربرد دارد.

۹- فنل

مقاومت عالی در برابر خوردگی شیمیایی و اسیدها دارد و مقاومت ضربه‌ای آن ضعیف است. باگذشت زمان، شکننده‌تر می‌شود و مقاومت کمتری از الکیدها در برابر هوازدهی دارد. برای کاربرد در بالای سطح آب توصیه نمی‌شود و به صورت گسترده در زیر آب برای پوشش مخازن، بارچها و لوله‌ها به کار می‌رود.

۱۰- وینیل

این پوشش مانند اپوکسی در محیط‌های دریایی در بالا و زیر آب کارایی خوبی دارد. شکل‌پذیری بالا و مقاومت سایشی و ضربه‌ای خوبی از خود نشان می‌دهد. بهترین پوشش از نظر مقاومت در برابر اکسید شدن است. تعمیر آن ساده بوده و از نظر اجرایی دشواری خاصی در کاربرد آن وجود ندارد. مقاومت محدودی در برابر دما و بعضی از حلالها دارد.

جدول ۳-۲۷ کاربرد پوشش‌های مختلف را نشان می‌دهد.

جدول ۳-۲۷ کاربرد پوشش‌های مختلف

ردیف	نوع پوشش	کاربرد
۱	الکید	روی فلزات در خارج از آب با شرایط ملایم دریایی
۲	الکید سیلیکان دار	روی فلزات در خارج از آب با شرایط ملایم دریایی
۳	اکریلیک	روی فلزات، بتن، آجر و چوب در خارج از آب در محیط نامناسب دریایی
۴	لاستیک کلرینه	روی فلزات در زیر آب و مناطق پاشش
۵	قطران زغالی	روی فلزات در زیر آب و مناطق پاشش
۶	اپوکسی	در منطقه زیر آب و منطقه پاشش آب با ترمی عالی
۷	اپوکسی - فنل	در زیر آب و منطقه پاشش با خاصیت شکنندگی
۸	فنل	در زیر آب و منطقه پاشش، نرم با مقاومت بالا نسبت به سایش
۹	وینیل	در بالا و زیر آب و منطقه پاشش، مقاومت ضعیف به حلالها
۱۰	روی	در زیر آب و منطقه پاشش به صورت سیستم یک یا دو لایه
۱۱	ماستیک و پوشش‌های زیر آب	مناسب برای زیر آب و سازه‌های درجا ساخته شده

۳-۶-۴ انتخاب روش محافظت از خوردگی

انتخاب روش جلوگیری از خوردگی در درجه اول به شرایط و در دسترس بودن مصالح، سهولت اجرا و مسائل اقتصادی بستگی دارد. در حالت کلی، انتخاب روش جلوگیری از خوردگی، به مقدار خوردگی مجاز و اثر آن در محافظت بخش‌های داخلی سازه بستگی دارد.

۳-۶-۴-۱ بخش‌های خارج از آب سازه دریایی

پوشش بتن یا روش رنگ برای این بخش قابل توصیه است و روش عمومی استفاده از رنگ، به شرح زیر می‌باشد:

- ۱- اگر فاصله زمانی تعمیر و نگهداری ۵ سال باشد، برای لایه آستر از ۲ لایه پوششی غیر آلی روی استفاده شود و برای لایه رویی، از یک یا دو لایه اپوکسی و قطران استفاده شود.
- ۲- اگر فاصله زمانی تعمیرات ۸ سال باشد، آستر شامل دو لایه روی در زیر و یک لایه اپوکسی و لایه رویی شامل دو لایه اپوکسی خالص باشد.

۳-۶-۴ بخشهای زیر آب سازه دریایی

در اکثر این موارد حفاظت کاتدی توصیه می‌شود و گاهی حفاظت کاتدی به همراه پوشش اپوکسی و قطران ترجیح داده می‌شود. استفاده از پوشش به همراه حفاظت کاتدی، مقدار جریان الکتریسیته مورد نیاز برای حفاظت را به نصف یا کمتر در مقایسه با استفاده تنها از حفاظت کاتدی کاهش می‌دهد. توصیه‌های بالا فقط در شرایطی که کلیه امکانات در دسترس بوده و مسائل اجرایی در روند جلوگیری از خوردگی، اثر چندانی نداشته باشند، به عمل می‌آید.

۴

قیر و آسفالت

◀ ۴-۱ کلیات

قیر و آسفالت خصوصیات متنوعی دارند و مصرف آنها به ویژه برای دوام و پایداری سازه‌های آبی، سابقه‌ای بیش از ۵۰۰۰ سال دارد. مواد قیری هم به تنهایی به عنوان یک پوشش ساده در این سازه‌ها به کار می‌روند و هم با مصالح و مواد دیگر مخلوط شده و برای موارد مختلف مصرف می‌شوند. از اختلاط قیر با مصالح سنگی دارای دانه‌بندی پیوسته، مخلوطی فاقد فضای خالی و غیر قابل نفوذ در برابر آب تهیه می‌شود و چنان‌چه از مصالح با دانه‌بندی باز استفاده شود، مخلوط آسفالت متخلخلی به دست می‌آید که آب می‌تواند از آن عبور نماید.

قیر تقریباً در برابر کلیه مواد شیمیایی پایدار است و ترکیبات معمولی با خواص اسیدی و یا قلیایی، بر آن تأثیری ندارد و این ویژگی مهم است که آن را برای غیر قابل نفوذ کردن منابع آب و مخازن حاوی محلول‌های دیگر مناسب می‌سازد، اما نمی‌توان از آن برای پوشش منابع و مخازنی که برای نگهداری مشتقات نفتی به کار گرفته می‌شود استفاده نمود.

یکی از خواص مهم قیر، خاصیت انعطاف‌پذیری یا کشسانی آن است. این خاصیت موجب می‌شود که سازه‌های آسفالتی بتوانند خود را با تغییرات جزئی که در سازه‌های خاکی زیر آنها به وجود می‌آیند، هماهنگ نموده و با نشست‌های ناهمگنی که به طور اجتناب‌ناپذیر، حتی بعد از تکمیل سازه به وقوع می‌پیوندد سازگاری ایجاد کنند.

قیر در حضور آب حالت خنثی دارد و تأثیری از نظر بو یا تغییر مزه در آن ایجاد نمی‌شود. برای اطمینان از این موضوع و اطلاع کامل از این که آب ذخیره شده در مخازن قیری از نظر سلامتی مضر نیست، آزمایش‌های زیادی انجام گرفته که هیچ یک معرف قابل قبول نبودن آنها از نظر کیفی نیستند.

قیر فقط در سطح، هوا زده شده و یا وقتی که در مقابل اکسیژن و اشعه آفتاب قرار گیرد و یا در معرض ضربات فیزیکی و سایش باشد، تغییر خاصیت داده و آسیب می‌بیند. خواص فیزیکی مخلوط‌های آسفالتی، معمولاً بستگی به شرایط تنش ایجاد شده و یا تغییرات دمای محیط دارد.

اجزای تشکیل دهنده و سازنده مخلوط‌های قیری، خواص متفاوتی دارند. مصالح سنگی این مخلوط‌ها که جزء اصلی و مهم آن را از نظر کمی تشکیل می‌دهند، خواص الاستیک دارند. جزء قیری این

مخلوطها در حرارت زیاد و در معرض بار ایستا، رفتار یک مایع غلیظ (خاصیت پلاستیک) و در شرایط دمای پایین و در برخورد با بار ضربه‌ای و تماسی، رفتار الاستیک دارند. در نتیجه مخلوطهای آسفالتی دارای هر دو خاصیت پلاستیک و الاستیک می‌باشند.

◀ ۴-۲ دامنه کاربرد قیر و مخلوطهای آسفالتی

انواع گوناگونی از مواد قیری و مخلوطهای آسفالتی در سازه‌های آبی مصرف می‌شوند که می‌توان آنها را در یکی از طبقه‌بندی‌های مشخص زیر قرار داد:

الف: مخلوطهای آسفالتی غیر قابل نفوذ یا ناتراوا

ب: مخلوطهای آسفالتی متخلخل

ج: آسفالت ماستیک

د: مواد قیری

ه: آسفالت پیش‌ساخته

این مواد و مصالح با توجه به خصوصیات متفاوتی که دارند، یک یا چند عملکرد زیر را تأمین می‌کنند:

الف: غیر قابل نفوذ کردن سازه‌ها

ب: حفاظت سازه

ج: تسلیح و تقویت سازه

جدول ۴-۱ دامنه کاربرد و عملکرد انواع قیر و مخلوطهای آسفالتی را نشان می‌دهد.

جدول ۴-۱ موارد کاربرد و عملکرد مواد قیری و مخلوطهای آسفالتی

عملکرد			مصالح
تقویتی	حفاظتی	ناتراوایی	
	پوششهای سطحی و نما	پوششهای سطحی و نما	مخلوطهای آسفالتی ناتراوا
	سطوح و پوششهای قابل نفوذ زهکشی عمقی با دانه‌بندی باز		مخلوطهای آسفالتی متخلخل
دوغابریزی تزریق و نفوذ قیر	پوششهای سطحی اندوذهای آب‌بندی (سیاکوتها)	پوششهای سطحی اندوذهای آب‌بندی (سیاکوتها) دیوار آب‌بند هسته درونی سدها تزریق در لایه‌های زیرزمینی	آسفالت ماستیک
دوغابریزی تزریق و نفوذ قیر		اندوذهای قیری اندوذهای آب‌بندی تزریقهای زیرزمینی تحت فشار	قیرهای خالص
	صفحه تشک دال	صفحه ورق تشک دال	مخلوطهای آسفالتی پیش‌ساخته

مأخذ: انستیتو آسفالت ۱۶-MS

◀ ۴-۳ مواد قیری و مخلوطهای آسفالتی و ملاحظات کلی طراحی

◀ ۴-۳-۱ آسفالت‌های ناتراوا

۴-۳-۱-۱ بتن آسفالتی

متداول‌ترین روش برای غیر قابل نفوذ کردن سازه آبی، استفاده از بتن آسفالتی است که طرح و اجرای آنها به طور کلی، تابع ضوابط و معیارهایی است که در بند ۴-۵-۱ توضیح داده شده است.

۴-۳-۱-۲ ماستیکها

از آسفالت ماستیک به عنوان یکی از پوششهای ناتراوا استفاده می‌شود. این نوع آسفالت بعد از پخش، نیازی به تراکم و کوبیدن ندارد زیرا فضای خالی آن به اندازه کافی با قیر پر شده است. ماستیکها معمولاً بر روی قشرها و پوششهای قیری یا آسفالتی موجود پخش می‌شوند تا رویه موجود را بیشتر غیر قابل نفوذ نمایند.

این آسفالتها به اندازه کافی خاصیت کشسانی دارند و می‌توانند در برابر تغییر شکل لایه‌های زیرین، بدون ظهور ترک در رویه مقاومت نمایند.

۴-۳-۱-۳ مواد قیری

اغلب از قیرهای خالص با نقطه نرمی زیاد مانند قیرهای دمیده برای اجرای رویه‌ها و پوششهای قیری ناتراوا استفاده می‌شود که به طور مستقیم روی سطوح آماده شده پخش می‌شوند. این پوششها معمولاً با یک قشر خاک مناسب شامل خاکهای منطبق با A-۱ تا A-۷ آشتو، برای حفاظت در مقابل آسیبهای احتمالی، روکش می‌شوند. این خاک به عنوان یک سربار برای جلوگیری از تغییر شکل و جابه‌جایی لایه قیری توسط امواج و جریان آب عمل می‌کند.

گاهی اوقات آب‌بندی با قیرهای خالص، برای مسدود کردن حفره‌ها و فضای خالی موجود در سطح و به منظور اطمینان از غیر قابل نفوذ کردن رویه است. روش دیگری که طی آن از قیر برای عایق‌سازی استفاده می‌شود، انبار کردن قیرآبه (قیرهای امولسیون) در سطوحی است که آب ساکن جمع شده است. وقتی که آب به تدریج به حفره‌های لایه‌های زیرین خاک نفوذ می‌کند، قیر امولسیون فضا و حفره‌های سطحی را مسدود کرده و تراوشهای بعدی را به تأخیر می‌اندازد.

تزریق تحت فشار قیرهای خالص و یا قیرآبه‌های مخلوط با فیلر نیز یکی از روشهایی است که برای نفوذناپذیر کردن و عایق‌سازی به کار می‌رود.

۴-۳-۱-۴ مخلوطهای آسفالتی پیش‌ساخته

استفاده از مخلوطهای قیری پیش‌ساخته، روش ساده‌ای برای نفوذناپذیر کردن سازه‌های آبی می‌باشد. متداول‌ترین نوع آن، صفحات پیش‌ساخته آسفالتی است که از یک لایه مواد معدنی و الیاف مخلوط شده

با قیر ساخته می‌شوند و بین دو لایه اشباع شده از قیر، به شکل ساندویچ قرار می‌گیرند. بعد از نصب، صفحات به یکدیگر می‌چسبند و تشکیل یک صفحه عایق را می‌دهند. (به بند ۴-۵-۴ رجوع شود).
حصیرها یا نمدهای پیش‌ساخته قیری نیز شبیه به صفحات قیری هستند، با این تفاوت که ضخامت آنها کمتر بوده و در نتیجه خاصیت کشسانی بیشتری دارند ولی به طور عمده مانند صفحات پیش‌ساخته، در مقابل جابه‌جایی و نقل و انتقالها مقاوم نیستند.
تشکهای پیش‌ساخته و دالها با استفاده از آسفالت ماستیک تولید می‌شوند که معمولاً الیاف، مفتول، و یا کابل نیز در آنها به کار می‌رود. کابلها برای سهولت جابه‌جایی این مصالح مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۴-۳-۲ آسفالت‌های حفاظتی و انواع آن

آسفالت‌های حفاظتی به دو طریق موجب حفاظت و نگهداری سازه‌های آبی می‌شوند. این آسفالت‌ها می‌توانند سازه‌های خاکی را از فرسایش ناشی از اثر امواج یا جریانهای شدید آب حفاظت نموده و یا این که قشر متخلخلی ایجاد نمایند تا آبهای زیرزمینی را زهکشی نموده و از آسیب‌دیدگی‌های وارده به پوشش آب‌بندی شده که از فشار پایین به بالا به وجود می‌آید جلوگیری نماید.
انواع آسفالت‌های حفاظتی و عملکرد آنها به شرح زیر می‌باشد:

۴-۳-۱ مخلوط‌های ناتراوا

پوششها و رویه‌های غیر قابل نفوذ، در مقابل فرسایش مقاوم بوده و سطحی بادوام دارند. در ضمن در برابر آبشستگی، رشد علفهای هرزه و سایر عواملی که موجب آسیب‌دیدگی می‌شوند نیز مقاومت می‌نمایند.

۴-۳-۲ ماستیک

آسفالت ماستیک برای پوششهای سطحی و همچنین مصرف در زیر آب برای جلوگیری از آبشستگی بستر زیرین جریان آب و محل ورودی‌های آب و نیز جریانهای جزر و مد، کاربرد زیادی دارد. از آسفالت ماستیک بیشتر برای حفاظت رویه‌های قیری ناتراوا در مقابل سایش استفاده می‌شود. این نوع آسفالت

سطح صاف و همواری ایجاد می‌نماید که در برابر عملکرد سایشی آب، گل، مخلوط‌های خاکی مرطوب، و سبزینه‌های قابل رویش در جریان آب، از مقاومت زیادی برخوردار است.

۳-۲-۳-۴ مخلوط‌های آسفالتی متخلخل

دو نوع مخلوط آسفالتی متخلخل وجود دارد.

الف: مخلوط نفوذپذیر

مخلوط‌های نفوذپذیر برای پوشش سطوحی به کار می‌روند که با یک لایه خاکی متراکم، نفوذناپذیر شده‌اند. این قشر آسفالتی، لایه خاکی را از فرسایش حفاظت نموده و در عین حال موجب جریان آزاد آب از منافذ پوشش می‌گردد که در نهایت موجب می‌شود آسیب‌دیدگی ناشی از فشار آب از لایه‌های زیرین به بالا را که در زیر قشر آسفالتی به وجود می‌آید، بی اثر نماید.

ب: مخلوط با دانه‌بندی باز

مخلوط‌های قیری با دانه‌بندی باز به عنوان لایه زهکش عمل می‌کنند. این لایه هرگونه آب نفوذی را که در سطح لایه خاکی ظاهر می‌شود و یا آبی را که از زمین به بالا تراوش می‌کند و می‌تواند موجب فشار از پایین به بالا شده و آسیب‌دیدگی ایجاد کند، زهکشی نموده و تخلیه نماید. مخلوط‌های قیری متخلخل علاوه بر عملکرد زهکشی آب‌های تراوشی و زیرزمینی، موجب افزایش مقاومت و پایداری کلی پوشش‌های خاکی می‌گردند.

◀ ۳-۳-۴ آسفالت‌های تقویتی و انواع آن

دو نوع آسفالت تقویتی به شرح زیر تهیه و مصرف می‌شوند:

۱-۳-۳-۴ ماستیکها

این آسفالت‌ها برای مسطح نمودن و تقویت سازه‌های سنگی یا سنگ‌های به هم چسبیده با قیر، برای افزایش مقاومت در برابر آب و جابه‌جایی به کار می‌روند. نحوه طراحی و اجرای آنها در بند ۳-۵-۴ توضیح داده شده است.

سازه سنگی خشکه‌چینی شده معمولاً برای حفاظت سواحل، با تزریق و مصرف ماستیک و یا دوغابهای قیری به یکدیگر چسبیده و به این ترتیب سازه سنگی تقویت و تثبیت می‌گردد، ضمن آن که می‌تواند موجب ایجاد یک سطح صاف و هموار سنگی شود.

آسفالت ماستیک همچنین به طور مؤثری به عنوان دوغاب در احداث و یا تعمیر اسکله‌ها و باراندازهای سنگی به کار می‌رود. نظر به این که آسفالت ماستیک در جریان مصرف همچنان روان و داغ (حرارت مخلوط بیش از ۱۷۰ درجه است) باقی می‌ماند، لذا می‌تواند به حفره‌ها و فضای خالی بین سنگها نفوذ کرده و آنها را پر کند. اسکله‌ها و باراندازهای سنگی که دوغاب آنها را آسفالت ماستیک تشکیل می‌دهد، به عنوان یک سازه سنگی یکپارچه عمل می‌کنند که مقاومت آنها در برابر آب، در مقایسه با سازه‌های سنگی بدون دوغاب قیری، به مراتب زیادتر است. این سازه‌های سنگی همچنین موجب کاهش خروج توده ماسه از میان بارانداز شده و به طور مؤثری حرکت و جابه‌جایی ماسه را کنترل می‌نمایند.

۲-۳-۳-۴ قیرهای خالص

تزریق قیرهای خالص به سازه‌های سنگی خشکه‌چین که خاکریزها را حفاظت می‌کنند، از نظر اجرا ساده‌تر و از نظر هزینه مقرون به صرفه‌تر است. روش اجرا همانند نحوه اجرای ماکادام قیری در راهسازی می‌باشد. (به فصل ۱۴ مشخصات فنی عمومی راه تجدید نظر اول (نشریه ۱۰۱) دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور رجوع شود). مصرف قیرهای خالص تزریقی یا نفوذی در این سازه‌ها، با هدف ایجاد پوششی نفوذناپذیر انجام نمی‌شوند. با این که مواد قیری به طور کلی فضاهای خالی بین قطعات سنگی را پر می‌کنند، ولی هنوز فضای خالی به قدری وجود دارد که عبور آب از آنها بر روی سازه تأثیر تخریبی بگذارد.

۴-۳-۴ آسفالت‌های مختلط

آسفالت‌های مختلط شامل اجرای قشرهایی از انواع متفاوت مواد و مخلوطهای آسفالتی است که هر قشری برای کاربرد و عملکرد معینی در نظر گرفته شده است. به عنوان مثال، یک لایه آسفالتی

غیرقابل نفوذ که روی آن قشری از مخلوط آسفالتی با دانه‌بندی باز که دارای خاصیت زهکشی است، قرار گرفته و در نهایت با لایه آسفالت ماستیک، روکش گردیده است. نمونه دیگر آن اجرای پوشش ماسه آسفالت با حداکثر ضخامت طراحی شده و استفاده از ماسه‌های ساحلی است که سپس بر روی آن قشری از بتن آسفالتی با ضخامت کم قرار می‌گیرد. این مجموعه به‌طور کلی می‌تواند در برابر عمل سایشی و فرسایشی آب مقاومت نماید. (به بند ۳-۵-۳ رجوع شود.)

۴-۳-۵ ملاحظات کلی طراحی

۴-۳-۵-۱ آماده کردن بستر اولیه آسفالتی

بستری که اولین لایه آسفالتی روی آن پخش می‌شود (بستر روسازی) آن قسمت از شیبها و سطوح کف کانالها، آب‌روها، دیوارهای ساحلی، منابع آب، استخرها و یا سازه‌های خاکی است که لایه‌های قیری و یا آسفالتی روی آن قرار می‌گیرند. این بستر باید تا حصول تراکم نسبی مشخصه کوبیده متراکم شود تا بتواند در مقابل وسایل و تجهیزات ساختمانی که برای اجرای عملیات پروژه به کار گرفته می‌شوند، مقاومت و پایداری داشته و از استحکام مطلوب برخوردار باشد. چنین بستری باید قبل و در حین کوبیدن و نیز بعد از آن، از نظر یکنواختی سطح، شیبهای طولی و عرضی و انطباق رقوم آنها با رقوم پروژه کنترل شود. میزان تراکم آنها با توجه به شرایط پروژه باید با ضوابط آشتو T 99 یا T 180 برابری داشته باشد و کنترل شود و جزئیات آن در مشخصات فنی خصوصی قید گردد.

بعضی از انواع خاکهای مصرفی و یا موجود برای عملیات آماده‌سازی بسترهای زیرسازی، موجب ایجاد خسارت و مشکلات زیادی برای پوششهای آسفالتی می‌شوند. به عنوان مثال وقتی که این خاکها فاقد خاصیت زهکشی باشند، آب نفوذ کرده در بین لایه‌ها که از آب زیرزمینی ناشی می‌شود، موجب ایجاد فشار آب از بالا به پایین می‌گردد که در نهایت بعد از اجرای کامل عملیات، در سطح نهایی پوشش آسفالتی، ترک، شکاف، چاله، تورم، گسیختگی و آسیب‌دیدگی‌های دیگر، با وسعت و گستردگی زیاد ایجاد نماید. در چنین مواردی باید نسبت به تعویض و جایگزینی خاک موجود با خاک دارای خاصیت زهکشی مناسب تا عمق ۳۰ سانتی‌متر و با تأیید دستگاه نظارت اقدام نمود و چنانچه اجرای این کار امکان‌پذیر

نباشد، باید نسبت به تخلیه آب زیر پوشش آسفالتی و هدایت آن به خارج از طریق زهکشی عمقی اقدام شود.

خاکهای مصرفی در بستر روسازی که به تشخیص دستگاه نظارت و آزمایشهای انجام شده، خواص تورم و انبساط داشته باشند نیز موجب خسارت زیادی برای لایه آسفالتی می‌شوند. در چنین مواردی نیز باید نسبت به تعویض آن با خاک مناسب تا عمق تعیین شده اقدام کرد. ضمن آن که چنین خاکهایی را می‌توان با صرف مقداری آهک، اصلاح و تقویت کرد.

استفاده از مصالح ماسه‌ای غیر چسبنده موجود در سواحل که دارای دانه‌بندی یکنواخت و یک اندازه می‌باشند، برای زیرسازی‌های آسفالتی به ویژه در سطوح شیب‌دار مناسب نیستند. در چنین شرایطی باید سطح ماسه را بعد از کوبیدن با لایه‌ای از قیرهای محلول و یا قیرهای امولسیون، تثبیت و تحکیم نمود و سپس لایه‌های آسفالتی را بر روی آن پخش کرد. جزئیات نقشه‌های اجرایی این عملیات باید به تأیید دستگاه نظارت برسد.

۴-۳-۵-۲ کنترل رویدنی‌ها

برخی از رویدنی‌ها مانند علفهای هرزه، وقتی که شرایط آب و هوایی مساعد باشد، موجب آسیب‌دیدگی لایه‌های آسفالتی می‌شوند که بستر خاکی اولیه آن حاوی ریشه‌ها و مواد گیاهی هرزه و آلوده باشد. در چنین شرایطی، استفاده از مواد و سموم خاص که برای یک دوره طولانی بتوانند مانع رویش این ریشه‌های نباتی و گیاهی شوند، ضروری است.

فرآورده‌هایی با این عملکرد، به طور عمده از مشتقات پتروشیمی می‌باشند. در جریان آماده‌سازی بستر و زیرسازی پوشش‌های آسفالتی، اگر ریشه‌های گیاهی و نباتی عادی وجود داشته باشند، باید قبل از اجرای کارهای آسفالتی نسبت به تمیز کردن و ریشه‌کشی کامل این رستنی‌ها اقدام نمود.

به منظور حفاظت لایه زیرسازی و پوشش آسفالتی در مقابل رویش مواد و ریشه‌های گیاهی، باید عملیات کوبیدن و تراکم مخلوط‌های آسفالتی را با دقت و مراقبت و طبق مشخصات انجام داد. وقتی که در جریان کوبیدن لایه آسفالتی، ترک و شکاف روی آسفالت ظاهر شود و یا چنانچه این ترکها ناشی از حالت خمیری و پلاستیکی خاک رویه زیرسازی آسفالت باشند، باید نسبت به اصلاح معایب و نواقص

مربوطه و رفع علل ظهور آنها مطابق بند ۴-۸ و بر حسب مورد، اقدام نمود چون وجود این ترکها عامل رویش ریشه‌های گیاهی و نباتی در آینده خواهند بود که موجب آسیب‌دیدگی پوشش آسفالتی می‌شوند.

۴-۳-۵-۳ شیب شیروانی‌ها

تندترین شیبهای مورد توصیه برای اجرای موفقیت‌آمیز پخش و کوبیدن رویه‌های آسفالتی، ۱:۱/۵ (۱ عمودی و ۱/۵ افقی) می‌باشد. پوشش آسفالتی روی یک خاکریز شیب‌دار، به عنوان یک دیوار نگهدارنده عمل نمی‌کند و به طور عکس، این سازه خاکی شیب‌دار است که رویه آسفالتی را نگهداری نموده و بار ناشی از آن را باید تحمل نماید. پایداری سازه خاکی شیب‌دار، به مصالح مصرفی بستگی دارد که لازم است تجزیه و تحلیل این پایداری محاسبه و کنترل شده باشد.

شیب شیروانی‌های سازه‌های خاکی باید با توجه به سایر الزامهای ساختمانی در مراحل پخش، کوبیدن و اجرای عملیات آسفالتی، تا حد امکان هموار و کم باشد. تحت برخی شرایط، اجرای شیبهای هموار و تقریباً مسطح، بر خلاف هزینه‌های زیاد که ناشی از افزایش حجم عملیات خاکی است، مشکلات اجرایی کمتری دارد و به طور کلی مقرون به صرفه می‌باشد.

گوشه فوقانی و تحتانی و همچنین بخش انتهایی یا پاشنه لایه آسفالتی در شیبها، باید به گونه‌ای طراحی شوند که از آسیب‌دیدگی و یا جابه‌جایی و تغییر شکل ناشی از جریان آب و امواج جلوگیری گردد. اگر پوشش آسفالتی تا گوشه فوقانی خاکریز شیب‌دار اجرا می‌شود، پوشش باید روی بخشی از سطح افقی خاکریز ادامه یابد تا مانع از نفوذ آب به سازه‌های خاکی که زیر لایه آسفالتی قرار گرفته‌اند، گردد.

پوشش آسفالتی که تا پای شیب خاکریز ادامه می‌یابد و به بستر خاکی بدون رویه آسفالتی متصل می‌شود، باید به گونه‌ای طراحی گردد تا بتواند در برابر تنش ناشی از خزشی که در رویه آسفالتی ایجاد می‌شود، مقابله و مقاومت نماید. اگر کف بستر خاکی پای شیب خاکریز در معرض آبستگي ناشی از امواج باشد، پوشش آسفالتی باید تا عمقی معادل دو برابر ضخامت حوزه عملکرد آبستگي، در کف زمین زیر پای خاکریز مهار شود.

اگر رویه آسفالتی سطح شیب‌دار خاکریز به رویه آسفالتی پای شیب خاکریز متصل می‌شود، ادامه این دو رویه باید به شکل یک قوس بدون درز به یکدیگر متصل شوند و اگر این کار امکان‌پذیر نباشد، محل اتصال دو قسمت رویه باید در یک مقطع مثلثی، دوباره روکش شود.

اگر انتهای فوقانی و یا تحتانی پوشش آسفالتی، به زمین بالای شیب و به پاشنه شیب خاکی ادامه نداشته باشد، باید رویه را در خاکریز مهار نمود. این عمل گوشه‌های فوقانی و تحتانی رویه آسفالتی را از اثرات تخریبی ناشی از ضربات امواج و جریان آب حفاظت نموده و در عین حال از نفوذ آب به سازه‌های خاکی که بلافاصله در زیر رویه قرار گرفته جلوگیری می‌نماید.

۴-۳-۵-۴ زهکشی

اصول سیستم‌های زهکشی برای جلوگیری از فشار آبی که موجب بالا آمدن و تورم و در نهایت جدا شدن لایه آسفالتی از بستر زیرسازی می‌گردد، باید بر اساس فصل ۱۱ مشخصات فنی عمومی راه تجدید نظر اول (نشریه ۱۰۱) دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور رعایت شده و مورد عمل قرار گیرد. در هر پروژه جزئیات سیستم زهکشی و نقشه‌های مربوطه باید در مشخصات فنی خصوصی قید گردند.

۴-۳-۵-۵ ضخامت لایه‌های آسفالتی

عوامل مؤثر در تعیین ضخامت پوشش آسفالتی برای یک سازه آبی عبارتند از:

الف: نفوذناپذیری

ب: ضربات و نیروهای امواج آب

ج: سرعت جریان آب

د: فشار از پایین به بالا که موجب ایجاد حفره یا چاله می‌شود.

پوشش‌های آسفالتی با ضخامت ۵ سانتی‌متر و فضای خالی (۴٪) یا کمتر، دارای ضریب آب‌گذرانی یا

نفوذپذیری کمتر از 1×10^{-7} سانتی‌متر در ثانیه بوده و در برابر آب نفوذناپذیر می‌باشند.

بسیاری از رویه‌های آسفالتی که باید به عنوان عایق عمل کنند باید در دو یا چند لایه اجرا شوند، به طوری که درز اتصال هر لایه نسبت به لایه زیرین یا فوقانی آن در حین اجرای کار، بین ۱۵-۱۰ سانتی‌متر جابه‌جا شده باشد.

افزایش ضخامت رویه‌ها و قشرهای آسفالتی در سازه‌های آبی، معمولاً موجب افزایش مقاومت و استحکام آنها در برابر هجوم ناشی از آب می‌شود. این ضخامت باید بر اساس نقشه‌های اجرایی و مشخصات خصوصی باشد تا بتواند مقاومت و پایداری لازم را در برابر امواج آب تأمین کند. برای این منظور و در جهت کاهش هزینه، اغلب از مصالح ماسه‌ای موجود در سواحل و تهیه ماسه آسفالت استفاده می‌کنند. برای بسیاری از مخازن، منابع آب و رویه‌های آسفالتی در نواحی ساحلی و دریایی، ضخامت لایه آسفالتی بین ۱۰-۷/۵ سانتی‌متر افزون بر قشر اولیه برای تسطیح که آن هم باید یک لایه آسفالتی باشد، کافی به نظر می‌رسد. به طوری که این مجموعه، می‌تواند در مقابل آب و امواج مقاومت نماید. مشخصات ماسه آسفالت باید مطابق قسمت الف بند ۴-۴-۲-۱ و فصل مربوطه در مشخصات فنی عمومی راه تجدید نظر اول (نشریه ۱۰۱) دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور باشد.

