

جمهوری اسلامی ایران
سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور

آیین‌نامه طراحی بنادر و سازه‌های دریایی ایران

نشریه شماره ۵-۳۰۰

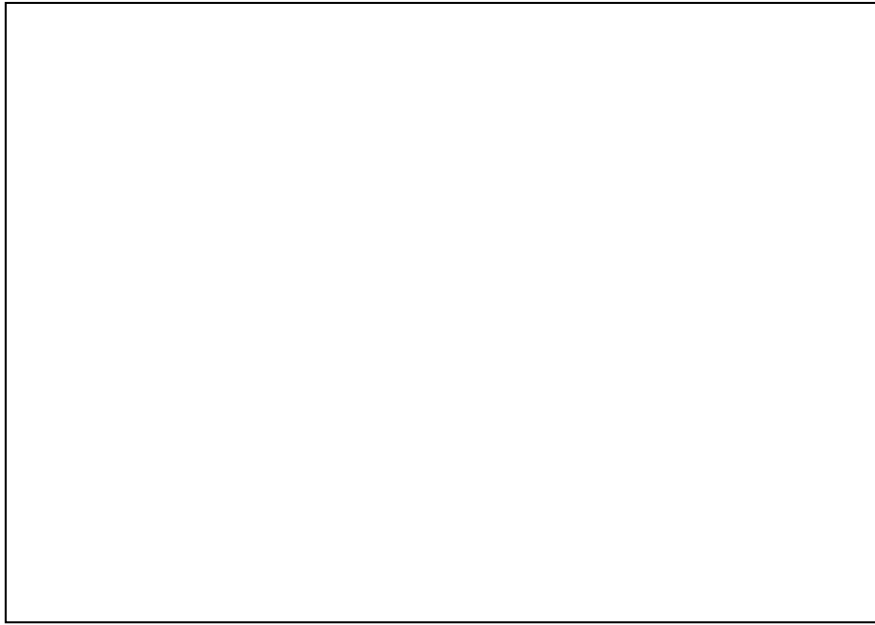
(موج‌شکنها و سازه‌های حفاظتی)

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: ۱۰۰/۲۰۰۵۷	به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران
تاریخ: ۱۳۸۵/۲/۱۱	
موضوع: آیین‌نامه طراحی بنادر و سازه‌های دریایی ایران (موج‌شکن‌ها و سازه‌های حفاظتی)	

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 ۲۴۵۲۵/ت/۱۴۸۹۸ هـ مورخ ۱۳۷۵/۴/۴ هیأت محترم وزیران به پیوست، نشریه شماره ۳۰۰-۵ دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله این سازمان، با عنوان «آیین‌نامه طراحی بنادر و سازه‌های دریایی ایران (موج‌شکن‌ها و سازه‌های حفاظتی)» 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 جمهور 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 پنجم (موج شکنها و سازه‌های حفاظتی)

مناطق ساحلی هر کشور در زمره منابع ارزشمند ملی آن به شمار می‌آیند. مجاورت با آبهای آزاد، نه تنها امتیاز بی‌نظیر حمل و نقلهای آسان و ارزان را در اختیار می‌گذارد بلکه مجموعه‌ای از استعدادهای متنوع برای فعالیتهای اقتصادی، فرهنگی، نظامی و ... را عرضه می‌دارد. در عین حال، دریا به عنوان منبع این استعدادهای بعضاً دارای کنشها و رفتارهای پیچیده‌ای است که عدم شناخت و توجه لازم به این رفتارها موجبات اخلال در بهره‌برداری از این استعدادهای و یا حتی پدید آمدن خسارات هنگفت جانی و مالی خواهد بود. با توجه به موارد فوق در این بخش از آیین‌نامه، نخست به شناخت فرایندهای ساحلی پرداخته می‌شود تا با یافتن معیارهایی مناسب بتوان از طریق راه‌حلهایی به حفاظت از مناطق ساحلی پرداخت. در این ارتباط، عملی‌ترین شیوه‌های حفاظت از سواحل، مورد توجه قرار گرفته است. در میان این راه‌ها اگر چه موج‌شکنها به عنوان سازه‌های حفاظت از سواحل از اهمیت خاصی برخوردارند لیکن اهمیت موج‌شکنها در کشور ما، بیشتر به دلیل ایجاد پناهگاههای کوچک و بزرگ برای شناورهای مختلف، از قایقهای کوچک تا بزرگترین کشتی‌های قاره‌پیما می‌باشد. بر این اساس طراحی موج‌شکنها در کشوری که دارای بیش از سه هزار کیلومتر ساحل قابل استفاده است از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. به دلیل چنین ویژگی خاصی، قسمت عمده نشریه حاضر به تشریح انواع موج‌شکنها، ویژگیها و معیارهای طراحی مربوطه اختصاص یافته است. تلاش عمده در این نشریه بر آن بوده تا کلیه موارد با توجه به شرایط مناطق ساحلی کشور، مورد تأکید قرار گیرد.

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 میرمحمود ظفری

دکتر رضا غیائی

مهندس مهران غلامی

مهندس کامبیز احمدی

مهندس مرتضی بنی‌جمالی

مهندس بهناز پورسید

مهندس علیرضا توتونچی

دکتر محرم دولتشاهی

دکتر حمید رحیمی پور

مهندس محمد سعید سجادی پور

دکتر محمود صفارزاده

دکتر مرتضی قارونی

مهندس افشین کلانتری

مهندس حسین مثقالی

مهندس عبدالرضا محبی

مهندس خسرو مشتریخواه

اعضای کمیته راهبردی

مهندس حمیدرضا بهرامیان

مهندس بهناز پورسید

دکتر محمود صفارزاده

مهندس میرمحمود ظفیری

دکتر کیومرث عماد

مهندس مهران غلامی

مهندس طاهر فتح الهی

بخش پنجم (موج شکنها و سازه های حفاظتی)

دکتر علی آزر مسا

دکتر بابک بنی جمالی

مهندس محمد بحیرایی

مهندس علی پاکنژاد

دکتر علی پاک

دکتر وحید چگینی

مهندس نوید حاجی سیدی

مهندس (زننده یاد) جلیل رشیدی

دکتر محمد رشیدیان

مجری: سازمان بنادر و کشتیرانی

مهندس داریوش زنگنه

دکتر مهدی شفیعی فر

مهندس حسین قربانی

مهندس علیرضا کبریایی

مهندس علیرضا مراغه ای

دکتر سعید مظاهری

مهندس حسین مروتی

مهندس محمد فرید نیتی

مهندس رسول یزدانی

ناظرین: دکتر میراحمد لشته نشایی، مهندس مرتضی بنی جمالی

مهدی تفضلی

معاون امور فنی

۱۳۸۵

فهرست تفصیلی مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل اول - فرایندهای ساحلی
۳	۱-۱ کلیات
۳	۲-۱ مشخصه‌های هیدرودینامیکی
۳	۱-۲-۱ باد.....
۴	۲-۲-۱ موج.....
۴	۳-۲-۱ جزر و مد.....
۵	۴-۲-۱ جریانهای ساحلی.....
۵	۳-۱ نوع بستر
۵	۱-۳-۱ فرم و شکل بستر.....
۸	۲-۳-۱ مصالح بستر.....
۱۳	۴-۱ نیمرخ عرضی
۱۳	۱-۴-۱ نیمرخهای فلات قاره.....
۱۳	۲-۴-۱ نیمرخهای نزدیک ساحل.....
۱۴	۳-۴-۱ نیمرخهای ساحلی.....
۱۵	۵-۱ فرایندهای حمل رسوب
۱۶	۶-۱ تغییرات مورفولوژیکی سواحل
۱۶	۱-۶-۱ فرسایش.....
۲۱	فصل دوم - عوامل مؤثر در طراحی سازه‌های حفاظت ساحلی
۲۳	۱-۲ کلیات
۲۳	۲-۲ اثر پدیده‌های محیطی
۲۸	۳-۲ ساختار مصالح و شکل بستر
۲۸	۴-۲ روشهای اجرای سازه
۲۹	۵-۲ ملاحظات اقتصاد پروژه و مدیریت سواحل

۳۱	فصل سوم - جمع‌آوری اطلاعات
۳۳	۱-۳ کلیات
۳۳	۲-۳ باد
۳۳	۱-۲-۳ کلیات
۳۳	۲-۲-۳ ارتفاع اندازه‌گیری
۳۳	۳-۲-۳ ارزیابی و کاربرد اطلاعات باد
۳۴	۳-۳ امواج
۳۴	۱-۳-۳ گردآوری داده‌های موجود موج
۳۶	۴-۳ انتقال رسوب
۳۷	۱-۴-۳ انتقال رسوبات ناشی از جریان
۳۷	۲-۴-۳ انتقال رسوبات با امواج کم‌عمق
۳۸	۵-۳ ملاحظات ژئوتکنیکی
۳۹	۶-۳ مصالح
۳۹	۷-۳ برنامه‌ریزی اندازه‌گیری پارامترهای میدانی
۳۹	۱-۷-۳ برنامه کلی مشاهدات میدانی
۴۰	۲-۷-۳ برنامه اصلی مشاهدات
۴۰	۳-۷-۳ بازدید مقدماتی
۴۰	۴-۷-۳ طراحی اجرایی
۴۳	فصل چهارم - تحلیل اطلاعات
۴۵	۱-۴ کلیات
۴۵	۲-۴ جمع‌آوری و پردازش اطلاعات موجود
۴۶	۳-۴ تحلیل و بازنگری اطلاعات قابل استفاده
۴۶	۱-۳-۴ نوسانات سطح آب
۴۷	۲-۳-۴ شرایط باد
۴۸	۳-۳-۴ شرایط موج
۴۸	۴-۴ تحلیل و تفسیر نهایی داده‌ها

فصل پنجم - تحلیل ریسک

۵۱

۵۳	۱-۵ کلیات
۵۴	۲-۵ مبانی تحلیل ریسک در طرح احتمالاتی یک سازه
۵۴	۱-۲-۵ احتمال آسیب.....
۵۶	۲-۲-۵ احتمال شکست.....
۵۸	۳-۲-۵ تحلیل ریسک.....
۵۸	۴-۲-۵ ریسک قابل قبول.....
۶۰	۳-۵ مکانیسمهای شکست
۶۰	۱-۳-۵ آسیبهای پایه در سازه‌های ساحلی.....
۶۴	۲-۳-۵ مکانیسمهای تخریب در سازه‌های مختلف حفاظت ساحل.....
۶۷	فصل ششم - طراحی جانمایی موج شکنها

۶۹	۱-۶ کلیات
۷۱	۲-۶ تعاریف
۷۱	۱-۲-۶ مفهوم پایداری طبقه‌بندی سازه‌ها.....
۷۳	۲-۲-۶ موج شکن توده‌سنگی.....
۷۴	۳-۲-۶ موج شکن قائم.....
۷۵	۴-۲-۶ موج شکن مرکب.....
۷۷	۳-۶ جانمایی بندر
۷۷	۱-۳-۶ کلیات.....
۷۹	۲-۳-۶ جنبه‌های ناوبری (کشتیرانی).....
۷۹	۳-۳-۶ نفوذ موج.....
۸۰	۴-۳-۶ سرریزی و عبور موج.....
۸۱	۵-۳-۶ آرایش موج شکن.....
۸۴	۶-۳-۶ مدلسازی محاسباتی.....
۸۴	۷-۳-۶ مدلسازی فیزیکی.....

فصل هفتم - طراحی کلی موج شکنها

۹۷	۱-۷ کلیات
----	-----------

۹۷	۲-۷ فلسفه طراحی
۹۷	۱-۲-۷ کلیات
۹۹	۲-۲-۷ موج طرح
۱۰۱	۳-۲-۷ عوامل مؤثر در تخریب
۱۰۲	۳-۷ پیشرفت مراحل طراحی
۱۰۵	۴-۷ انتخاب نوع سازه
۱۰۵	۱-۴-۷ انواع سازه
۱۰۵	۲-۴-۷ عوامل مؤثر در انتخاب
۱۱۱	فصل هشتم - موج شکنهای توده سنگی
۱۱۳	۱-۸ کلیات
۱۱۷	۲-۸ طرح کلی
۱۱۷	۱-۲-۸ پارامترهای حاکم در طراحی موج شکنهای توده سنگی
۱۲۳	۲-۲-۸ عوامل مؤثر در انتخاب مقطع عرضی
۱۲۶	۳-۲-۸ بالاروی، پایین آمدگی و سرریزی موج
۱۲۹	۴-۲-۸ عبور و انعکاس موج
۱۳۱	۵-۲-۸ پایداری کلی
۱۳۳	۳-۸ طراحی آرمور
۱۳۳	۱-۳-۸ کلیات
۱۳۳	۲-۳-۸ آرمور سنگی
۱۳۴	۳-۳-۸ قطعات محافظ بتنی
۱۳۸	۴-۳-۸ فرمولهای طراحی
۱۴۵	۵-۳-۸ ضخامت و میزان ادامه لایه آرمور در زیر سطح آب
۱۴۶	۶-۳-۸ آرمور تاج و وجه پشت
۱۴۷	۴-۸ طراحی هسته و زیر لایه‌ها
۱۴۷	۱-۴-۸ ملاحظات کلی
۱۴۷	۲-۴-۸ دانه بندی مصالح هسته
۱۴۸	۳-۴-۸ تعیین اندازه مصالح زیر لایه
۱۵۱	۴-۴-۸ ضخامت زیر لایه‌ها

۱۵۳	۵-۸ طراحی سازه‌های تاج
۱۵۳	۱-۵-۸ ملاحظات کلی
۱۵۵	۲-۵-۸ طراحی سازه‌ای
۱۵۵	۳-۵-۸ تحلیل
۱۵۸	۶-۸ طراحی پنجه و کف بند
۱۶۲	۷-۸ طراحی پی‌ها
۱۶۴	۸-۸ طراحی پوزه موج‌شکن
۱۶۶	۹-۸ موج‌شکنهای سکویی
۱۶۹	۱-۹-۸ مشخصات نیمرخ سمت دریا
۱۷۰	۲-۹-۸ تعیین ابعاد بهینه موج‌شکن سکویی
۱۷۱	۳-۹-۸ پایداری وجه پشت موج‌شکنهای سکویی
۱۷۱	۴-۹-۸ پوزه موج‌شکن سکویی
۱۷۲	۵-۹-۸ انتقال مصالح در امتداد بدنه موج‌شکنهای سکویی
۱۷۲	۱۰-۸ موج‌شکنهای تاج کوتاه
۱۷۴	۱۱-۸ مصالح ساختمانی
۱۷۴	۱-۱۱-۸ سنگ
۱۷۵	۲-۱۱-۸ بتن
۱۷۵	۳-۱۱-۸ پرده زمینی و محصولات وابسته
۱۷۶	۴-۱۱-۸ قیر
۱۷۶	۱۲-۸ احداث
۱۷۶	۱-۱۲-۸ کلیات
۱۷۶	۲-۱۲-۸ تجهیزات کارگاه
۱۷۷	۳-۱۲-۸ ترتیب عملیات احداث
۱۷۷	۴-۱۲-۸ احداث پنجه
۱۷۸	۵-۱۲-۸ هسته و زیرلایه‌ها
۱۷۹	۶-۱۲-۸ قطعه محافظ
۱۸۰	۷-۱۲-۸ اندازه‌گیری، انحرافها و تفاوت‌های مجاز
۱۸۰	۸-۱۲-۸ سازه تاج

۱۸۰	۱۳-۸ پایش و نگهداری
۱۸۳	فصل نهم - موج شکنهای قائم
۱۸۵	۱-۹ کلیات
۱۸۵	۲-۹ انواع سازه
۱۸۵	۱-۲-۹ کلیات
۱۹۱	۲-۲-۹ سازه‌های با وجه صلب
۱۹۱	۳-۲-۹ سازه‌های با وجه مشبک
۱۹۲	۴-۲-۹ موج شکنهای قائم با سازه توده‌سنگی در جلو وجه رو به دریا
۱۹۳	۳-۹ طراحی
۱۹۳	۱-۳-۹ کلیات
۱۹۳	۲-۳-۹ عملکرد هیدرولیکی
۱۹۵	۳-۳-۹ بارها
۱۹۸	۴-۳-۹ پایداری کلی
۱۹۹	۵-۳-۹ پی‌ها
۲۰۰	۶-۳-۹ حفاظت در مقابل آب‌شستگی
۲۰۳	۷-۳-۹ سازه‌های تاج
۲۰۳	۸-۳-۹ پوزه موج‌شکن
۲۰۴	۴-۹ سازه‌های صندوقه‌ای
۲۰۴	۱-۴-۹ کلیات
۲۰۴	۲-۴-۹ شکل صندوقه‌ها
۲۰۵	۳-۴-۹ پی‌ها
۲۰۵	۴-۴-۹ سازه تاج
۲۰۵	۵-۴-۹ سایر ملاحظات
۲۰۷	۵-۹ سازه‌های بلوک چینی بتنی
۲۰۷	۶-۹ سازه‌های بتنی سنگین
۲۰۷	۷-۹ سازه‌های سپری سلولی
۲۰۷	۱-۷-۹ کلیات

۲۰۸	..... ۲-۷-۹ حفاظت در مقابل آبشستگی
۲۰۸	..... ۳-۷-۹ سازه‌های تاج
۲۰۸	..... ۸-۹ سازه‌های سپری دو دیواره‌ای
۲۰۹	..... ۹-۹ سازه‌های سپری تک دیواره‌ای
۲۱۱	..... فصل دهم - موج‌شکنهای مرکب
۲۱۳	..... ۱-۱۰ کلیات
۲۱۳	..... ۲-۱۰ انواع سازه
۲۱۵	..... ۳-۱۰ طراحی موج‌شکنهای مرکب
۲۱۵	..... ۱-۳-۱۰ مقدمه
۲۱۶	..... ۲-۳-۱۰ عوامل مؤثر در انتخاب مقطع عرضی
۲۱۶	..... ۳-۳-۱۰ عملکرد هیدرولیکی
۲۱۶	..... ۴-۳-۱۰ بارها
۲۱۷	..... ۵-۳-۱۰ پایداری کلی
۲۱۸	..... ۶-۳-۱۰ سازه زیرین و پی‌ها
۲۱۹	..... ۷-۳-۱۰ سازه فوقانی
۲۱۹	..... ۴-۱۰ احداث
۲۲۱	..... فصل یازدهم - شرایط انتخاب نوع سازه‌های حفاظتی
۲۲۳	..... ۱-۱۱ کلیات
۲۲۳	..... ۲-۱۱ شرایط هیدرولیکی مؤثر بر انتخاب سازه حفاظتی
۲۲۴	..... ۳-۱۱ شرایط ژئوتکنیکی
۲۲۵	..... ۱-۳-۱۱ خرابی جزئی ناشی از خود سازه
۲۲۵	..... ۲-۳-۱۱ خرابی کلی
۲۲۶	..... ۴-۱۱ خصوصیات انواع مختلف سازه‌ها
۲۲۷	..... ۵-۱۱ امکانات اجرایی و ساخت مصالح ساختمانی
۲۲۸	..... ۶-۱۱ مورفولوژی ساحلی
۲۲۸	..... ۷-۱۱ مسائل محیط زیستی

۲۲۸	۱-۷-۱۱ اثرپذیری شکل فیزیکی محیط
۲۲۸	۲-۷-۱۱ اثر در کیفیت آب
۲۲۹	۳-۷-۱۱ اثر روی منابع بیولوژیکی
۲۲۹	۴-۷-۱۱ زیباییهای ظاهری
۲۲۹	۸-۱۱ اثرات فرهنگی
۲۲۹	۹-۱۱ ملاحظات اقتصادی و مدیریتی سواحل
۲۳۱	فصل دوازدهم - شرایط انتخاب محل و مبانی حفاظت سواحل
۲۳۳	۱-۱۲ مشخصات سواحل
۲۳۳	۱-۱-۱۲ مبانی
۲۳۴	۲-۱-۱۲ چگونگی فرسایش سواحل
۲۳۷	۳-۱-۱۲ روابط نیمرخ متعادل ساحل
۲۳۸	۲-۱۲ امکان‌سنجی حفاظت سواحل
۲۳۹	۱-۲-۱۲ شناسایی مسئله و بررسی شرایط مرزی
۲۴۰	۲-۲-۱۲ تصمیم‌گیری برای حفاظت ساحل و بررسی گزینه‌ها
۲۴۲	۳-۱۲ معرفی انواع روشهای حفاظتی و عملکرد آنها
۲۴۲	۱-۳-۱۲ تغذیه مصنوعی و انتقال رسوبات
۲۴۶	۲-۳-۱۲ سازه‌های حفاظت سواحل
۲۵۱	۴-۱۲ انتخاب محل و جانمایی سازه
۲۵۵	فصل سیزدهم - آب‌شکنها
۲۵۷	۱-۱۳ معرفی آب‌شکنها
۲۵۷	۱-۱-۱۳ تعریف
۲۵۷	۲-۱-۱۳ موارد کاربرد و عملکرد
۲۶۰	۳-۱-۱۳ محدودیتها
۲۶۱	۲-۱۳ انواع آب‌شکنها
۲۶۱	۱-۲-۱۳ آب‌شکنهای چوبی
۲۶۲	۲-۲-۱۳ آب‌شکنهای فولادی
۲۶۳	۳-۲-۱۳ آب‌شکنهای بتنی

۲۶۳	..... ۴-۲-۱۳ آب‌شکنهای توده‌سنگی
۲۶۵	..... ۵-۲-۱۳ آب‌شکنهای آسفالتی
۲۶۵	..... ۶-۲-۱۳ انتخاب نوع
۲۶۶	..... ۳-۱۳ طراحی اولیه آب‌شکنها
۲۶۶	..... ۱-۳-۱۳ طراحی کاربردی آب‌شکنها
۲۷۳	..... ۲-۳-۱۳ طراحی ساختاری آب‌شکنها
۲۷۵	..... ۴-۱۳ اجرای آب‌شکنها
۲۷۶	..... ۵-۱۳ نگهداری و رفتارسنجی آب‌شکنها
۲۷۶	..... ۱-۵-۱۳ بازرسیها
۲۷۶	..... ۲-۵-۱۳ رفتارسنجی
۲۷۹	..... ۳-۵-۱۳ کتابچه راهنمای بهره‌برداری و نگهداری برای مسئولین محلی
۲۸۱	..... فصل چهاردهم - تیغه‌ها
۲۸۳	..... ۱-۱۴ معرفی تیغه‌ها (تعریف، کاربرد، عملکرد، محدودیتها و تأثیر سازه بر ساحل)
۲۸۳	..... ۲-۱۴ انواع تیغه‌ها
۲۸۴	..... ۱-۲-۱۴ تیغه توده‌سنگی
۲۸۴	..... ۲-۲-۱۴ تیغه‌های سپری
۲۸۵	..... ۳-۲-۱۴ تیغه‌های سلولی
۲۸۵	..... ۳-۱۴ طراحی اولیه تیغه‌ها
۲۸۵	..... ۱-۳-۱۴ طراحی کاربردی تیغه‌ها
۲۸۹	..... ۲-۳-۱۴ طراحی ساختاری تیغه‌ها
۲۸۹	..... ۴-۱۴ اجرای تیغه‌ها
۲۹۱	..... ۵-۱۴ نگهداری و رفتارسنجی تیغه‌ها
۲۹۳	..... فصل پانزدهم - دیوارهای ساحلی
۲۹۵	..... ۱-۱۵ معرفی دیوارهای ساحلی
۲۹۶	..... ۲-۱۵ انواع دیوارهای ساحلی
۲۹۷	..... ۱-۲-۱۵ دیوارهای ساحلی سنگی
۲۹۸	..... ۲-۲-۱۵ دیوارهای ساحلی بتنی

۳۰۰	..... دیوارهای ساحلی با استفاده از سپرهای فولادی
۳۰۰	..... دایکها
۳۰۱	..... ۳-۱۵ طراحی اولیه دیوارهای ساحلی
۳۰۱	..... ۱-۳-۱۵ طراحی کاربردی دیوارهای ساحلی
۳۰۲	..... ۲-۳-۱۵ طراحی ساختاری دیوارهای ساحلی
۳۰۵	..... ۴-۱۵ ملاحظات اجرایی دیوارهای ساحلی
۳۰۶	..... ۵-۱۵ رفتارسنجی و نگهداری دیوارهای ساحلی
۳۰۶	..... ۱-۵-۱۵ رفتارسنجی دیوارهای ساحلی
۳۰۷	..... ۲-۵-۱۵ تعمیرات دیوارهای ساحلی
۳۰۹	فصل شانزدهم - دیواره لغزش گیر ساحلی
۳۱۱	..... ۱-۱۶ معرفی
۳۱۱	..... ۲-۱۶ انواع دیوارهای لغزش گیر
۳۱۲	..... ۱-۲-۱۶ دیوارهای لغزش گیر طره‌ای
۳۱۳	..... ۲-۲-۱۶ دیوارهای لغزش گیر مهار شده
۳۱۳	..... ۳-۲-۱۶ دیوارهای لغزش گیر ثقلی
۳۱۴	..... ۳-۱۶ طراحی اولیه دیوارهای لغزش گیر
۳۱۴	..... ۱-۳-۱۶ طراحی هندسی دیوارهای لغزش گیر
۳۱۵	..... ۲-۳-۱۶ طراحی سازه‌ای دیوارهای لغزش گیر
۳۱۷	..... ۴-۱۶ اجرای دیوار لغزش گیر ساحلی
۳۱۷	..... ۵-۱۶ نگهداری و رفتارسنجی دیوار لغزش گیر ساحلی
۳۱۹	فصل هفدهم - پوششهای حفاظتی
۳۲۱	..... ۱-۱۷ معرفی
۳۲۱	..... ۲-۱۷ انواع پوششهای حفاظتی
۳۲۲	..... ۱-۲-۱۷ پوششهای حفاظتی غیر سازه‌ای
۳۲۶	..... ۲-۲-۱۷ پوششهای حفاظتی سازه‌ای
۳۳۰	..... ۳-۱۷ طراحی اولیه پوششهای حفاظتی سازه‌ای
۳۳۱	..... ۱-۳-۱۷ طراحی ساختاری (نوع پوشش حفاظتی)

۳۳۱	..... مکانیزمهای خرابی ۲-۳-۱۷
۳۳۳	..... طراحی پوششهای حفاظتی ۳-۳-۱۷
۳۳۸	..... ۴-۱۷ نگهداری و رفتارسنجی پوششهای حفاظتی
۳۳۸	..... ۱-۴-۱۷ پوشش حفاظتی از نوع چمن
۳۳۹	..... ۲-۴-۱۷ پوشش حفاظتی از نوع سنگی یا بلوکی
۳۳۹	..... ۳-۴-۱۷ پوشش حفاظتی از نوع آسفالتی
۳۴۱	فصل هجدهم - تپه‌های ماسه‌ای
۳۴۳	..... ۱-۱۸ معرفی
۳۴۳	..... ۲-۱۸ انواع تپه‌های ماسه‌ای
۳۴۴	..... ۳-۱۸ میزان فرسایش و پروفیل ساحل پس از یک طوفان دریایی
۳۴۵	..... ۱-۳-۱۸ تثبیت‌های ماسه‌ای
۳۴۷	..... ۲-۳-۱۸ رفتارسنجی تپه‌های ماسه‌ای
۳۴۷	..... ۴-۱۸ تغذیه مصنوعی در ساحل
۳۴۷	..... ۱-۴-۱۸ انواع تغذیه مصنوعی در ساحل
۳۴۹	..... ۲-۴-۱۸ طراحی اولیه مصنوعی در ساحل
۳۴۹	..... ۳-۴-۱۸ طراحی کاربردی تغذیه مصنوعی در ساحل
۳۵۰	..... ۵-۴-۱۸ روشهای اجرایی تغذیه رسوبی در ساحل
۳۵۳	فصل نوزدهم - موج‌شکن‌های دور از ساحل
۳۵۵	..... ۱-۱۹ معرفی موج‌شکنهای دور از ساحل
۳۵۶	..... ۱-۱-۱۹ کاربرد موج‌شکنهای دور از ساحل
۳۵۶	..... ۲-۱-۱۹ محدودیتها
۳۵۷	..... ۲-۱۹ انواع موج‌شکنهای دور از ساحل
۳۵۸	..... ۳-۱۹ طراحی اولیه موج‌شکنهای دور از ساحل
۳۵۹	..... ۱-۳-۱۹ طراحی ابعادی موج‌شکنهای دور از ساحل
۳۶۰	..... ۲-۳-۱۹ طراحی ساختار موج‌شکنهای دور از ساحل
۳۶۰	..... ۴-۱۹ اجرای موج‌شکنهای دور از ساحل
۳۶۱	..... ۵-۱۹ نگهداری موج‌شکنهای دور از ساحل

۳۶۱	۱۹-۶ رفتارسنجی موج شکنهای دور از ساحل
۳۶۳	مراجع
۳۷۵	واژه‌نامه

فهرست جدولها

عنوان	صفحه
جدول ۱-۱ ویژگیهای دو نوع از رسوبات (ماسه و رس).....	۹
جدول ۲-۱ طبقه‌بندی اندازه رسوبات بر اساس استاندارد ASTM	۱۲
جدول ۱-۲ نحوه ثبت و چگونگی اثرگذاری باد در طرح سازه‌های ساحلی.....	۲۴
جدول ۲-۲ نحوه ثبت و چگونگی اثرگذاری امواج در طرح سازه‌های ساحلی.....	۲۴
جدول ۳-۲ نحوه ثبت و چگونگی اثرگذاری جزر و مد در طرح سازه‌های ساحلی.....	۲۵
جدول ۴-۲ نحوه ثبت و چگونگی اثرگذاری جریان در طرح سازه‌های ساحلی.....	۲۵
جدول ۵-۲ نحوه اثر پارامترهای مرتبط با ساختار مصالح و شکل بستر در طراحی سازه‌های دریایی.....	۲۸
جدول ۶-۲ نحوه اثر عوامل مختلف اجرایی در طرح سازه‌های حفاظتی.....	۲۹
جدول ۱-۵ مجموعه پیامدهای ناشی از شکست یک سازه.....	۵۹
جدول ۲-۵ آسیبهای پایه‌ای وارد بر سازه‌های ساحلی.....	۶۳
جدول ۱-۶ حرکت قطعات آرماتور بتنی در مدلها.....	۹۱
جدول ۲-۶ طبقه‌بندی آسیب در موج‌شکنهای مدل.....	۹۱
جدول ۱-۸ مقادیر معمول درصد تخلخل چند نوع آرمور بتنی.....	۱۳۶
جدول ۲-۸ وزنهای حداکثر پیشنهادی قطعات آرمور بتنی.....	۱۳۸
جدول ۳-۸ مقدار ضریب KD برای تعیین وزن آرمورهای لایه حفاظتی [۵۷].....	۱۴۲
جدول ۴-۸ ضرایب تجدید نظر شده‌ای برای شکل‌های آرمور غیر استاندارد در معادلات ۱۳ و ۱۴.....	۱۴۴
جدول ۵-۸ وزن سنگ در زیر لایه برای برخی قطعات آرمور بتنی.....	۱۵۱
جدول ۶-۸ ضرایب K_{Δ} و n_v ارایه شده در SPM [57]	۱۵۲
جدول ۷-۸ ضرایب K_{Δ} و n_v ارایه شده در CUR / CIRIA [14]	۱۵۲
جدول ۱-۱۱ عوامل و شرایط مؤثر در انتخاب نوع سازه‌های حفاظتی.....	۲۲۳
جدول ۲-۱۱ خصوصیات سازه‌های مختلف حفاظت.....	۲۲۶
جدول ۱-۱۳ محدوده انتخاب و مقدار ارتفاع موج.....	۲۷۳

فهرست شکلها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱ نیمرخ کلی و اجزای مختلف ساحل.....	۱۵
شکل ۱-۲ نحوه بررسی امواج در آب عمیق و مناطق ساحلی کم عمق.....	۲۶
شکل ۲-۲ اثر پارامترهای مختلف محیطی بر وضعیت ساحل.....	۲۷
شکل ۳-۲ مدیریت صحیح در ساحل.....	۳۰
شکل ۱-۵ روش طراحی احتمالی.....	۵۴
شکل ۲-۵ تابع توزیع تجمعی CDF و تابع شدت احتمال برای یک متغیر.....	۵۶
شکل ۳-۵ نمونه یک درختچه خطا و روش محاسبه احتمال شکست.....	۵۷
شکل ۴-۵ مکانیسمهای تخریب در موج شکنهای توده سنگی.....	۶۴
شکل ۵-۵ مکانیسمهای تخریب در موج شکنهای صندوقه‌ای.....	۶۵
شکل ۶-۵ مکانیسمهای تخریب یک سد دریایی.....	۶۶
شکل ۱-۶ نمای بندر رمین در سواحل استان سیستان و بلوچستان.....	۶۹
شکل ۲-۶ نمای اسکله شهید کلانتری در خلیج چابهار.....	۷۰
شکل ۳-۶ طبقه‌بندی سازه‌ها به صورت تابعی از پارامتر $H/\Delta D$	۷۲
شکل ۴-۶ نمونه‌ای از یک موج شکن توده سنگی معمولی.....	۷۳
شکل ۵-۶ مقطع عرضی طرح اولیه موج شکن سکویی پسا بندر.....	۷۴
شکل ۶-۶ مقطع عرضی موج شکن بندر Helsingborg واقع در کشور سوئد.....	۷۴
شکل ۷-۶ مقطع عرضی موج شکن قسمت شرقی بندر Yokohama در ژاپن.....	۷۵
شکل ۸-۶ موج شکن بندر Ponza در کشور ایتالیا.....	۷۶
شکل ۹-۶ جانمایی‌های معمول موج شکن.....	۸۳
شکل ۱۰-۶ مدل فیزیکی پارس جنوبی در حوضچه موج - مرکز تحقیقات حفاظت.....	۸۶
شکل ۱۱-۶ مقطع عرضی مدل فیزیکی یک موج شکن توده سنگی مسلح له آرمورهای تتراپد.....	۸۸
شکل ۱-۷ رابطه بین عمر طرح، دوره بازگشت و احتمال فزونی.....	۱۰۰
شکل ۲-۷ عوامل تخریب موج شکنهای توده سنگی.....	۱۰۱
شکل ۳-۷ طبقه‌های تخریب یک موج شکن مرکب.....	۱۰۲
شکل ۴-۷ فرایند طراحی.....	۱۰۴
شکل ۵-۷ دی‌های بحرانی سرریزی موج.....	۱۰۷

- شکل ۸-۱ اجزا و وظایف موج شکنهای توده سنگی معمولی ۱۱۴
- شکل ۸-۲ نمونه‌هایی از موج شکنهای توده سنگی دارای زیرلایه ۱۱۵
- شکل ۸-۳ پارامترهای هیدرولیکی حاکم ۱۱۸
- شکل ۸-۴ پارامترهای حاکم مربوط به مقطع عرضی ۱۲۱
- شکل ۸-۵ ضریب نفوذپذیری فرضی p برای سازه‌های مختلف، [23] Van der Meer ۱۲۲
- شکل ۸-۶ نمونه‌هایی از موج شکنهای توده سنگی بدون زیرلایه (موج شکنهای شکل پذیر) ۱۲۶
- شکل ۸-۷ بالاروی نسبی (۲٪) از شیبهای سنگی ۱۲۷
- شکل ۸-۸ بالاروی نسبی عمده از شیبهای سنگی ۱۲۸
- شکل ۸-۹ پایین‌روی نسبی موج (R_{d2}/H_s) از شیبهای سنگی نفوذناپذیر و نفوذپذیر ۱۲۸
- شکل ۸-۱۰ ارتفاع موج عبور کرده در اثر سرریزی نسبت به ارتفاع آزاد سازه توده سنگی ۱۲۹
- شکل ۸-۱۱ ارتفاع موج عبور کرده در اثر سرریزی به صورت تابعی از درصد فزونی ۱۳۰
- شکل ۸-۱۲ عبور موج از روی تاج و از میان سازه‌های تاج کوتاه ۱۳۱
- شکل ۸-۱۳ قطعات آموختنی مورد استفاده در موج شکنها ۱۳۵
- شکل ۸-۱۴ نمونه‌های سازه‌های تاج برای موج شکنهای توده سنگی ۱۵۴
- شکل ۸-۱۵ جزییات پنجه موج شکنهای توده سنگی ۱۶۰
- شکل ۸-۱۶ کف بند قربانی برای موج شکنهای توده سنگی ۱۶۱
- شکل ۸-۱۷ آستانه حرکت مصالح سنگی بر روی بستر دریا تحت عملکرد موج ۱۶۲
- شکل ۸-۱۸ نمونه پوزه موج شکن توده سنگی ۱۶۶
- شکل ۸-۱۹ نمونه‌های موج شکنهای سکویی ۱۶۹
- شکل ۸-۲۰ نمودار حاصل از شیب اولیه ۱:۵ ۱۷۰
- شکل ۹-۱ سازه‌های صندوقه‌ای ۱۸۶
- شکل ۹-۲ سازه‌های بلوک چینی بتونی ۱۸۷
- شکل ۹-۳ سازه بتنی وزنی ۱۸۸
- شکل ۹-۴ نمونه‌ای از سازه شمع سپری سلولی ۱۸۸
- شکل ۹-۵ سازه شمع سپری دو دیواره‌ای ۱۸۹
- شکل ۹-۶ سازه شمع سپری تک دیواره‌ای ۱۸۹
- شکل ۹-۷ سازه قائم با وجه مشبک ۱۹۰
- شکل ۹-۸ موج شکن مشبک عبور دهنده موج ۱۹۰

- شکل ۹-۹ سازه‌های قائم محافظت شده به وسیله آرمورهای سنگی در وجه سمت دریا ۱۹۱
- شکل ۱۰-۹ ضرایب عبور موج در اثر سرریزی ۱۹۵
- شکل ۱۱-۹ عدد پایداری N_s برای پی توده‌سنگی و حفاظت پنجه ۲۰۱
- شکل ۱۲-۹ درزهای تیپ صندوقه‌ها ۲۰۶
- شکل ۱-۱۰ نمونه‌هایی از موج‌شکنهای مرکب ۲۱۳
- شکل ۱-۱۲ تغییر موقعیت ساحل با زمان - فرسایش پیش‌رونده ۲۳۵
- شکل ۲-۱۲ تغییر در نیمرخ عرض ساحل ناشی از طوفان ۲۳۵
- شکل ۳-۱۲ شیب ساحلی برای دانه‌بندیهای مختلف ۲۳۶
- شکل ۴-۱۲ مقطع یک ساحل و قسمتهای مختلف آن ۲۳۷
- شکل ۵-۱۲ روند امکان‌یابی و طراحی یک طرح تغذیه مصنوعی برای جلوگیری از ۲۴۱
- شکل ۶-۱۲ قسمتهای مختلف ممکن برای تغذیه مصنوعی ۲۴۴
- شکل ۷-۱۲ انتقال رسوب به روشهای مختلف ۲۴۵
- شکل ۸-۱۲ وضعیت ساحل پس از ساخته شدن یک سازه عمود بر آن ۲۴۷
- شکل ۹-۱۲ وضعیت ساحل پس از ساخت مجموعه‌ای از سازه‌های عمود بر آن ۲۴۷
- شکل ۱۰-۱۲ انواع دیوارهای ساحلی و شیبهای مصنوعی ۲۴۹
- شکل ۱۱-۱۲ انواع مختلف پوششهای حفاظتی ۲۴۹
- شکل ۱۲-۱۲ وضعیت ساحل در تقابل با یک سازه دور از ساحل ۲۵۱
- شکل ۱۳-۱۲ تغییرات مختلف یک ساحل ناشی از سازه‌های ساحلی ۲۵۲
- شکل ۱۴-۱۲ اثر استفاده از یک سیستم آب‌شکن در خلیج ۲۵۳
- شکل ۱۵-۱۲ استفاده از آب‌شکن در کنار یک سیستم تغذیه ۲۵۳
- شکل ۱-۱۳ خط ساحلی در مجاورت یک آبشکن منفرد ۲۵۸
- شکل ۲-۱۳ خط ساحلی در مجاورت دو یا چند آبشکن ۲۵۹
- شکل ۳-۱۳ سه مکانیزم برای ایجاد جریان شکافنده بین آب‌شکنها (DEAN (1978) ۲۶۰
- شکل ۴-۱۳ آب‌شکن سپر چوبی ۲۶۱
- شکل ۵-۱۳ آب‌شکن سپر فولادی طره‌ای ۲۶۲
- شکل ۶-۱۳ آب‌شکن سپر فولادی سلولی ۲۶۳
- شکل ۷-۱۳ آب‌شکن توده‌سنگی ۲۶۴
- شکل ۸-۱۳ سه قسمت اصلی پروفیل طولی آب‌شکن و خلاصه مبانی طرح آنها ۲۶۷

- شکل ۱۳-۹ سه وضعیت محتمل برای تغییرات خط ساحلی در مجاورت آب‌شکنها..... ۲۶۸
- شکل ۱۳-۱۰ کوتاه شدن تدریجی طول در آب‌شکنهای انتهایی..... ۲۷۱
- شکل ۱۴-۱ مقطعی از یک تیغه توده سنگی..... ۲۸۴
- شکل ۱۴-۲ انواع جانمایی تیغه‌ها..... ۲۸۸
- شکل ۱۴-۳ ترتیب اجرای تیغه‌ها..... ۲۹۰
- شکل ۱۵-۱ تأثیر دیوار ساحلی بر سواحل مجاور..... ۲۹۶
- شکل ۱۵-۲ انواع نماهای دیوارهای ساحلی..... ۲۹۷
- شکل ۱۵-۳ دیوار ساحلی سنگی..... ۲۹۸
- شکل ۱۵-۴ انواع دیوارهای ساحلی بتنی..... ۲۹۹
- شکل ۱۵-۵ شمای عمومی یک دایک محافظ ساحل..... ۳۰۱
- شکل ۱۵-۶ مراحل مختلف اجرای یک دایک..... ۳۰۶
- شکل ۱۶-۱ دیوارهای لغزش‌گیر ساحلی از نوع طره‌ای..... ۳۱۲
- شکل ۱۶-۲ دیوار لغزش‌گیر ساحلی از نوع مهار شده..... ۳۱۳
- شکل ۱۶-۳ دیوار لغزش‌گیر ساحلی از نوع ثقیلی..... ۳۱۴
- شکل ۱۷-۱ حفاظت ساحلی و پوشش گیاهی..... ۳۲۴
- شکل ۱۷-۲ انواع بلوکهای بتنی برای حفاظت ساحل..... ۳۲۸
- شکل ۱۷-۳ استفاده از کیسه بتن در حفاظت ساحل..... ۳۲۹
- شکل ۱۷-۴ استفاده از توری سنگ در حفاظت ساحل..... ۳۲۹
- شکل ۱۷-۵ مکانیزمهای خرابی پوششهای حفاظتی..... ۳۳۲
- شکل ۱۷-۶ ساز و کارهای خرابی پوششهای حفاظتی..... ۳۳۳
- شکل ۱۷-۷ انواع حالت‌های برخورد موج به ساحل..... ۳۳۴
- شکل ۱۷-۸ تعیین ضخامت پوشش حفاظتی آسفالتی..... ۳۳۷
- شکل ۱۸-۱ میزان فرسایش تپه ساحلی از مقایسه بستر دریا و دو حالت تخمین زده می‌شود..... ۳۴۵
- شکل ۱۸-۲ تغذیه مصنوعی ساحل به وسیله پمپاژ مواد لایروبی شده در ساحل..... ۳۴۸
- شکل ۱۸-۳ طرحهای مختلف جانمایی تغذیه مصنوعی ساحل..... ۳۵۰
- شکل ۱۹-۱ موج‌شکن دور از ساحل..... ۳۵۵
- شکل ۱۹-۲ تصویری از ساحل حفاظت شده با موج‌شکنهای دور از ساحل، ایجاد عوارضی..... ۳۵۶
- شکل ۱۹-۳ انواع موج‌شکنهای دور از ساحل..... ۳۵۸

شکل ۱۹-۴ انواع موج شکنهای دور از ساحل..... ۳۵۸

شکل ۱۹-۵ مؤلفه‌های اصلی در طراحی موج شکن دور از ساحل..... ۳۶۰



فرایندهای ساحلی

◀ ۱-۱ کلیات

فرایندهای ساحلی، ناشی از فعل و انفعالات پدیده‌هایی نظیر باد و طوفان، امواج، جریانها، جزر و مد، رسوبات و دیگر عوامل منطقه ساحلی است. این فرایندها کاملاً دینامیکی هستند. پایداری ساحل بستگی به میزان فرسایش و رسوب‌گذاری دارد. عدم توازن در میزان رسوب‌گذاری و یا فرسایش ساحل موجب به‌خطر افتادن یا بلا استفاده شدن سازه‌های ساحلی از جمله موج‌شکنها و حوضچه بنادر، کانالهای دسترسی و سایر تأسیسات ساحلی می‌گردد. در این فصل، عوامل مؤثر در فرایندهای ساحلی مورد بررسی اجمالی قرار می‌گیرند.

◀ ۱-۲ مشخصه‌های هیدرودینامیکی

◀ ۱-۲-۱ باد

بادها مستقیماً ذرات ماسه را در جهت ساحل به حرکت درمی‌آورند و همچنین باعث نشست ذرات ماسه بر روی تپه‌های ماسه‌ای و شنی طبیعی کنار ساحل می‌شوند. بادهایی که از سمت دریا به ساحل می‌وزند معمولاً با وزش خود، دانه‌های ماسه‌ای ریز را حمل کرده و در پشت دانه‌های درشت‌تر و قطعات باقیمانده پوسته جانوران قرار می‌دهند.

ماسه‌هایی که از ساحل به سمت دریا حرکت می‌کنند ممکن است تشکیل تپه‌های ماسه‌ای داده و یا به تپه‌های ماسه‌ای موجود اضافه شوند و یا در برکه‌های پشت جزیره‌های ناشی از محدوده‌های جزر و مدی نشست کنند. برای شکل‌گیری و ایجاد تپه‌های ماسه‌ای مقدار قابل توجهی از ماسه می‌بایست برای انتقال با باد در دسترس باشد. همچنین وضعیت کلی منطقه می‌بایست به صورتی عمل نماید که ماسه‌های در حال حرکت به تله افتاده و تپه‌های طبیعی را به وجود آورند. نامنظمی‌های توپوگرافی، تپه‌های طبیعی ساحلی و پوشش گیاهی مواردی هستند که باعث به تله افتادن ماسه می‌شوند.

مهم‌ترین تپه‌های طبیعی در روند رسوبات دانه‌ای عبارتند از: تپه‌های مشرف به دریا و خط تپه‌های ماسه‌ای که بلافاصله بعد از خط ساحلی در قسمت خشکی قرار دارند. آنها معمولاً بدین علت شکل

می‌گیرند که پوششهای گیاهی ساحل در قسمت خشکی ساحل رشد کرده و موجب به تله افتادن ماسه‌های ناشی از وزش باد می‌شوند. رشته تپه‌های مشرف به دریا که در حقیقت در معرض هجوم آب دریا می‌باشند به عنوان یک محافظ از هجوم امواج و آب در حالت مد به داخل خشکی جلوگیری می‌کنند و در واقع مخزنی از ماسه را پدید می‌آورند که از فرسایش شدید ساحل جلوگیری می‌کند.

◀ ۱-۲-۲ موج

عملکرد امواج، عامل اصلی در تغییرات خطوط ساحلی می‌باشد. بدون حرکت و عملکرد امواج بر روی ساحل، غالب مشکلات مهندسی سواحل که روندهای کرانه‌ای (حمل رسوب) را هم دربر می‌گیرد به وقوع نمی‌پیوندد. در این ارتباط، اطلاع از شرایط امواج نزدیک شونده به ساحل برای برنامه‌ریزی، طراحی و ساخت سازه‌های ساحلی اساسی می‌باشد.

توصیف تئوریک حرکت امواج در فهم تأثیر امواج بر انتقال رسوب، مفید است. لیکن پیش‌بینی حرکت رسوبات ناشی از موج برای مقاصد مهندسی، بر ضرایب تجربی و مشاهدات استوار می‌باشد. مشخصه‌های مهم موج که بر روی انتقال رسوبات نزدیک ساحل تأثیر دارند شامل ارتفاع، پریود و جهت امواج شکسته شده می‌باشند. ارتفاع موج در حالت شکست جهت تعیین مقدار ماسه که از جای خود به حرکت درمی‌آید مهم می‌باشد. جهت امواج در حال شکست، یک عامل مهم در تعیین جهت و نرخ انتقال رسوبات در امتداد ساحل می‌باشد. امواج به دو صورت بر روی حرکت رسوبات در منطقه کرانه‌ای ساحل مؤثر می‌باشند:

- ۱- حرکت رسوبات را آغاز می‌کنند.
- ۲- با ایجاد جریان باعث انتقال ذرات رسوبات در حال حرکت می‌شوند.

◀ ۱-۲-۳ جزر و مد

علاوه بر جریانهای ناشی از امواج، جریانهای ناشی از جزر و مد و طوفانهای دریایی نیز بر ساحل تأثیر می‌گذارند. جریانهای ناشی از جزر و مد به طور خاص در ورودی خلیجها و برکه‌ها و همچنین در مناطق وسیع جزر و مدی می‌توانند بر جریان ناشی از امواج اضافه شوند.

جریانهای جزر و مدی در انتقال مواد و رسوبات ماسه‌ای در ورودی بندرگاهها، خلیجها و خورها نقش مهمی را بر عهده دارند. جریانهای ناشی از طوفانهای دریایی، کمتر مطالعه شده‌اند زیرا اندازه‌گیری آنها مشکل می‌باشد.

علاوه بر اثر مستقیم جریانهای جزر و مدی بر انتقال رسوب، تغییر سطح آب دریا ناشی از جزر و مد و طوفانهای دریایی یک عامل مهم در انتقال رسوبات می‌باشد. زیرا با بالا رفتن سطح آب و اضافه شدن عمق، امواج در محدوده وسیع‌تری بر نیمرخ عرضی ساحل و بستر تأثیر می‌گذارند.

۱-۲-۴ ◀ جریانهای ساحلی

با نزدیک شدن امواج به منطقه شکست امواج، حرکت‌مداری ناشی از امواج که در قسمت کف به وجود می‌آید دارای شدت و تراکم بیشتری شده و تأثیر آن بر رسوبات، بیشتر و قطعی‌تر می‌شود. امواج در حال شکست، جریانهای موضعی و متلاطم ایجاد می‌کنند که موجب حرکت رسوبات می‌شوند. قله‌های امواج در حال شکست، دارای زاویه کمی نسبت به خط ساحلی هستند.

به خاطر وجود میدان موج، معمولاً مومنتم اضافی در آب دریا وجود دارد. مؤلفه در امتداد ساحل این مومنتم اضافی در تقابل با اصطکاک بستر و نیروهای آشفتگی باعث ایجاد یک جریان به موازات ساحل می‌گردد که اصطلاحاً جریان کرانه‌ای نامیده می‌شود. این جریان کرانه‌ای، علت اصلی انتقال رسوبات به موازات ساحل است.

۱-۳-۱ ◀◀ نوع بستر

۱-۳-۱ ◀ فرم و شکل بستر

زمانی که رسوبات به وسیله جریان آب حرکت داده می‌شوند، معمولاً تک‌تک دانه‌ها به صورت مورفولوژیکی سازماندهی شده و اشکال بستر را ایجاد می‌کنند. وضعیت فوق در حجم وسیعی از اشکال و مقیاسها اتفاق می‌افتد. بعضی از اشکال بستر فقط در بین مقادیر معینی از مقاومت جریان، دارای ایستایی می‌باشند. غالباً اشکال موج‌وار بستر بر روی اشکال تپه مانند قرار می‌گیرند که بدین ترتیب الگوی جریان

به میزان زیادی در طول زمان تغییر می‌کند. اشکال و فرم بستر ممکن است در همان جهت حرکت جریان آب حرکت کند یا در جهت خلاف جریان حرکت کند و یا اینکه اصلاً حرکتی در جهت خاصی نداشته باشد. مطالعه شکل و اندازه بستر دارای اهمیت بالایی در انتقال رسوب می‌باشد زیرا می‌تواند تخمینهای با ارزشی از مقاومت جریانها در رسوبات جدید و قدیمی ارایه نماید. شکل‌گیری و جهت‌گیری شکل و فرم بستر نشانه‌هایی از مسیر حرکتی جریانهای منطقه می‌باشند.