جریان آب با سرعت زیاد در کانالها و افزایش ارتفاع آب و امواج ناشی از آن، معمولاً باعث آسیب‌دیدگی‌هایی برای قشرهای آسفالتی می‌گردد. در چنین مواردی با ضخامت لایه آسفالت بین ۹-۷/۵ سانتی‌متر، می‌توان در مقابل سرعت آب تا ۴ متر در ثانیه مقاومت نمود، در حالی که برای سرعت‌های بیشتر، حداقل ضخامت برابر ۱۰ سانتی‌متر است. به طور کلی مقدار دقیق ضخامت‌ها، باید مطابق نقشه‌های اجرایی و مشخصات خصوصی باشد.

۴-۳-۵-۶ سایش

رویه‌های آسفالتی توپر و متراکم با بافت ریز و پیوسته، به مقدار قابل ملاحظه‌ای می‌توانند در برابر سایش ناشی از سنگ‌دانه‌های موجود در آبهای جاری مقاومت نمایند. معمولاً استفاده از مصالح سنگ‌دانه‌ای مطابق بند ۴-۴-۲، ضمن اجرای صحیح عملیات، موجب افزایش تاب سایشی رویه‌های آسفالتی می‌گردد. در برخی از شرایط که رویه آسفالتی در معرض سایش غیر عادی و آبشستگی شدید

قرار می‌گیرد، باید از یک لایه آسفالتی اضافی از نوع آسفالت ماستیک برای حفاظت مجموعه سازه آسفالتی، به عنوان رویه نهایی استفاده شود. این رویه آسفالت ماستیک، معمولاً از فیلر و قیر و درصد کمی از الیاف تهیه می‌شود. این آسفالت روی لایه‌های موجود آسفالتی اجرا می‌شود تا رویه‌ای متراکم با بافت پیوسته و سطحی صاف ایجاد نماید.

۴-۳-۵-۷ تراکم و کوبیدن

نفوذپذیری لایه‌های آسفالتی که به عنوان رویه‌های عایق و آب‌بند در سازه‌های آبی به کار گرفته می‌شوند، تابع تراکم نسبی مشخصه است که تأمین آن موجب کاهش نفوذپذیری می‌گردد. تراکم نسبی مشخصه باید به اندازه‌ای تعیین شود که نفوذپذیری آسفالت، کمتر از 10^{-7} سانتی‌متر در ثانیه باشد. (بند ۴-۵-۱-۳)

در بسیاری از حالتها، برای کوبیدن لایه‌های آسفالتی در شیپها و شیروانی‌های موجود در سازه‌های آبی، غلتکها باید با وسایل و تجهیزات خاصی مورد استفاده قرار گیرند که در چنین شرایطی، تأمین تراکم کافی در مقایسه با غلتکهایی که در سطح صاف عمل می‌کنند بسیار مشکل است. در جریان این غلتک‌زنی‌ها، باید دقت کافی به کار گرفته شود تا در سطح آسفالت ترکهای نازک و مویی به وجود نیاید، زیرا ظهور این ترکها در رویه آسفالتی هم موجب کاهش خاصیت نفوذناپذیری رویه آسفالتی می‌شود و هم دوام و تاب سایشی و فرسایشی و استحکام سازه‌ای را به مقدار زیادی تقلیل می‌دهد.

۴-۳-۵-۸ حفاظت سطحی

وقتی که قشری از گل و لای و جلبک با توجه به شرایط خاص سواحل و مناطق آبی روی لایه آسفالتی جمع شود، بعد از خشک شدن منقبض گردیده و موجب ایجاد تنش در رویه آسفالتی می‌گردد. مخلوطهای آسفالتی که صحیح طراحی شده و بافت پیوسته و متراکمی داشته باشند، در برابر این تنشها حساسیت کمتری دارند و در نتیجه خرابی‌های ناشی از این تنش محدود می‌شود. در چنین شرایطی که برای مقابله با این تنش حفاظت سطحی رویه آسفالتی لازم باشد، معمولاً پخش یک لایه دوغاب سیمان

و یا یک لایه قیر خالص می‌تواند از نواقص و معایب ناشی از تنشهای کششی در سطح رویه جلوگیری نماید.

◀◀ ۴-۴ مشخصات فنی مصالح

مشخصات فنی مصالح شامل مواد قیری، سنگ‌دانه‌ها، و مخلوطهای آسفالتی مصرفی در سازه‌های آبی، باید با مشخصات این قسمت انطباق داشته باشند.

◀ ۴-۴-۱ مواد قیری

قیرهای مصرفی در سازه‌های آبی با توجه به نوع و شرایط مصرف، به شرح زیر تقسیم‌بندی می‌شوند.

۴-۴-۱-۱ قیرهای خالص

مشخصات فنی قیرهای خالص بر اساس درجه نفوذ شامل ۵ نوع قیر ۴۰/۵۰، ۶۰/۷۰، ۸۵/۱۰۰ و ۱۲۰/۱۵۰ است که کلیه آزمایشهای کنترل کیفیت آن در آیین‌نامه روسازی راه و مشخصات فنی و عمومی راه تجدید نظر اول (نشریه ۱۰۱) دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور ارایه شده است. اگر برای مصارف خاص از جمله آسفالت ماستیک، قیرهای با درجه نفوذ کمتر از ۴۰/۵۰ مورد نیاز باشند، می‌توان آنها را بر اساس مشخصات شرکت ملی نفت ایران تهیه و به کار گرفت. در صورت لزوم برای مشخصات قیرهای خالص، به آیین‌نامه ASTM D946 یا آشتو M-20 مراجعه شود.

۴-۴-۱-۲ قیرهای دمیده

با فشردن قیر خالص در درجه حرارت ۲۰۰ تا ۳۰۰ درجه سانتیگراد، قیر دمیده به دست می‌آید. این قیرها در مقایسه با قیرهای خالص از حساسیت به مراتب کمتری در برابر حرارت برخوردار بوده و درجه نفوذ آنها نیز از قیرهای خالص کمتر است.

در ایران سه نوع قیر دمیده ۸۵/۲۵، ۹۰/۱۵ و ۱۱۰/۱۰ ساخته می‌شود که اعداد ۱۰، ۱۵، و ۲۵ معرف درجه نفوذ و اعداد ۸۵، ۹۰ و ۱۱۰، معرف درجه نرمی آنها می‌باشند. این قیرها بر اساس مشخصات فنی عرضه شده توسط شرکت ملی نفت ایران می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

۴-۱-۳ قیرهای محلول

قیرهای محلول از حل کردن قیرهای خالص در حلالها یا روغنهای نفتی در پالایشگاه تهیه می‌شوند. نوع و خواص قیرهای محلول به کیفیت قیر اصلی مورد استفاده و نوع و مقدار ماده حلال به کار رفته بستگی دارد. در هر نوع قیر محلول، هر چه میزان حلال نفتی زیادتر باشد روانی آن بیشتر است. قیرهای محلول به سه گروه اصلی زودگیر، کندگیر و دیرگیر تقسیم می‌شوند که مشخصات فنی آنها و انواع آزمایشهای کنترل کیفیت آنها، در مشخصات فنی عمومی راه تجدید نظر اول (نشریه ۱۰۱) دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور ارایه شده است. در صورت لزوم از آیین‌نامه آشتو و ASTM برای این قیرها می‌توان استفاده کرد که به شرح زیر می‌باشند:

الف: مشخصات قیرهای زودگیر آشتو M81 یا ASTM D2028

ب: مشخصات قیرهای کندگیر آشتو M82 یا ASTM D2027

ج: مشخصات قیرهای دیرگیر ASTM D2026

۴-۱-۴ قیرآبه‌ها (امولسیون قیر)

قیرآبه‌ها از مخلوط کردن قیرهای خالص و آب، با استفاده از یک ماده امولسیون‌ساز حاصل می‌شوند. در این مخلوط، قیر با ابعاد بین ۱ تا ۱۰ میکرون در آب شناور می‌شود. آب، فاز پیوسته و قیر فاز معلق و ناپیوسته این مخلوط را تشکیل می‌دهند. مواد امولسیون‌ساز بر حسب درجه اسیدی یا بازی، موجب ایجاد بار الکتریکی همانام (مثبت یا منفی) در سطح دانه‌های قیر می‌شوند. نیروی دافعه ناشی از این بار مانع به هم پیوستن ذرات قیر در قیرآبه می‌شود.

مقدار قیر در قیرآبه (۶۵-۵۵٪)، میزان آب (۴۵-۳۵٪) و مقدار امولسیون‌سازها حداکثر (۰/۵٪) وزنی می‌باشد. قیرآبه‌ها بر حسب نوع بار ذره‌ای ایجاد شده در سطح دانه‌های شناور قیر، به دو گروه اصلی

آنیونیک و کاتیونیک تقسیم می‌شوند. هر یک از گروه‌ها نیز به سه نوع زودشکن، کندشکن و دیرشکن با رده‌بندی‌های فرعی دیگر تقسیم می‌شوند.

مشخصات فنی این قیرها و انواع آزمایش‌های کنترل کیفیت آنها، در آیین‌نامه روسازی راه و مشخصات فنی عمومی راه تجدید نظر اول (نشریه ۱۰۱) دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور ارائه شده‌اند. در صورت لزوم می‌توان از آیین‌نامه‌های آشتو و ASTM، برای این قیرها به شرح زیر استفاده کرد:

الف: قیرآبه‌های آنیونیک ASTM D977 و یا M140 آشتو

ب: قیرآبه‌های کاتیونیک ASTM D2397 و یا M208 آشتو

۴-۱-۵ گرم کردن قیر و کنترل درجه حرارت

قیرهای خالص موجود در مخازن ذخیره کارگاه و یا قیرهایی که جهت تخلیه در مخازن وارد کارگاه می‌شوند، نباید بیش از ۱۷۵ درجه سانتیگراد گرم شوند و یا در حین گرم کردن، دود کنند. برای گرم کردن قیر باید از لوله‌های روغن یا بخار، دستگاه‌های الکتریکی و یا وسایل مناسب و قابل قبول دیگر استفاده شود. کاربرد شعله مستقیم آتش که با بدنه مخازن قیر در تماس باشد، به هیچ وجه مجاز نبوده و همواره باید بین شعله و مخازن، کوره‌هایی از نوع آجر نسوز حایل باشد. دستگاه نظارت باید از تخلیه تانکرهایی که از شعله مستقیم آتش جهت گرم کردن استفاده می‌کنند، جلوگیری نموده و پیمانکار نیز باید از تخلیه قیر چنین تانکرهایی جداً خودداری نماید.

تانکرهای حامل قیر به کارگاه، باید مجهز به دو حرارت‌سنج مسلح یکی در قسمت بالای سطح قاعده و یکی در پایین قسمت فوقانی شیر تخلیه باشند تا بتوان درجه حرارت قیر را هنگام گرم کردن در سطوح فوقانی و تحتانی آن کنترل نمود. راهنمای کلی انتخاب درجه حرارت مناسب برای انواع قیرهای خالص، محلول و مدیده، در فصل قیر آیین‌نامه روسازی راه و یا مشخصات فنی عمومی راه تجدید نظر اول (نشریه ۱۰۱) دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور ارائه شده است.

۴-۴-۱-۶ افزودنیهای قیر

افزودنیهای قیر طیف وسیعی از مواد معدنی، آلی، طبیعی و صنعتی را دربر می‌گیرند که به منظور اصلاح برخی از خواص قیر و در نتیجه مخلوطهای آسفالتی، مصرف می‌شوند. افزودنی‌ها با هدفهای زیر در آسفالت مورد استفاده قرار می‌گیرند:

الف: جلوگیری از عریان شدن اندود قیری سنگ‌دانه‌های مخلوط آسفالتی و جلوگیری از ایجاد ترکهای حرارتی و انقباضی

ب: کاهش پدیده‌های تغییر شکل و قیرزدگی رویه‌های آسفالتی

ج: جلوگیری از ظهور ترکهای آسفالتی موجود در لایه‌های زیرین در عملیات روکش

د: کاهش پدیده سخت شدن و کند شدن قیر

ه: افزایش تاب خستگی آسفالت

و: اصلاح سایر خصوصیات و ویژگیهای قیر

افزودنیهای مصرفی برای اصلاح قیر بر حسب مورد و نوع افزودنی و پلیمر مربوطه، باید مطابق با

مشخصات زیر باشند:

الف: پلیمرهای تیپ ۱ ASTM D5976

ب: پلیمرهای تیپ ۲ ASTM D5840

ج: پلیمرهای تیپ ۳ ASTM D5841

د: پلیمرهای تیپ ۴ ASTM D5982

ه: پودر الاستیک ASTM D6114

و: مواد تثبیت کننده شیمیایی ASTM D6154

◀ ۴-۴-۲ مصالح سنگی

۴-۴-۱ مشخصات فنی و اجرایی

مصالح سنگی مصرفی در انواع مخلوط‌های آسفالتی گرم شامل بتن آسفالتی، ماسه آسفالت و غیره با دانه‌بندی‌های پیوسته و باز، باید با مشخصات زیر انطباق داشته باشند:

الف: مشخصات مصالح ریزدانه ASTM D1073

ب: مشخصات مصالح درشت‌دانه ASTM D692

ج: مشخصات فیلر ASTM D242

در شرایط خاص تولید بتن آسفالتی، مشخصات فنی و اجرایی و روشهای کنترل کیفیت مصالح سنگی شامل درشت‌دانه، ریزدانه و فیلر، باید با آیین‌نامه روسازی راه و فصل ۲۲ مشخصات فنی عمومی راه تجدید نظر اول (نشریه ۱۰۱) دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور انطباق داشته باشند.

۴-۴-۲ خصوصیات شیمیایی مصالح سنگی

خصوصیات شیمیایی مصالح، نقش عمده‌ای در ایجاد چسبندگی پایدار مصالح با قیر دارد. این امر بخصوص هنگامی حایز اهمیت است که آسفالت در مجاورت آب یا تماس مکرر و دایم با آب قرار گیرد. از نظر کلی، مصالح اسیدی آب‌دوست و مصالح قلیایی آب‌گریز هستند. تجربه نشان داده است که مصالح قلیایی، چسبندگی بهتری با قیر دارند و آسفالت تهیه شده با آنها، در مجاورت با آب پایدارتر بوده و از دوام به مراتب بیشتری برخوردار است.

بار سطحی سنگ‌دانه‌ها یکی از پارامترهای مهم در پدیده فوق است. اغلب مصالح سنگی سیلیسی نظیر سنگ‌های کوارتز و سیلیس، هنگامی که در تماس با آب قرار می‌گیرند، بار سطحی منفی از خود نشان می‌دهند، در صورتی که سنگ آهک یا سنگ‌های با پایه آهکی در مجاورت با آب، بار سطحی مثبت به خود می‌گیرند.

مصالح ترکیبی از مواد فوق نیز در طبیعت فراوان یافت می‌شوند که دارای هر دو بار مثبت و منفی می‌باشند و بر حسب میزان مواد غالب هر یک، گرایش مثبت یا منفی دارند. سنگهای آهکی - سیلیسی یا سنگهای بازالتی، جزو این دسته سنگها هستند. از انواع سنگها می‌توان سنگ دولومیت را به عنوان سنگ با بیشترین گرایش به بار سطحی مثبت و سنگ کوارتز را با بیشترین گرایش به بار سطحی منفی نام برد. طبقه‌بندی سنگها از نظر اسیدی و قلیایی و نوع بار سطحی آنها، در جدول ۴-۲ ارائه شده است. استفاده از سنگهای سیلیسی برای مصرف در عملیات آسفالتی سازه‌های آبی، مشروط به آن است که سختی آنها کمتر از ۵ و میزان سیلیس آنها کمتر از (۶۶٪) باشد، مگر آن که در مشخصات فنی خصوصی شرایط دیگری قید شده باشد.

جدول ۴-۲ طبقه‌بندی سنگهای اسیدی و قلیایی

ویژگیها	سنگهای اسیدی	سنگهای قلیایی
درصد سیلیس SiO_2	بیشتر از ۶۶	کمتر از ۵۵
وزن مخصوص	کمتر از ۲/۷۵	بیشتر از ۲/۵۷
رنگ	روشن	تیره
مواد کوارتزیت آزاد	دارد	ندارد

۴-۴-۳ مشخصات فنی مخلوطهای آسفالتی

مشخصات انواع مخلوطهای آسفالتی از نوع بتن آسفالتی (آسفالت ناتراوا)، آسفالت متخلخل، آسفالت با دانه‌بندی باز، آسفالت ماستیک و آسفالت برای مصارف مختلف در بند ۴-۵ ارایه شده است. ضمن آن که جزئیات فنی و اجرایی آنها بر حسب مورد، باید برای هر پروژه در مشخصات فنی خصوصی قید شود.

◀◀ ۴-۵ طرح و اجرا

◀ ۴-۵-۱ طرح و اجرای آسفالت‌های ناتراوا

۴-۵-۱-۱ تعریف

مخلوط‌های آسفالتی ناتراوا، در کارخانه آسفالت مرکزی و ثابت با نسبت‌های معینی از مصالح سنگی، فیلر معدنی و قیر خالص در حرارت ۱۵۰ درجه سانتیگراد تهیه می‌شوند. این مخلوط سپس به محل مصرف حمل شده و با وسایل مکانیکی و یا دستی پخش گردیده و در حالی که هنوز داغ است، متراکم و کوبیده می‌شود. برای اطمینان نسبت به حصول آسفالت ناتراوا، فضای خالی آسفالت حداقل باید (۳٪) باشد. مخلوط‌های آسفالتی ناتراوا، معمولاً شبیه مخلوط‌هایی هستند که در راهسازیه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند، با این تفاوت که مقادیر قیر و فیلر آنها بیشتر و نوع قیر آن، کندروانی بیشتر و در واقع درجه نفوذ کمتری دارند.

۴-۵-۱-۲ کاربرد

هدف اصلی کاربرد مخلوط‌های آسفالتی ناتراوا، آب‌بندی سازه‌های آبی است. پوشش‌های آسفالتی آب‌بند و غیر قابل نفوذ برای نگهداری آب در انبار، مخازن، حوضچه‌ها و استخرها، عایق کردن سدها، دیوارهای نگهدارنده آب و خاکریزها و برای جلوگیری از تراوش در کانالها و مجاری آب به کار می‌روند. این پوشش‌ها و روکش‌های سطحی، در برابر عملکرد تخریبی ناشی از امواج و اثرات فرسایشی جریانهای آب مقاومت می‌کنند.

رویه‌هایی که با پوشش‌های آسفالتی ناتراوا ساخته می‌شوند، برای محافظت ابنیه ساحلی در مقابل آب‌های جاری و روان، مخازن و منابع است. در این مورد خصوصیات آب‌بندی مورد نیاز نیستند، اما پوشش‌های آسفالتی با کیفیت مرغوب و دارای فضای خالی کم، در عین حال که در مقابل پدیده‌های سایش مقاومت می‌کنند، در برابر اثرات تخریبی امواج و عملکرد آب‌های جاری نیز دارای مقاومت کافی می‌باشند. مخلوط‌های آسفالتی ناتراوا را برای پوشش کامل سطوح سازه‌های آبی به کار می‌گیرند و

همچنین از این آسفالتها می‌توان برای پوششهای مختلط نیز استفاده کرد. به عنوان مثال از این آسفالتها در مقاطعی که از رویه‌های متفاوت آسفالتی استفاده شده است، به عنوان آسفالت رویه بهره می‌گیرند.

۴-۵-۱-۳ ملاحظات طراحی

برای تهیه مخلوطهای آسفالتی ناتراوا جهت آب‌بندی سازه‌های آبی، الزامها و معیارهای معینی وجود دارند. این مخلوطها باید در موقع پخش و مصرف، از کارایی لازم، آب‌بندی، خاصیت کشسانی و پایایی در دوره بهره‌دهی برخوردار باشند. برای اطمینان از ویژگی ناتراوایی که باید کمتر از 10^{-7} سانتی‌متر بر ثانیه باشد، درصد فضای خالی پوششهای بتن آسفالتی نباید از (۴٪) تجاوز نماید.

این پوششها معمولاً در سطوح شیب‌دار مصرف می‌گردند، لذا مخلوط باید دارای کارایی لازم بوده تا پخش آنها چه با وسایل مکانیکی و چه با ابزارهای دستی، نتایج رضایت‌بخش داشته باشد. کوبیدن این مخلوطها به ویژه وقتی که در سطوح شیب‌دار پخش می‌گردند، اغلب با غلطکهای سبک انجام می‌گیرد. پوششهای بتن آسفالتی باید خاصیت کشسانی داشته باشند تا در برابر تنشهای حاصل از بارگذاری‌های بلندمدت که ناشی از تحکیم و نشست در لایه‌های زیرسازی و شالوده‌های خاکی است، بدون آن که دچار ترک و شکاف شوند مقاومت نمایند. از سوی دیگر پوششهای بتن آسفالتی باید به اندازه کافی ویژگی برجهندگی داشته باشند تا در مقابل بارگذاری‌های کوتاه‌مدت مثل ضربات و صدمات ناشی از امواج آب، مقاومت داشته باشند.

افزایش مقدار قیر مخلوطهای آسفالتی ناتراوا، الزامها و شرایط طراحی مربوط به ویژگیهای مذکور را به طور رضایت‌بخشی تأمین می‌نماید. اگر چه در شرایط معینی نیز افزایش قیر، موجب کاهش مقاومت و استحکام می‌گردد. این مخلوطها در عمل نیازی به مقاومت بالا مانند بتن آسفالتی مصرفی در راهسازی ندارند، اما باید مقاومت کافی برای تحمل بار ناشی از وزن خود را در حالتی که مخلوط گرم و داغ است، در سطوح با شیب تند داشته باشند. علاوه بر آن نباید در موقع کوبیدن و غلطک زنی دچار خزش و افت شوند.

۴-۵-۱-۴ طرح مخلوطهای آسفالتی ناتراوا

برای طرح مخلوطهای بتن آسفالتی و آسفالت‌های ناتراوا در آزمایشگاه با روش مارشال، شرایط زیر باید مشخص شوند:

۱- تعداد ضربه‌ها برای تراکم نمونه‌های مارشال

۲- حداقل مقاومت مارشال بر حسب کیلوگرم

۳- درصد فضای خالی که نباید از (۴٪) تجاوز نماید.

۴- سایر ویژگیهای آزمایش مارشال

بدون ضوابط فوق، تعیین درصد قیر مخلوط آسفالتی بر اساس طرح مارشال امکان‌پذیر نخواهد بود. در استفاده از روش مارشال، نمونه‌های تهیه شده آزمایشگاهی باید قابل قیاس با نمونه‌هایی باشند که در مراحل اجرای کار به دست می‌آیند. در این طراحی باید تعداد ضربات برای تهیه نمونه‌های آزمایشگاهی با چکش مارشال به ۳۵ ضربه محدود گردد، زیرا انرژی لازم برای تراکم این مخلوط در سطوح شیب‌دار، به مقدار قابل توجهی کمتر از مقدار انرژی مصرفی برای کوبیدن مخلوطهای آسفالتی در راهسازی است، که تعداد ضربه‌های آن معمولاً به ۷۵ می‌رسد. طرح این نوع مخلوطهای آسفالتی، حتی با ۵-۱۵ ضربه برای تهیه نمونه‌های آزمایشگاهی نیز انجام می‌شود که باید ارقام آن توسط دستگاه نظارت تعیین شود. مقاومت مارشال این مخلوطها و نیز روانی آنها با توجه به شرایط مصرف، باید در مشخصات خصوصی و فنی خصوصی قید گردد.

قیر مصرفی در این مخلوطها، معمولاً با درصد نفوذ ۶۰/۷ و یا ۴۰/۵ انتخاب می‌شود. این قیرها که در مقایسه با سایر قیرهای دارای درجه نفوذ بیشتر، غلیظتر می‌باشند، می‌توانند در برابر عملکرد تخریبی آب، رشد و نمو گیاهان و نیز شرایط آب و هوایی مخرب مقابله نمایند. مخلوطهای آسفالتی تولید شده با این قیرها، در پوششهای آسفالتی مصرفی در سطوح شیب‌دار مقاومت بیشتری در مقایسه با قیرهای با درجه نفوذ بالا یا قیرهای روان‌تر دارند. در ضمن در برابر تغییر شکل‌های کم ایجاد شده در لایه‌های زیرسازی، از ویژگیهای کشسانی کافی نیز برخوردار می‌باشند.

میزان قیر این مخلوطها معمولاً در محدوده (۹-۶٪) بر حسب وزن مخلوط آسفالتی است که زیادتز از مقدار متوسط قیری است که در مخلوطهای آسفالتی مصرفی در راهسازی به کار گرفته می‌شوند. مقدار

قیر باید در حدی باشد که مخلوط بتواند در مقابل جاری شدن به طرف پایین در شیبها، در شرایط دمای مخلوط به هنگام پخش مقاومت نماید. مصالح سنگی باید مستحکم، مقاوم و سخت بوده و خاصیت چسبندگی مطلوبی با قیر داشته باشند. وقتی که آسفالتی در شیبهای تندتر از ۱:۲/۵ (۲/۵ عمودی، ۱ افقی) به کار رود، بخشی از مصالح سنگی باید شکسته و گوشه‌دار باشند. حداکثر اندازه‌های سنگ مصرفی در این پوششها، باید $\frac{1}{3}$ تا $\frac{2}{5}$ ضخامت لایه متراکم آسفالتی باشد تا تراکم یکنواخت در کل ضخامت لایه به‌دست آید. برای فیلر معدنی، استفاده از گرد سنگ آهک، معمولاً مطلوب‌تر است، اگر چه مصرف دیگر پودرهای معدنی خنثی نیز برای این منظور نتایج رضایت‌بخشی داشته‌اند. دانه‌بندی مخلوطهای آسفالتی در چنین پوششهایی، در جدول ۴-۳ طی دانه‌بندی‌های ۱، ۲ و ۳ نشان داده شده است. برای انتخاب و کنترل نهایی وقتی که از یکی از دانه‌بندی‌های جدول فوق استفاده می‌شود، اجرای قطعات آزمایشی در کارگاه لازم است. مخلوط انتخاب شده باید تا حد امکان در شرایطی آزمایش شود که همانند وضعیت و شرایط واقعی اجرایی باشد. دقت کافی در جریان آزمایش و توجه به رفتار مخلوط مورد آزمایش در حین پخش و کوبیدن، ممکن است منجر به انجام اصلاحات لازم در فرمول کارگاهی مخلوط شود، در حالی که این نتیجه‌گیری در جریان طراحی در آزمایشگاه حاصل نمی‌شود.

۴-۵-۱-۵ اجرای عملیات

اجرای عملیات شامل مراحل زیر است:

۴-۵-۱-۵-۱ پخش آسفالت

رویه‌های بتن آسفالتی در سازه‌های آبی، اغلب در شیب، مقاطع و سطوح زاویه‌دار قسمتهای محدب، مقعر و یا مسطح مصرف می‌شوند. پخش آسفالت در چنین شرایط متفاوتی، با پخش کننده‌های لغزان یا پخش کننده‌های دستی و یا اختلاطی از این روشها اجرا می‌شود. در بسیاری از حالات، پخش کننده‌های معمولی آسفالت مورد استفاده در راهسازی، به کار گرفته می‌شوند که اغلب با توجه به این که باید در شیبها از آنها استفاده شود، تغییر و اصلاحی در آنها صورت می‌گیرد. وقتی که پخش آسفالت باید هم در شیب و هم در کف اجرا شود، بهتر است پخش آسفالت نخست در مقاطع شیب‌دار و سپس در

کف‌سازی‌های مسطح اجرا شود (مانند اجرای آسفالت در کانال و یا یک منبع آب زیرزمینی). پخش آسفالت در شبیها، معمولاً با فینیش‌های آسفالت که با جرثقیل مستقر در بالای سطح شیب‌دار نگهداری می‌شوند اجرا می‌شود و به تناسب وضعیت کار، در آن تغییرات و اصلاحاتی به منظور سهولت اجرای عملیات داده می‌شود. در مواقعی مثل پخش آسفالت در یک منبع آبی بزرگ و کم عمق، آسفالت با فینیشر که به شکل ویژه طراحی شده، روی ریل حرکت می‌کند و در شیب بالا و پایین می‌رود اجرا می‌شود. همچنین گاهی نیز پخش آسفالت با فینیشر که با سیم یا کابل نگهداری می‌شود و به شکل طولی در امتداد شیب حرکت می‌کند انجام می‌گیرد، در حالی که سیم یا کابلی که فینیشر را حرکت می‌دهد با وسایل خاصی که در سطح بالای شیب تعبیه شده باید نگهداری شود. استفاده از این روشها، معمولاً برای عملیات تراکم مشکلاتی ایجاد می‌کند، چون نتایج حاصل از کوبیدگی غلتک‌هایی که به این طریق کار می‌کنند، غیر یکنواخت بوده و چرخ غلتک، به داخل مخلوط آسفالتی و به طرف پایین شیب فرو می‌رود.

برای پخش آسفالت در شبیها، روشهای متعددی وجود دارد. متداول‌ترین آن این است که فینیشر را در ابتدای کار و قبل از حرکت از پایین شیب به طرف بالای شیب، برای پخش آسفالت در یک عرض تعیین شده و یک خط عبور کامل، به اندازه کافی با مخلوط آسفالتی پر می‌کنند و گاهی نیز این عمل را به طور عکس برای پخش از بالای شیب به پایین انجام می‌دهند. موقعی که طول شیب زیاد است و با یک بار پر کردن فینیشر با آسفالت، پخش آسفالت در یک عبور کامل نمی‌شود، فینیشر را با آسفالتی که در یک لودر آماده شده و در طول شیب و یا در نیمه راه شیب کوبیدن آسفالت متوقف شده است، دوباره پر می‌کنند تا یک خط عبور پخش با فینیشر تکمیل گردد.

۴-۵-۱-۵-۲ کوبیدن آسفالت

برای عملیات کوبیدن آسفالت در شبیها از غلتک‌های چرخ فلزی لرزشی (ارتاشی) استفاده می‌شود، ضمن آن که غلتک‌های لرزشی دستی و یا چرخ لاستیکی نیز برای کوبیدن آسفالت به کار گرفته می‌شوند. برای نگهداری غلتکها در شبیها و کنترل حرکت آنها به بالا و پایین، اغلب از جرثقیل و یا کابل استفاده می‌کنند. عمل کوبیدن به طور کلی مستقل از عملیات پخش انجام می‌شود، اما بی آن که اختلالی در کار

پخش ایجاد گردد، کوبیدن نیز باید به سرعت بعد از پخش شروع شود. با توجه به مقاومت مخلوط آسفالتی، استفاده از غلتکهای لرزشی در مرحله اول عملیات کوبیدن معمول نیست، اما در سایر مراحل کاربرد آن مشکلی ایجاد نمی‌کند.

وقتی که آسفالت در یک یا چند لایه پخش می‌شود، اتصالات طولی و یا عرضی لایه‌ها نباید در یک امتداد و روی هم قرار گیرند و لازم است بین آنها فاصله وجود داشته باشد. حصول تراکم در اتصالات طولی و یا عرضی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، در غیر این صورت قابلیت نفوذپذیری آسفالت در برابر آب در محل اتصالات، کاهش زیادی می‌یابد. برای آن که تراکم نسبی مشخصه (بند ۴-۳-۵) در محل اتصال آسفالت قدیم و جدید تأمین شود، امتداد اتصال طولی آسفالت قدیم باید با قیر محلول، قیرپاشی شود. شیب کنار آسفالت را می‌توان تقریباً در حد ۱:۱ تنظیم نمود. اغلب برای تأمین تراکم نسبی مشخصه در اتصالات، باید از گرم‌کننده‌هایی که اتصال طولی آسفالت قدیم را گرم می‌کند استفاده نمود تا آسفالت قدیم و جدید در یکدیگر قفل و بست شده، پیوستگی و پایداری کافی بین آنها برای افزایش نفوذناپذیری آسفالت به وجود آید.

۴-۵-۱-۵-۳ اندود سطحی

به اجرای عملیات اندود سطحی (تک کت) قبل از پخش لایه آسفالتی جدید روی لایه آسفالتی قدیم باید توجه شود. استفاده از قیرهای امولسیون کندشکن و دیرشکن آنیونیک و یا کاتیونیک، به مقدار ۳۰۰ تا ۴۰۰ گرم در متر مربع برای هر لایه کافی است.

اجرای آسفالت روی اندود سطحی انجام شده با قیر امولسیون، باید برای مدتی به تأخیر افتد تا آب موجود در این قیرها تصفیه شود، در غیر این صورت آب، بین دو لایه آسفالت باقی خواهد ماند و پایداری آن را کاهش خواهد داد. اجرای اندودهای سطحی و نوع قیر مصرفی، باید مطابق فصل مربوطه در مشخصات فنی عمومی راه بوده و مقدار مصرف آن با آزمایش سینی کنترل شود. مقدار لازم و دقیق مصرف توسط دستگاه نظارت تعیین می‌شود.

جدول ۳-۴ دانه‌بندی مخلوطهای بتنی آسفالتی

	۱	۲	۳	۴	۵
شماره الک	درصد عبور				
۲۵mm			۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۱۹mm		۱۰۰	۹۵-۱۰۰	۹۵-۱۰۰	۹۳-۱۰۰
۱۲/۵mm	۱۰۰	۹۵-۱۰۰	-	۸۵-۹۵	-
۹/۵mm	۹۵-۱۰۰	۸۴-۹۴	۷۲-۸۵	-	۳۶-۶۵
۴/۷۵mm	۷۰-۸۴	۶۳-۷۹	۵۳-۷۲	۴۴-۵۶	۵-۲۵
۲/۳۶mm	۵۲-۶۹	۴۶-۶۵	۴۰-۶۰	۳۰-۴۰	۲-۱۵
۱/۱۸mm	۳۸-۵۶	۳۴-۵۳	۳۰-۴۹	-	-۷
۶۰۰µm	۲۷-۴۴	۳۵-۴۲	۲۲-۳۹	۱۳-۲۲	-۳
۳۰۰µm	۱۹-۳۳	۱۷-۳۲	۱۶-۳۰	-	-
۱۵۰µm	۱۳-۲۴	۱۲-۲۳	۱۱-۲۲	۳-۸	-
۷۵µm	۸-۱۵	۸-۱۵	۸-۱۵	۱-۴	-
درصد آسفالت سیمانی بر اساس وزن اختلاط	۶/۵-۹/۵	۶/۵-۹	۶-۸/۵	۵-۶	۲-۴
نوع اختلاط	خوب دانه‌بندی شده	خوب دانه‌بندی شده	خوب دانه‌بندی شده	نفوذپذیر	دانه‌بندی باز
حداقل پیشنهادی	۴cm	۳cm	۶ cm	۷/۵cm	۷/۵ cm
کاربرد	رویه نفوذناپذیر	رویه نفوذناپذیر	رویه نفوذناپذیر	رویه نفوذپذیر	لایه زهکش

۴-۵-۱-۶ کنترل مخلوطهای آسفالتی ناتراوا

مخلوطهای آسفالتی ناتراوا، علاوه بر انجام آزمایشهای دانه‌بندی، درصد قیر و آزمایشهای مارشال، باید با آزمایشهای زیر کنترل شوند. نوع آزمایشهای لازم باید در مشخصات فنی خصوصی پروژه قید شود.

۴-۵-۱-۶-۱ نفوذناپذیری مخلوط آسفالتی

میزان ناتراوایی مخلوطهای آسفالتی ناتراوا و یا هر بتن آسفالتی دیگر، با آزمایش ASTM D3637 اندازه‌گیری می‌شود. این مقدار معمولاً نباید از $10^{-7} \times 1$ سانتی‌متر بر ثانیه بیشتر باشد. میزان ناتراوایی آسفالت برای هر پروژه باید در مشخصات فنی قید شود.

۴-۵-۱-۶-۲ مدول دینامیکی

مدول دینامیکی مخلوط آسفالتی در صورت لزوم برای هر پروژه، باید بر اساس ASTM D3497 مورد آزمایش قرار گرفته و نتیجه بر حسب مورد مصرف، با مشخصات فنی خصوصی مطابقت داشته باشد.

۴-۵-۱-۶-۳ دوام مخلوط آسفالتی در برابر آب

اثر آب بر روی مخلوطهای آسفالتی با آزمایشهای زیر ارزیابی می‌شود:

- ۱- دوام مخلوطهای آسفالتی در برابر آب و شرایط مستغرق با آزمایش ASTM D1075 ارزیابی می‌شود. در این آزمایش مقاومت فشاری خشک و اشباع مخلوط آسفالتی، اندازه‌گیری می‌شود که نسبت مقاومت اشباع به مقاومت خشک در شرایط آزمایشگاهی، نباید کمتر از (۷۰٪) باشد.
- ۲- اثر آب بر روی مخلوطهای آسفالتی با آزمایش اندازه‌گیری مقاومت کششی غیر مستقیم، بر اساس آشتو T 283 انجام می‌شود. ضوابط این آزمایش یعنی نسبت دو آزمایش خشک و اشباع باید در مشخصات فنی و خصوصی قید شود.

۴-۵-۲ طرح و اجرای آسفالت متخلخل

۴-۵-۲-۱ کلیات

آسفالت متخلخل، شامل مخلوطهایی است که مصالح ریزدانه یا ماسه کمتری دارند و به همین دلیل، قیر کمتری هم برای آنها مصرف می‌شود. مخلوطهای آسفالت متخلخل، دارای فضاهای خالی مرتبط به یکدیگر بوده و آب از آن عبور می‌کند.

در صورت استفاده از قیرهای با درجه نفوذ زیاد برای این آسفالتها و در جریان حمل به محل مصرف، امکان جدا شدن قیر از سنگ‌دانه وجود دارد. به منظور جلوگیری از پدیده مذکور، می‌توان آسفالت را با قیرهای سفت‌تر تهیه کرد و یا درصدی از الیاف صنعتی و معدنی یا طبیعی، نظیر الیاف سلولزی یا پشم سنگ را به کار برد تا قیر را به خود جذب کرده و در نتیجه پس از اجرا، ضخامت قیر پیرامون سنگ‌دانه‌ها بیشتر باشد. استفاده از قیرهای سفت در مخلوط، همچنین باعث ایجاد چسبندگی بهتری بین سنگ‌دانه‌ها شده و در نهایت دوام بیشتری در مقایسه با آسفالت تهیه شده با قیر رقیق در برابر آب خواهد داشت.

۴-۵-۲-۲ کاربردها

آسفالت متخلخل برای مصارف پوششی، کاربرد دوگانه زیر را دارد:

الف: آسفالت متخلخل نفوذپذیر

این نوع آسفالت برای پوشش سطوح سکوه‌های خاکریز شده و جلوگیری از ریزش آنها یا حفاظت از آنها در مقابل حملات امواج آب و یا آب شستگی کاربرد دارد.

ب: آسفالت متخلخل با دانه‌بندی باز

آسفالت متخلخل با دانه‌بندی باز که فضای خالی بیشتری نسبت به آسفالت متخلخل نفوذپذیر دارد، به عنوان لایه زهکش روی سطوح غیر قابل نفوذ یا دارای نفوذ کم، اجرا می‌شود و در همان حال به عنوان لایه‌ای که در مقاومت سازه آبی مورد نظر نیز مشارکت دارد عمل می‌کند. در هر دو حالت فوق، هدف آن است که آسفالت متخلخل زهکشی آزاد را تأمین کرده و از ایجاد فشار هیدرولیکی در خاکریز یا پوشش آسفالتی جلوگیری کند.

۴-۵-۳ طرح اختلاط

هدف اصلی طرح اختلاط آسفالت‌های متخلخل، حصول اطمینان از نفوذپذیری و قابلیت زهکشی آن می‌باشد. برای این امر آگاهی از شرایط کاربرد آسفالت متخلخل و این که کدامیک از موارد بند ۱ یا ۲ فوق مورد نظر می‌باشد، ضروری است جدول ۳-۴ ستون‌های ۴ و ۵ که محدوده دانه‌بندی آسفالت‌های متخلخل را نشان می‌دهند، به ترتیب برای آسفالت متخلخل نفوذپذیر و آسفالت متخلخل با دانه‌بندی باز

که دارای قابلیت زهکشی بیشتری است به کار روند. برای تهیه این آسفالتها از قیرهای خالص ۶۰-۷۰ و یا ۴۰-۵۰ می‌توان استفاده کرد.

۴-۵-۲-۴ اجرا

مراحل اجرای آسفالتهای متخلخل نفوذپذیر، نظیر آسفالتهای متخلخل با دانه‌بندی باز است که معمولاً آسفالتهای متخلخل نفوذپذیر را در ضخامت‌های بین ۱۵-۷/۵ سانتی‌متر در یک یا دو لایه اجرا می‌کنند. هنگام متراکم کردن آسفالتهای متخلخل با دانه‌بندی باز، انرژی چندانی صرف ایجاد تراکم نسبی مشخصه در لایه‌ها نمی‌شود، بلکه هدف آن است که سنگ‌دانه‌ها به خوبی به یکدیگر متصل شده و در هم قفل و بست شوند.

در این آسفالتها تأمین تراکم زیاد مضر است، زیرا منجر به جدا شدن مصالح از یکدیگر یا شکسته شدن اتصال قیری بین سنگ‌دانه‌ها می‌شود، بخصوص اگر درجه حرارت آسفالت هم، از اندازه معینی کمتر باشد.

برای آسفالتهای متخلخل با دانه‌بندی باز نظیر آسفالت با دانه‌بندی شماره ۵ جدول ۴-۳، درجه حرارت آسفالت بلافاصله بعد از تولید، نباید از ۱۲۱ درجه سانتیگراد بیشتر شود. درجه حرارت‌های بیش از این، باعث می‌شود که قیر از سنگ‌دانه‌ها جدا شده و هنگام حمل آسفالت به محل مصرف، به کف کامیون منتقل گردد.

۴-۵-۳ طرح و اجرای آسفالت ماستیک

۴-۵-۳-۱ کلیات

مخلوط‌های آسفالت ماستیک مورد استفاده در سازه‌های آبی، مخلوط‌های متشکل از مصالح سنگی و فیلر هستند که فضای خالی بین آنها بیش از اندازه با قیر پر شده است که نتیجه آن، تهیه آسفالتی است که می‌توان آن را به حالت خمیری در محل ریخت و با ماله آن را پخش کرد.

مخلوط‌های آسفالت ماستیک را می‌توان با مصالح سنگی متفاوتی از جمله مصالح خوب دانه‌بندی شده شامل سنگ‌دانه‌های درشت، ریز و فیلر معدنی یا فقط فیلر با یا بدون افزودنیهای نظیر الیاف پشم

سنگ یا سلولز تهیه نمود. آسفالت ماستیک فضای خالی ندارد مگر فضای خالی ناشی از حبابهای هوا که ممکن است حین اجرا و پخش آسفالت، در مخلوط باقی بماند.

۴-۵-۳-۲ کاربردها

آسفالت ماستیک در سازه‌های آبی به عنوان لایه آب‌بند، لایه محافظ و لایه تقویتی کاربرد دارد. این آسفالت به عنوان دیوار آب‌بند در سدها و همچنین در قسمت میانی یا هسته سد اجرا می‌شود. ماستیکها به عنوان سطح پوششی نهایی هم کاربرد دارند. این آسفالتها در برابر اثرات تخریبی و سایشی آب مقاوم هستند و لذا می‌توان آنها را در محل‌هایی که در مقابل هجوم امواج آب قرار دارند اجرا کرد. از آسفالت ماستیک برای پوشش سکوه‌های خاکریزی یا کف کانالها نیز استفاده می‌شود. مخلوطهای آسفالت ماستیک گرم را نیز می‌توان توسط لوله‌های دارای قطر زیاد، با قیف و یا به صورت توده به زیر آب منتقل کرد.

کاربرد دیگر آسفالت ماستیک به صورت پیش‌ساخته، برای تهیه دالهای انعطاف‌پذیر یا تشکهای آسفالتی است که قابل جابه‌جایی و نصب در محل می‌باشند. آسفالت ماستیک به عنوان آسفالتهای تقویتی، به صورت ملات در سازه‌های سنگی مصرفی در سنگ‌چینی و یا در باراندازها استفاده می‌شود تا فضاهای خالی آنها را پر و مسدود کند. در این سازه‌ها عمل چسباندگی ماستیک باعث ایجاد توده‌های وزنی مستحکم و مقاوم می‌شود.

مخلوطهای آسفالت ماستیک به اندازه کافی قابلیت انعطاف‌پذیری دارند تا هنگام نشستهای غیریکنواخت سازه‌ای، خود را با آن تطبیق دهند. این آسفالت در نقش ملات، سنگها را به یکدیگر متصل کرده و از آبشستگی آنها ممانعت می‌کند.

۴-۵-۳ ملاحظات طراحی

در طراحی مخلوطهای آسفالت ماستیک، کند روانی مخلوط از اهمیت خاصی برخوردار است. از یک طرف هنگام تهیه آسفالت و اجرا، باید به اندازه کافی روان باشد تا به راحتی فضاهای خالی را پر کند و از طرف دیگر، در دوران بهره‌برداری حرکت نکرده و پایدار باشد. این امر به پارامترهایی نظیر درجه حرارت، زاویه شیب و نوع و مقدار فضای خالی که باید توسط آسفالت ماستیک پر شود بستگی دارد.

۴-۵-۳-۴ طرح اختلاط

مخلوطهای آسفالت ماستیک، از ماسه، فیلر و قیر تشکیل شده‌اند. نسبت ترکیب این مواد می‌تواند در محدوده گسترده‌ای باشد. نمونه‌ای از این ترکیب به شرح زیر است:

ماسه: (۸۰-۶۰٪) وزنی

فیلر: (۲۰-۱۰٪) وزنی

قیر: (۲۰-۱۰٪) وزنی

حداقل نسبت فیلر به قیر: (۳-۲٪) وزنی

در برخی از شرایط، سنگ‌دانه‌های درشت به مخلوط اضافه می‌شوند تا استحکام آن بیشتر شود و نقش سازه‌ای افزایش داشته باشد. در این موارد حتی نسبت یک قسمت مصالح سنگی درشت‌دانه با دو قسمت ماستیک ماسه و قیر، می‌تواند مخلوطی بدون فضای خالی ایجاد کند. مخلوطهای آسفالت ماستیک ماسه‌ای دارای سنگ‌دانه‌های درشت، برای مواردی همچون پوششها، دالهای پیش‌ساخته و پرکردن فضای خالی سازه‌های سنگی مصرفی در اسکله‌ها، از طریق تزریق مصرف شده‌اند.

هنوز محدوده‌های کند روانی آسفالت ماستیک برای اجرا و شرایط بهره‌برداری، به طور کامل تعیین نشده است اما به طور تقریب برای کارهایی نظیر تزریق، کندروانی ماستیک هنگام اجرا باید بین ۱۰^۳-۱۰ پاسکال ثانیه و در شرایط بهره‌برداری بین ۱۰^{۱۱}-۱۰^۸ پاسکال ثانیه باشد که در هر حال باید مورد تأیید دستگاه نظارت باشد.

برای تهیه آسفالت ماستیک می‌توان از قیرهای ۷۰-۶۰ یا ۱۰۰-۸۵ بر حسب شرایط اجرا و منطقه مورد مصرف استفاده کرد. برای کاربردهای زیر آبی ممکن است استفاده از قیرهای روان‌تر مناسب‌تر باشد، زیرا قیرهای غلیظ در صورت سرد شدن، زودتر سفت می‌شوند و پخش آنها دشوارتر می‌گردد. آسفالت ماستیک به کار رفته برای پر کردن درزها، از فیلر و قیر تشکیل می‌شود.

۴-۵-۳-۵ تهیه و اجرا

مخلوطهای آسفالت ماستیک را معمولاً در کارخانه‌های آسفالت از نوع غیر پیوسته یا منقطع تهیه می‌کنند. باید دقت نمود که مخزن تهیه آسفالت در شرایطی باشد که دریچه‌های آن به خوبی بسته شوند

تا مخلوط ماستیک از آن جاری نشود. همچنین توجه خاص نیز باید اعمال شود تا هنگام حمل به محل اجرا، اگر فاصله حمل زیاد است مخلوط از کامیون به بیرون روان نشده و شن و ماسه مخلوط، به کف کامیون نچسبند. در کشورهایی که این‌گونه مخلوطها زیاد مصرف می‌شوند، در کارخانه‌های آسفالت معمولی مخازن مخصوص تهیه آسفالت ماستیک تعبیه شده است و کامیونهایی نیز ساخته شده که دارای پره‌های مخصوص هم زدن مخلوط می‌باشند و در صورت نیاز، حین حمل و نقل مخلوط آسفالتی به هم زده می‌شود.

برای اجرای مخلوطهای آسفالت ماستیک در اغلب موارد، آسفالت را به وسیله ماله در نقاط مورد نظر پخش و سطح آن را آماده می‌کنند. ریختن آسفالت به طور مستقیم از کامیون یا توسط قیف با لوله‌های بزرگ انجام می‌شود. برای پخش در زیر آب، تا حد امکان باید آسفالت به صورت توده منتقل شود تا قبل از سرد شدن در مکانهای مورد نظر جای گیرد.

◀ ۴-۵-۴ طرح و اجرای آسفالت‌های حفاظتی

آسفالت‌های حفاظتی به دلایل مختلفی روی لایه یا لایه‌های آسفالتی اجرا می‌شوند تا آنها را در مقابل اکسید شدن، آب‌بندی، اثرات تخریبی امواج آب و آبشستگی ناشی از شن و ماسه‌های غلتان در آب و یا یخبندان محافظت کنند. انواع عمده آسفالت‌های حفاظتی مورد اجرا در سازه‌های آبی را می‌توان به شرح زیر خلاصه کرد:

۴-۵-۴-۱ اندود سطحی

قیرهای محلول یا امولسیونهای قیری به عنوان اندود سطحی روی لایه‌های آسفالتی اجرا می‌شوند که پخش ۱-۰/۸ کیلوگرم در متر مربع، ضخامتی در حدود یک میلیمتر را تأمین می‌کند. در صورت اجرای صحیح، فضاهای خالی سطح آسفالت موجود پر شده و نفوذپذیری آن کاهش می‌یابد، همچنین ترک‌های ریزی که احتمالاً هنگام متراکم کردن لایه آسفالت ایجاد شده است نیز با اندود سطحی مسدود می‌شوند.

قبل از اجرا باید از تمیز بودن سطح اطمینان حاصل نمود و مواد مضر و زاید را از روی آن پاک کرد. درجه حرارت قیر بر حسب نوع آن از جدولهای مربوط در مشخصات فنی عمومی راه تجدید نظر اول (نشریه ۱۰۱) دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، انتخاب می‌شوند. در شبیها نیز برای کنترل بیشتر و جلوگیری از جاری شدن قیر، شاید لازم باشد پخش قیر به صورت دستی انجام گیرد. این کار باید به صورت رفت و برگشت و نظیر عمل جارو زدن باشد تا ضخامت مورد نظر حاصل شده و از جاری شدن قیر در سطح آسفالت جلوگیری شود.

۴-۵-۴ آسفالت ماستیک حفاظتی

پخش آسفالت ماستیک روی سطوح آسفالتی موجود، علاوه بر آب‌بندی باعث حفاظت بیشتر سطح می‌شود. استفاده از این آسفالت، پوششی به مراتب ضخیم‌تر و مقاوم‌تر نسبت به اندود سطحی تأمین می‌کند و مخلوطهای دارای طراحی و اجرای صحیح، رویه‌ای مقاوم در برابر اثرات تخریبی امواج و آبستگي‌ها ایجاد می‌نمایند. آسفالت ماستیک حفاظتی، مخلوطی است از قیر و فیلر که گاهی به مقدار کمی (حدود ۲٪) الیاف نیز به آن افزوده می‌شود تا باعث افزایش پیوستگی و مقاومت کششی آن شود. درصد ترکیب مواد می‌تواند در محدوده وسیعی قرار گیرد. نمونه زیر خصوصیات یک آسفالت ماستیک حفاظتی را دارد.

فیلر: (۷۰٪-۵۰٪)

قیر: (۵۰٪-۳۰٪)

با اجرای آسفالت ماستیک حفاظتی فوق، سطحی صاف ایجاد می‌شود که ضخامتی در حدود سه میلیمتر دارد. برای ایجاد سطحی زبر، لازم است ماسه ریز به مخلوط اضافه شود که در این صورت درصد قیر، (۳۰٪) کاهش می‌یابد.

مخلوطهای فوق معمولاً بیش از حد روان هستند و لذا ممکن است نتوان آنها را در مخلوط‌کنهای معمولی کارخانه آسفالت تهیه کرد و مخلوط‌کن مجزا لازم باشد. قیرهای ۷۰-۶۰ قیرهای مناسبی برای تهیه این مخلوطها می‌باشند، اما با قیرهای ۱۰۰-۸۵ نیز می‌توان آسفالت ماستیک حفاظتی تهیه کرد.

۴-۵-۴-۳ رویه حفاظتی با دوغاب سیمانی

در شرایط خاصی ممکن است از موادی غیر از قیر و آسفالت برای حفاظت لایه‌های آسفالتی استفاده کرد. برای مثال هنگامی که در نظر باشد لایه رویه را با پوششی غیر از رنگ سیاه روکش نمود تا اشعه خورشید باعث ایجاد گرمای زیاد در آن نشود، یا هنگامی که در نظر باشد سطح پوشش را در مقابل سیلابها که حاوی مصالح شن، ماسه و گل هستند محافظت کرد، یکی از روشهای ساده که به طور گسترده‌تر نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد، پخش دوغاب سیمان روی سطح قیری موجود است. نمونه‌ای از ترکیب مناسب دوغاب سیمانی شامل اجزای زیر است:

سیمان: ۴۰-۵۰ کیلوگرم

کلرور کلسیم: ۴/۵ کیلوگرم

آب: ۴۰-۶۰ لیتر

دوغاب سیمان باید در حداقل ضخامت ممکن برای حفاظت سطح مورد نظر اجرا گردد. دوغاب اضافی باعث پوسته شدن سیمان و کنده شدن آن از سطح می‌شود. در ضمن ضرورت هم ندارد که سیاهی آسفالت زیرین به طور کامل محو گردد، بلکه پس از اجرای دوغاب تازه، تیرگی آسفالت می‌تواند نمایان باشد. قبل از اجرای دوغاب سیمان لازم است سطح آسفالت مرطوب شود تا از جذب آب دوغاب جلوگیری شده و فعل و انفعالات سیمان به طور کامل در سطح انجام گیرد.

نسبت پخش دوغاب سیمان به میزان زبری سطح موجود بستگی دارد. نسبتهای بالا معمولاً برای پوشش حدود ۶۰ متر مربع روی سطوح زبر و برای تقریباً ۹۰ متر مربع روی سطوح صاف کفایت می‌کند.

۴-۵-۵ طرح و اجرای آسفالت‌های مدفون

۴-۵-۵-۱ کلیات

لایه‌های آسفالتی مدفون برای دیواره‌های مجاور سازه‌های آبی، شامل اجرای یک یا چند لایه از مشمع‌های قیر اندود، به ضخامت مناسب در زیر سطح نهایی پوشش آنها است. این گونه آسفالت‌ها باید لایه یا لایه‌هایی را تشکیل دهند که به راحتی با ناهمواری‌ها و نشست‌های غیر یکنواخت سطح بستر کانال یا زیر خاکریزها هماهنگی پیدا کرده و بدون ایجاد تغییر شکل زیاد و ظهور ترک، پذیرای آنها باشند. در تهیه این آسفالت‌ها هیچ‌گونه ماده تقویت کننده یا حتی فیلر، مصرف نمی‌شود. در صورت اجرای صحیح و انجام یک پوشش حفاظتی مناسب روی آنها، آسفالت‌های مدفون می‌توانند با حداقل هزینه در طول عمر پروژه دوام داشته باشند. در اغلب پروژه‌ها، قابلیت دوام و پایداری آسفالت در برابر هجوم برخی از آلاینده‌های شیمیایی نظیر مواد اسیدی، اجرای این گونه لایه‌ها را ایجاب می‌کند.

۴-۵-۵-۲ ملاحظات طراحی

سرعت مجاز جریان آب در کانال‌های دارای عبور آب زیاد، حدود ۰/۵ متر در ثانیه می‌باشد که چنانچه خطر هجوم آب وجود داشته یا سرعت جریان بیش از مقدار فوق باشد، بهتر است که در اجرای لایه آسفالتی مدفون، حداقل یک لایه با ضخامت ۱۵-۷/۵ سانتی‌متر آسفالت با مصالح شکسته اجرا شود و سپس پوشش دیگری (برای مثال از ماکادام نفوذی) روی آن اجرا گردد.

چنانچه سطحی که آسفالت باید روی آن اجرا شود (سطح بستر) ضعیف باشد، باید قبل از پخش آسفالت توان باربری آن را به نحو مقتضی با عملیات تثبیت افزایش داد. در این مخلوط‌ها لازم است از مصرف قیرهای دارای درجه نفوذ کم پرهیز کرد، زیرا در این صورت توان هماهنگی با نشست‌های غیر یکنواخت بستر کاهش می‌یابد. در صورتی که هدف پروژه اجرای آسفالت با دوام و پایداری زیاد باشد، لازم است از قیرهای دمیده با نقطه نرمی بالا استفاده شود. خصوصیات یک نمونه قیر در جدول ۴-۴ نشان داده شده است.

جدول ۴-۴ مشخصات قیر مورد استفاده برای مخلوطهای آسفالتی مدفون

محدوده	مشخصه
۷۹-۹۳ درجه سانتیگراد	نقطه نرمی (گلوله و حلقه) درجه نفوذ قیر اولیه:
۵۰-۶۰	۱- در ۲۵ درجه سانتیگراد، ۱۰۰ گرم و ۵ ثانیه
حداقل ۳۰	۲- در ۲۵ درجه سانتیگراد، ۲۰۰ گرم و ۶۰ ثانیه
حداکثر ۱۲۰	۳- در ۴۶ درجه سانتیگراد، ۵۰ گرم و ۵ ثانیه
حداقل ۳/۵ سانتی‌متر	درجه انگمی در ۲۵ درجه سانتیگراد
حداقل ۲۱۸ درجه سانتیگراد	نقطه اشتعال (ظرف کلیوند روباز)
حداقل (۹۷٪)	حلالیت در تترا کلرور کربن
حداکثر (۱٪)	افت وزنی در برابر حرارت
حداقل (۶۰٪)	درجه نفوذ در ۲۵ درجه سانتیگراد بعد از افت وزنی در برابر حرارت بر حسب درصد درجه نفوذ اولیه

مأخذ: انستیتو آسفالت ۱۲-MS

۴-۵-۵-۳ اجرا

سه مرحله برای لایه‌های آسفالتی مدفون شامل آماده‌سازی بستر اولیه، اجرای لایه آسفالتی و اجرای پوشش سطحی (حفاظتی) در نظر گرفته می‌شود.

۴-۵-۵-۱ آماده‌سازی بستر

برای آماده‌سازی بستر لازم است قسمتهای برجسته هموار شوند و سنگها و صخره‌های تیز بریده یا کنده شوند. سپس با غلتک‌زنی سبک، سطح آن صاف و آماده پخش آسفالت شود. چنانچه سطح بستر سنگلاخ بوده و نتوان با عملیات مذکور آن را صاف کرد، لازم است با پخش شن یا ماسه، سطح همواری ایجاد گردد. پس از آن آسفالت باید تا حد امکان در ضخامت یکنواخت روی سطح آماده شده، پخش و متراکم گردد. چنانچه بستر کار خاکی بوده و دارای گرد و غبار باشد، لازم است ابتدا آن را تمیز کرد و سپس با قیر محلول یا قیرآبه، عمل غبار نشانی انجام شود.

لازم است پخش آسفالت حداقل در دو مرحله مجزا انجام گیرد تا نقاطی که احتمالاً به خاطر ناهمواری موضعی، به طور کامل پوشش نشده و ضخامت آسفالتی کافی ندارند، به خوبی پوشیده شوند.

در صورتی که از قیر دمیده برای تهیه آسفالت استفاده شده باشد، لازم است درجه حرارت آسفالت در مقایسه با آسفالت‌های تهیه شده با قیرهای خالص بالاتر باشد. معمولاً درجه حرارت بین ۲۲۰-۲۰۰ درجه سانتیگراد، برای این آسفالت‌ها قابل قبول است.

۴-۵-۳-۲ اجرای لایه آب‌بند

چنانچه قیر دمیده مذکور در ضخامت حدود ۶ میلی‌متر اجرا شود، یک لایه نفوذناپذیر بین لایه‌های آسفالتی ایجاد می‌کند. پخش قیر باید حدود ۷-۶ کیلوگرم در متر مربع و توسط قیرپاشهایی در فشار حداقل ۳۴۵ کیلو پاسکال (۳/۵ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع) قیر دمیده و درجه حرارت بین ۲۲۰-۲۰۰ درجه سانتیگراد انجام گیرد. برای حصول ضخامت مذکور، لازم است قیرپاشی در سه مرحله و در هر مرحله ۲-۲/۵ کیلوگرم در متر مربع اجرا شود.

چون قیر دمیده قیر سفتی است و بلافاصله پس از پخش سخت می‌شود، می‌توان بلافاصله قیر مرحله دوم را پخش کرد، زیرا به علت بالا بودن نقطه نرمی قیر، سفت شدن آن نیز تقریباً آنی خواهد بود. اما در هر صورت باید قبل از سرد شدن کامل، از رفت و آمد ماشین‌آلات از روی آن جلوگیری شود. میزان مصرف قیر دمیده در واحد سطح را به ازای هر بار قیرپاشی، باید با آزمایش سینی کنترل نمود.

۴-۵-۳-۳ مصالح پوششی روی لایه آب‌بند

پس از اجرای لایه آب‌بند، مصالحی که باید به عنوان پوشش روی آن ریخته شود در محل انبار می‌شود و سپس روی آن پخش می‌گردد. استفاده از ماشین‌آلات راهسازی برای پخش مصالح، مجاز نیست چون عبور این ماشین‌آلات از روی لایه آب‌بند، موجب خرابی لایه و سوراخ شدن آن می‌شود.

چنانچه مصالح، حاوی مصالح سنگی درشت‌دانه و تیزگوشه باشند، برای جلوگیری از سوراخ شدن لایه آب‌بند لازم است ابتدا لایه‌ای از ماسه نرم روی آن پخش شود. معمولاً نیازی به متراکم کردن این لایه پوششی نیست اما در صورت لزوم می‌توان از غلتک سبک برای صاف کردن و کوبیدن سطح آن به‌همراه گریدر که فقط روی مصالح پوششی باید حرکت کند و آن را تسطیح نماید، استفاده کرد که موجب هموار شدن سطح نهایی پوشش می‌گردد. اجرای صحیح لایه آب‌بند و مصالح پوششی روی آن، موجب دوام بیشتر سازه و در نهایت افزایش طول عمر مفید آن می‌گردد.