۱-۳-۱-۱ طبقه‌بندی

با توجه به شرایط طبیعی مختلف و متنوعی که در محیطهای ساحلی وجود دارد و با در نظر گرفتن دیدگاههای متفاوت، محققین طبقه‌بندیهای مختلفی را در زمینه اشکال بستر دریا ارایه کرده‌اند، این طبقه‌بندیهای اشکال بستر دارای شرایط مختلف بوده و بعضاً متضادی می‌باشند. طرح و تقسیم‌بندی زیر که از سوی جامعه زمین‌شناسی آمریکا^۱ پیشنهاد شده است برای تمام شرایط و ویژگیهای اشکال بستر مناسب می‌باشد:

۱-۳-۱-۱-۱ بسترهای موج

این نوع بستر دارای شکل موج می‌باشد و معمولاً فاصله افقی قله امواج آنها (طول موج) کمتر از $0/6$ متر و ارتفاع آنها کمتر از $0/03$ متر است. در حالت کلی، بسترهای موج به صورت ترکیبی از قسمتهای مجزای شبیه به هم از نظر شکل و مقیاس به وجود می‌آیند. با در نظر گرفتن فرم انحنای رأس موج این بسترها، ۵ فرم مختلف قابل تشخیص هستند که عبارت از مستقیم، سینوسی، زنجیروار، نیمه هلالی و هلالی می‌باشند.

بسترهای موج از دید کلی، متمایز از بسترهای تپه‌مانند می‌باشند، گرچه هر دو نوع بستر از جهت کلی مقطع یک شکل هندسی مشابه را ارایه می‌دهند. حد فاصل بین این دو نوع بستر به وسیله اندرکنش مورفولوژی بسترهای موج و بستر دریا و یا تنش برشی دانه‌ها در آن نقطه ایجاد می‌شود. در رانشهای

برشی کوچک، بسترهای موج ایجاد می‌شوند. اگر میزان تنش برشی در بستر افزایش یابد جهشی در رفتار دانه‌ها و شکل‌گیری بستر اتفاق می‌افتد که در ظاهر بسترهای تپه‌مانند بزرگتر را نتیجه می‌دهد.

۱-۳-۱-۱-۲ بسترهای تپه‌ای

بسترهای تپه‌ای بر روی یک بستر رسوبی و تحت جریانهای یک جهته و در جهت عرضی جریان با فاصله کمتر از ۱ متر تا بیش از ۱۰۰۰ متر ایجاد می‌شوند. این شکل‌های بستر در محیط‌های ماسه‌ای که عمق آب بیش از ۱ متر، اندازه دانه‌های بستر درشت‌تر از ۰/۱۵ میلی‌متر (ماسه بسیار ریز) و سرعت‌های جریان بزرگتر از ۰/۴ متر بر ثانیه باشد به شکل یکسان می‌باشد. در طبیعت، این اشکال بستر که در امتداد عرضی جریان شکل می‌یابند به عنوان اندازه‌های ممتد بدون شکست‌های طبیعی یا گروهی وجود دارند، به همین دلیل واژه بسترهای تپه‌ای با واژه‌هایی همانند که به صورت قراردادی و یا بر اساس توزیع اندازه دانه‌ها انتخاب شده‌اند تبدیل می‌شوند. تقسیمات بسترهای تپه‌ای عبارتند از:

تپه‌های کوچک (با طول موج ۰/۶ تا ۵ متر)، متوسط (با طول موج ۵ تا ۱۰ متر)، بزرگ (با طول موج ۱۰ تا ۱۰۰ متر) و بسیار بزرگ (با طول موج بزرگتر از ۱۰۰ متر) می‌باشد. برای تعیین هندسه شکل بستر تغییرات الگوی بستر عمود بر جریان می‌بایست مشخص شود. اگر الگوی جریان به طور نسبی بدون تغییر و عمود بر جهت عمومی‌اش بوده و هیچ‌گونه جریان چرخشی و گردابی وجود نداشته باشد، شکل بستر حاصله به صورت مستقیم بوده و می‌تواند به صورت ۲ بعدی نیز درآید. اگر ساختار جریان به میزان قابل توجهی در عرض جهت غالب تغییر کند و حرکت‌های چرخشی قادر به ایجاد فرسایش موضعی در بستر شوند یک شکل بستر ۳ بعدی ایجاد می‌شود.

۱-۳-۱-۱-۳ بسترهای مسطح و هموار

بستر مسطح و هموار یک بستر افقی بدون فرورفتگی و برآمدگی بزرگتر از بزرگترین اندازه رسوبات نمایان در بستر می‌باشد. به خاطر زبری کم، مقاومت این‌گونه بسترها در مقابل جریان، کم و محدود است. بسترهای مسطح و هموار تحت دو نوع شرایط هیدرولیکی به وجود می‌آیند:

- منطقه‌ای واسط بین منطقه بدون تحرک و ابتدای تپه‌های ماسه‌ای

- منطقه واسطه‌ای بین بسترهای موج و بسترهای آنتی دیون، در سرعت جریانهای متوسط بین ۱ و ۲ متر بر ثانیه

۱-۳-۱-۱-۴ بسترهای (آنتی دیون)

این نوع بسترها به شکلی هستند که با امواج ثقلی سطح آب دارای یک فاز می‌باشند. ارتفاع و طول موج این امواج بستگی به مقیاس سیستم و مشخصه‌های آب دریا و مصالح بستر دارد. همچنان که سرعت جریان آب افزایش می‌یابد رشته‌های این نوع بستر تدریجاً در بسترهای مسطح و هموار تشکیل می‌شود. با افزایش اندازه ارتفاعی شکل این بسترها سطح آب از حالت مسطح به حالت موج تغییر شکل می‌یابد.

۱-۳-۲ مصالح بستر

برای تعیین مصالح بستر با توجه به تنوعی که در نوع ساختاری بسترهای مختلف وجود دارد ابتدا می‌بایست شناخت کاملی از خواص مصالح بستر و رسوباتی که لایه رویی آن را تشکیل می‌دهند، به دست آورد.

۱-۳-۲-۱ طبقه‌بندی اندازه دانه‌ها

چندین خاصیت رسوبات در مهندسی سواحل مهم می‌باشند. غالب این خواص در ۳ گروه قرار می‌گیرند:

۱- اندازه ذراتی که رسوب را می‌سازند، ۲- ترکیب رسوبات، ۳- مشخصه‌های فضایی توده رسوب. در چند مورد از مصالح بستر (برای مثال رس)، همبستگی قوی در میان ۳ دسته خواص فوق وجود دارد. در طبقه‌بندی اندازه دانه‌های مصالح بستر اگر دانه‌های کوچکتر از 0.039 میلی‌متر باشد، ذره را به عنوان رس تعریف می‌کنند. یک ذره رس به لحاظ اندازه، بسیار کوچک است لیکن دارای سطح جانبی نسبتاً بزرگی نسبت به حجمش می‌باشد. این سطح از نظر شیمیایی فعال است و بالاخص وقتی که تر باشد تولید مشخصه‌های چسبندگی، پلاستیکی می‌کند.

از طرف دیگر غالب دانه‌های سواحل ماسه‌ای را ماده کوارتز تشکیل می‌دهد. در طبقه‌بندی اندازه ذرات که از سوی زمین‌شناسان ارایه شده، دانه‌های ماسه از نظر قطر، حداقل ۱۶ و حتی تا ۵۰۰ بار بزرگتر از ذرات رس می‌باشند. از آنجا که دانه‌های ماسه دارای خاصیت چسبندگی به یکدیگر نمی‌باشند چندین تفاوت بین رس و ماسه در جدول ۱-۱ به صورت خلاصه آورده شده است.

جدول ۱-۱ ویژگیهای دو نوع از رسوبات (ماسه و رس)

نوع طبقه‌بندی			نام رسوب
خواص فضایی	محدوده اندازه دانه‌ها	ترکیب معمول	
چسبنده خواص پلاستیکی در تحت تنش لغزان نفوذپذیر	کمتر از ۰/۰۰۳۹ میلی‌متر	مواد معدنی رس (ورقه‌های سیلیکونی)	رس
غیر چسبنده صلب در تحت تنش نفوذپذیر	مابین ۰/۰۶۲۵ و ۲ میلی‌متر	کوارتز SiO_2	ماسه

۱-۳-۲-۲ طبقه‌بندی رسوب از نظر اندازه

۱-۳-۲-۳-۱ تعریف قطر ذرات

یکی از مهم‌ترین مشخصه‌های رسوب، اندازه ذرات می‌باشد. محدوده اندازه دانه‌های مورد استفاده در مهندسی سواحل بسیار باز می‌باشد. به طور مثال این محدوده از ذرات رس تا بلوکهای سنگی محافظ موج‌شکن را دربر می‌گیرد. اندازه ذرات معمولاً به صورت قطرشان تعریف می‌شوند. قطر دانه‌ها معمولاً به وسیله اندازه شبکه یک الک که دانه‌های ریزتر را از خود عبور می‌دهد شناخته می‌شود.

روش دیگر برای تعریف قطر دانه‌ها استفاده از سرعت سقوط آنها است. قطر یک ذره رسوب عبارت از قطر کره‌ای است که دارای همان دانسیته و سرعت سقوط باشد. این تعریف دارای این خاصیت است که رابطه بین قطر دانه و رفتار سیال را نشان می‌دهد. برای ذرات تقریباً کروی همانند بسیاری از دانه‌های ماسه، اختلاف کمی در تعاریف وجود دارد. یکی از موارد ضروری جهت ارایه نتایج آنالیز

دانه‌بندی بستر، تعریف قطر و تشریح روند اندازه‌گیری است، مخصوصاً زمانی که از الک دانه‌بندی استفاده نشده باشد.

با توجه به اینکه تمامی نمونه‌های رسوبات و بستر هر چند که بسیار مناسب، دانه‌بندی شده باشند دارای یک محدوده‌ای از دانه‌های مختلف می‌باشند، لذا لازم است توزیع دانه‌های موجود در نمونه بستر با استفاده از یک نمودار لگاریتمی نشان داده شود که به نمودار دانه‌بندی معروف می‌باشد و بر اساس درصد دانه‌های رد شده از الکهای مختلف تعیین می‌شود.

۱-۳-۲-۲ طبقه‌بندی اندازه رسوبات

دو روش از روشهای طبقه‌بندی اندازه رسوبات عبارتند از:

- **Modified Wentworth Classification** یا **MWC** که بیشتر در کارهای زمین‌شناسی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

- **ASTM** موسوم به روش متحد طبقه‌بندی مهندسی مطابق جدول ۱-۲ که توسط گروه‌های مهندسی آمریکایی تهیه شده و به صورت استاندارد درآمد است. این طبقه‌بندی در کارهای مختلف عمرانی از جمله طراحی سازه‌های دریایی و حفاظت ساحل، مورد استفاده کشورهای مختلف جهان قرار گرفته و به عنوان طبقه‌بندی استاندارد جهت طراحی این‌گونه سازه‌ها در کشور توصیه می‌شود.

اختلافات این دو سیستم طبقه‌بندی در مقوله محدوده اندازه‌های انتخاب شده است. برای مثال اندازه دانه‌های ماسه در طبقه‌بندی **ASTM** بین ۰/۰۷۴ و ۴/۷۶ میلی‌متر در نظر گرفته شده است، در حالی که در طبقه‌بندی زمین‌شناسان بین ۰/۰۶۲۵ و ۲/۰ میلی‌متر می‌باشد. از این رو استاندارد طبقه‌بندی مورد استفاده در طبقه‌بندی اندازه رسوبات مهم می‌باشد.

تمامی نمونه‌های بستر و رسوبات یک مجموعه‌ای از اندازه‌ها را دربر می‌گیرند. با این وجود معمولاً نیاز است نمونه مورد نظر با یک قطر مشخص به عنوان اندازه‌ای که مرکز گرایش توزیع آن نمونه باشد انتخاب گردد. در این ارتباط قطر میانه دانه‌ها D_m مورد استفاده قرار می‌گیرد. تعریف قطر میانه دانه‌ها این

است که نصف دانه‌ها در نمونه دارای قطر بزرگتر و نصف دانه‌ها دارای قطر کوچکتر می‌باشند. این مقدار به راحتی با استفاده از نمودار دانه‌بندی به دست می‌آید.

در کارهای مهندسی سواحل معمولاً تعیین اندازه رسوب برای بسترهای از نوع سیلت و رس ضروری نمی‌باشد. وقتی که اندازه‌گیری این ذرات ریز مورد نیاز باشد معمولاً از آزمایش هیدرومتری استفاده می‌شود. مکانیزم تعیین دانه‌بندی ریزدانه بر اساس مقدار زمانی که دانه‌ها در حالت معلق باقی می‌مانند استوار می‌باشد.

۱-۳-۲-۳ سرعت سقوط

وقتی که یک ذره در داخل آب و یا هوا می‌افتد، بسته به نوع سیالی که در آن قرار گرفته شتاب می‌گیرد تا به سرعت سقوط خود برسد. در مطالعات رسوب این سرعت نقش به‌سزایی دارد. هر چند که به ظاهر ساده به نظر می‌آید، لیکن اندازه‌گیری دقیق سرعت سقوط معمولاً ممکن و میسر نمی‌باشد. سرعت سقوط ذرات در سیال تابعی از اندازه، شکل و دانسیته ذره، دانسیته سیال، ویسکوزیته سیال و چندین عامل دیگر می‌باشد.

جدول ۱-۲ طبقه‌بندی اندازه رسوبات بر اساس استاندارد ASTM

ASTM (Unified) Classification ¹	U.S. Std. Sieve ²	Size in mm	Phi Size	Wentworth Classification ³		
Boulder	12 in. (300 mm)	4096.	-12.0	Boulder		
		1024.	-10.0			
Cobble	3 in. (75 mm)	256.	-8.0	Large Cobble		
		128.	-7.0			
		107.64	-6.75	Small Cobble		
		90.51	-6.5			
		76.11	-6.25			
Coarse Gravel	3/4 in. (19 mm)	64.00	-6.0	Very Large Pebble		
		53.82	-5.75			
		45.26	-5.5			
		38.05	-5.25			
		32.00	-5.0			
		Fine Gravel	4 (4.75 mm)	26.91	-4.75	Large Pebble
				22.63	-4.5	
				19.03	-4.25	
				16.00	-4.0	
				13.45	-3.75	
Coarse Sand	10 (2.0 mm)			11.31	-3.5	Medium Pebble
				9.51	-3.25	
				8.00	-3.0	
				6.73	-2.75	
				5.66	-2.5	
		Medium Sand	20	4.76	-2.25	Small Pebble
				4.00	-2.0	
				3.36	-1.75	
				2.83	-1.5	
				2.38	-1.25	
Fine Sand	40 (0.425 mm)			2.00	-1.0	Granule
				1.68	-0.75	
				1.41	-0.5	
				1.19	-0.25	
				1.00	0.0	
		Fine-grained Soil:	200 (0.075 mm)	0.84	0.25	Very Coarse Sand
				0.71	0.5	
				0.59	0.75	
				0.50	1.0	
				0.420	1.25	
Clay if PI > 4 and plot of PI vs. LL is on or above "A" line and the presence of organic matter does not influence LL.	230			0.354	1.5	Coarse Sand
				0.297	1.75	
				0.250	2.0	
				0.210	2.25	
				0.177	2.5	
		Silt if PI < 4 and plot of PI vs. LL is below "A" line and the presence of organic matter does not influence LL.	270	0.149	2.75	Medium Sand
				0.125	3.0	
				0.105	3.25	
				0.088	3.5	
				0.074	3.75	
(PI = plasticity limit; LL = liquid limit)	400			0.0625	4.0	Fine Sand
				0.0526	4.25	
				0.0442	4.5	
				0.0372	4.75	
				0.0312	5.0	
				0.0156	6.0	Very Fine Sand
				0.0078	7.0	
				0.0039	8.0	
				0.00195	9.0	
				0.00098	10.0	
				0.00049	11.0	Coarse Silt
				0.00024	12.0	
				0.00012	13.0	Medium Silt
				0.000061	14.0	

¹ ASTM Standard D 2487-92. This is the ASTM version of the Unified Soil Classification System. Both systems are similar (from ASTM (1994)).

² Note that British Standard, French, and German DIN mesh sizes and classifications are different.

³ Wentworth sizes (in inches) cited in Krumbain and Sloss (1963).

◀ ۱-۴ نیمرخ عرضی

پروفیلها یا نیمرخهای عرضی، مقاطع دو بعدی عمودی از ساحل هستند که تغییرات سطح بستر را در طول مشخصی نشان می‌دهند. نیمرخهای ساحلی معمولاً عمود بر خط ساحلی هستند و می‌توان آنها را به نیمرخهای فلات قاره، نیمرخهای نزدیک ساحل و نیمرخهای ساحلی تقسیم‌بندی نمود. تغییراتی که در ناحیه نیمرخهای ساحلی و نزدیک ساحل روی می‌دهد به یکدیگر مربوط بوده و در تشریح روند رانه‌ای اهمیت بسیاری دارد. اندازه‌گیری و تحلیل نیمرخهای ساحلی و نزدیک ساحل، بخش عمده‌ای از مطالعات مهندسی را در فرایندهای رانه‌ای تشکیل می‌دهند.

◀ ۱-۴-۱ نیمرخهای فلات قاره

نیمرخ فلات قاره به طور کلی خطی منحنی‌گون و صاف با تقعر رو به بالاست که نشان دهنده افزایش عمق آب به نسبت فاصله از ساحل می‌باشد. صافی و همواری این نیمرخ ممکن است به واسطه وجود خصوصیات دیگر بستر همچون تپه‌های زیر آبی از بین برود. اطلاعات مربوط به نیمرخهای فلات قاره معمولاً از طریق نقشه‌های دریایی به دست می‌آید.

نیمرخ فلات قاره تأثیر به‌سزایی در فرایندهای ساحلی ایفا می‌کند که مهم‌ترین آن تأثیر بر روی امواج می‌باشد. نیمرخ فلات قاره به میزان نامشخصی می‌تواند به عنوان منبع و یا محل ترسیب رسوبات در سواحل ماسه‌ای به کار رود. مطالعات زمین‌شناسی نشان می‌دهد که بخش عمده‌ای از قسمت خارجی نیمرخ فلات قاره با ذرات نسبتاً درشتی پوشیده شده که این نشان دهنده جاروب ذرات ریزتر می‌باشد. از این نقطه که به سمت ساحل نزدیک می‌شویم، اندازه ذرات کوچکتر شده و پس از آن در ناحیه ساحلی مجدداً درشت‌تر می‌گردند.

◀ ۱-۴-۲ نیمرخهای نزدیک ساحل

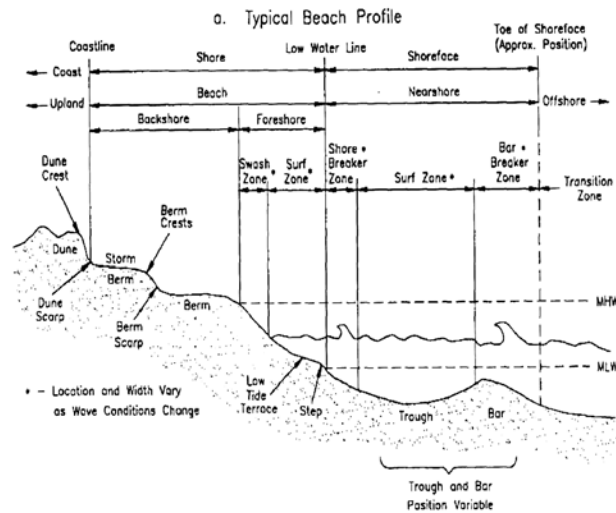
نیمرخ نزدیک ساحل از ساحل شروع شده و تا عمق حدود ۹ متری امتداد می‌یابد. از خصوصیات بارز این‌گونه نیمرخها می‌توان به وجود تپه‌های زیر آبی موازی خط ساحل اشاره نمود. نیمرخ ساحلی در

ترکیب با نیمرخهای مکرر نزدیک ساحل برای تخمین میزان فرسایش و انباشتگی رسوبات مورد استفاده قرار می‌گیرد. این مطلب بخصوص در ارتباط با سازه‌هایی همچون آب‌شکنها مورد استفاده قرار می‌گیرد. در شرایط ایده‌آل جهت اندازه‌گیری نرخ انتقال رانه نیمرخهای نزدیک ساحل به کار می‌روند.

◀ ۱-۳-۴ نیمرخهای ساحلی

نیمرخهای ساحلی از پای تلماسه‌ها، صخره‌ها و یا زمین طبیعی شروع شده و تا سطح متوسط آب پایین امتداد می‌یابند. از نظر فنی این واژه در مورد خصوصیات نیمرخ ساحلی که در شکل ۱-۱ به نمایش درآمده به کار می‌رود.

با توجه به شکل ۱-۱ عقب کرانه به قسمتی اطلاق می‌گردد که به سمت دریا تا قسمت جلوی کرانه امتداد یافته و دارای یک یا چند بخش هموار است که سکو یا برم نامیده می‌شود. سکو سطحی است که امواج در حالت طوفانی به آن دسترسی پیدا می‌کنند. این قسمت معمولاً صاف است ولی در بعضی مواقع دارای یک شیب با زاویه کم به سمت خشکی می‌باشد. جلوی کرانه به بخشی از ساحل اطلاق می‌شود که از تراز بالاترین ارتفاع جزر و مد شروع شده و تا سطح متوسط آب پایین ادامه می‌یابد. خط مرزی بین پس کرانه و فراکرانه ممکن است قله برم باشد. لبه سمت ساحل کرانه اغلب با شیب ناگهانی همراه است که به هنگام جزر کامل رؤیت می‌شود.



شکل ۱-۱ نیمرخ کلی و اجزای مختلف ساحل

۱-۵ فرایندهای حمل رسوب

یکی از فرایندهای نزدیک ساحل، انتقال کرانه‌ای ساحلی است که به حرکت رسوبات توسط امواج و جریانها در ناحیه خیزابی نزدیک ساحل گفته می‌شود. انتقال رانه ساحلی به دو دسته کلی تقسیم می‌گردد: انتقال موازی ساحل و عمود بر ساحل. انتقال مواد رسوبی به سمت یا دور از ساحل در مرحله نخست با شیب و پریود موج، اندازه رسوبات و شیب ساحل تعیین می‌شود. به طور کلی امواج با شیب تند مواد رسوبی را از ساحل به طرف دریا حرکت داده و امواج با پریود بالا این مواد را به طرف ساحل انتقال می‌دهند.

انتقال مواد رسوبی، از کنده شدن رسوبات از بستر به واسطه شکست موج و حرکت این مواد با مؤلفه‌های انرژی موج در امتداد ساحل و جریان موازی ساحل که ناشی از شکست موج می‌باشد، شکل می‌گیرد. جهت جریان موازی ساحل دقیقاً بستگی به جهت پیشروی و زاویه قله موج نسبت به ساحل دارد. لذا به دلیل تغییرات امواج نزدیک شونده، جهت حمل مواد رسوبی به موازات ساحل می‌تواند فصل به فصل، روز به روز و ساعت به ساعت تغییر یابد.

نرخ انتقال در امتداد ساحل بستگی به زاویه موج نزدیک شونده، مدت تداوم و انرژی موج دارد. به طور کلی امواج با ارتفاع بلند ناشی از طوفان مواد بیشتری را در واحد زمان نسبت به امواج با ارتفاع کم جابه‌جا می‌کنند. با این وجود اگر امواج با ارتفاع کم، مدت بیشتری استمرار یابند تأثیرشان بر حرکت مواد رسوبی در مقایسه به امواج با ارتفاع بلند ممکن است مهم‌تر باشد.

از آنجا که جهت انتقال رسوب تغییر می‌کند و به دلیل آنکه موجهای گوناگون، مواد را با نرخهای متفاوت حمل می‌کنند، در مطالعات رسوب و مورفولوژی سواحل دو تعریف برای نرخ انتقال رسوب موازی ساحل از اهمیت خاصی برخوردار است. تعریف اول، نرخ خالص انتقال رسوب است که به میزان انتقال مواد از نقطه‌ای مشخص، در جهت غالب و در متوسط زمانی سال گفته می‌شود. تعریف دوم نرخ ناخالص انتقال رسوب می‌باشد که به کل مواد جابه‌جا شده از یک نقطه، صرف نظر از جهت انتقالی اطلاق می‌گردد. به طور ثابت در اکثر سواحل یک نرخ خالص سالیانه در یک جهت دیده می‌شود. تعیین جهت و نرخ متوسط خالص و ناخالص انتقال رسوبات موازی ساحل در توسعه طرحهای حفاظتی ساحل اهمیت دارد.

۶-۱ تغییرات مورفولوژیکی سواحل

۱-۶-۱ فرسایش

۱-۶-۱-۱ پایداری ساحل

اگر چه یک ساحل ممکن است به طور موقت توسط امواج، فرسایش یافته و بعداً بخشی از آن و یا به طور کامل توسط امواج دورا به حال اول برگردد و پدیده فرسایش و انباشتگی به صورت فصلی رخ دهد، با این وجود تغییرات درازمدت ساحل و میزان فرسایش و رسوب‌گذاری ساحل، بستگی به نرخ تأمین رانه ساحلی دارد. زمانی که نرخ رانه تأمین شده بیش از میزان از دست رفته باشد، ساحل انباشته شده و یا پیشروی می‌کند. یک ساحل را زمانی می‌توان پایدار نامید (حتی اگر در طوفان و شرایط فصلی دچار تغییرات شود) که در درازمدت نرخ تأمین و از دست دادن رانه ساحلی یکسان باشد.

۱-۶-۱-۲ علل فرسایش ساحل

قبل از به کارگیری هرگونه روشی برای حفاظت از ساحل، تشخیص و درک علل فرسایش کوتاه و بلندمدت از اهمیت خاصی برخوردار است. در این رهگذر هرگونه اشتباه در طراحی و جانمایی اقدامات حفاظتی ساحل ممکن است روند فرسایش ساحل را علی‌رغم آنکه هدف بر کاهش آن بوده، تشدید نماید. اگر چه بیشترین و جدی‌ترین فرسایش به هنگام وقوع طوفان حادث می‌شود، لیکن ممکن است عوامل دیگری همچون شرایط طبیعی و یا عوامل انسانی در ایجاد فرسایش مؤثر باشند که لازم است مورد بررسی قرار گیرند. دلایل طبیعی فرسایش، آنهایی هستند که نتیجه عکس‌العمل ساحل نسبت به تأثیرات سیستم طبیعی است. فرسایش ناشی از عوامل انسانی زمانی اتفاق می‌افتد که فعالیتهای انسانی بر سیستم طبیعی تأثیر گذارد. اکثر خوردگیهای ناشی از عوامل انسانی به دلیل عدم شناخت اتفاق می‌افتد، در صورتی که با یک برنامه خوب مدیریتی مناطق ساحلی، می‌توان میزان فرسایش ساحل را به طور موفقیت‌آمیزی کاهش داد. با این وجود، در مواردی فرسایش ساحل می‌تواند به دلیل پروژه‌های سازه‌ای که دارای اهمیت اقتصادی برای انسان است، صورت پذیرد. وقتی نیاز به انجام چنین پروژه‌هایی الزامی است، مهندس طراح می‌بایست با درک صحیح از تأثیرات سازه بر سیستم طبیعی، نسبت به کاهش یا جلوگیری از آن در طراحی، به گونه‌ای اقدام نماید که با طبیعت سازگار باشد.

الف: علل طبیعی

- افزایش سطح آب دریا

افزایش درازمدت سطح آب دریا نسبت به خشکی در بسیاری از مناطق دنیا وجود دارد. این افزایش منجر به عقب نشینی آرام و درازمدت خط ساحلی می‌گردد که بخشی از آن ناشی از آب‌شستگی مستقیم و بخش دیگر، سازگاری پروفیل نسبت به تراز آب بالاتر می‌باشد.

- تغییر در میزان تغذیه رسوبات منطقه رانه ساحلی:

تغییر شرایط آب و هوایی جهان می‌تواند منجر به خشکسالی و یا افزایش تعداد طغیان رودخانه‌هایی شود که به عنوان تأمین کننده مواد رسوبی از رودخانه به منطقه رانه ساحلی محسوب می‌شوند.

- امواج طوفانی

امواج تند ناشی از طوفانهای ساحلی سبب انتقال ماسه به نقاط دور از ساحل و نشست موقت آنها بر روی تپه‌های ماسه‌ای می‌گردد. پس از آن ممکن است بخشی از بازیافت ساحل در اثر انتقال مجدد این مواد در درازمدت به سمت ساحل و توسط امواج مسطح‌تر صورت پذیرد. اما در اکثر موارد، بعضی از مواد به طور دائم در نقاط دور از ساحل و عمیق رسوب می‌نمایند.

- باد رومی

جابه‌جایی مواد سبک از ساحل توسط باد می‌تواند یکی از علل مهم فرسایش باشد. در بسیاری از قسمتهای جهان، حوزه‌های مهمی از تلماسه‌ها در پشت ناحیه فعال ساحلی وجود دارد. این تلماسه‌ها می‌توانند نمایانگر حجم بزرگی از رسوبات ساحلی محسوب شوند.

- انتقال رسوبات موازی ساحل

ماسه توسط امواجی که تحت زاویه‌ای با ساحل برخورد و شکسته شده‌اند حمل می‌گردد. اگر ظرفیت حمل جریان موازی ساحل که توسط این امواج به وجود آمده‌اند از میزان رسوباتی که به طور طبیعی به ساحل تزریق شده بیشتر باشد، ساحل دچار فرسایش خواهد شد.

- طبقه‌بندی مجدد رسوبات ساحلی

طبقه‌بندی رسوبات ساحلی توسط عملکرد موج به توزیع مجدد ذرات رسوب (ماسه، پوسته و قلوه‌سنگ) در نیمرخ ساحل بر اساس اندازه یا خصوصیات هیدرولیکی منجر می‌گردد. مکانیزم مزبور به ویژه در طراحی پروژه‌های تغذیه مصنوعی ساحل اهمیت دارد. چرا که انتقال ذرات ریزتر به نقاط دور از ساحل و انباشتگی ذرات درشت‌تر در منطقه شکست امواج ایجاب می‌کند که جهت حفظ تعادل، میزان ذرات از دست رفته جایگزین گردد. بهترین نتایج، زمانی حاصل می‌شود که مواد جایگزین و پرکننده از نظر اندازه، شبیه ذرات ساحل در حالت طبیعی باشد.

ب: عوامل انسانی

- نشست زمین ناشی از برداشت منابع زیرزمینی:

استخراج منابع زیرزمینی همچون گاز، نفت، زغال سنگ و آب زیرزمینی که در منطقه ساحلی قرار گرفته‌اند ممکن است موجب نشست ساحل شود. تأثیر پدیده مزبور همچون بالا آمدن سطح دریا است.

- جلوگیری از انتقال مواد

این عامل شاید مهم‌ترین عامل فرسایش انسانی باشد. توسعه شاخه‌ها با لایروبی کانال و کنترل آن و همچنین سازه‌های بندری از حرکت مواد رانه‌ای جلوگیری می‌کند. در این شرایط اغلب از میزان مواد رسوبی به ساحل کاسته می‌شود. کاهش مزبور یا به دلیل تخلیه مواد لایروبی در خارج منطقه فعال انتقال رسوب است و یا به دلیل تشکیل پشته‌ها، تپه‌های دریایی و سواحل عریض‌تری که مواد رانه‌ای در آن بر خلاف جهت غالب حرکت می‌کنند. احداث سازه‌های حفاظتی در منبع و محل تأمین مواد رانه‌ای مانند صخره نیز می‌تواند منجر به قطع تغذیه رسوبات گردد. تغییر جهت خط ساحلی با استفاده از سازه‌هایی همچون آب‌شکنها نیز در ایجاد مانع در حرکت انتقالی مواد رانه‌ای تأثیر گذاشته و موجب می‌شود که نرخ انتقال مواد رسوبی موازی ساحل کاهش یابد.

- کاهش تأمین رسوبات در ناحیه انتقال ساحلی

در بعضی از مناطق، انتقال مواد رسوبی به ساحل عمدتاً توسط رودخانه‌ها به عنوان اصلی‌ترین منبع تأمین کننده مواد رانه‌ای ساحلی صورت می‌گیرد. احداث سد بر روی این رودخانه‌ها نه تنها باعث مسدود شدن رسوبات می‌شود بلکه موجب کاهش حداکثر شدت جریان نیز می‌گردد. روند ذکر شده منجر به کاهش تأمین رسوبات ساحلی و در نتیجه خوردگی ساحل می‌گردد.

- تمرکز انرژی موج در سواحل

احداث سازه‌های ساحلی (همچون دیوار عمودی)، چه در ناحیه فعال ساحل و یا در پس کرانه می‌تواند موجب افزایش میزان انرژی موج، که قبلاً توسط مواد ساحلی از بین رفته بود، گردند. افزایش انرژی موج منجر به بالا رفتن نرخ فرسایش ساحل می‌شود.

- افزایش تغییرات سطح آب

عمیق‌تر و عریض‌تر کردن آبراهه‌های کشتیرانی گاهی به تغییرات دامنه جزر و مد در بندر یا خلیج منجر می‌شود. تغییرات مزبور ممکن است موجب ورود موجهای بزرگتر به منطقه بندر و سواحل

مجاور آن شود. افزایش دامنه جزر و مد موجب می‌شود که بخشهای بیشتری از بندر و ساحل خلیج در معرض پدیده خوردگی ناشی از امواج قرار گرفته و به تغییرات نیمرخ ساحلی منجر شود.

- تغییر در حفاظت طبیعی

لایروبی تپه‌ها و پشته‌های نزدیک ساحل می‌تواند چگونگی استهلاک انرژی در پیشانی دریا کنار را تغییر دهد. اگر میزان تغییرات، موجب افزایش انرژی موج در منطقه مورد مطالعه گردد، فرسایش ساحل امری اجتناب‌ناپذیر خواهد بود. یکسان کردن سطح تلماسه‌ها، تخریب پوشش گیاهی ساحل، هموار کردن مناطق وسیع کناره ساحل و احداث آبراهه‌های قایقها در پشت موانع جزیره‌ای باریک می‌تواند موجب افزایش روند فرسایش ناشی از آب سرریز و قابلیت موج‌پذیری ناحیه گردد.

- برداشت مواد از ساحل

در بسیاری از نقاط دنیا مبادرت به بهره‌برداری از مصالح ساحلی می‌شود. این مصالح بعضی اوقات برای استفاده از مواد معدنی درون آن و در دیگر مواقع به منظور ساخت و ساز استخراج می‌شود. به هر عنوان، استخراج مصالح ساحلی به معنی از دست دادن مواد لازم جهت انتقال مواد رانه‌ای محسوب می‌گردد.



عوامل مؤثر در طراحی

سازه‌های حفاظت ساحلی

۱-۲ کلیات

در طراحی سازه‌های حفاظت ساحل و موج‌شکنها اثر پدیده‌های محیطی مؤثر، نظیر باد، امواج و جزر و مد و جریانهای دریایی بایستی در نظر گرفته شوند. همچنین ساختار مصالح و شکل بستر، روشهای اجرا و ملاحظات اقتصادی جزو مهم‌ترین عواملی هستند که در نظر گرفتن آنها در طراحی ضروری است. در این فصل چگونگی تأثیر پدیده‌های مهم روی فرایند ساحلی به طور خلاصه بیان شده و تأثیر این فرایندها در طراحی سازه‌های حفاظت ساحل مورد بررسی قرار می‌گیرد. عوامل اصلی مورد بررسی، شامل باد، امواج، جزر و مد، جریانهای منطقه‌ای محلی، وضعیت بستر، نیمرخ عرضی ساحل، شرایط اجرا و ملاحظات اقتصادی می‌باشد. بررسی دقیق نوع و نحوه اثر کمی هر کدام از این عوامل در بخش طراحی انجام خواهد گرفت. به طور خلاصه اثرات اصلی این عوامل در طرح سازه‌ها به طور کیفی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

۲-۲ اثر پدیده‌های محیطی

باد، موج، جزر و مد و جریان از پدیده‌هایی هستند که در طرح سازه‌های دریایی نقش قابل توجهی دارند. جداول ۱-۲ تا ۴-۲ نحوه اثر این پدیده‌ها در طرح سازه‌های مختلف در نواحی ساحلی را نشان می‌دهند. شکل ۱-۲ نیز نحوه بررسی اثر امواج در مناطق ساحلی را نشان داده و نکته قابل توجه در آن این است که اولاً پدیده‌ای مثل انکسار و کاهش عمق که به طور مجزا نشان داده شده‌اند، اغلب در یک زمان صورت می‌پذیرد. از طرف دیگر، مرز بین آب عمیق و کم‌عمق به طور دقیق مشخص نمی‌باشد و سوم اینکه امواج به جز اثرات ذکر شده در شکل ۱-۲ تحت تأثیر پدیده‌های دیگری مثل اصطکاک کف، جریانها و ... قرار دارند. شماره‌های ذکر شده نشان دهنده روند محاسبات به طور معمول است. ترتیب و شماره‌های ۱۳ تا ۱۸ ممکن است بسته به نوع پروژه تغییر نماید. در شکل ۲-۲ نیز به طور خلاصه مجموعه اثرات پدیده‌های محیطی در طراحی سازه‌های ساحلی نشان داده شده است.

جدول ۱-۲ نحوه ثبت و چگونگی اثرگذاری باد در طرح سازه‌های ساحلی

نحوه برداشت داده	با ۳ پارامتر اصلی سرعت، جهت و تداوم وزش سنجیده می‌شود. اندازه‌گیری به طور پیوسته یا مقطعی انجام می‌گیرد. برای استفاده در طراحی سازه‌ها لازم است تا ثبت داده‌ها در طول یک دوره طولانی انجام شده باشد.
نحوه تولید داده	با استفاده از مدل‌های آماری، امکان تولید داده‌های باد از روی داده‌های ثبت شده وجود دارد. تولید داده‌ها از روی سایر پارامترهای هواشناسی برای یک منطقه در پروژه‌های عمرانی رایج نیست.
اثرات مستقیم	<p>- افزایش سطح آب ناشی از خیزاب wind set-up را به وجود می‌آورد که در تعیین سطح نهایی طراحی نقش اساسی دارد.</p> <p>- جابه‌جایی ماسه و رسوبات توسط باد بر روی الگوی توزیع رسوبات و ماسه‌ها در نواحی ساحلی اثر می‌گذارد.</p> <p>- حرکت ماسه‌ها توسط باد و برخورد آنها با سازه‌های بتنی یا فولادی باعث ایجاد خوردگی در سطح سازه‌ها می‌شوند.</p> <p>- برخورد / جداسازی کشتی‌ها و شناورها با / از سازه‌های کنار ساحل را ناشی می‌گردد.</p> <p>- بار باد به طور مستقیم به سازه‌ها وارد می‌شود.</p> <p>- در ناوبری ایمن شناورها اثرگذار می‌باشد.</p>
اثرات غیر مستقیم	<p>- برای تولید آماری امواج به کار می‌رود.</p> <p>- در ایجاد جریانهای دریایی نقش دارد.</p>

جدول ۲-۲ نحوه ثبت و چگونگی اثرگذاری امواج در طرح سازه‌های ساحلی

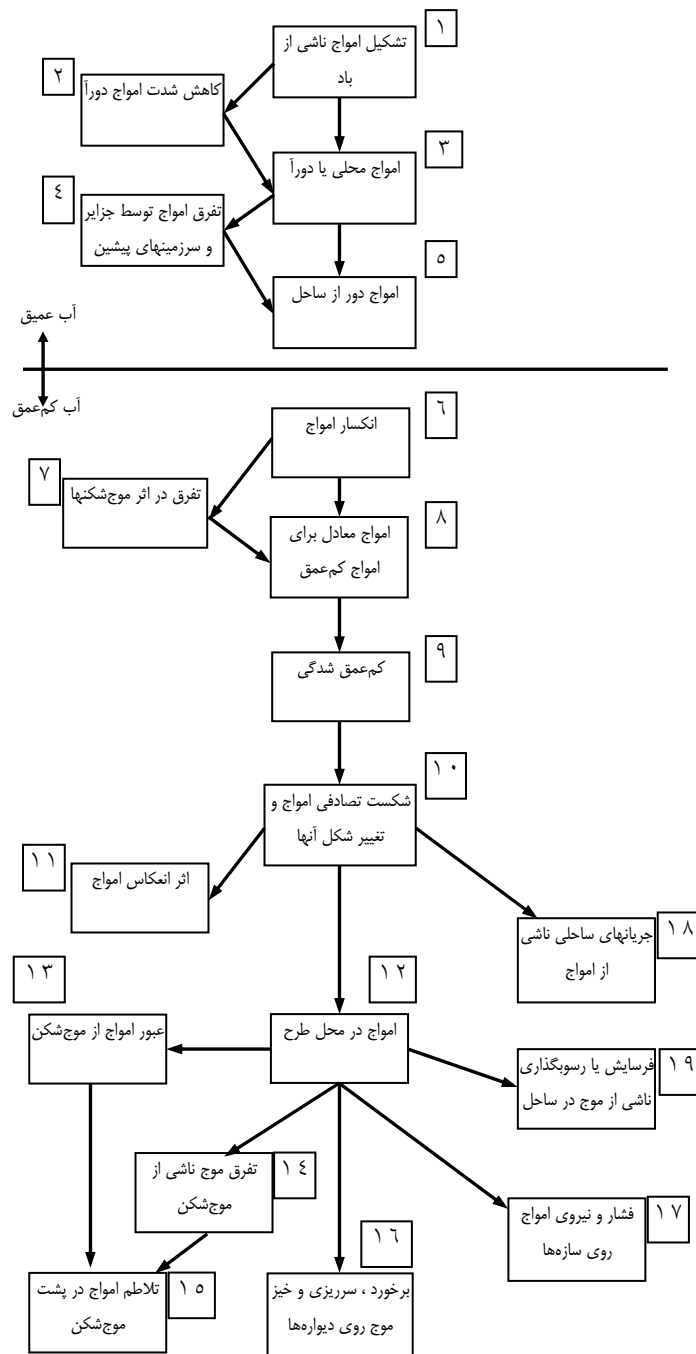
نحوه برداشت داده	با استفاده از پارامترهای ارتفاع، جهت و طول موج و یا به طور طیفی سنجیده می‌شود.
نحوه تولید داده	با استفاده از داده‌های باد در منطقه و شرایط هیدروگرافی تولید می‌شود. به دست آوردن موج با استفاده از روابط تجربی یا ریاضی ساده و مدل‌های پیچیده ریاضی صورت می‌گیرد.
اثرات مستقیم	<p>در شکل‌دهی وضعیت ساحل نقش خواهند داشت.</p> <p>بر روی سازه‌ها بارهای شدیدی را وارد می‌سازد. دینامیکی بودن این بارها در برخی شرایط در طراحی سازه به طور کامل تعیین کننده خواهد بود.</p> <p>در جابه‌جایی رسوبات در نزدیکی ساحل نقش تعیین کننده دارد.</p> <p>امواج در نزدیکی ساحل در تعیین سطوح نهایی طراحی نقش دارند.</p> <p>برخورد / جداسازی کشتیها و شناورها با / از سازه‌های کنار ساحل را ناشی می‌گردد.</p> <p>در ناوبری ایمن شناورها اثرگذار می‌باشد.</p>
اثرات غیر مستقیم	در ایجاد جریانهای دریایی نقش دارد.

جدول ۲-۳ نحوه ثبت و چگونگی اثرگذاری جزر و مد در طرح سازه‌های ساحلی

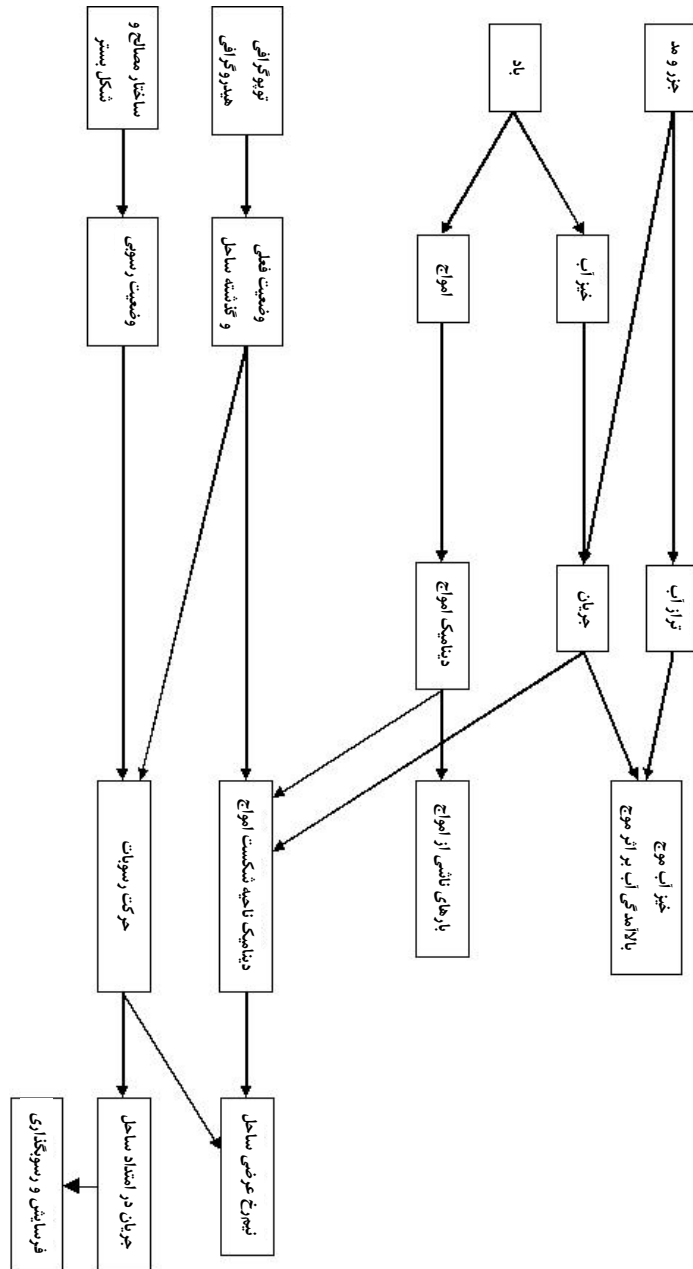
نحوه برداشت داده	به طور مستقیم به صورت تغییرات سطح آب بیان می‌شود. جزر و مد در یک منطقه با استفاده از حداقل ۴ پارامتر جزر و مدی نیز تعریف می‌گردد. تعداد و نوع این پارامترها بسته به محل تعیین می‌شود.
نحوه تولید داده	پس از تحلیل داده‌های برداشت شده در محل و تعیین پارامترهای جزر و مدی با استفاده از مدل‌های ریاضی ساده قابل تولید می‌باشد.
اثرات مستقیم	در تعیین ترازهای طراحی بسیار حایز اهمیت است. در بلندمدت در فرسایش سواحل و یا رسوبگذاری در آنها تعیین کننده می‌باشد.
اثرات غیر مستقیم	در تولید و ایجاد جریانهای دریایی نقش بسیار حایز اهمیتی دارد.

جدول ۲-۴ نحوه ثبت و چگونگی اثرگذاری جریان در طرح سازه‌های ساحلی

نحوه برداشت داده	به صورت تغییرات سرعت و جهت، اندازه‌گیری می‌شود.
نحوه تولید داده	با استفاده از مدل‌های ریاضی که از پارامترهای اولیه تولید کننده جریان مانند جزر و مد، تغییرات دما، چگالی و غیره استفاده می‌کنند، تولید می‌شود.
اثرات مستقیم	در جابه‌جایی رسوبات در منطقه نقش تعیین کننده دارند. بارهای قابل توجهی بر سازه‌های دریایی وارد می‌نمایند. برخورد/ جداسازی کشتی‌ها و شناورها با / از سازه‌های کنار ساحل را ناشی می‌گردد. در ناوبری ایمن شناورها اثرگذار می‌باشد.
اثرات غیر مستقیم	باعث انکسار و تغییر مشخصات امواج می‌گردند.



شکل ۱-۲ نحوه بررسی امواج در آب عمیق و مناطق ساحلی کم عمق



شکل ۲-۲ اثر پارامترهای مختلف محیطی بر وضعیت ساحل

۳-۲ ساختار مصالح و شکل بستر

خصوصیات مصالح بستر در تعیین عواملی نظیر وضعیت ژئوتکنیکی بستر، جابه‌جایی رسوبات، خوردگی سازه و نیمرخ ساحل اثرگذار می‌باشد. جدول ۲-۵ به طور خلاصه نقش پارامترهای مربوط به ساختار مصالح را در طراحی سازه‌های دریایی و ساحلی نشان می‌دهد.

جدول ۲-۵ نحوه اثر پارامترهای مرتبط با ساختار مصالح و شکل بستر در طراحی سازه‌های دریایی

داده‌های مرتبط با شرایط بستر به طور معمول از طریق نمونه‌گیری و آزمایشهای صحرایی و آزمایشگاهی تعیین می‌گردد. در شرایط مختلف از آزمونهای ژئوفیزیکی نیز استفاده می‌شود.	نحوه برداشت داده
در تعیین ظرفیت باربری سازه‌ها و میزان نشست آنها مورد استفاده قرار می‌گیرند. وجود سواحل صخره‌ای یا مرجانی، شیبه‌های تند و شرایط خاص در شکل بستر بر انتخاب نوع سازه‌های حفاظتی تأثیر مستقیم می‌گذارد. سستی مصالح در کف سازه‌های حفاظتی ممکن است باعث ایجاد آب شستگی در کف شده و در نتیجه پایداری و تعادل سازه را به خطر می‌اندازد.	وضعیت ژئوتکنیکی
اندازه و دانه‌بندی مصالح در شکل‌گیری تغییرات مورفولوژیک اثر قابل توجهی دارد. اندازه مصالح در شکل‌دهی شیب ساحل اثر مستقیم دارد.	جابه‌جایی رسوبات
وجود ترکیبات خورنده مانند سولفاتها و کلراتها باعث ایجاد خوردگی در سازه‌هایی مانند شمعها می‌گردد.	ایجاد خوردگی
نیمرخ عرضی ساحل در انتخاب نوع سازه‌های موازی با ساحل نقش اساسی دارد. بر چگونگی حرکت امواج در نزدیکی ساحل مؤثر می‌باشد. کم بودن شیب باعث می‌شود تا فرایندهای رسوبی تا فواصل دور از ساحل ادامه پیدا کنند. در این حالت ساخت سازه‌های حفاظتی مانند تیغه‌ها و آبشکنها باید با دقت بسیار صورت گیرد. وجود تپه‌های زیرآبی در نواحی عمیق می‌تواند از شدت امواج رسیده به ساحل بکاهد.	نیمرخ ساحل

۴-۲ روشهای اجرای سازه

روش اجرا یکی از مهم‌ترین عواملی است که در طراحی سازه‌های ساحلی در نظر گرفته می‌شود. اثر عوامل اجرایی در طراحی سازه‌ها را می‌توان در چارچوب عوامل مشترک بین سازه‌های مختلف و عوامل

خاص مرتبط با هر سازه تقسیم‌بندی نمود. در جدول ۲-۶ مجموعه‌ای از مهم‌ترین عوامل اجرایی نشان داده شده است.

جدول ۲-۶ نحوه اثر عوامل مختلف اجرایی در طرح سازه‌های حفاظتی

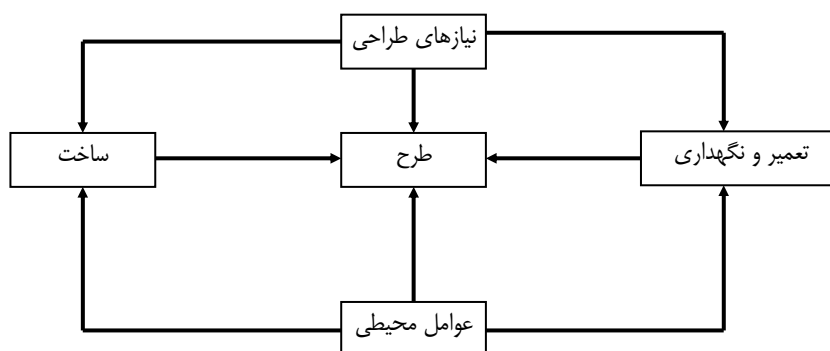
امکانپذیری اجرا با در نظر گرفتن امکانات موجود در نظر گرفتن هزینه‌های احداث از دریا و خشکی در دسترس بودن مصالح مورد نیاز ایمنی تأسیسات و کارکنان مثل ماشینها در خشکی و دریا پایداری و ایمنی سازه در حالت ناتمام و در میانه عملیات اجرا امکان تأمین سایت مناسب	عوامل مشترک
موجود بودن معادن سنگ در نزدیکی محل پروژه مناسب بودن معادن سنگ از نظر کیفی و کمی امکان دسترسی اقتصادی به معادن و طرق انتقال سنگ به ساحل وجود امکانات لازم برای قرار دادن سنگها در محلهاى مورد نیاز مکان دستیابی به پروفیل مورد نظر در طراحیها	سازه‌های سنگی
امکان تأمین سیستم قالب‌بندی امکان انتقال قطعات بتنی به محلهاى مورد نظر امکان تولید بتن مناسب برای مقاومت در شرایط دریایی امکان عمل‌آوری بتن	سازه‌های بتنی
امکان فراهم‌آوری محل مناسب برای ساخت وضعیت مناسب بستر یا امکان آماده‌سازی آن امکان انتقال یا جابه‌جایی صندوقچه‌ها وضعیت پایداری صندوقچه پیش از نصب	صندوقچه‌ها
دسترسی به مصالح مورد نیاز و زمین مناسب اثر عملیات بر صنعت ماهیگیری	طرح‌های تغذیه مصنوعی

۲-۵ ملاحظات اقتصاد پروژه و مدیریت سواحل

به طور معمول تأثیرگذارترین عامل طراحی در سازه‌های حفاظت از سواحل ملاحظات اقتصادی و مدیریت صحیح در طراحی می‌باشد. در ساخت این سازه‌ها به طور معمول در سرمایه‌گذاری بالا، هزینه

نگهداری کم و در سرمایه‌گذاری اولیه پایین، هزینه نگهداری بالایی می‌طلبد. در پروژه‌ها بررسیهای اقتصادی بدون توجه به سطوح ریسک مورد نظر قابل انجام نیست.

مدیریت طراحی نیز در بازدهی مناسب طراحی نقش تعیین کننده‌ای دارد. به طور خلاصه می‌توان عملکرد مدیریت صحیح در طراحی سازه‌های حفاظت از سواحل را مطابق شکل ۲-۳ نشان داد. همان‌گونه که این شکل نشان می‌دهد انتخاب روش حفاظت از سواحل باید پس از بررسی و طرح روشهای مختلف صورت گیرد و امکان رسیدن به اهداف مورد نظر از حفاظت سواحل باید مد نظر قرار گیرد. همچنین می‌توان گفت که مدیریت سواحل شامل بررسی تمامی پارامترهای مؤثر در طرح یک سیستم حفاظت ساحل و در صورت اجرای طرح، نظارت، تعمیر و نگهداری آن است.



شکل ۲-۳ مدیریت صحیح در ساحل

۳

جمع آوری اطلاعات

◀ ۱-۳ کلیات

با توجه به اهمیت جمع‌آوری اطلاعات محیطی در مطالعات فرایند ساحلی و طراحی سازه‌های حفاظت و موج‌شکنها، در این فصل نکات مهمی در این زمینه ارائه می‌گردد.

◀ ۲-۳ باد

◀ ۱-۲-۳ کلیات

باد از دو منظر یکی بار وارد بر سازه به طور مستقیم و دیگری اثر آن بر روی آب و تولید موج قابل اهمیت است. دانستن جهت باد به منظور تعیین دقیق طول بادگیر نیز اهمیت خاصی در طراحی موج‌شکنها و سازه‌های حفاظتی دارد. جمع‌آوری اطلاعات باد به طور ممتد و در درازمدت در ساخت این‌گونه سازه‌ها ضروری است. اطلاع از تغییرات ناگهانی رژیم بادهای محلی نیز در طراحی و ساخت سازه‌های ساحلی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

◀ ۲-۲-۳ ارتفاع اندازه‌گیری

به منظور امکان مقایسه اطلاعات ثبت شده باد از نقاط و ارتفاعات گوناگون، اندازه‌گیریها باید نسبت به ارتفاع استاندارد ۱۰ متری بالای سطح زمین انجام شوند. ثبت اطلاعات در فواصل زمانی ۳ ثانیه به طور معمول قابل قبول است.

◀ ۳-۲-۳ ارایه و کاربرد اطلاعات باد

معمولاً سرعت متوسط و جهت باد و سرعت حداکثر تندباد به طور استاندارد و ساعتی ثبت می‌شود که ممکن است در موارد زیر مورد استفاده قرار گیرد:

الف: به عنوان مبنای پیش‌بینی موج

ب: برای محاسبه متوسط و یا حداکثر وقوع

ج: به منظور تهیه گلباد یا نمودارهای شبیه به آن که توزیع فرکانس، سرعت و جهت باد اندازه‌گیری شده نمایش داده می‌شود.

د: ترسیم حد فزونی و محاسبه درصد وقوع سرعتهای باد کمتر و یا بزرگتر از حدی معین. باد به عنوان یکی از عوامل تولید موج محسوب می‌شود و خصوصیات امواج تولید شده بستگی به شرایط باد (ارتفاع، پریود و جهت موج) دارد. بنابراین آگاهی از وضعیت وزش بادهایی که در منطقه مورد مطالعه نقش دارند در طراحی سازه‌های ساحلی اعم از موج‌شکنها و سازه‌های حفاظتی نقش بسیار مهمی را ایفا می‌نمایند.

◀◀ ۳-۳ امواج

◀ ۳-۳-۱ گردآوری داده‌های موجود موج

برای جمع‌آوری داده‌های موجود امواج در سواحل کشور رجوع به مراجع مختلف، مورد نیاز است. تاکنون اندازه‌گیری بلندمدت مدون و مشخصی در ارتباط با امواج در سواحل کشور، توسط ارگانهای داخلی انجام نپذیرفته است. لذا در حال حاضر می‌توان به اندازه‌گیریهای محدودی که توسط شرکت‌های مختلف در ارتباط پروژه‌های مشخص دریایی کشور انجام گرفته به عنوان یکی از راه حلها رجوع نمود. روش دیگر استفاده از برداشتهای صورت گرفته توسط کشتیهای عبوری از منطقه‌های دریایی کشور بالاخص در امتداد خلیج فارس و دریای عمان می‌باشد. این برداشتها توسط سازمان هواشناسی انگلستان طبقه‌بندی شده و موجود است. البته در ارتباط با داده‌هایی که برای سایت خاصی نیست دقت کافی را باید لحاظ کرد و اثرات آب کم‌عمق، نوسانات با فرکانس بلند و بالا آمدن آب ناشی از طوفانهای دریایی را مد نظر قرار داد.

در صورت عدم وجود داده‌های مناسب برای موج، اندازه‌گیری امواج در سایت مورد نیاز است. چنین اندازه‌گیریهای دریایی برای تعیین امواج ممکن است به تنهایی و یا به صورت ابزار کمکی برای تکنیکهای پیش‌بینی تولید مشخصه‌های موج مورد استفاده قرار گیرند. این اندازه‌گیریها در موارد زیر ضروری هستند:

الف: توپوگرافی پیچیده بستر دریا در سایت مورد نظر انتقال امواج پیش‌بینی شده در آب عمیق به کم‌عمق را با مشکل و عدم اطمینان از صحت نتایج مواجه می‌کند.

ب: داده‌های هواشناسی برای پیش‌بینی امواج در سایت با استفاده از روشهای تجربی نامناسب و با کیفیت شک برانگیز همراه باشد.

ج: طول بادگیر برای ایجاد روند محاسبه و پیش‌بینی امواج، مشخص و قابل قبول نباشد.

د: وجود جریانها یا تغییرات جزر و مد در منطقه مورد مطالعه بر روی مشخصه‌های امواج تأثیر می‌گذارد.

هـ: وجود امواج با پریود بلند و یا امواج دورا قابل اهمیت باشند.

در جاهایی که اندازه‌گیری امواج ضرورت دارد برنامه‌ریزی سیستم ثبت تا حد امکان بلندمدت پیش‌بینی شود. داده‌های یک‌ساله موج برای ایجاد شرایط منطقی برای برون‌یابی داده‌ها و تعیین پارامترهای طراحی، مهم و حیاتی هستند. برداشت و ثبت امواج در یک دوره ۱۰ تا ۱۵ دقیقه‌ای در حد فاصل ۳ ساعت معمولاً برای تعیین امواج دورا و طوفانی طراحی کافی هستند. در حالتی که امواج بلند با پریود چند دقیقه‌ای و ارزیابی و بررسی می‌شوند، اندازه‌گیری و ثبت داده‌ها برای حداقل ۱ تا ۲ ساعت برای تعیین طیف منطقی امواج، ضروری است.

برون‌یابی مقادیر ثبت شده نسبت به حداکثر امواج حساس است. لذا مقادیر ثبت شده هواشناسی برای اطمینان از این که طوفانهای نمونه و مورد نظر در منطقه گستره باد در طول زمان ثبت امواج اتفاق افتاده‌اند باید کنترل شوند. این مسئله مهم است که تنها یک مجموعه کامل از ثبتها برای برون‌یابی و به دست آوردن حداکثر شرایط موج باید مورد استفاده قرار گیرد. از آنجا که دستگاههای اندازه‌گیری معمولاً در طول طوفانها و در طول ۱۲ ماه سال صدمه می‌بینند بنابراین اندازه‌گیری و برداشت باید برای مدت بیش از یک سال کامل انجام شود.

برای تعیین شرایط امواج در آب عمیق، دستگاه اندازه‌گیر موج باید با توجه به طول موج منطقه در آب عمیق و در مجاورت منطقه مورد مطالعه نصب شود. مکان نصب در صورت امکان باید به صورتی طراحی شود که بتوان به راحتی امواج را به منطقه مورد طرح منتقل کرد. دستگاه باید خارج از عوارضی که ایجاد

انعکاس و تفرق امواج می‌کنند، قرار داده شود. در جاهایی که امکان وقوع پدیده تشدید و یا هر نوع پدیده مزاحم دیگر وجود دارد دقت مضاعف برای تعیین صحیح امواج و ثبت آنها مورد نیاز می‌باشد.

◀ ۳-۴ انتقال رسوب

در مطالعات هیدرودینامیکی منطقه ساحلی تعیین روند حرکت رسوبات و رژیم رسوب‌گذاری منطقه می‌بایست مورد ملاحظه قرار گیرد. این مسئله آشکار است که در منطقه ساحلی انرژی تولید شده در دریا به اشکال مختلف همانند امواج، جریانهای جزر و مدی و غیره به سمت ساحل منتقل می‌شود. سازه‌های ساخت بشر، صخره‌های ساحلی و رسوبات انباشته شده از مواردی هستند که موجب کاهش و حتی اضمحلال این انرژی می‌شوند. سیستم رسوبات و تغییراتی که در بستر ایجاد می‌کنند در منطقه کرانه‌ای و منطقه زیر کرانه‌ای در یک توپوگرافی مدل می‌شوند و تا زمانی که توازن بین نیروهای موجود در دریا برقرار باشد، کل سیستم در تعادل دینامیکی قرار خواهد داشت.

پارامترهای طبیعی که نرخ و جهت حرکت و انتقال رسوبات را تعیین می‌کنند عبارت از جریانهای غالب جزر و مدی، جریان ناشی از باد، جریان ناشی از موج، وضعیت عمق‌سنجی منطقه و خواص بستر دریا و رسوبات ساحلی هستند.

جریانها و امواج، پدیده‌هایی هستند که موجب به حرکت درآمدن، انتقال و نشست رسوبات می‌شوند. شرایط پستی و بلندی بستر (وضعیت عمق‌سنجی) وضعیت جریانها و امواج دریا از بعد فرسایشی بودن و یا خلاف آن را نشان می‌دهند.

شناخت صحیح از حرکت رسوبات، زمینه را برای حفاظت سواحل و سازه‌ها در نقاطی که مورد نیاز است قبل از وقوع هرگونه حادثه‌ای آماده می‌سازد. برای شناخت عمومی از انتقال رسوبات در یک منطقه می‌توان از مطالعه نقشه‌ها، چارتهای قدیمی، عکسهای هوایی و همچنین بازرسی زمینی از منطقه استفاده کرد. بدین ترتیب، اطلاعات قدیمی و تاریخی را می‌توان با اطلاعات جدید، تغییرات ایجاد شده در بستر، عمقهای موجود دریا در نقاط ساحلی و حرکت ظاهری رسوبات در ایجاد بارهای ماسه‌ای در دریا مقایسه کرد.

در یک بازدید اولیه از ساحل موارد و مناظری از قبیل دماغه‌های کوچک پیشرفته در دریا انباشتگی رسوبات و یا فرسایش‌های عمومی و موضعی ناشی از سازه‌های موجود، جهت و شدت انتقال رسوبات را نشان می‌دهند.

◀ ۳-۴-۱ انتقال رسوبات ناشی از جریان

زمانی که جریانی از روی بستری عبور می‌کند برای به حرکت درآوردن دانه‌های بستر، به نیروی حداقلی که نیروی برشی بحرانی نامیده می‌شود، نیاز است. مطالعات و تجربه نشان داده است که برای بسترهای مسطح که دانه‌های آن مشتمل بر ماسه به اندازه‌های متوسط و ریز (قطر ذرات $0/1$ تا $0/6$ میلی‌متر) است، جریان مورد نیاز برای به حرکت درآوردن دانه‌های بستر به میزان $0/15$ متر بر ثانیه در $0/3$ متری بالای بستر است. سرعت مورد نیاز برای شنها (اندازه بزرگتر از 1 میلی‌متر) عدد بزرگتری است.

آشنایی و شناخت از بستر و رسوبات، نیاز به انجام آزمایشها و اندازه‌گیریهای دریایی مشخصی دارد. در حالت کلی، انتقال رسوبات به دو صورت: ۱- انتقال بار معلق و ۲- انتقال بار کف انجام می‌گیرد.

◀ ۳-۴-۲ انتقال رسوبات با امواج کم عمق

۳-۴-۲-۱ حرکت ناشی از جریانهای ناشی از موج

هنگامی که مقدار سرعت مداری ذرات آب دریا ناشی از موج در نزدیکی بستر از $0/15$ متر بر ثانیه بیشتر شود، زمینه عملی برای به حرکت درآمدن ذرات ماسه از بستر دریا مهیا می‌شود. در بسترهای ماسه‌ای نرم، ذرات به سمت جلو و عقب حرکت کرده و بسترهای موج با قله‌های موازی با قله موج دریا را ایجاد می‌کند. هر چه مقدار سرعت حرکت مداری ناشی از موج بیشتر شود بسترهای موج تیزتر شده و ذرات ماسه بستر که در قسمت پشت قله بسترهای موج با حرکت چرخشی به وجود می‌آید به حالت معلق درمی‌آیند.

در حالتی که جریانهای ناشی از جزر و مد وجود دارند، حرکت ارتعاشی ناشی از امواج باعث افزایش نیروی به حرکت درآورنده دانه‌های بستر می‌شوند.

۳-۴-۲ فرسایش موضعی و انباشتگی رسوبات

در بسیاری از پروژه‌های مهندسی همانند طراحی کانال دسترسی بندر، مسئله مورد نظر تخمین مقدار فرسایش و یا انباشتگی رسوبات است. البته ذکر این نکته مهم است که تخمین دقیق چنین مواردی عملی نبوده و معمولاً تا حد (۲۵٪) خطا نسبت به مقدار واقعی، تخمین مطلوبی محسوب می‌شود. معمول‌ترین روش تخمین انباشتگی و یا نرخ فرسایش روش کانال آزمایشی است. در این روش یکسری حفره بر روی خط و یا امتداد مورد نظر حفر می‌شود. این حفره‌ها در پلان دارای شکل مستطیلی هستند که طول آنها به موازات کانال می‌باشد. بهترین ارتفاع برای چنین گودالهای آزمایشی ارتفاع کانال مورد طرح می‌باشد. لیکن طول گودال باید در حدی باشد که اثر انتهای کانال را بر روی انباشتگی و یا فرسایش ایجاد نکند. معمولاً یک نسبت طول به ارتفاع در حد ۱۰ کافی است.

۳-۴-۳ تغییر شکل بستر

جهت نرخ انتقال رسوبات توسط مشاهده حرکت جریانهایی که شکلهای بستر را ایجاد می‌کنند به دست می‌آید. تغییر شکل بستر به وسیله سرعت تغییر بستر ناشی از جریانهای جزر و مدی و اندازه دانه‌های رسوبات تعیین می‌شود.

◀ ۳-۵ ملاحظات ژئوتکنیکی

مطالعه در مورد شرایط سطحی و زیرسطحی منطقه مورد طرح از مسایل اساسی و حیاتی مربوط به طراحی موج‌شکنها و سازه‌های حفاظت ساحلی می‌باشد. با توجه خاص به روند مورفولوژیکی موجود و ژئولوژی منطقه مورد طرح، مشخصه‌های بسیار زیادی در مورد طراحی سازه ساحلی می‌توان برداشت و تفسیر کرد. این اطلاعات می‌توانند مقدار بررسی ژئوتکنیکی و آزمایشهای مورد نیاز را تعیین کرده و همچنین به ارزیابی و تفسیر اطلاعات به دست آمده کمک نماید. مطالعه ژئوتکنیکی می‌بایست شامل تعیین مشخصه‌های خاک و صخره‌ها باشد. این مشخصه‌ها تأثیر خاصی بر روی کارهای زمینی به صورت لایروبی و احیاسازی دارند. این موارد همچنین شامل جمع‌آوری داده‌های موجود در مورد مصالح محلی در دسترس برای استفاده در ساخت سازه‌های طراحی شده می‌باشند. تمامی این مطالعات یک

بررسی میدانی برای کارها را ارایه می‌دهد. جمع‌آوری داده‌ها برای سایت مورد نظر با انتخاب پارامترهای طراحی که از آنها رفتار خاکها و صخره‌ها امکان پیش‌بینی دارد انجام می‌گیرد. گام بعدی در روند طراحی ژئوتکنیکی، محاسبه فشار زمین و مقاومت زمین است که ممکن است به‌همراه بارگذارهای به کار رفته دیگر برای کنترل دقت مورد استفاده قرار گیرد. یکی از مواردی که در ارتباط با ملاحظات ژئوتکنیکی می‌بایست مد نظر قرار گیرد، ایستایی شیب ساحل و صخره‌ها می‌باشد. در این ارتباط، بررسی‌های زیرسطحی و تمامی کنترل‌های مربوطه باید انجام پذیرد.

◀ ۳-۶ مصالح

مصالحی که به صورت کلی در ساخت سازه‌های ساحلی و دریایی به کار برده می‌شوند عبارتند از: سنگ برای ایجاد لایه‌های محافظ موج‌شکنها و یا کارهای حفاظتی، بتون، سازه‌های فولادی و فلزات دیگر، چوبهای عمل آورده شده، لوله‌ها، پوششها، المانهای ریلی، کارهای آجری، کارهای بلوکی و مصالح ساختمانی، مصالح قیری، لاستیکها و پلاستیکها. اطلاعات مربوط به مصالح مورد استفاده در سازه‌های ساحلی و دریایی بایستی مطابق ضوابط ارایه شده در مجلد دوم این آیین‌نامه (مواد و مصالح) تهیه گردد.

◀ ۳-۷ برنامه‌ریزی اندازه‌گیری پارامترهای میدانی

◀ ۳-۷-۱ برنامه کلی مشاهدات میدانی

هدف از سلسله مشاهدات میدانی، بررسی شرایط امواج، جریان نزدیک ساحل، انتقال رسوب و تغییرات توپوگرافی (بستر دریا) می‌باشد. مشخصات و خصوصیات این پدیده‌ها نسبت به زمان و مکان تغییر می‌کند. بنابراین، پیش از شروع مشاهدات دریایی، منطقه مورد نظر، مدت انجام کار، همچنین فصل مناسب و نوع اندازه‌گیریها بر اساس هدف و مقیاس تحقیقات بایستی، مورد بررسی قرار گیرند. علاوه بر

این، پرسنل و نیروی انسانی مورد نیاز و تعداد تجهیزات می‌باید به طور منطقی و بهینه با در نظر گرفتن مسایل غیر قابل پیش‌بینی، تصادفات و وقوع دیگر عوامل غیر منتظره، مشخص شوند.

◀ ۳-۷-۲ برنامه اصلی مشاهدات

پس از مشخص نمودن اهداف تحقیقات، مواردی نظیر منطقه، زمان و پارامترهای مورد اندازه‌گیری می‌باید تعیین شوند. وضعیت موج و جزر و مد از یک منطقه به منطقه دیگر متفاوت است. بنابراین بررسی مطالب مرجع و گزارشات قبلی در خصوص داده‌های مستمر مربوط به امواج و جزر و مد و عمق‌یابی ادواری در بسیاری از بنادر مجاور مفید است.

◀ ۳-۷-۳ بازدید مقدماتی

برای تهیه برنامه دقیق اجرایی، یک بازدید مقدماتی با در نظر گرفتن خصوصیات منطقه و انطباق آن با اهداف مورد مطالعه مورد نیاز است. موارد مورد مطالعه عبارتند از:

- ۱- دسترسی به وسایل
- ۲- فضای کار مناسب
- ۳- پستی و بلندیهای زمین به عنوان شالوده فتوگرامتری
- ۴- سکوهایی در دسترس، جهت مشاهدات (اسکله کوتاه عمود بر ساحل، اسکله، آب‌شکن، برج و غیره)
- ۵- دسترسی به مولد نیروی برق
- ۶- اسکان، محوطه انبار و فضای پارکینگ
- ۷- ارتباط با دفاتر رسمی و ساکنین محلی

◀ ۳-۷-۴ طراحی اجرایی

۳-۷-۴-۱ فاصله زمانی و مکانی مشاهدات

کل زمان و محدوده مورد مطالعه، باید بر اساس میزان تغییرات هدف مورد نظر نسبت به زمان و مکان تعیین گردند.

۳-۷-۴ روشها و ابزارهای اندازه‌گیری

روشها و ابزارهای اندازه‌گیری بایستی بر اساس اهداف مطالعه، روند تغییرات هدف مورد مطالعه نسبت به زمان و مکان، ویژگیهای ساحل و خصوصیات سیستم اندازه‌گیری به کار گرفته شده، مشخص شوند. فناوریهای بسیار پیشرفته اندازه‌گیری، امکان اندازه‌گیری روند تغییرات دینامیکی ساحل، موج و جریان را با دقت قابل ملاحظه‌ای فراهم می‌سازد. با این وجود، اندازه‌گیری میزان انتقال رسوب با دقت بالا هنوز مشکل بوده و در حال حاضر معمولاً از روش ردیابی با ماسه رنگ شده و تله‌های ماسه استفاده می‌شود.

٤

تحليل اطلاعات

۴-۱ کلیات

آگاهی و تعیین پارامترهای دریایی، اولین قدم در جانمایی و طراحی سازه‌های حفاظتی نزدیک و دور از ساحل و موج‌شکنها است. عدم شناخت کافی از ارتفاع، جهت و پرپود موج برخوردی به ساحل و سازه‌های دریایی، عدم آشنایی به وضعیت آب و هوایی از نقطه نظر سرعت و جهت باد در روزهای مختلف سال، عدم آگاهی از نوع بستر از حیث مقاومت فشارپذیری، گسیختگی و فرسایش، عدم اطلاع از عوامل مؤثر در پدیده رسوب‌گذاری اعم از موج، جریان، توپوگرافی، باد و غیره، موجب می‌شود جانمایی و طراحی سازه‌های حفاظتی و موج‌شکنها با سعی و خطای زیادی همراه گردد که نهایتاً منجر به صرف هزینه‌های هنگفت در ساخت و نگهداری می‌شود.

آشنایی با طبیعت سواحل جنوبی و شمالی کشور، از جهت مورفولوژی و هیدرودینامیکی، برنامه‌ریزی و اجرای پروژه‌های مهندسی دریایی، مدیریت سواحل و غیره را آسان‌تر، دقیق‌تر و کم‌هزینه‌تر می‌نماید. اولین مرحله شناخت این پارامترها، تهیه اطلاعات آماری موجود و بررسی و تجزیه و تحلیل آنها است. از آنجا که در کشور ما اطلاعات حاصل از اندازه‌گیریهای پارامترهای دریایی در حد جامع وجود ندارد و در حد بسیار محدود و منقطع در مورد چند پارامتر خاص فراهم شده است، لازم است کلیه اطلاعات دریایی که نقش مهمی در طراحی سازه‌های حفاظت ساحلی و موج‌شکنها ایفا می‌کنند را از طریق اندازه‌گیریها به دست آورد. در این فصل در خصوص پردازش اطلاعات حاصل از اندازه‌گیریها، توضیحاتی ارائه می‌شود.

۴-۲ جمع‌آوری و پردازش اطلاعات موجود

به طور کلی جمع‌آوری اطلاعات به دو بخش تقسیم می‌گردد:

الف: جمع‌آوری اطلاعات موجود

ب: برنامه‌ریزی اندازه‌گیریهای میدانی

در مرحله اول باید سعی گردد تا از طریق ایستگاههای هواشناسی، ادارات بنادر و دیگر ارگانهای دولتی از جمله شیلات و بخشهای خصوصی همچون مشاورین، پیمانکاران و غیره به اطلاعات موجود در

خصوص منطقه مورد مطالعه دسترسی پیدا نمود. اطلاعات حاصل بایستی از نظر تاریخی، شیوه جمع‌آوری، میزان تغییرات احتمالی در طول زمان، دقت اندازه‌گیریها و نوع ابزار به کار رفته و غیره مورد بررسی و پردازش قرار گرفته و اطلاعات مناسب استخراج گردد. به عنوان مثال، اطلاعات توپوگرافی بستر که بیش از ۴۰ سال قدمت دارد نمی‌تواند قابل اطمینان باشد. چرا که تغییرات بستر روندی دینامیکی داشته و به طور مداوم دستخوش تغییرات طبیعی و مصنوعی است. لذا ضروری است در خصوص جمع‌آوری اطلاعات عمقیابی منطقه اقدام نمود.

در مرحله بعدی می‌باید نسبت به جمع‌آوری اطلاعاتی که وجود ندارند و یا به کیفیت و دقت آنها اطمینان کافی نیست برنامه‌ریزی نمود. آشنایی کافی به منطقه مورد مطالعه، بذل توجه کافی به انواع اندازه‌گیریهای مورد نیاز و جامعیت بخشیدن به آن، وجود تجهیزات کافی و قابل اطمینان، وجود پرسنل مجرب و کارآزموده در اندازه‌گیریها و آشنا به پردازش اطلاعات حاصل، تأمین بودجه لازم و کلیه تمهیدات مورد نیاز از جمله مواردی هستند که به انجام اندازه‌گیریهای موفق میدانی می‌توانند کمک نمایند.

◀ ۳-۴ تحلیل و بازنگری اطلاعات قابل استفاده

◀ ۱-۳-۴ نوسانات سطح آب

در این مبحث نوسانات آب نسبت به سطح متوسط آب در مدت زمان طولانی در نظر گرفته می‌شود، این نوسانات ناشی از عوامل متعددی است که مهم‌ترین آنها عبارتند از جزر و مد، برکشند طوفان، تغییرات درازمدت سطح آب و خیزاب موج.

جزر و مد

برای نقاطی که تحت پوشش جداول آدمیرالتی و یا جداول سازمان نقشه‌برداری قرار دارند می‌توان از پیش‌بینیهای جداول مزبور استفاده نمود. برای نقاطی که چنین اطلاعاتی در دسترس نباشد باید با اندازه‌گیری کوتاه‌مدت و با استفاده از نظریه‌های جزر ومدی، ارتفاعات سطح آب را پیش‌بینی نمود.

برکشند طوفان

شرایط غیر عادی جوی ممکن است موجب بروز برکشندهای طوفانی گردد. این برکشندها را می‌توان از اندازه‌گیری اختلاف سطح آب که به طور واقعی اتفاق می‌افتد و مقادیر ثبت شده که در جداول جزر و مدی پیش‌بینی شده، به دست آورد. تأثیرات آب کم‌عمق و توپوگرافی و عمق آب در منطقه مورد نظر ممکن است به میزان قابل توجهی در میزان نوسانات تأثیر بگذارد.

نوسانات سطح آب در درازمدت

تغییرات درازمدت سطح آب ممکن است ناشی از عوامل اصلی زیر حاصل گردد:

- الف: افزایش کلی سطح آب ناشی از ذوب یخهای قطب شمال و جنوب.
 ب: تغییرات محلی در زمین که موجب بالا رفتن قسمتی و پایین رفتن قسمتی دیگر از زمین در یک ناحیه می‌گردد.
 ج: افزایش ناشی از تغییرات در بیلان هیدرولوژیکی حوزه‌های آبریز.

خیزاب موج

این افزایش به عنوان تغییرات اضافی سطح آب متوسط ناشی از عملکرد موج به تنهایی می‌باشد.

◀ ۴-۳-۲ شرایط باد

تحلیل اطلاعات باد معمولاً برای به دست آوردن شرایط موج انجام می‌شود. با این وجود ممکن است در بعضی اوقات تأثیر باد به تنهایی در طراحی و بارگذاری اهمیت داشته باشد. روشهای پردازش اطلاعات باد در خصوص پیش‌بینی سالانه، فصلی و ماهانه توزیع سرعت و جهت باد، معمولاً سراسر و ساده است. زمانی که صحبت از مقادیر حدی مربوط به وقوع در ۵۰ یا ۱۰۰ سال می‌شود، فرمولهای خاصی در طراحی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این فرمولها در فصل مربوط به بارگذاری به صورت کامل ارایه گردیده‌اند.

◀ ۳-۳-۴ شرایط موج

دانستن شرایط موج، امری حیاتی در طراحی و ساخت سازه‌های دریایی و مهندسی ساحل است. به دلیل فقدان اطلاعات اندازه‌گیری شده قابل اطمینان در درازمدت از روشهای دیگری برای دستیابی به شرایط موج می‌توان استفاده نمود. این روشها عبارتند از:

الف: پیش‌بینی بر اساس اطلاعات باد

ب: پردازش اطلاعات باد و موج بر اساس مشاهدات کشتیها

در روش اول می‌توان از مدل‌های ریاضی قابل دسترس برای پیش‌بینی امواج استفاده نمود. اطلاعات حاصله می‌تواند ارتفاع موج نماینده، جهت، پیروید تقاطع صفر یا پارامترهای خاص دیگر باشد. امواج دوراً و ترکیب آنها نیز قابل پیش‌بینی هستند.

روش دوم، استفاده از روش استقرا و قیاس کلی از آمار و شرایط موج در آب عمیق است که از مشاهدات موج و باد در سطح کره زمین وجود دارد. عمدتاً اطلاعات ذکر شده در دفتر هواشناسی انگلستان موجود است.

روشهای فوق‌الذکر به شرایط دور از ساحل برمی‌گردد. برای انتقال شرایط دور از ساحل به آب کم‌عمق از برنامه‌های کامپیوتری در سطوح مختلف که از مبانی ساده تا پیچیده‌ای برخوردار هستند استفاده می‌شوند. بسیاری از پروژه‌های ساحلی، کوچک بوده یا زمان آنقدر کوتاه است که فرصت استفاده از مدل‌های ریاضی وجود ندارد. در چنین مواردی طراح می‌تواند از روشهای ساده‌ای که در مراجع معتبر ارایه شده استفاده نماید.

◀◀ ۴-۴ تحلیل و تفسیر نهایی داده‌ها

پس از اتمام اندازه‌گیریهای دریایی لازم است اطلاعات خام، مورد پردازش نهایی قرار گرفته و گزارش عملیات تنظیم گردد. در این خصوص به موارد ذیل اشاره می‌گردد:

- گزارش تنظیمی به طور جامع به اهداف، برنامه‌ریزی و چگونگی انجام عملیات پردازد.

- محدوده عملیاتی با ترسیم نمودار به درستی مشخص گردد.

- ابزار مورد استفاده در عملیات معرفی گردد.
- گروه‌بندی و ترکیب پرسنل عملیاتی بیان گردد.
- اندازه‌گیریهای مختلف به طور منفک توضیح داده شوند (مثلاً بخشهای جریان، موج و غیره).
- کلیه نمودارها، نقشه‌ها و جداول مربوط به اندازه‌گیریها ارایه شوند.
- گرافهای مربوط به مشخصات موج همچون ارتفاع موج نماینده در آب عمیق و کم‌عمق ارایه و عوامل تأثیرگذار در تغییرات انتقالی موج از آب عمیق به کم‌عمق مورد تحلیل واقع شوند.
- نیمرخهای سرعت و جهت جریان، ترسیم و شرایط اندازه‌گیری همچون روزها، ساعات و شرایط جزر و مدی و آب و هوایی توضیح داده شود.
- با توجه به ترسیم نیمرخهای سرعت و جهت جریان و شرایط آب و هوایی، نسبت به وضعیت کلی جریان در منطقه عملیاتی اظهار نظر گردد.
- با توجه به مقادیر به دست آمده از اندازه‌گیریهای موج و جریان، در خصوص کفایت داده‌ها و یا نیاز به اندازه‌گیریهای بیشتر، اظهار نظر گردد.
- موقعیت نقاطی که در آن نمونه‌برداری بستر صورت گرفته در نقشه مشخص شوند.
- آزمایشهای صورت گرفته بر روی نمونه‌ها توضیح داده شوند.
- منحنی دانه‌بندی و گرافهای مورد لزوم، ترسیم و نسبت به ترکیب ذرات بستر تحلیل لازم ارایه گردد.
- بر اساس مقادیر حاصل از نمونه‌برداری‌های بستر قطر ذرات در محدوده‌های مورد نیاز در مطالعات همچون D_{50} و یا D_{90} و بر اساس نظر مهندس طراح تعیین گردد.
- چنانچه به نظر می‌رسد تعداد نقاط مورد اندازه‌گیری کافی نیست، نسبت به اندازه‌گیریهای بیشتر برنامه‌ریزی و اقدام شود.
- دقت مقادیر حاصل از اندازه‌گیریها مورد تحلیل واقع شود.
- اندازه‌گیریهای مربوط به ذرات معلق و چگونگی نمونه‌برداری توضیح و گرافهای مربوطه ترسیم گردد.
- سرعت سقوط ذرات معلق بر اساس نمونه‌های برداشت شده محاسبه گردد.

- غلظت ذرات معلق با توجه به نوع ابزار مورد استفاده، نمونه‌برداری آب و یا دستگاه غلظت‌سنج تعیین و نیمرخ غلظت مواد معلق ترسیم گردد.
- دقت مقادیر حاصل از اندازه‌گیری غلظت رسوبات، با توجه به دقت و کالیبره بودن ابزار مورد استفاده، شرایط محیطی و خطای انسانی در اندازه‌گیری، مورد ارزیابی قرار گیرد.
- نسبت به کل عملیات از نظر زمان کاری، دقت کاری، دقت ابزار، شرایط آب و هوایی، گروه عملیاتی، امکانات، کفایت اندازه‌گیریها و غیره اظهار نظر گردد.
- با توجه به تجربه حاصل از اندازه‌گیریها نسبت به برنامه‌های آتی، پیشنهادات لازم ارایه گردد.



تحليل ريسك

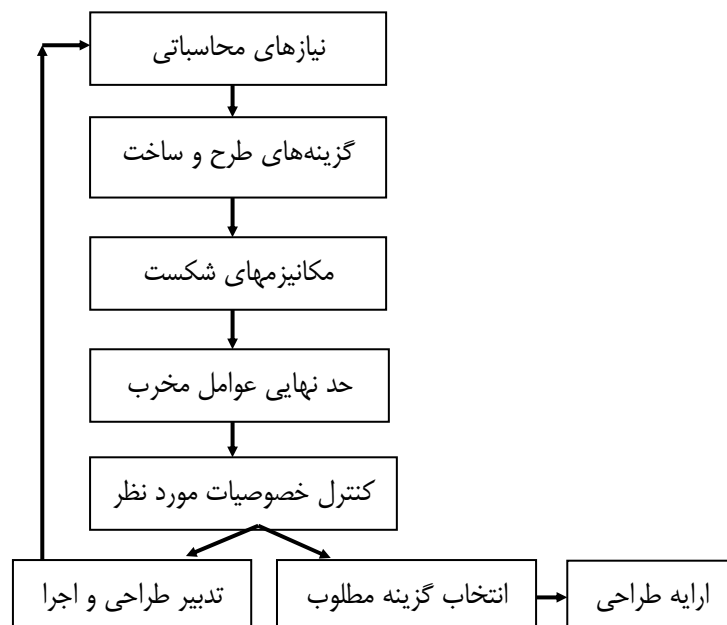
۵-۱ کلیات

یک سازه ساحلی مانند موج‌شکن، دیوار آب‌بند، آب‌شکن و ... در طول عمر خود با پدیده‌های محیطی مختلف در تقابل است که عمدتاً ماهیت ثابت و قابل پیش‌بینی ندارند. این مسئله باعث می‌شود تا در صورتی که پدیده‌ای با اثرات تخریبی بیش از توانایی در نظر گرفته شده برای سازه به وقوع بپیوندد، خرابی در قسمت‌های مختلف سازه به وجود آید یا سازه به طور کلی تخریب گردد. بدین لحاظ در طراحی سازه‌های ساحلی، بررسی و پیش‌بینی عواملی که باعث خرابیها می‌شوند و کنترل آن از طریق تحلیل کیفی و کمی شرایط به وجود آمده ناشی از آنها، ضرورت می‌یابد. در این فصل سعی می‌گردد تا مبانی تحلیل ریسک برای کاربرد در طراحی سازه‌های ساحلی بیان گردد. لازم به ذکر است که این مبحث از دامنه وسیعی برخوردار است و برای تکمیل مطالب عنوان شده در این فصل، بررسی مراجع ذکر شده در پایان آیین‌نامه مفید می‌باشد.

از مجموعه روشهایی که امروزه برای طراحی اقتصادی‌تر و کاراتر سازه‌ها مورد نظر قرار می‌گیرد، طراحی احتمالاتی سازه و تعیین ریسک خرابی آن است. طراحی احتمالاتی یک سازه روشی است که برخلاف روشهای معمول طراحی یا روشهای معین که در آنها طراحی بر استفاده از ضرایب اطمینان بعضاً تجربی استوار است، از توابع احتمال انواع خرابیها در سازه برای طرح نهایی سازه استفاده می‌شود. در روش احتمالاتی، با بررسی مکانیزمهای خرابی سازه و سپس در نظر گرفتن سطوح اطمینان سازه برای مقاومت در برابر یک حد نهایی عوامل مخرب طرح می‌گردد. روند طراحی احتمالاتی یک سازه را به طور خلاصه می‌توان در شکل ۵-۱ مشاهده کرد. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود، طراحی بازگشتی است و نتایج به دست آمده در مراحل مختلف، در تغییر یا تنظیم فرضها و گزینه‌های مطرح و در نهایت انتخاب گزینه نهایی نقش اساسی دارند.

تحلیل ریسک در طراحی سازه‌ها برای تعیین پیامدهای ناشی از فرضیات و اصول طراحی سازه و تحلیل دقیق سود - هزینه اجرای پروژه لازم می‌باشد. ریسک، در واقع ترکیب احتمال وقوع و پیامد وقوع می‌باشد و می‌توان آن را به صورت هزینه (به عنوان مثال هزینه بازسازی یک سد ساحلی یا هزینه تخریب سازه‌های حفاظت شده در ساحل) بیان نمود.

در این فصل، اصول و مبانی تحلیل ریسک در طرح سازه‌های ساحلی مورد بررسی قرار می‌گیرد.



شکل ۵-۱ روش طراحی احتمالی

۵-۲ مبانی تحلیل ریسک در طرح احتمالاتی یک سازه

۵-۲-۱ احتمال آسیب

شکست سازه هنگامی رخ می‌دهد که سازه قادر به انجام وظایف مقرر شده خود نباشد. این وضعیت را می‌توان به مجموعه‌ای از یک یا چند خرابی جزئی در قسمت یا قسمتهایی از سازه، بیشتر از یک حد معین که منجر به ناتوانی در انجام وظایف شود، اطلاق نمود.

در واقع شکست یک سازه، نتیجه رخداد مجموعه‌ای از آسیب‌های متوالی یا موازی است که در اثر عوامل طبیعی یا انسانی اتفاق می‌افتد. برای آنکه یک قسمت از سازه آسیب ببیند، باید نیروی وارد بر آن از مقاومت آن بیشتر گردد. نیروهای وارد بر قسمت‌های مختلف یک سازه ساحلی که اغلب یا ناشی از پدیده‌های طبیعی هستند، یا توسط انسان بر سازه وارد می‌شوند، ماهیتی تصادفی دارند و می‌توان آنها را بر اساس توابع احتمالاتی تجمعی توصیف کرد. مقاومت قسمت‌های مختلف سازه نیز یا به طور مستقل از بار وارده یا در ارتباط با آن وضعیتی مشابه دارند و قابل بررسی به صورت توابع احتمالاتی هستند. در صورتی که R مقاومت یک قسمت سازه در یک شرایط بارگذاری و S بار مربوطه باشد، حد نهایی قابلیت اطمینان سازه در هنگامی است که $Z=R-S=0$ باشد. در این حالت، نیروی وارده با مقاومت سازه برابر است. $Z > 0$ معرف تمام حالات بارگذاری و مقاومت است که در آن آسیبی رخ نخواهد داد. در واقع $Z=0$ مرز بین خرابی و سلامت قسمت مورد نظر است. قابلیت اطمینان یک سازه بیانگر احتمال آن است که آن سازه و اجزای مختلف آن در یک دوره معین و در شرایط مشخص به وظایف خود درست عمل کنند. در تعریف تابع قابلیت اطمینان سازه Z ، مقاومت و بار به صورت توابعی احتمالی تعریف می‌شوند. یعنی برای هر کدام از آنها می‌توان یک تابع توزیع تجمعی $(CDF)(1)$ یا یک تابع شدت احتمال $(PDF)(2)$ تعریف کرد.

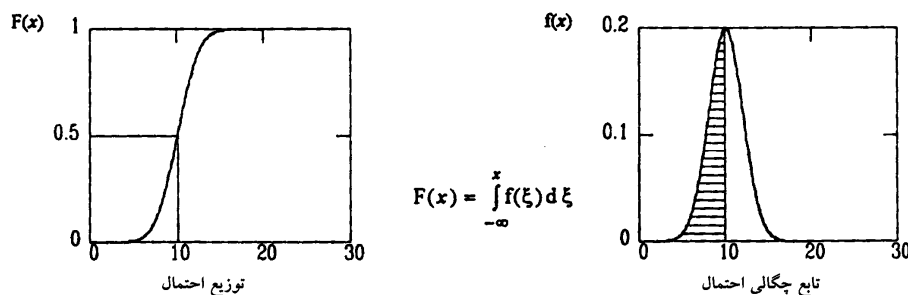
تابع شدت احتمال یک متغیر $(F(x))$ احتمال آن است که آن متغیر برابر با X باشد. تابع توزیع تجمعی، احتمال آن است که متغیر مساوی یا کمتر از X باشد. شکل ۵-۲ نمونه این دو تابع را نشان می‌دهد. با فرض آنکه بتوان تابع توزیع تجمعی مقاومت یک قسمت از سازه را به صورت $F_R(x)$ نشان داد (یعنی حالتی که مقاومت سازه کمتر یا مساوی مقدار X است) و همچنین تابع شدت احتمال یک بار را $f_s(x)$ فرض کرد (یعنی احتمال آنکه بار وارده برابر X باشد)، در آن صورت احتمال آنکه بار وارده X از مقاومت سازه بیشتر باشد (احتمال آسیب) به صورت زیر بیان می‌شود (با فرض آنکه بار از مقاومت سازه مستقل است):

$$P(S = X) = \int F_S(X) dx \quad (1)$$

$$P(R \leq X) = \int F_R(X) \Rightarrow P(S = X | R \leq X) = f_s(X) \cdot \alpha x$$

احتمال آسیب قسمت i ام از یک سازه، احتمال تمامی حالاتی است که در آن بار برابر x و مقاومت قسمت کمتر از x باشد. این احتمال را می‌توان به صورت زیر نشان داد:

$$PF_S = \int_0^{\infty} f_{si}(X) F_{R_i}(X) dx \quad (2)$$



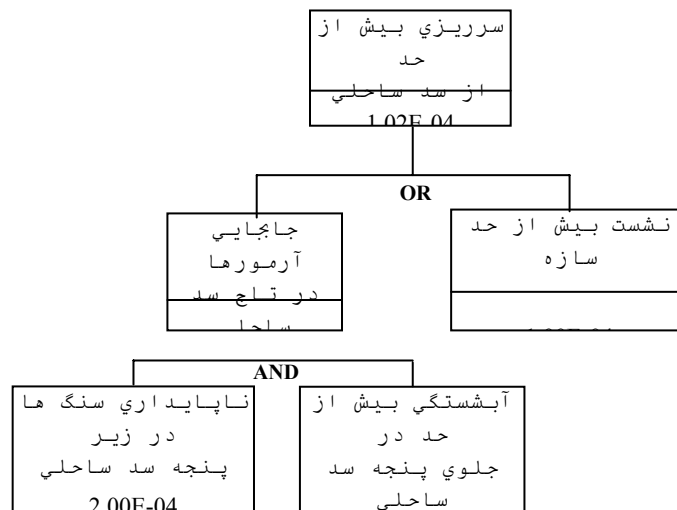
شکل ۵-۲ تابع توزیع تجمعی CDF و تابع شدت احتمال برای یک متغیر

۵-۲-۲ احتمال شکست

با تعیین احتمال خرابی برای قسمت‌های مجزای یک سیستم سازه‌ای، مرحله اول از عملیات طراحی احتمالاتی و تحلیل ریسک انجام می‌شود. در مرحله بعدی طراحی لازم است تا عواقب ناشی از هر خرابی مشخص شود و خرابیهایی که منجر به شکست عملکرد سازه می‌شوند، تعیین گردند.

احتمال شکست، احتمال خرابی کلی یک سازه در دوره معین با احتمال عدم اطمینان از انجام درست عملکرد آن است. یک سازه از قسمت‌های مختلف تشکیل گردیده است. پیش از این اشاره شد که خرابی یک سازه نتیجه سلسله اتفاقات و آسیب‌هایی متوالی یا موازی است. در تعیین احتمال شکست یک سازه لازم است تا ارتباط بین خرابیهای مختلف با یکدیگر و نحوه جمع شدن آنها برای وقوع شکست کلی سازه تعیین گردد. همان‌گونه که از مبانی احتمالات مشخص می‌باشد در صورتی که دو یا چند پدیده سری یک پدیده نهایی را تشکیل دهند، احتمال وقوع پدیده نهایی برابر مجموع احتمال وقوع تمامی پدیده‌ها است. در خصوص پدیده‌های موازی نیز احتمال پدیده نهایی از حاصلضرب احتمال وقوع پدیده‌های پایه محاسبه می‌گردد. ارتباط بین اجزای مختلف که ممکن است آسیب‌پذیری آنها به شکست یک قسمت یا کل سازه بیانجامد، به وسیله درختهای خطا نشان داده می‌شود.

به عنوان مثال در شکل ۳-۵ یک نمونه درخت خطا برای سرریزی موج از روی یک سد ساحلی (که در واقع شکست عملکرد سیستم می‌باشد) نشان داده شده است. در این شکل سه واقعه پایه برای رخداد سرریزی عنوان گردیده است. این وقایع پایه از یکدیگر مستقل هستند و در واقع وقوع هر یک در وقوع دیگری اثری ندارد. در قسمت پایین هر چهارگوش، احتمال وقوع پدیده نشان داده شده است. همان‌گونه که دیده می‌شود، احتمال وقوع هر کدام از پدیده‌های مرکب بسته به موازی یا سریال بودن پدیده‌ها از جمع یا ضرب احتمالهای وقوع پدیده‌های پایه‌ای شکل می‌گیرد.



شکل ۳-۵ نمونه یک درختچه خطا و روش محاسبه احتمال شکست

اگر برای هر کدام از پدیده‌های خرابی یک سازه، یک تابع احتمال خرابی به صورت Pf_i تعریف کنیم، تابع شکست کل سازه Pf ، تابعی از توابع احتمال یاد شده خواهد بود. با فرض مستقل بودن تمام اتفاقات در سیستم از یکدیگر، حدود Pf به صورت ذیل خواهد بود:

$$\max[pf_i(X)] \leq Pf \leq \sum_{i=1}^n pf_i(X) \quad (3)$$

در شرایطی که پدیده‌های پایه‌ای به طور کامل از همدیگر مجزا نباشند، تعیین احتمال وقوع آنها در یک زمان به سادگی فوق نبوده و باید از روابط احتمالاتی موجود در این زمینه استفاده شود. به عنوان مثال در صورتی که احتمال خرابی یک قسمت از سازه P بوده و این احتمال خود تابع دو پدیده سری f_1 و f_2 با احتمالهای وقوع Pf_1 و Pf_2 باشد، احتمال P به صورت زیر محاسبه خواهد شد:

$$P = Pf_1 + Pf_2 - P(f_1 \text{ and } f_2) \quad (۴)$$

۵-۲-۳ تحلیل ریسک

با استفاده از نتایج درختهای خطا، تحلیل ریسک سازه یا تحلیل سود - هزینه در طراحی ممکن می‌گردد. برای تعیین ریسک باید تمامی پدیده‌هایی که منجر به خرابی می‌شوند به صورت درختهای خطا نشان داده شوند. در بالاترین نقطه درخت، خرابی کل سازه و در قسمت‌های پایین‌تر، خرابیهای میانی قرار می‌گیرند. در ریشه‌های درخت، خرابیهای پایه‌ای قرار دارند که احتمال وقوع آنها به صورت $P(S>R)$ بیان می‌شود.

ریسک خرابی کل سازه به صورت $pt, rt=ct$ نشان داده می‌شود که در آن pt احتمال خرابی کل سازه و ct هزینه ناشی از خرابی سازه (مجموع هزینه ساخت سازه و هزینه‌های ناشی از پیامدهای خرابی سازه) می‌باشد. برای هر زیر قسمت k ام نیز می‌توان ریسک خرابی را به صورت $pk, rk=ck$ محاسبه نمود. هزینه‌های لازم برای بازسازی یا تعویض یک قسمت، ریسک مستقیم ناشی از خرابی آن قسمت است. هزینه‌ها در هر شاخه از درخت برابر مجموع هزینه‌های مستقیم ناشی از زیر شاخه‌ها می‌باشد و ریسک برابر با حاصلضرب این هزینه در احتمال خرابی در آن شاخه است.

برای محاسبه ریسکهای خرابی و شکست به طور معمول از دو روش پایین به بالا و بالا به پایین استفاده می‌شود. در روش اول، احتمال خرابی در پایین‌ترین شاخه‌های درخت تعیین می‌گردد و به ترتیب احتمال خرابی در شاخه‌های بالاتر تعیین می‌گردد تا احتمال شکست کل سیستم به دست آید. در روش دوم میزان احتمال خرابی سیستم در مقایسه با سایر پروژه‌ها و تجربیات طراح تعیین می‌گردد. سپس از روی آن احتمال خرابی در قسمت‌های پایین تعیین می‌گردد. به طور معمول احتمال شکست برای سازه‌ها

در دوران بهره‌برداری بین ۱۰-۴ تا ۱۰-۷ در نظر گرفته می‌شود. احتمال خرابی برای دوران ساخت کمتر از مقادیر اشاره شده می‌باشد.

۴-۲-۵ ریسک قابل قبول

همان‌طور که اشاره شد ریسک، ترکیبی از احتمال و پیامد وقوع یک اتفاق می‌باشد. احتمال وقوع شکست در سازه با تحلیل عوامل مؤثر بر سازه بر اساس روشهای عنوان شده قابل دستیابی است. پیامد شکست به طور معمول به دو سری کمیت‌های قابل اندازه‌گیری و غیر قابل اندازه‌گیری تقسیم می‌گردد. جدول ۱-۵ مجموعه‌ای از این پیامدها را نشان می‌دهد.