۴-۵-۶ طرح و اجرای ورقهای پیش‌ساخته آسفالتی

۴-۵-۶-۱ کلیات

ورقهای پیش‌ساخته آسفالتی، به طور عمده از قیرهای دمیده که با فیلر و مواد الیافی تقویت شده‌اند ساخته می‌شوند. اجزای مخلوط به صورت گرم با هم آغشته شده و با فشار، داخل قالب ریخته می‌شوند. پس از سرد شدن و بیرون آوردن از قالب، با قیر گرم و با ورقهای محافظ مانند شمع قیری پوشش داده می‌شوند.

دالهای پیش‌ساخته آسفالتی را می‌توان در ضخامتهای متفاوت تهیه کرد. ضخامت متداول حدود ۱۳ میلیمتر است ولی دالهای پیش‌ساخته با ضخامت کمتر تا حدود ۳ میلیمتر نیز تهیه می‌شوند. معمولاً طول دالها حدود ۳-۶ متر و عرض آنها حدود ۱/۲-۱ متر است. انتخاب این ابعاد برای تسهیل در حمل و نقل و جایگزین کردن آنها است.

ورقهای آسفالتی قابلیت انعطاف‌پذیری کافی برای هماهنگی با نشستهای غیر یکنواخت و ناهمواری‌های محدود سازه‌های آبی را دارند. اگر به خوبی نصب و محکم شده باشند، سختی لازم را نیز برای مقاومت در برابر هجوم آب و اثرات تخریبی امواج تأمین می‌کنند.

۴-۵-۶-۲ کاربرد

ورقهای پیش‌ساخته به طور عمده برای پوشش کف کانالهای آب، مخازن آب، فاضلاب و استخرها کاربرد دارند. همچنین برای پوشش دیواره سکوه‌های خاکریز و ترانشه‌ها نیز از آنها استفاده می‌شود. برتری ورقهای آسفالتی در آن است که می‌توانند در لایه‌ای با ضخامت کم، عمل پوشش و آب‌بندی سطوح را انجام داده و در عین حال اجرای آنها نیازی به ماشین‌آلات مخصوص ندارد.

همانند دیگر پوششهای آسفالتی، ورقهای پیش‌ساخته نیز هیچ اثر سویی روی بو، طعم و آلودگی آب ندارند.

۴-۵-۶-۳ ملاحظات طراحی

ورقهای پیش ساخته قابلیت انعطاف پذیری داشته و می توانند تا حدودی خم شوند و خود را با ناهمواری ها وفق دهند. اما این کار نباید بیش از میزان تحمل ورق صورت گیرد. به طور کلی باید از خم شدن آنها در قوسی با شعاع کمتر از ۳۰ سانتی متر جلوگیری کرد.

در شبیهها، ورقها را باید در قسمت بالای شیب به خوبی مهار کرد و یا در جهت مخالف خم نمود. برای حفاظت ورقهای اجرا شده روی شبیهها، بهتر است حداقل روی آنها را با مصالح ماسه‌ای با ضخامت ۱۵ سانتی متر پوشش داد. اتصال ورقها به یکدیگر باید توسط مواد درز پرکن انجام گیرد. قبل از پر کردن درزها، اغلب لازم است در محل درز اندود سطحی با قیر صورت گیرد. در اجرا و مصرف این ورقها باید از افراد دارای تجربه کار مفید استفاده کرد.

در صورت مصرف آنها در مخازن آب، نباید مخزن را به یکباره پر کرد. پر کردن باید تدریجی بوده و به ازای هر روز از ۱ متر تجاوز نکند تا ورقها فرصت کافی برای نشستن روی بستر زیری را پیدا کنند.

۴-۵-۶-۴ مراحل اجرا

مراحل اجرای کار نیاز به برنامه ریزی قبلی و نیز نقشه محل دارد. چگونگی قرار گرفتن ورقها کنار یکدیگر و محل درزها نیز باید پیش بینی شوند. سطح بستر کار باید به خوبی آماده سازی و هموار شود و در صورت لزوم تثبیت و تحکیم شده باشد.

ورقها به صورت موازی و کنار هم اجرا می شوند. در صورت کم بودن ضخامت و به منظور جلوگیری از ایجاد درز به عرض حدود ۱۵۰ میلیمتر آنها را روی هم قرار می دهند و در صورت زیاد بودن ضخامت، ورقها کاملاً کنار هم قرار گرفته و درز بین آنها با مواد ترک پر کن گرم یا سرد پر می شود. محل درزها باید قبل از پر شدن، تمیز و عاری از گرد و خاک و مواد آلاینده باشد.

۴-۵-۷ طرح و اجرای سایر رویه‌های قیری و آسفالتی

۴-۵-۷-۱ ماسه آسفالت

مخلوط ماسه آسفالت، ترکیبی است از ماسه و قیر که می‌تواند فیلر اضافی نیز داشته باشد. افزودن فیلر اضافی به مخلوط موجب افزایش درصد قیر مخلوط شده و دوام آن را افزایش می‌دهد. استفاده از ماسه آسفالت هم برای سطح نهایی و پوشش کانالها مفید می‌باشد و هم به عنوان لایه‌های زیرین آسفالتی در سازه‌های آبی کاربرد دارد. ضخامت این لایه‌ها تا حدود ۲۰ سانتی‌متر نیز می‌رسد و معمولاً روی آنها لایه‌ای از آسفالت با دانه‌بندی پیوسته نیز اجرا می‌شود. برای ساختن دیوارهای حایل در سواحل، از ماسه آسفالت استفاده می‌کنند.

برای عملیات فوق می‌توان از ماسه‌های موجود و محلی استفاده نمود. قیر مورد استفاده می‌تواند قیر ۶۰/۷۰ یا قیر سفت‌تر یعنی ۴۰/۵۰ باشد. درصد قیر ماسه آسفالت معمولی، حدود (۶٪) است و اگر حدود (۵٪) فیلر به آن اضافه شود، درصد قیر را می‌توان حدود (۸٪) افزایش داد. (نشریه ۱۲-MS انسیتیتو آسفالت)

ماسه آسفالت همانند برخی از مخلوطهای خاص که در بالا شرح داده شد، به طور کامل آب‌بند نیست، اما با انتخاب فیلرهای مختلف و انجام طرح اختلاط آزمایشگاهی با روش مارشال، می‌توان به آسفالت تقریباً بدون فضای خالی (که قابلیت کارایی لازم را هم داشته باشد) دست یافت. ماسه آسفالت گرم همانند سایر مخلوطهای آسفالتی، در کارخانه آسفالت تهیه می‌شود. این نوع آسفالت هنگامی که گرم است، قابلیت و کارایی مناسبی دارد و لذا می‌توان آن را به شیوه‌های دستی نیز در محل اجرا کرد. محدوده درجه حرارت آسفالت با دانه‌بندی پیوسته، ۱۶۳-۱۲۰ و با دانه‌بندی باز ۱۲۷-۱۰۵ درجه سانتیگراد است. (ASTM D3515)

عملیات تراکم لایه ماسه آسفالت، باید موقعی شروع شود که آسفالت تحمل وزن غلتک را داشته باشد و این شرایط مناسب موقعی تأمین می‌شود که درجه حرارت مخلوط کاهش یابد. برای انتخاب دانه‌بندی مناسب جهت ماسه آسفالت، می‌توان از دانه‌بندی مخصوص این آسفالت به شرح آیین‌نامه ASTM D3515 استفاده کرد.

۴-۵-۷-۲ اندود نفوذی

با اجرای اندود نفوذی، قیر در خلل و فرج کف کانالها یا خاکریزها نفوذ کرده و از نشت آب جلوگیری کرده و نفوذپذیری را کاهش می‌دهد. چنانچه سازه مورد نظر دارای استحکام کافی باشد، به مرور خلل و فرجهای جزئی، با رسوبات پر می‌شوند. در هر صورت فقط با انجام اندود نفوذی، نمی‌توان انتظار آب‌بندی کامل همانند اجرای لایه‌های بتن آسفالتی را داشت. کاربرد اندود نفوذی را در سازه‌های آبی می‌توان مشابه کاربرد آن در راهسازی دانست، یعنی پخش قیر روی مصالح غیر آسفالتی و سپس اجرای لایه آسفالتی روی آن به گونه‌ای که اتصال لایه آسفالتی به لایه‌های زیرین تأمین شود.

برای جزئیات مشخصات فنی و اجرایی و نوع قیرهای مورد مصرف در اندود نفوذی، به آیین‌نامه روسازی راه و مشخصات فنی عمومی راه تجدید نظر اول (نشریه ۱۰۱) دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور مراجعه شود. میزان قیر مصرفی به نوع مصالح یا خاکی که باید اندود شود بستگی دارد. مقدار پخش قیر نباید آنقدر کم باشد که به مقدار کافی نفوذ نکرده و خلل و فرج مصالح پر نشود و نه آنقدر زیاد باشد که قیر از سطح پوشش جاری شود. مقدار مصرفی را باید با آزمایش سینی کنترل نمود.

۴-۵-۷-۳ درزبند قیرآبه‌ای

از قیرآبه رقیق شده می‌توان برای درزبندی کانالها یا مخازن آب استفاده کرد. روش کار این است که قیرآبه را درون آب کانال یا مخازن می‌ریزند تا با ته‌نشین شدن ذرات قیر به همراه آب، خلل و فرجهای کانال یا مخزن پر شود. نتیجه بهتر هنگامی حاصل خواهد شد که آب تا حد امکان حالت ساکن داشته باشد، اما چنانچه این امر امکان‌پذیر نباشد، با ریختن قیرآبه در آب غیر ساکن نیز نفوذپذیری به تدریج کاهش خواهد یافت.

مقدار پخش به جنس لایه‌ها یا لایه‌های زیرین کار و نوع خاک بستر بستگی دارد، اما کاربرد حدود ۲/۵-۳/۵ کیلوگرم در متر مربع برای سطح تحت پوشش آب مناسب خواهد بود. در مخازن با آب ساکن چنانچه قیرآبه از نقاط مختلف مخزن به آن ریخته شود، توزیع امولسیون و اثر بخشی آن بیشتر می‌شود. درزبندی قیرآبه‌ای برای عملیات تعمیر و نگهداری نیز کاربرد دارد و باید هر ۳ یا ۴ سال تکرار شود.

۴-۵-۷-۴ تزریق قیر

منظور از عملیات تزریق قیر، کاربرد قیر با فشار و از طریق لوله به نقاط زیر سطح کانال یا خاکریز و غیره می‌باشد. با این عمل ترک‌های ریز و خلل و فرج‌های کوچک پر شده و نفوذپذیری کاهش می‌یابد. قیر مورد مصرف می‌تواند از نوع قیر دمیده و یا مخلوط قیرآبه و فیلر باشد. مخلوط آسفالت ماستیک (حاوی ماسه، فیلر و قیر با کندروانی پایین) نیز می‌تواند برای تزریق مورد استفاده قرار گیرد.

روش کار به این صورت است که درون سوراخهایی که توسط مته‌های بزرگ (نظیر گمانه‌زنی) حفر می‌شود، قیر گرم تحت فشار در خاک یا مصالح تزریق شود. لوله‌هایی که در گمانه‌ها وارد شده‌اند، دارای سوراخ اضافی هستند که با تزریق قیر ضمن پر شدن گمانه، خلل و فرج‌ها و حتی ترک‌های ریز خاک نیز پر می‌شوند. هنگامی که قیر گرم با فشار وارد شود، قیر پخش شده و سرد می‌شود که منجر به کاهش زیاد نفوذپذیری در برابر آب می‌گردد. چنان‌چه فشار تزریق زیاد باشد، پر کردن خلل و فرج ترک‌ها حتی در حضور و با پس زدن آب نیز صورت می‌گیرد.

۴-۵-۷-۵ درزبندی از زیر با قیر

درزبندی از زیر لایه با قیر، یک راه حل ارزان قیمت برای جلوگیری از تخریب لایه‌های بتنی است. در این روش قیر گرم با فشار به زیر لایه مورد نظر انتقال می‌یابد و خلل و فرج درزهای آن را پر می‌کند. قیر مصرفی از قیرهای خالص مورد مصرف در منطقه خواهد بود.

برای اجرای روش، لازم است سوراخهایی به قطر تقریبی ۴ سانتی‌متر به عمقی که به زیر لایه مورد نظر می‌رسد حفر گردد. هر سوراخ برای ۸ متر مربع مساحت کفایت خواهد کرد. قیر از طریق نازلی که رأس آن واشری آب‌بند قرار گرفته است، با فشار وارد لوله‌ای که عملیات حفاری توسط آن انجام می‌شود می‌گردد. فشار پمپ معمولاً حدود ۱۰۰ کیلو پاسکال است.

پس از تزریق و یا بیرون آوردن لوله تزریق، سوراخ توسط درپوش بسته می‌شود تا قیر سرد شود. سوراخها سپس با آسفالت پر شده و با چکش مناسب متراکم می‌شوند. باید توجه کرد تا لوله‌های فاضلاب یا لوله‌های آب‌رو زیرزمینی و نظایر آن، با قیر تزریق شده مسدود نگردند.

۴-۵-۶-۷ نمدهای قیری

منظور از نمدهای قیری، الیاف پارچه‌ای یا پلاستیکی قیری است که بعد از نصب دوباره توسط قیر پوشش می‌شوند. این نوع پوششها به نام لایه‌های قیری آب‌بند در مواردی همچون پوشش بام، پوشش سطوح پلها، پوشش مخازن آب و یا سازه‌هایی که نفوذناپذیری آنها در برابر آب کاهش یافته است کاربرد دارند.

روش نصب در این سیستمها معمولاً به این صورت است که مشمعهای قیری را روی سطح مورد نظر با میخ چوبی یا فلزی نصب و مهار نموده و سپس دوباره روی آن را قیرپاشی می‌کنند. برای حفاظت پوشش نهایی و نیز کاهش درجه حرارت سطح نهایی، می‌توان روی آن سنگ‌ریزه یا ماسه پخش کرد.

۴-۵-۷-۷ تشکهای آسفالتی مسلح

تشکهای آسفالتی شامل ورقهای پیش‌ساخته با آسفالت ماستیک که با کابل‌های فلزی و یا شبکه‌های سیمی مسلح شده‌اند می‌باشد که در انواع سازه‌های آبی کاربرد دارند. ضخامت تشکها بین ۲۵-۵۰ میلیمتر است که طول و عرض آنها بر حسب شرایط پروژه، ابعاد قالبها یا امکانات و وسایل نصب انتخاب می‌شوند. نقش اصلی این تشکها حفاظت سطوح پوشش شده، در برابر شسته شدن و تخریب ناشی از شدت جریان آب می‌باشد.

آسفالت ماستیک مصرفی برای تهیه تشکهای آسفالتی، مخلوط غلیظی است که از مصالح سنگی دانه‌بندی شده با ابعاد ۹/۵ میلیمتر، فیلر معدنی و قیر ۴۰/۵۰ یا ۶۰/۷۰ تشکیل می‌شود. الیاف پلاستیکی یا شبکه توری‌هایی که برای مسلح کردن این آسفالت مصرف می‌شود، این امکان را ایجاد می‌کند که تشکها را بتوان بعد از بیرون آوردن از قالبها، تا محل مصرف حمل و سپس نصب کرد.

۴-۶-۴ روسازی آسفالتی شبکه‌های ارتباطی، محوطه‌سازی‌ها و راهها

شبکه‌های ارتباطی، محوطه‌سازی‌ها و راهها در اسکله‌ها و باراندازها، اغلب دارای ترافیک سنگین و خیلی سنگین با سرعت کم وسایل نقلیه، زمان بارگذاری بیشتر و دور زدن با شعاع کم می‌باشند که

موجب تغییر شکل‌های زیادی در رویه آسفالتی می‌شود. در چنین شرایطی طراحی روسازی‌های آسفالتی برای این تأسیسات، باید با رعایت ویژگی‌های فوق انجام گیرد. به طور کلی مبانی طراحی روسازی آسفالتی و مشخصات فنی - اجرایی این نوع رویه‌سازی، طی آیین‌نامه روسازی راه، تشریح شده است که باید پایه و اساس طراحی در بنادر قرار گیرد و در صورت لزوم، از نشریه ۲۳-MS انستیتو آسفالت نیز استفاده شود.

◀ ۴-۷ آزمایش‌های کنترل کیفیت

برای کنترل کیفیت مصالح و کارهای انجام شده، از مصالح و مواد قبل از مصرف و هم چنین حین انجام کار و متناسب با پیشرفت آن، آزمایش‌های لازم باید به عمل آید. این آزمایش‌ها طبق استاندارد آستو یا ASTM و یا استاندارد ملی ایران می‌باشند. روش آزمایش‌های کنترل کیفیت برای مواد قیری، مصالح سنگی، مخلوط‌های آسفالتی و مصالح بسترسازی اولیه که پوشش‌های قیری و لایه‌های آسفالتی روی آن قرار می‌گیرند، به شرح زیر تفکیک شده‌اند. نوع و تعداد آزمایش‌ها در هر پروژه به تشخیص دستگاه نظارت تعیین می‌شود.

◀ ۴-۷-۱ مصالح زیرسازی

آزمایش‌های کنترل کیفیت مصالح مصرفی در زیرسازی‌ها و آماده کردن بستری که قیر و یا مخلوط‌های آسفالتی روی آن پخش و اجرا می‌شود، در جدول ۴-۵ ارایه شده‌اند.

جدول ۴-۵ آزمایشهای کنترل کیفیت عملیات زیرسازی

ردیف	شرح آزمایش	روش آشتو	روش ASTM
۱	نمونه‌گیری از مصالح	T86	D240
۲	هایدرومتری	T88	D422
۳	تعیین حد روانی خاک	T89	D4318
۴	تعیین حد خمیری خاک	T90	D4318
۵	تعیین انقباض خاک	T92	D427
۶	حداکثر وزن مخصوص خشک خاک (آشتو استاندارد)	T99	D698
۷	وزن مخصوص خاک	T100	D854
۸	حداکثر وزن مخصوص خشک خاک (آشتو اصلاح شده)	T180	D1557
۹	تعیین وزن مخصوص خاک در محل (روش مخروط ماسه)	T191	D1356
۱۰	تعیین وزن مخصوص خاک در محل (روش بالون پلاستیکی)	T205	D2167
۱۱	آزمایش CBR با تراکم T99 (آشتو استاندارد)	T193	-
۱۲	آزمایش CBR با تراکم T180 آشتو	-	D1883
۱۳	تعیین رطوبت مصالح	T265	D2216
۱۴	تعیین ذرات کوچکتر از الک ۲۰۰ (۷۵ میکرون)	-	D1140

۴-۷-۲ مواد قیری ◀

آزمایشهای مورد نیاز برای انواع مواد قیری مصرفی و نمونه‌گیری از این مواد، باید بر اساس آیین‌نامه روسازی راه و مشخصات فنی عمومی راه تجدید نظر اول (نشریه ۱۰۱) دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور انجام شود.

۴-۷-۳ مصالح سنگی ◀

آزمایشهای مورد نیاز مصالح سنگی مصرفی در عملیات آسفالتی، از مرحله نمونه‌گیری تا کنترل کیفیت، به شرح جدول ۴-۶ می‌باشد. نوع و تعداد آزمایشها به تشخیص دستگاه نظارت در هر پروژه تعیین می‌شود.

جدول ۴-۶ آزمایشهای کنترل کیفیت مصالح سنگی

ردیف	شرح آزمایش	روش آستو	روش ASTM
۱	نمونه‌گیری از مصالح	T-2	D75
۲	وزن واحد حجم	T-19	C231
۳	دانه‌بندی مصالح (ریزدانه و درشت‌دانه)	T-27	C136
۴	دانه‌بندی فیلر	T-37	D546
۵	وزن مخصوص مصالح ریزدانه	T-84	C127
۶	وزن مخصوص مصالح درشت‌دانه	T-85	C128
۷	مقاومت در برابر سایش با آزمایش لوس آنجلس	T-96	C151, C535
۸	مقاومت در برابر یخبندان - ذوب	T103	-
۹	سلامت سنگ‌دانه‌ها با سولفاتهای سدیم با منیزیم	T104	C88
۱۰	ارزش ماسه‌ای	T-176	D2419
۱۱	سختی سنگ‌دانه‌ها	T-189	-
۱۲	وزن مخصوص فیلر	T-100	-
۱۳	ضریب دوام مصالح سنگ‌دانه	T210	D3744
۱۴	تعیین درصد رطوبت مصالح با روش خشک کردن	T255	C566

◀ ۴-۷-۴ مخلوطهای آسفالتی

آزمایشهای کنترل کیفیت مخلوطهای آسفالتی و نمونه‌گیری از این مخلوطها، برای تکمیل به جدول ۹-۱۴ آیین‌نامه روسازی راه و جداول شماره ۲۵-۱۱ و ۲۵-۱۲ آیین‌نامه مشخصات فنی عمومی راه تجدید نظر اول (نشریه ۱۰۱) دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور مراجعه شود.

◀ ۴-۸ تعمیر و نگهداری

◀ ۴-۸-۱ مقدمه

عواملی که موجب خرابی‌های سطحی و سازه‌ای پوشش‌های آسفالتی می‌شوند، عملکرد تقریباً دایم و مستمری دارند. این عوامل می‌توانند ناشی از تغییر دمای محیط، رطوبت، بارگذاری، طرح و ساخت، نشست، جابه‌جایی و تغییر شکل در بستر زیرسازی و یا ضعف سیستم زهکشی آن باشند. آسیب‌دیدگی‌های آسفالتی به دو گروه عمده شامل خرابی‌های سازه‌ای و خرابی‌های سطحی تقسیم می‌شوند.

خرابی‌های سازه‌ای ناشی از فقدان توان باربری کافی می‌باشند که رویه آسفالتی دیگر نمی‌تواند بارگذاری بیشتری را تحمل نماید، در حالی که خرابی‌های سطحی بدون آن که به توان بارپذیری مربوط باشند، به اشکال مختلفی در سطح رویه ظاهر می‌شوند. تشخیص نوع آسیب‌دیدگی و علل ظهور آن از نظر انتخاب روش تعمیر و ترمیم و یا تقویت، دارای اهمیت زیادی است که باید مورد توجه قرار گیرد. خرابی‌های سازه‌ای و بنیادی پوشش آسفالتی را باید از طریق افزایش توان بارپذیری و تجدید طراحی رفع کرد، در مقابل خرابی‌های سطحی را می‌توان با نگهداری و تعمیر سطحی و یا اساسی اصلاح نمود.

◀ ۴-۸-۲ انواع آسیب‌دیدگی

آسیب‌دیدگی‌های آسفالتی در سازه‌های آبی را می‌توان به چهارگروه عمده زیر تقسیم کرد:

الف: ضعف سیستم زهکشی

ب: ترک

ج: تغییر شکل

د: خرد شدن و کنده شدن رویه

۴-۸-۲-۱ زهکشی

سیستم زهکشی مناسب و مطلوب برای حفاظت و دوام پوشش‌های آسفالتی در سازه‌های آبی و بندری، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. حضور دایم آب در این مناطق و تماس رویه‌های آسفالتی با آن، ایجاب می‌کند که به این موضوع توجه خاص مبذول شود.

بازدیدهای فصلی از سیستم زهکشی سطحی و یا عمیق و اجزای آنها، به منظور اطمینان از عملکرد صحیح سیستم یعنی تخلیه سریع آب از رویه آسفالتی و بسترهای زیرین آن، می‌تواند بسیاری از خرابی‌های ناشی از ضعف زهکشی را که در لایه‌های آسفالتی ظاهر می‌شوند برطرف نماید. این بازدیدها موجب می‌گردند تا از تجمع آب در لایه‌های زیر آسفالت و اطراف آن و در نتیجه کاهش توان باربری آن که تا (۵۰٪) هم می‌رسد جلوگیری شود. دستورالعمل‌های کلی این کار در مشخصات فنی عمومی راه تجدید نظر اول (نشریه ۱۰۱) دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور ارایه شده است که باید به عنوان راهنما مورد استفاده قرار گیرد.

۴-۸-۲-۲ ترکها

ترکها در پوشش‌های آسفالتی دارای اشکال مختلف هستند. برای آن که روش صحیح تعمیر آن انتخاب شود، لازم است دلایل بروز آنها مشخص گردد.

۴-۸-۲-۱-۲ ترکهای منفرد طولی و یا عرضی

این نوع ترکها به ۵ گروه زیر تقسیم می‌شوند:

الف: ترکهای مویی با عرض کمتر از ۶-۵ میلیمتر که پر کردن آنها با مواد پر کننده زیاد نیست. مگر آن که سطوحی که این ترکها را دربر گرفته‌اند، با قیرپاشی یا دوغاب قیری یا پخش قیر و بلافاصله پخش ماسه روی آن، روکش شوند. پوشش‌های سطحی فوق باید به اندازه کافی روان باشند تا بتوانند تا حدودی به داخل ترکها نفوذ کنند.

ب: ترکهای دارای عرض ۲۰-۵ میلیمتر که باید نخست با هوای فشرده تمیز شده و سپس با قیر و یا مواد پر کننده یا درزگیر پر شوند.

- ج: ترکهای متوسط با عرض ۲۵-۲۰ میلیمتر که فقط تمیز کردن و پر کردن آنها کافی است. گاهی اوقات در این موارد از نوارهای مخصوص پر کننده ترک نیز استفاده می‌شود.
- د: ترکهای بزرگ با عرض بیش از ۲۵ میلیمتر که باید بعد از پر کردن با دوغاب قیری یا بتن آسفالتی ریزدانه پر شود.
- ه: ترکهای متوسط و بزرگ که کناره آن خرد و شکسته شده نیز به تعمیر و لکه‌گیری عمقی نیاز دارند.

۴-۸-۲-۲ ترکهای موزاییکی

تغییر شکل در لایه‌های زیرین آسفالت، خستگی بیش از اندازه در رویه آسفالتی ناشی از بارگذاری و یا رویه‌سازی آسفالتی روی خاکهای ریزدانه دارای مقاومت کم و قابلیت تغییر شکل زیاد، موجب ظهور این نوع خرابی است. اگر ترک موزاییکی در سطح نسبتاً کمی ظاهر شده باشد، با اجرای لکه‌گیری عمیق می‌توان آن را اصلاح نمود و در صورتی که در وسعت و طول زیادی ایجاد شده باشد، برای تقویت آن باید از اجرای روکش با ضخامت زیاد استفاده کرد.

۴-۸-۲-۳ ترکهای انعکاسی

این ترکها، انعکاسی از ترکهای موجود در سطح اولیه آسفالت می‌باشند که بدون اصلاح آنها، رویه‌سازی آسفالتی انجام شده است. برای مرمت و تعمیر این ترکها، از قیر و یا قیر با پخش ماسه و یا گرد سنگ روی آنها، می‌توان اقدام نمود.

۴-۸-۲-۴ ترکهای انقباضی

این ترکها در اثر تغییر دمای محیط به وجود می‌آیند و گاهی نیز ناشی از نوع قیری است که برای منطقه مورد مصرف، سفت‌تر از حد لازم می‌باشند. این ترکها اول در سطح ظاهر شده و سپس به تدریج در تمام ضخامت لایه آسفالتی ظاهر می‌شوند. اصلاح این ترکها به نسبت عرض آنها که مشابه با روش شرح داده شده در بند الف بالا می‌باشد، کاربرد قیرهای با درجه حرارت بیشتر از قیر اصلی مصرفی در رویه آسفالتی، به عنوان مثال قیر ۸۵/۱۰۰ به جای قیر ۶۰/۷۰، می‌تواند مانع ظهور این نوع ترکها شود.

۴-۸-۲-۵ ترکهای ساخت و اجرا

این نوع ترکها به علت اجرای نادرست پخش آسفالت در سطح مورد نظر به وجود می‌آیند و به شکل باز شدن درزهای طولی بین دو خط پخش آسفالت ظاهر می‌شوند. وجود این درزها و ترکها موجب نفوذ آب و تشدید خرابی آسفالت می‌شود. علاوه بر آن این ترکها بین دو خط اجرای غیر هم‌زمان رویه آسفالتی نیز ظاهر می‌شوند. برای مرمت ترک موجود بین دو خط، باید آنها را مانند موارد مذکور در بالا تعمیر و اصلاح نمود. گاهی اوقات این نوع ترکها بین خط کناری پوشش آسفالتی موجود و شانه خاکی مجاور آن که بعد از مدتی آسفالت می‌شود، به وجود می‌آیند.

۴-۸-۲-۶ ترکهای برشی

این ترکها به موازات محور طولی رویه آسفالتی و با فاصله کمی از لبه روسازی نسبت به اطراف و کناره غیر آسفالتی به وجود می‌آیند که علت ظهور آن، عدم پایداری و استحکام برشی کافی در خاک یا مصالح مجاور رویه آسفالتی است. برای مرمت این نوع خرابی باید قبل از اقدام به تعمیر، مبادرت به رفع علت خرابی یعنی تحکیم و یا تعویض مصالح موجود در کنار رویه آسفالتی نمود و پس از آن با برداشتن قسمتهای ناپایدار روسازی و آسفالت و پر کردن آن با بتن آسفالتی گرم و قسمت خراب شده که دارای نشست احتمالی می‌باشد را ترمیم نمود.

۴-۸-۲-۷ ترکهای هلالی و یا لغزشی

ترکهای هلالی یا لغزشی به دلیل فقدان چسبندگی کافی بین دو لایه زیرین و لایه روی آن شکل می‌گیرد که بعد از اعمال بارهای وارده بر روی آن و نیروهای شدید افقی ناشی از ترمز کردن وسایل نقلیه در سطح پوشش آسفالتی، ظاهر می‌شوند. روش ترمیم این خرابی کندن قسمت ترک خورده، تمیز کردن و در صورت لزوم شستن لایه زیرین، اجرای اندود سطحی و در نهایت پخش آسفالت از نوع بتن آسفالتی و متراکم کردن آن می‌باشد.

۴-۸-۲-۳ تغییر شکل رویه آسفالتی

تغییر شکل رویه آسفالتی به اشکال مختلف در سطح آسفالت ظاهر می‌شود که انتخاب روش اصلاح و تعمیر، به علل خرابی بستگی دارد.

۴-۸-۲-۳-۱ نشست موضعی

این نوع نشست معمولاً بدون ظهور چاله حفره و یا ظهور ترک‌های عمیق و موزاییکی است که باید با آسفالت پر شده و پس از متراکم شدن به تراز سطوح مجاور و کمی بالاتر از آن برسد. پر کردن آسفالت در محل نشست به تناسب عمق نشست، باید لایه به لایه انجام شود.

۴-۸-۲-۳-۲ موج

این نوع خرابی به صورت موجی در جهت حرکت وسایل نقلیه در سطح رویه آسفالتی و به شکل شیارهایی که عمود بر محور رویه می‌باشند به وجود می‌آید. برای تعمیر این خرابی که علل متعددی شامل قیر زیاد، قیر نامتناسب و ناسازگار با آب و هوای منطقه، مصرف مصالح ریزدانه بیش از اندازه در مخلوط آسفالتی و یا وجود سنگ‌دانه گرد گوشه بیش از مقدار لازم دارند، باید بر حسب مورد اقدام نمود. به طور کلی باید اقدام به کندن و برداشتن کامل قسمت خراب شده رویه و جایگزین کردن آن با مخلوط آسفالت گرم مناسب نمود.