پیامد پارامترهای قابل اندازه‌گیری به صورت هزینه‌های مادی قابل تعیین می‌باشد. در نتیجه ریسک سازه در خصوص پارامترهای قابل اندازه‌گیری به صورت ریسک ریالی سنجیده می‌شود. میزان ریسک قابل قبول ریالی بستگی به نظر کارفرما دارد و به طور عمده بر اساس یک مقایسه اقتصادی سود - زیان قابل تعیین است. از طرف دیگر برای پیامدهای غیر قابل اندازه‌گیری در نظر گرفتن ریسک مالی، متعارف نیست و تعیین ریسک ناشی از این پدیده‌ها مشکل‌تر می‌باشد. در نتیجه ریسک این پیامدها به همان صورت احتمال وقوع سنجیده می‌شود. در یک روش ریسک خرابی سازه‌ای که در صورت خرابی می‌تواند منجر به تلفات جانی گردد، برابر با احتمال مرگ طبیعی یا ناشی از حوادث غیر مترقبه برای همان تعداد مرگ فرض می‌گردد. به عنوان مثال در هلند احتمال تلفات ناشی از خرابی یک سازه یک دهم احتمال مرگ در حوادث رانندگی فرض می‌گردد.

جدول ۱-۵ مجموعه پیامدهای ناشی از شکست یک سازه

نوع پیامد	قابل اندازه‌گیری	غیر قابل اندازه‌گیری
مستقیم	تعمیر، تعویض یا بازسازی سازه تعمیر، تعویض یا بازسازی دیگر سازه‌های پیرامونی ناشی از شکست سازه	تلفات جانی و صدمه دیدن افراد خسارات محیط زیستی سایر خسارات غیر قابل بازگشت
غیر مستقیم	خسارات ناشی از کاهش تولیدات مرتبط با سازه خسارات ناشی از کاهش تولیدات مرتبط	ناراحتی و اعتراض جامعه پیرامونی ترس و تنش در جامعه افزایش احتمال بیماریها

	با سازه‌ها و تأسیسات پیرامونی سازه خسارات ناشی از کاهش تولید در اثر آسیبهای سیستم اقتصادی محیط	
--	--	--

۳-۵ مکانیزمهای شکست

هنگامی که یک ناحیه در سازه به حد نهایی تحمل خود در مقابل یک بار می‌رسد، آسیب می‌بیند. طوری که آن سازه دیگر نمی‌تواند به وظایف خود عمل کرده و یا در وظایف از پیش تعیین شده آن خلی ایجاد می‌شود. در صورتی که آسیب‌دیدگی شدید باشد یا مجموعه‌ای از آسیب‌دیدگیها در کنار هم به وجود آیند، سازه به شکست می‌رسد. برای بررسی و تعیین احتمال شکست یک سازه لازم است مکانیزمهای مختلفی که به شکست سازه می‌انجامد مورد بررسی قرار گیرد. در این قسمت، مکانیزمهای شکست در سازه‌های مختلف مورد بررسی قرار می‌گیرد. موج‌شکنهای سنگی، موج‌شکنهای صندوقه‌ای، دیوارهای ساحلی، دایکها و پوششهای حفاظتی آنها جزو سازه‌های مورد بررسی هستند. سازه‌هایی مانند آب‌شکنها و تیغه‌ها از نظر اهمیت نسبت به سازه‌های یاد شده در درجه پایین‌تری قرار می‌گیرند و مکانیسم شکست این سازه به طور دقیق مورد بررسی قرار نگرفته است.

در تمامی مکانیزمهای شکست برای سازه‌های مختلف، روند شکل‌گیری برخی آسیبهها یکسان است. ابتدا این آسیبهها با عنوان آسیبههای اصلی به طور دقیق‌تر مورد بررسی قرار می‌گیرند.

۱-۳-۵ آسیبههای پایه در سازه‌های ساحلی

۱-۳-۵-۱ حرکت و جابه‌جایی اجزای پوششهای حفاظتی

موج و جریان به عنوان عوامل اصلی، نیروی وارد بر قطعات پوشش را ایجاد می‌کنند. نیروهای اینرسی مؤثر در این جابه‌جایی به خصوصیات قطعات پوشش بستگی دارد. وزن قطعات، نحوه قرارگیری و اصطکاک بین آنها و زیر لایه عوامل مؤثر بر پایداری هستند.

۵-۳-۱-۲ نشست سازه

وزن سازه یک نیروی اضافه بر حالات طبیعی به خاک زیر سازه وارد می‌کند. خاک در زیر سازه در اثر این نیرو در خطر فشردگی و تحکیم یا لغزش قرار دارد. این آسیب می‌تواند بلافاصله پس از ساخت یا با گذشت زمان بسته به شرایط خاک زیر سازه اتفاق بیفتد. در مناطقی که پی ساختار آهکی دارد و در آن حفرات و قسمتهای خالی وجود دارد، احتمال فرو ریزش این قسمتها وجود دارد. در کنار این مسایل خود سازه ممکن است در دوران ساخت یا پس از آن متراکم گردد. نتیجه ناشی از پدیده‌های فوق پایین آمدن تاج سازه، احتمال واژگونی آن و در صورت نشست نامتقارن خرابی و لغزش یک قسمت یا کل سازه است. برای سازه‌های مستغرق نشست به پایداری پوششهای حفاظتی کمک می‌کند.

۵-۳-۱-۳ حرکت و جابه‌جایی زیر لایه‌ها و مصالح هسته

این فرایند ناشی از اختلافات در سطوح آب یا ایجاد موضعی فشار آب حفره‌ای است. اختلاف فشار یا تفاوت سطح آب در دو سمت سازه باعث به وجود آمدن یک جریان داخلی می‌گردد. هنگامی که یک گرادیان هیدرولیکی معین به وجود می‌آید، دانه‌های ریزتر از درون لایه‌های زیرین به سمت بیرون کشیده می‌شوند و از میان لایه‌های درشت‌تر عبور می‌نمایند. در نتیجه درون سازه حفراتی ایجاد می‌گردد که می‌تواند به نشستهای موضعی یا لغزش بیانجامد.

۵-۳-۱-۴ آب‌شستگی درونی

آب‌شستگی زیر پی، در اثر ایجاد کانالهای ثابت جریان درون نواحی دانه‌ای است. این کانالها با تداوم جریان باعث شستگی درونی سازه می‌شوند که در نهایت به ناپایداری کل سازه می‌انجامد. این پدیده در نواحی مرزی بین دو مصالح مختلف بیشتر اتفاق می‌افتد.

۵-۳-۱-۵ لغزش

پایداری یک شیروانی وابسته به شیب آن، وزن مخصوص قطعات پوششی، فشارهای حفره‌ای ناشی از حرکت امواج و اصطکاک و چسبندگی درونی است. شتابهای افقی وارد بر سازه نیز مهم هستند. لغزش در نواحی مرزی بین مصالح مختلف بسیار محتمل است، چون در این نواحی اصطکاک کاهش می‌یابد.

خصوصیات خاک زیر سازه نیز در تحمل وزن آن و همچنین امکان ایجاد فشارهای حفره‌ای اضافی و یا روانگرایی در لایه‌های ریزدانه زیر پوششها می‌توانند از پارامترهای مؤثر دیگر در ایجاد لغزش باشند. در صورت تعبیه یک قسمت جداگانه روی تاج سازه، در صورت شدت امواج و برخورد آب، امکان حرکت این قسمت نیز وجود دارد.

۵-۳-۱-۶ آب‌شستگی پاشنه‌ها

امواج و جریان باعث حرکت آب در سطح بستر در نزدیکی سازه می‌گردند. این حرکت، رسوبات بستر را با خود به حرکت درمی‌آورد. انعکاس امواج و ایجاد جریانهای متلاطم بر شدت جابه‌جایی رسوبات و الگوی منظم آن اثر می‌گذارد. در برخی از سازه‌ها، صلب بودن سازه باعث می‌شود تا تنها رسوبات در زیر پاشنه یا جلوی آن جابه‌جا شوند و در سازه‌هایی که قسمت‌های پاشنه و پای سازه خود از مصالح دانه‌ای تشکیل شده است، مصالح تشکیل‌دهنده سازه هم به حرکت درمی‌آیند که در هر حال مرزهای خارجی سازه دستخوش تغییر می‌شود.

۵-۳-۱-۷ روانگرایی

بارهای ناشی از پدیده‌هایی مثل امواج و طوفان باعث ایجاد فشار حفره‌ای اضافی در نقاطی از سازه می‌گردد. در برخی موارد و بسته به نوع مصالح، میزان افزایش فشار حفره‌ای ایجاد شده تا حدی است که آن نقطه توانایی انتقال و استهلاک فشار از طریق حرکت دادن آب حفره‌ای را ندارد. در واقع این پدیده یا روانگرایی که در مصالح دانه‌ای ریز رخ می‌دهد به حالتی اطلاق می‌شود که فشار حفره‌ای ایجاد شده، اتصالات بین دانه‌ای را از بین می‌برد. در این حالت کل قسمت، مقاومت برشی خود را از دست می‌دهد و مانند یک سیال حرکت می‌کند. در چنین حالاتی یک نیروی برشی اندک هم می‌تواند سازه را ناپایدار سازد.

۵-۳-۱-۸ پدیده‌های دیگر

در سازه‌های مختلف بسته به شرایط محیطی و نوع سازه، پدیده‌های دیگری نیز ممکن است باعث وارد آمدن آسیب بر سازه گردند. شکستگی قطعات مختلف در اثر برخورد شناور یا یخ و پارگی اتصالات در برخی سازه‌های مرکب از این دسته‌اند.

در جدول ۶-۲ به طور خلاصه آسیب‌های اصلی سازه و عوامل ایجاد کننده آن دیده می‌شود. در این جدول همچنین برخی از خصوصیات سازه که در به وجود آمدن شکست سازه نقش دارند آورده شده است.

جدول ۵-۲ آسیب‌های پایه‌ای وارد بر سازه‌های ساحلی

مکانیزم تخریب	بار عامل	پارامترهای مؤثر در بار	خصوصیات مؤثر سازه	عکس‌العمل سازه
نشست	وزن سازه و قسمت‌های مختلف آن	وزن مخصوص مصالح، میزان اشباع بودن مصالح، فشار آب حفره‌ای، زمان	تراکم‌پذیری خاک، نفوذپذیری خاک، ضخامت لایه‌ها	نشست تاج، تغییر شکلهای افقی
حرکت قطعات پوشش حفاظتی	موج، جریان، یخ	ارتفاع موج، پریود موج، زاویه برخورد، زمان سرعت، تلاطم ضخامت یخ، سرعت برخورد یخ	وزن قطعات، نوع اتصالات بین قطعات، نفوذپذیری سیستم حفاظتی	لغزش، حرکت به بالا و پایین، چرخش قطعات
حرکت زیر لایه‌ها یا مصالح درون سازه	امواج جزر و مدی، حرکت آب ناشی از کشتیها، عواملی که باعث افت سطح آب می‌شوند.	گرادیان هیدرولیکی، جریان داخل لایه‌ها، سرعت آن	ابعاد دانه‌ها، نفوذپذیری لایه، ضخامت آن	حرکت و جابه‌جایی مصالح درون سازه
آب شستگی درونی	گرادیان هیدرولیکی	سرعت آب درون سازه	طول کانالهای ایجاد شده درون سازه، ابعاد سازه، مقاومت هیدرولیکی	حرکت و جابه‌جایی مصالح درون سازه
لغزش سازه	وزن سازه و قسمت‌های	وزن مصالح ساختمانی،	زاویه اصطکاک،	لغزش یک قسمت

مکانیزم تخریب	بار عامل	پارامترهای مؤثر در بار	خصوصیات مؤثر سازه	عکس‌العمل سازه
	مختلف آن	فشار حفره‌ای ناشی از ارتفاع و پرپود امواج، شیب	چسبندگی و نفوذپذیری در خاک زیر لایه‌ها، مصالح پوشش	اصلی از سازه و انهدام آن
آب شستگی پای سازه	موج، جریان	سرعت‌های مداری، سرعت جریان تلاطم، شدت آن	اندازه رسوبات، شیب سازه، نوع حفاظت پاشنه	از بین رفتن بستر در جلوی سازه و انحراف سازه
روان‌گرایی	موج، زلزله	پرپود و ارتفاع امواج، فشارهای حفره‌ای تنشها برشی دارد شتاب زلزله، فرکانس و تعداد تناوبها	نفوذپذیری، تراکم، ضخامت لایه‌ها، زاویه اصطکاک	نشست، واژگونی و احیاناً تغییر شکل جد سازه

۵-۳-۲ مکانیزمهای تخریب در سازه‌های مختلف حفاظت ساحل

در این فصل، خلاصه‌ای از مکانیزمهای تخریب برای چند نوع از سازه‌های ساحلی ارائه می‌گردد.

۵-۳-۱ موج‌شکنهای سنگی

مطابق با شکل ۵-۴ موارد ذیل منجر به تخریب موج‌شکنهای توده سنگی می‌شوند:

الف: لغزش افقی a

ب: لغزش شیروانی b1 و b2

ج: خرابی لایه آرمور d

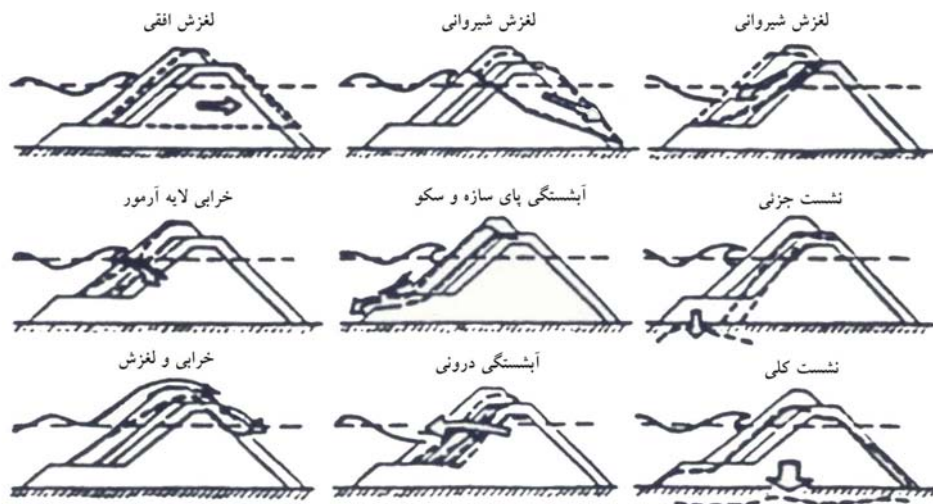
د: نشست کلی c2

ه: شکستگی پای سازه و سکو e

و: نشست جزئی c1

ز: آب‌شستگی درونی f

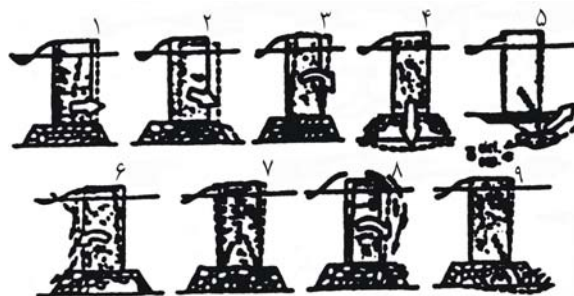
ح: خرابی و لغزش g



شکل ۴-۵ مکانیزمهای تخریب در موج شکنهای توده سنگی

۲-۲-۳-۵ موج شکنهای صندوقه‌ای

مکانیزمهای تخریب موج شکنهای صندوقه‌ای مطابق با شکل ۵-۵ شامل موارد ذیل می‌گردند:



شکل ۵-۵ مکانیزمهای تخریب در موج شکنهای صندوقه‌ای

الف: لغزش افقی (۱)

ب: لغزش مایل (۲)

ج: واژگونی (۳)

- د: نشست کلی (۴)
- ه: ناپایداری ناشی از بارهای دوره‌ای در پی (۵)
- و: آب‌شستگی پای سازه در طرف دریا (۶)
- ز: آب‌شستگی پای سازه در طرف بندر (۷)
- ح: نشست نامتقارن (۸)
- ط: تغییر شکل بستر در اثر آب‌شستگی (۹)

۵-۳-۲-۳ سدهای دریایی

تخریب سدهای دریایی همان‌گونه که در شکل ۵-۶ نشان داده شد می‌تواند به خاطر مسایل زیر

اتفاق بیفتد:



شکل ۵-۶ مکانیزمهای تخریب یک سد دریایی

ط: آب شستگی درونی	الف: سرریزی
ی: برخورد کشتی	ب: نشست کلی
ک: لغزش	ج: سرریزی موج
ل: آب شستگی سطح خارجی	د: لغزش شیروانی خارجی
م: ناپایداری و نشست نامتقارن	ه: لغزش شیروانی داخلی
ن: آب شستگی پای سازه	و: روانگرایی
	ز: ناپایداریهای موضعی
	ح: برخورد یخ



طراحی جانمایی موج شکنها

◀◀ ۱-۶ کلیات

موج شکنها سازه‌هایی هستند که از بنادر و سواحل در مقابل امواج و جریانهای ساحلی محافظت می‌کنند همانند شکل‌های ۱-۶ و ۲-۶.

انواع اصلی موج شکنها در این فصل تعریف شده و موضوع جانمایی آنها توضیح داده می‌شود. به طور کلی موج شکنها را می‌توان به دو دسته متصل به ساحل و جدا از ساحل تقسیم کرد. موج شکنهای جدا از ساحل که عمدتاً برای حفاظت از ساحل ساخته می‌شوند در فصل ۱۸ مورد بحث قرار می‌گیرند. موج شکنها را از نظر نوع سازه به موج شکنهای توده سنگی، قائم، مرکب، شناور و چند نوع دیگر می‌توان تقسیم‌بندی کرد.



شکل ۱-۶ نمای بندر رمین در سواحل استان سیستان و بلوچستان



شکل ۶-۲ نمای اسکله شهید کالانتری در خلیج چابهار

به طور کلی عوامل مؤثر در طراحی موج شکنها عبارتند از:

- خطوط تراز بستر
- تغییرات سطح آب در اثر جزر و مد، برکشند طوفان و سایر عوامل
- مشخصات موج
- جریانهای کشندی و برکشند طوفان
- باد
- شرایط پی
- رسوبات ساحلی
- دسترسی به مصالح ساختمانی و کیفیت آنها
- شرایط خاص، نظیر استفاده از موج شکن به عنوان اسکله، مقاصد کشتیرانی، تفریحی و غیره
- عوامل اقتصادی و سیاسی

۶-۲ تعاریف

۶-۲-۱ مفهوم پایداری و طبقه‌بندی سازه‌ها

آسیب در طراحی بیشتر موج شکنها یا مجاز نبوده و یا تنها مقدار کمی از آن مجاز است. آسیب (خسارت) در مورد موج شکنهای صندوقه‌ای به صورت جابه‌جایی کل سازه و در مورد موج شکنهای توده سنگی به صورت جابه‌جایی قطعات آرمور تعریف می‌شود.

به طور کلی سازه‌های مختلف حفاظت ساحل نظیر سواحل ماسه‌ای و شنی، دیوارهای ساحلی و موج شکنها بر اساس پارامتر بدون بعد $H/\Delta D$ طبقه‌بندی می‌شوند. پارامترهای این رابطه عبارتند از:

$$\Delta = \frac{\rho_a}{\rho_w} - 1$$

H - ارتفاع موج
 Δ - چگالی شناوری نسبت به قطعه آرمور

ρ_a - جرم مخصوص سنگ

ρ_w - جرم مخصوص آب

D - قطر مشخصه سازه

همچنین طبقه‌بندی سازه‌ها به صورت زیر است:

۱- $H/\Delta D < 1$ ، مانند موج شکنهای صندوقه‌ای و دیوارهای دریایی هستند. هیچ آسیبی در این

سازه‌های ثابت مجاز نیست. قطر D، ارتفاع یا عرض سازه است.

۲- $H/\Delta D = 1 \sim 4$ ، موج شکنهای پایدار هستند. مقدار کمی آسیب در این سازه‌ها مجاز است و

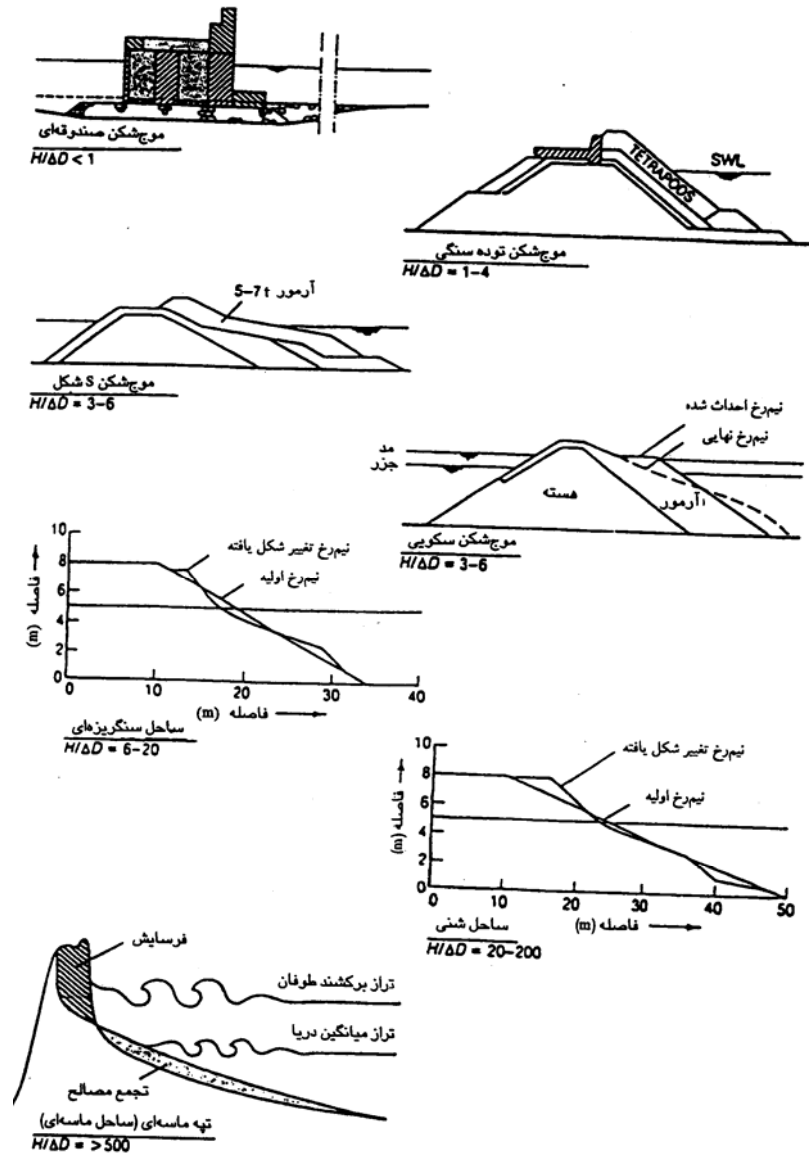
$D = D_{n50}$ طوری که D_{n50} قطر اسمی سنگ آرمور است.

۳- $H/\Delta D = 3 \sim 6$ ، موج شکنهای سکویی و موج شکنهای شکل‌پذیر هستند. تغییر شکل سازه در این

موج شکنها مجاز بوده و نیمرخ نهایی سازه اهمیت دارد.

۴- $H/\Delta D = 6 \sim 20$ ، شیبها یا سواحل سنگ‌ریزه‌ای هستند.

۵- $H/\Delta D = 15 \sim 500$ ، سواحل شنی هستند.



شکل ۳-۶ طبقه‌بندی سازه‌ها به صورت تابعی از پارامتر $H/\Delta D$

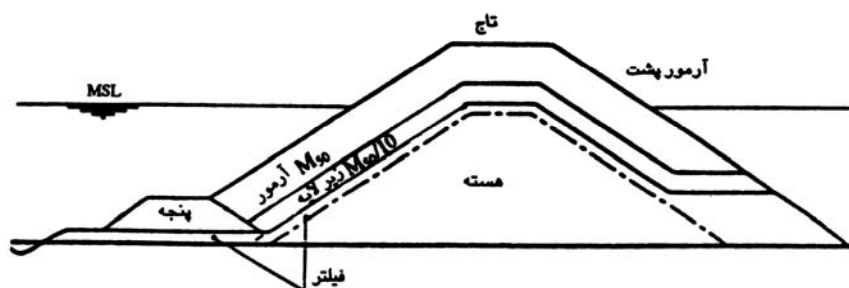
۶- $H/\Delta D > 5.0$ سواحل و تپه‌های ماسه‌ای هستند.

انواع سازه‌های طبقه‌بندی شده فوق در شکل ۳-۶ نشان داده شده است. شایان ذکر است که طبقه‌بندی فوق به عنوان راهنما ارایه شده است.

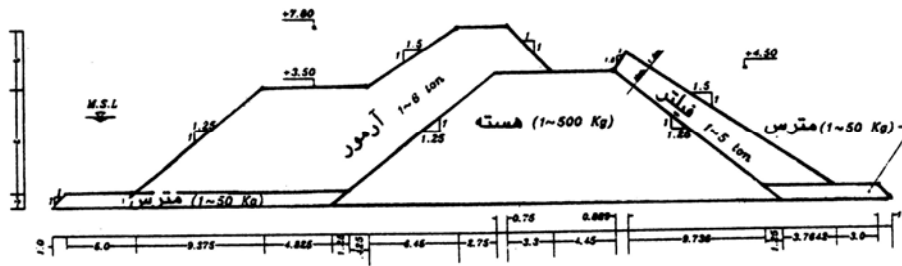
۶-۲-۲ موج شکن توده‌سنگی

موج شکن توده‌سنگی سازه‌ای است که بیشتر از قطعات سنگی ریخته شده یا قرار داده شده بر روی بستر دریا تشکیل می‌شود. لایه خارجی این سازه با استفاده از قطعات سنگی دارای وزن بیشتر نسبت به سایر لایه‌ها و یا قطعات بتنی ساخته می‌شود. این لایه، لایه آرمور اولیه (لایه محافظ) نامیده می‌شود. معمولاً یک لایه آرمور دیگر در زیر این لایه قرار می‌گیرد، که به لایه آرمور ثانویه معروف است. سنگهای این لایه از سنگهای لایه آرمور اولیه سبک‌تر هستند. وظیفه لایه یا لایه‌های آرمور فوق، حفاظت از سنگهای سبک‌تر هسته سازه در مقابل حمله امواج است. گاهی از یک سازه بتنی به نام دیواره تاج بر روی تاج موج شکن استفاده می‌شود. موج شکنهای توده‌سنگی را می‌توان به دو نوع معمول و غیر معمول تقسیم کرد. موج شکنهای نوع دوم به نام شکل‌پذیر معروف هستند. موج شکن سکویی نوعی موج شکن شکل‌پذیر است.

نمونه‌هایی از موج شکنهای توده‌سنگی معمولی و شکل‌پذیر در شکل‌های ۴-۶ و ۵-۶ نشان داده شده‌اند.



شکل ۴-۶ نمونه‌ای از یک موج شکن توده‌سنگی معمولی

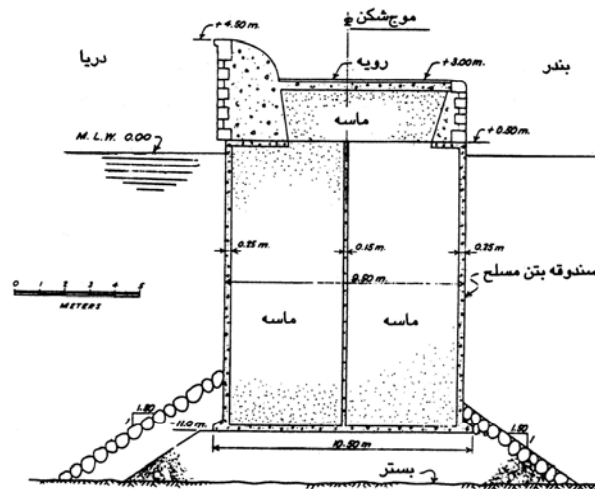


شکل ۵-۶: مقطع عرضی طرح اولیه موج شکن سکویی پسا بندر

◀ ۶-۲-۳ موج شکن قائم

موج شکن قائم دارای دیواره قائمی است که مستقیماً از سطح بستر دریا شروع می‌شود. موج شکنهای قائم را می‌توان با استفاده از بلوکهای بتنی، صندوقه‌های بتنی یا فولادی، سلولهای شمع سپری فولادی پر شده از سنگ، سدهای مغروق چوبی پر شده از سنگ و دیوارهای شمع فولادی یا بتنی و نظایر آنها ساخت.

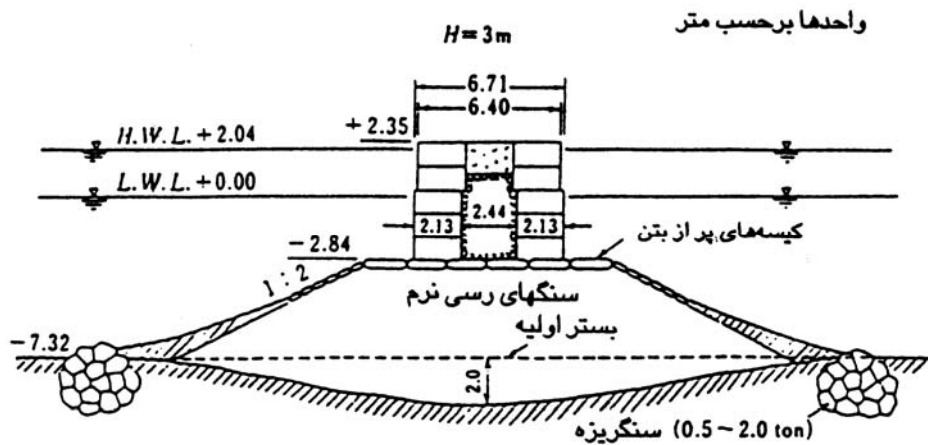
نمونه‌ای از یک موج شکن قائم در شکل ۶-۶ نشان داده شده است.



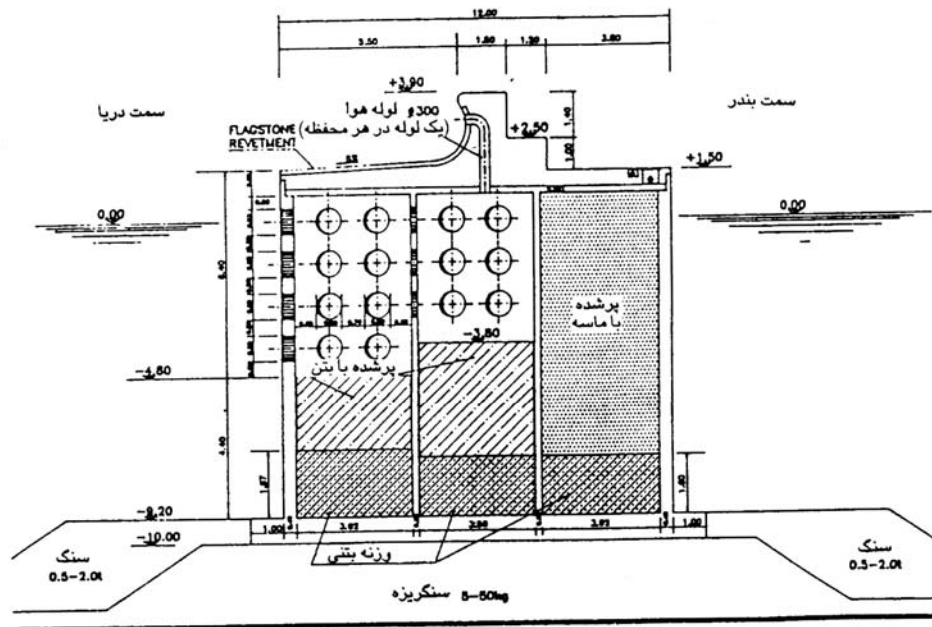
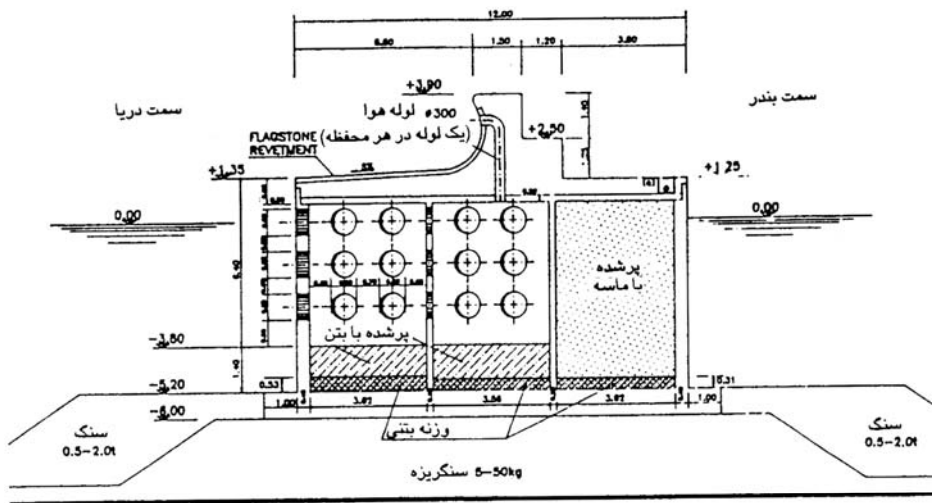
شکل ۶-۶: مقطع عرضی موج شکن بندر Helsingborg واقع در کشور سوئد

◀ ۴-۲-۶ موج شکن مرکب

در موج شکن مرکب، پی سازه از جنس سنگ ریزه‌ای بوده و به طور مستغرق در زیر سطح ایستابی قرار می‌گیرد. یک سازه قائم بر روی این پی مستقر می‌شود. طوری که تاج آن در بالای سطح ایستابی قرار می‌گیرد. نمونه‌ای از یک موج شکن مرکب در شکل ۶-۷ نشان داده شده است. دیوار برخی موج شکنهای قائم یا مرکب در سمت دریا به صورت مشبک است. سازه‌ای با این خصوصیت، موج شکن بتنی مشبک یا موج شکن دیوار مشبک نامیده می‌شود. دیوار مشبک این سازه‌ها در کاهش ضریب انعکاس و میزان بالاروی موج از سازه و در نتیجه کاهش نیروهای وارد بر موج شکن بسیار مؤثر است. نمونه‌ای از یک موج شکن بتنی مشبک در شکل ۶-۸ نشان داده شده است.



شکل ۶-۷ مقطع عرضی موج شکن قسمت شرقی بندر Yokohama در زاویه



شکل ۶-۸ موج شکن بندر Ponza در کشور ایتالیا

۳-۶ جانمایی بندر

۱-۳-۶ کلیات

انرژی امواج به سه طریق زیر به داخل بندر نفوذ می‌کند:

۱- ورودی بندر یا فضای بین موج شکنها

۲- سرریزی موج از روی موج شکن

۳- نفوذ از داخل بدنه نفوذپذیر برخی موج شکنها

نوع سازه موج شکن و جزئیات طراحی آن، وضعیت امواج در داخل حوضچه بندر را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین موضوع جانمایی موج شکن و نحوه طراحی سازه را نمی‌توان به طور کامل از یکدیگر تفکیک کرد. تعداد، اندازه و مکانهای استقرار اسکله‌های یک بندر، ابعاد کلی آن را تعیین خواهند کرد.

گاهی از موج شکنها برای حفاظت یک کانال دسترسی در مقابل جریانهای کرانه‌ای ساحلی و پایدار کردن یا ساماندهی یک ورودی کشندی استفاده می‌شود. موج شکنها در این حالت **Jetty** نامیده می‌شود. در تعیین جانمایی و پلان موج شکنها باید به تأثیر عوامل زیر توجه کرد:

الف: مساحت مورد نیاز بندری که از آن حفاظت می‌شود.

این سطح باید در حدی باشد که لنگراندازی، پهلوگیری و عملیات تخلیه و بارگیری شناورها، با یکدیگر تداخل نمایند.

ب: درجه حفاظت مورد نیاز در محل پهلوگیرها

جانمایی موج شکن باید چنان باشد که در محل پهلوگیرها، ارتفاع امواج از حد مجاز برای تخلیه و بارگیری کالا بیشتر نشود.

ج: سهولت تردد و مانورپذیری کشتیها

عرض ورودی، سطح محصور بین موج شکنها و اثرات موج در این سطح محصور باید چنان باشد که کشتیها بتوانند به راحتی تردد نمایند.

حفظ کیفیت آب در بنادر

جانمایی موج‌شکن باید چنان باشد که امکان گردش طبیعی آب همواره فراهم باشد و از راکد ماندن آب در آن جلوگیری شود.

ه: اثر موج‌شکن بر حمل رسوبات (تغییر وضعیت ساحل در اثر تجمع رسوبات یا فرسایش)

جانمایی موج‌شکن با توجه به تأثیر موج‌شکن بر وضعیت کرانه ساحلی باید طوری انتخاب شود که از تجمع رسوبات در دهانه ورودی و محور بندر جلوگیری نماید.

و: کاهش اثرات موج

با توجه به اینکه در محوطه محصور توسط موج‌شکن، امکان تداخل امواج منتشره و بازتابی و ایجاد تشدید و در نتیجه از بین رفتن آرامش حوضچه بندر وجود دارد، لذا باید با انتخاب مناسب شکل محصور بین موج‌شکنها از بروز این پدیده جلوگیری کرد.

ز: تأثیر بر جریانهای دریایی

سازه موج‌شکن به صورت مانعی در برابر جریانهای طبیعی دریایی عمل می‌کند. این امر می‌تواند جریانهای ثانویه‌ای به وجود آورد که در وضعیت حمل رسوب مؤثرند.

ح: توسعه آبی بندر

موج‌شکن باید طوری جانمایی شود که برای توسعه آبی بندر مانعی وجود نداشته باشد.

ط: هزینه ساخت و نگهداری

علاوه بر رعایت مسایل فنی در تعیین موقعیت موج‌شکن، توجه به مسایل اقتصادی نیز در جانمایی آن ضروری است. برای جانمایی مناسب یک موج‌شکن با رعایت موارد فنی اشاره شده، باید از مدل‌های محاسباتی مناسب و در طرحهای مهم‌تر از مدل‌های فیزیکی استفاده کرد. این موضوع در زیربخشهای ۶-۳-۶ و ۷-۳-۶ توضیح داده شده است.

در تعیین جانمایی موج‌شکن، علاوه بر عوامل فوق باید به پارامترهای ژئوتکنیکی بستر نیز توجه کرد.

◀ ۲-۳-۶ جنبه‌های ناوبری (کشتی‌رانی)

وجود موج شکنها، شرایط ناوبری خاصی را در ورودی بندر به وجود می‌آورد. گاهی در عرض ورودی بندر به علت انحراف جریانهای ناشی از تفرق موج حول پوزه یا رأس موج شکنها جریانهایی ایجاد می‌شوند. همچنین گاهی در محل موج شکنها انعکاس موج رخ می‌دهد. با نزدیک شدن شناور به آبهای کم‌عمق تغییرات مهمی در شرایط محیطی به وجود می‌آید. این تغییرات باعث تأثیرگذاری بر روی حرکت شناورها در مسافتی کوتاه می‌گردد.

در صورت باز بودن ورودی بندر، ناوبری (کشتی‌رانی) آسان‌تر انجام می‌شود. از سوی دیگر، این مسئله موجب نفوذ امواج به داخل بندر می‌گردد. بنابراین باید تعدیل لازم در این رابطه صورت گیرد. کشتیرانی در شرایط استثنایی وزش باد یا انتشار موج، همیشه میسر نیست. استفاده از تجارب دریانوردان با تجربه در تعیین جانمایی بندر بسیار اهمیت دارد. البته به جنبه‌های اقتصادی و محدودیتهای مطرح در مورد ناوبری و عملیات بندر نیز باید توجه کرد.

◀ ۳-۳-۶ نفوذ موج

نفوذ موج به داخل بندر، مهم‌ترین عامل تعیین کننده واکنش بندر و یا نحوه توزیع ارتفاع موج در داخل آن است. برای تعیین میزان نفوذ موج، نخست باید شرایط موج در خارج حوضچه بندر را مورد بررسی قرار داد. سپس باید اثر ورودی بندر در میزان موج قابل نفوذ به بندر را تعیین کرد. آنگاه باید واکنش بندر در حالت بحرانی را بررسی کرد.

جهت موج عامل مهمی در طراحی جانمایی بندر است. این عامل از آن لحاظ اهمیت دارد که علاوه بر بزرگترین امواج، باید از ورود امواج کوتاه‌تری که می‌توانند از جهات مختلف وارد بندر شوند جلوگیری کرد.

توجه به شرایط نسبتاً معمولی موج و نیز پیشامدهای نادر، اهمیت دارد. شرایط نسبتاً معمولی موج در کاهش زمان و هزینه‌های عملیات بندری و همچنین پیشامدهای نادر در ایمنی بندر تأثیر دارند. رفتار موج باید در ترازهای مختلف آب مورد بررسی قرار گیرد. تغییر تراز آب می‌تواند بر اثر وقوع جزر و مد، برکشند طوفان یا خیزاب موج صورت گیرد. سطح آب معمولاً انرژی موج منتشره را تغییر داده و

بخصوص می‌تواند در جهت ورود موج به بندر تأثیر بگذارد. تغییر خطوط تراز بستر دریا نیز می‌تواند اثرات مهمی در تغییر ارتفاع موج داشته باشد.

تفرق موج در ورودی بندر میزان حفاظت تأمین شده به وسیله موج‌شکنها و سرعت امواج در داخل حوضچه بندر را تعیین می‌کند. در نظر گرفتن وسعتی که امواج می‌توانند در داخل بندر منعکس و یا جذب شوند، ضرورت دارد. همچنین دانستن تغییرات عمق و در نظر گرفتن اثرات کاهش ژرفا، انکسار و اصطکاک بستر مهم است. جلوگیری از ورود امواج بلند با پریود بیش از ۳۰ ثانیه به بندر، دشوار بوده و این امواج گاهی موجب ایجاد نوسانات در سطح آب و حرکت قائم کشتیهای پهلو گرفته می‌شوند. امواج پریود بلند همچنین می‌توانند موجب بروز پدیده تشدید در بندر شوند. این پدیده نامطلوب در صورت استفاده از دیوارهای منعکس کننده موج در داخل بندر شدت می‌یابد. بنابراین باید تا حد امکان از به‌کارگیری چنین دیوارهایی در داخل بندر جلوگیری کرد. در چنین شرایطی می‌توان از دیوارهای قائم مشبک یا شیب‌دار جاذب موج در داخل بندر استفاده کرد.

◀ ۶-۳-۴ سرریزی و عبور موج

مقادیر دبی سرریزی و ضریب عبور (انتقال) موج و اثرات آنها بر روی واکنش و جانمایی بندر را می‌توان در حین طراحی موج‌شکن تعیین کرد. جلوگیری کامل از سرریزی موج راهی بسیار پرهزینه است زیرا افزایش ارتفاع سازه از این پدیده می‌تواند تا حد زیادی نیروهای وارد بر سازه را افزایش دهد. میزان سرریزی قابل قبول را باید به دقت تعیین کرد.

سرریزی حجیم از سازه با پاشش آب توسط باد متفاوت است. اگر چه با به‌کارگیری یک دیوار تاج در موج‌شکنهای توده‌سنگی می‌توان از سرریزی حجیم جلوگیری کرد، اما کنترل میزان پاشش آب در اثر وزش باد امکانپذیر نیست. سرریزی و پاشش آب، گاهی موجب سلب آسایش رهگذران از روی تاج موج‌شکن، بروز خطرات جانی، مالی و ایجاد سیلاب می‌شود.

مقادیر حدی پیشنهادی برای سرریزی در زیربخش ۷-۴-۲-۴ ارائه شده‌اند. این مقادیر به شرایط عبور وسایط نقلیه و مردم مربوط می‌شوند. سرریزی موج حتی در صورت بالا بودن دبی به ندرت، اثر عمده‌ای بر نحوه توزیع ارتفاع موج در داخل بندر دارد. البته این مطلب ممکن است در مورد موج‌شکنهای

تاج کوتاه درست نباشد. اطلاعات بیشتری در این خصوص در زیربخش ۸-۲-۳ برای موج شکنهای توده‌سنگی و زیربخش ۱۰-۳-۲ برای موج شکنهای قائم ارائه شده است.

عبور موج از میان سازه، گاهی در مورد موج شکنهای توده‌سنگی با تخلخل زیاد مطرح است. میزان موج عبور کرده در مورد امواج بلند با پیوند بیش از سی ثانیه ممکن است قابل توجه باشد.

موج شکنهای قائم امکان عبور موج را فراهم نمی‌آورند. البته موج شکنهای مشبک عبور دهنده موج که استفاده از آنها چندان رایج نبوده و شاید در بنادر قایقرانی یا اقلیمهای موج متوسط احداث شوند، برخلاف سایر انواع موج شکنهای قائم، امکان عبور موج از میان خود را فراهم می‌آورند.

◀ ۶-۳-۵ آرایش موج شکن

ابعاد بندر و آرایش موج شکنها را باید با استفاده از مطالب زیربخشهای ۶-۳-۱ تا ۶-۳-۴ تعیین کرد. عموماً گزینه‌های مختلفی در نظر گرفته می‌شوند. طوری که با بهره‌گیری از وضعیت مناسب خط ساحل و همچنین توپوگرافی بستر دریا بتوان به صرفه‌جویی قابل توجهی دست یافت. به عنوان مثال می‌توان گزینه‌های زیر را در نظر گرفت:

الف: قرار دادن بن موج شکن بر روی سنگ بستر به منظور کاهش خطر آب‌شستگی در این مکان
ب: انتخاب جانمایی به نحوی که بتوان طول و عمق سازه و اسکله‌ها را در مورد یک بندر خاص به حداقل رساند.

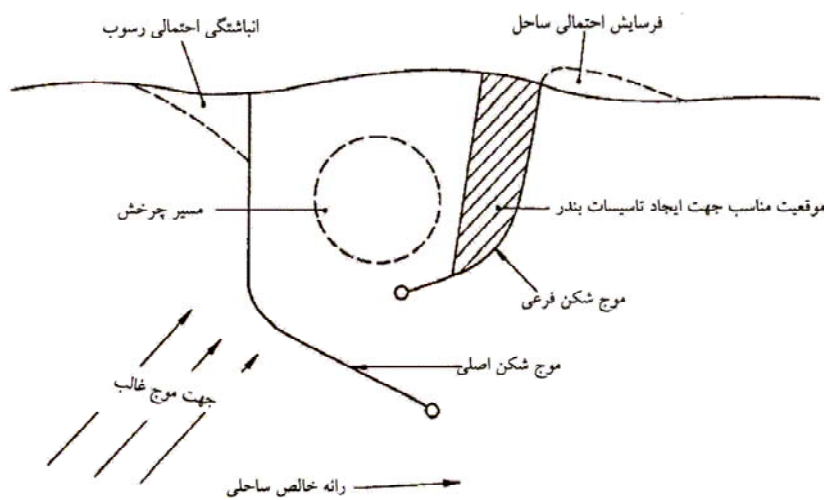
ج: انتخاب موقعیت و نحوه قرارگیری موج شکن به گونه‌ای که ارتفاع امواج مؤثر بر سازه کاهش یابد. مورد اخیر را می‌توان با به‌کارگیری آب سنگهای دور از ساحل و نظایر آنها عملی ساخت. این سازه‌ها موجب شکسته شدن امواج با ارتفاع بیشتر قبل از رسیدن به موج شکن می‌شوند. در چنین حالاتی ارزیابی اثر انکسار موج اهمیت دارد. این پدیده بخصوص می‌تواند موجب افزایش ارتفاع به علت تمرکز آن در برخی مکانها در امتداد موج شکن شود. ارتفاع موج در محل موج شکن در صورت حمله امواج مورب نیز افزایش می‌یابد. این امواج موجب پشته شدن امواج در حال انتشار در امتداد موج شکن می‌شوند.

تعیین این موضوع که آیا وجود موج‌شکن باعث ایجاد تغییراتی در عمق آب می‌شود، اهمیت دارد. به عنوان مثال افزایش عمق نواحی کم‌عمق دور از ساحل می‌تواند موج‌شکن را در معرض حمله امواج بزرگتری قرار دهد.

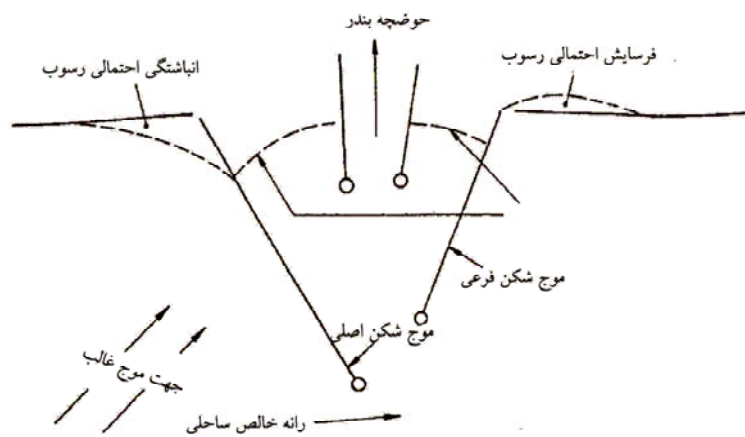
انعکاس موج از وجه سمت دریای یک موج‌شکن می‌تواند به ایجاد الگوهای موج ایستا و در نتیجه به افزایش حمله موج در برخی مقاطع سازه منجر شود. این اثر با به‌کارگیری یک موج‌شکن محدب در دید پلان به جای موج‌شکن مستقیم کاهش می‌یابد. از سوی دیگر به‌کارگیری یک موج‌شکن مقعر در دید پلان می‌تواند موجب تمرکز شدید موج شود. بنابراین باید از به‌کارگیری چنین انحنايي اجتناب کرد. جانمایی پوزه‌های موج‌شکنهای اصلی و فرعی، اغلب طوری طراحی می‌شود که این موج‌شکنها یک همپوشانی قابل توجه بر روی یکدیگر داشته باشند. طوری که از نفوذ مستقیم بزرگترین امواج به بندر جلوگیری شود.

گاهی طراحی یک بندر با احداث یک موج‌شکن اصلی برای مقاومت در مقابل حمله امواج مرتفع و احداث یک موج‌شکن فرعی سبک‌تر مطابق شکل ۶-۹-الف امکانپذیر است. بدین ترتیب می‌توان اسکله‌های بندر را در امتداد موج‌شکن فرعی متمرکز کرد. این نوع جانمایی امکان سرریز شدن مقدار معینی موج از موج‌شکن اصلی را فراهم می‌آورد. در این صورت می‌توان موج‌شکن اصلی را با هزینه کمتری احداث کرد.

طراحی متفاوتی از بندر نسبت به نوع فوق در شکل ۶-۹-ب نشان داده شده است. این نوع جانمایی معمولاً برای دهانه یک رودخانه که در آن هدایت جریانها اهمیت دارد، مناسب‌تر است. در این حالت همپوشانی موج‌شکنها به مقدار کمی وجود داشته و امکان عبور موج بیشتری از دهانه فراهم می‌شود. در صورتی که قسمتی از موج‌شکن اصلی را ساحل تشکیل دهد، بخش عمده‌ای از انرژی امواج جذب شده و شناورها از طریق یک ورودی ثانویه باریک‌تر به محل اسکله‌های پهلوگیری هدایت می‌شوند. شایان ذکر است که در موضوع آرایش موج‌شکنها باید به مسئله سهولت ورود شناورها به بندر و پدیده رسوب‌گذاری در حوضچه آن توجه کرد.



(a)



(b)

شکل ۶-۹ جانماییهای معمول موج شکن

◀ ۶-۳-۶ مدل‌سازی محاسباتی

مدلهای محاسباتی در حال حاضر برای ارزیابی اثرات جانمایی‌های مختلف بندر در دسترس هستند. از این مدلها می‌توان برای تعیین اثرات جانمایی‌های مختلف به طور کیفی و تا حدی کمی استفاده کرد. البته این مدلها اطلاعات مفصل برای کلیه جنبه‌های مورد نیاز را به دست نمی‌دهند. شایان ذکر است که بهترین شیوه در مورد پروژه‌های مهم، استفاده از هر دو روش مدل‌های محاسباتی و فیزیکی است. روش انجام مدل‌سازی محاسباتی در مجلد اول توضیح داده شده است.

◀ ۶-۳-۷ مدل‌سازی فیزیکی

۶-۳-۷-۱ کلیات

انجام آزمایشهای مدل هیدرولیکی، قابل اطمینان‌ترین روش برای ارزیابی عملکرد هیدرولیکی یک موج‌شکن است. قابلیت اطمینان نتایج آزمایش به کیفیت داده‌های ورودی بستگی دارد. در صورت وجود داده‌های قابل اطمینان، تطابق بسیار خوب نتایج آزمایشهای مدل فیزیکی مقاطع موج‌شکنهای توده‌سنگی در فلووم موج و داده‌های نمونه واقعی (پروتوتایپ) گزارش شده است. مدل فیزیکی مقطع یک موج‌شکن توده‌سنگی در شکل ۶-۱۰ نشان داده شده است.

شایان ذکر است که در صورت دسترسی به امکانات مدل فیزیکی، اجرای آن برای طراحی نهایی موج‌شکن لازم و ضروری است.

هدف اولیه آزمایشها عبارت از کنترل پایداری موج‌شکن تا حد حالت طراحی و فراتر از آن و همچنین تعیین واکنشهای هیدرولیکی آن است. واکنشهای هیدرولیکی سازه شامل بالاروی، سرریزی، عبور و انعکاس موج می‌شوند.

استفاده از مدل‌های محاسباتی برای طرح‌ریزی جانمایی موج‌شکن در مجلد اول توضیح داده شده است. اصول کلی مطرح شده در آن بخش در مورد آزمایشهای پایداری موج‌شکن قابل کاربرد هستند. مقیاس مورد استفاده در مدل‌سازی فیزیکی واکنش بندر برای انجام صحیح آزمایشهای پایداری سازه بسیار کوچک است (به توضیحات زیربخش ۶-۳-۷-۲ مراجعه شود). البته گاهی انجام همزمان

آزمایشهای پایداری سازه و واکنش بندر، بسته به اندازه حوضچه موج موجود و ابعاد موج‌شکن وجود دارد که امکان آن باید به هنگام تنظیم برنامه آزمایشها در نظر گرفته شود.

روشهایی برای انجام آزمایشهای مدل فیزیکی موج‌شکن در رابطه با موضوع پایداری وجود دارد. اصلی‌ترین و ساده‌ترین روش، همان مدل کردن مقطع عرضی موج‌شکن در یک فلوم با برخورد عمودی امواج تک‌جهته است. برای انجام این آزمایشها باید از دستگاه مولد موج نامنظم (به جای منظم) استفاده کرد.

معمولاً مقطع عرضی انتخابی، مقطعی است که بیش از سایر مقاطع در معرض امواج قرار می‌گیرد. البته در برخی حالات، مقاطع مختلف موج‌شکن در مکانهای مختلف مدل می‌شوند.

در مورد پوزه‌های موج‌شکن که امواج به طور مورب با سازه برخورد می‌کنند، انجام آزمایشها در حوضچه موج توصیه می‌شود. قسمتی یا کل موج‌شکن در این حوضچه ساخته می‌شود. این سازه معمولاً با استفاده از دستگاه پاروی موج‌سازی که در هر آزمایش در یک جهت از پیش تعیین شده، نسبت به سازه قرار می‌گیرد، در مقابل امواج تصادفی تاج‌بلند آزمایش می‌شود. اگر چه جهت انتشار موج در حوضچه بندر نظیر فلوم ثابت است، اما اثرات توپوگرافی بستر می‌تواند موجب تمرکز موج و تغییر جهت موج در مکانهای خاص در امتداد موج‌شکن شود. به طوری که نتایج نسبت به حالت استفاده از فلوم به شرایط واقعی موج نزدیک‌تر هستند.

البته امواج تاج‌بلند تولید شده به طور کامل نماینده امواج تاج‌کوتاه چندجهته طبیعی نیستند. این مطلب خصوصاً در ژرفاب صادق است. برای مطالعه چنین اثراتی بر روی سازه، می‌توان امواج چندجهته را در حوضچه‌های خاص تولید کرد. چنین فرایندی دشوار بوده و به ندرت در طراحی موج‌شکن مورد استفاده قرار می‌گیرد. نتایج موجود برای تبیین ارزش این فرایند کفایت نمی‌کنند. البته آزمایشهای انجام شده بر روی موج‌شکنهای توده‌سنگی نشان داده‌اند که به ازای انرژی موج منتشره یکسان، یک موج چندجهته نسبت به موج عمود بر سازه، آسیب کمتری را موجب می‌شود.

اهداف آزمایشهای مدل فیزیکی، روشهای مورد استفاده و برنامه‌ریزی انجام آزمایشها، باید با متخصصین مدل‌های هیدرولیکی، مورد بحث قرار گیرد تا در مورد به‌کارگیری روشهای مناسب اطمینان حاصل شود.



شکل ۶-۱۰ مدل فیزیکی پارس جنوبی در حوضچه موج - مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری

۶-۳-۲ مقیاسهای مدل

مدلها باید با مقیاس هندسی تحریف نشده‌ای که تا حد امکان بزرگ باشد، ساخته شوند. مقیاسها معمولاً در محدوده ۱:۳۰ تا ۱:۸۰ قرار دارند. مدل‌سازی بر اساس قانون مقیاس‌بندی فرود صورت می‌گیرد.

رفتار موج‌شکن توده‌سنگی تا حدی به نحوه جریان آب به داخل، در میان و به خارج سازه بستگی دارد. جریان آب در میان حفرات سازه به عدد رینولدز بستگی دارد. بنابراین اگر عدد رینولدز به طور صحیح مقیاس نشود، جریان و نفوذپذیری را نمی‌توان در کلیه نقاط مدل به طور صحیح شبیه‌سازی کرد. در عمل مشخص شده است که اگر عدد رینولدز قطعه آرمور بیش از حدود 3×10^4 باشد، اثرات مقیاس اهمیتی ندارند. البته نتایج برخی تحقیقات اخیر نشان داده‌اند که این عدد می‌تواند تا مقدار 8×10^3 کاهش یابد. عدد رینولدز به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$R_e = \frac{(W / \gamma_a)^{1/3} (gH)^{1/2}}{\nu} \quad (5)$$

متغیرهای رابطه فوق عبارتند از:

W - وزن واحد قطعه آرمور بر حسب تن
 γ_a - چگالی قطعه آرمور بر حسب تن بر متر مکعب
 H - ارتفاع موج در تخریب اولیه بر حسب متر
 v - ضریب لزجت سینماتیک بر حسب متر مربع بر ثانیه
 g - شتاب گرانش معادل $9/81$ متر بر مجذور ثانیه
 هنگامی که ضربات ناشی از امواج شکنا بر روی سازه‌های قائم اندازه‌گیری می‌شود، قوانین مقیاس‌بندی یکسانی را نمی‌توان به انواع ضربات اعمال کرد. علت اصلی این امر آن است که پدیده هوادهی را نمی‌توان با مقیاس‌های مناسب مدل کرد. دلیل انتخاب رابطه فرود آن است که این قانون برطبق شواهد حاصله نتیجه محافظه‌کارانه‌تری را به دست می‌دهد.

مصالح قابل فرسایش بستر به ندرت مدل می‌شوند. زیرا مدل کردن صحیح آنها دشوار است. درعوض از یک مدل با بستر صلب استفاده شده و مصالح حفاظت بستر بر طبق قانون مقیاس‌بندی فرود مدل می‌شود.

۳-۷-۳-۶ ساخت مدل

مدل را باید با مقیاس تحریف نشده ساخت. همچنین چگالی نسبی، ضریب اصطکاک و شکل کلیه مصالح باید به طور صحیح بازسازی شوند. اگر اندازه‌گیری فشارهای بالا برنده در زیر سازه‌های تاج، صندوقه‌ها یا سازه‌های قائم ضرورت داشته باشد، اصلاح اندازه‌های سنگ برای بازسازی صحیح‌تر جریان آب از میان حفرات لازم می‌شود.

روش ساخت مدل باید با روش مورد استفاده در ساخت موج‌شکن پروتوتایپ، قابل مقایسه باشد. همچنین باید دقت کرد که تراکم بیش از حد رخ ندهد. خصوصاً روش استقرار قطعات آرمور در مدل باید مشابه پروتوتایپ باشد، تا در مورد صحت میزان تراکم قطعات آرمور، مدل اطمینان حاصل شود.

در صورت استقرار قطعات آرمور موج‌شکن اصلی در شرایط امواج متوسط و دوراً، باید همان شرایط را در حین استقرار قطعات آرمور مدل ایجاد کرد. لایه آرمور باید بعد از انجام هر سری آزمایش، بازسازی شود. البته بهتر است که زیر لایه نیز بازسازی شود.

بستر دریا معمولاً باید تا فاصله‌ای حدود ۵ طول موج از جلو سازه مدل شود. به طوری که اثرات کاهش ژرفا بر روی امواج، بازسازی شود. البته اجرای این بستر در هر فلوم موجی امکانپذیر نیست. در این صورت باید اثرات آن را در انتخاب مقیاس و روشهای ساخت مدل در نظر گرفت.

۶-۳-۷-۴ مدل قطعات آرمور بتنی

در صورت استفاده از قطعات آرمور بتنی در موج‌شکنهای توده سنگی، معمولاً امکان مدل کردن کلیه خواص قطعه آرمور وجود ندارد. قطعات مدل مورد استفاده از نوع بتنی، ملاتی یا پلاستیکی که برای چگالی و اصطکاک به طور صحیح مقیاس‌بندی می‌شوند، برای ایجاد تشابه بین مدل و نمونه واقعی قوی‌تر از میزان مورد نیاز هستند. این مسئله خصوصاً در مورد قطعات لاغر نظیر دالاس مطرح است. طوری که اگر چه اثرات ترک‌خوردگی و جابه‌جایی گاهی به شکست این قطعات در پروتوتایپ منجر می‌شود، اما چنین شکستی در مدل، تحت همان شرایط موج رخ نمی‌دهد. به علت استقرار تصادفی (درهم) قطعات آرمور و تصادفی بودن موج، تعداد کافی از قطعات مدل باید مورد مطالعه قرار گیرند تا امکان تحلیل آماری نتایج وجود داشته باشد.



شکل ۶-۱۱ مقطع عرضی مدل فیزیکی یک موج‌شکن توده سنگی مسلح له آرمورهای تتراید در فلوم موج

۶-۳-۷-۵ برنامه انجام آزمایشها

۶-۳-۷-۵-۱ کلیات

برنامه انجام آزمایشها باید شامل یکسری آزمایش اولیه برای شناسایی جنبه‌های بحرانی پیشنهادی و اثر اصلاحات باشد. آنگاه مقطع انتخابی باید تحت یکسری آزمایشهای جامع‌تر قرار گیرد.

نباید از امواج منظم برای آزمایشها استفاده کرد. بلکه باید با تولید یک موج ژرفاب تصادفی به وسیله یک دستگاه مولد موج، انرژی یا طیف فرکانس موج طرح را شبیه‌سازی کرد. بدین منظور دستگاه مولد موج باید قادر به شبیه‌سازی حداقل ۱۰۰۰ موج متوالی باشد. به طوری که توزیعهای تصادفی به طور اتوماتیک تولید شوند. این توالی باید برای مقایسه نتایج آزمایشها با یکدیگر قابل تکرار باشد.

به طور ایده‌آل باید حداقل ۵ آزمایش برای هر یک از شرایط طراحی صورت گیرد، تا امکان بررسی تغییر تصادفی نتایج آسیب وجود داشته باشد.

برنامه انجام آزمایشها باید با توجه به محدودیتهای احتمالی زمانی و مالی به دقت تنظیم شود. به طوری که علی‌رغم وجود محدودیتهای، اطلاعات لازم برای طراحی ایمن و با صرفه اقتصادی سازه به دست آید.

تغییر پارامترهای طرح از جمله اقلیم موج و تراز آب باید مورد بررسی قرار گیرد. زیرا این تغییرات، خصوصاً دومی می‌تواند موجب تغییر شرایط موج از ناشکنا به شکنا شود. معمولاً امکان تغییر تراز آب در حین انجام آزمایشها وجود نداشته و این کار باید پس از توقف دستگاه مولد موج انجام شود.

ترازهای آب در مکان دارای دامنه‌های کشندی قابل توجه گاهی در حین وقوع طوفان به طور قابل توجهی تغییر می‌کنند. بنابراین در تنظیم برنامه انجام آزمایشها باید به این نکته توجه داشت. انجام آزمایشها با استفاده از تراز بالای آب برای بررسی سرریزی و پایداری آرمور فوقانی تحت حمله بزرگ‌ترین امواج معمول است. همچنین آزمایشهای با تراز پایین آب برای بررسی آب‌شستگی پنجه و احتمالاً شکست امواج در سمت دریای سازه انجام می‌شوند.

روابط بین شرایط موج، تراز آب و واکنش سازه باید به دقت در تنظیم برنامه انجام آزمایشهای مدل فیزیکی در نظر گرفته شوند.

۶-۳-۷-۵-۲ موج شکنهای توده سنگی

در آزمایشهای مدل هیدرولیکی بر روی موج شکنهای توده سنگی باید ارتفاعهای موج به طور تدریجی از (۵۰٪) تا (۱۲۰٪) ارتفاع موج طرح افزایش یابند. پریود موج نیز باید متناسب با ارتفاع آن افزایش داده شود. بدین ترتیب نحوه شکل‌گیری شرایط طوفان، بازسازی شده و حاشیه اطمینان طرح آزمایشی کنترل می‌شود. امواج با ارتفاع بیشتر در شرایط محدودیت عمق قبل از رسیدن به سازه تغییر شکل داده و یا شکسته می‌شوند. بنابراین احتمال رسیدن موجی با ارتفاع (۱۲۰٪) موج ارتفاع طرح به پای سازه وجود ندارد. البته افزایش پریود موج می‌تواند بر پایداری سازه اثر بگذارد. شرایط جزر و مد را می‌توان مستقل از شرایط موج در نظر گرفت. البته گاهی باید احتمال وقوع توأم برکشند طوفان و ارتفاع موج افزایش یافته را در نظر گرفت.

آزمایشها را می‌توان با انتخاب طوفان با مدت زمان تداوم ۳ ساعت آغاز کرد. سپس با نزدیک شدن ارتفاع موج تولید شده به ارتفاع موج طرح این زمان را می‌توان به ۶ ساعت افزایش داد. این افزایش برای شبیه‌سازی نحوه شکل‌گیری طوفان طرح است. البته اگر مشخصات دقیق‌تر طوفان در اختیار باشد، باید از آن الگو تبعیت کرد. به منظور ارزیابی پایداری قطعات آرمور، حرکت آنها باید از طریق مشاهده دقیق، عکسبرداری و فیلمبرداری ثبت شوند. اخیراً استفاده از نرم‌افزارهای رایانه‌ای در تحلیل نتایج آزمایشها رایج شده است [۶].

مقدار حرکت قابل قبول یک قطعه آرمور بتنی قبل از شکسته شدن به نوع و اندازه آن بستگی دارد. طبقه‌بندی حرکت قطعات آرمور بتنی در مدلها در جدول ۶-۱ ارائه شده است. این جدول بر اساس تجربیات حاصله در مؤسسه تحقیقاتی والینگفورد انگلستان تهیه شده است. همچنین روش توصیفی طبقه‌بندی آسیب کلی در جدول ۶-۲ ارائه شده است.

۶-۳-۷-۵-۳ انعکاس و عبور موج

ضرایب انعکاس و عبور موج از موج شکن را می‌توان با استفاده از چند دستگاه ارتفاع‌سنج موج در جلو و پشت سازه اندازه‌گیری کرد. برای اندازه‌گیری ضریب انعکاس موج باید طیف موج نیمه ایستایی تشکیل

شده در جلو سازه را به ۲ طیف منتشره و بازتابی تجزیه کرد. این کار را می توان به عنوان مثال با استفاده از روش Goda انجام داد.

در صورت اندازه گیری ضریب عبور موج در پشت سازه باید با استفاده از یک جاذب موج در انتهای فلوم، انرژی موج بازتابی را به حداقل رساند.

جدول ۶-۱ حرکت قطعات آرماتور بتنی در مدلها

توصیف	طبقه بندی
حرکت محسوسی مشاهده نمی شود.	۰
اگر چه سنگها تکان می خورند، اما از جای خود به طور دائمی حرکت نمی کنند.	R
قطعه تا مقدار $0.5d$ جابه جا می شود.	۱
قطعه به اندازه $0.5d$ تا d جابه جا می شود.	۲
قطعه بیش از مقدار d جابه جا می شود.	۳

توضیح: متغیر d معمولاً به عنوان بعد معادل قطعه مکعبی در نظر گرفته می شود. البته سایر ابعاد مشخصه نظیر ارتفاع قطعه آرمور نیز مورد استفاده قرار گرفته است.

جدول ۶-۲ طبقه بندی آسیب در موج شکنهای مدل

توضیحات	آسیب
تحت تأثیر قرار گرفتن هسته موج شکن	تخریب
نمایان شدن هسته موج شکن	جدی
فاصله گرفتن زیاد قطعات از یکدیگر در لایه آرمور و جابه جایی (۵٪) قطعات	زیاد
فاصله گرفتن زیاد قطعات از یکدیگر در لایه آرمور و جابه جایی (۳٪) قطعات	متوسط
فاصله گرفتن زیاد قطعات از یکدیگر در لایه آرمور و جابه جایی (۲٪) قطعات	کم
فاصله گرفتن زیاد قطعات از یکدیگر در لایه آرمور و جابه جایی (۱٪) قطعات	جزیی
عدم آسیب	قابل اغماض

۴-۵-۷-۳-۶ سرریزی موج

نرخ سرریزی امواج تصادفی به طور قابل توجهی تغییر می‌کند. میزان سرریزی موج را باید برای تعداد ۵۰ تا ۱۰۰ موج اندازه‌گیری کرد. این اندازه‌گیری را باید به قدر کافی ادامه داد تا تحلیل آماری دبی سرریزی امکانپذیر شود.

پاشش آب را نمی‌توان به طور صحیح مدل کرد. زیرا اثرات گرانیروی و باد را معمولاً نمی‌توان در فلوم مدل کرد.

۵-۵-۷-۳-۶ آب‌شستگی پنجه

نیمرخ بستر دریا معمولاً به صورت یک بستر ثابت مدل می‌شود. همچنین آزمایشهای مربوط به آب‌شستگی پنجه باید به نحوی طراحی شوند که اندازه سنگ مورد نیاز برای مقاومت در مقابل حرکت تعیین شود. اگر چه انجام آزمایشهای فوق، امکان کمی کردن میزان آب‌شستگی بستر دریا را فراهم نمی‌کند، اما با اندازه‌گیری جریانها در بالای بستر می‌توان طول حفاظت مورد نیاز برای کاهش آب‌شستگی تا حد قابل قبول را تعیین کرد.

۶-۵-۷-۳-۶ نیروهای وارد بر سازه‌های تاج

نیروهای موج وارد بر سازه‌های تاج را می‌توان با استفاده از روشهای توضیح داده شده برای موج‌شکنهای قائم اندازه‌گیری کرد. البته انجام این کار و تفسیر نتایج آن به علت اثر آرمور مستقر در جلو سازه تاج و وجود خطا در مدل‌سازی جریانها و فشارها در سنگ زیر کلاهدک دشوار است. برای تعیین میزان حاشیه اطمینان در طراحی سازه‌های تاج، این سازه‌ها با چگالیهای نسبی کاهش یافته مدل می‌شوند.

۷-۵-۷-۳-۶ موج‌شکنهای قائم

آزمایشهای مدل هیدرولیکی موج‌شکنهای قائم عمدتاً برای اندازه‌گیری فشارها و نیروهای وارد بر سازه صورت می‌گیرد. البته آزمایشهایی را نیز می‌توان برای تعیین میزان آب‌شستگی پنجه سازه انجام داد. همچنین اندازه‌گیری دبی سرریزی و ضریب انعکاس موج از سازه نیز معمولاً اهمیت دارد.

برنامه انجام آزمایشها باید به نحوی تنظیم شود که همانند حالت موج شکنهای توده سنگی، ارتفاع موج به تدریج در چند مرحله افزایش داده شود. در نظر گرفتن محدوده کامل ارتفاعهای موج و ترازهای آب، در انجام آزمایشها اهمیت خاصی دارد. طوری که بتوان تفاوت بین انواع مختلف ضربه‌های موج بر روی وجه قائم سازه را مورد بررسی قرار داد.

مقادیر نیرو یا فشار باید به طور پیوسته با استفاده از ابزارهایی ثبت شوند. به طوری که نوسانات اندازه این متغیرها و مدت زمان اعمال آنها اندازه‌گیری شده و منحنیهای فزونی محاسبه شوند.

نیروهای کل را می‌توان با اندازه‌گیری همزمان فشار در تعدادی مکانها بر روی سازه و جمع‌بندی نتایج تخمین زد. نیروها و فشارهای موج تحت نوسانات سریع قرار داشته و ابزار اندازه‌گیری باید برای ثبت مقادیر، حساسیت کافی داشته باشند. زیرا مقدار نیرو یا فشار بیشینه فقط به مدت زمان کمتر از ۰/۱ ثانیه دوام دارد. به منظور تعیین حاشیه اطمینان برای یک سازه ثقیل قائم نظیر صندوقه، مدل کردن سازه با چگالی نسبی کاهش یافته امکانپذیر است. این آزمایش را همچنین می‌توان برای ارزیابی پایداری سازه موقت قبل از پر شدن انجام داد. البته به علت تغییر شناوری با عملکرد موج و وجود خطا در مدل‌سازی فشارهای بالابرنده، هر آستانه حرکتی لزوماً یک مقدار قابل اعتماد از ضریب اطمینان واقعی را به دست نمی‌دهد.

۶-۳-۷-۵-۸ موج شکنهای مرکب

توجه خاصی باید به پایداری قسمت فوقانی پی توده سنگی معطوف شود زیرا انعکاس موج از وجه قائم می‌تواند مشکلاتی را برای پایداری آن به وجود آورد.

۶-۳-۷-۵-۹ شرایط موقت در حین احداث

انجام آزمایشهای مدل هیدرولیکی بر روی سازه نیمه تمام مطلوب است، خصوصاً اگر در حین عملیات احداث، احتمال وقوع طوفان و توقف کار وجود داشته و تأمین حفاظهای موقتی ضرورت یابد. برنامه آزمایشی باید برای تعیین میزان آسیب وارده طی وقوع طوفان و یافتن راهی برای جلوگیری و یا کاهش آن تنظیم شود.

اقلیم موج باید متناسب با ریسک مورد نظر در عملیات احداث سازه در نظر گرفته شود. جنبه‌های خاصی که باید مورد بررسی قرار گیرند، عبارتند از:

الف: برای موج‌شکن توده سنگی: پایداری هسته و زیر لایه، اثر سرریزی قبل از تکمیل تاج و آب‌شستگی در محلی که احداث بخشی از سازه خاتمه یافته است.

ب: برای موج‌شکنهای قائم و مرکب: اثر آب‌شستگی در محل تکمیل هر قسمت از سازه قائم و پایداری بخشی از سازه که تکمیل شده است.

شایان ذکر است که گاهی با توجه به شرایط اجرایی سازه، نیازی به انجام آزمایشهای مدل هیدرولیکی بر روی سازه نیمه تمام نیست.



طراحی کلی

موج‌شکنها

◀ ۱-۷ کلیات

فلسفه طراحی موج شکنها، عوامل مؤثر در معیارهای طراحی و استخراج شرایط موج طرح در این فصل مورد توجه قرار می‌گیرند. همچنین ملاحظات مؤثر در انتخاب نوع سازه توضیح داده می‌شود.

◀ ۲-۷ فلسفه طراحی

◀ ۱-۲-۷ کلیات

نحوه طراحی سازه به وسیله وظیفه موج شکن، توپوگرافی محل احداث، شرایط محیطی و ملاحظات اقتصادی تعیین می‌شود. عوامل اصلی در طراحی، شامل بارگذاری موج و شرایط پی می‌شوند. مقایسه بین مقاومت سازه‌ای و بارگذاری موج پیچیده است. زیرا بارهای موج در طبیعت تصادفی بوده و مکانیسم واکنش سازه در مقابل امواج به طور کامل درک نشده است.

فلسفه طراحی موج شکنهای قائم و توده سنگی با یکدیگر متفاوت است. فلسفه موجود طراحی برای هر یک از سازه‌های فوق را می‌توان به طور خلاصه به صورت زیر تبیین کرد. دیوارهای قائم به عنوان سازه‌های صلب در نظر گرفته شده و با یک تحلیل شبه استاتیک طراحی می‌شوند. در این روش شرایط بیشینه موج در پای سازه مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. به طوری که مقادیر فشار، بار و حرکت از فرمولهای طراحی محاسبه شوند. در این روش، بارهای اعمال شده به سازه با مقاومت آن مقایسه شده و ضرایب اطمینان برای تأیید محاسبه می‌شوند. عدم قطعیت در طراحی تا حد زیادی به شرایط موج و اعتبار فرمولهای به کار برده شده بستگی دارد.

برای موج شکنهای توده سنگی که به عنوان سازه‌های انعطاف‌پذیر در نظر گرفته می‌شوند، همان عدم قطعیت در مورد شرایط موج وجود دارد. به علاوه طبیعت اندرکنش موج و سازه نیز در این نوع سازه‌ها به خوبی درک نشده است. بنابراین طراحی بر اساس مفهوم آسیب قابل قبول یا حرکت لایه اصلی آرمور استوار است. به طوری که با استفاده از روابط تجربی، طراحی آرمور اصلی به ازای شرایط معین موج انجام شود. سایر اجزای سازه توده سنگی به طور تجربی به لایه آرمور اصلی مربوط می‌شوند. در فلسفه

طراحی موجود، ضرایب اطمینان را نمی‌توان با استفاده از تحلیل نیمه استاتیک محاسبه کرد. البته پیشرفتهایی در طراحی احتمالی سازه‌های توده سنگی حاصل شده است.

شرایط حدی موج که برای طراحی یک موج‌شکن انتخاب می‌شود، باید در هر حالت به دقت مورد ارزیابی قرار گیرد. در نظر گرفتن یک موج طرح به صورت مقدار مجردی از ارتفاع موج با احتمال کم تجاوز از آن مقدار طی عمر سازه معمول است. البته پارامتر توصیفی ارتفاع موج برای حالت معینی از دریا می‌تواند با توجه به روش طراحی مورد استفاده تغییر کند (به توضیحات فصلهای ۸ تا ۱۰ مراجعه شود). به عنوان مثال استفاده از ارتفاع بیشینه موج برای طراحی دیوارهای قائم معمول است. در حالی که در طراحی موج‌شکنهای توده سنگی از ارتفاع عمده موج، یا ارتفاع متوسط یک دهم مرتفع‌ترین امواج، $H_{1/10}$ استفاده می‌شود. به علاوه سایر پارامترهای نظیر پرپود موج، انرژی طیفی، جهت و نحوه شکستن امواج نیز در فرایند طراحی اهمیت دارند.

با این وجود، راحت‌تر است که اطلاعات ثبت شده موج بر حسب ارتفاع موج بیان شوند. ارتفاع موج، عامل اصلی در ارزیابی شدت عمل موج است. به طوری که افزایش ارتفاع موج در پای سازه در ناحیه خاصی از دریا عموماً به افزایش احتمال تخریب سازه منجر می‌شود.

هنگامی که موج‌شکن دیگر نتواند به وظیفه حفاظت از بندر یا ساحل عمل نموده و یا هزینه تعمیر سازه در اثر آسیب وارده غیر قابل قبول باشد، سازه تخریب شده است. این حالت همان حالت حدی نهایی است. حالت حدی قابلیت سرویس وقتی مطرح می‌شود که علی‌رغم آسیب دیدن موج‌شکن با ابعاد قابل توجه، هنوز امکان انجام معمولی‌ترین عملیات در داخل بندر وجود دارد.

احتمال میزان آسیب قابل قبول طی عمر سازه باید در مرحله اولیه طراحی انتخاب شود. هزینه تعمیر سازه باید برآورد شده و در ارزیابی امکانپذیری اجرای پروژه از نظر اقتصادی در نظر گرفته شود. اگر چه در مراحل اولیه طراحی مشخص خواهد شد که برآورد فوق چندان دقیق نیست، اما دقت این برآورد را می‌توان با پیشرفت کار و جمع‌آوری اطلاعات بیشتر افزایش داد.

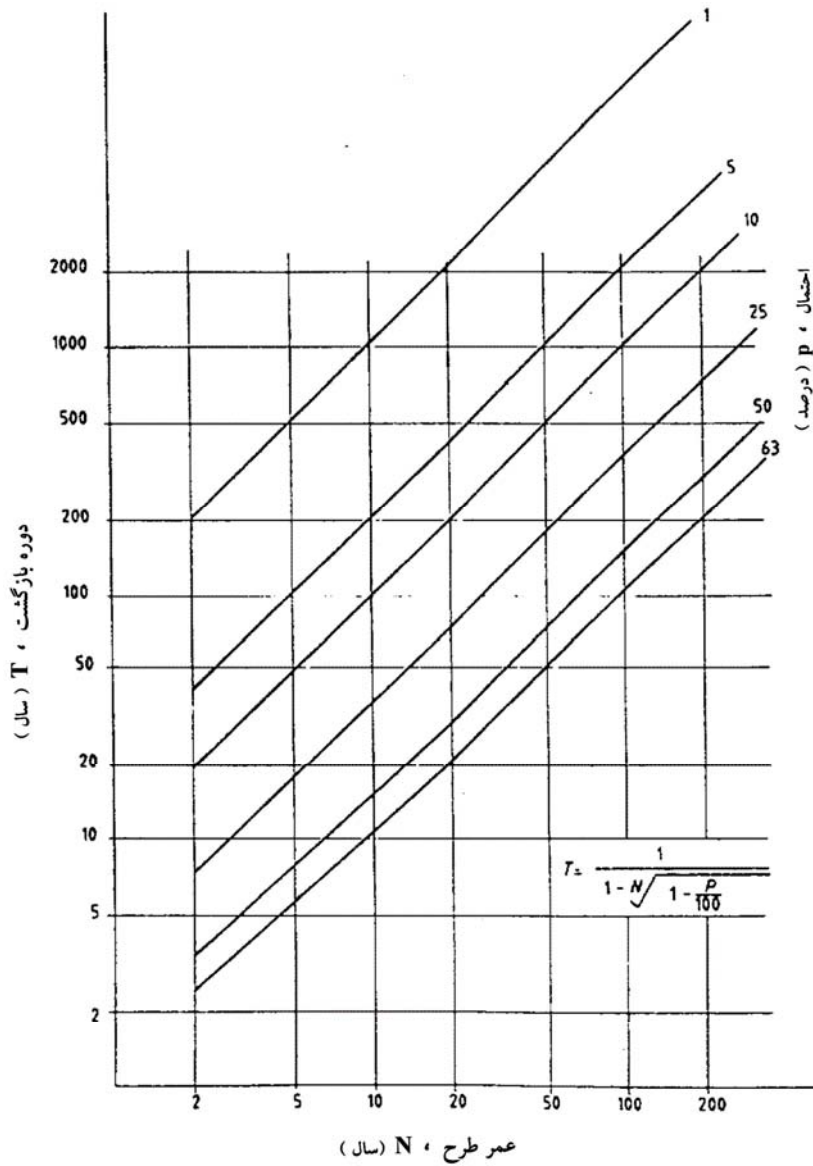
◀ ۲-۲-۷ موج طرح

روشهای طراحی در اینجا بر اساس این فرض استوار است که طی عمر طرح ممکن است ارتفاع برخی امواج از ارتفاع موج طرح تجاوز کند. عمر طرح در مجلد اول توضیح داده شده است. این عامل باید عمدتاً بر اساس وظیفه سازه تعیین شود. اگر چه عمر سرویس‌دهی ۵۰ تا ۱۰۰ سال اغلب برای طراحی سازه در نظر گرفته می‌شود، اما موج طرح بنا به دلایل ذیل باید به طور معمول دارای دوره بازگشت بسیار طولانی‌تری نسبت به عمر سازه باشد.

اگر موج‌شکن طوری طراحی شود که بتواند در مقابل موجی با دوره بازگشت معادل عمر طرح مقاومت کند، به احتمال (۶۳٪) ارتفاع امواج برخورد کرده طی عمر سازه به آن از ارتفاع موج طرح تجاوز خواهد کرد.

روابط بین عمر طرح، دوره بازگشت و احتمال تجاوز در شکل ۷-۱ نشان داده شده است. اگر احتمال تجاوز از موج طرح به میزان (۵٪) برای عمر طرح ۵۰ ساله وجود داشته باشد، در آن صورت دوره بازگشت موج طرح باید ۱۰۰۰ ساله باشد.

بنابراین ایجاد تعادل بین احتمالات و عواقب آسیب در مقابل هزینه‌های صرف شده برای جلوگیری یا کاهش این خسارات ضروری است. توصیه می‌شود که پایداری سازه با استفاده از موجی که دارای احتمال تجاوز (۵٪) طی عمر سازه است، کنترل شود. این لزوماً به معنای شرایط عدم آسیب نیست.



توجه: متغیر T دوره بازگشت یک موج با شرایط حدی خاص برحسب سال است.
همچنین متغیر P احتمال ظهور یک موج با شرایط حدی خاص طی عمر طرح (N) است.

شکل ۱-۷ رابطه بین عمر طرح، دوره بازگشت و احتمال فزونی

◀ ۷-۲-۳ عوامل مؤثر در تخریب

روشهای عمده تخریب سازه‌های توده سنگی و موج شکنهای مرکب، در اشکال ۷-۲ و ۷-۳ به ترتیب نشان داده شده است. البته هنگامی که تخریب رخ می‌دهد معمولاً تشخیص توأم با اطمینان یک علت واحد برای آن وجود ندارد. عوامل مؤثر در تخریب سازه و عواملی که باید در طراحی یک موج شکن در نظر گرفته شوند، عبارتند از:

الف: تخمین کمتر از حد واقعی موج طرح به علت کمبود اطلاعات درباره اقلیم موج یا طراحی با استفاده از دوره بازگشت بسیار کوتاه.

ب: در نظر گرفتن تمرکز موضعی امواج به میزان کمتر از حد واقعی.

تمرکز امواج به علت وجود عوارض موضعی در خطوط تراز بستر دریا رخ می‌دهد.

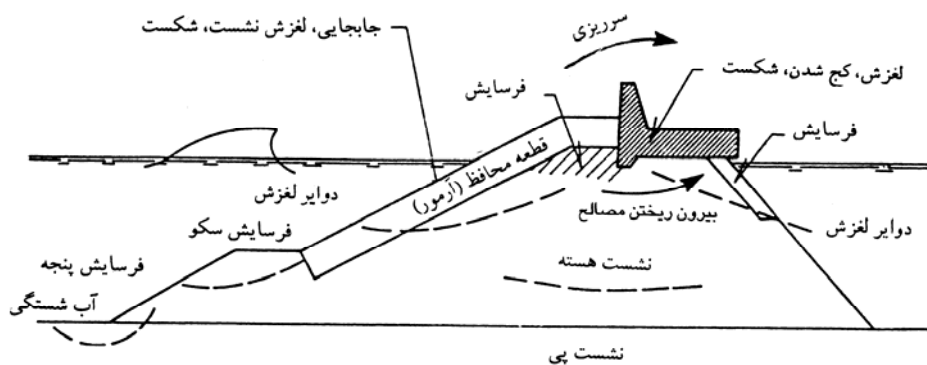
ج: مناسب نبودن روشهای طراحی و عدم کفایت دانش موجود درباره رفتار سازه که به ناپایداری هیدرولیکی خود سازه و اجزای آن منجر می‌شود.

د: عدم انجام آزمایشهای مدل هیدرولیکی به تعداد کافی و تفسیر نتایج آزمایشهای انجام شده.

ه: ناپایداری ژئوتکنیکی سازه یا پی آن.

و: کنترل یا نظارت ناکافی بر احداث سازه (خصوصاً در زمان استقرار اجزای سازه در زیر آب).

ز: استفاده از مصالح نامرغوب در سازه یا عدم بررسی دقیق مسائلی نظیر خوردگی، پوسیدگی، هوازگی مصالح و خستگی قطعات آرمور بتنی

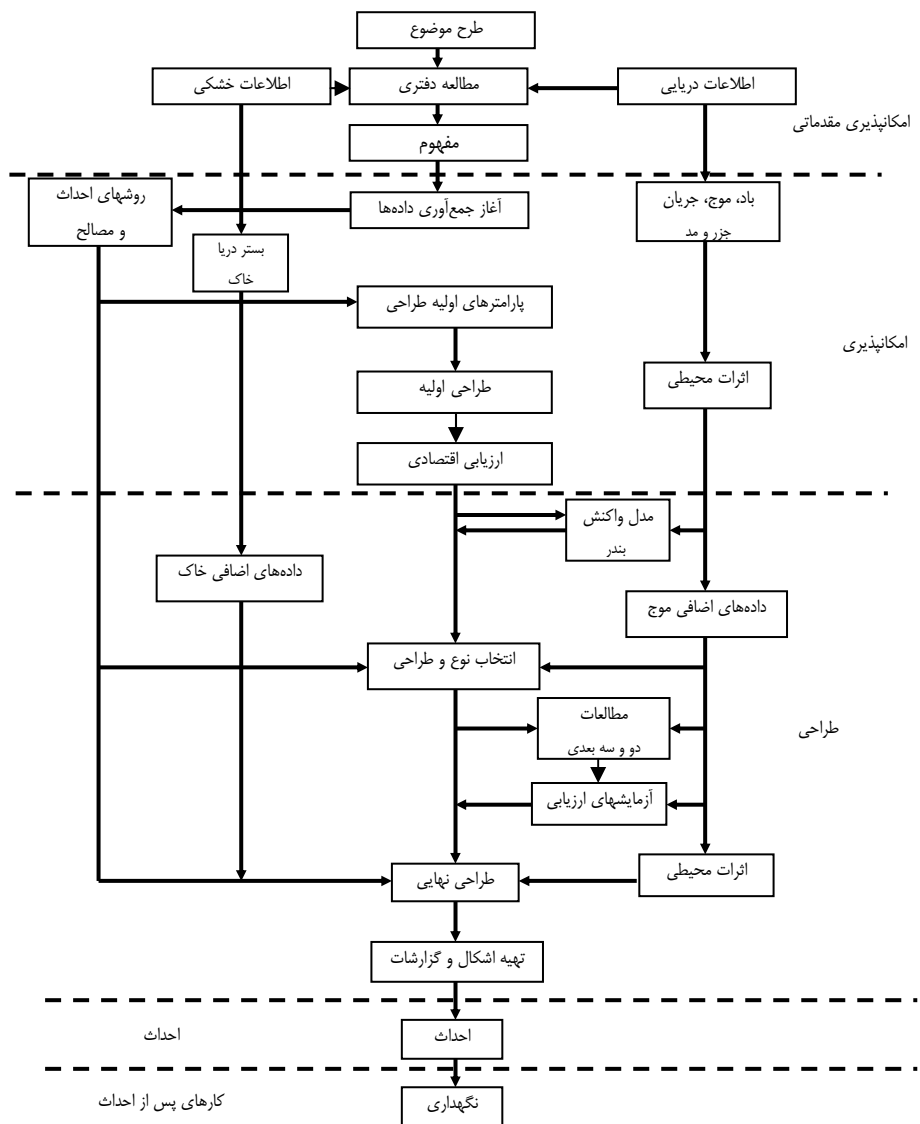


شکل ۷-۲ عوامل تخریب موج شکنهای توده سنگی

آزمایشهای جامع مدل فیزیکی باید برای اصلاح طرح و تعیین ایمنی آن تحت شرایط حدی انجام شود. به علت محدودیتهای زمانی و اقتصادی، انجام آزمایشهای مدل فیزیکی بر روی کلیه گزینه‌ها به ندرت عملی است. بنابراین برنامه آزمایشگاهی باید برای بالا بردن راندمان آزمایشها و کمک به تفسیر نتایج به دقت تنظیم شود.

اخیراً پیشرفتهایی در زمینه مدل‌های محاسباتی برای بررسی رفتار هیدرولیکی سازه‌ها صورت گرفته است. همچنین برخی مدل‌های محاسباتی برای بررسی رفتار هیدرولیکی در داخل یک سازه توده سنگی و اثرات آن بر روی پایداری کلی ژئوتکنیکی تهیه شده‌اند.

مرحله نهایی هر فرایند طراحی شامل تحلیل کامل ریسک‌های مورد انتظار و عواقب آسیب با نگرشی بر ایجاد تعادل بین هزینه‌های مقابله با آسیب قابل قبول در مقابل سرمایه‌گذاری اولیه می‌شود. البته توجه به مسئله تأمین ضرایب اطمینان کافی در مقابل انواع آسیبی که می‌توانند به خرابی کل سازه منجر شوند نیز اهمیت دارد. حجم و قابلیت اطمینان اطلاعات جمع‌آوری شده، نتایج آزمایشهای مدل هیدرولیکی و محدودیتهای آنها، قابلیت دسترسی به مصالح ساختمانی و هزینه آنها، روشهای احداث و ریسک آسیب به سازه و تعمیر آن، جملگی باید در مرحله نهایی طراحی سازه مورد توجه قرار گیرند. همچنین تحلیل ریسک که در زیربخش ۶ توضیح داده شده است باید به طور کامل در مرحله نهایی طراحی مورد توجه قرار گیرد. البته طراح باید در کل فرایند طراحی به حاشیه‌های اطمینان کافی در مقابل تخریب نهایی طی عمر سازه و کاربرد فلسفه تحلیل ریسک توجه کند.



شکل ۴-۷ فرایند طراحی

۴-۷ انتخاب نوع سازه

۱-۴-۷ انواع سازه

تعاریف مربوط به چهار نوع اصلی موج‌شکن در بخش ۶-۲ ارائه شد. روشهای طراحی این موج‌شکنها در فصلهای ۸ تا ۱۰ توضیح داده خواهند شد. اگر چه ملاحظات کلی توضیح داده شده در بخش ۷-۴-۲ در برخی حالات امکان انتخاب یکی از انواع فوق را فراهم می‌سازد، اما در سایر حالات، مقایسه هزینه‌های طراحی و ساخت چند نوع مختلف موج‌شکن ضرورت می‌یابد.

۲-۴-۷ عوامل مؤثر در انتخاب

۱-۲-۴-۷ کلیات

برخی عوامل اصلی که در انتخاب نوع سازه مؤثر هستند در زیربخشهای ۷-۴-۲ تا ۷-۴-۹ توضیح داده می‌شوند. این عوامل اغلب به اولویتهای متضادی منجر می‌شوند. بنابراین دادن وزن مناسب به هر یک از این عوامل و نهایتاً برآورد اقتصادی هر یک، بخش مهمی از فرایند طراحی است، طوری که بتوان به انتخابی صحیح دست یافت.

۲-۲-۴-۷ سایر وظایف موج‌شکن

موج‌شکنها گاهی علاوه بر ایجاد یک منطقه آرام در مقابل امواج و جریانها وظایف دیگری نیز برعهده دارند. این وظایف عبارتند از:

- حفاظت از یک ناحیه احیا شده
- ایجاد یک اسکله در وجه داخلی آن
- تأمین راه دسترسی و سرویس سازه

ریسک آسیب‌پذیری و عواقب آن در صورت چند منظوره بودن موج‌شکن افزایش می‌یابد. به عنوان مثال گاهی سرریزی موج، بحرانی بوده و به حداقل رساندن آن مستلزم صرف هزینه اضافی است.

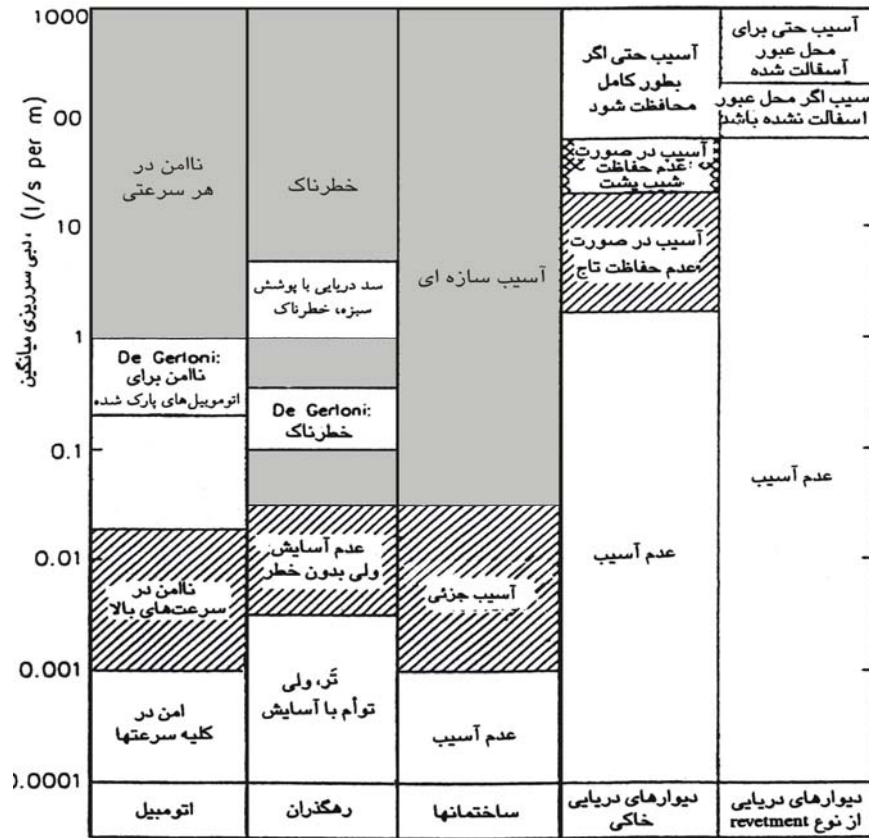
۷-۴-۲-۳ کشتی‌رانی

انعکاس موج از موج‌شکنهای قائم و مرکب ممکن است به بروز وضعیت پیچیده‌ای در ورودی بندر و افزایش مخاطرات کشتیرانی منجر شود. برای کاهش اثرات انعکاس موج می‌توان از سازه‌های توده سنگی جاذب انرژی موج در جلوی دیوارهای قائم استفاده کرد. البته در مورد شیبه‌های زیر آب، حفظ حریم لازم در کشتیرانی ضروری است. در حالی که در مورد سازه‌های قائم، عرض قابل کشتیرانی مشخص‌تر است.

۷-۴-۲-۴ سرریزی موج

سرریزی موج را می‌توان در برخی انواع موج‌شکنها با در نظر گرفتن ارتفاع آزاد به حداقل رساند. موج‌شکنهای توده سنگی از این جهت مناسب هستند زیرا بیشتر انرژی موج قبل از رسیدن و عبور از تاج سازه به وسیله سنگهای لایه آرمور مستهلک می‌شود. در یک موج‌شکن قائم، ستونی از آب در اثر برخورد امواج با سازه به هوا پرتاب می‌شود. به طوری که حتی در مورد سازه‌های با ارتفاع آزاد زیاد، انرژی موج چندان کاهش نمی‌یابد و بخشی از ستون آب بر روی سازه و قسمتی دیگر بر روی آب پشت سازه فرو می‌ریزند. ریزش قسمت دوم موج سرریز شده موجب ایجاد امواج ثانویه در پشت سازه می‌شود. این امواج دارای پریود کوتاه‌تری نسبت به موج منتشره هستند. همچنین موضوع سرریزی موج از موج‌شکنهای توده سنگی در زیربخش ۸-۲-۳ توضیح داده شده است. مقادیر دبی برای موقعیتهای مختلف طراحی در شکل ۷-۵ خلاصه شده‌اند. این شکل شامل مقادیر حدی توصیه شده دبی میانگین برای پایداری تاج و آرمور پشت سازه بر حسب نوع دیوار دریایی و برای وسایل نقلیه و مردم می‌باشد. بیشتر داده‌های این شکل از منابع اطلاعاتی قدیمی ژاپنی‌ها اخذ شده است.

شایان ذکر است که مقادیر ارایه شده در شکل ۷-۵، مقادیر میانگین برای رهگذران و وسایل نقلیه در فاصله حدود ۳ متر در پشت دیواره تاج هستند. همچنین مقادیر اوج سرریزی می‌توانند تا ۱۰۰ برابر مقادیر متوسط افزایش یابند.



شکل ۷-۵ دبی‌های بحرانی سرریزی موج

۷-۴-۲-۵ عبور موج

مزیت یک موج شکن توده سنگی که از سنگهای بزرگتری ساخته شده، بالا بودن پایداری آن است. البته عیب این موج شکن آن است که امواج با پریود ۲۰ ثانیه و بیشتر می‌توانند از میان بدنه آن عبور کنند. بنابراین در صورت به‌کارگیری چنین موج شکنهایی باید مطابق توضیحات زیربخش ۶-۳-۴ به اثرات عبور موج در داخل بندر توجه کرد.

۷-۴-۲-۶ اثرات پی

در صورت ضعیف بودن پی، استفاده از یک موج‌شکن توده سنگی به جای موج‌شکن قائم مناسب‌تر است. زیرا موج‌شکن نوع اول با نشست پی بهتر مقابله می‌کند. البته گاهی تقویت پی برای استقرار موج‌شکن توده سنگی ضرورت می‌یابد. از سوی دیگر به‌کارگیری موج‌شکن قائم یا مرکب در موارد زیر توصیه می‌شود:

- مصالح پی نامرغوب بوده و لزوماً باید با مصالح مرغوب‌تری جایگزین شود.

- مصالح سفت پی پس از گودبرداری نمایان شود.

سازه‌های سپری به شرایط پی مناسبی برای افزایش مقاومت در مقابل خرابی ناشی از چرخش نیاز دارند.

برخورد موج با موج‌شکن خصوصاً در صورت وجود جریان‌ات عمده می‌تواند موجب فرسایش بستر دریا در پنجه سازه شود. البته میزان فرسایش یا آب‌شستگی در پای موج‌شکنهای توده سنگی از موج‌شکنهای قائم کمتر است.

۷-۴-۲-۷ مصالح موج‌شکن

در ساخت موج‌شکنهای توده سنگی به حجم زیادی از سنگها با اندازه‌های مختلف نیاز است. در صورتی که امکان تأمین سنگهای بزرگ برای مسلح کردن موج‌شکن وجود نداشته باشد، می‌توان به جای سنگ از قطعات آرمور بتنی استفاده کرد. البته در برخی مواقع که امکان دستیابی به سنگ مناسب وجود نداشته باشد از موج‌شکنهای مرکب در آب عمیق و موج‌شکنهای قائم در آب با عمق کمتر استفاده می‌شود. اگر چه در ساخت یک موج‌شکن مرکب به حجم سنگ کمتری نسبت به موج‌شکن توده سنگی نیاز است، اما این حجم نیز قابل توجه است.

برای تعویض مصالح پی‌های ضعیف و پر کردن صندوقچه‌ها از شن و ماسه استفاده می‌شود. گاهی

برای تأمین شن و ماسه به مقدار مورد نیاز باید از منابع قرضه دور از ساحل استفاده کرد.

در ساخت اجزای بتنی موج‌شکن، توجه به کیفیت مصالح دانه‌ای مورد استفاده در ساخت بتن اهمیت

دارد.

۷-۴-۲-۸ روشهای احداث

روش احداث موج شکنها به نوع سازه، شرایط پی، شرایط اقلیمی و برخی عوامل دیگر بستگی دارد. برای توضیحات بیشتر در مورد روشهای احداث موج شکنها به مراجعی نظیر [۱۴] و [۱۵] مراجعه شود.

۷-۴-۲-۹ آسیب و نگهداری سازه

به علت طبیعت متغیر و غیر قابل پیش بینی نیروهای موج که به یک موج شکن وارد می شوند، مقدار آسیب معینی طی عمر سازه پذیرفته می شود. بنابراین روش تعمیر را باید در طراحی سازه در نظر گرفت. برخی موج شکنهای توده سنگی قبل از، از دست دادن کارایی خود، می توانند مقدار قابل توجهی آسیب را تحمل کنند. جابه جایی تا حداکثر (۵٪) قطعات آرمور سنگی پیش از نیاز به تعمیر سازه، معمولاً پذیرفته شده است. در مورد موج شکنهای پوشش داده شده با آرمورهای بتنی بسته به میزان درگیری قطعات آرمور، سطح کمتری از آسیب توصیه می شود. در کلیه موارد فوق برای تعمیر سازه به استفاده از جرثقیلهای سنگین نیاز است. همچنین اگر امکان ساخت موج شکن به وسیله شناورها وجود نداشته و یا پرهزینه باشد، باید بر روی موج شکن راه دسترسی دائمی ایجاد کرد.