۴-۸-۲-۳-۳ تورم و انبساط

تورم از بالا آمدن قسمتی از پوشش رویه آسفالت در اثر افزایش حجم خاک و یا مصالح زیر بستر آسفالتی ناشی می‌شود که به طور عمده دو علت دارد:

الف: تورم ناشی از یخبندان

ب: تورم در اثر رطوبت

برای مرمت این خرابی باید پس از کندن و برداشتن کامل مصالح بخش متورم شده و تعویض آن با مصالح مناسب، سطح آسفالتی را اصلاح نمود.

۴-۸-۲-۴ خرد شدن و کنده شدن رویه آسفالتی

نمونه‌های زیر، بخشی از حالت‌های مربوط به این نوع خرابی‌های آسفالتی را نشان می‌دهد که برحسب مورد باید آن را تعمیر کرد.

۴-۸-۲-۴-۱ چاله و حفره

این نوع خرابی شامل ظهور چاله و گودی همراه با خرد شدن و کنده شدن رویه آسفالتی و لایه‌های زیرین آن می‌باشد. علت این خرابی کافی نبودن مقدار قیر مصرفی در پوشش آسفالتی، بالا بودن میزان رطوبت خاک، عمل نکردن سیستم زهکشی، بالا بودن تراز آب زیرزمینی و در نتیجه کاهش عمده در مقاومت بسترها و لایه‌های زیرسازی و روسازی است.

روش اصولی مرمت این نوع خرابی، رفع علل مذکور، کندن و پاک کردن چاله از مواد خارجی، آب و سنگ‌دانه‌های جدا شده، کوبیدن کف چاله، قیرپاشی و در نهایت پر کردن آن با مخلوط آسفالت گرم و کوبیدن آن است.

۴-۸-۲-۴-۲ جدا شدن دانه‌ها

جدا شدن سنگ‌دانه‌ها در بستر آسفالتی، می‌تواند ناشی از یک یا چند عامل از عوامل زیر باشد:

الف: اجرای پوشش آسفالتی در هوای سرد و مرطوب

ب: تراکم ناکافی رویه آسفالتی

ج: مصرف مصالح سنگی آلوده و کم‌دوام در رویه آسفالتی

د: کمبود مقدار قیر

ه: گرم کردن بیش از حد مخلوط آسفالت

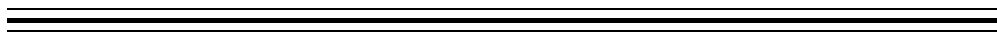
و: اکسید شدن و تغییر خواص قیر رویه (کهنه شدن قیر)

برای مرمت این نوع خرابی باید سطح خراب شده را به اندازه کافی قیرپاشی نمود و در صورتی که وسعت آسیب‌دیدگی زیاد باشد، با استفاده از یک لایه آسفالتی نازک به ضخامت ۱۵ میلیمتر، آن را روکش کرد.

◀ ۴-۸-۳ تعمیرات سازه‌های آسفالتی ویژه

برای تعمیر و نگهداری پوششها و رویه‌های آسفالتی سازه‌های بندری و دریایی که انواع متفاوتی نظیر آسفالت ماستیک، آسفالت متخلخل، آسفالت با دانه‌بندی باز، ماسه آسفالت و آسفالت‌های پیش‌ساخته مانند تشک‌های آسفالتی و پوشش‌های قیری مسلح با الیاف را شامل می‌شوند، باید بر حسب مورد اقدام نمود. به عبارت دیگر تعمیرات را با توجه به نوع قیر و مخلوط آسفالتی طرح شده در سازه اصلی انجام داده تا دوام و پایایی آن تأمین شود.

بدیهی است که استفاده از روکش‌های متداول تعمیر و نگهداری رویه‌های آسفالتی به شرح نشریه ۱۶- MS انستیتو آسفالت، به عنوان یک دستورالعمل کلی می‌تواند در چنین سازه‌هایی مؤثر بوده و قابلیت بهره‌دهی سازه را بهبود بخشد.



سنگ

« ۵-۱ تعریف

سنگ به قطعات جدا از هم یا توده‌هایی گفته می‌شود که از سنگ بستر نمایان شکسته و استخراج می‌شود یا از قطعه سنگها و تخته سنگهای موجود در آبرفتها به دست می‌آید و برای مقاصد ساختمانی به کار می‌رود. سنگ شکسته و خرد شده شامل کلیه سنگهایی است که شکل مشخصی ندارند، مانند آنهایی که به عنوان سنگ‌دانه شکسته و ریپرپ مصرف می‌شوند. سنگهای ریپرپ با طیف گسترده‌ای از دانه‌بندی وجود دارند.

آرمور پوشش سنگی بستر، کناره رودخانه، ساحل و یا خاکریز است که برای مقاومت در برابر فرسایش یا آبستکی ایجاد می‌شود. سنگ ریپرپ مصالحی است با اندازه‌های متفاوت که معمولاً کمتر از ۱۸۰۰ کیلوگرم وزن دارد و به طور ویژه انتخاب و دانه‌بندی می‌شود. چنانچه به خوبی ریخته شود، از فرسایش حاصل از عمل موج کوچک یا جریان‌ات شدید جلوگیری می‌کند و به این ترتیب شکل سطح، شیب و یا سازه زیرین را حفظ می‌نماید.

سنگ معدن آرمور شامل سنگهای شکسته نسبتاً بزرگی است که به طور نمونه، اندازه مشخصی دارد و بدون چسباننده برای موج‌شکن، اسکله و سنگ‌چین دیوار حایل مصرف می‌شود و برای مقاومت در برابر عمل فیزیکی آب مورد استفاده قرار می‌گیرد.

« ۵-۲ دامنه کاربرد

سنگ در ساخت سازه‌های ساحلی زیر به کار می‌رود:

- ۱- موج‌شکن
- ۲- صندوقه
- ۳- محافظ پاشنه
- ۴- اسکله
- ۵- دیوار ساحلی

در مناطق ساحلی، سنگ به عنوان مصالح جرمی برای استهلاک انرژی امواج و محافظت شیبهها در برابر فرسایش استفاده می‌شود.

◀ ۵-۳ دسته‌بندی

سنگهای مورد مصرف در سازه‌های دریایی و ساحلی که به طور عمده بر اساس ترکیب و بافت طبقه‌بندی شده‌اند، عبارتند از:

- ۱- گرانیت
- ۲- بازالت و سنگهای مشابه آن
- ۳- سنگهای کربناتی شامل سنگ آهک و مرمر
- ۴- ماسه سنگ
- ۵- سنگهای متفرقه (شامل چرت، کنگلومرا، گرین استون، سرپانتین، شیل، سنگ لوح، سنگهای آتشفشانی توفی و مرجان)

◀ ۵-۳-۱ گرانیت

طبق تعریف تجاری، گرانیت عبارت است از سنگی آذرین با دانه‌های مشخص متصل به هم، معمولاً دارای رنگی از صورتی تا خاکستری روشن یا تیره و به طور عمده متشکل از کوارتز و فلدسپات همراه با یک یا چند کانی تیره رنگ. بعضی از سنگهای آذرین تیره رنگ با آن که گرانیت به معنی خاص آن نیستند، ولی در این تعریف جای دارند. ممکن است در گرانیت میکا وجود داشته باشد. وجود میکا در مقادیر کم، مضر نیست اما در مقادیر زیاد صفحات ضعیفی را ایجاد می‌کند که نقطه آغاز برای متلاشی شدن سنگ است. اگر چه گرانیتها در بافت و ظاهر بسیار متفاوتند، متراکم بوده و تخلخل آنها کمتر از (۱٪) است. بیشتر سنگهای گرانیتی غیر هوازده، سخت، مستحکم، پر طاقت و مقاوم در برابر سایش، ضربه و حمله شیمیایی می‌باشند. میانگین وزن حجمی آنها در محدوده تقریبی ۲۴۳۰ تا ۲۷۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب قرار دارد. این ویژگیها، سنگهای گرانیتی را برای استفاده به عنوان ریپرپ و سنگ آرمور مناسب می‌سازد.

۵-۳-۲ بازالت و سنگهای مشابه

در استفاده تجاری، واژه بازالت در مورد هر سنگ آتشفشانی سیاه یا خاکستری تیره‌رنگ ریزدانه متراکم به کار می‌رود. این تعریف به طور معمول انواع سنگهایی را که زمین شناسان تحت عنوان داسیت، اندزیت، بازالت، تراکیت یا لایتیت طبقه‌بندی می‌کنند، شامل می‌شود. بلورها به طور عمده شامل فلدسپات و کانی‌های فرومنیزیمی می‌باشند که دامنه اندازه آنها از میکروسکوپی تا کاملاً مرئی گسترده است و اغلب درصد قابل ملاحظه‌ای مواد شیشه‌ای به همراه دارند.

بازالتها جزو سنگین‌ترین سنگها می‌باشند و میانگین وزن حجمی آنها به طور متوسط ۲۸۳۰-۳۱۴۰ کیلوگرم بر متر مکعب است. اما در بعضی از انواع آنها ممکن است فضاهای خالی کوچک (حفرات) وجود داشته باشند که باعث سبکی آنها می‌شود. سنگهای بازالت به طور مشخص سخت، مستحکم و بادوام‌اند، بنابراین برای مصرف به عنوان سنگ‌دانه، ریپرپ و سنگ معدن آرمور مناسب‌اند.

۵-۳-۳ سنگ کربناتی

زمین شناسان سنگهای کربناتی را به سه دسته زیر تقسیم می‌کنند:

- ۱- سنگ آهک که تقریباً تمامی آن از کلسیت CaCO_3 تشکیل شده است.
 - ۲- سنگ دولومیت که به طور عمده شامل کانی دولومیت $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ است.
 - ۳- سنگ مرمر که نوع بلورین دگرگون شده هر یک از این دو نوع است.
- بین سنگ آهک و دولومیت و بین مواد بسیار درشت‌دانه و ریزدانه تمامی انواع واسط وجود دارد. بیشتر سنگهای کربناتی حاوی مقداری ناخالصی غیر کربناتی نظیر کوارتز، چرت، کانی‌های رسی، مواد آلی، گچ و سولفیدها می‌باشند.

برای مصرف در سازه‌های دریایی، سنگ کربناتی در سازه‌های دریایی باید سالم، متراکم و نسبتاً خالص باشد. حدود تقریبی تخلخل سنگ آهک، (۱۵-۱٪) است. سنگ آهکها دارای وزن حجمی حدود ۲۵۹۰-۲۲۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب می‌باشند. میانگین وزن حجمی سنگ مرمر ۲۶۷۰-۲۵۱۰ کیلوگرم بر متر مکعب می‌باشد. سنگ کربناتی سخت، مستحکم و بادوام را می‌توان به عنوان سنگ‌دانه بتن، ریپرپ و سنگ آرمور مصرف نمود.

◀ ۵-۳-۴ ماسه‌سنگ

سنگی است رسوبی که به طور عمده از قطعات کانی و سنگ در اندازه بین ۰/۰۶-۲ میلی‌متر تشکیل می‌شود و حاوی حداقل (۶۰٪) ذرات سیلیسی است که با مواد مختلفی از جمله سیلیس، اکسیدهای آهن، کربنات‌ها و یا رس به درجات کم یا زیاد، به هم چسبیده‌اند و در پیرامون دانه‌های تشکیل دهنده شکسته شود. انواع ماسه‌سنگ را معمولاً بر حسب نوع مواد واسطه یا چسباننده نام‌گذاری می‌کنند، مانند ماسه‌سنگ سیلیسی (که ماده چسباننده به طور عمده سیلیس است)، ماسه‌سنگ آهنی (ماده چسباننده یا دانه‌های آواری را کربنات کلسیم تشکیل می‌دهند)، ماسه‌سنگ رسی (مواد چسباننده را به طور عمده کانی‌های رسی می‌سازند) و ماسه‌سنگ آهن‌دار (مواد چسباننده کانی‌های اکسید آهن نظیر هماتیت و لیمونیت می‌باشند که رنگ قرمز قهوه‌ای یا رنگ قهوه‌ای به سنگ می‌دهند).

مقاومت و دوام ماسه‌سنگ به طور عمده به نوع موادی که دانه‌ها را به یکدیگر می‌چسباند وابسته است. تنها ماسه‌سنگ کاملاً سخت شده که با سیلیس یا کلسیت سیمان شده برای مصرف به عنوان سنگ شکسته و خرد شده مناسب است. تخلخل ماسه‌سنگ زیاد و (۲۵-۵٪) می‌باشد. میانگین وزن حجمی آن در محدوده ۲۵۱۰-۲۱۲۰ کیلوگرم بر متر مکعب است.

◀ ۵-۳-۵ سنگ‌های متفرقه

انواع دیگر سنگ چنانچه آزمایش‌های دوام نتایج مطلوبی داشته باشند، ممکن است برای بعضی کاربردها در سازه‌های دریایی مصرف شوند که شامل موارد زیر می‌باشند.

۵-۳-۵-۱ چرت

واژه عمومی برای گروهی از سنگ‌های سیلیسی بسیار دانه‌ریز نهان بلورین به رنگ‌های متفاوت است که از کواتز ریزبلور یا نهان‌بلور و کلسدونی یا اپال، به صورت منفرد یا در ترکیبی از آنها تشکیل می‌شود. چرت‌های متراکم بسیار سخت هستند و معمولاً خاکستری، قهوه‌ای، قرمز و سفید و گاهی سبز، سیاه یا آبی رنگ می‌باشند. انواع متخلخل این سنگ معمولاً رنگ‌های روشن‌تری دارند و ممکن است محکم تا بسیار سست باشند.

استفاده از سنگ‌دانه‌های چرتی در ساخت بتن حاوی سیمان پرقلیا، فقط در صورتی مجاز است که اطلاعاتی مبنی بر واکنش‌زا نبودن این سنگها در دسترس باشد. چرت‌های متخلخل ممکن است مستعد تخریب در اثر یخ زدن و ذوب شدن باشند چرت سخت و متراکم برای ریپرپ کاملاً مناسب است اما انواع متورق یا متخلخل آن نباید برای واحدهای بزرگ سنگ آرمور استفاده شوند.

۵-۳-۲ کنگلومرا

سنگی است رسوبی متشکل از ریگها و قلوه‌سنگهای گرد گوشه در زمینه‌ای ماسه‌سنگی که به خوبی به هم چسبیده‌اند. انواع سنگهای کنگلومرا با درجات مختلف سخت شده‌اند که به طور عمده به طبیعت و مقدار مواد چسباننده (رس، کربنات کلسیم و اکسیدهای آهن یا سیلیس) در خمیره بستگی دارد. کنگلومرا برای ریپرپ یا سنگ آرمور مصرف نمی‌شود زیرا ذخایری از این سنگ که به حد کافی سخت شده باشند، کمیاب است.

۵-۳-۳ گرین استون (سنگ سبز)

سنگی است دگرگونی که دانه‌بندی ذرات آن نامناسب است و معمولاً رنگی از سبز تا سبز مایل به زرد یا سیاه دارد. گرین استون واژه‌ای است عام که مدتهاست برای هر سنگ آذرین دگرسان شده با ترکیب بازی یا فوق بازی (کم سیلیس) از جمله بازالت، دیاباز، گابرو و پریدوتیت به کار می‌رود. کانی‌های غالب در این سنگ سیلیکاتهای آهن، منیزیم و کلسیم می‌باشند مانند کلریت، آکتینولیت، اپیدوت، سرپانتین و تالک. گرین استون چگال و متراکم است و اگر از نظر فیزیکی سالم و از نظر اقتصادی در دسترس باشد، از آن می‌توان برای سنگ‌دانه، ریپرپ یا سنگ آرمور استفاده کرد.

۵-۳-۴ لوح

سنگی است دگرگونی ریزبلورین که عموماً از سنگ شیل به دست آمده و به طور عمده متشکل از میکاها، کلریت و کوارتز است. کانی‌های میکایی، جهت‌یابی شبه موازی دارند و در نتیجه رخ (کلیواژ) خوبی به سنگ می‌دهند که سبب می‌شود سنگ به ورقه‌هایی نازک اما سفت بشکند. این سنگ سخت بوده و تیره رنگ است. سنگ لوح عموماً برای استفاده به عنوان سنگ ساختمانی مناسب می‌باشد. چون

در زمان تشکیل در معرض فشار زیادی بوده، تخلخل کمی داشته و در نتیجه مقاومت زیادی دارد. مدول گسیختگی آن زیاد است و همچنین در برابر هوازدگی و سایش مکانیکی مقاوم می‌باشد. وزن حجمی آن در محدوده ۲۸۳۰-۲۶۷۰ کیلوگرم بر متر مکعب قرار دارد.

۵-۳-۵-۵ توف

واژه توف انواع سنگهای آتشفشانی آذرآواری را دربر می‌گیرد که اکثر آنها تحت عنوان توفهای ریولیتی، داسیتی یا رسوبات توفی طبقه‌بندی می‌شوند. بیشتر سنگهای توفی سخت‌اند. بعضی از سنگهای توفی به دلیل نرمی برای مصارف سنگ شکسته و خرد شده مناسب نیستند و نباید از این سنگها در کارهای دریایی استفاده شود.

۵-۳-۵-۶ مرجان

سنگهای مرجانی از بقایای موجودات دریایی موسوم به حفره‌داران که معمولاً به صورت گروهی رشد می‌کنند تشکیل می‌شوند. این سنگها از اسکلت مرجانهای گروهی به وجود می‌آیند و جنس آنها سنگ آهک است. در بعضی مناطق به دلیل در دسترس نبودن سنگهای مقاوم‌تر مانند گرانیت یا بازالت، ممکن است لازم شود از سنگ آهک مرجانی در سازه‌های ساحلی استفاده شود. این سنگها ممکن است تبلور مجدد یافته باشند که در این صورت مقاومت کافی در برابر خرد شدن مکانیکی و فرسایش داشته و برای استفاده در موج‌شکن یا دیوار ساحلی مناسب می‌باشند. سنگهای مرجانی نسبت به سنگهای کاملاً سخت و متراکم، مقاومت کمتری دارند و بنابراین باید هنگام استخراج و حمل آنها به محل مصرف توجه ویژه‌ای مبذول گردد.

۵-۴ طبقه‌بندی اندازه سنگها

سنگ شکسته و خرد شده شامل همه اندازه‌های سنگهای معدن است که محدوده وسیعی از اندازه‌ها را تشکیل می‌دهد. این سنگها از بلوکهای بزرگ (به وزن ۳۰-۲۵ تن) که برای سنگ آرمور به کار می‌روند تا سنگ‌دانه‌های ریز که برای ساخت بتن استفاده می‌شوند (کوچکتر از ۴/۵۷ میلیمتر) را دربر

می‌گیرند. سنگ در سازه‌های دریایی و ساحلی با توجه به اندازه دانه‌ها، به صورتهای زیر به مصرف می‌رسد:

الف: سنگ‌ریزی

از سنگ شکسته برای انواع خاصی از سنگ‌ریزی مانند هسته اسکله و دیوار ساحلی خشکه‌چینی استفاده می‌شود. سنگ سالم برای تولید مصالح سنگ‌ریز مناسب است. بعضی سنگهای هوازده نیز ممکن است برای این منظور مناسب باشند. سنگهایی که در طی انفجار، حفاری و حمل به اندازه‌های کوچک خرد می‌شوند، برای سنگ‌ریز مناسب نیستند. ممکن است برای فرآوری مصالح سنگ‌ریز آن را از روی سرند میله‌ای عبور دهند تا اندازه‌های ریز و بیش از حد بزرگ جدا گردد. مصالح سنگ‌ریز از معدن استخراج شده و به عنوان مصالح هسته در موج‌شکنها و اسکله‌ها استفاده می‌شوند. در این مصالح باید دانه‌بندی منطبق با جدول باشد.

ب: زیرلایه‌ها

طبقات زیرلایه معمولاً به طور مخلوط مورد مصرف قرار می‌گیرند و به عنوان بستر و نگهدارنده سنگ آرمور عمل می‌کنند. این مصالح می‌توانند دارای دانه‌بندی معینی باشند که باید توسط دستگاه نظارت تعیین شود. سنگهای مورد استفاده در زیرلایه‌ها (در مقایسه با سنگ آرمور) در واحد حجم هزینه کمتری دارند.

ج: سنگ بستر و سنگ فیلتر

سنگ فیلتر شامل سنگ خرد شده‌ای در محدوده اندازه ۴۲۵-۱۹ میلی‌متر (الک شماره ۴۰) و سنگ بستر شامل سنگ خرد شده‌ای در محدوده اندازه ۱۵۲-۱۲/۷ میلی‌متر است. فیلتر و بستر را می‌توان در دو لایه زیر سنگ‌چین قرار داد که ضخامت لایه فیلتر بین ۲۵۰-۲۰۰ میلی‌متر و ضخامت لایه بستر بین ۲۰۰-۱۵۰ میلی‌متر است.

◀ ۵-۵ انواع سازه‌های سنگی ساحلی

◀ ۵-۵-۱ موج‌شکن

سنگ، یکی از مصالح اصلی مورد استفاده در ساخت موج‌شکنها می‌باشد که آن را از هسته تا آرمور در مراحل و لایه‌های مختلف با دانه‌بندی‌های متفاوت مصرف می‌کنند. همه هسته‌ها از سنگ تشکیل نمی‌شوند اما وقتی هسته سنگی باشد، معمولاً از سنگ معدن نفوذناپذیر ساخته می‌شود. هسته با روکشی از مصالح فیلتر با دانه‌بندی مناسب پوشیده می‌شود تا از فرسایش و خارج شدن مصالح هسته در اثر عمل امواج و جریانها جلوگیری شود و بدون از دست رفتن مصالح، تغییرات فشار هیدروستاتیک در هسته امکان‌پذیر باشد. لایه بعدی معمولاً زیرلایه است که دانه‌بندی شده تا در برابر موج و عمل جریانهای پیش‌بینی شده مقاومت کند. لایه نهایی سنگ آرمور است که در منطقه‌ای جای می‌گیرد که امواج به موج‌شکن ضربه می‌زنند. سنگ آرمور دانه‌بندی می‌شود تا در اثر ضربه امواج پایدار باقی بماند. چنانچه امکان رسیدن امواج در هنگام توفان به بالای موج‌شکن وجود داشته باشد، سنگ آرمور باید در شیب مقابل نیز همانند سطح رو به دریا قرار داده شود. ارتفاع و عرض تاج به کاربرد مورد نظر و همچنین به میزان تخلخل سازه بستگی دارد. تخلخل یا میزان فضاهای خالی، در توزیع انرژی موج و کاهش بار ضربه امواج برخورد کننده به موج‌شکن اهمیت دارد. اندازه‌های سنگ آرمور در طراحی موج‌شکن، تابعی است از شیب، جرم ویژه سنگ، دوام و اندازه قطعات سنگ مورد نیاز و ارتفاع موج.

◀ ۵-۵-۲ دیوار ساحلی

دیوار ساحلی ساخته شده از سنگ لاشه، برای محافظت ساحل یا یک سازه ساحلی در برابر فرسایش ناشی از عمل موج یا جریان آب استفاده می‌شود. این دیوار ممکن است یک سازه دوزنقه‌ای وزنی باشد که پشت آن با مصالح ساحلی پر شود یا می‌تواند نوعی پوشش شیب‌دار برای کناره ساحلی خاکی، چوبی، فولادی یا بتنی باشد.

◀ ۵-۵-۳ صندوقه

به دلیل جرم ویژه و هزینه معمولاً کم، اغلب از خرده‌سنگ در ساخت صندوقه پی استفاده می‌شود. سنگهای مورد نظر باید به خوبی دانه‌بندی شده و عاری از لوم (رسماسه) و مواد آلی باشند تا بیشترین چگالی را داشته و مقدار نشست حداقل باشد و در مورد صندوقه محجوف، افت مصالح ناشی از عمل موج یا جریان آب به کمترین مقدار برسد.

◀ ۵-۵-۴ محافظ پاشنه

یکی از دلایل اصلی شکست یا آسیب سازه‌ای موج‌شکنها، ایجاد حفره در زیر پایه‌های سازه است. وقتی امواج به چنین سازه‌هایی ضربه وارد می‌کنند، نه تنها نیروی زیادی به سنگ آرمور یا سطح سازه قائم وارد می‌شود، بلکه ممکن است نیروهای بالا برنده قوی بر سنگ آرمور پایین‌تر و سنگ پاشنه اعمال کنند. بنابراین سنگ آرمور باید دارای پی کافی باشد تا در برابر نیروهای امواج مقاومت کند. مشکل دیگر، آشفته‌گی ایجاد شده در اعماق می‌باشد که در اثر برخورد مستقیم امواج در سازه ایجاد می‌گردد. این امر احتمالاً باعث آبشستگی ماسه کف شده و زیر سنگ پاشنه را خالی می‌کند. این عمل سبب فرو ریختن لایه آرمور و نمایان شدن سنگهای ریزتر لایه زیرین می‌گردد.

◀ ۵-۵-۵ اسکله

یک مانع مصنوعی طویل است که از یک ساحل یا کناره به داخل آب پیش‌آمدگی داشته و برای جلوگیری از تخریب یا آبشستگی ناشی از نیروهای جریان آب و امواج استفاده می‌شود. معمولاً اسکله‌ها عمود بر خط ساحلی‌اند. با این وجود به دلیل جهت‌های متغیر موج ممکن است امتداد آن تغییر یابد. به دلیل اعماق متغیر، قسمت‌های مختلف سازه ممکن است در معرض امواج قرار گیرند. بنابراین با طراحی دقیق، ارتفاع کل مقطع عرضی و اندازه سنگ آرمور را می‌توان تغییر داد تا سازه‌ای اقتصادی بنا شود. از آنجا که اسکله‌ها برای دسترسی بندر به دریا مورد استفاده قرار می‌گیرند، ممکن است در معرض جریان رودخانه‌ای یا جزر و مدی یا ترکیبی از جزر و مد و جریان رودخانه‌ای قرار گیرند. این عامل باید به ویژه در طراحی پاشنه‌های سازه، به دقت مورد توجه قرار گیرد. اسکله‌ها باید در برابر ماسه نفوذناپذیر باشند.

۵-۶ ارزیابی سنگ مورد استفاده

روش کار خاص مورد استفاده در آزمایش‌های آزمایشگاهی به نوع سنگ، خصوصیات آن، ترکیبات کانی‌ها، ساختار در مقیاس کوچک و بزرگ، اندازه قطعات، شرایط رویارویی در محل مصرف و شاید مهم‌تر از همه، مصرف مورد نظر بستگی دارد. این آیین‌نامه وارد جزئیات روش‌های آزمایشگاهی مورد نیاز نمی‌شود بلکه به آنها اشاره می‌کند زیرا فرض بر این است که ارزیابی سنگ مورد استفاده در سازه‌های دریایی و ساحلی توسط افراد متخصص و با تجربه انجام می‌شود و پارامترهای ضروری برای سنگ مورد نظر به وسیله آنها معین می‌گردد.

ارزیابی و تعیین مناسب بودن سنگ برای سازه‌های دریایی و بندری از سه بخش تشکیل می‌شود:

۱- بررسی‌های صحرایی

۲- بررسی‌های سنگ‌شناسی

۳- آزمایش‌های آزمایشگاهی

بررسی صحرایی جزء اصلی ارزیابی سنگ مورد استفاده برای پروژه‌ها و سازه‌های ساحلی است. متخصص زمین‌شناس که بررسی صحرایی را انجام می‌دهد، باید درباره مصرف سنگ مورد نظر، اندازه قطعات مورد نیاز و محیطی که سنگ در معرض آن قرار می‌گیرد دانش کافی داشته باشد. همچنین باید با آزمایش‌های آزمایشگاهی که انجام آنها لازم است، آشنایی داشته باشد تا نمونه‌های مناسب برداشته شود.

۵-۶-۱ بررسی‌های صحرایی

در بررسی‌های صحرایی، موارد زیر تعیین می‌شود:

الف: نوع معدن و طرح توسعه آن، روش‌های انفجاری و بازرسی و ارزیابی برای مصرف در محل مورد نظر

ب: سنگ‌شناسی عمومی و در صورت امکان واحد زمین‌شناسی و عمر آن

ج: یکنواختی در سراسر معدن مورد نظر (باید به طور ویژه به رخساره‌های چینه‌شناسی، دگرگونی و

فازهای هوازدگی و گسترش جانبی هر یک توجه نمود.)

د: شیب و امتداد لایه‌بندی، جهت‌یافتگی خطی (لیناسیون) و یا هر دو باید مورد توجه قرار گیرند. همچنین شیب و امتداد هر مشخصه ساختاری، بخشهای برشی شده، جدایش، مشخصه‌های حل‌شدگی در آب، شیب‌توزیته، تورق، درزها، گسلها، چین‌خوردگی‌ها، دایکها، رگه‌ها و غیره باید مشخص شوند.

ه: ضخامت طبقات و وجود فاصله بین هرگونه طبقات و رخساره‌های خوب سخت نشده (فاصله بین هر قسمت منظم ضعف مانند درزها، رگه‌های پر شده از مواد سست و غیره باید گزارش شوند، زیرا کنترل کننده اصلی اندازه قطعات قابل دسترس است). باید توجه ویژه‌ای به سنگهایی که برای مدت طولانی در معرض عوامل جوی قرار داشته‌اند مبذول گردد تا میزان استحکام و دوام آنها شناسایی شود.

و: هر نمونه‌ای از سنگ معدن که در شرایط مشابه مصرف مورد نظر یا در شرایط طبیعی موجود به کار رفته، باید مورد تحقیق قرار گیرد تا شواهدی در مورد دوام به دست آید. در ارتباط با این بررسی، وجود مورد طبیعی این سنگ در محل‌های شبیه به مصرف مورد نظر، باید جستجو شده و بررسی گردد.

ز: باید از محل معدن عکس‌برداری انجام شود. نمونه‌برداری و نشانه‌گذاری محلی که از آن نمونه برداشته می‌شود، رخساره‌ها یا واحد چینه‌شناسی و موقعیتهای آنها باید به طور دقیق مشخص گردند.

ح: در صورت امکان نمونه‌ها باید شامل قطعاتی با اندازه مورد نیاز در کاربرد نهایی سنگ باشند. تعداد نمونه‌ها و تعداد قطعات سنگ در هر نمونه و آزمونه‌هایی که برای استفاده در آرشو برداشته می‌شوند، به طبیعت سنگ، مقدار مصالح مورد نیاز برای سازه دریایی و تغییرات سنگ در توده پیشنهاد شده برای استفاده بستگی دارند. نمونه‌های انتخاب شده برای آزمایش باید نماینده‌ای از سنگ مورد استفاده در پروژه باشند. نمونه‌ها باید دارای چنان ابعادی باشند که خرد شدن آزمونه‌ها را قبل از آزمایش به حداقل برسانند، به استثنای آزمونه‌هایی که قبل از بررسی یا آزمایش باید بریده شوند. این‌گونه آزمونه‌ها را می‌توان از نمونه‌های بزرگتر برداشت نمود.

ط: نمونه‌ها را می‌توان از نمای خارجی معدن، سنگهای حاصل از انفجار یا مصالح آماده پای کار برداشت کرد. نمونه‌های حاصل از انفجار یا انبار ماده معدنی، باید با واحدهای چینه‌شناسی قابل رؤیت در نمای خارجی معدن مقایسه شوند. نیازی به نمونه‌برداری از واحدهای چینه‌شناسی نرم یا شکسته که در طی انفجار به اندازه‌های کوچک در آمده‌اند و به صورت باطله حاصل شده‌اند، وجود ندارد. محصول نهایی نمونه‌هایی از معدن توصیه شده است.