قابلیت دسترسی و هزینه جابه جایی ماشین آلات و مصالح مناسب برای تعمیر سازه با توجه به ریسک آسیب مورد قبول اهمیت می یابد.

اگر وظیفه موج شکن قائم فقط ایجاد حفاظت لازم در مقابل موج باشد، حرکت محدود آن قابل قبول است. البته اگر سازه های دیگری به موج شکن متصل شوند، این مقدار حرکت گاهی قابل قبول نیست. برای جلوگیری از خرابی بیشتر سازه باید آسیب وارد به اتصالات بین صندوقچه ها را در کوتاه ترین زمان ممکن تعمیر کرد. این آسیب گاهی در اثر حرکت صندوقچه ها یا سایر علل رخ می دهد.

آسیب جدی پی توده سنگی یک موج شکن مرکب گاهی به ویرانی سازه فوقانی و تخریب کل موج شکن منجر می شود.



موج شکنهای

توده سنگی

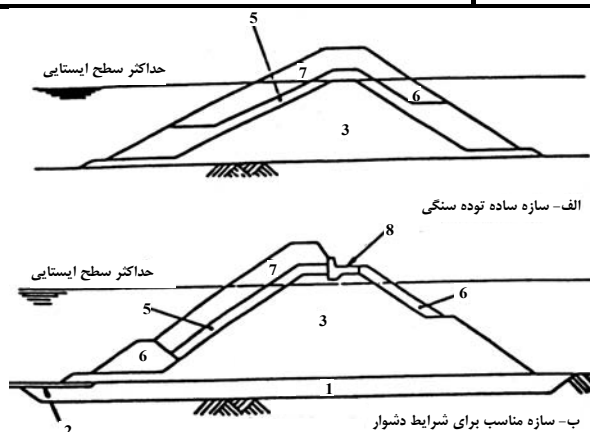
◀◀ ۱-۸ کلیات

جزئیات طراحی موج‌شکنهای توده سنگی در این فصل مورد بحث قرار می‌گیرد. همچنین توضیحاتی درباره قسمتهای مختلف موج‌شکن و نحوه طراحی یک مقطع عرضی مناسب با هدف تأمین اهداف طرح ارایه می‌گردد.

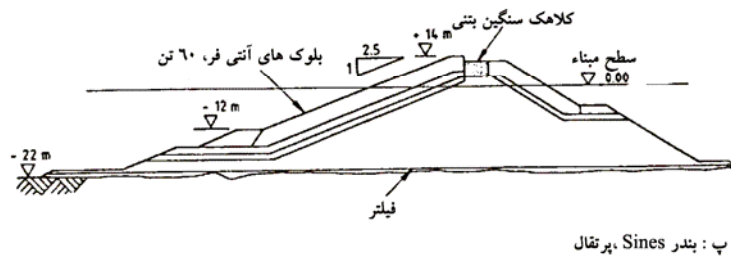
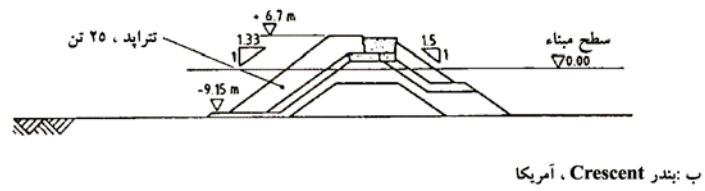
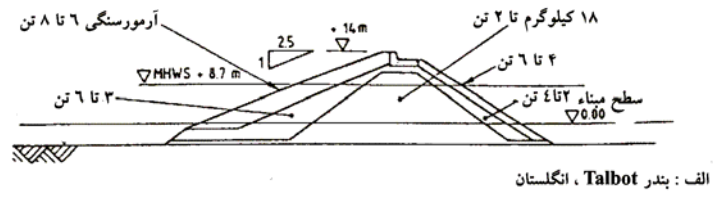
تأثیر متقابل اجزای مختلف موج‌شکن در یکدیگر اهمیت دارد. بنابراین اجزای سازه باید به طور متوالی طراحی شده و اثر آنها بر روی کل مقطع عرضی مورد بررسی قرار گیرد. آنگاه راه حل بهینه برای مکان و شرایط خاص ارایه شود.

اجزا و وظایف موج‌شکنهای توده سنگی سنتی معمولی در شکل ۱-۸ نشان داده شده است. نحوه طراحی اجزای مختلف سازه در زیربخشهای متوالی این فصل توضیح داده می‌شود. برخی مقاطع عرضی موج‌شکنهای توده سنگی ساخته شده در جهان در شکل ۲-۸ نشان داده شده‌اند. شایان ذکر است که این اشکال تنها به عنوان نمونه ارایه شده‌اند و طراح می‌تواند از مقاطع عرضی قابل قبول دیگر نیز استفاده نماید.

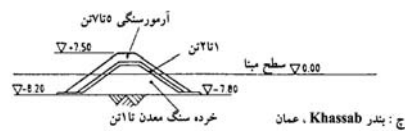
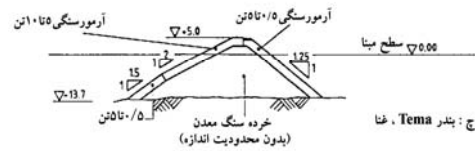
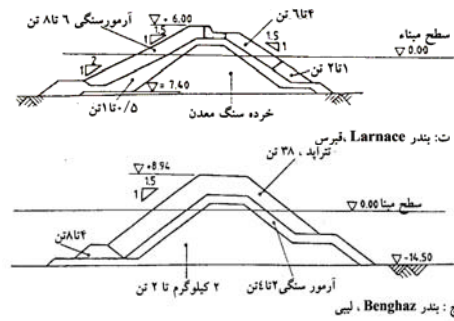
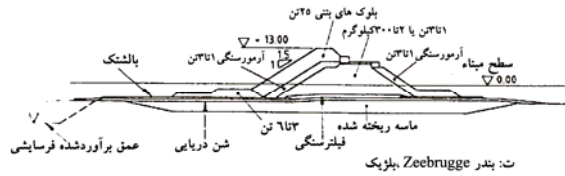
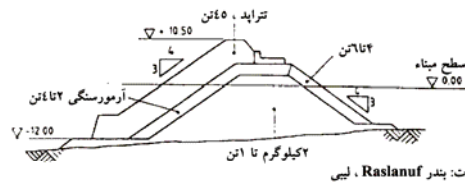
وظیفه	جزء
تأمین پایداری سازه توده سنگی	۱- اصلاح پی (در صورت نیاز)
جلوگیری از فرسایش	۲- کف بند حفاظتی در مقابل آبشستگی
تأمین حجم عمده‌ای از موج‌شکن و کاهش عبور موج	۳- هسته
پشتیبانی آرمور اصلی	۴- سازه سنگریزه‌ای پنجه
نگهداری مصالح هسته و تأمین اساس برای لایه آرمور	۵- زیرلایه
حفاظت از هسته در مقابل امواج در حال سرریزی و تأمین حفاظت لازم در مقابل موج داخل بندر	۶- آرمور وجه پشت
حفاظت سازه در مقابل موج	۷- آرمور اصلی
تأمین راه دسترسی و کاهش سرریزی (پاشنه برای جلوگیری از تخریب سازه تاج در مقابل لغزش)	۸- سازه بتنی تاج (همراه با پاشنه)



شکل ۸-۱ اجزا و وظایف موج‌شکنهای توده سنگی معمولی



شکل ۸-۲ نمونه‌هایی از موج شکنهای توده سنگی دارای زیر لایه



ادامه شکل ۸-۲ نمونه‌هایی از موج شکنهای توده سنگی دارای زیر لایه

۸-۲ طرح کلی

۸-۲-۱ پارامترهای حاکم در طراحی موج شکنهای توده سنگی

به طور کلی پارامترهای حاکم در طراحی موج شکنهای توده سنگی به چهار دسته زیر تقسیم می‌شوند:

الف- پارامترهای مربوط به موج

ب- پارامترهای هیدرولیکی

ج- پارامترهای سازه‌ای

د- پارامترهای ژئوتکنیکی

الف: پارامترهای مربوط به موج

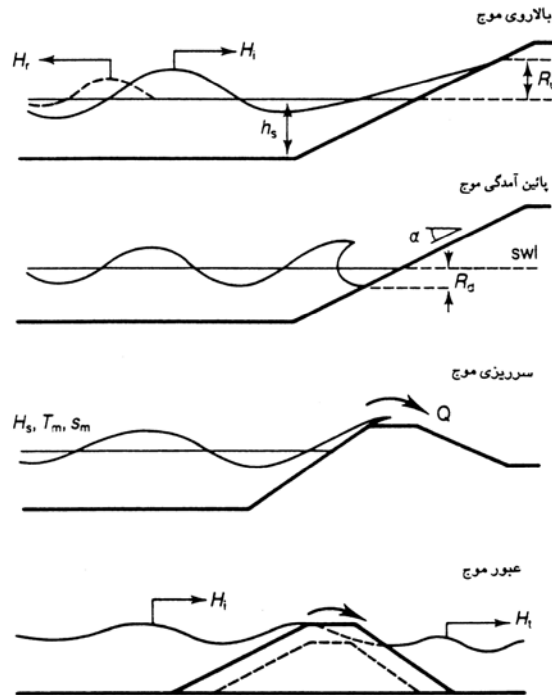
از جمله پارامترهای مربوط به موج (پارامترهای محیطی) می‌توان به عواملی نظیر ارتفاع موج منتشره در پای سازه، پریود میانگین یا اوج موج، زاویه انتشار موج و عمق آب اشاره کرد.

ب: پارامترهای هیدرولیکی

پارامترهای هیدرولیکی شامل بالاروی و پایین آمدگی موج، سرریزی موج عبور یا انتقال موج و انعکاس موج از سازه می‌شوند. برخی پارامترهای هیدرولیکی حاکم در طراحی موج شکنها در شکل ۸-۳ نشان داده شده‌اند.

عملکرد موج بر روی سازه توده سنگی موجب نوسان آب در محدوده قائمی می‌شود که معمولاً بیش از ارتفاع موج منتشره است. ترازهای حدی که در هر برخورد موج حاصل می‌شوند، بالاروی R_u و پایین آمدگی موج R_d نامیده می‌شوند. این ترازها نسبت به سطح ایستابی تعریف شده و از جمله پارامترهای مهم طراحی هستند.

تراز بالاروی موج برای تعیین تراز تاج سازه، حد فوقانی حفاظت و سایر اجزای سازه‌ای و یا به عنوان معیاری برای تعیین میزان دبی سرریزی موج و یا عبور محتمل موج مورد استفاده قرار می‌گیرد. تراز پایین آمدگی موج برای تعیین میزان ادامه لایه حفاظتی آرمور در پایین سازه و یا تعیین تراز سکوی پنجه به کار برده می‌شود.



شکل ۸-۳ پارامترهای هیدرولیکی حاکم

اگر تراز حدی بالاروی موج از تراز تاج تجاوز نماید، آنگاه موج از روی سازه سرریز خواهد کرد. این حالت ممکن است برای تعداد کمی از امواج، تحت شرایط معین طرح رخ دهد. گاهی دبی کم سرریزی در صورت نداشتن پیامد وخیم برای سازه و ناحیه حفاظت شده توسط آن مجاز است. معمولاً موج شکنها و دیوارهای دریایی بر اساس مجاز بودن مقدار کمی دبی سرریزی تحت شرایط حدی موج طراحی می‌شوند. بنابراین مسئله اصلی طراحی، تعیین هندسه مقطع عرضی به نحوی است که دبی میانگین سرریزی تحت شرایط طرح از حد قابل قبولی کمتر باشد. Owen پارامتر بدون بعد دبی میانگین سرریزی Q را به صورت زیر تعریف کرد:

$$Q = \frac{q}{(g H_s^3)^{1/2}} \left(\frac{s}{2\pi} \right)^{1/2} \quad (6)$$

در رابطه فوق q دبی میانگین سرریزی، g ثابت گرانش، H_s ارتفاع عمده موج و s تیزی موج هستند. تیزی موج از رابطه $s = H/L$ تعیین می‌شود. همچنین متغیرهای H و L به ترتیب، ارتفاع و طول موج هستند.

دو نوع عبور موج در سازه‌های توده سنگی مطرح است، نخست عبور موج در اثر سرریزی سازه و دوم عبور امواج و پرپود بلند از میان سازه نفوذپذیر. البته در برخی حالات هر دو نوع واکنش فوق ترکیب می‌شوند. تعیین میزان عبور موج در طراحی موج شکنهای تاج کوتاه که به منظور حفاظت سواحل احداث می‌شوند، و یا طراحی موج شکنهای مورد استفاده در بنادر که در آنها عبور امواج پرپود بلند موجب حرکت کشتیها در پشت آنها می‌شوند، اهمیت دارد.

شدت عبور موج به وسیله ضریب عبور موج C_t بیان می‌شود. این ضریب عبارت است از:

$$C_t = H_t / H_i = \sqrt{E_t / E_i} \quad (7)$$

متغیرهای H_t و H_i در رابطه فوق به ترتیب ارتفاعهای موج عبور کرده از سازه و منتشره هستند. همچنین متغیرهای E_t و E_i به ترتیب انرژیهای کل امواج عبور کرده و منتشره هستند. در مورد موج شکنهای قائم، موج از میان سازه عبور نکرده و فقط انتقال موج در اثر عمل سرریزی موج اهمیت دارد.

کلیه سازه‌های ساحلی، بخشی از انرژی موج تابشی را منعکس می‌کنند. این پدیده با ضریب انعکاس موج C_r تبیین شده و به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$C_r = H_r / H_i = \sqrt{E_r / E_i} \quad (8)$$

متغیرهای H_r و E_r در رابطه فوق به ترتیب ارتفاع و انرژی کل موج بازتابی هستند.

انعکاس موج در بنادر تجاری و بنادر قایقهای کوچک اهمیت دارد. اندرکنش امواج منتشره و بازتابی اغلب به وضعیت پیچیده‌ای در جلوی سازه منجر می‌شود. به علاوه امواج انعکاس یافته به درون مناطقی از بندر که قبلاً به وسیله موج شکنها در مقابل موج محافظت شده بودند، انتشار می‌یابند. نتیجه اینکه سرعتهای مداری حداکثر شده و احتمال حرکت مصالح ساحلی افزایش می‌یابد. همچنین انعکاس حاصل

از برخورد امواج مورب به سازه موجب افزایش جریانهای موازی ساحل شده و نرخ انتقال رسوب محلی را افزایش می‌دهد.

ج: پارامترهای سازه‌ای

پارامترهای سازه‌ای به چهار دسته تقسیم می‌شوند:

- پارامترهای سازه‌ای مربوط به امواج
- پارامترهای سازه‌ای مربوط به سنگ
- پارامترهای سازه‌ای مربوط به مقطع عرضی سازه
- پارامترهای سازه‌ای مربوط به واکنش سازه

پارامتر $H/\Delta D$ که در زیربخش ۶-۲-۱ توضیح داده شد، یکی از پارامترهای مهم سازه‌ای مربوط به امواج است. ارتفاع موج مورد استفاده در این رابطه معمولاً ارتفاع عمده موج، H_S است. ارتفاع عمده موج به وسیله متوسط یک سوم مرتفع‌ترین امواج یا $4\sqrt{m_0}$ تعریف می‌شود. البته در رابطه اخیر m_0 گشتاور مرتبه صفر طیف چگالی انرژی موج است. برای آب عمیق هر دو تعریف فوق مقادیر تقریباً یکسانی را به دست می‌دهند، در حالی که شاید در شرایط آب کم عمق تفاوت‌های قابل توجهی وجود داشته باشد. چگالی شناوری نسبی با رابطه زیر بیان می‌شود.

$$\Delta = \frac{\rho_a}{\rho} - 1 \quad (9)$$

طوری که در رابطه فوق ρ_a جرم مخصوص قطعه آرمور و ρ جرم مخصوص آب هستند. قطر مورد استفاده در پارامتر $H/\Delta D$ همان قطر مربوط به جرم متوسط سنگ است که قطر اسمی خوانده می‌شود. قطر اسمی سنگ از رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$D_{n50} = (M_{50} / \rho_a)^{1/3} \quad (10)$$

D_{n50} قطر اسمی سنگ یا قطعه بتنی آرمور

M_{50} جرم میانگین قطعه آرمور است که با مقدار (۵۰٪) در منحنی توزیع جرم تعیین می‌شود.

مهم‌ترین پارامتر مربوط به سنگ، قطر اسمی تعریف شده در معادله فوق است. همچنین دانه‌بندی سنگ با پارامتر D_{85}/D_{15} بیان می‌شود. طوری که D_{85} و D_{15} به ترتیب عبارت از (۸۵٪) و (۱۵٪) مقادیر منحنیهای دانه‌بندی هستند.

پارامترهای مربوط به مقطع عرضی، متعدد هستند. پارامترهای مورد نظر در شکل ۴-۸ نشان داده شده‌اند. این پارامترها عبارتند از:

R_c - ارتفاع آزاد تاج نسبت به سطح ایستابی

A_c - ارتفاع آزاد تاج آرمور نسبت به سطح ایستابی

F_c - اختلاف تراز بین دیواره تاج و تاج آرمور

d_c - تراز تاج آرمور نسبت به بستر دریا

B - عرض سازه

G_c - عرض سکوی آرمور در تاج

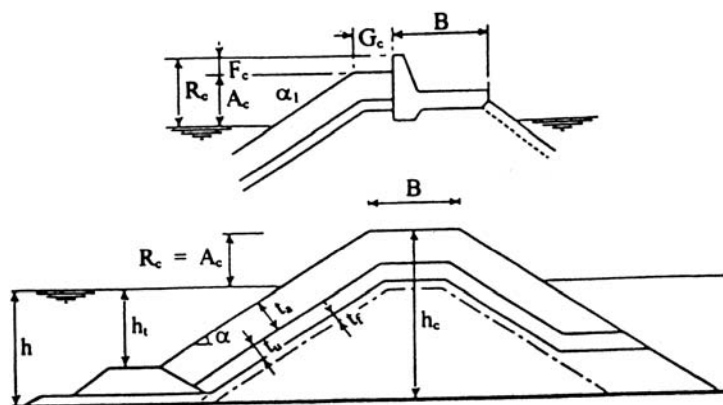
t_u, t_m, t_a - به ترتیب ضخامت‌های آرمور اولیه، آرمور ثانویه و فیلتر

n_a - تخلخل سطحی

α - زاویه شیب سازه

h_t - عمق پنجه در زیر سطح ایستابی

h - عمق آب دریای موج‌شکنی نسبت به سطح ایستابی

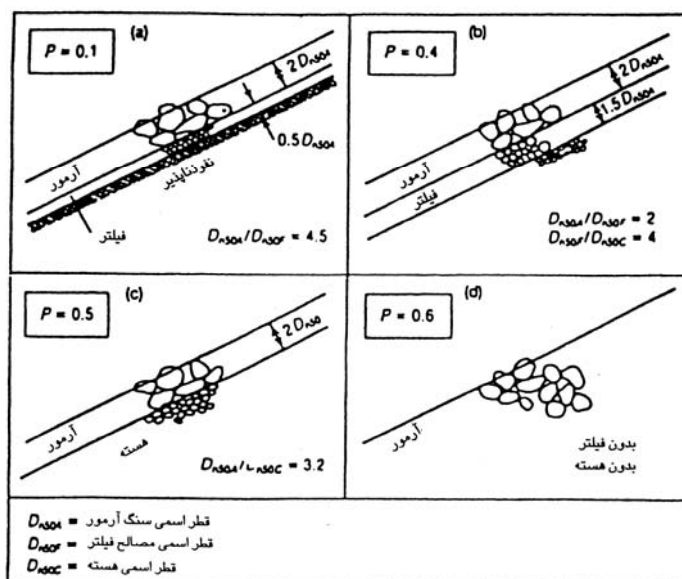


شکل ۴-۸ پارامترهای حاکم مربوط به مقطع عرضی

نفوذپذیری سازه بر روی پایداری لایه آرمور تأثیر دارد. نفوذپذیری به اندازه لایه فیلتر و هسته بستگی داشته و آن را می‌توان در قالب ضریب نفوذپذیری فرضی، p بیان کرد. مقادیر p بر اساس کار Van der Meer [۱۶] در شکل ۸-۵ نشان داده شده‌اند. حد پایینی p به لایه آرمور با ضخامتی معادل دو برابر قطر سنگ که بر روی یک هسته نفوذناپذیر (ماسه‌ای یا رسی) ساخته شده و تنها یک لایه فیلتر نازک دارد، مربوط می‌شود. این مرز پایینی با رابطه $P=0.1$ مشخص می‌شود. حد بالایی p مربوط به سازه‌ای همگن است که تنها شامل سنگهای آرمور می‌گردد. حد بالایی برابر $P=0.6$ است. برای طراحی هر سازه خاص و تخمین ضریب p باید دو حالت فوق و دو حالت دیگر نشان داده شده در شکل ۸-۵ با حالت سازه جدید مقایسه گردد. یکی دیگر از روشهای تعیین ضریب p استفاده از مدلهای عددی است [۱۶]. شایان ذکر است که برای محاسبه وزن سنگهای لایه آرمور اولیه از فرمولهای Van der Meer (زیربخش ۸-۳-۳-۴)، باید ابتدا مقدار ضریب p را تعیین کرد.

پارامترهای سازه‌ای مربوط به واکنش سازه متعدد هستند. از این پارامترها برای توصیف رفتار سازه استفاده می‌شود. سازه‌های پایدار ایستا با معیار آسیب بررسی می‌شوند. اما سازه‌های پایدار پویا با معیار نیمرخ سازه ارزیابی می‌گردند.

پارامترهای ژئوتکنیکی در مجلد دوم آیین‌نامه توضیح داده شده است.



شکل ۸-۵ ضریب نفوذپذیری فرضی p برای سازه‌های مختلف، Van der Meer [۲۳]

۸-۲-۲ عوامل مؤثر در انتخاب مقطع عرضی

در طراحی موج‌شکن توده سنگی باید نکات زیر را رعایت کرد:

الف: کاهش میزان سرریزی و عبور انرژی موج تا حد قابل قبول

ب: تأمین پایداری تحت شدیدترین حمله موج

ج: به کارگیری مصالح سنگی با نفوذپذیری کم در قسمت مرکزی

د: استفاده از سنگهای بزرگتر (نسبت به مصالح هسته) بر روی هسته سازه که اندازه آنها به سمت لایه آرمور اولیه بیشتر می‌شود.

موج‌شکن توده سنگی سنتی معمولاً دارای یک هسته بوده که بر روی آن به ترتیب لایه‌های آرمور

ثانویه و اولیه قرار می‌گیرد. این سه لایه در اشکال ۸-۲-ب و ۸-۲-پ نشان داده شده‌اند.

عوامل اصلی مؤثر در طراحی مقطع عرضی، نوع و شیب لایه آرمور سمت دریا و همچنین ارتفاع و

عرض تاج موج‌شکن است. مقطع عرضی قابل قبول باید برای شرایط پی موجود مناسب بوده و امکان

احداث آن به طور متوالی وجود داشته باشد. در طراحی مقطع عرضی باید احتمال نشست سازه در نظر گرفته شود. همچنین در تعیین ابعاد مقطع عرضی باید توجه داشت که گاهی نیمرخ اجرا شده دقیقاً بر نیمرخ طراحی شده منطبق نیست.

اندازه حداکثر سنگ آرمور که از نظر اقتصادی نیز مقرون به صرفه باشد، مهم‌ترین عامل در انتخاب بین سنگ و قطعات آرمور بتنی برای لایه آرمور اولیه است. اندازه سنگ، ضخامت لایه آرمور و شیب سازه به موج طرح بستگی دارند.

نوع و شیب لایه آرمور امکان محاسبه میزان بالاروی موج مطابق توضیحات زیربخش ۸-۲-۳ را فراهم می‌کنند. با دانستن میزان بالاروی موج و در نتیجه سرریزی، می‌توان بین مسلح کردن تاج با آرمورهای سنگی یا بتنی و به‌کارگیری یک سازه تاج یکی را انتخاب کرد.

سطح فوقانی هسته سازه معمولاً در ترازوی نسبت به سطح آب قرار می‌گیرد که امکان عبور و مرور ایمن ماشین‌آلات ساختمانی و اشخاص از روی آن در حین عملیات احداث وجود داشته باشد.

یکی از شرایط تعیین تراز این سطح فوقانی آن است که امکان عبور امواج از آن وجود نداشته و یا میزان آن در حد معینی باشد. عرض هسته با توجه به نوع ماشین‌آلات ساختمانی و وسایل نقلیه‌ای که در حین احداث مورد استفاده قرار می‌گیرند و برخی ملاحظات دیگر نظیر عبور خطوط لوله، تأسیسات و سایر موارد تعیین می‌شود. در صورت استفاده از تجهیزات شناور برای ساخت موج‌شکن می‌توان ارتفاع و عرض هسته را کاهش داد (به زیربخش ۸-۱۲ مراجعه شود).

تعیین میزان سرریزی قابل قبول از تاج سازه و تصمیم‌گیری درباره استفاده یا عدم استفاده از سازه تاج نیز دو عامل اصلی دیگر در طراحی مقطع عرضی یک موج‌شکن توده سنگی هستند. در چند مقطع عرضی نشان داده شده در شکل ۸-۲ از سازه تاج استفاده شده است. از این سازه همچنین می‌توان برای تأمین راه دسترسی به اسکله‌ها و بازرسی و نگهداری سازه استفاده کرد.

به علاوه سازه‌های تاج برای محدود کردن میزان بالاروی موج مورد استفاده قرار می‌گیرد (زیربخش ۸-۲-۳) در صورتی که تأمین اهداف فوق مورد نظر نباشد، می‌توان سازه تاج را مطابق اشکال ۸-۲-۳ چ و ۸-۲-۸ خ حذف کرد.

موقعیت سازه تاج نسبت به قسمت فوقانی شیب آرمور اولیه باید به دقت تعیین شود. به همین منظور ساخت سکویی از آرمور ثانویه که آرمور اولیه در جهت رو به ساحل دیواره تاج بر روی آن قرار می‌گیرد، ترجیح داده می‌شود. زیرا این سکو از نیروی وارد بر دیواره می‌کاهد و مقاومت آرمور اولیه را در مقابل تلاطم موج افزایش می‌دهد. نمونه‌هایی از سازه‌های فوق در اشکال ۸-۲-ت و ۸-۲-ث نشان داده شده‌اند.

زاویه طبیعی قرارگیری مصالح هسته معمولاً از شیب مورد نیاز برای لایه آرمور اولیه تندتر است. این اختلاف در مورد شیبهای ملایم آرمور گاهی مشخص‌تر است.

عملکرد موج در مدت زمان ساخت سازه می‌تواند در ملایم شدن شیب تند سازه مفید باشد. لیکن در این صورت برای تأمین شیب بیرونی سازه مطابق مقدار مشخص شده در طرح اغلب به شکل‌دهی مجدد نیاز است. اختلاف شیب مزبور را همچنین می‌توان با قرار دادن مصالح اضافی در هسته برای ایجاد یک یا چند سکو، یا تغییر دادن ضخامت زیر لایه مطابق اشکال ۸-۲-الف و ۸-۲-ج رفع کرد.

در مجموع، راه‌های مختلفی برای حل مسئله فوق وجود دارد. بهترین راه حل با توجه به شرایط محل ساخت سازه، نوع مصالح در دسترس و برنامه اجرایی انتخاب می‌شود.

طراحی مقطع عرضی به نحوی که از وسیع‌ترین محدوده سنگهای استخراج شده از معدن بتوان در ساخت آن استفاده کرد از نظر اقتصادی اهمیت دارد. پس از مشخص کردن ابعاد سنگهای قابل استفاده در ساخت لایه‌های آرمور اولیه و ثانویه معمولاً حجمی از سنگ با اندازه متوسط بین دو مقدار فوق برجای می‌ماند. از این مصالح می‌توان در موارد زیر استفاده کرد:

الف: آرمور مستقر شده بر روی وجه زیرین، در زیر سطحی که لایه آرمور اولیه خاتمه می‌یابد.

ب: پنجه مستقر بر روی تراز بستر، که به همراه یک زیرلایه مناسب ساخته شده است.

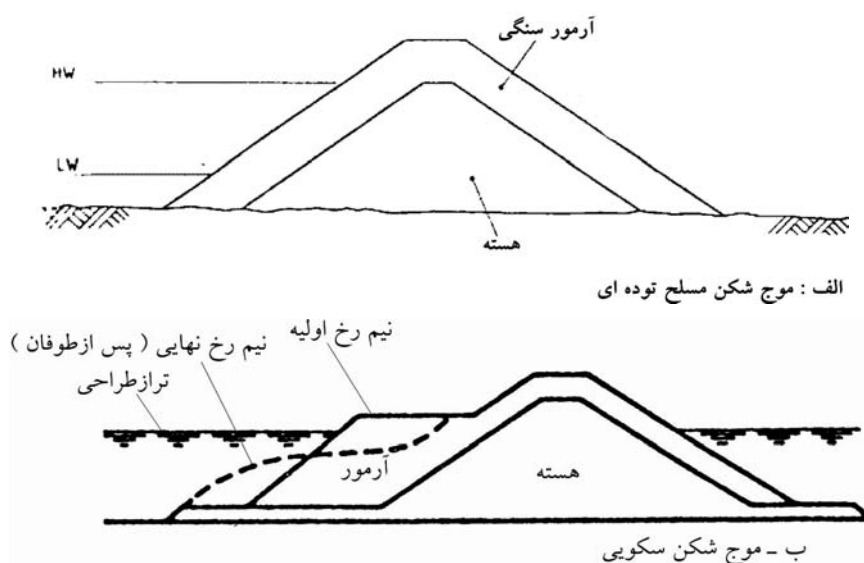
ج: آرمور مستقر شده بر روی بخشی از وجه پشت سازه

همچنین از مصالح با اندازه متوسط فوق می‌توان در مواقع متغیر بودن مقطع عرضی (با توجه به افزایش عمق آب از ساحل به سوی دریا) یا در مواقعی که به علت نحوه قرارگیری خطوط تراز بستر در فراساحل بخشهایی از موج‌شکن کمتر از سایر قسمتها در معرض حمله امواج هستند، استفاده کرد.

در طراحی برخی موج‌شکنهای توده سنگی ساخته شده در سالهای اخیر از زیرلایه استفاده نشده است. این طرحها به صورت زیر بوده‌اند:

- ۱- استقرار یک لایه سنگ آرمور بر روی هسته و ایجاد یک سازه نفوذپذیر
- ۲- استفاده از یک هسته محافظت شده به وسیله یک لایه ضخیم آرمور اولیه که در ساخت آن از سنگهای نسبتاً کوچک استفاده شده است. لایه آرمور اولیه پس از برخورد امواج به صورت حرف S تغییر شکل می‌دهد. موج‌شکنهای فوق در شکل ۸-۶ نشان داده شده‌اند. شایان ذکر است که به موج‌شکنهایی که نیمرخ آنها در اثر برخورد امواج دچار تغییر شکل شوند، موج‌شکنهای شکل‌پذیر، توده سنگی غیر سنتی یا S شکل می‌گویند. موج‌شکنهای مسلح توده‌ای و موج‌شکنهای سکویی دو نوع موج‌شکن شکل‌پذیر هستند. این نوع موج‌شکنها در زیربخش ۸-۹ مورد بحث قرار خواهند گرفت.

نیمرخ موج‌شکن معمولاً در قسمت انتهایی رو به دریای سازه یعنی در محل پوزه یا رأس موج‌شکن تغییر می‌کند (به زیربخش ۸-۸ مراجعه شود). مقطع عرضی موج‌شکن در محل نقاط خاص دیگر نظیر خمها نیز تغییر می‌کند.



شکل ۸-۶ نمونه‌هایی از موج‌شکنهای توده سنگی بدون زیرلایه (موج‌شکنهای شکل‌پذیر)

◀ ۸-۲-۳ بالاروی، پایین‌آمدگی و سرریزی موج

مقادیر بالاروی R_u و پایین‌آمدگی موج R_d را می‌توان با استفاده از روابط ساده تجربی، که خود از نتایج آزمایشهای مدل فیزیکی حاصل شده‌اند، و یا مدل‌های عددی واکنش موج - سازه برآورد کرد. مدل‌های عددی یک بعدی بالاروی موج توسط Kobayashi و Wurjanto [۱۷ و ۱۸]، Van Gent [۱۹] و Engering و همکاران وی [۲۰] تهیه شده‌اند. یک مدل دو بعدی نیز توسط Van der Meer و همکارانش [۲۱] تهیه شده است. بیشتر داده‌های میدانی موجود بالاروی و پایین‌آمدگی موج، در مورد شیبه‌های ملایم و هموار کاربرد دارند.

همچنین برخی اندازه‌گیریهای آزمایشگاهی بر روی شیبه‌های هموار تند و شیبه‌های مسلح متخلخل انجام شده‌اند.

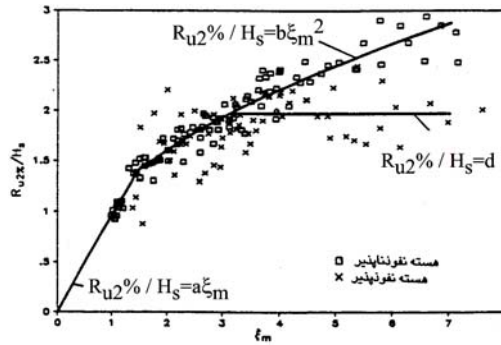
فرمولها و منحنیهای طراحی مربوط به محاسبه مقادیر بالاروی موج توسط برخی محققین از جمله vander Meer, De waal [۲۲] مرور شده‌اند. این روابط و منحنیها در مراجع [۱۱ و ۲۳] ارایه شده‌اند. دو مجموعه فرمول تجربی برای محاسبه بالاروی موج بر روی شیبه‌های توده سنگی در مراجع [۱۱ و ۲۳] ارایه شده است. نخستین مجموعه، بالاروی موج را بر حسب پارامتر موج‌شکنا به دست می‌دهد. پارامتر موج‌شکنا به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\xi = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{H_i / L_o}} \quad (11)$$

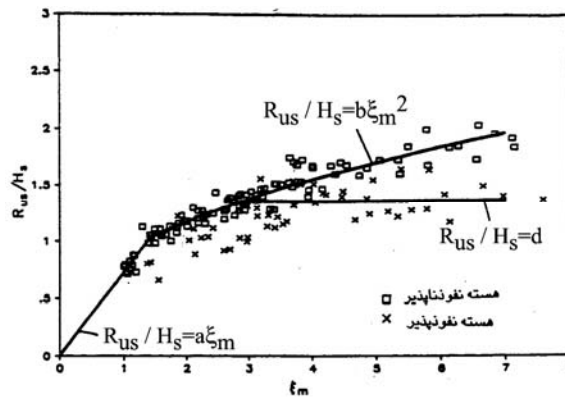
در رابطه فوق α شیب سازه، H_i ارتفاع موج منتشره و L_o طول موج ژرفاب هستند. دومین مجموعه، بالاروی را بر اساس توزیع ویبول تعیین می‌کند که شامل کلیه ترازهای ممکنه بالاروی می‌شود.

ترازهای پایین‌آمدگی موج بر روی شیبه‌های متخلخل تحت تأثیر نفوذپذیری سازه و پارامتر موج‌شکنا قرار می‌گیرند. رابطه پایین‌آمدگی موج در مرجع [۱۱ و ۲۳] ارایه شده است.

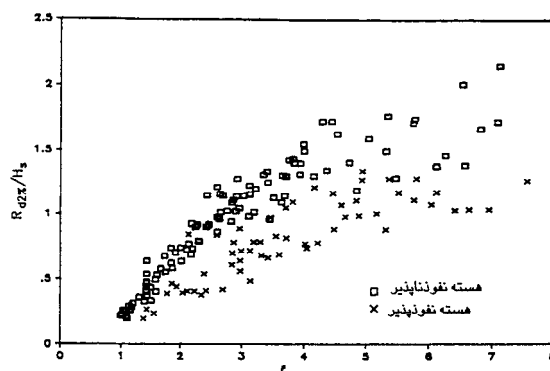
نتایج آزمایشهای مدل فیزیکی و معادلات برآورد مقادیر بالاروی موج برای سطوح تجاوز "عمده و $i=2\%$ " در اشکال ۷-۸ و ۸-۸ نشان داده شده‌اند. همچنین نتایج آزمایشهای مربوط به ترازهای پایین آمدگی موج در شکل ۹-۸ نشان داده شده‌اند.



شکل ۷-۸ بالاروی نسبی (۲٪) از شیبهای سنگی



شکل ۸-۸ بالاروی نسبی عمده از شیبهای سنگی



شکل ۸-۹ پایین روی نسبی موج (R_{d2z}/H_s) از شبیه‌های سنگی نفوذناپذیر و نفوذپذیر

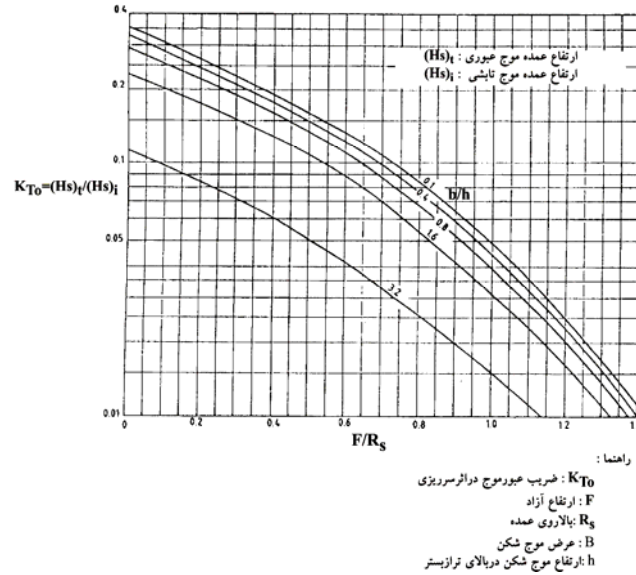
روابط و منحنیهای تعیین مقادیر سرریزی موج از شبیه‌های یکنواخت، سکویی ناهموار، تاج کوتاه و تاج بلند برای امواج شکنا از نوع چرخان و ناشکنا در مراجع [۱۱ و ۲۳] ارایه شده‌اند. نتایج آزمایشهای مدل هیدرولیکی با استفاده از امواج نامنظم برای تعیین دبی سرریزی امواج نامنظم از نیمرخهای مختلف دیوارهای دریایی نفوذناپذیر توسط Owen [۲۴] ارایه شده است. از این نتایج می‌توان برای محاسبه مقادیر سرریزی موج از موج‌شکنهای توده سنگی در آب کم‌عمق در صورت شکست امواج بر روی سازه استفاده کرد.

همچنین نتایج برخی آزمایشهای مدل هیدرولیکی بر روی دیوارهای دریایی توسط Jensen و Bradbury [۲۵]، Sorensen [۲۵]، Bradbury و همکاران وی [۱] و Bradbury و Allsop [۲۶] ارایه شده‌اند.

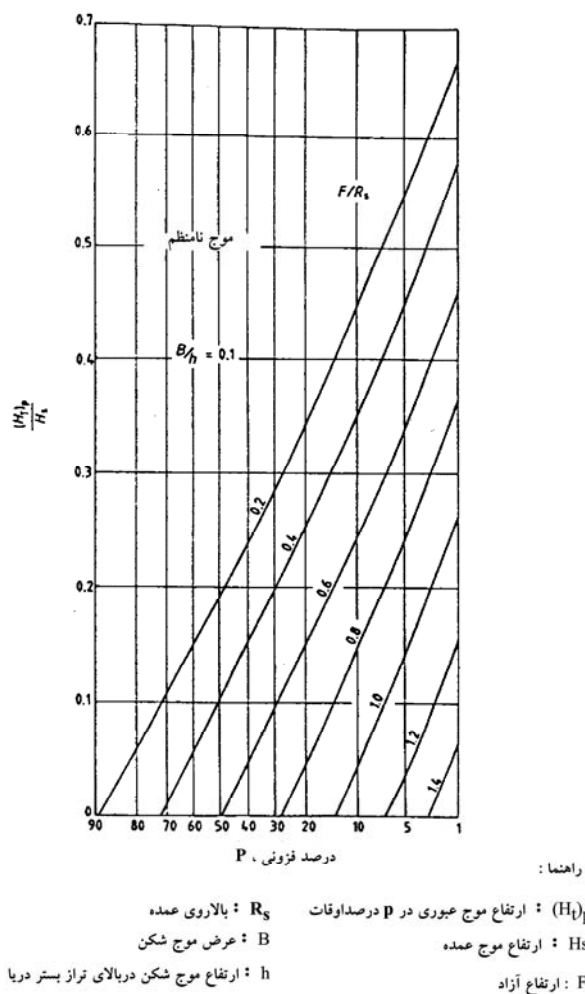
۸-۲-۴ عبور و انعکاس موج

گاهی در اثر سرریزی موج، بخشی از انرژی آن به پشت موج‌شکن منتقل می‌شود. برای محاسبه ضریب عبور موج در اثر سرریزی می‌توان از منحنیهای ارایه شده توسط Powell و Allsop [۲۷] استفاده کرد. این منحنیها در اشکال ۸-۱۰ و ۸-۱۱ نشان داده شده‌اند. همچنین Van der Meer [۲۸] با استفاده از نتایج آزمایشها مدل هیدرولیکی انجام شده توسط Seelig [۲۹]، Powell و Allsop [۲۷]، Kahle و Daemrich [۳۰] و Ahrens [۳۱] و Van der Meer [۱۶] روش واحدی را برای محاسبه

ضریب عبور موج در اثر سرریزی ارایه کرد. این روش و معادلات آن در مراجع [۱۱ و ۲۳] ارایه شده‌اند. نتایج معادلات به دست آمده توسط Van der Meer [۲۳] در شکل ۸-۱۲ نشان داده شده است.



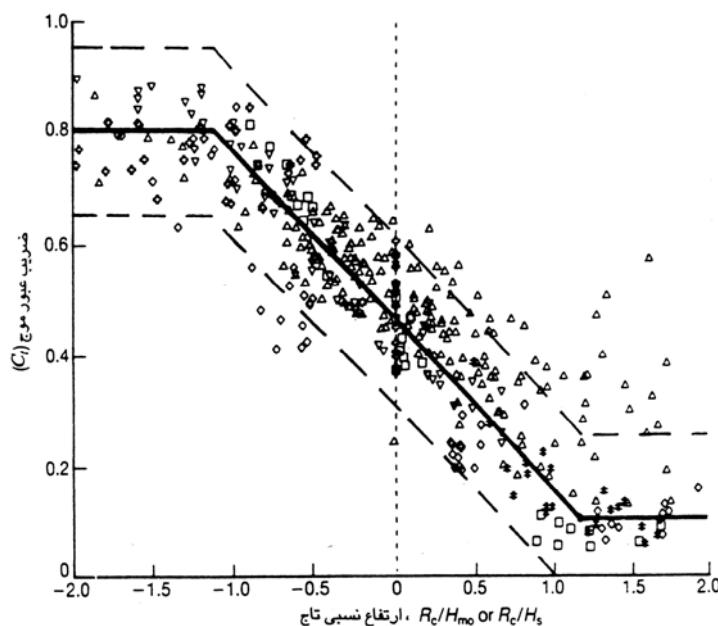
شکل ۸-۱۰ ارتفاع موج عبور کرده در اثر سرریزی نسبت به ارتفاع آزاد سازه توده سنگی



شکل ۸-۱۱ ارتفاع موج عبور کرده در اثر سرریزی به صورت تابعی از درصد فزونی

ضرایب انعکاس موج از موج شکنهای توده سنگی را می توان از روابط ارائه شده توسط Seelig [۳۲] محاسبه کرد. البته Postma [۳۳]، Allsop و Channell [۳۴]، Seelig و Ahrens [۳۵] و چگینی، آق تومان و صقری [۳۶] نیز روابطی برای تعیین ضریب انعکاس موج از سازه های توده سنگی شیب دار ارائه کرده اند.

برای محاسبه اولیه ضرایب بالاروی، پایین آمدگی، سرریزی، عبور و انعکاس موج از موج‌شکنهای توده سنگی می‌توان از راهنماییهای ارائه شده در این بخش استفاده کرد. البته در طراحی نهایی انجام آزمایشها مدل هیدرولیکی با استفاده از امواج نامنظم **Irregular waves** ضرورت دارد (به زیربخش ۹-۳-۷ مراجعه شود).



شکل ۸-۱۲ عبور موج از روی تاج و از میان سازه‌های تاج کوتاه

◀ ۸-۲-۵ پایداری کلی

پایداری کلی یک موج‌شکن توده سنگی به نوع سازه و پی آن، شیب سازه، نوع آرمور و همچنین به اثرات بارهای استاتیکی و دینامیکی بستگی دارد. بارهای دینامیکی به وسیله زلزله و یا موج به وجود می‌آیند. اثرات این بارها تحت تأثیر تغییرات بلندمدت سازه و پی آن، نظیر نشست یا آب‌شستگی بستر دریا قرار می‌گیرند. این تغییرات و فشار منفذی در موج‌شکن توده سنگی و خاک زیر آن احتمالاً مهم‌ترین عوامل در پایداری کلی سازه هستند. البته اثرات مزبور هنوز به طور کامل مورد بررسی قرار نگرفته‌اند. به

عنوان مثال افزایش فشار منفذی موجب کاهش قابل قبول توجه زاویه اصطکاک بین ذرات و در نتیجه کاهش پایداری شیب می‌شود.

طریقه‌های تخریب موج‌شکنهای توده سنگی در شکل ۱۰-۲ نشان داده شده‌اند.

نشست پی موجب تغییر شکل کل سازه می‌شود. این پدیده گاهی موجب شکسته شدن برخی انواع قطعات آرمور و تخریب لایه آرمور می‌شود. نشست پی حتی در صورت برجا نگذاشتن اثرات منفی بر روی سازه، موجب افزایش نیروهای موج بر روی سازه تاج و میزان سرریزی می‌شود.

هسته سازه محتوی مصالح ریزدانه است. بنابراین گاهی پدیده فرو نشستن به علت ایجاد فشار منفذی ناشی از موج در هسته موج‌شکن رخ می‌دهد. این مطلب خصوصاً در مورد امواج پریود بلند صادق است. اگر چه روش طراحی اثبات شده‌ای در رابطه با موضوع فوق وجود ندارد، اما پدیده را می‌توان با روش ارایه شده از سوی **Barends** [۳۷] بررسی کرد. همچنین **Allsop** و **Wood** [۳۸] مطالعاتی در رابطه با موضوع فوق انجام داده‌اند.

تاکنون بیشتر آزمایشهای مدل فیزیکی با استفاده از محدوده کمی از نفوذپذیری سازه انجام شده‌اند. این آزمایشها نشان داده‌اند که با افزایش نفوذپذیری هسته، پایداری سازه افزایش می‌یابد [۳۹ تا ۴۵]. پایداری آرمور در مقابل لغزش بر روی زیر لایه به ضریب اصطکاک بین لایه‌ها بستگی دارد. این پایداری در صورت بزرگتر بودن نسبت اندازه سنگ زیر لایه به اندازه سنگ آرمور افزایش می‌یابد [۴۶]. نتایج تحقیقات اخیر درباره اثر سایر عوامل بر مقاومت برشی سنگهای آرمور توسط **Barton** و **Barton** [۴۷] و **Charles** و **Soares** [۴۸] ارایه شده‌اند.

احتمال وقوع ناگهانی ناپایداری ژئوتکنیکی شیبهای موج‌شکن تحت عملکرد موج، کم است. زیرا فشارهای منفذی فقط در شرایط بحرانی به اندازه کافی زیاد هستند. این شرایط نیز طی مدت زمان کوتاهی در هر پریود موج رخ می‌دهد.

در صورتی که از مصالح پر کننده در پشت موج‌شکن استفاده شود، اثرات بارهای حاصله در سازه باید در محاسبات پایداری به حساب آورده شود.

◀ ۳-۸ طراحی آرمور

◀ ۱-۳-۸ کلیات

لایه آرمور احتمالاً مهم‌ترین قسمت یک موج‌شکن توده سنگی است. زیرا وارد آمدن آسیب یا تخریب آن می‌تواند به تخریب سایر قسمت‌های سازه منتهی شود. لایه آرمور تأثیر مهمی بر روی ضرایب انعکاس موج از سازه و مقادیر سطوح بالاروی و دبی سرریزی موج از سازه دارد. این عوامل در طراحی جزییات پنجه، زیر لایه‌ها و تاج موج‌شکن تأثیر دارند. لایه آرمور همچنین عامل تعیین کننده در انتخاب ظرفیت جرثقیل برای احداث سازه است. نحوه کاربرد، محدودیتها و روشهای طراحی موجود برای سنگ و آرمور بتنی در ادامه توضیح داده می‌شوند.

◀ ۲-۳-۸ آرمور سنگی

استفاده از آرمور سنگی به وسیله بزرگترین اندازه سنگی که با توجه به ملاحظات اقتصادی قابل تولید است، محدود می‌شود. اگر چه حداکثر وزن سنگ قابل استحصال در معدن معمولاً بین ۱۰ تا ۱۵ تن است، اما این میزان با توجه به نوع سازنده‌های سنگی در بسیاری از مواقع از مقادیر فوق بسیار کمتر است. طوری که برای دستیابی به درصد کمی از سنگهای با وزن زیاد باید عملیات استخراج گسترده‌ای صورت گیرد. اگر چه اندازه سنگ مورد نیاز را می‌توان با به‌کارگیری شیبه‌های ملایم‌تر کاهش داد، اما آنگاه برای هسته، زیرلایه و لایه آرمور به مقادیر بیشتری سنگ نیاز است. استقرار سنگهای کوچک بر روی یک شیب ملایم گاهی پرهزینه است. گزینه دیگر استفاده از یک شیب تند با ضخامت کافی از مصالح لایه آرمور و پذیرفتن امکان ملایم شدن طبیعی شیب به وسیله برخورد امواج است [۴۹]. اگر انجام چنین ابتکاری وجود داشته باشد، آنگاه سنگها باید قادر به مقاومت در مقابل حرکت منتهجه بدون شکسته شدن باشند (به زیربخش ۸-۹ مراجعه شود). گرد شدن گوشه‌های سنگهای آرمور در اثر سایش نیز می‌تواند موجب کاهش پایداری آرمور گردد.

◀ ۸-۳-۳ قطعات محافظ بتنی

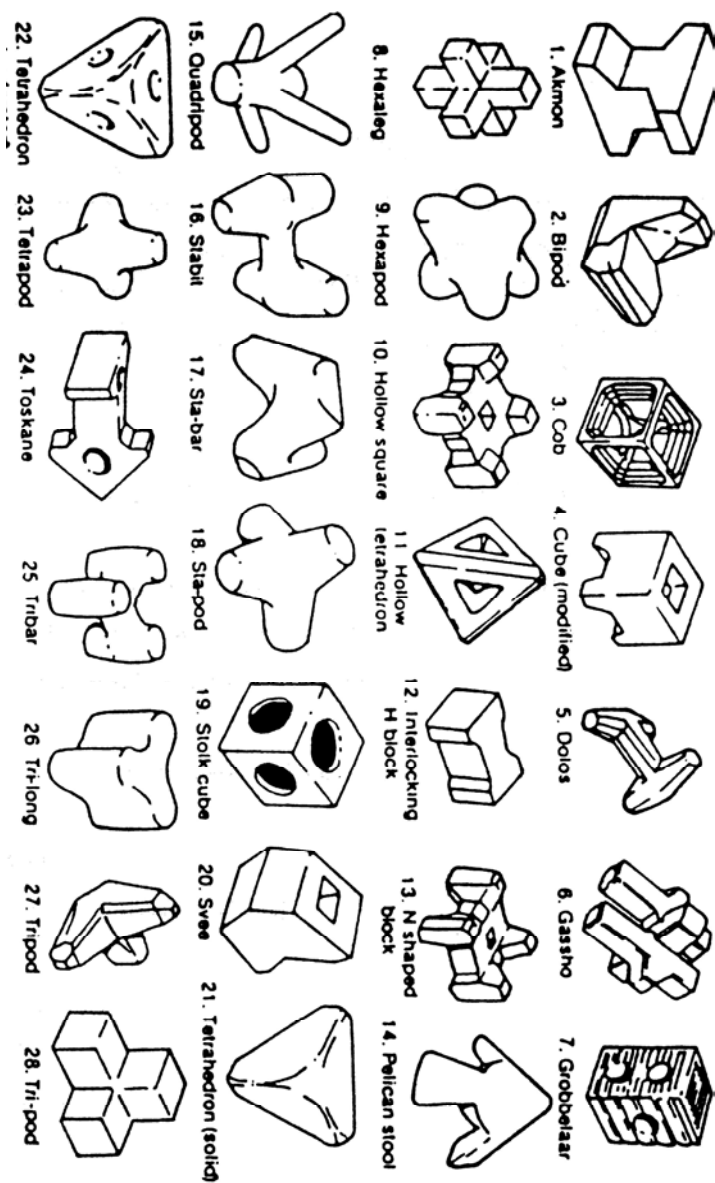
۸-۳-۳-۱ انواع قطعات

اگر چه انواع متنوعی از قطعات محافظ (آرمور) بتنی در کشورهای مختلف ابداع شده‌اند، اما تنها از برخی از آنها در عمل استفاده می‌شود. چند نوع قطعات آرمور بتنی مورد استفاده در موج‌شکنها در شکل ۸-۱۳ نشان داده شده است. به طور کلی آرمورهای بتنی را می‌توان به صورت تصادفی یا منظم بر روی سازه مستقر کرد.

الف: استقرار تصادفی قطعات - اکثر قطعات بتنی به صورت تصادفی بر روی سازه مستقر می‌شوند. این قطعات بتنی معمولاً در دو و گاهی در یک لایه مستقر می‌شوند. از قطعاتی نظیر مکعب، آنتی‌فر، آکروپد، آکمن، تتراپاد، استابیتس و دالاس در این الگوی استقرار استفاده می‌شود. پایداری این قطعات در مقابل موج از وزن قطعه، خاصیت درگیری بین قطعات مجاور و ترکیبی از این دو خصوصیت ناشی می‌شود.

استقرار کلیه قطعات به صورت کاملاً تصادفی دشوار است. طوری که برخی قطعات به خوبی در یکدیگر درگیر نمی‌شوند. همچنین امکان درگیر کردن قطعاتی که پایداری آنها عمدتاً از خاصیت درگیری ناشی می‌شود در حد شرایط طراحی، مگر در شرایط مطلوب داشتن دید کافی در زیر آب و آرام بودن دریا وجود ندارد.

برای دستیابی به پایداری بیشتر و کاهش نیروهای موج، برخی قطعات آرمور پیچیده‌تر بتنی با خاصیت درگیری بالا و با هدف افزایش تخلخل لایه آرمور طراحی شده‌اند. مقادیر معمول درصد تخلخل قطعات بتنی در جدول ۸-۱۱ ارائه شده‌اند. درصد بیشتر تخلخل برای قطعات بتنی موجب استهلاک بیشتر موج و در نتیجه کاهش وزن مورد نیاز قطعه برای دستیابی به پایداری هیدرولیکی در مقایسه با قطعات آرمور سنگین ساده‌تر می‌شود. برای کاهش وزن قطعه آرمور باید قابلیت درگیری بین قطعات آرمور بتنی را افزایش داد.



شکل ۸-۱۳ قطعات آرمور بتنی مورد استفاده در موج شکنها

لغزش سنگها بر روی یکدیگر در اثر برخورد امواج موجب کاهش وزن قطعات آرمور به علت ساییدگی می‌شود. این کاهش وزن که خصوصاً در مورد قطعات با خاصیت درگیری بالا مطرح است، موجب وارد آمدن بارهای ضربه‌ای بین قطعات مجاور می‌شود. در صورت شکسته شدن قطعات، خاصیت درگیری از بین می‌رود. جابه‌جایی قطعات شکسته شده با تحرک بیشتر می‌تواند موجب وارد آمدن ضربات بیشتر و احتمالاً بروز خرابی پیش‌رونده سازه شود.

جدول ۸-۱ مقادیر معمول درصد تخلخل چند نوع آرمور بتنی

درصد تخلخل	نوع قطعه
۳۷	سنگهای ناهموار شکسته که به صورت تصادفی در دو لایه مستقر شده‌اند.
۵۰	تتراپد
۵۲	استاییتس
۶۳	دالاس

ب: استقرار منظم قطعات - قطعات بتنی نظیر کب Cob، شد Shed و لانه‌زنبوری Seabee را می‌توان به صورت منظم قرار داد. پایداری این نوع قطعات به الگوی استقرار، حمایت تأمین شده به وسیله سازه‌های پنجه و تاج و آماده‌سازی زیر لایه بستگی دارد. به این ترتیب قطعات در یک لایه چیده می‌شود تا یک پوشش حفاظتی پیوسته به وجود آید.

برای کسب اطلاعات لازم در مورد قطعات بتنی خاص باید به مراجع ذی‌ربط مراجعه کرد.

برخی راهنماییها در مورد مصالح و تولید قطعات آرمور بتنی در زیربخشهای ۸-۱۱ و ۸-۱۲ ارائه شده‌اند.

آرمورهای بتنی به ندرت با میلگردهای فولادی مسلح می‌شوند. استفاده از الیافهای مصنوعی، ظاهراً می‌تواند موجب کاهش ترک خوردگی قطعات بتنی شود.

۸-۳-۲ اثر اندازه قطعه بر روی مقاومت آن

در طراحی یک قطعه بزرگ بتنی باید به این نکته توجه کرد که مقاومت آن با افزایش اندازه قطعه کاهش می‌یابد. بیشتر تخریبها در مورد سازه‌های ساخته شده با قطعات دارای اشکال پیچیده رخ داده‌اند. قبل از احداث سازه باید در مورد ساخت و استقرار قطعات بتنی بسیار دقت کرد [۵۰].

قطعات آرمور بتنی، تحت بارهای زیر قرار می‌گیرند:

الف: بارهای وارده در حین اجرای سازه - این بارها در حین ساخت، حمل و استقرار قطعات بتنی به آنها وارد می‌شوند. ترکهای حاصل از اعمال تنشهای وارده در حین ساخت قطعه بتنی (مثلاً ترکهای حاصل از خزش یا تنشهای حرارتی در قطعات بزرگ) یا سایر شرایط می‌تواند تا حد زیادی ظرفیت مقاومت قطعه در مقابل بارهای وارده متوالی را کاهش دهد.

ب: بارهای استاتیکی - این بارها از وزن خود قطعه و نیروهای حاصل از خاصیت درگیری بین قطعات، تحمل وزن قطعات فوقانی و فشردگی قطعات در اثر نشست هسته زیر لایه ناشی می‌شود.

ج: بارهای هیدرولیکی - این بارها در اثر شکست موج، بالاروی و پایین‌آمدگی موج به وجود آمده و می‌توانند در اثر تماس بین قطعات از قطعه‌ای به قطعه دیگر منتقل شوند. این بارها به آن جهت هیدرولیکی نامیده می‌شوند که از واکنشهای هیدرولیکی سازه ناشی می‌شوند.

د: بارهای دینامیکی - این بارها در اثر تکان خوردن و جابه‌جایی آرمور و در نتیجه وارد آمدن بارهای ضربه‌ای به سایر قطعات به وجود می‌آیند. این بارها احتمالاً عمده‌ترین بارهای وارد بر قطعات بتنی هستند. البته این بارها ممکن است از نظر مقدار بیشترین بارها نباشد. بارگذاری تکراری ناشی از تکان خوردن قطعات بتنی گاهی به شکستن آنها به علت خستگی منجر می‌شود [۵۱].

برای تعیین بارهای وارد بر قطعات بتنی به انجام تحقیقات بنیادی بیشتری نیاز است. در حال حاضر اطلاعات کافی برای محاسبه با اطمینان تنشهای حاصله در قطعات بتنی وجود ندارد. برای تعیین بارهای دینامیکی وارد بر قطعات بتنی می‌توان آزمایشهایی در محل ساخت موج‌شکن انجام داد. این آزمایشها می‌تواند شامل رها کردن یک قطعه بتنی از یک ارتفاع معین بر روی یک سطح پوشش داده شده با آرمورهای سنگی یا بتنی باشد. در گذشته آزمایشهایی برای تعیین نیروهای ضربه‌ای وارد بر یک قطعه ثابت انجام شده‌اند. نتایج معدود آزمایشهای انجام شده در این خصوص نشان داده‌اند که مقاومت خمشی

قطعه بتنی ممکن است تا میزان (۶۰٪) بعد از وارد آمدن ۶ تا ۱۰ ضربه کاهش یابد. اطلاعات بیشتر در مورد آزمایشها و ارزیابی مقاومت توسط Silva [۵۲]، Grimaldi و Fotana [۵۰] و Burcharth [۵۳] ارایه شده‌اند.

پیشنهاد می‌شود که وزن حداکثر قطعات آرمور بتنی به مقادیر ارایه شده در جدول ۲-۸ محدود شود. اگر چه نمونه‌هایی در مورد کاربرد موفقیت‌آمیز قطعات بتنی بزرگتر وجود دارند، اما در این رابطه باید با رعایت مقادیر ارایه شده در جدول فوق احتیاط لازم صورت گیرد.

جدول ۲-۸ وزنه‌های حداکثر پیشنهادی قطعات آرمور بتنی

وزن حداکثر (تن)	قطعه بتنی
۱۵	دالاس
۲۰	استابیتس
۳۰	تتراپد
۶۰	بلوکهای آنتی‌فر

◀ ۴-۳-۸ فرمولهای طراحی

۱-۴-۳-۸ مقدمه

تاکنون فرمولهای تجربی و نیمه تجربی متعددی برای تعیین رابطه بین وزن آرمور سنگی و ارتفاع موج منتشره در پای سازه ارایه شده‌اند. جامعه دایمی بین‌المللی کنگره‌های ناوبری PIANC در سال ۱۹۷۶ میلادی شانزده فرمول مختلف را مورد شناسایی قرار داده است [۵۴].

رایج‌ترین فرمولهای طراحی موج شکنهای توده سنگی سنتی، فرمولهای ارایه شده از سوی Hadsan و Vandermeer هستند. این فرمولها به ترتیب در زیربخشهای ۲-۴-۳-۸ و ۳-۴-۳-۸ توضیح داده خواهند شد. شایان ذکر است که در فرمولهای andermeer اثر عواملی نظیر پریود موج طرح و مدت طوفان که در فرمول هادسن به حساب آورده نشده بودند، در نظر گرفته شده است.

۸-۳-۴-۲ فرمول هادسن برای آرمور سنگی

فرمول هادسن با استفاده از نتایج آزمایشها گسترده مدل هیدرولیکی با امواج منظم ارایه شده است [۵۵]. این فرمول عبارت است از:

$$M_{50} = \frac{\rho_a H_D^3}{K_D \Delta^3 \cot \alpha} \quad (12)$$

متغیر α در رابطه فوق زاویه شیب سازه، K_D ضریب پایداری و H_D ارتفاع موج طرح در پای سازه هستند.

معادله فوق برای پایداری لایه آرمور سمت دریا و در شرایط عدم سرریزی موج از سازه به دست آمده است. بنابراین از این فرمول نباید برای محاسبه وزن لایه آرمور یک سازه تاج کوتاه استفاده کرد.

ارتفاع موج طرح H_D در رابطه فوق بر اساس آزمایشها مدل هیدرولیکی با استفاده از امواج منظم استوار است. روش ساده‌ای برای مقایسه نتایج حاصل از آزمایشهای انجام شده با امواج تصادفی وجود ندارد. مطالعات انجام شده نشان داده‌اند که ارتفاع معادل موج منظم می‌تواند در محدوده‌ای بین ارتفاع عمده موج H_s و ارتفاع متوسط یک دهم مرتفع‌ترین امواج در یک گروه موج معین تصادفی $H_{1/10}$ باشد. برای طراحی موج‌شکنهای توده سنگی در شرایط امواج ناشکنا در محل سازه باید از متغیر $H_{1/10}$ در فرمول هادسن استفاده کرد [۵۶]. همچنین اگر ارتفاع موج یاد شده قبل از رسیدن به سازه بشکند، باید از ارتفاع موج شکنا، H_b ، یا H_s (هر کدام که اثر بیشتری دارند) در فرمول هادسن استفاده شود. راهنمایی لازم در مورد توزیع ارتفاعهای موج و شرایط شکست موج در مراجع [۱۰ و ۵۷] ارایه شده است.

مقادیر K_D برای طراحی اولیه آرمور سنگی با استفاده از فرمول هادسن در جدول ۸-۳ ارایه شده‌اند [۱۱ و ۵۷] ضریب پایداری K_D با توجه به شکنا بودن موج، محل برخورد موج (بدنه یا پوزه) و در برخی حالات با توجه به شیب و ضخامت لایه آرمور تغییر می‌کند.

در تعیین ضریب K_D اثر عوامل زیر که احتمالاً بر پایداری لایه آرمور اثر دارند، در نظر گرفته نشده است:

الف: پیرو و نوع طیف موج

- ب: شکل سنگ آرمور
- ج: روش استقرار آرمور
- د: میزان درگیری آرمورها در یکدیگر
- ه: زاویه انتشار موج
- و: اندازه و تداخل مصالح زیر لایه
- ز: فاصله‌ای که لایه آرمور در زیر سطح ایستابی در پایین وجه شیبدار امتداد می‌یابد.
- ح: ارتفاع هسته نسبت به سطح ایستابی
- همچنین در جایی که سطح بالاروی به قسمت فوقانی شیب سازه می‌رسد، اثر سازه تاج و تراز آن در بالای سطح ایستابی نسبت به ارتفاع موج، در تعیین ضریب K_D در نظر گرفته نشده است.
- مقادیر ارایه شده در جدول ۸-۳ نباید بدون بررسی کلیه عوامل در تعیین آنها مورد استفاده قرار گیرند. شایان ذکر است معمولاً بسته به اندازه لایه آرمور و نحوه تعریف، معیار (عدم آسیب) هادسن معادل ۱ تا ۳ $S=$ در نظر گرفته می‌شود. Broderick [۶۲] معیار عدم آسیب را به صورت $S=2$ تعریف کرد.
- مقادیر K_D مورد استفاده برای امواج شکنا در گذشته با انجام آزمایشها مدل هیدرولیکی بیشتر مورد تجدید نظر قرار گرفته‌اند.
- مقادیر K_D ارایه شده در جدول به سطوح آسیب تا (۵٪) مربوط هستند. درصد آسیب بر اساس تعداد سنگهای جابه‌جا شده در ناحیه‌ای که امکان جابه‌جایی آنها به ازای یک ارتفاع موج خاص وجود دارد (معمولاً بین خط مرکزی تاج و سطح بستر دریا و یا به فاصله یک ارتفاع موج طرح در زیر سطح ایستابی) نسبت به کل سنگهای موجود در آن ناحیه تعریف می‌شود. در بسیاری حالات آسیب تا حد فوق قابل قبول نبوده و باید سازه مستحکم‌تری طراحی شود.

۸-۳-۴-۳ سایر فرمولهای طراحی برای آرمور سنگی

آزمایشهای مدل هیدرولیکی گسترده‌ای توسط Van der Meer [۲۳ و ۶۰] برای بررسی اثرات برخی عواملی که در فرمول هادسن نادیده گرفته شده بودند در مؤسسه هیدرولیک دلفت هلند انجام شد. وی

آزمایشهای خود را بر اساس تحقیقات قبلی انجام شده توسط **Thompson** و **Shutter** [۶۱] انجام داد و فرمولهای طراحی زیر را استخراج کرد:

الف: امواج شکنای چرخان

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = 6.2 p^{0.18} (S/\sqrt{N})^{0.2} (\xi_m)^{-0.5} \quad \xi_m < \xi_{mc} \quad (13)$$

ب: امواج شکنای لغزان

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = 1.0 p^{-0.13} (S/\sqrt{N})^{0.2} \sqrt{\cot \alpha} \xi_m^p \quad \xi_m > \xi_{mc} \quad (14)$$

حالت انتقال از امواج شکنای چرخان به لغزان را می‌توان با استفاده از مقدار بحرانی ξ_{mc} محاسبه کرد، طوری که:

$$\xi_{mc} = [6.2 p^{0.31} \sqrt{\tan \alpha}]^{1/(p+0.5)} \quad (15)$$

در روابط فوق S پارامتر سطح آسیب و N تعداد امواج هستند.

برای مقادیر $\cot \alpha \geq 4$ حالت انتقال از امواج شکنای چرخان به لغزان وجود نداشته و در این مورد فقط از معادله ۱۳ استفاده می‌شود.

در روابط فوق اثر عواملی نظیر پریود موج، پارامتر موج‌شکنا، شرایط شکست موج، مدت طوفان طرح و نفوذپذیری هسته به حساب آورده شده‌اند. پارامتر موج‌شکنا (ξ_m) از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\xi_m = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{2\pi H_s / g T_z^2}} \quad (16)$$

توجیه فیزیکی پارامتر آسیب S تعداد مربعات با ضلع D_{n50} است که در ناحیه فرسایش یافته جا می‌گیرد. تفسیر دیگر S تعداد سنگهای مکعبی با عرض D_{n50} است که در عرض معادل یک D_{n50} فرسایش می‌یابد. تعداد واقعی سنگهای فرسایش یافته در عرض معادل یک D_{n50} بسته به تخلخل و دانه‌بندی سنگهای آرمور و شکل سنگ می‌تواند کمتر یا بیشتر از S باشد. اما معمولاً تعداد واقعی سنگهای فرسایش یافته در عرض معادل یک D_{n50} برابر 0.7 تا یک برابر پارامتر آسیب S است. حداکثر تعداد امواجی که باید در روابط ۱۳ تا ۱۵ مورد استفاده قرار گیرند ۷۵۰۰ است. بعد از این تعداد امواج، سازه

تقریباً به حالت متعادل می‌رسد. تیزی موج Som بین $0.05/0$ تا $0.06/0$ (تقریباً محدوده کاملاً ممکنه) قرار گیرد

جدول ۸-۳ مقدار ضریب K_D برای تعیین وزن آرمورهای لایه حفاظتی [۵۷]

شیب cot θ	در قسمت تنه (۳) K_D				نحوه قرارگیری	β (۲)	قطعات لایه حفاظتی	
	در قسمت رأس K_D		موج شکنا				سنگ معدن	شکل دارگردگوشه
	موج ناشکنا	موج شکنا	موج ناشکنا	موج شکنا				
۳ تا ۱/۵ (۵)	۱/۹	۱/۱	۲/۴	۱/۲	نامنظم (تصادفی)	۲	شکل دارگردگوشه	سنگ معدن
	۲/۳	۱/۴	۳/۲	۱/۶	نامنظم	> ۳	شکل دارگردگوشه	
	۲/۳	(۲)	۲/۹	(۲)	نامنظم (۲)	۱	بی شکل زاویه دار	
۱/۵ ۲ ۳	۳/۲	۱/۹			نامنظم	۲	بی شکل زاویه دار	سنگ معدن
	۲/۸	۱/۶	۴	۲				
	۲/۳	۱/۲						
(۵) (۵)	۴/۲	۲/۱	۴/۵	۲/۲	نامنظم	> ۳	بی شکل زاویه دار	سنگ معدن
	۶/۴	۵/۳	۷	۵/۸	خاص (۶)	۲	بی شکل زاویه دار	
	-	-	۸/۵-۲۴	۷-۲۰	خاص (۱)	۲	مکعب مستطیل (۷)	
۱/۵ ۲ ۳	۶	۵			نامنظم	۲	تراپودوکوادریپود	
	۵/۵	۲/۵	۸	۷				
	۴	۳/۵						
۱/۵ ۲ ۳	۹	۸/۳			نامنظم	۲	تری بار	
	۸/۵	۷/۸	۱۰	۹				
	۶/۵	۶						
(۹)۲ ۳	۱۶	۸	(۸)۳۱/۸	(۸)۱۵/۸	نامنظم	۲	دالاس	
	۱۴	۷						
	۵	-	۷/۵	۶/۵	نامنظم	۲	مکعب اصلاح شده	
(۵) (۵) (۵)	۷	۵	۹/۵	۸	نامنظم	۲	هگزاپود	
	-	-	۲۲	۱۱	نامنظم	۲	Toskane	
	۹/۵	۷/۵	۱۵	۱۲	یکتواخت	۲	تری بار	
-	-	۲/۵	۲/۲	نامنظم	-	سنگ معدن (زاویه دار دانه بندی شده)		

- (۱) - توجه شود آن مقادیر K_D که در زیر آنها خط کشیده شده است با انجام آزمایشات مدل فیزیکی تأیید نشده‌اند و تنها برای طراحی اولیه قابل کاربرد هستند.
- (۲) - تعداد واحدهای تشکیل دهنده ضخامت لایه حفاظتی است.
- (۳) - برای شیبهای ۱:۵ تا ۱:۰.۵ قابل کاربرد است.
- (۴) - کاربرد یک لایه سنگ معدنی برای سازه تحت اثر موج شکنا توصیه نمی‌شود و کاربرد آن تنها تحت شرایط خاص برای موج ناشکنا امکان پذیر است. مواردی که از یک لایه استفاده می‌شود باید قرارگیری سنگها در آن با دقت انجام شود.
- (۵) - تا به دست آمدن اطلاعات بیشتری در مورد تغییر K_D با شیب استفاده از K_D به شیبهای بین ۱:۰.۲ تا ۱:۰.۵ محدود می‌شود. برخی از آزمایشات انجام شده بر روی رأس نشان دهنده وابستگی K_D به شیب است.
- (۶) - در اجزا، محور طولی سنگ در جهت عمود بر وجه سازه قرار می‌گیرد.
- (۷) - سنگهای به شکل مکعب مستطیل: سنگهای بلند به شکل دال با بُعد طولی حدود ۲ برابر بُعد عرضی (Markle و Davidson, ۱۹۷۹ م) [۵۸]
- (۸) - مراجعه به معیار عدم آسیب شود (کمتر از ۵ درصد جابجایی، نوسان آرمورها و غیره)؛ اگر مطلوب باشد که آرمورها نوسان نکنند (آسیب کمتر از ۲ درصد)، K_D را ۵۰ درصد کاهش دهید (Van Niekerk و Zwamborn, ۱۹۸۲ م) [۵۹]
- (۹) - پایداری دالاس بر روی شیبهای تندتر از ۱:۲ باید با مدل فیزیکی خاص در محل احداث آزمایش شود.

چگالی جرم آرمور در آزمایشهای انجام شده توسط Van der Meer بین ۲۰۰۰ تا ۳۱۰۰ کیلوگرم در متر مکعب متغیر بود. طبق گفته Powell [۶۳] مسئله اصلی در به‌کارگیری روابط ۱۳ تا ۱۵ تخمین مقدار ضریب نفوذپذیری فرضی p است.

توصیه می‌شود که برای احتیاط، مقدار p کمتری تخمین زده شود. آیین‌نامه انگلستان برای طراحی سازه‌های دریایی [۵۶] استفاده از مقادیر زیر را توصیه کرده است:

N - بین ۳۰۰۰ تا ۵۰۰۰

S - بین ۱ تا ۳ [تقریباً معادل (۵٪) آسیب در فرمول هادسن]

P - معادل ۰/۳ (مگر آنکه هسته سازه متخلخل باشد).

نحوه استفاده از روابط Van der Meer بر اساس دو روش معین و احتمالی در مراجع [۱۱ و ۲۳] توضیح داده شده‌اند.

اثرات شکل آرمور بر پایداری موج‌شکن توسط Lathar و همکاران وی [۶۴] تشریح شده است. آنها در آزمایشهای خود از کلاس سنگ با شکلهای مختلف نظیر نامنظم، متقارن، خیلی گرد و طبقی استفاده کردند. Van der Meer [۲۳] نیز بر روی موضوع فوق مطالعاتی انجام داد. وی ضرایب تجدید نظر شده‌ای را برای به‌کارگیری در معادلات ۱۳ و ۱۴ با توجه به شکلهای آرمور غیر استاندارد ارائه کرد جدول ۴-۸. Van der Meer [۲۳] در فرمولهای ۱۳ تا ۱۵ از ارتفاع عمده موج H_s استفاده کرد. تحت شرایط آب کم عمق توزیع ارتفاعهای موج از توزیع رایلی فاصله می‌گیرد. وی تحت این شرایط از ارتفاع موج بیشتری مانند $H_2\%$ استفاده کرد. فرمولهای Van der Meer تحت شرایط آب کم عمق در مراجع [۱۱ و ۲۳] ارائه شده‌اند.

۸-۳-۴ استفاده از فرمول هادسن برای قطعات بتنی

از فرمول هادسن برای تعیین وزن قطعات آرمور بتنی با الگوی استقرار تصادفی استفاده شده است. مقادیر K_D مربوطه از نتایج آزمایشهای مدل هیدرولیکی استخراج شده‌اند. در به‌کارگیری فرمول هادسن برای طراحی قطعات آرمور بتنی باید بسیار احتیاط کرد. زیرا پایداری این قطعات به عوامل بستگی دارد که در فرمول هادسن در نظر گرفته نشده است. خصوصاً خاصیت درگیری بین قطعات در پایداری یک

لایه آرمور به حساب آورده نشده است. بنابراین توصیه می‌شود که در طراحی قطعات آرمور بتنی از فرمول هادسن تنها به عنوان یک ابزار برای مقایسه پایداری انواع مختلف آرمورهای بتنی استفاده شده و از مقادیر K_D ارایه شده در جدول ۳-۸ فقط به عنوان راهنما برای انتخاب اولیه اندازه‌های سنگ استفاده شود. طوری که طراحی نهایی با استفاده از آزمایشهای کامل مدل هیدرولیکی با امواج نامنظم صورت گیرد.

نتایج آزمایشها مدل هیدرولیکی نشان داده‌اند که برخی قطعات آرمور بتنی نظیر تتراپاد و دالاس تحت اثر حمله امواج مورب در مقایسه با امواج عمود بر سازه پایداری کمتری دارند. بنابراین در این مواقع احتمالاً باید مقادیر K_D پیشنهادی برای قطعات آرمور بتنی را با توجه به اثر فوق کاهش داد. در صورت عدم تأمین درگیری مناسب بین قطعات آرمور بتنی باید از مقادیر K_D کمتری نسبت به مقادیر پیشنهادی در جدول ۳-۸ استفاده کرد. همچنین باید به توصیه فوق در موارد به‌کارگیری یک شیب ملایم و یا در صورت پایین بودن کیفیت آرمورهای بتنی عمل کرد. راهنمایی خاصی در مورد نقاط خاص موج‌شکن نظیر خمها وجود ندارد. همچنین پایداری سازه در نقاط خاص سازه و شیبهای فوق باید با استفاده از روش مدل هیدرولیکی کنترل شود.

جدول ۳-۸ ضرایب تجدید نظر شده‌ای برای شکل‌های آرمور غیر استاندارد در معادلات ۱۳ و ۱۴

امواج لغزان گزینه‌ای برای ضرایب ۱/۰	امواج چرخان گزینه‌ای برای ضرایب ۶/۲	کلاس شکل سنگ
۰/۸۱	۶/۳۲	نامنظم
۱/۰۹	۶/۲۴	متقارن
۰/۹۹	۵/۹۶	نیمه گرد
۰/۸۱	۵/۸۸	خیلی گرد
۱/۳۰	۶/۷۲	طبقی

۳-۴-۵ استفاده از سایر فرمولهای طراحی برای قطعات آرمور بتنی

Van der Meer [۲۳ و ۶۵] فرمولهایی برای محاسبه وزن قطعات آرمور بتنی به اشکال مکعب و تتراپاد انجام داد. وی آسیب وارده به قطعات بتنی را با استفاده از عدد آسیب N_{od} تعیین کرد. این عدد

عبارت از تعداد قطعات جابه‌جا شده در عرضی (در طول محور طولی موج‌شکن) معادل یک قطر اسمی D_n است. متغیرهای N_{omov} و N_{or} به ترتیب به صورت تعداد قطعات تکان خورده نوسانی و تعداد قطعات حرکت کرده (جابه‌جا شده نوسانی) تعریف شد.

وی در آزمایشهای مدل فیزیکی فقط از یک شیب سازه استفاده کرد. آزمایشهای مربوط به بلوکهای مکعبی و آرمورهای تتراپاد با شیب ۱:۵ انجام شدند. فرمول مربوط به آرمورهای مکعبی عبارت است از:

$$\frac{H_s}{\Delta D_n} = (6.7 \frac{N_{od}^{0.4}}{N^{0.3}} + 1.0) s_{om}^{-0.1} \quad (17)$$

به طوری که N در روابط فوق تعداد امواج است. همچنین فرمول مربوط به آرمورهای تتراپاد به صورت زیر به دست آمد:

$$\frac{H_s}{\Delta D_n} = (3.75 \frac{N_{od}^{0.5}}{N^{0.25}} + 0.85) s_{om}^{-0.2} \quad (18)$$

طوری که در روابط فوق s_{om} تیزی میانگین موج ژرفاب است.

Heydra و Van der Meer [۶۶] نیز روابط مربوط به مقدار قطعات حرکت کرده N_{omov} را ارائه کردند.

۸-۳-۵ ضخامت و میزان ادامه لایه آرمور در زیر سطح آب

ضخامت آرمور سنگی با الگوی استقرار تصادفی، معمولاً به اندازه دو لایه سنگ $2D$ در نظر گرفته می‌شود. طوری که متغیر D قطر اسمی سنگ آرمور است. ضخامت لایه آرمور برای لایه متشکل از یک لایه سنگ حدوداً معادل $D/15$ است.

ضخامت لایه آرمور متشکل از قطعات بتنی با الگوی استقرار تصادفی به روش استقرار بستگی دارد. معمولاً در مورد قطعات بتنی از دو لایه آرمور استفاده می‌شود. البته برخی قطعات نظیر اکروپاد و استابیتس گاهی در یک لایه مستقر می‌شوند. در کلیه حالات فوق روش استقرار قطعات آرمور بتنی باید مورد آزمایش قرار گیرد.

راهنمایی لازم در مورد تعداد آرمور مورد نیاز در واحد سطح شیب در برخی مراجع ارایه شده است. نحوه استقرار چنین قطعاتی و کنترل عملیات استقرار برای به دست آوردن یک سطح شیبدار مطلوب باید از قبل برنامه‌ریزی شود. استفاده از یک لایه آرمور در مورد قطعات با الگوی استقرار منظم معمول است. لایه آرمور باید حداقل تا مقداری معادل $1/5$ تا 2 برابر H_s در زیر سطح آب دریا ادامه یابد. در سازه‌های ساخته شده در آب عمیق، شیب زیر سطحی که در آن آرمور اولیه خاتمه می‌یابد باید به وسیله سنگهایی که اندازه آنها از اندازه سنگهای مورد نیاز برای زیر لایه کمتر نیست، حفاظت شود (زیربخش ۴-۸). حفاظت پنجه باید مطابق توضیحات زیربخش (۶-۸) تأمین شود.

◀ ۸-۳-۶ آرمور تاج و وجه پشت

برای تعیین اندازه آرمور وجه پشت و تاج موج‌شکنهای توده سنگی که برای شرایط سرریزی موج طراحی شده و فاقد سازه تاج هستند، هیچ روش تحلیلی موجود نیست. اندازه مورد نیاز اساساً به میزان سرریزی موج بستگی دارد. این پارامتر به نوبه خود به ارتفاع آزاد سازه و عرض تاج بستگی دارد. اندازه آرمور تاج در طراحی اولیه نباید کمتر از اندازه آرمور اصلی در نظر گرفته شود. در مورد سازه‌هایی که دچار سرریزی شدید موج شده یا مستغرق هستند، می‌توان با استفاده از نتایج آزمایشهای مدل هیدرولیکی اندازه بزرگترین آرمور مورد نیاز در تاج موج‌شکن را تعیین کرد. عرض تاج باید در صورت استفاده از آرمور سنگی بر روی آن حداقل به اندازه ۳ برابر قطر سنگ مزبور باشد.

پایداری تاج خصوصاً برای برخی انواع قطعات آرمور بتنی می‌تواند به علت اثر کمتر نیروهای گرانشی و خاصیت درگیری کمتر بین قطعات از پایداری آرمور وجه اصلی کمتر باشد. نیروهای ناشی از پایین آمدن امواج سرریز شده از وجه پشت موج‌شکن نیز می‌توانند به ناپایداری بیشتری در آن سمت منجر شوند. اندازه‌های آرمور وجه پشت سازه باید به اندازه آرمور مورد استفاده در آرمور اصلی یا بزرگتر از آن باشد. در صورت عدم سرریزی و یا کم بودن میزان سرریزی موج و یا در صورت استفاده از سازه تاج برای جلوگیری از آب‌گذری از روی قسمت فوقانی وجه پشت موج‌شکن می‌توان از سنگهای با وزن کمتری در آن وجه استفاده کرد.

◀ ۸-۴ طراحی هسته و زیر لایه‌ها

◀ ۸-۴-۱ ملاحظات کلی

وظیفه اصلی موج‌شکن یعنی جلوگیری از عبور امواج، معمولاً تا حد زیادی توسط هسته آن ایفا می‌شود. به‌کارگیری یک یا چند زیرلایه به عنوان فیلتر برای جلوگیری از شسته شدن مصالح هسته از میان لایه آرمور ضروری است. بنابراین اندازه‌های مصالح هسته، زیرلایه‌ها و لایه آرمور باید به طور صحیح به یکدیگر مربوط شوند [۴۶].

به علاوه زیرلایه و هسته باید طوری طراحی شوند که تا حدی در مقابل عمل موج در حین احداث سازه مقاومت کنند.

◀ ۸-۴-۲ دانه‌بندی مصالح هسته

هسته ایده‌آل یک موج‌شکن توده سنگی دارای دانه‌بندی یکنواختی است که محدوده وسیعی از سنگهای با اندازه مختلف را پوشش می‌دهد. طوری که مصالح هسته توسط عمل موج به بیرون شسته نشوند. دانه‌بندی مصالح هسته باید به گونه‌ای باشد که نفوذپذیری سازه را کاهش داده تا از عبور موج از بدنه موج‌شکن جلوگیری شود. البته نحوه ریختن مصالح هسته به داخل دریا و عملکرد موج طی عملیات احداث سازه موجب جابه‌جایی مصالح آن می‌شود. طوری که حتی در صورت به‌کارگیری مصالح با دانه‌بندی یکنواخت، چنین هسته‌ای در عمل اجرا نمی‌شود.

نحوه حمل مصالح با کامیون و ریختن آنها موجب می‌شود که سنگهای بزرگتر از وجه سازه به پایین غلتیده و سنگهای کوچکتر در قسمت فوقانی باقی می‌مانند. کنترل دانه‌بندی هسته در قسمتی از آن که بالاتر از سطح آب قرار می‌گیرد آسان‌تر است. هسته در این قسمت عرض کمتری داشته و دانه‌بندی آن اهمیت بیشتری دارد. البته باید توجه داشت که از به‌کارگیری مصالح ریزدانه در این قسمت اجتناب شود. زیرا این مصالح به تدریج از موج‌شکن خارج شده و سنگهای آرمور دچار نشست می‌شوند.

به‌کارگیری مصالح بزرگتر بر روی وجه بیرونی هسته در زیر آب برای تأمین پایداری موقت آن در حین عملیات احداث مفید بوده و اساس لازم را برای استقرار زیر لایه فراهم می‌آورد. همچنین با استفاده

از چنین مصالحی در وجه بیرونی هسته از خروج مصالح ریزتر از هسته جلوگیری می‌شود. روش احداث هسته در بخش ۸-۱۲ توضیح داده می‌شود. کنترل کیفیت مصالح هسته اهمیت دارد.

مشخصات مربوط به منابع تأمین مصالح هسته، مقطع عرضی موج‌شکن و روشهای احداث باید آماده شوند. اندازه حداکثر مصالح هسته به خصوصیات سنگ معدن و طراحی سنگهای زیر لایه‌ها و لایه آرمور بستگی دارد.

در مورد میزان سنگهای ریزدانه مورد استفاده در هسته موج‌شکن نظر واحدی وجود ندارد. باید از به‌کارگیری آشغال و سنگهای نامرغوب موجود در لایه‌های معادن روباز در هسته سازه اجتناب کرد. همواره مقداری خاک در مصالح هسته وجود دارد. این مقدار باید تا حد امکان کاهش داده شود. خاک موجود در مصالح هسته به هنگام عملیات احداث در درون آب دریا شسته شده و تأثیری در پایداری و عملکرد سازه ندارد. البته باید به مسئله ایجاد آلودگی توسط آن توجه کرد.

مصالح هسته معمولاً پس از انفجار معدن روباز مصالح و یا استخراج سنگهای زیرلایه و لایه آرمور با روشهای دیگر، به وسیله بیل مکانیکی از کف معدن روباز بارگیری می‌شود. گاهی به دست آوردن دانه‌بندی مورد نیاز با انتخاب مصالح مورد نظر و جدا کردن مصالح ریزدانه امکان‌پذیر است.

امکان جداسازی مصالح هسته و دانه‌بندی آنها با استفاده از الکهای مخصوص نیز وجود دارد. البته به‌کارگیری این روش پر هزینه است. کنترل دانه‌بندی را می‌توان با نمونه‌گیری مصالح انجام داد. در حالی که کنترل کیفی تنها از طریق بازرسی چشمی قابل انجام است. بنابراین مشخص کردن اندازه حدی مصالح ریزدانه در هسته و روشهای دستیابی به آن مسایلی هستند که به قضاوت مهندسی بستگی دارند. قابل توصیه است که نسبت مصالح ریزدانه هسته (مثلاً یک کیلوگرم) به کل مصالح به کمتر از (۱٪) محدود شوند. مصالح با وزن یک تا ۱۰ کیلوگرم نیز باید به میزان (۵٪) تا (۱۰٪) کل مصالح هسته محدود شوند. وزن متوسط مصالح هسته معمولاً معادل یک صدم وزن قطعه آرمور اولیه در نظر گرفته می‌شود.

۸-۴-۳ تعیین اندازه مصالح زیرلایه

وظایف زیرلایه‌ها عبارتند از:

الف: ایفای نقش فیلتر در بین هسته و لایه آرمور
 ب: ایجاد یک بستر پایدار برای لایه آرمور
 ج: استهلاک انرژی موج عبور کرده از لایه آرمور
 د: حفاظت از مصالح هسته در مقابل طوفانهای متوسط در حین احداث موج‌شکن

در طراحی زیرلایه‌ها باید دانه‌بندی لایه آرمور و هسته در نظر گرفته شود. همچنین برای تأمین معیارهای فیلتر باید از بیش از یک زیرلایه استفاده کرد. معیارهای فیلتر در این بخش توضیح داده می‌شوند. وزن اسمی سنگ زیرلایه معمولاً بیش از یک دهم وزن اسمی لایه آرمور در مورد آرمورهای سنگی است [۵۷]. وزن سنگهای مجزای زیرلایه باید در محدوده $(\pm 30\%)$ وزن اسمی سنگ انتخابی باشد.

اندازه وزن سنگهای نخستین زیرلایه که لایه آرمور آنها از قطعات بتنی تشکیل شده‌اند باید با استفاده از نتایج تجربی منتشر شده و انجام آزمایشها مدل هیدرولیکی تعیین شود. اطلاعات مربوط به برخی انواع قطعات آرمور بتنی در جدول ۸-۵ ارائه شده است.

حسب توصیه برخی آیین‌نامه‌ها برای طراحی سازه‌های دریایی در صورت عدم دسترسی به اطلاعات کافی می‌توان اندازه سنگ زیرلایه را به نحوی انتخاب کرد که رابطه زیر اقلان شود [۵۶]:

$$\frac{D_{85(\text{underlayer})}}{D_{\text{voids}(\text{armour})}} > 2 \quad (19)$$

طوری که در رابطه فوق D قطر اسمی سنگ (معادل مکعب)، زیرنویس "85" نشان دهنده قطری که (۸۵٪) مصالح از آن عبور می‌کنند و زیرنویس "voids" نشان دهنده اندازه حداکثر حفره‌ها هستند. قطعات آرمور بتنی با الگوی استقرار منظم به سطح نسبتاً همواری برای چیده شدن نیاز دارند. در این صورت گاهی استفاده از سنگهای کوچکتر در زیرلایه برای آماده‌سازی بستر لایه آرمور فوق ضرورت می‌یابد. بدین منظور می‌توان از سنگهای با قطر حدود دو سوم قطر فضای خالی در قطعه آرمور استفاده کرد. در مورد یک قطعه بتنی خاص باید به نتایج تجربی مربوطه مراجعه کرد.

برای ایفای نقش فیلتر بین زیرلایه‌های مختلف و بین زیرلایه تحتانی و هسته، چند رابطه پیشنهاد شده است. این روابط بر اساس آزمایشها انجام شده با جریان یک جهته مبتنی بوده و لزوماً مسئله

حرکات آب ناشی از موج در آنها در نظر گرفته نشده است. بنابراین قدری عدم اطمینان در مورد آنها وجود دارد.

در تعیین اندازه سنگ زیرلایه‌ها می‌توان از معیارهای اصلاح شده ترزاقی برای فیلتر استفاده کرد [۳۸]. این روابط اندازه سنگ زیرلایه‌ها را به صورت زیر به هسته سازه مربوط می‌کنند:

$$\frac{D_{15u}}{D_{85c}} \leq 4 \sim 5 \quad (20)$$

$$4 \leq \frac{D_{15u}}{D_{15c}} \leq 20 \sim 25 \quad (21)$$

زیرنویسهای "c" و "u" در روابط فوق به ترتیب به هسته و زیرلایه موج‌شکن مربوط می‌شوند. همچنین زیرنویسهای "15" و "85" به ترتیب قطرهایی هستند که به ترتیب (۱۵٪) و (۸۵٪) مصالح دارای قطری بیش از آن هستند.

محدودیت‌های عملی بازده معدن باز، تعداد لایه‌ها و عملیات احداث نیز باید در نظر گرفته شوند. معیارهای حفاظت سنگ‌چین خاکریزها نیز می‌توانند مفید واقع شوند [۶۱]. اگر چه از این معیارها می‌توان در صورت استفاده از سنگ چین با دانه‌بندی وسیع (عریض) استفاده کرد، اما معیارهای مزبور را نمی‌توان در مورد آرمور با اندازه واحد زیرلایه مورد استفاده قرار داد. این معیارها عبارتند از:

$$\frac{D_{15r}}{D_{85c}} \leq 4 \quad (22)$$

$$\frac{D_{50r}}{D_{50c}} \leq 7 \quad (23)$$

$$\frac{D_{15r}}{D_{15c}} \leq 7 \quad (24)$$

طوری که زیرنویسهای r و c به ترتیب به سنگ‌چین و هسته مربوط می‌شوند. احتمال معکوس شدن جریان آب در میان لایه فیلتر تحت بارگذاری دوره‌ای حاصل از عملکرد موج وجود دارد. این پدیده موجب حرکت مصالح ریزدانه و شسته شدن احتمالی آنها از میان مصالح لایه‌های فوقانی می‌شود. اگر چه این وضعیت نهایتاً بعد از نشست لایه به حالت پایداری می‌رسد، اما ترجیح داده

می‌شود که با به‌کارگیری یک رهیافت محافظه‌کارانه شرایط پایداری از جنبه‌های هیدرولیکی و ژئوتکنیکی تأمین گردد.

جدول ۸-۵ وزن سنگ در زیر لایه برای برخی قطعات آرمور بتنی

وزن سنگ در زیر لایه	نوع قطعه آرمور با وزن W
W/10 تا W/5	دالاس
W/10 تا W/5	استاییتس
W/20 تا W/10	تتراپد
W/15 تا W/7.5	آکروپد

◀ ۸-۴-۴ ضخامت زیرلایه‌ها

هر زیر لایه باید حداقل به اندازه دو برابر قطر سنگهای آن ضخیم باشد (به بخش ۸-۳-۵ مراجعه شود). ضخامت یک زیرلایه را می‌توان از فرمول زیر تعیین کرد:

$$r = n K_{\Delta} \left(\frac{W}{W_r} \right)^{1/3} \quad (25)$$

متغیرهای رابطه فوق عبارتند از:

r - ضخامت متوسط لایه بر حسب متر

n - تعداد لایه‌های سنگ

W - جرم اسمی سنگ بر حسب نیوتن

W_r - جرم واحد سنگ بر حسب نیوتن بر متر مکعب

K_{Δ} - ضریب لایه

تعداد قطعات آرمور در واحد سطح از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$N = n K_{\Delta} (1 - n_v) \left(\frac{W}{W_r} \right)^{-2/3} \quad (26)$$

متغیر n_v در رابطه فوق تخلخل حجمی یا به عبارت دیگر تخلخل شیب سازه است. مقادیر ضریب

K_{Δ} و n_v بر طبق جداول ارائه شده در مراجع [۱۴] و [۵۷] در جداول ۸-۶ و ۸-۷ ارائه شده‌اند.

در نظر گرفتن ضخامت کافی برای زیرلایه مستقر بر روی تاج هسته اهمیت دارد. مطلب فوق در هر دو حالت خاتمه زیرلایه در جلو دیواره بتنی تاج یا ادامه آن بر روی هسته تا وجه پشت سازه صادق است.

جدول ۸-۶ ضرایب K_{Δ} و n_v ارائه شده در SPM [۵۷]

نوع آرمور	n	نحوه قرارگیری	K_{Δ}	n_v (%)
سنگ هموار، $n = 2$	۲	نامنظم	۱/۰۲	۳۸
سنگ ناهموار، $n = 2$	۲	نامنظم	۱	۳۷
سنگ ناهموار، $n > 2$	> 2	نامنظم	۱	۴۰
سنگ دانه‌بندی شده	-	نامنظم	-	۳۷
مکعب (اصلاح شده)	۲	نامنظم	۱/۱۰	۴۷
تتراپود	۲	نامنظم	۱/۰۴	۵۰
کوادریپود	۲	نامنظم	۰/۹۵	۴۹
دالاس	۲	نامنظم	۰/۹۴	۵۶
تری‌بار	۲	نامنظم	۱/۰۲	۵۴
تری‌بار	۱	یکنواخت	۱/۱۳	۴۷

جدول ۸-۷ ضرایب K_{Δ} و n_v ارائه شده در CUR / CIRIA [۱۴]

شکل سنگ	نحوه قرارگیری	K_{Δ}	n_v (%)
نامنظم	تصادفی	۰/۷۵	۴۰
نامنظم	خاص (Special)	۱/۰۵ - ۱/۲۰	۳۹
نیم گرد	تصادفی	۰/۷۵	۳۷
نیم گرد	خاص (Special)	۱/۱۰ - ۱/۲۵	۳۶
مقارن	تصادفی	۰/۸۰	۳۸
مقارن	خاص (Special)	۱/۰۰ - ۱/۱۵	۳۷
بسیار گرد گوشه	تصادفی	۰/۸۰	۳۶
بسیار گرد گوشه	خاص (Special)	۱/۰۵ - ۱/۲۰	۳۵

◀ ۵-۸ طراحی سازه‌های تاج

◀ ۱-۵-۸ ملاحظات کلی

سازه‌های تاج را می‌توان به یکی از صورتهای زیر ساخت:

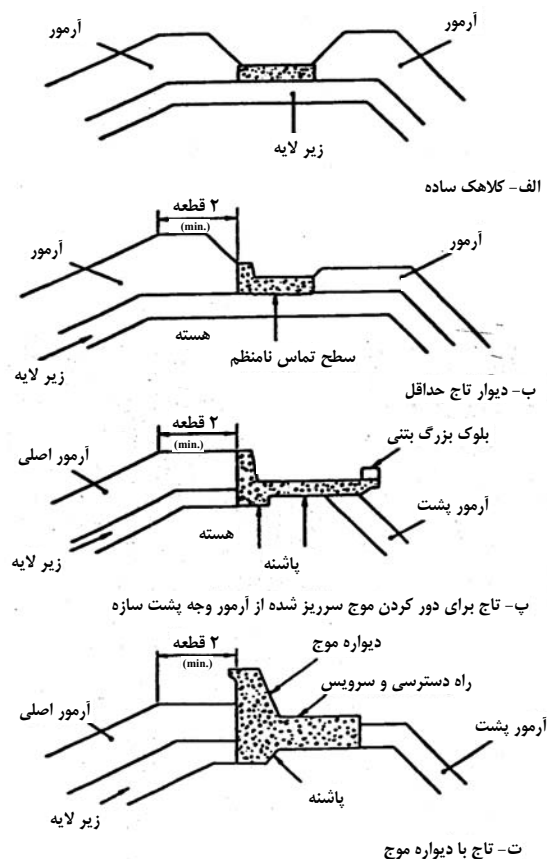
سازه‌های ساده‌ای که وظیفه آن تأمین جاده دسترسی برای بازرسی و نگهداری موج‌شکن است. سازه‌های سنگین همراه با یک دیواره موج برای جلوگیری از سرریزی و یا کاهش آن و همچنین انجام برخی وظایف دیگر در ارتباط با جنبه‌های سرویس‌دهی و انجام فعالیت‌های اقتصادی نمونه‌های سازه‌های تاج در شکل ۸-۱۴ نشان داده شده‌اند. سازه فوقانی (کلاهدک) مسطح در اشکال ۸-۱۴-الف و ۸-۱۴-ب نشان داده شده‌اند. اگر چه این سازه به عنوان یک تکیه‌گاه جانبی برای آرمورهای هر دو وجه عمل می‌کند، اما امکان سرریزی قابل توجه موج از روی آن وجود دارد. به علاوه امواج با ارتفاع بیشتر می‌توانند از لایه زیر کلاهدک به میزان قابل توجهی نفوذ کنند.

نمونه نشان داده شده در شکل ۸-۱۴-پ یک تکیه‌گاه جانبی برای آرمور وجه سمت دریا فراهم کرده و بارهای موج را بر روی دیواره موج کاهش می‌دهد. اگر چه سرریزی در این نوع سازه تاج رخ می‌دهد، اما با توجه به شکل خاص سازه به آرمور پشت موج‌شکن آسیبی نمی‌رسد.

دیواره موج نشان داده شده در شکل ۸-۱۴-ت معمولاً وقتی مورد نیاز است که جلوگیری از سرریزی موج برای حفاظت تأسیسات مهم ضرورت داشته باشد. یک دیواره مقعر یا شکل‌دار را می‌توان برای برگرداندن جریان ناشی از بالاروی موج بر روی سازه مستقر کرد. البته این دیواره گاهی در مورد امواج مرتفع پریرود بلند که موجب بالاروی قابل توجه موج می‌شوند، مؤثر نیست. یک دیواره موج مرتفع تحت تأثیر نیروهای موج بیشتری در مقایسه با سایر انواع سازه‌های تاج قرار می‌گیرد.

زیر لایه در حالت‌های نشان داده شده در اشکال ۸-۱۴-پ و ۸-۱۴-ت به صورت یک سکو در جلو دیواره موج قرار داده شده است. همچنین لایه آرمور در جلو سازه تاج بر روی زیرلایه قرار داده شده است. برای تأمین حداقل مقاومت در مقابل لغزش سازه تاج در حالات نشان داده شده در اشکال ۸-۱۴-پ و ۸-۱۴-ت، سازه مزبور دارای پاشنه‌ای است که به داخل مصالح زیرلایه فرو رفته است.

در سازه‌های تاجی که برای به حداقل رساندن سرریزی، موج را به سمت دریا منعکس می‌کنند، افزایش ضریب انعکاس موج می‌تواند موجب بروز مسایلی در رابطه با پایداری در قسمت فوقانی آرمور اصلی شود. این موضوع را باید با استفاده از ابزار مدل هیدرولیکی مورد بررسی قرار داد. همچنین اگر سازه تاج به نحوی طراحی شود که آب سرریز شده به لبه سمت پشت موج‌شکن هدایت شود، این حالت نیز باید مورد آزمایش مدل هیدرولیکی قرار گیرد.



شکل ۸-۱۴ نمونه‌های سازه‌های تاج برای موج‌شکنهای توده سنگی

◀ ۸-۵-۲ طراحی سازه‌ای

سازه‌های تاج معمولاً به صورت سازه‌های ثقلی طراحی می‌شوند. بنابراین مقطع عرضی آنها ضخیم است. اگر چه این سازه‌ها معمولاً بتنی هستند، اما در موارد زیر با آرماتور مسلح می‌شوند:

الف: کنترل ترکهای سطحی ناشی از تنشهای حرارتی.