۵-۶-۲ بررسی‌های سنگ‌شناسی

جزئیات روشهای مورد استفاده در بررسی‌های سنگ‌شناسی، باید توسط سنگ‌شناس تعیین شود و در این امر طبیعت سنگ و هدف در نظر گرفته شده مورد توجه قرار گیرد.

۵-۶-۲-۱ بررسی‌های استریو میکروسکوپی

با این روش باید نمونه‌های دستی و صفحات کوچک نازک، سطح نمونه‌های مغزه و غیره را برای تشخیص مشخصه‌های ظاهری مؤثر بر دوام سنگ مورد بررسی قرار داد. این بررسیها اغلب انتخاب یا آماده‌سازی سنگ یا هر دو را برای مطالعه با میکروسکوپی با قدرت بیشتر نیز شامل می‌شود. تشخیص اولیه ترکیب کانی‌ها و نام سنگ‌شناسی سنگ را می‌توان مطابق آیین‌نامه ASTM C294 انجام داد. الگوهای ترکهای کوچک و بزرگ باید مشخص گردند. کیفیت عمومی شامل درجه و نوع هوازدگی، سخت‌شدگی و سماتته شدن یا ترکیبی از آنها باید معین شود. وجود هرگونه ضعف، رگه‌های رسی، جداشدگی، ساختارهای متخلخل و یا برش ریزدانه باید تشخیص داده شوند. مشخصه‌های جهت‌یافتگی یا مشخصه‌های مربوط به تحولات زمین، مانند لایه‌بندی، تورق، شیب‌توزیته، ریزچین‌خوردگی، ساختارهای جریانی و ریزترکها باید معین گردند.

۵-۶-۲-۲ بررسی‌های با میکروسکوپ سنگ‌شناسی

بررسی با میکروسکوپ (پلاریزان) سنگ‌شناسی با تشخیص سنگ‌شناس، شامل مطالعه دانه‌ها، تیغه‌های نازک (که ممکن است با اسید کنده‌کاری شود، رنگ‌آمیزی گردد و یا هر دو) و مقاطع صیقلی کوچک است. با استفاده از میکروسکوپ سنگ‌شناسی، اطلاعات مفصل‌تری که در بخش بررسی‌های

استریو میکروسکوپی به دست آمد حاصل می‌شود. علاوه بر آن امکان مطالعه ریزبافت و درجه در هم قفل شدن بلورها یا ذرات رسوبی وجود دارد. در صورت تمایل، شمارش نقاط را می‌توان برای تعیین درصد‌های نسبی کانی‌های اصلی انجام داد. این امر ممکن است به تعیین کلاسیک نوع سنگ منتج گردد. اتیلن گلیکول را می‌توان به عنوان یک روش مکمل برای سنگهای آذرین حاوی مونت‌موریلونیت استفاده کرد که علامت خوبی برای تخریب بعدی به دست می‌دهد. در صورت استفاده، نمونه‌های سنگ باید از ۲/۵ سانتی‌متر (کوچکترین بعد) بزرگتر باشند و باید برای حداقل ۱۵ روز در محلول اتیلن گلیکول قرار گیرند.

برای تشخیص مونت‌موریلونیت، همچنین می‌توان از آزمایش جذب متیلن بلو MBA استفاده کرد. این روش به ویژه وقتی کاربرد دارد که مقدار کمی از پر شدگی درز یا ترک قابل دسترس باشد، چون آزمایش تنها به ۲ گرم نمونه نیاز دارد.

به طور کلی بررسی میکروسکوپی سنگها شامل تعیین کلیه مشخصاتی است که آنها را نمی‌توان با آزمایشهای ماکروسکوپی یک نمونه سنگ معین نمود. این موارد عبارتند از:

الف: نوع و میزان کانی‌های موجود

ب: اندازه دانه‌ها

ج: بافت

د: تعیین میزان هوازدگی یا دگرسانی

هـ: شکستگی‌های میکروسکوپی

و: تخلخل

◀ ۵-۶-۳ آزمایشهای آزمایشگاهی

معمولاً آزمایشهای آزمایشگاهی دوام را به دو دسته زیر تقسیم می‌کنند:

الف: آزمایشهایی که هوازدگی تسریع شده را شبیه‌سازی می‌نمایند.

ب: آزمایشهایی که خواص فیزیکی را اندازه می‌گیرند.

به طور کلی آزمایشهای هوازدگی تسریع شده که دوام سنگ را ارزیابی می‌کنند عبارتند از:

الف: تر و خشک شدن

ب: یخ زدن و آب شدن

ج: سلامت با سولفات سدیم و منیزیم

در حال حاضر، اتفاق نظر در مورد این که کدام آزمایش بهترین معرف عملکرد صحرائی واقعی است وجود ندارد. انتخاب آزمایش یا آزمایشهای لازم بر اساس تجربه، مصرف ویژه سنگ و عمر طراحی مورد نیاز انجام می‌شود. جدول ۵-۱ فهرست آزمایشهای اجباری و جدول ۵-۲ فهرست آزمایشهای اختیاری سنگ مورد استفاده در سازه‌های ساحلی و دریایی را ارائه می‌دهند.

جدول ۵-۱ آزمایشهای اجباری سنگ مورد استفاده در سازه‌های دریایی و ساحلی

عنوان روش آزمایش استاندارد	روش آزمایش استاندارد	نوع آزمایش
وزن مخصوص انبوهی و جذب آب سنگ‌دانه درشت	ASTM C127	وزن مخصوص انبوهی
وزن مخصوص انبوهی و جذب آب سنگ‌دانه درشت	ASTM C127	جذب آب
مقاومت فشاری تک‌محوری نمونه‌های مغزه سنگ دست نخورده	ASTM D2938	مقاومت فشاری
آزمایش صفحات سنگ برای ارزیابی سلامت برای مصرف در سنگ‌چین با استفاده از سولفات سدیم یا منیزیم	ASTM D5240	سلامت
دوام به وارفتگی شیلها و سایر سنگهای ضعیف	ASTM D4644	دوام در برابر وارفتگی
مقاومت در برابر سایش سنگ‌دانه درشت توسط سایش و ضربه در دستگاه لس‌آنجلس	ASTM C535	سایش

جدول ۵-۲ آزمایشهای اختیاری سنگ مورد استفاده در سازه‌های دریایی و ساحلی

عنوان روش آزمایش استاندارد	روش آزمایش استاندارد	نوع آزمایش
خواص مکانیکی سنگ‌دانه‌ها	BS 812 ,PART 3	ارزش خرد شدن
خواص مکانیکی سنگ‌دانه‌ها	BS 812 ,PART 3	ارزش ضربه سنگ‌دانه
خواص مکانیکی سنگ‌دانه‌ها	BS 812 ,PART 3	ارزش سایش سنگ‌دانه
خواص مکانیکی سنگ‌دانه‌ها	BS 812 ,PART 3	ارزش (٪۱۰) ریزدانه

جزئیات آماده‌سازی نمونه‌ها برای آزمایشهای آزمایشگاهی، باید طبق استاندارد مربوطه انجام گیرد. اطلاعات ارزشمندی را می‌توان با مشاهده دقیق و عینی نمونه‌هایی که به آزمایشگاه ارسال شده‌اند به دست آورد. آزمایشهای موضعی با اسید و رنگها اغلب ترکیب اصلی را نشان می‌دهند. ساختار ریز یک آزمون را اغلب می‌توان با کنده‌کاری با اسید و صیقلی کردن، یا لک کردن یا ترکیبی از آنها بر روی سطح بزرگ، قابل رؤیت نمود. این روشها اغلب نشان می‌دهند که چه آزمایشهای دیگری را بر روی نمونه‌ها باید انجام داد و بنابراین چه روشهای آماده‌سازی مورد نیاز خواهند بود.

۵-۶-۴ گزارش

گزارش تحقیقات صحرایی، بررسیهای سنگ‌شناسی و آزمایشهای آزمایشگاهی، باید اطلاعات اساسی مورد نیاز در مورد ذخیره و نوع مصرف پیشنهاد شده را به طور خلاصه ارائه دهند. علاوه بر این باید شامل اطلاعات اساسی در مورد ترکیب و خواص مواد به صورتی که توسط برنامه ارزیابی مشخص شده است باشند. گزارش باید به روش بررسی و هر روش آزمایش به کار رفته اشاره کند و توصیفی از طبیعت و مشخصات هر تشکیل دهنده مهم نمونه را همراه با جداول و عکسهای مورد نیاز ارائه کند. در توصیف گسترش جانبی و عمودی یا حجم سنگ مورد قبول ذخیره، باید جمله‌ای باشد که آیا سنگ قابل قبول به قدر کافی در محل ذخیره وجود دارد که کار مورد نیاز را تکمیل کند یا خیر؟ همراه با تعیین حجم سنگ مورد قبول معدن، لازم است مشخص شود که این حجم برای پروژه مورد نظر کافی است یا خیر؟

اگر مشخص شده است که سنگ دارای خواص یا تشکیل دهنده‌هایی است که اثرات نامطلوب خاصی بر سنگ دارند، این عوامل باید به طور کیفی و تا حد امکان به طور کمی بیان شوند. باید به اثرات نامطلوب که ممکن است بعداً به وجود آیند اشاره گردد. این امر شامل هرگونه اطلاعات عملکردی در مورد سنگها یا کانی‌های مشکوک است. گزارش باید شامل توصیه‌هایی در مورد تحقیقات تکمیلی فیزیکی، شیمیایی، سنگ‌شناسی یا زمین‌شناسی باشد که ممکن است برای ارزیابی خواص نامطلوب لازم باشد. تحقیقات سنگ‌شناسی تکمیلی ممکن است شامل آنالیز کمی یا کیفی سنگ با دیفراکسیون اشعه ایکس، آزمایشهای حرارتی جزء به جزء یا سایر روشهای تعیین و توصیف تشکیل دهنده‌های سنگ باشد.

۵-۶-۵ ویژگیهای استاندارد و ارزیابی نتایج

گروه‌های اندازه‌ای استاندارد مندرج در جدول ۵-۳، یک مرجع عمومی برای طراحان، پیمانکاران و تولید کنندگان در مورد دانه‌بندی مصالح مورد استفاده در سازه‌های ساحلی و دریایی است. طراحان باید نتایج تحقیقات بر روی مصالح و آزمایشهای مربوط به آنها را بررسی نمایند تا مشخص شود کدام معدن سنگ موجود در منطقه مناسب می‌باشد و روش آتش‌باری و جداسازی مطلوب برای رسیدن به دانه‌بندی مورد نیاز را تعیین نمایند. تنها ذخایری که توسط گروه طراح فهرست می‌شود، باید در پروژه مورد استفاده قرار گیرد.

گروه‌های اندازه‌ای استاندارد که در این آیین‌نامه ارائه شده‌اند، برای سطوح محافظت کننده و سازه‌هایی که برای کنترل فرسایش طراحی می‌شوند مناسب می‌باشند. این مشخصه‌های اندازه برای سازه‌های دریایی و ساحلی زیر استفاده می‌شوند:

- ۱- اسکله‌ها
- ۲- پوشش خاکریز
- ۳- سپر آب‌شکن
- ۴- دیوار ساحلی
- ۵- روکش نهرهای زهکشی یا آبیاری
- ۶- پلها

۷- دیواره کانالهای آب

۸- گابیونها

۹- محافظت شیب سدهای خاکی و سنگریز

در جدول ۳-۵ گروه‌های اندازه‌ای استاندارد برای سنگ مورد استفاده در کنترل فرسایش بر اساس وزن تعریف شده‌اند و ابعاد معادل نشان داده نشده‌اند. برای محاسبه ابعاد، فرض می‌شود سنگ به شکل یک مکعب، کره، کره کشیده شده یا ترکیبی از این اشکال باشد. در جدول ۴-۵ اطلاعات تکمیلی برای تبدیل ابعاد تقریبی به وزن، برای دانه‌بندی سنگ ارائه شده است.

گروه‌های اندازه‌ای مشخص شده در این آیین‌نامه را می‌توان با هر روش اقتصادی و مناسب معدن‌کاری، تولید نمود. می‌توان از هر نوع وسیله دانه‌بندی، دستگاه سرنده میله‌ای با شکلها و اندازه‌های مختلف، سرنده با دهانه‌های گوناگون یا ترکیبی از آنها که برای ایجاد اندازه‌های مورد نیاز در داخل محدوده‌های دانه‌بندی (جدول ۳-۵) لازم است استفاده نمود.

سنگ باید به طور مناسبی دانه‌بندی شود و برای هر گروه، اندازه در داخل محدوده‌های منحنی دانه‌بندی قرار گیرد. منحنی دانه‌بندی که از طرف درشت منحنی شروع شده و به طرف ریز منحنی ختم می‌شود، دانه‌بندی گسسته شناخته شده و قابل قبول نیست.

بهترین اطلاعات برای ارزیابی سنگ مورد استفاده در سازه‌های دریایی، بررسی سابقه عملکرد آنها می‌باشد. اگر سنگی قبلاً مورد مصرف قرار نگرفته است، معدن باید مورد بازدید قرار گیرد و رخنه‌های سطحی قدیمی آن، برای شناسایی هوازدگی بررسی شوند.

برنامه بررسی‌های صحرائی و پس از آن آزمایش‌های آزمایشگاهی، باید با توجه به هدفی که برای سنگ در نظر گرفته شده، خلاصه اطلاعات موجود در مورد سنگ منشأ را به دست دهند. گزارش‌های سازمان زمین‌شناسی، شرکت‌های مشاور ساختمانی و معدنی و دانشگاهها در مورد سنگهای منطقه مورد نظر، معمولاً منابع اطلاعاتی خوبی را تشکیل می‌دهند. باید با مهندسان زمین‌شناس محلی نیز مشورت نمود و اطلاعات مربوط به محل ذخیره و پروژه‌هایی که در آنها سنگ مورد نظر مصرف شده است را به‌دست آورد. خلاصه گزارش ممکن است شامل موارد زیر باشد:

الف: نوع سنگ

ب: توصیف سنگ‌شناسی

ج: آزمایش‌های انجام شده در گذشته

د: خصوصیات ساختاری و ترکیبی که بر سنگ در کاربرد مورد نظر اثر می‌گذارد.

پیچیدگی وسعت ارزیابی سنگ مورد استفاده در سازه‌های دریایی و بندری، به الزام‌های طراحی و اندازه هر طرح، کمیت و کیفیت سنگ مورد نیاز و خطر خسارات مالی یا جانی بستگی دارد. تمامی روش‌های ارزیابی ارایه شده در این آیین‌نامه، برای کلیه پروژه‌ها مورد نظر نیست. برای بعضی کارهای کوچک کم اهمیت، بازرسی چشمی سنگ ممکن است تنها کار ضروری باشد. کلیه روش‌های ارزیابی فهرست شده در این آیین‌نامه، ممکن است در پروژه‌های بزرگ، پیچیده و خطرآفرین ضروری باشند. میزان و تعداد آزمایش‌های ارزیابی در هر پروژه باید توسط طراح تعیین گردد.

آزمایش سنگ در محل ذخیره، ارزیابی سنگ مشابهی که در محل کاربرد در معرض عوامل جوی قرار داشته است و همچنین آزمایش‌های آزمایشگاهی، ممکن است برای تعیین خواص سنگ در ارتباط با پیش‌بینی عملکرد در محل مصرف مورد نظر ضروری باشد. بررسی سنگ در محل ذخیره برای ارزیابی آن لازم است و به برنامه‌ریزی آزمایش‌های آزمایشگاهی بعدی کمک می‌کند. در سازه‌های ساحلی و دریایی، قطعات بسیار بزرگ سنگ تا وزن‌های چند تن مصرف می‌شوند. بنابراین باید در برنامه نمونه‌برداری دقت شود تا بخش‌های ناخالص یا ضعیف (که ممکن است در نمونه‌های با اندازه معمولی وجود نداشته باشند) گزارش شده و زیان آن تحت شرایط مصرف مورد نظر ارزیابی شود. لازم است که روش مورد نظر برای استخراج بررسی شود تا معلوم گردد آیا نمونه‌های تهیه شده با آتش‌باری، حمل و وضعیت هوازدگی آنها با سنگی که در نهایت مورد استفاده خواهد بود انطباق دارد یا خیر. سنگ باید سخت، دارای دوام مناسب و کیفیت عالی و عاری از بافت ورقه‌ای و صفحات کلیواژ ضعیف باشد و چنان مشخصاتی داشته باشد که در برابر عمل هوا، آب، تر و خشک شدن، یخ زدن و آب شدن و ضربه ناشی از امواج، متلاشی و فرسوده نشود. سنگ باید بدون آن که بشکند و آسیب بیند، قابل حمل و مصرف باشد. بعد حداکثر عموماً نباید بیش از دو برابر بعد حداقل و هرگز نباید بیش از سه برابر بعد حداقل باشد.

در انتخاب منابع سنگ مناسب، اولین گزینه باید سنگ آذرین باشد که معمولاً بادوام‌ترین است. انتخاب سنگهای دگرگونی و رسوبی به توجه بیشتری نیاز دارد ولی بهترین منابع می‌توانند مصالح مناسبی فراهم آورند.

سنگها باید سخت، زاویه‌دار یا نیمه زاویه‌دار بوده و دارای چنان کیفیتی باشند که در معرض آب یا هوازدگی، طی عمر مشخص شده سازه متلاشی نشوند. سنگ باید عاری از شکستگی‌ها، جدایش شیلی، مواد زیان‌آور و خاک (شامل رسها) باشد. طراحان باید ضوابط پذیرش را بر اساس الزامهای هر پروژه، جداگانه تعریف کنند.

بررسیهای میدانی و سنگ‌شناسی همراه با آزمایشهای آزمایشگاهی مناسب برای کنترل کیفیت سنگ مورد استفاده در سازه‌های دریایی، در محل معدن و هم در محل اجرا به کار می‌روند. باید مناطق یا بخشهایی از سنگ، طبقات یا رخساره‌های نامناسب ناشی از هوازدگی، دگرسانی، ضعف ساختاری، تخلخل و سایر خصوصیات زیان‌آور، مشخص و در نقشه‌ای ترسیم گردند.

مشخصات سنگی که قرار است در سازه‌های ساحلی به کار رود از اهمیت درجه اول برخوردار است. مصالح را می‌توان از هر ذخیره محلی مورد قبول تأمین نمود. مصالح یک ذخیره جدید را باید برای تعیین کیفیت و رد یا پذیرش، مورد آزمایش قرار داد.

هنگامی که پیمانکار خواستار مصرف مصالح از یک ذخیره جدید آزمایش نشده است یا اگر کارفرما رأی به آزمایش دوباره ذخیره مورد پذیرش قبلی بدهد، باید نمونه‌های مناسب برای ارزیابی کیفی تحت نظارت خاص توسط پیمانکار برداشته شوند. نمونه‌ها جهت انجام آزمایشهای لازم به آزمایشگاه معتبر تحویل می‌گردند.

در جدول ۵-۵ مشخصات اجباری و در جدول ۶-۵ مشخصات اختیاری سنگ مورد استفاده در سازه‌های دریایی و ساحلی ارائه شده‌اند.

جدول ۳-۵ اندازه‌های استاندارد برای ریپرپ

R-20	R-60	R-150	R-300	R-700	R-1500	گروه اندازه
درصد سبک‌تر از وزن مشخص شده						وزن جزء (کیلوگرم)
-	-	-	-	-	۱۰۰	۱۴۰۰
-	-	-	-	۱۰۰	۱۰۰ تا ۵۰	۶۸۰
-	-	-	-	-	-	۴۵۰
-	-	-	۱۰۰	۱۰۰ تا ۵۰	۵۰ تا ۱۵	۳۲۰
-	-	-	-	-	-	۲۳۰
-	-	۱۰۰	۱۰۰ تا ۵۰	۵۰ تا ۱۵	-	۱۴۰
-	-	-	-	-	۱۵ تا ۰	۱۱۰
-	۱۰۰	۱۰۰ تا ۵۰	۵۰ تا ۱۵	-	-	۶۸
-	۱۰۰ تا ۵۰	۵۰ تا ۱۵	-	۱۵ تا ۰	-	۲۷
۱۰۰	-	-	۱۵ تا ۰	-	-	۲۰
-	۵۰ تا ۱۵	-	-	-	-	۱۴
۱۰۰ تا ۵۰	-	۱۵ تا ۰	-	-	-	۹/۱
۵۰ تا ۱۵	۱۵ تا ۰	-	-	-	-	۴/۵
۱۵ تا ۰	-	-	-	-	-	۰/۹

جدول ۴-۵ اثر وزن مخصوص بر وزن سنگ با اشکال مختلف (کیلوگرم)

وزن مخصوص								حداکثر بعد (سانتی متر)
کره				مکعب				
۲/۷۵	۲/۷۰	۲/۶۵	۲/۶	۲/۷۵	۲/۷۰	۲/۶۵	۲/۶	...
۱۴۴۰	۱۴۱۴	۱۳۸۸	۱۳۶۱	۲۷۵۰	۲۷۰۰	۲۶۵۰	۲۶۰۰	۱۰۰
۶۰۸	۵۹۶	۵۸۵	۵۷۴	۱۱۶۰	۱۱۳۹	۱۱۱۸	۱۰۹۶	۷۵
۱۸۹	۱۸۵	۱۸۲	۱۷۸	۳۴۴	۳۳۸	۳۳۱	۳۲۵	۵۰
۴۱	۴۰	۳۹	۳۸	۷۴	۷۳	۷۲	۷۰	۳۰
۵	۵	۵	۵	۹	۹	۹	۹	۱۵
بین کره و مکعب				کره کشیده شده				حداکثر بعد (سانتی متر)
۲/۷۵	۲/۷۰	۲/۶۵	۲/۶	۲/۷۵	۲/۷۰	۲/۶۵	۲/۶	
۲۰۹۶	۲۰۵۸	۲۰۲۰	۱۹۸۱	۱۲۷۹	۱۲۵۶	۱۲۳۳	۱۲۱۱	۱۰۰
۸۸۵	۸۶۸	۸۵۲	۸۳۶	۵۴۰	۵۳۰	۵۲۰	۵۱۰	۷۵
۲۷۵	۲۶۹	۲۶۵	۲۵۹	۱۶۰	۱۵۷	۱۵۴	۱۵۱	۵۰
۵۹	۵۸	۵۷	۵۵	۳۵	۳۴	۳۳	۳۳	۳۰
۷	۷	۷	۷	۴	۴	۴	۴	۱۵

جدول ۵-۵ مشخصات اجباری سنگ آرمور یا سنگ مورد استفاده در ساخت سازه‌های سنگی ساحلی و دریایی

ملاحظات	هسته سنگ‌ریز	سنگ آرمور یا زیرلایه‌ها	آزمایش و اندازه‌گیری
در بعضی موارد تا ۳/۰ قابل قبول است.	کمتر از ۲/۵	کمتر از ۲/۰	نسبت بعدحداکثر به بعد حداقل (نسبت درازا به پهنا)
برخی سنگ آهکها تا مقادیر نزدیک به ۲/۴ نیز مورد پذیرش است.	بیش از ۲/۵	بیش از ۲/۶	وزن مخصوص ظاهری (تن بر متر مکعب)
	کمتر از ۳	کمتر از ۲/۵	جذب آب (درصد وزنی)
	بیش از ۵۰ مگاپاسکال	بیش از ۸۵ مگاپاسکال	مقاومت فشاری
	-	بیش از ۷۵	نسبت مقاومت فشاری تر به خشک (%)
برای سولفات منیزیم تا (۱۶٪) مجاز است.	کمتر از ۱۶	کمتر از ۱۲	آزمایش سلامت سولفات سدیم (درصد وزنی افت)

جدول ۵-۶ مشخصات اختیاری سنگ مورد استفاده در ساخت سازه‌های سنگی ساحلی و دریایی

حد مجاز	آزمایش
کمتر از ۲۰	ارزش خورد شدن (افت درصد وزنی)
بیش از ۳۰	ارزش ضربه سنگ‌دانه (درصد)
کمتر از ۱۵	ارزش سایش سنگ‌دانه (درصد)
بیش از ۱۰	ارزش (۱۰٪) ریزدانه (تن)

◀ ۵-۷ دوام

توانایی سنگ در مقابله با شرایط محیطی از جمله آب دریا در یک سازه دریایی، دوام می‌باشد. دوام سنگ در انتخاب آن برای سازه دریایی و ساحلی، وقتی با رقیب اصلی‌اش بتن مقایسه می‌شود، باید مورد

توجه قرار گیرد. اگر چه فولاد و چوب نیز در این سازه‌ها استفاده می‌شوند، اما حدود (۹۵٪) موج‌شکنها درجهان از سنگ یا بتن یا ترکیبی از آنها ساخته شده‌اند.

هوازدگی، فرایند تخریب سنگ توسط عوامل جوی است. در این فرایند آب منفذی اهمیت زیادی دارد. تبلور چنین آبی چه با یخ‌بندان و چه با تشکیل بلورهای نمک محلول در آن، ممکن است فشاری بر سنگ وارد کند که می‌تواند در نهایت کل سازه را خراب سازد. این نمکهای محلول ممکن است از هوازدگی شیمیایی خود سنگ منشأ گرفته باشند، مانند تخریب پیریت و ایجاد سولفات. فرایند هوازدگی شیمیایی سنگها در بنادر با هوای آلوده، آب و هوای مرطوب و در مناطقی که فرایند یخ زدن و آب شدن وجود دارد، شدیدتر می‌باشد. در این مورد، تخلخل نقش مهمی ایفا می‌کند به طوری که با اندازه‌گیری آن، می‌توان دوام سنگ را پیش‌بینی کرد. رفتار فضاهای خالی به اندازه آنها بستگی دارد. برای مثال فضاهای با اندازه کمتر از ۵ میکرون، آب محتوای خود را حتی اگر در معرض مکش قرار گیرند، حفظ می‌کنند. عموماً اعتقاد بر این است که منافذ بسیار ریز اهمیت خاصی در دوام سنگ دارند. از عوامل مخرب دیگر به ویژه در آب و هوای گرم، تبدیل برخی از سیلیکاتهای موجود (به ویژه در سنگهای آذرین باریک) به کانی‌های رسی منبسط شونده است.

اصلی‌ترین عوامل آسیب‌رسان به سنگهای ساختمانی، هوازدگی فیزیکی و شیمیایی است. این عوامل در موج‌شکنها و اسکله‌ها به علت وجود نمک و تغییرات تناوبی تر و خشک شدن ناشی از جزر و مد، تشدید می‌شوند. به علاوه ضربه فیزیکی امواج در هنگام توفان، می‌تواند سنگهای بزرگ را نیز جابه‌جا کند. در هر صورت مناطق ساحلی بیشترین میزان سایش و فرسایش را تحمل می‌کنند.

یکی از مهم‌ترین مشخصه‌های انتخاب سنگ برای سازه‌های دریایی، تشخیص تأثیر هوازدگی بر سنگ در محل است. عوامل هوازدگی می‌توانند مقاومت فشاری یک سنگ را که می‌تواند بیش از ۲۵۰ مگاپاسکال باشد، به حدود صفر تقلیل دهند. در زمین‌شناسی مهندسی، هوازدگی به ۷ درجه تقسیم شده است. درجات زیاد هوازدگی به آسانی قابل تشخیص است اما تشخیص هوازدگی کم و متوسط سنگ به‌سادگی میسر نیست. این سنگها ممکن است مقاومت‌های بسیار کمی نیز داشته باشند که تشخیص آنها نیاز به بررسی دقیق سینه کار معدن یا مغزه‌گیری دارد.

عوامل آسیب‌رسان به سنگ در سازه‌های دریایی عبارتند از:

الف: خردشدگی مکانیکی

ب: انحلال

ج: دگرسانی سطحی و یا رسوب‌گذاری

د: عمل موجودات زنده

ه: تغییرات ایجاد شده توسط انسان

در یک محیط طبیعی، بیشتر انواع سنگهایی که در سازه‌های دریایی مورد استفاده قرار می‌گیرند، بسیار بادوام‌اند و قرن‌ها ممکن است طول کشد تا فرسوده شوند و بخشی از رسوبات زمین گردند. در سازه‌های ساحلی، این خاصیت دوام همراه با چگالی زیاد سنگ، آن را مصالحی ارزشمند برای سازه‌های دریایی می‌سازد. به جز در شرایط محیطی بسیار خاص، محیط ساحلی بر اکثر سنگهای مستحکم و با دوام تأثیر قابل ملاحظه‌ای نمی‌گذارد.

◀ ۵-۸ مکانیسمهای آسیب‌دیدگی

◀ ۵-۸-۱ تر و خشک شدن متوالی

به دست آوردن و از دست دادن رطوبت در منافذ بزرگ و مستقیم، بسیار سریع و در منافذ کوچک و پر پیچ و خم به کندی صورت می‌گیرد. نفوذ آب به داخل سنگ که با عمل شیمیایی همراه نباشد، می‌تواند مواد چسباننده را از سنگ جدا ساخته و آن را ضعیف سازد.

◀ ۵-۸-۲ یخ زدن و آب شدن

آب چه شیرین و چه شور باشد، یخ زدن و آب شدن می‌تواند بر دوام سنگ تأثیر گذارد. اگر آب در فضاهای خالی سنگ جذب شود و بعد یخ بزند، منبسط خواهد شد. نیروهای ایجاد شده در فضاهای خالی باعث ایجاد ترک و خرد شدن می‌گردد و تخلخل افزایش خواهد یافت. تکرار هر دوره یخ زدن و آب شدن سبب رشد فضاهای خالی می‌گردد و به آن آسیب می‌رساند.

◀ ۵-۸-۳ حمله شیمیایی

چنانچه سنگهای آهنی در معرض اسیدها قرار گیرند متلاشی می‌شوند. ترکیب رطوبت و گازهایی نظیر دی اکسید گوگرد و دی اکسید کربن، می‌تواند شرایط اسیدی ایجاد کند. ماسه‌سنگهای آهنی نیز تحت تأثیر این فرایند تجزیه می‌شوند.

◀ ۵-۸-۴ سوراخ کننده‌های سنگ

موجودات زنده‌ای یافت می‌شوند که در آب شور زندگی می‌کنند و می‌توانند با نفوذ به داخل سنگهای نرم مانند ماسه‌سنگهای غیر متراکم و بعضی سنگهای رسی، موجب تخریب آنها شوند.

◀ ۵-۸-۵ رویارویی با امواج

اغلب سازه‌های ساحلی در جایی ساخته می‌شوند که در معرض امواج قرار می‌گیرند. این امواج باعث ایجاد تنشهای اضافی، در اثر نیروهای دینامیکی آب و هوای محبوس شده در بین سنگها می‌گردند. این فشارها می‌توانند خیلی بیشتر از تمامی تنشهای هیدروستاتیک باشند. اثر سایشی امواج هنگامی که حامل شن، ماسه و سنگریزه‌ها باشند، بسیار شدیدتر می‌گردد.

◀◀ ۵-۹ تعمیر و نگهداری

نگهداری سازه‌های دریایی نیاز به یک سیستم برنامه‌ریزی شده بازرسی دارد. از آنجا که بخش عمده‌ای از سازه دریایی به طور کامل یا به طور دوره‌ای زیر آب قرار می‌گیرد، بازرسی با مشکلات خاصی مواجه است. دسترسی به بخشهایی از اسکله که محل تردد دایم و لنگر انداختن کشتی‌ها می‌باشد، آسان نمی‌باشد. باید توجه داشت که این بخشها در معرض ضربه کشتی‌ها قرار داشته و بازرسی آنها اهمیت ویژه‌ای دارد. مشکل دیگر، کار در زیر آب یا کار در دوره‌های کوتاه‌مدت خشکی در زمان جزر است. شرایط آب و هوایی سخت و امواج هنگام وزش باد نیز می‌توانند بازرسی را دشوار سازند.

این مشکلات به یافتن راه‌حلهایی برای انجام بازرسی، تعمیرات در زیر آب و دسترسی به محل لنگر انداختن کشتی‌ها بدون ایجاد اختلال در کار آنها منتهی شده است. چندین دهه است که از غواصان برای

کارهای بازرسی، نگهداری و تعمیرات زیر آب بهره‌گیری می‌شود. لوازم تنفس زیر آب قابلیت تحرک در این مکانها را فراهم می‌کنند و نیاز به روشهای سنتی (تنفس در سطح آب و استفاده از کلاهخود) را از بین برده‌اند. روش دیگر استفاده از مخزن تأمین هوا در بالای آب می‌باشد که برای فعالیتهای پیوسته و طولانی بسیار مناسب است. ارتباط بین غواصان و گروه تأمین در بالای سطح آب برای کارهای تعمیر و نگهداری سازه‌های دریایی و ساحلی، بخصوص در شرایط خطرناک (که اغلب با آن برخورد می‌شود) اهمیت زیادی دارد.

نگهداری سازه‌های سنگی با بازرسی تناوبی کل سازه، چه در زیر آب و چه در بالای سطح آب شروع می‌شود. جهت نگهداری و همچنین تعمیر سازه‌های سنگی ساحلی و دریایی، ابتدا باید مشخصه‌های تخریب سنگ را با مشاهده ارزیابی نمود. این موارد عبارتند از:

الف: متلاشی شدن مکانیکی شامل آبله‌رو شدن، پوسته شدن (بیش از ۵ میلیمتر)، پولکی شدن (کمتر از ۵ میلیمتر)، متلاشی شدن دانه‌ای، لانه زنبوری شدن، حفره‌دار شدن و ترک خوردگی

ب: انحلال شامل افت سطح، لکه‌دار شدن، گودشدگی، شیاردار شدن و تبلور مجدد

ج: دگرسانی و رسوب‌گذاری شامل شوره‌زدگی، شوره‌زدگی نهان، وجود سنگ آهک نرم و خاکی مانند پوسته دگرسان شده و لکه‌شدگی

د: هجوم عوامل زیستی (بیولوژیکی) شامل گل‌سنگ، جلبک، گیاهان و جانوران

خرابی و آسیب به سازه‌های سنگی معمولاً شامل فرسایش، نفوذ، شسته‌شدگی و جابه‌جایی سنگ است. تعمیرات این سازه‌ها نیز عبارت است از ساختن مجدد سازه سنگی یا نصب دوباره سنگ با مصالح جدید. در برخی حالات تعمیر با تزریق بتن یا قیر صورت می‌گیرد.

توفانها ممکن است باعث ایجاد آسیب جدی در سطوح خارجی و مصالح زیر کار شوند. در این موارد کل سازه باید مرمت شود، اما ویژگیها ممکن است بهسازی را الزامی سازد تا از آسیب آتی در شرایط مشابه جلوگیری گردد.

لازم است از برخورد ضربات سنگین ناشی از کشتی‌ها و تخریب و جابه‌جایی سنگها توسط انسان جلوگیری به عمل آید. در جایی که ممکن است آسیب مکانیکی ناشی از کشتی‌ها به وجود آید، روش معمول پیشگیری، استفاده از سپر (ضربه‌گیر) است. این کار ممکن است هزینه زیادی دربر داشته باشد. از

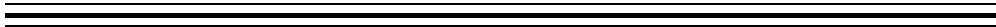
لاستیک و از چوب در هر وضعیت ثابت، آویزان یا شناور می‌توان استفاده کرد. ارزان‌ترین و در دسترس‌ترین سپر، لاستیک خودروهای بزرگ است. سپرها نیز به نوبه خود به نگهداری نیاز دارند. در بعضی محلها ورقهای فولادی پیوسته که بر روی سازه سنگی قرار داده می‌شوند، می‌توانند آسیب را کاهش دهند. اگر چه این خطر وجود دارد که اگر ورقهای پاره شده به سرعت ملاحظه و تعمیر نشوند، شرایط خطرناک‌تری را پدید آورند.

بیشترین آسیب مکانیکی از کشتی‌های بزرگ و بخصوص کشتی‌های باری که اغلب، دیده‌بانهای کمتری دارند به سازه‌های دریایی - ساحلی وارد می‌شود. این آسیب به طور عمده در اسکله‌ها، دیوارهای آب‌بند، بارانداز، سرپوش (قرنیز) و سطوح پهلوگیر پدید می‌آید. طنابهای مهار ممکن است باعث ایجاد شکاف، فرسایش و تورفتگی، بخصوص در محل درزها گردند. سرانجام چنانچه طنابها به هم گره بخورند یا در هم پیچیده شوند، ممکن است خطرآفرین باشند، بنابراین به توجه دایم و برطرف کردن مشکل نیاز دارند.

در بسیاری موارد برای تعمیر سازه‌های سنگی دریایی از بتن استفاده می‌شود. اما به ویژه در کارهای زیرآبی، استفاده از آن به عنوان ماده‌ای ارزان و راحت باید مورد توجه دقیق و جدی قرار گیرد. برای مثال جایگزینی گرانیت مناسب با بتن در لنگرگاه و قرنیز بارانداز اغلب مناسب نیست، زیرا تحت ضربه کشتی‌ها خرد شده، ترک می‌خورد و تقویت آن به سادگی مقدور نیست. در محیطهای دریایی، بتن معمولی دوام و مقاومت اولیه زیادی ندارد و لازم است برای دستیابی به این خواص از مواد افزودنی گران‌قیمت استفاده شود.

اگر سنگهای به کار رفته در سازه، ماسه‌سنگ نرم یا بعضی سنگهای آهکی نرم باشد، جایگزینی آنها با همان سنگها صحیح نیست و ممکن است تعمیر با آجرکاری مناسب باشد. تعمیر با آجر مهندسی مرغوب صورت می‌گیرد که در بسیاری موارد عملکرد خوبی از خود نشان می‌دهد. تنها عیب آن تخریب ناشی از ضربه مکانیکی است. ممکن است در دیوارهای سنگی حایل، ترک و شکاف ایجاد شود و مرمت لازم گردد. در این موارد می‌توان از تزریق گروت تحت فشار استفاده نمود. همچنین می‌توان از سیمانهای اپوکسی مختلف برای تعمیرات در مقیاس کوچک که نیاز به مقاومت اولیه و دوام زیاد داشته باشند، بخصوص در زیر سطح آب در یک دوره موقتی خشک بودن استفاده نمود.

٦



چوب

◀◀ ۱-۶ چوب

چوب از مصالح ساختمانی است که به دلیل داشتن مقاومت و قابلیت ارتجاعی عالی و نیز نصب آسان، کاربرد گسترده‌ای در ساخت انواع سازه‌ها، به ویژه سازه‌های دریایی داشته و اگر از آن به خوبی محافظت و نگهداری شود، دوام و عملکرد مناسبی در برابر نیروهای وارده دارد.

◀◀ ۲-۶ دامنه کاربرد

ضوابط این بخش به روشهای تهیه، عمل‌آوری، خصوصیات کاربردی چوب برای شمعها، سپر، اتصالات اجزای سازه‌های دریایی و تعمیرات محدود می‌شود. منظور از چوب در این بخش، چوبهای استحصالی است که از تنه درختان به دست می‌آید.

◀◀ ۳-۶ رده‌بندی

انواع چوب به دو گروه زیر تقسیم می‌شوند:

الف: چوب درختان سوزنی برگ

چوب تمامی درختانی که همیشه سبز می‌باشند و اغلب دارای برگهای سوزنی شکل و نوک‌تیز هستند و در زمستان خزان نمی‌کنند، به جز برخی از گونه‌ها مانند لاریکس.

ب: چوب درختان پهن برگ

چوب تمامی درختانی است که اغلب دارای برگهای پهن بوده و در فصل سرما خزان می‌کنند. در برش عرضی تنه درخت، از بیرون به داخل به ترتیب سه قسمت عمده پوست، چوب و مغز دیده می‌شود. در این میان، قسمت چوب قابل بارگذاری است. قسمت چوب بافتی از سلولهای مرده است که با گذشت زمان در اطراف مغز چوب تشکیل و دارای دو قسمت چوب درون و چوب برون است. معمولاً استحکام و وزن چوب درون و چوب برون که پیرامون آن را فرا گرفته فرق چندانی ندارد، مگر تفاوت رنگ در برخی از گونه‌ها. اصولاً چوب درون در مقابل پوسیدگی مقاوم‌تر از چوب برون است.

◀ ۴-۶ شیوه تهیه

پس از قطع درخت، تنه آن به گرده‌بینه و انواع قطعات تبدیل می‌گردد. گرده‌بینه‌ها توسط اره‌های بزرگ در جهت طولی برش داده شده و از آنها مقطوعات مماسی و شعاعی به دست می‌آید. برش گرده‌بینه‌ها در تولید قطعات مماسی، ضایعات کمتری دارد و قطعات مماسی سریع‌تر خشک می‌گردند. قطعات مماسی چوب بر اثر عوامل فرساینده نایک‌نواخت فرسایش می‌یابند. قطعات استحصالی از گرده‌بینه‌ها، پس از برش، کناره‌بری می‌گردند تا پوست تنه از آنها حذف گردد، چون محل استقرار حشرات و آفت‌های دیگر چوب می‌شوند و مانع یکنواختی خشک شدن چوب نیز خواهند شد. چوب‌های تازه به دست آمده رطوبت دارند و باید خشک شوند. در مقیاس صنعتی، چوب تازه استحصال را با رعایت اصول فنی دسته‌بندی و سپس در هوای آزاد و یا در کوره خشک می‌کنند. معمولاً اثر همزمان فاز هوای آزاد و کوره، از لحاظ کیفیت چوب خشک شده نتیجه بهتری دارد.

◀ ۴-۶-۱ چوب‌های گرد

چوب‌های گرد به چوب‌هایی گفته می‌شود که از قطع عرضی تنه یا شاخه‌های قطور درختان به طول‌های مختلف (استاندارد) به دست آمده و به دو صورت گرده‌بینه و تیر تولید می‌شوند. پس از قطع درختان قطور در جنگل و به منظور حمل و نگهداری و بر حسب مصرف، طول آن را به قطعات مناسبی تقسیم کرده و سپس می‌برند. این قطعات را گرده‌بینه می‌نامند.

الف: گرده‌بینه

گرده‌بینه قسمتی از تنه درخت است که از برش عرضی تنه درخت حاصل شده و دارای شکل استوانه‌ای می‌باشد و طول آن نباید از ۲ متر و قطر میانه ۳۰ سانتی‌متر کمتر باشد. بینه چوبی تقریباً نیم استوانه‌ای است که از بریدن طولی گرده‌بینه به دست می‌آید.

ب: تیر

تیر از تنه درختان جوان با قطر کم به دست می‌آید و معمولاً یک انتهای آن قدری باریک‌تر است. تیرها باید بخصوص تا ارتفاع یک متری از قاعده پایینی، به طور کامل منظم و مستقیم بوده و

هیچ گونه انحرافی نداشته باشند. ضریب باریک شدن تیر باید ثابت بوده و مساوی ضریب باریک شدن متوسط تیر باشد.

◀ ۶-۴-۲ چوبهای الواری

چوبهای الواری به شکلهای الوار (الوار، نیم الوار و الوار سه سوک)، نعل، دو نعل، قنطاق، بازو و تخته تولید می‌شوند. ابعاد استاندارد چوبهای الواری در جدول ۶-۱-۱ ارائه شده است.

جدول ۶-۱-۱ ابعاد چوبهای الواری

نوع	طول (سانتی‌متر)	عرض (سانتی‌متر)	ضخامت (سانتی‌متر)
الوار	۲۸۰±۱۰	۳۵±۳	۱۴±۱
	۲۸۰±۱۰	۳۲±۲	۱۲
نیم الوار	۱۴۰±۱۰	۳۵±۳	۱۴±۱
	۱۴۰±۱۰	۳۲±۳	۱۴±۱
الوار سه سوک	۲۸۰±۱۰	۳۵±۳	۱۴±۱
	۲۶۰±۱۰	۳۰±۳	۱۴±۱
قنطاق	۲۰۰	۲۵±۱	۱۳±۱
	۲۱۰	۲۵±۱	۱۳±۱
	۲۲۰	۲۵±۱	۱۳±۱
	۲۳۰	۲۵±۱	۱۳±۱
بازو	۲۰۰	۱۰±۲	۵±۱
تخته	۴۰۰	۲۵±۱	۴±۰/۲
	۴۰۰	۲۵±۱	۲/۵±۰/۲

◀◀ ۶-۵ درجه بندی

بر اساس استاندارد شماره ۱۲۷۵ ایران، چوبهای ساختمانی از نظر معایب مانند گره زنده، گره مرده، پیچیدگی الیاف، برون مرکزی، نامنظمی سطح مقطع، مخروطی بودن، خمیدگی، انواع شکافها، پوسیدگی

سطحی، حفرات حشرات، تغییرات رنگ و دیگر خصوصیات کاهش دهنده مقاومت چوب، به سه درجه ۱، ۲ و ۳ مطابق جدول ۶-۲ درجه‌بندی می‌شوند.

جدول ۶-۲ درجه‌بندی چوب به روش نظری

ردیف	درجه نوع عیب	۱	۲	۳
۱	گره زنده	در هر متر طول حداکثر یک گره به قطر ۴۰ میلیمتر یا چند گره مجموعاً به قطر ۵۰ میلیمتر	در هر متر طول، حداکثر دو گره هر کدام به قطر ۵۰ میلیمتر یا چند گره مجموعاً به قطر ۱۲۰ میلیمتر	در هر متر طول، یک یا چند گره مجموعاً به قطر حداکثر ۲۵۰ میلیمتر
۲	گره مرده	غیر مجاز	در هر متر طول، حداکثر دو گره هر یک به قطر ۳۰ میلیمتر یا چند گره مجموعاً به قطر ۷۰ میلیمتر	در هر متر طول، حداکثر چهار گره هر کدام به قطر ۳۰ میلیمتر یا چند گره مجموعاً به قطر ۱۵۰ میلیمتر
۳	پیچیدگی الیاف	(۵٪) انحراف از محور اصلی مجاز است.	(۱۵٪) انحراف از محور اصلی مجاز است.	قابل قبول
۴	برون مرکزی	در تنه‌ها و مغز، در هر دو سر مقاطع عرضی در وسط قرار گرفته و اختلاف بزرگترین و کوچکترین شعاع حداکثر تا ۰/۱ قطر مجاز است.	اختلاف بزرگترین و کوچکترین شعاع تا ۰/۲ قطر مجاز است.	اختلاف بزرگترین و کوچکترین شعاع تا ۱/۳ قطر مجاز است.
۵	نامنظمی سطح مقطع	اختلاف قطر بزرگ و قطر کوچک تا (۱۵٪) قطر بزرگ مجاز است.	اختلاف قطر بزرگ و قطر کوچک تا (۲۵٪) قطر بزرگ مجاز است.	مجاز
۶	مخروطی بودن	تنه تقریباً به فرم استوانه‌ای و کاهش قطر حداکثر ۱ سانتی‌متر به ازای هر متر طول	تا ۲ سانتی‌متر کاهش قطر به ازای هر متر طول	در هر متر طول، ۴ سانتی‌متر کاهش قطر مجاز است.
۷	خمیدگی	به ازای هر متر طول ۱ سانتی‌متر مجاز است.	به ازای هر متر طول ۲ سانتی‌متر مجاز است.	به ازای هر متر طول ۵ سانتی‌متر مجاز است.

ردیف	درجه نوع عیب	۱	۲	۳
۸	انواع شکافها	بدون اختر گسیختگی شکاف در دو سر گرده‌بینه حداکثر تعداد دو شکاف در دو سر مقطع در یک امتداد و مجموعاً به طول حداکثر ۳۰ سانتی‌متر شکافها و ترکهای جزئی که از ۰/۱ قطر تجاوز نکند. شکاف یخ‌زدگی: غیر مجاز شکافهای مایل: غیر مجاز گرد گسیختگی: نزدیک به پوست مجاز	بدون اختر گسیختگی شکاف در دو سر گرده‌بینه به تعداد دو شکاف در دو سر مقطع، مشروط بر این که در یک امتداد بوده و طول آنها از ۳۰ سانتی‌متر تجاوز نکند. شکافها و ترکهای جزئی که از ۰/۲ قطر تجاوز نکند. شکاف یخ‌زدگی: غیر مجاز شکافهای مایل: غیر مجاز گرد گسیختگی: نزدیک مغز و پوست مجاز	اختر گسیختگی و شکاف در دو سر گرده‌بینه حداکثر به اندازه قطر در طول گرده‌بینه مجاز شکافها و ترکهای جزئی: مجاز شکاف یخ‌زدگی: مجاز شکافهای مایل: مجاز گرد گسیختگی: مجاز
۹	پوسیدگی سطحی	غیر مجاز	در هر متر طول نقاط پوسیده که مجموع ابعاد آن ۱۰×۱۵ سانتی‌متر مربع باشد، مشروط بر این که عمق آن از ۵٪ قطر گرده‌بینه تجاوز نکند.	در هر متر طول نقاط پوسیده که مجموع ابعاد آن ۳۵×۳۰ سانتی‌متر مربع باشد، مشروط بر این که عمق آن از ۵٪ قطر گرده‌بینه تجاوز نکند.
۱۰	حفرات حشرات	غیر مجاز	در هر متر طول ۲ حفره هر یک به قطر ۶ میلیمتر و به عمق ۵ سانتی‌متر	در هر متر طول ۴ حفره هر یک به قطر ۶ میلیمتر و به عمق ۱۰ سانتی‌متر
۱۱	تغییرات رنگی	تا ۲۵٪ سطح مقطع مجاز	تا ۵۰٪ سطح مقطع مجاز	قابل قبول
۱۲	سایر معایب	غیر مجاز	در صورت معادل سازی مجاز	قابل قبول

◀ ۶-۶ خصوصیات چوب

به علت تنوع گونه‌های چوبی و اختلاف شرایط رویشگاهها، هر یک از ویژگیهای چوب در گونه‌های مختلف و حتی در یک گونه بخصوص، کاملاً یکسان نیست. از این رو باید ارزش یک خاصیت چوب با نمونه‌برداری به روش صحیح و انجام آزمایش دقیق و تکرار آن به دفعات و معدل‌گیری نتایج به دست آمده تعیین شود.

به طور کلی چوبهایی که در سازه‌های دریایی مورد استفاده قرار می‌گیرند، باید در برابر ضربه، هجوم موجودات چوب‌خوار، قارچها، باکتری‌ها، نمک موجود در محیط، سایش بر اثر موج و تغییرات دما مقاوم باشند.

چوب ماده‌ای از هر سو برابر نیست، لذا خواص آن در جهات مختلف کاملاً متفاوت است. مقاومت چوب در برابر نیروهای وارده در جهت موازی الیاف، به مراتب بیشتر از جهت عمود بر آنها است. مهم‌ترین خواص چوب که در انتخاب آن برای استفاده در سازه‌های دریایی باید در نظر گرفته شوند، بافت، رطوبت، جرم ویژه و خواص مکانیکی می‌باشند.

◀ ۶-۶-۱ بافت

وجود گره، بن شاخه، قسمتهای پوسیده و خشک شده، تجمع شیره گیاهی و صمغ روی سطوح مرئی چوب، نشانه‌ نامرغوب بودن آن است. چوبهای مصرفی باید از نظر بافت و ظاهر یکنواخت، تمیز و فاقد معایبی مانند پیچ و تاب، گره، ترک و شکاف، چوب فشرده، رویش نامناسب الیاف و حفره‌های شیرابه باشند.

◀ ۶-۶-۲ رطوبت

چوب کاملاً خشک، دارای حداکثر استحکام است و با جذب رطوبت تا حدود (۳۰٪)، منبسط و با دفع آن منقبض می‌شود. شدت جذب و دفع رطوبت در جهات مختلف چوب کاملاً متفاوت است، از این رو مقدار هم‌کشیدگی (انقباض) و واکشیدگی (انبساط) نیز در جهات مختلف متفاوت است. این مقدار در

جهت طولی بین (۰/۳-۰/۱٪) جهت شعاعی در حدود نصف جهت مماسی بُعد تر است. درصد رطوبت چوب از رابطه ۸ محاسبه می‌شود:

$$(8) \quad \text{درصد رطوبت چوب} = \frac{(\text{وزن چوب کاملاً خشک} - \text{وزن چوب تر})}{\text{وزن چوب کاملاً خشک}} \times 100$$

مقدار رطوبت در ایجاد پوسیدگی قارچی مؤثر است. بیشتر قارچها برای ایجاد پوسیدگی و تخریب چوب نیاز به حداقل (۲۰٪) رطوبت و درجه حرارت بالاتر از صفر دارند. اگر رطوبت چوب بیش از (۸۰٪) باشد، قارچها قادر به تخریب چوب نخواهند بود. رطوبت چوبهای اسکله ممکن است تا (۱۰۰٪) هم برسد.

◀ ۳-۶-۶ جرم ویژه

جرم ویژه از روابط ۸، ۹ و ۱۰ محاسبه می‌شود:

$$(9) \quad m_x = m_0(1 + 0.01\mu)$$

که در آن:

m_x : جرم چوب در رطوبت X درصد

m_0 : جرم چوب در رطوبت صفر درصد

μ : درصد رطوبت

$$(10) \quad V_x = V_0(1 + 0.01S_V)$$

که در آن:

V_x : حجم چوب در رطوبت X درصد

V_0 : حجم چوب در رطوبت صفر درصد

S_V : درصد هم‌کشیدگی یا واکنشیدگی حجمی

بنابراین می‌توان جرم ویژه چوب در هر میزان رطوبت را از روی جرم ویژه چوب در رطوبت خشک

شده در آون (اتو)، طبق رابطه ۱۱ به دست آورد:

$$(11) \quad r_x = \frac{m_x}{V_x} = \frac{m_0(1 + 0.01\mu)}{V_0(1 + 0.01S_V)} = r_0 \left(\frac{1 + 0.01\mu}{1 + 0.01S_V} \right)$$

۴-۶-۶ خصوصیات مکانیکی

مقاومت فشاری چوب در سه جهت موازی با الیاف، عمود بر الیاف و جهت مایل، متفاوت است. مقدار مقاومت فشاری در جهت موازی با الیاف بیشتر است. میزان مقاومت فشاری چوب در جهت الیاف گاهی ۱۰ برابر مقاومت در جهت عمود بر الیاف است. مقاومت فشاری مایل بر الیاف چوب، تقریباً برابری از مقاومت آن در دو جهت عمود بر هم است. در استاندارد ASTM D2555 روش تعیین مقاومت خالص چوب برای تولید کنندگان ارائه شده است. مقاومت کششی چوب در جهت الیاف بین ۸۰-۲۰۰ مگاپاسکال است. مدول الاستیسیته چوب نیز عامل مهمی است که در دسته‌بندی چوبهای سازه‌ای مورد توجه قرار می‌گیرد.

عوامل زیر بر روی مقاومت چوب تأثیر دارند:

۱- ناهمگنی خواص در جهت‌های مختلف

۲- شیب الیاف

۳- گره

۴- جرم ویژه

۵- پهنای دواير سالیانه

۶- نسبت درون چوب به برون چوب

۷- طول سلولها

۸- ترکیب شیمیایی

۹- میزان رطوبت

۱۰- دمای خشک کردن و محیط سرویس‌دهی

۱۱- سرعت و زمان بارگذاری

مقاومت کششی در مقایسه با مقاومت فشاری، حساسیت بیشتری نسبت به شیب الیاف دارد. مقدار تقریبی مقاومت در شیبهای مختلف را می‌توان با داشتن مقاومت چوب در جهت موازی و عمود بر الیاف از رابطه ۱۲ به دست آورد:

$$\sigma_{\theta} = \frac{\sigma_{11} \times \sigma_1}{\sigma_{11} \sin^2 \theta + \sigma_1 \cos^2 \theta} \quad (12)$$

که در آن:

σ_{θ} مقاومت در زاویه θ

σ_{11} مقاومت در جهت موازی با الیاف

σ_1 مقاومت در جهت عمود بر الیاف

◀ ۶-۶-۵ تنشهای مجاز چوب

تنشهای مجاز چوب در جهت الیاف در جدول ۶-۳ و تنش مجاز تکیه‌گاهی در جهت مایل به الیاف در جدول ۶-۴ ارائه شده‌اند. برای چوب تحت شرایط رطوبت دائم، تنشهای مجاز معادل (۷۰٪) مقادیر جدول ۶-۳ و ۶-۴ در نظر گرفته می‌شوند. برای سازه تحت تأثیر مستقیم برف و باران، تنشهای مجاز معادل (۸۰٪) مقادیر جدول ۶-۳ و ۶-۴ در نظر گرفته می‌شوند. برای بارگذاری کوتاه‌مدت، تنشهای مجاز جداول ۶-۳ و ۶-۴، می‌توانند تا ۱/۵ برابر افزایش یابند.

جدول ۶-۳ تنشهای مجاز چوب بر حسب کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع

تنش برشی		تنش تکیه‌گاهی		تنش خمشی	تنش فشاری	تنش کششی	نوع چوب
عمود	موازی	عمود	موازی	موازی	موازی	موازی	جهت نسبت به الیاف
۱۲	۸	۲۰	۸۰	۹۰	۷۰-۰/۴۸ λ	۸۰	چوب سوزنی برگان
۱۸	۱۲	۳۵	۱۱۰	۱۲۰	۸۰-۰/۵۸ λ	۱۱۰	چوب پهن برگان

جدول ۶-۴ تنشهای مجاز تکیه‌گاهی در جهت مایل نسبت به امتداد الیاف بر حسب کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع

زاویه نسبت به امتداد الیاف انواع چوب		۰ درجه	۱۰ درجه	۲۰ درجه	۳۰ درجه	۴۰ درجه	۴۵ درجه	۵۰ درجه	۶۰ درجه	۷۰ درجه	۸۰ درجه	۹۰ درجه
چوب سوزنی برگان		۸۰	۷۳	۵۹	۴۶	۳۶	۳۲	۲۹	۲۵	۲۲	۲۱	۲۰
چوب پهن برگان		۱۱۰	۱۰۳	۸۸	۷۲	۵۸	۵۳	۴۹	۴۲	۳۸	۳۶	۳۵

◀ ۶-۷ گروه‌بندی چوبهای سازه‌ای

چوبهای سازه‌ای بر حسب مقدار مدول الاستیسیته آنها به سه دسته به شرح زیر تقسیم می‌شوند:

- الف: چوبهای با مدول الاستیسیته بیش از ۱۲۶۰۰ مگاپاسکال
 ب: چوبهای با مدول الاستیسیته بین ۹۸۰۰-۱۲۶۰۰ مگاپاسکال
 ج: چوبهای با مدول الاستیسیته بین ۵۶۰۰-۹۸۰۰ مگاپاسکال

◀ ۶-۸ کاربرد چوب در سازه‌های دریایی

در سازه‌های دریایی از چوب بیشتر در ساخت شمع، تیر و سپر به شرح زیر استفاده می‌شود. برای افزایش دوام، چوب مورد استفاده در سازه‌های دریایی باید با مواد و روشهای مناسب محافظت (اشباع) شده باشد.

◀ ۶-۸-۱ تیر و شمعهای چوبی

در استاندارد ASTM D25-73 مشخصات استاندارد برای چوبهای گرد و شمعهای چوبی ارایه شده است (جدول ۶-۵ و ۶-۶). بر اساس این استاندارد، شمعها به دو دسته شمعهای اصطکاکی و اتکایی طبقه‌بندی شده‌اند. در جداول ۶-۵ و ۶-۶، اندازه انواع شمعهای اصطکاکی و اتکایی ارایه شده است. همچنین تنشهای مجاز شمع چوبی در جدول ۶-۷ ارایه شده است. برای اطمینان، لازم است تنشهای جدول ۶-۷ با تنشهای جدول ۶-۴ مقایسه شده و مقادیر کمتر مورد استفاده قرار گیرند.

جدول ۵-۶ شمعه‌های اصطکاکی: محیط مقطع ضخیم و حداقل محیط مقطع باریک (میلیمتر)

۱۴۴۸	۱۲۷۰	۱۱۹۴	۱۱۱۸	۱۰۴۱	۹۶۵	۸۸۹	۷۸۷	۷۱۱	۶۳۵	۵۵۹	طول (متر)
حداقل محیط باریک											
				۷۱۱	۶۳۵	۵۵۹	۴۵۷	۴۰۶	۴۰۶	۴۰۶	۶/۱
			۷۱۱	۶۳۵	۵۵۹	۴۸۳	۴۰۶	۴۰۶	۴۰۶	۴۰۶	۹/۱
		۷۳۷	۶۶۰	۵۸۴	۵۰۸	۴۳۲	۴۰۶				۱۲/۲
	۷۱۱	۶۳۵	۵۵۹	۴۸۳	۴۳۲	۴۰۶					۱۵/۲
۸۰۳	۶۳۵	۵۴۹	۴۷۲	۴۰۶	۴۰۶						۱۸/۳
۶۶۵	۴۸۸	۴۱۱	۴۰۶	۴۰۶	۴۰۶						۲۱/۳
۵۵۴	۴۰۶	۴۰۶	۴۰۶	۴۰۶							۲۴/۴
۴۹۵	۴۰۶	۴۰۶	۴۰۶	۴۰۶							۲۷/۴
۴۵۷	۴۰۶	۴۰۶	۴۰۶	۴۰۶							۳۰/۵
۴۰۶	۴۰۶										۳۳/۵
۴۰۶											۳۶/۶

جدول ۶-۶ شمعه‌های اتکایی: محیط مقطع ضخیم و حداقل محیط مقطع باریک (میلیمتر)

حداقل محیط لازم برای قسمت ضخیم چوب ۹/۰+ متر برای حداقل محیط باریک چوب								طول (متر)
۹۶۵	۸۸۹	۷۸۷	۷۱۱	۶۵۳	۵۵۹	۴۸۳	۴۰۶	
۱۰۹۲	۱۰۱۶	۹۱۴	۸۳۸	۷۲۶	۶۸۶	۶۱۰	۵۵۹	۶/۱
۱۱۵۶	۱۰۸۰	۹۷۸	۹۰۲	۸۲۶	۷۴۹	۶۷۳	۵۹۷	۹/۱
۱۲۱۹	۱۱۴۳	۱۰۴۱	۹۶۵	۸۸۹	۸۱۳	۷۳۷	۶۶۰	۱۲/۲
۱۲۸۳	۱۲۰۶	۱۱۰۵	۱۰۲۹	۹۵۳	۸۷۶	۸۰۰	۷۲۴	۱۵/۲
۱۳۴۶	۱۲۷۰	۱۱۶۸	۱۰۹۲	۱۰۱۶	۹۴۰	۸۶۴	۷۸۷	۱۸/۳
۱۴۱۰	۱۳۳۴	۱۲۳۲	۱۱۵۶	۱۰۸۰	۱۰۰۳	۹۲۷	۸۵۱	۲۱/۳
۱۴۷۳	۱۱۹۷	۱۲۹۵	۱۲۱۹	۱۱۴۳	۱۰۶۷	۹۹۱	۹۱۴	۲۴/۴
۱۵۳۷	۱۴۶۳	۱۳۶۱	۱۲۸۵	۱۲۰۹	۱۱۳۳	۱۰۵۷	۹۸۰	۲۷/۴
	۱۵۲۴	۱۴۲۲	۱۳۴۶	۱۲۷۰	۱۱۹۴	۱۱۱۸	۱۰۴۱	۳۰/۵
		۱۵۴۹	۱۴۱۲	۱۳۳۶	۱۲۶۰	۱۱۸۴	۱۱۰۷	۳۳/۵
			۱۴۷۳	۱۳۹۷	۱۳۲۱	۱۲۴۵	۱۱۶۸	۳۶/۶

جدول ۶-۷ تنشهای فشاری مجاز شمع چوبی

نوع چوب		تنش مجاز در حالت معمولی (کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع)	تنش مجاز برای بارگذاری موقت
چوب سوزنی برگان	کاج قرمز، کاج سیاه، سرو و غیره	۴۰	۱/۵ برابر مقادیر معمولی
چوب پهن برگان	بلوط، شاه‌بلوط، چوب جنگی زان	۵۰	۱/۵ برابر مقادیر معمولی

۶-۸-۲ سپر ◀

سپر برای ساخت آب‌شکنها، دیواره‌ها و دیوارهای قطع زیرزمینی استفاده می‌شود. یک لبه سپر باید اریب باشد تا کوبیدن آن آسان شود. سپر نباید بیش از یک متر در خاک فرو برده شود، در غیر این صورت محل سپر را باید کند و با بر پا کردن سپر، اطراف آن را با استفاده از مواد مناسب پر کرد. همچنین سپر باید به منظور سهولت بیرون کشیدن و امکان محکم چسبیدن به صفحه مجاور در کف گونیا شود. سپرها باید با اتصال فاق و زبانه به هم متصل شوند. همچنین زبانه شمع با فاق ایجاد شده در سپر اتصال برقرار می‌کند. از چوبهایی که با پیچ یا میخ زنگ نزن به هم وصل شده‌اند نیز می‌توان برای ساخت سپر استفاده کرد.

۶-۹ جانداران مخرب چوب ◀◀

چوب ممکن است در شرایط بهره‌برداری، دچار پوسیدگی و خرابی شود. وجود معایبی مانند ترک در چوب موجب تسریع تخریب می‌گردد. مهم‌ترین جاندارانی که باعث تخریب چوب در سازه‌های واقع در زیر آب و یا در مسیر جزر و مد دریا می‌شوند عبارتند از:

الف: نرم‌تنان یا کرمهای کشتی

این کرمها شامل چهار دسته فلاد، تردو، مارتسیا و بانکیا هستند. لارو شناور این موجودات روی چوب حرکت کرده تا در سطح آن، محل آسیب دیده‌ای برای نفوذ پیدا کنند و پس از ورود به داخل چوب (به عنوان مسکن) در حفره‌های ایجاد کرده تا پایان عمر باقی می‌مانند. شدت خسارات این جانداران به فراوانی غذا، اکسیژن و عوامل محیطی مانند گرما و شوری آب بستگی دارد.

ب: خرچنگها

این موجودات شامل سه دسته چلورا، لیموریا و اسفاثروما هستند و دارای بدن بندبند بوده و در چوب تونلهای باریک و کوتاه سطحی به وجود می‌آورند، ولی در داخل چوب محبوس باقی نمانده و گاهی از آن خارج می‌شوند. چون تخریب این جانوران سطحی انجام می‌شود، در مدت کوتاهی بر اثر ضربات امواج، چوب خسارت دیده شکسته و کنده می‌شود و جانور به عمق بیشتری نفوذ می‌کند. به این ترتیب به تدریج تخریب چوب عمیق‌تر شده و از حجم چوب کاسته می‌شود، تا جایی که دیگر قادر به تحمل بار نخواهد بود. حمله خرچنگها به چوب در دریا، به حد جزر و مد محدود می‌شود. فعالیت این جانوران در آبهای تمیز و با اکسیژن محلول زیاد بیشتر است. قارچها و باکتری‌ها در تخریب چوبهایی که در محیط مرطوب قرار می‌گیرند و یا در چرخه‌های تر و خشک شدن واقع شده‌اند، تأثیر بیشتری دارند.

موریانه‌ها به چوبهایی که داخل خشکی به کار می‌روند آسیب می‌رسانند. برای کنترل تأثیر عوامل مخرب روی چوب باید مطابق بند ۶-۱۰، با مواد شیمیایی از آن محافظت کرد.

◀◀ ۱۰-۶ حفاظت شیمیایی چوب

هدف اصلی محافظت، جلوگیری از اثر عوامل مخرب بر روی چوب است. چوبهایی که در سازه‌های دریایی مورد استفاده قرار می‌گیرند، باید بر حسب موقعیت قرار گرفتن با مواد شیمیایی مناسب (محلول در روغن یا آب) محافظت گردند، زیرا در معرض عوامل مخرب گوناگون قرار دارند. موقعیتهای مختلف کاربرد چوبها عبارتند از:

الف: زیر آب

ب: در موقعیت تر و خشک شدن مکرر (موقعیت پاششی یا در معرض پاشیده شدن آب دریا)

ج: بالای سطح آب (در مجاورت هوا یا خاک)

مقدار ماده حفاظت کننده به صورت وزن در هر متر مکعب چوب اشباع شده و از طریق اندازه‌گیری حجم محلول جذب شده توسط چوب تعیین می‌گردد. مقدار لازم تزریق به نسبت اندازه چوب متغیر است

و باید توسط آزمایش مشخص شود. در استاندارد ASTM D2481-94، روش ارزیابی چوبهای اشباع شده برای محیطهای دریایی ارایه شده است.

برای حفاظت چوبهایی که در بالای سطح آب قرار می‌گیرند، استفاده از مواد محلول در روغن، کرئوزوت قطران زغال سنگ و مواد حفاظت کننده مانند آرسنات مس کروماته CCA یا آرسنیت مس آمونیاکی ACA مناسب است. برای محافظت این چوبها، استفاده از کرئوزوت قطران زغال سنگ ترجیح دارد، زیرا در معرض شسته شدن قرار دارند.

برای چوبهایی که در زیر آب قرار می‌گیرند و خطر موجودات چوب‌خوار دریایی مانند تردو وجود دارد ولی خطر لیموریا وجود ندارد، استفاده از کرئوزوت حفاظت مناسبی در چوب به وجود می‌آورد، ولی هر جا خطر لیموریا وجود دارد، محافظت دوگانه با کرئوزوت و CCA یا ACA مناسب است. چوبها باید پیش از مصرف به ابعاد و شکل‌های مناسب بریده شده و سپس اشباع گردند، زیرا برش بعدی می‌تواند از عمق وجود مواد حفاظت کننده کاسته و از تأثیر آنها بکاهد. در شرایط معمولی، مشتقات قطران موادی بی‌اثر بوده و خواص مکانیکی چوب را چندان تغییر نمی‌دهد، اما استفاده از آن در دما و فشار زیاد موجب کاهش مقاومت چوب می‌شود. شیوه‌های محافظت و مقادیر مناسب مواد محافظت کننده در استانداردهای AWPA C2 و AWPA C3 ارایه شده‌اند.

◀ ۶-۱۱ کیفیت و پذیرش چوب

کیفیت چوب به عنوان عضو سازه‌ای باید بر اساس مشخصات طراحی، از ویژگیهای ارایه شده توسط استانداردهای ایران یا استانداردهای معتبر بین‌المللی پیروی نماید. همچنین برای اعضای کششی یا اتصالاتی که تنش زیادی تحمل می‌کنند، چوب باید تا حد امکان عاری از معایبی مانند وجود گره، انحراف الیاف و پوسیدگی باشد. برای اعضای که نیروی فشاری زیادی تحمل می‌کنند، چوب باید تا حد امکان فاقد ترک و تاب برداشتن باشد. برای اعضای اصلی سازه‌ای، چوب باید تا حد امکان بادوام باشد.

◀◀ ۶-۱۲ اتصالات

اجزا و قطعات سازه‌های چوبی دریایی باید به یکی از سه روش زیر به هم اتصال یابند:

الف: استفاده از انواع اتصالات چوبی مانند فاق و زبانه، کام و زبانه

ب: استفاده از عوامل اتصال دهنده فلزی (از جنس زنگ‌نزن) مانند پیچ، میخ، پین، ورق و تسمه

ج: استفاده از ترکیب دو روش فوق

عوامل اتصال دهنده فلزی باید علاوه بر مقاومت در برابر خوردگی، در برابر ساییدگی و خراشیدگی نیز مقاومت داشته باشند. روی قطعات اتصال دهنده فلزی را می‌توان با رنگها و روکشهای مقاوم در برابر آب پوشش داد. همچنین قطعات اتصال باید در فواصل زمانی مناسب بازرسی شوند و از سلامت آنها اطمینان حاصل شود. چنانچه قسمتی از چوب زیر خاک قرار می‌گیرد، بهتر است روی آن با مواد مناسب مانند لایه‌های پلیمری پوشانده شود. در استانداردهای ASTM D5652-95 و ASTM D1761-95، روش آزمایش چوبهای اتصال یافته ارایه شده است.

◀◀ ۶-۱۳ تعمیرات

روشهای تعمیر اعضای سازه‌ای مانند شمعهای چوبی، بیشتر متکی بر تقویت بیرونی است. برای تعمیر و تقویت چوبهای آسیب دیده و یا خورده شده توسط موجودات دریایی، باید به یکی از شیوه‌های زیر عمل کرد:

الف: پوشش با بتن درجا، به طوری که لایه‌ای از بتن به ضخامت کافی اطراف چوب را بپوشاند.

ب: استفاده از ورقهای پلیمری مانند پلیمرهای مسلح و پر کردن فضای بین آنها توسط چسبهای مناسب مانند اپوکسی.

ج: پیچاندن ورقه‌های از جنس PVC یا پلی‌اتیلن در اطراف چوب.

منابع

الف: منابع فارسی

- ۱- فناوری بتن درحوزه خلیج فارس، جلد اول، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن قدوسی، رمضانپور، پرهیزگار، گنجیان، بازنگری چهارم و نهایی ترجمه دکتر هرمز فامیلی A.M.Neville - خواص بتن تالیف
- ۲- گنجیان، اسماعیل؛ ماجدی اردکانی، محمد حسین. مصالح مهندسی عمران. تهران: دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی. چاپ اول، ۱۳۷۷
- ۳- مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران. اصطلاحات و ابعاد چوب. کرج: مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، استاندارد شماره ۴۱۷، تجدید نظر اول، چاپ سوم، ۱۳۷۲
- ۴- حامی، احمد. مصالح ساختمان. تهران: دانشگاه تهران. چاپ پنجم، ۱۳۶۹
- ۵- مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران. آیین کار چوب خشک‌کنی. کرج: مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران. استاندارد شماره ۳۷۰۰، چاپ اول، ۱۳۷۵
- ۶- مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران. چوب (معایب قابل قبول در گرده‌بینه و درجه‌بندی آنها). کرج: مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، استاندارد شماره ۱۲۷۵، چاپ دوم، ۱۳۷۳
- ۷- مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران. تعاریف و اصطلاحات معایب چوبهای اره شده سوزنی برگان. کرج: مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، استاندارد شماره ۱۴۰۲. چاپ سوم، ۱۳۷۲
- ۸- مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران. اندازه‌گیری معایب چوبهای بریده شده سوزنی برگان. کرج: مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، استاندارد شماره ۱۴۹۵، چاپ سوم، ۱۳۷۴
- ۹- مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران. اندازه‌گیری معایب چوبهای بریده شده پهن برگان. کرج: مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، استاندارد شماره ۱۴۹۷، چاپ سوم، ۱۳۷۴
- ۱۰- مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران. روشهای نمونه‌برداری از چوب و ویژگیهای عمومی آزمایشات فیزیک و مکانیک چوب. کرج: مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، استاندارد شماره ۱۱۴۰، چاپ اول، ۱۳۵۸
- ۱۱- سازمان برنامه و بودجه. مشخصات فنی عمومی کارهای ساختمانی. تهران: سازمان برنامه و بودجه، نشریه شماره ۵۵، تجدید نظر اول، چاپ دوم، ۱۳۷۵

۱۲- ابراهیمی، قنبر. طراحی سازه‌های چوبی. تهران: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، چاپ دوم،

۱۳۷۴

۱۳- متن آیین‌نامه قبلی

۱۴- طالبی طادی، محمود. گنجینه‌های صنعت ساختمان. تهران: دفتر فنی طادتکنیک، ۱۳۶۴

۱۵- شکیب، حمزه؛ ماجدی اردکانی، محمد حسین. روشهای ساخت و مقاوم‌سازی ساختمانهای چوبی،

تهران: کمیته فرعی - تخصصی مقابله با خطرات ناشی از زلزله و لغزش لایه‌های زمین، نشریه شماره ۸،

۱۳۷۸

۱۶- ویسه، سهراب، «ویژگیها و کاربردهای توف سبز البرز»، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۶۹.

ب: منابع انگلیسی

- 1- Fontana, Corrosion Engineering, 1986.
- 2- Logue, L., Marine Corrosion, 1975.
- 3- Shreir, L., Corrosion, 1976.
- 4- Uhlig, H., Corrosion and Corrosion Control, 1985.
- 5- Wrongler, An Introduction to corrosion and protection of Metals, 1972.
- 6- Romanov, v.v., corrosion of Metals, 1965.
- 7- Corrosion Resistance Metals Handbook, 2nd ed./1971.
- 8- Metals Handbook, vol.13, 1996.
- 9- Fulmer Material Optimizer, vol.1, section B.
- 10- Steel sheet piling Design, Manual, by Nippon steel corporation.
- 11- Structural Materials for Harbor and Coastal construction, by Lawrence L. Whiteneck and Lester A. Hockney, 1989.
- 12- British standard code of practice for Maritime Structures, BS 6349, latest edition.
- 13- Technical Standard for port and Harbour Facilities in Japan, 1980.
- 14- American Society for testing and Materials (ASTM), Applicable ASTM standards.

- 15- American Society for Metals, properties and selection: Iron and Steels, Metal Handbook, latest edition.
- 16- Material Association of corrosion Engineering (NACE), Basic corrosion course, latest edition.
- 17- Steel structures painting council, System and specifications, Manual, latest Edition.
- 18- American Institute of Steel construction (AISC), latest edition.
- 19- German standard, DIN, Applicable DIN standards.
- 20- Corrosion of Reinforcement in Concreta, 3rd. International symposium of SCI, UK, May 1990.
- 21- Protection of concreta, proceeding, Edition by K. Dhir, and W. Green, Sep. 1990.
- 22- X. G. Zhang, and J. Hwang, Zinc wired Rebar, Materials performance, Feb, 1997.
- 23- Alan Watters, Cathodic protection of Splash Zone Reinforced Concrete, Ind. Corr., vol. 9, No.3, May 1991.
- 24- S. Guirgues, Durability of Reinforced Concreta Structures, 2nd CANMET/ACI international conference on Durability of Concreta, Canada, 1991.
- 25- E. Gjorv, Control of steel corrosion in Concreta Sea Structures, ACI, sp-49, 1987.
- 26- F.H.Rasheezafar, Dakhil and A. S. Al-Gahtani, Deterioration of concreta Structures in the Environment of the Middle East, ACI journal, Jan, 1984.
- 27- Performance of concreta in Marine Environment, ACI SP-65, 1980.
- 28- Mays, G., Durability of Concrete Structures, Investigation, Repair, Protection, E & FN Spon, 1992
- 29- Kay, T., Assessment & Renovation of Concrete Structures, Concrete Design & Construction Series, 1992
- 30- Campbell-Allen, D. and Roper, 4., Concrete Structures:Materials, Maintenance and Repair 1991
- 31- Allen, R.T.L Edwards, S.C, And Shaw, J.D.N, The Repair of Concrete Structures, Blackie Academic & professional, 1987
- 32- Kliger, P. and Lamond, J.F, Significance of test and properties of Concrete and Concrete - Making Materials, ASTM, STD 169 C 1994

۳۳ - تمام مجموع مقالات (۱۲ جلد از سال ۱۹۹۷ تا ۱۹۸۵) مربوط به کنفرانس بین‌المللی:

Deterioration and Repair of Reinforced Concrete in the Persian Gulf

34- Mailvaganam N.P, Repair and Protection of Concrete Structures, CRC, Press, 1991

35- DIN ASTM, BS

36- Durability of Concrete, Inter. Confer Editor, V.M

37- Malhotra, Canmet / ACI, 1997 (TWO Volume)

38- ACI Manual of Concrete Practice, 1998 Part 1, Part 2, Part 3, Part 4, Part 5

39- Day, K.W, Concrete Mix design, Quality Control and Specification, E & FN Spon, 1995

40- Performance of Concrete in Marine Environment ACI Publication SP-61, 1987

41- Concrete Durability, Katharine and Bryant Mather International Conference Volumes 1 & 2

42- ACI Publication SP-100 1987

43- Concrete in Marine Environment Proceeding, Second International Conference St. Andrews by-the sea Canada 1988

44- ACI Publication SP 109 ,1988

45- Durability of Concrete G.M. Idorne International Symposium

46- ACI Publication SP-131 1992 Volumes 1 & 2

47- Durability of Concrete, Third International Conference Nice, France 1994

48- ACI Publication SP-145

49- High Performance Concrete proceedings ACI International Conference Sigapore 1994

50- ACI Publication SP-149

51- High performance concrete, Proceedings ACI International Conference Malyaysia 1997

52- ACI publication SP-172

53- Kumar, S; building construction; standard publishers distributors; 1979

54- ASTM, Standard Terminology Relating to Dimension Stone, C119, Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.07, 1998.

- 55- ASTM, Standard Descriptive Nomenclature for Constituents of Natural Mineral Aggregates, C294, Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02, 1998.
- 56- ASTM, Standard Practice for evaluation of Rock to be used for Erosion Control, D4992, Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.09, 1998.
- 57- ASTM, Practice for Petrographic Examination of Aggregates for Concrete, C295, Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02, 1998.
- 58- ASTM, Test Method for Evaluation of Durability of Rock for Erosion control Under wetting and Drying conditions, D5313, Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.09, 1998.
- 59- ASTM, Test Method for Evaluation of Durability of Rock for Erosion control Under Freezing and Thawing conditions, D5312, Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.09, 1998.
- 60- Farrar, J.A, Bureau of Reclamation Experience in Testing of Riprap for Erosion control Dams, STP ASTM, 1995.
- 61- ASTM, Practice for preparation of Rock Slabs for Durability Testing, D5121, Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.09, 1998.
- 62- ASTM, Test Method for Testing Rock Slabs to Evaluate soundness of Riprap by Use of Sodium sulfate or Magnesium Sulfate, D5240, Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.08, 1998.
- 63- ASTM, Test Method for Specific Gravity and Absorption of coarse Aggregate, C127, Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02, 1998.
- 64- ASTM, Test Method for Resistance to Degradation of Large-Size Coarse aggregate by Abrasion and Impact in Los Angeles Machine, D535, Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02, 1998.
- 65- ASTM, Test Method for Splitting Tensile Strength of Intact Rock core specimens, D3967, Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.08, 1998.
- 66- Fisher, H.H., Insoluble Residue of carbonate Rock and its Application to Durability of Rock Riprap, ASTM STP 1177, 1995.
- 67- ISRM, Rock Characterization for Testing and Monitoring, International society for Rock Mechanics, 1984.
- 68- ASTM, Standard Test Method for Slake Durability of Shales and Similar Weak Rocks, D4644, Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.08, 1998.
- 69- BS, Stone for armouring or Protection works, BS 6349: Part:1, 57, British standard Institute, 1994.

-
- 70- MS-2 Mix design Methods for Asphalt Concrete And Other Hot-Mix Types
 - 71- MS-3 Asphalt plant Manual
 - 72- MS-4 The Asphalt handbook
 - 73- MS-5 Introduction to Asphalt
 - 74- MS-6 Asphalt Pocketbook
 - 75- MS-8 Asphalt Paving Manual
 - 76- MS-12 asphalt in Hydraulics
 - 77- MS-14 asphalt Cold-Mix Manual
 - 78- MS-15 Drainage of asphalt Pavement Structures
 - 79- MS-16 Asphalt in pavement Maintenance
 - 80- MS-18 Sampling Asphalt Products for Specifications Compliance
 - 81- MS-19 Basic Asphalt Emulsion Manual
 - 82- SS-1 Model Construction Specification for Asphalt Concrete and Other Plant-Mix types
 - 83- SS-3 Specification and Construction Methods for Asphalt Curbs and Gutters
 - 84- AASHTO, Standard Specification for Transportation Materials and Methods of sampling and testing, part 1 Specification 1986.
 - 85- AASHTO, Standard Specification for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing, Part 11 specification, 1986.
 - 86- ASTM Standards, Annual Book as ASTM Standards, Road and Paving Materials, Volume 0.4, 0.3 1998
 - 87- Engineering properties of a Asphalt Mixtures and the relationship to their performance ASTM Publication STP 126.5 1995 ISBN 0-8031-2002-8
 - 88- Quality Management of hot Mix asphalt ASTM Publication STP 1299. 1996 ISBN.
 - 89- Grag S.K Irrigation engineering and Hydraulic structures, Khanna Publishers. 13TH Revised edition Dehli, India 1998.
 - 90- Coastal engineering considerations in coastal zone management American Society of Civil Engineers 1993. ISBN 0-87262-958-9

-
- 91- Coastal Engineering Proceeding of the 24th International conference 23-28 October 1994. Kobe-Japan published by American Society of Civil Engineers ISBN 0-7844-0089-X
 - 92- Marinas, Parks and recreation developments. International Conference Proceedings Society of civil Engineers. ISBN 0.7844-002808
 - 93- Blain W.R Marina Developments, Computational Mechanics Publications, Boston, USA, 1993, ISBN 1-56252-076-8
 - 94- New Technology in water services, Institution of Civil Engineers, Conference Proceedings 20-21 February 1985. Thomas Telford Publications
 - 95- Francken L. Bituminous binders and mixes. state of the art interlaboratory tests on mechanical behavior and mix design. F& FN Spon 1998 ISBN 0419228705
 - 96- Santbergen L and van Western C.J Reservoirs in river development, Balldema. 1995 Voulume.1

واژه نامه

A

Abrasion.....	سایش
Acid attack	حمله اسید
Acrylic	آکریلیک - نوعی پلیمر
Aggregates	سنگدانه‌ها - مصالح سنگی
Aggressive.....	مهاجم - آسیب‌رسان
Algae	جلبک
Algae	جلبک
Alkalinity	خاصیت قلیایی
Alteration	دگرسانی
Alteration	دگرسانی
Armour	آرمور

B

Baking Finish	رنگ کوره‌ای
Bedding.....	لایه‌بندی
Bedding layer	سنگ بستر، لایه بستر
Berthing	پهلوگیر
Biological.....	زیستی
Bituminous Coating.....	پوشش‌های قیری
Blistering.....	آبله‌رو شدن
Bonding Agent.....	ماده چسبنده
Breaking Wave	موج شکننده
Breakwater	موج‌شکن
Brecciated	برشی شده
Broken Wave.....	موج شکسته شده
Bulk Density.....	وزن مخصوص انبوهی
Bulk Heads	دیواره‌ها

C

Caisson	صندوقه
Carbon Dioxide	دی اکسید کربن
Carbonation.....	کربناسیون - کربناته شدن
Casting.....	قالب‌گیری - بتن‌ریزی
Cast-in-situ.....	درجا
Cathodic Polarization	پلاریزاسیون کاتدی
Cathodic Protection.....	حفاظت کاتدی
Cavern	حفره
Cavitation Corrosion	خوردگی حفره‌ای
Cement Mortar	مالات سیمان
Cement Paste.....	خمیر سیمان
Chloride	کلرید
Cladding	روکش کاری
Coarse Aggregates	سنگدانه‌های درشت
Compressed Wood.....	چوب فشرده
Concrete.....	بتن
Constitute.....	تشکیل دهنده
Construction	ساخت و اجرا
Contamination	آلودگی
Cope	سرپوش
Coral.....	مرجان
Corrosion	خوردگی - زنگ
Corrosion Fatigue	خوردگی خستگی
Corrosion Inhibitors	مواد بازدارنده خوردگی
Cover.....	پوشش - پوشش بتنی روی میلگردها
Crack	ترک
Crevice Corrosion	خوردگی شیباری

Crushing Value ارزش خرد شدن
 Crustacean خرچنگیان
 Curing عمل آوری
 Curing Compounds ترکیبات عمل آورنده
 Curing Time زمان عمل آوری

D

Degreasing گریس‌زدایی
 Deterioration تخریب - آسیب
 Diffusion پخش
 Dry Salty Environment .. محیط خشک و نمکی
 Durability دوام
 Durable بادوام

E

Eddy Current جریان سرگردان
 Efflorescence شوره‌زدگی
 Efflorescence شوره‌زدگی
 Environment محیط
 Epoxy Resins رزینهای اپکسی
 Erosion Control کنترل فرسایش
 Ettringite اترینگیت - انترنژیت
 Explosive مواد ناریه، منفجره
 Exposure در معرض قرار گرفتن - رویارویی
 Exposure رخنمون، رویارویی

F

Facies رخساره
 Fender سپر، ضربه‌گیر
 Filter Layer سنگ فیلتر
 Fine Aggregate سنگدانه ریز - ریزدانه

Finishing پرداخت
 Flaking پوسته شدن
 Floating ماله‌کشی
 Foliation تورق

G

Galvanic Corrosion خوردگی گالوانیکی
 Galvanic Serries سری‌های گالوانیکی
 Grain Defect رویش نامناسب الیاف
 Granular Disintegration .. متلاشی شدن دانه‌ای
 Grizzly سرند میله‌ای
 Groins آب شکن
 Gypsum گچ

H

Hardwood پهن برگان
 Hearthwood چوب برون
 Honey Comb لانه زنبوری شدن
 Hot Dipping غوطه‌وری گرم

I

Impact Value ارزش ضربه
 Impressed Current جریان اعمالی
 Inhibitor ممانعت کننده
 Isotropic از هر سو برابر

J

Jetty اسکله

K

Knot گره

L

Lacquer لاک
 Latex Paint رنگ لاتکس

Lichen..... گل سنگ
 Lichen..... گل سنگ
 Lineation..... جهت‌یافتگی خطی
 Loam لوم، رسماسه

M

Macro Climate ماکرو اقلیم - بزرگ اقلیم
 Marine Environment..... محیط دریایی
 Micro Climate..... میکرو اقلیم - ریز اقلیم
 Micro-folding ریزچین خوردگی
 Mineral Additives مواد افزودنی معدنی
 Mix Proportioning..... تعیین نسبت مخلوط بتن
 Molluscan..... نرم‌تنان

N

Nonbreaking Wave موج غیر شکننده

P

Paint رنگ
 Permeability نفوذپذیری
 Pickling..... اسید شویی
 Pitch Pocket..... حفره‌های شیرابه
 Pitting Corrosion..... خوردگی حفره‌ای
 Plastic Shrinkage..... جمع‌شدگی خمیری
 Polymer-Modified Concrete
 Portland Cement سیمان پرتلند
 Possivation..... رویین شدن
 Post-tensioned Concrete بتن پس کشیده
 Potential Break شکست پتانسیل
 Potential Decay..... افت پتانسیل
 Potential Swing..... آویز پتانسیل
 Pozzolan..... پوزولان

Prestressed Concrete بتن پیش‌تنیده
 Prolate Sphere کره کشیده شده
 Protective Barrier System مواد حفاظتی
 Protective Coatings اندودهای حفاظتی

Q

Quarrystone..... سنگ معدن
 Quay بار انداز

R

Rebar میلگرد
 Reinforced Concrete..... بتن آرمه
 Reinforcement آرماتور
 Removal of Forms..... قالب برداری
 Repair تعمیر
 Resin رزین
 Retarder ماده کندگیر کننده
 Riprap..... سنگ‌چین
 Rock Borer..... سوراخ کننده سنگ
 Rock Borer..... سوراخ کننده سنگ
 Rockfill..... سنگریز
 Rockfill..... سنگریز
 Rot and Decay فساد و پوسیدگی
 Rubber لاستیک
 Rusting زنگ زدن

S

Sacrificial Anode آند فدا شونده
 Salt Spray..... پاشش نمک
 Sapwood چوب درون
 Scaling..... پولکی شدن

Schistosity شیبستوزیته

Scour آبشستگی

Screeding شمشه کاری - تراز کردن سطح

Seawall دیوار ساحلی

Sheet ورق

Sherardizing رویینه کاری جامد

Shrinkage جمع‌شدگی

Silane سیلان، سیلان (ماده حفاظت سطح بتن)

Silica Fume دوده سیلیس - میکرو سیلیس

Siloxane سیلوکسان (ماده حفاظت کننده سطح بتن)

Silt لای

Skip-graded دانه‌بندی ناقص

Slake Durability دوام در برابر وارفتگی

Slate سنگ لوح

Softwood سوزنی برگان

Soundness سلامت

Specimen آزمون

Splash Zone ناحیه پاششی

Staining لکه‌شدگی

Stainless Steel فولاد ضد زنگ

Stress Corrosion خوردگی تنشی

Styrene-Butadiene استایرن - بوتادین

Sulfate Attack حمله سولفات

Surface Preparation آماده‌سازی سطح

Surface Treatment عمل آوردن سطحی

T

Temperature دما

Teredos کرم کشتی

Toe Protection محافظ پاشنه

Truck Mixer کامیون حمل بتن

Turbulence اغتشاش

U

Underlayer زیر لایه

Uniform Corrosion خوردگی یکنواخت

V

Vapor Deposition راسب‌سازی در بخار

Varnish میکرو اقلیم - ریز اقلیم

Vein رگه

Vitreous Enamel ماکرو اقلیم - بزرگ اقلیم

W

Warping پیچ و تاب

Water Absorption جذب آب

Waterproof Coatings پوششهای ضد آب

Water-Reducing Agents مواد کاهنده آب

Weathering هوازدگی

Wharf پهلوگیر، بار انداز

خواننده گرامی

دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، با گذشت بیش از سی سال فعالیت تحقیقاتی و مطالعاتی خود، افزون بر چهارصد عنوان نشریه تخصصی - فنی، در قالب آیین‌نامه، ضابطه، معیار، دستورالعمل، مشخصات فنی عمومی و مقاله، به‌صورت تألیف و ترجمه، تهیه و ابلاغ کرده است. نشریه پیوست در راستای موارد یاد شده تهیه شده، تا در راه نیل به توسعه و گسترش علوم در کشور و بهبود فعالیتهای عمرانی به کار برده شود. به این لحاظ برای آشنایی بیشتر، فهرست عناوین نشریاتی که طی دو سال اخیر به چاپ رسیده است به اطلاع استفاده‌کنندگان و دانش‌پژوهان محترم رسانده می‌شود.

لطفاً برای اطلاعات بیشتر به سایت اینترنتی <http://tec.mporg.ir> مراجعه نمایید.

دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله

Islamic Republic of Iran

**Ports and Marine Structures
Design Manual
(Materials)**

No: 300-2

**Management and Planning Organization
Office of the Deputy for Technical Affairs
Technical, Criteria Codification and
Earthquake Risk Reduction Affairs Bureau**

**Ministry of Roads and Transportation
Deputy of Education, Research
and Technology
Transportation Research Institute**

2006

این نشریه
با عنوان «آیین‌نامه طراحی بنادر و سازه‌های دریایی ایران
(مصالح)» شامل شش فصل است.
کلیات، بتن، فولاد، قیر و آسفالت، سنگ و چوب، فصلهای
مختلف نشریه را تشکیل می‌دهند.
دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور، پیمانکاران و
عوامل دیگر می‌توانند از این نشریه به عنوان راهنما
استفاده کنند.