ب: مقاومت در مقابل تنشهای خمشی ناشی از نشست ناهمگن سازه توده سنگی یا بارهای موج وارد بر دیوار رو زده.

ج: مقاومت در مقابل تنشهای موضعی وارده از طریق اتصالات برشی.

به طور کلی توصیه می‌شود که استفاده از آرماتور برای تسلیح بتن به حداقل رسیده و سازه‌ای وزین با ضخامت، مقاومت و قابلیت دوام مناسب طراحی شود.

درزهای نشست باید در عرض کل مقطع عرضی سازه تاج در فواصل ۵ تا ۱۰ متری تعبیه شوند. درزهای مزبور باید قادر به انتقال برش افقی باشند. همچنین امکان نشست هر یک از اجزای مستقر بر روی تاج باید در نظر گرفته شود.

◀ ۸-۵-۳ تحلیل

۸-۵-۳-۱ مقدمه

بارهای موج وارد بر سازه تاج به هندسه سازه، سطح لایه آرمور در جلو آن و نفوذپذیری سنگهای زیر سازه بستگی دارد.

۸-۵-۳-۲ فشار آب

فشار موج را می‌توان در صورت عدم وجود نتایج خاص مدل‌های هیدرولیکی و عدم شکست موج بر روی سازه تاج متناسب با تفاوت بین ارتفاع عمده موج و ارتفاع تاج در بالای سطح ایستابی فرض کرد. فشار P_w (بر حسب KN/m^2) را می‌توان به صورت یکنواخت در امتداد کل ارتفاع وجه قائم در نظر گرفت. مقدار تقریبی این متغیر را می‌توان از رابطه تجربی زیر محاسبه کرد:

$$P_w = K W_w L \left(\frac{H_s}{H_c} - 0.5 \right) \quad (27)$$

متغیرهای رابطه فوق عبارتند از:

H_s - ارتفاع عمده موج در محل سازه بر حسب متر

H_c - ارتفاع تاج سازه توده سنگی بر حسب متر

L - طول موج مربوط به پریود عمده موج، در عمق آب جلو سازه بر حسب متر

w_w - وزن واحد آب

به علاوه ضریب K در رابطه فوق بدون بعد بوده و مقدار آن بر حسب نتایج آزمایشهای مدل هیدرولیکی انجام شده بر روی انواع قطعات آرمور (از سنگهای گردگوشه گرفته تا قطعات تتراپاد) بین ۰/۰۲۵ تا ۰/۱۹ متغیر است. استفاده از مقدار ۰/۲۵ برای طراحی اولیه قابل توصیه است.

روش دیگر برای محاسبه فشار وارد بر سازه، آن است که ارتفاع بالاروی موج بر اساس بدترین شرایط موج طرح و بر اساس اطلاعات منتشر شده درباره نتایج مدل هیدرولیکی بر روی شبیه‌های یکنواخت، با توجه به نوع آرمور مورد استفاده تخمین زده شود. آنگاه با فرض صعود آب تا همان تراز بالاروی از سازه، بار دوزنقه‌ای وارده بر روی وجه قائم سازه تاج محاسبه شود.

فشارهای بالابرنده ایجاد شده در زیر سازه تاج به تراز پی آن نسبت به ارتفاع بالاروی موج بستگی دارند. کاهش فشار بالابرنده از سمت رو به دریا تا سمت رو به خشکی، به سطح بالاروی موج، پریود موج و نفوذپذیری لایه ریخته شده بستگی دارد.

در صورت عدم به‌کارگیری پاشنه‌ای بین سازه تاج و هسته نفوذپذیر، باید فرض کرد که یک فشار یکنواخت در زیراساس سازه اعمال می‌شود. مقدار این فشار یکنواخت معادل فشار افقی وارد بر وجه قائم است. اگر چه فشار بالابرنده در عمل به طور یکنواخت به سمت لبه سمت پشت سازه کاهش می‌یابد، اما مقدار فشار کمینه به نفوذپذیری لایه‌ها در زیر سازه بستگی دارد.

۸-۳-۳ پایداری

ضرایب اطمینان باید به صورت نسبت اثر کل نیروهای مقاوم به اثر کل نیروهای برهم زننده تعادل محاسبه شوند.

ضریب اطمینان سازه‌های تاج در مقابل لغزش (که از نیروهای موج حاصل از رابطه فشار ارایه شده در زیربخش ۸-۵-۳-۲ محاسبه می‌شوند) باید حداقل به اندازه ۱/۵ باشد. در نظر گرفتن مسئله افزایش نیروها در اثر از دست رفتن سنگهای آرمور و کنترل بالاتر بودن ضریب اطمینان از مقدار واحد تحت این شرایط نیز قابل توصیه است.

اگر سطح فوقانی سازه تاج نظیر حالت نشان داده شده در شکل ۸-۱۴-ت بالاتر از سطح فوقانی لایه آرمور قرار گیرد، ضریب اطمینان سازه مزبور در مقابل لغزش و واژگونی باید حداقل معادل ۲ باشد. در چنین حالتی می‌توان قسمت فوقانی دیواره تاج را به نحوی طراحی کرد که قبل از حرکت سازه اصلی تخریب شود. البته این به آن شرط است که بدین وسیله بتوان آسیب وارده به سازه اصلی را محدود کرد. در موقع محاسبه پایداری سازه تاج در مقابل واژگونی، باید کل نیروی بالابرنده در زیر عرض کل اساس در نظر گرفته شود.

به علت نامطمئن بودن روابط مورد استفاده در محاسبه نیروهای موج وارد بر سازه‌های تاج، انجام آزمایشهای خاص مدل هیدرولیکی در حالت سازه‌های مهم توصیه می‌شود. آزمایشها را می‌توان به صورت زیر انجام داد:

الف: سازه مدل تحت تأثیر شرایطی شدیدتر از شرایط مورد استفاده در طراحی سازه واقعی قرار گیرد، تا در مورد تداوم پایداری اطمینان حاصل شود.

ب: سازه تاج مدل با چگالی نسبی معادل کمتری نسبت به نمونه واقعی (پروتوتایپ) ساخته شود، تا در مورد کافی بودن پایداری اطمینان حاصل شود.

ج: نیروهای وارد بر سازه مدل که از شرایط طراحی ناشی می‌شوند، اندازه‌گیری شوند. طوری که امکان برآورد ضرایب اطمینان وجود داشته باشد.

علاوه بر ضرایب اطمینان فوق، گاهی کنترل کافی بودن ضریب اطمینان در مقابل تخریب لغزشی در قسمت فوقانی سازه توده سنگی ضرورت می‌یابد.

در صورت استفاده از پاشنه اتصال برشی مناسب باید بین سازه تاج و پاشنه آن، برقرار شود. به طوری که نسبت به انتقال نیروهای افقی از طریق آن اطمینان حاصل شود.

۸-۶ طراحی پنجه و کف بند

پنجه موج‌شکن توده سنگی در شرایط آب کم ژرفا می‌تواند تحت اثر موج‌شکنا قرار گیرد. سرعت‌های آب زیاد و معکوس شدن گرادیان هیدرولیکی می‌توانند موجب فرسایش مصالح بستر دریا (مگر در مورد بستر سنگی) و نشست پنجه سازه شوند. چنین نشستی را می‌توان با ایجاد یک کف بند فیلتر در زیر پنجه کنترل کرد. به‌کارگیری فیلتر در سمت پشت موج‌شکن خصوصاً در محل پوزه آن برای حفاظت بستر دریا در مقابل آب‌شستگی ناشی از موج نیز باید در نظر گرفته شود.

اگر عمق آب در پنجه سازه کمتر از ۲ برابر H_s و شیب وجه آرمور تندتر از ۱ به ۳ باشد، معمولاً استفاده از یک سازه پنجه ضرورت می‌یابد. نمونه‌های سازه پنجه در شکل ۸-۱۵ نشان داده شده‌اند. زیر لایه نشان داده شده در شکل ۸-۱۵-الف برای تشکیل یک پنجه ادامه داده شده است. از این اندازه سنگ می‌توان برای طراحی اولیه در جایی که عمق آب حدوداً بیش از دو برابر H_s است، استفاده کرد. راهنمایی لازم در این خصوص توسط Eckert [۶۷] ارائه شده است. همچنین در این رابطه می‌توان از شکل ۹-۱۱ استفاده کرد. این شکل با استفاده از نتایج حاصل از آزمایش‌های مدل فیزیکی بر روی موج‌شکنهای قائم ترسیم شده است. بنابراین نتایج آن محافظه‌کارانه است. هسته را نباید بدون حفاظ رها کرد. بلکه آن را باید به وسیله آرمور اصلی و ثانویه پوشاند.

جریانها می‌توانند موجب فرسایش بستر دریا شوند. لذا این موضوع را باید مورد توجه قرار داد. راهنمایی لازم در این خصوص در مراجع [۶۸ و ۶۹] ارائه شده است. جریانهای مزبور ممکن است در اثر جزر و مد و یا برخورد امواج مورب با وجه موج‌شکن به وجود آیند. در محل تغییر مسیر موج‌شکن و در انتهای آن ممکن است جریانهای فوق متمرکز شوند. اندازه‌های سنگ مورد استفاده در جلوگیری از آب‌شستگی ناشی از وجود جریانها را می‌توان بر اساس فرمولهای مطرح در طراحی پوششهای حفاظتی کانالها تعیین کرد [۷۰]. همچنین در این رابطه می‌توان به توضیحات ارائه شده در بخش ۹-۳-۸ مراجعه کرد.

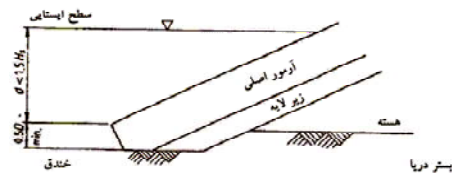
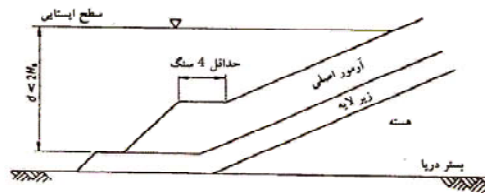
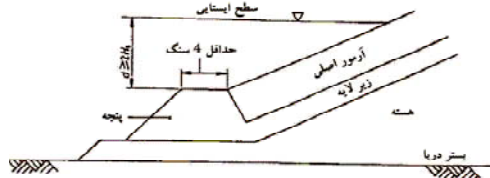
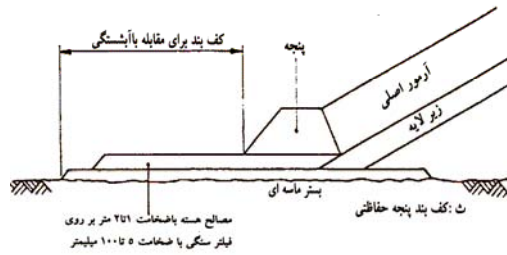
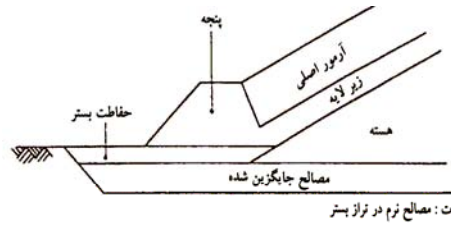
یکی از وظایف مهم سازه پنجه ایجاد تکیه‌گاه برای آرمور است. عرض این سازه باید به اندازه‌ای باشد که در آن بتوان حداقل چهار سنگ را جا داد. به‌کارگیری یک سکو در وجه سمت دریا موجب ایجاد

یک ناپیوستگی در آن محل می‌شود. این ناپیوستگی در میزان پایین آمدگی موج اثر می‌گذارد. بنابراین ابعاد نهایی سکو و اندازه سنگهای آن را باید با استفاده از نتایج آزمایشها مدل هیدرولیکی تعیین کرد. یک کف بند حفاظتی را می‌توان مطابق شکل ۸-۱۵-ث در جلو پنجه ایجاد کرد. در صورتی که مصالح بستر ریزدانه بوده و به راحتی دچار آب‌شستگی شوند، به پنجه با عرض بیشتری نیاز است. همچنین در صورتی که مطابق شکل ۸-۱۶ آب‌شستگی موجب فرو رفتن سازه حفاظت پنجه در خاک شود، در طراحی باید حجم کافی از سنگ را برای ایفای نقش کف بند قربانی در نظر گرفت. اطلاعات بیشتری در این مورد در مراجع [۶۷] و [۷۱] ارائه شده است.

هیچ معیاری برای تعیین عرض مورد نیاز سازه حفاظتی در مقابل آب‌شستگی ارائه نشده است. می‌توان فرض کرد که آب‌شستگی تا فاصله یک چهارم طول موج از پای شیب آرمور بیشترین شدت را دارد. عرض پنجه یا میزان ادامه کف بند حفاظتی مورد نیاز به عمق مصالح قابل فرسایش بستر و نیز مشخصات موج‌شکنها و شدت جریانها بستگی دارد.

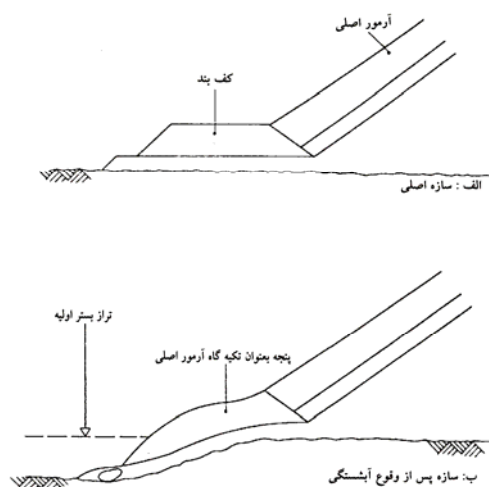
اندازه سنگ مورد نیاز در یک کف بند را می‌توان با تعیین اندازه مورد نیاز بر روی بستر دریا برای پایداری آستانه آن تحت اثر موج طرح در دریای باز تعیین کرد. البته این اندازه را باید با توجه به اثرات شکست و پایین آمدگی موج افزایش داد. یک نمودار برای آستانه حرکت مصالح تحت اثر موج در شکل ۸-۱۷ نشان داده شده است [۷۲]. ارتفاع موج مورد استفاده باید $H_{1/10}$ باشد. پیشنهاد می‌شود که وزنهای سنگ استخراج شده از شکل ۸-۱۷ دو برابر شود. البته این مقدار نیز باید در صورت شدت جریانها افزایش داده شود.

هنگامی که مصالح بستر دارای ماسه و مصالح ریزدانه است، برای جلوگیری از خروج ماسه از میان لایه‌های سنگ مورد استفاده برای حفاظت پنجه در مقابل آب‌شستگی می‌توان از یک بالشتک استفاده کرد. خروج ماسه به علت نوسان فشارهای منفذی ناشی از عملکرد موج رخ می‌دهد. در این خصوص می‌توان از بالشتکهای توخالی که با سنگ پر می‌شوند و یا پرده‌های زمینی که با سنگ یا بتن پر می‌شوند، استفاده کرد.



مکعب نماد D -
 پ: سنگ در تراز بستر
 توجه: که هم آب

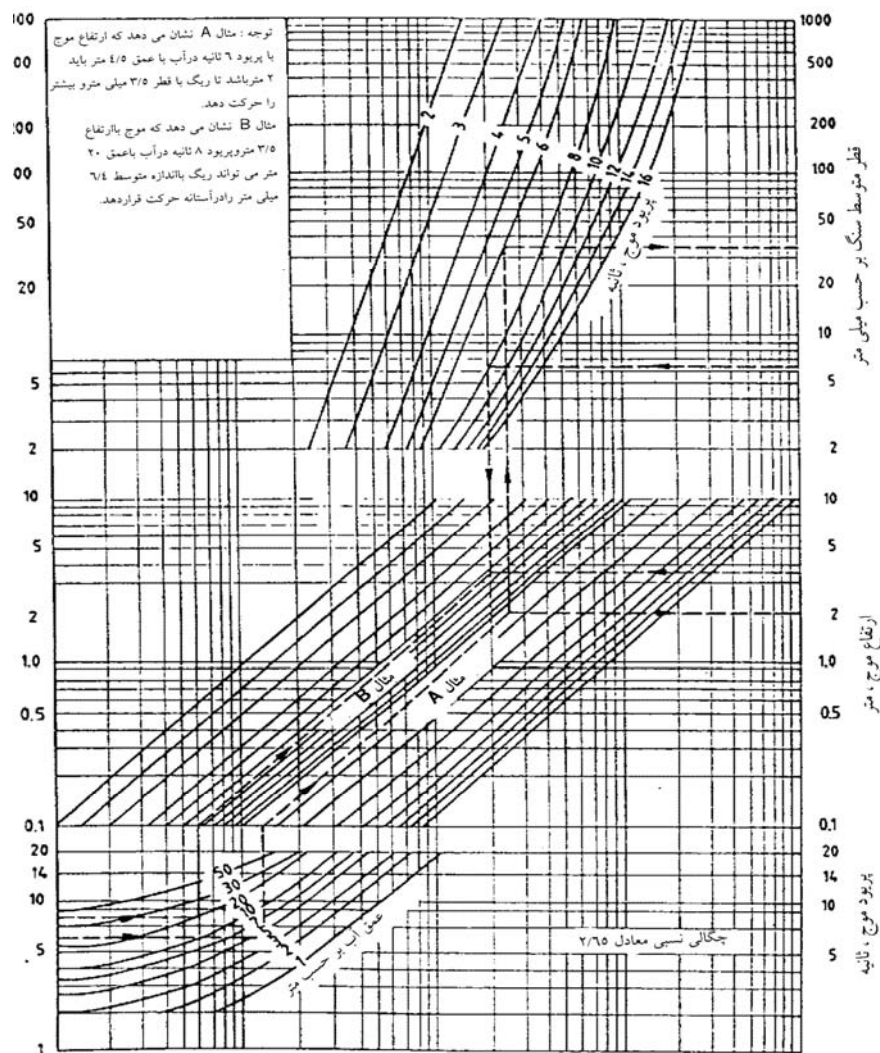
شکل ۸-۱۵ جزئیات پنجه موج شکنهای توده سنگی



شکل ۸-۱۶ کف بند قربانی برای موج شکنهای توده سنگی

اگر سنگهای با اندازه مورد نیاز در دسترس نباشند، باید از گزینه دیگری برای حفاظت پنجه سازه در مقابل آب‌شستگی استفاده کرد. به عنوان مثال می‌توان از بالشتکها سنگهای کوچکی که با آسفالت بتونه به یکدیگر چسبیده‌اند، استفاده کرد. این گزینه‌ها از فرار مصالح ریزدانه بستر نیز جلوگیری می‌کنند. نمونه‌ای از یک موج‌شکن بزرگ که بر روی یک بستر قابل فرسایش قرار گرفته در شکل ۸-۲-ث نشان داده شده است.

پنجه به عنوان تکیه‌گاه آرمور بسیار اهمیت دارد. از سوی دیگر هزینه احداث آن در مقایسه با آرمور بسیار کم است. بنابراین در طراحی آن باید به طور محافظه‌کارانه عمل کرد. اندازه سنگ و نیمرخ پنجه باید با آزمایشهای مدل هیدرولیکی کنترل شود.



شکل ۸-۱۷ آستانه حرکت مصالح سنگی بر روی بستر دریا تحت عملکرد موج

۷-۸ طراحی پی‌ها

همان‌طور که در زیربخش ۸-۲-۳ توضیح داده شد، پایداری کل سازه شامل پایداری آرمورهای سنگی و پی سازه در مقابل بارهای استاتیکی و دینامیکی می‌شود.

پایداری پی در مقابل تخریب را باید با توجه به طرح پیشنهادی سازه و اطلاعات مربوط به خاک پی محاسبه کرد. راهنمایی لازم درباره ضرایب اطمینان مناسب ارائه شده است. در نظر گرفتن احتمال تخریب توأم سازه توده سنگی و پی آن ضرورت دارد. مقاومت سازه توده سنگی و پی آن در مقابل نیروهای ناشی از زلزله باید با توجه به کدهای مربوطه مورد بررسی قرار گیرد. شیب سازه‌های توده سنگی اغلب تند است و می‌تواند تحت تأثیر زلزله‌های شدید قرار گیرد. پی سازه نیز در صورت احتمال بروز پدیده روانگرایی خاک می‌تواند تحت تأثیر قرار گیرد.

نشست پی سازه را باید مورد ارزیابی قرار داد. این نشست می‌تواند به علل زیر رخ دهد:

الف: تراکم یا تخریب مصالح پی

ب: روانگرایی ماسه در تراز پی به علت زمین‌لرزه

ج: روانگرایی همان مصالح به علت معکوس شدن گرادیانهای هیدرولیکی در اثر عملکرد موج

د: خروج مصالح ریزدانه پی به داخل بدنه موج‌شکن

میزان نشست سازه به علت تراکم‌پذیری یا روانگرایی را می‌توان با استفاده از نظریه‌های استاندارد مکانیک خاک برآورد کرد. ارزیابی اثرات گرادیانهای معکوس هیدرولیکی بر روی مصالح پی دشوار است. با به‌کارگیری پنجه و کف بند (زیربخش ۸-۶) می‌توان حفاظت لازم در مقابل این عمل (آب شستگی) را تأمین کرد.

میزان خروج مصالح ریزدانه از سطح پی به داخل بدنه موج‌شکن را می‌توان با ایجاد یک لایه فیلتر مطابق شکل (۸-۲ پ) محدود کرد. راهنمایی لازم درباره فیلتر در بخش (۸-۴) ارائه شده است. همچنین در این رابطه می‌توان به مرجع [۴۶] مراجعه کرد.

تعویض مصالح ضعیف پی با سنگ، شن و یا ماسه یک راه حل برای مسایل پایداری پی و نشست است. در صورت وجود ماسه در عمقی که امکان وقوع پدیده روانگرایی وجود دارد، به‌کارگیری روشهای اصلاحی نظیر افزایش تراکم باید در نظر گرفته شود. گاهی محدود کردن اثرات نشست با برنامه‌ریزی دقیق عملیات سازه وجود دارد.

جزئیات بیشتر در مورد پی‌ها در بخش سوم ارائه گردیده است.

۸-۸ طراحی پوزه موج‌شکن

موضوع پایداری پوزه (رأس) موج‌شکن باید به طور خاص مورد توجه قرار گیرد. پوزه موج‌شکن به دلایل زیر بیشتر از سایر قسمت‌های سازه تحت تأثیر امواج قرار می‌گیرد:

الف: پوزه معمولاً در عمیق‌ترین قسمت قرار دارد.

ب: پوزه اغلب در جایی قرار دارد که از جهات مختلف تحت تأثیر امواج قرار می‌گیرد.

ج: امواج منتشره می‌توانند به وسیله سازه یا موج‌شکن دیگری در محل ورودی بندر منکسر، منعکس و متفرق شوند.

د: به علت انعکاس و انکسار موج از کانال لایروبی یا تغییرات سطح بستر ناشی از رانه ساحلی یا تشکیل پشته زیر آبی، اغتشاش ناشی از موج افزایش می‌یابد.

ه: جریانها در محل پوزه بیشتر از سایر قسمت‌های موج‌شکن اثر دارند.

پوزه موج‌شکنها معمولاً به صورت گرد طراحی می‌شود شکل ۸-۱۸، اگر در محل پوزه به جای سازه توده سنگی گرد از صندوقه‌ای قائم استفاده شود، در آن صورت به محل اتصال آن به بدنه توده سنگی موج‌شکن باید توجه کرد، زیرا نیروی موج می‌تواند در آن محلها متمرکز شود. صندوقه‌ها را می‌توان با مراجعه به فصلهای ۹ و ۱۰ طراحی کرد.

هندسه یک پوزه سنتی مسایل زیر را برای پایداری آرمور به وجود می‌آورد:

الف: عملکرد موج به ایجاد سرعت‌های آب بیشتر در قسمت‌هایی از شیب پشت در مقایسه با سایر قسمت‌های سازه منجر می‌شود. بررسیها نشان داده‌اند که پایداری آرمور در این ناحیه از سایر قسمت‌ها کمتر است.

ب: انحناي پوزه می‌تواند درگیری بین قطعات آرمور را کاهش دهد.

پوزه موج‌شکن را با توجه به اثرات منفی فوق باید به گونه‌ای طراحی کرد که پایداری آن تحت شرایط طوفان یکسان در حد پایداری بدنه موج‌شکن باشد. به این منظور می‌توان از یکی از روشهای زیر استفاده کرد:

الف: افزایش وزن آرمور در قسمت پوزه

ب: کاهش شیب پوزه در مقایسه با بدنه موج‌شکن

ج: ترکیبی از دو روش فوق

د: افزایش ضخامت و در نتیجه نفوذپذیری لایه آرمور در قسمت پوزه

ه: استفاده از مصالح دانه‌ای سنگین‌تر در ساخت قطعات آرمور بتنی

از تمهیدات فوق باید در اطراف پوزه در فاصله‌ای در دو سمت بدنه سازه به اندازه ۱ تا ۲ برابر ارتفاع کل سر موج‌شکن استفاده کرد. یک ناحیه انتقالی بین پوزه و بدنه موج‌شکن در سمت دریا در نظر گرفته می‌شود.

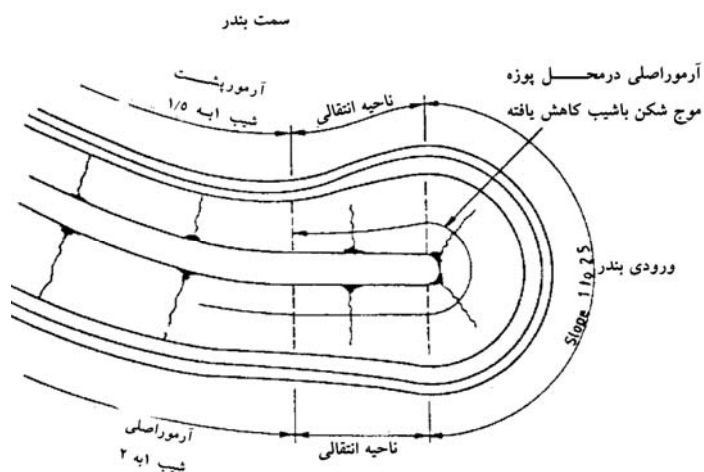
برخی انواع قطعات آرمور بتنی نظیر تتراپاد و دالاس در مقابل حمله موج مورب در مقایسه با امواج عمود بر سازه پایداری کمتری دارند. بنابراین در صورت استفاده از چنین قطعاتی در پوزه باید به مسئله فوق توجه داشت.

مقادیر پیشنهادی K_D برای پوزه موج‌شکن در جدول ۸-۳ ارائه شده‌اند. این مقادیر از مقادیر مربوطه در بدنه موج‌شکن کمتر بوده و به محدوده شیبهای ارائه شده در جدول محدود می‌شوند. از این مقادیر نباید برای شیبهای ملایم‌تر از شیبهای مذکور در جدول فوق استفاده کرد.

برای طراحی پنجه و سازه‌های مقابله کننده با فرسایش بستر دریا در پای موج‌شکن باید به توضیحات بخش ۸-۶ مراجعه کرد.

حسب گفته Jensen [۷۳] منحنی آسیب برای پوزه معمولاً از منحنی مشابه برای بدنه موج‌شکن تندتر است. افزون بر این پوزه موج‌شکن ممکن است دچار آسیب پیش رونده شود. یعنی اگر پوزه و بدنه بر اساس سطح آسیب (کم) مشابه طراحی شوند، آنگاه افزایش غیر منتظره در ارتفاع موج می‌تواند موجب خرابی پوزه یا بخشی از آن شود. اما بدنه هنوز آسیب قابل قبولی را نشان می‌دهد. این مسئله برای پوزه‌هایی که به وسیله آرمورهای سنگی پوشش داده شده‌اند، اهمیت کمتری دارد.

پوزه موج‌شکنهای مهم باید در حوضچه‌های موج به صورت سه بعدی مورد آزمایش مدل هیدرولیکی قرار گیرد. امواج در این آزمایشها باید از جهات مختلف به پوزه برخورد کنند، بخش ۷-۱. برای کسب اطلاعات بیشتر در مورد طراحی پوزه موج‌شکن به مرجع [۷۳] مراجعه شود.



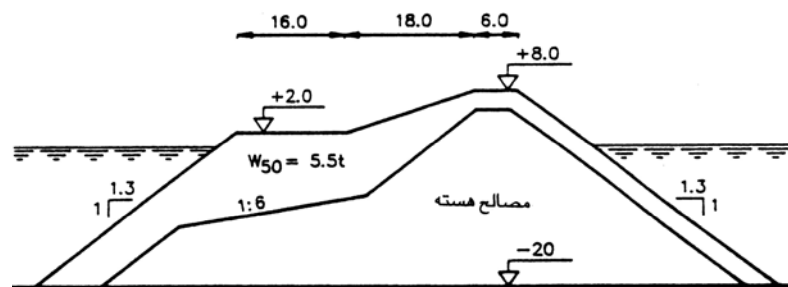
شکل ۸-۱۸ نمونه پوزه موج شکن توده سنگی

◀ ۸-۹ موج شکنهای سکویی

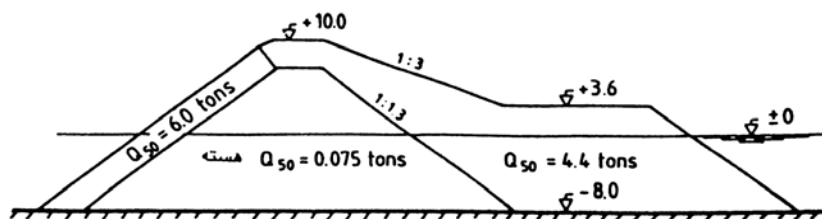
موج شکن سکویی نوعی موج شکن شکل پذیر است. وجه جلو موج شکن سکویی دارای سکویی است که در بالای سطح ایستایی قرار می گیرد (شکل ۸-۱۹). این سکو پس از برخورد امواج با موج شکن، تغییر شکل می دهد تا یک نیمرخ متعادل در سمت دریا حاصل شود. لذا برای هر ارتفاع موج یک نیمرخ متعادل مربوط به این ارتفاع موج وجود دارد. معمولاً در زیر سطح آب، شیب نیمرخ تغییر شکل یافته و حدود ۵:۱ است. سنگها در جلو این شیب ملایم با یک شیب تندتر نزدیک به زاویه قرارگیری آنها بر روی یکدیگر انباشته می شوند. انرژی موج بر روی توده های سنگ که شیب ملایمی دارند، مستهلک می شوند. باید توجه داشت که موج شکنهای سکویی را می توان با حالت تعادل استاتیکی یا دینامیکی آن هم برای بلندمدت طراحی کرد. موج شکنهای سکویی با حالت تعادل استاتیکی در واقع همان موج شکن توده سنگی سنتی است که در جلو وجه سمت دریای سازه یک سکو قرار دارد. ساخت این موج شکنها بیشتر در کشور ایسلند رایج است. از سوی دیگر، موج شکنهای سکویی با حالت دینامیکی همان موج شکنهای شکل پذیر هستند. البته در موج شکنهای شکل پذیر ساخته شده در کشور استرالیا از سکو در جلو وجه سمت دریای سازه استفاده نمی شود. این موج شکنها به موج شکنهای مسلح توده ای معروف هستند.

موج‌شکنهای شکل‌پذیر برای حفاظت از بنادر برخی کشورهای جهان ساخته شده‌اند [۱۱ و ۷۴]. برخی مقاطع عرضی موج‌شکنهای سکویی و شکل‌پذیر ساخته شده در جهان در شکل ۸-۱۸ نشان داده شده‌اند.

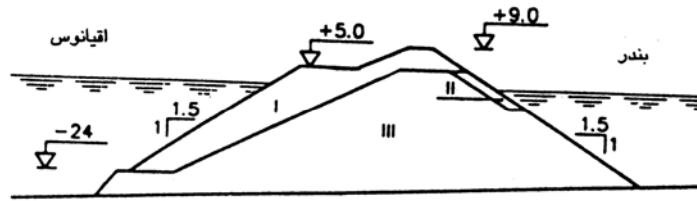
معمولاً در موج‌شکنهای سکویی از سنگهای با وزن $\frac{1}{2}$ تا $\frac{1}{10}$ تا سنگهای لایه آرمور موج‌شکنهای سنتی استفاده می‌شود. هرگاه معدن سنگ با قابلیت بلوک‌دهی بالا در نزدیکی محل احداث موج‌شکن موجود نبوده و امکان فراهم کردن مقدار کافی از سنگهای بزرگ برای موج‌شکنهای توده سنگی سنتی وجود نداشته و همچنین سنگ با کیفیت مناسب در دسترس باشد، آنگاه احداث موج‌شکن سکویی می‌تواند یک گزینه محتمل باشد.



الف: مقطع عرضی تیب موج‌شکن سکویی در Rennesoy نروژ (ابعاد بر حسب متر)



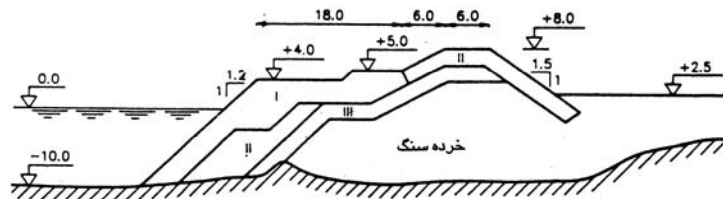
ب: افزایش طول موج‌شکن در Arviksand نروژ (ابعاد بر حسب متر)



دسته بندی سنگها :

- I $1.7 \leq W \leq 7.0t$, $\bar{W} = 3.2t - 4.2t$
- II $0.5 \leq W \leq 1.7t$, $\bar{W} = 1.0t$
- III مصالح هسته

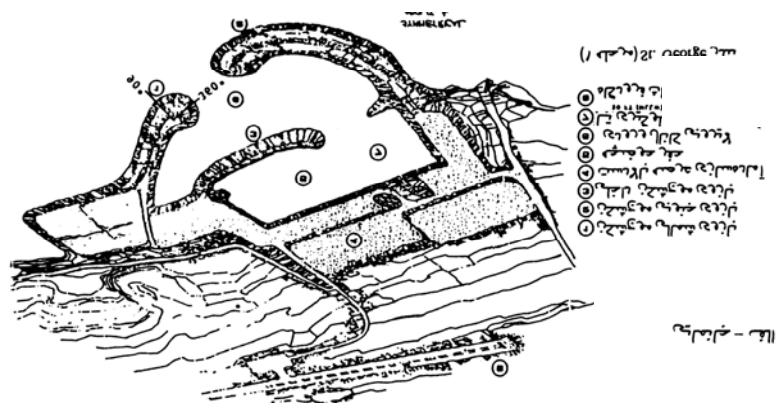
پ: مقطع عرضی موج شکن سکویی در Keflavik ایسلند (کلیه ابعاد بر حسب متر است)



دسته بندی سنگها :

- I سنگهای معدن $W = 5.5 - 12.5t$, $\bar{W} = 8.3t$
- II سنگهای معدن $W = 2.5 - 5.5t$, $\bar{W} = 3.7t$
- III سنگهای معدن $W = 0.3 - 2.5t$

ت: مقطع تیب موج شکن بندر Skopun ایسلند (ابعاد بر حسب متر)



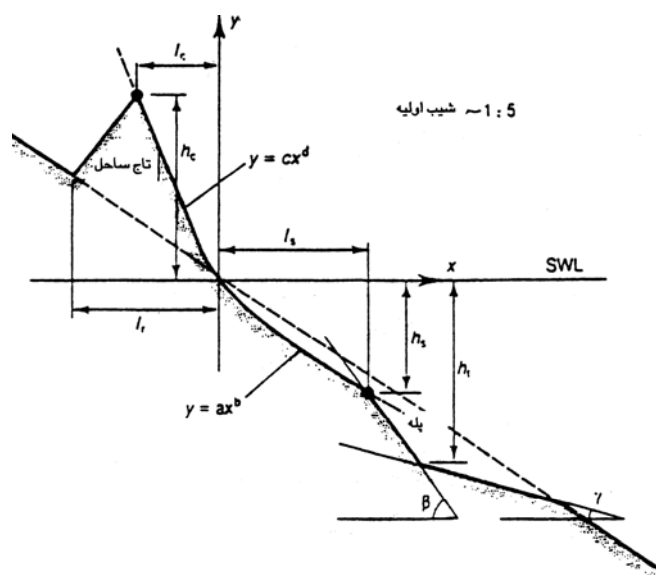
ث: جانمایی تپه رأس موج شکن سکویی در St. George آمریکا

شکل ۸-۱۹ نمونه‌های موج شکنهای سکویی

◀ ۸-۹-۱ مشخصات نیمرخ سمت دریا

پایداری سازه‌های پایدار ایستا را می‌توان با استفاده از پارامتر آسیب تبیین کرد. ولی پایداری سازه‌های پایدار پویا با تغییر نیمرخ سازه تبیین می‌شود. یک نمونه نیمرخ سازه پایدار پویا پس از تغییر شکل به طور نمایشی در شکل ۸-۲۰ نشان داده شده است. شیب اولیه سازه ۵: ۱ بوده که شیب نسبتاً ملایمی است. شایان ذکر است که شکل فوق به مقیاس ترسیم نشده است.

Van der Meer [۲۳] تعداد زیادی آزمایش مدل فیزیکی برای تعیین روابط بین پارامترهای مشخص کننده نیمرخ مطابق شکل ۸-۲۰ و پارامترهای هیدرولیکی و سازه‌ای انجام داد. برای تهیه یک مدل محاسباتی (مدل رایانه‌ای) از این روابط استفاده شده است. حسب تحقیقات انجام شده، از این مدل می‌توان برای طراحی اولیه موج شکنهای سکویی و شکل‌پذیر استفاده کرد [۱۱ و ۷۵].



شکل ۸-۲۰ نمودار حاصل از شیب اولیه ۱:۵

۸-۹-۲ تعیین ابعاد بهینه موج شکن سکویی

یک موج شکن سکویی را می توان به مثابه یک موج شکن غیر سنتی در نظر گرفت. جابه جایی آرمورهای سنگی در نخستین مرحله عمر این سازه ها پذیرفته شده است. پس از جابه جایی سنگها، سازه تقریباً در حال تعادل استاتیکی خواهد بود. مقطع عرضی اولیه یک موج شکن سکویی را می توان با شیب تحتانی $l:m$ ، سکوی افقی با طول l (کمی بالاتر از سطح ایستایی در این حالت) و شیب فوقانی $l:n$ تبیین کرد. معمولاً شیب تحتانی تیز بوده و به زاویه قرارگیری مصالح نزدیک است. منحیلهایی برای تعیین طول کمینه سکو به صورت تابعی از شیبهای پایینی و بالایی برای یک موج شکن سکویی خاص در مراجع [۱۱ و ۲۳] ارائه شده اند.

◀ ۸-۹-۳ پایداری وجه پشت موج شکنهای سکویی

Veldman و Van der meer [۷۶] چند سری آزمایش بر روی دو موج شکن سکویی با طرحهای مختلف انجام دادند. آنها بر اساس روابط حاصله بین آسیب وجه پشت موج شکن سکویی و ارتفاع تاج، ارتفاع موج، تیزی موج و اندازه سنگ، اولین قاعده طراحی را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج تجربی محققین فوق نشان داد که برای طراحی وجه پشت موج شکن سکویی در اثر سرریزی موج می‌توان از مقادیر زیر استفاده کرد:

$$\frac{R_c}{H_s} s_{0p}^{1/3} = 0.25 \quad (28) \text{ شروع آسیب}$$

$$\frac{R_c}{H_s} s_{0p}^{1/3} = 0.21 \quad (29) \text{ آسیب متوسط}$$

$$\frac{R_c}{H_s} s_{0p}^{1/3} = 0.17 \quad (30) \text{ آسیب شدید}$$

متغیرهای روابط فوق عبارتند از:

R_c - ارتفاع آزاد تاج نسبت به سطح ایستابی

H_s - ارتفاع عمده موج

s_{0p} - تیزی موج حاصل از پیوند اوج موج

شایان ذکر است که Anderson و همکاران وی [۷۷] یک سری آزمایشهای اساسی بر روی پایداری وجه پشت موج شکنهای سکویی انجام داده‌اند.

◀ ۸-۹-۴ پوزه موج شکن سکویی

نقاط خاص نظیر خمها و پوزه‌ها در موج شکنهای سکویی باید مورد توجه خاصی قرار گیرند. جابه‌جایی سنگها در محل برخورد امواج مایل موجب تضعیف سازه می‌شود - Frigaard و Burcharth [۷۸ و ۷۹]، - و Veldman و Van der Meer [۷۶] و سنجانی، چگینی و بنازاده ماهانی [۸۰] آزمایشهایی در رابطه با موضوع پایداری پوزه موج شکنهای سکویی انجام داده‌اند.

◀ ۸-۹-۵ انتقال مصالح در امتداد بدنه موج‌شکنهای سکویی

نیروهای موازی بدنه سازه در اثر حمله مورب موج در مقابل سازه به وجود می‌آیند. این نیروها ممکن است موجب انتقال مصالح موج‌شکنهای سکویی به موازات بدنه سازه به علت وزن کم آنها شوند. و Frigaard و Burcharth [۷۸ و ۷۹] در رابطه با موضوع فوق مطالعاتی انجام دادند. آنها با توجه به مجاز نبودن حرکت مصالح در امتداد بدنه موج‌شکن، توصیه‌های زیر را برای طراحی موج‌شکنهای سکویی مطرح کرده‌اند.

برای بدنه‌هایی که در معرض امواج تیز قرار دارند:

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} < 4.5 \quad (31)$$

برای بدنه‌هایی که در معرض امواج مورب قرار دارند:

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} < 3.5 \quad (32)$$

برای پوزه‌ها :

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} < 3 \quad (33)$$

Van der Meer و Veldman [۷۶] همچنین Vrijling و همکاران وی [۸۱] در رابطه با این موضوع مطالعاتی انجام دادند. آنها نیز فرمولهایی برای انتقال موازی مصالح بدنه موج‌شکنهای سکویی ارائه کرده‌اند که در طراحی این سازه‌ها باید مورد توجه قرار گیرند.

◀◀ ۸-۱۰ موج‌شکنهای تاج کوتاه

در صورتی که عبور قابل توجه موج در اثر سرریزی قابل قبول باشد می‌توان از یک موج‌شکن تاج کوتاه استفاده کرد. تاج چنین سازه‌ای با توجه به تغییرات تراز آب ناشی از جزر و مد می‌تواند به صورت مستغرق بوده و یا آشکار باشد. عملکرد این سازه می‌تواند تحت تأثیر تغییرات کشندی قرار گیرد.

سازه‌های سنگی تاج کوتاه را می‌توان به سه دسته تقسیم کرد. این سه دسته عبارت از موج‌شکنهای پشته‌ای پایدار پویا، سازه‌های تاج کوتاه پایدار ایستا (با تاج در بالای سطح ایستابی) و سازه‌های مستغرق پایدار ایستا هستند.

موج‌شکن پشته‌ای یک توده سنگی همگن، با تاج کوتاه و بدون لایه فیلتر و هسته است. این سازه در مقابل موج دچار تغییر شکل می‌شود. موج‌شکنهای تاج کوتاه پایدار ایستا نزدیک به سازه‌های بدون سرریزی و یا در آستانه سرریزی هستند ولی با توجه به عبور قسمت عمده‌ای از انرژی موج از روی موج‌شکن، طبیعتاً پایدارتر هستند. موج‌شکنهای مستغرق پایدار ایستا سازه‌هایی هستند که انرژی موج را از روی خود عبور می‌دهند. پایداری در این سازه‌ها به میزان قابل توجهی با کاهش ارتفاع تاج افزایش می‌یابد. بدیهی است که در این سازه‌ها انتقال موج، قابل توجه است.

Ahrens [۳۱ و ۸۲] و Van der Meer [۸۳] آزمایشهایی بر روی موج‌شکنهای پشته‌ای انجام دادند. همچنین Van der Meer [۸۳] و Pilarczyk [۴۲] روابطی برای تعیین کاهش ارتفاع تاج موج‌شکن پشته‌ای در اثر برخورد امواج ارایه کردند.

Van der Meer [۸۳] معادلاتی برای کاهش جرم آرمور یک موج‌شکن تاج کوتاه پایدار ایستا در مقایسه با جرم آرمور موج‌شکن توده سنگی سنتی ارایه کرد. Vidal و همکاران وی [۸۴] نیز در این رابطه مطالعاتی انجام داده‌اند.

Vev der Meer [۸۳] با تحلیل مجدد نتایج آزمایشهای Gilver و Sorensen [۸۵] رابطه‌ای برای تبیین پایداری سازه‌های مستغرق به دست آورده است. روابط مربوط به این سه نوع موج‌شکن در مراجع [۸ و ۹] ارایه شده‌اند.

میزان عبور موج در سازه‌های تاج کوتاه به شرایط موج منتشره، ارتفاع آزاد یا میزان استغراق سازه، عرض تاج و مصالح هسته سازه بستگی دارد Powell و Allsop [۲۷] اطلاعاتی درباره عملکرد هیدرولیکی و پایداری موج‌شکنهای تاج کوتاه ارایه کرده‌اند.

موج‌شکنهای تاج کوتاه را معمولاً باید با استفاده از تجهیزات شناور احداث کرد. البته در صورت زیاد بودن دامنه جزر و مد، گاهی می‌توان آنها را در حالت جزر احداث کرد. گاهی افزایش هزینه‌های اجرایی چنین موج‌شکنهایی، صرفه‌جویی حاصله در به‌کارگیری مصالح را خنثی می‌کند.

در صورت به‌کارگیری چنین موج‌شکنهایی باید با به‌کارگیری علایم کافی مانع تصادم شناورها با آنها شد. در غیر این صورت چنین سازه‌هایی می‌توانند خطراتی برای ناوبری ایجاد کنند. همچنین بازرسی و نگهداری موج‌شکنهای تاج کوتاه دشوار بوده و تنها در شرایط جزر و یا در صورت استفاده از قایق امکان‌پذیر است.

طراحی نهایی موج‌شکنهای تاج کوتاه مستلزم انجام آزمایشهای مدل هیدرولیکی است.

◀ ۸-۱۱ مصالح ساختمانی

◀ ۸-۱۱-۱ سنگ

- برخی راهنماییها در مورد نحوه انتخاب سنگ توسط **Poole** و **Fookes** [۸۶] ارائه شده‌اند.
- شرط اول استفاده از سنگ در ساخت موج‌شکن، شناسایی یک معدن مناسب است. کیفیت سنگ معدن باید قابل قبول بوده و میزان سنگ مورد نیاز از آن قابل استخراج باشد.
- برای شناسایی معدن سنگ باید بررسیهای زیر را انجام داد:
- الف: سنگ‌شناسی شامل مقاومت، اندازه سنگ، سیمان‌دار شدن و چگالی نسبی
- ب: فرکانس توأم جهت قرارگیری و ضخامت بستر (برای ارزیابی احتمال استخراج بلوکهای بزرگ و درصدی از سنگ معدن که به این بلوکها منجر می‌شود).
- ج: عمق سربار و ترازهای آب زیرزمینی
- این عوامل، هزینه عملیات استخراج سنگ را تحت تأثیر قرار می‌دهند.
- د: مسئله مالکیت معدن
- جزئیات بررسیهای محلی می‌تواند شامل کاوشهای ژئوفیزیکی، مته‌زنی دورانی برای مغزه‌گیری و انفجارهای آزمایشی باشد. کیفیت سنگ بلافاصله پس از دستیابی به نمونه‌ها باید در آزمایشگاه مورد آزمایش قرار گیرد.
- اگر چه روشهای آزمایشگاهی برای تعیین ضریب طاقت سنگ در مقابل شکست و ساییدگی در مورد سنگهای موج‌شکن در حال توسعه هستند، اما در حال حاضر به طور منظم مورد استفاده قرار نمی‌گیرند.

حصول اطمینان درباره کیفیت سنگ‌های مورد استفاده در ساخت موج شکن‌های شکل‌پذیر از اهمیت خاصی برخوردار است.

بعید است که درصد دانه‌بندی سنگ‌های سنگین از مقادیر زیر فراتر رود:

سنگ از ۰/۲ تا ۱ تن ۱۵٪

سنگ از ۱ تا ۴ تن ۲۰٪

سنگ بیش از ۴ تن ۱۵٪

انجام آزمایشها بر روی سنگ‌های استخراج شده از معدن باید در حین عملیات تداوم یابد تا نسبت به حفظ کیفیت آن اطمینان حاصل شود. سنگ‌های با کیفیت پایین‌تر بیشتر در معرض شکسته شدن، ساییدگی، گردگوشه شدن و حملات شیمیایی قرار می‌گیرند، خصوصاً اگر به عنوان لایه‌های آرمور مورد استفاده قرار گیرند.

۸-۱۱-۲ بتن

اگر چه بتن مورد استفاده در قطعات آرمور بتنی به طور کلی حجیم بوده و به ندرت مسلح می‌شوند، اما نباید فقط به عنوان یک وزن مرده از بتن در نظر گرفته شوند. این قطعات تحت تأثیر بارهای استاتیکی و دینامیکی بوده و با توجه به محیط دریا در معرض خوردگی قرار می‌گیرند. بنابراین باید در ساخت آنها از بتن با کیفیت بالا استفاده کرد. توصیه می‌شود که مقاومت مشخصه این بتن در حد $30 N/mm^2$ و یا بیشتر باشد. در مورد استفاده زیاد از سیمان در قطعات بتنی به علت احتمال ترک خوردن آنها در اثر خزش باید احتیاط کرد. رعایت این مسئله خصوصاً در مورد قطعات آرمور بزرگ مطرح است. کنترل کیفی بتن مورد استفاده در ساخت آرمورها با رعایت استانداردهای بالا اهمیت دارد.

۸-۱۱-۳ پرده زمینی و محصولات وابسته

از لایه‌های پرده زمینی می‌توان برای تسلیح مصالح و یا به عنوان فیلتر استفاده کرد. در صورتی که از پرده زمینی جهت تسلیح مصالح استفاده شود، مهم‌ترین خصوصیات آن شامل مقاومت کششی در بلندمدت، استحکام مکانیکی و مقاومت در مقابل عوامل مخرب شیمیایی می‌شود.

در صورت استفاده از پرده زمینی به عنوان لایه فیلتر، مهم‌ترین خصوصیت آن ایفای نقش فیلتر یعنی جلوگیری از عبور مصالح ریزدانه و معیار نفوذپذیری است. در مورد ارزیابی دو عامل فوق می‌توان به مراجع [۸۷ تا ۸۹] مراجعه کرد.

روشهای آزمایش پرده‌های زمینی ارایه شده‌اند.

◀ ۸-۱۱-۴ قیر

راهنمایی در مورد استفاده از قیر در مهندسی دریا برای پر کردن درزها و یا به عنوان بتونه قیری توسط Mulders و Garderen [۹۰] و مراجع [۹۱ و ۹۲] توضیح داده شده‌اند.

◀◀ ۸-۱۲ احداث

◀ ۸-۱۲-۱ کلیات

اثر برنامه یا طرح احداث، عوامل مؤثر در ترتیب عملیات احداث، ساخت اجزای اصلی موج‌شکن، و اندازه‌گیری و تفاوت‌های مجاز در احداث در زیربخشهای ۸-۱۲-۲ تا ۸-۱۲-۸ توضیح داده شده‌اند.

توضیحات به تفصیل در مورد احداث موج‌شکن توده سنگی ساخته شده با آرمور سنگی و قطعات آرمور بتنی به ترتیب توسط Ridgway و همکاران وی [۹۳] و Brinson و Hookway [۹۴] ارایه شده‌اند.

◀ ۸-۱۲-۲ تجهیزات کارگاه

موج‌شکنهای توده سنگی را می‌توان از طریق خشکی یا دریا احداث کرد. روشهای ممکنه احداث باید در مرحله اولیه طراحی در نظر گرفته شوند. زیرا این روشها در نحوه طراحی سازه تأثیر می‌گذارند.

شرایط آب و هوایی بر روی نوع تجهیزات مورد استفاده در ساخت موج‌شکن تأثیر می‌گذارد. به عنوان مثال حرکت دوجه‌های دارای جرثقیل در این شرایط، عملیات استقرار دقیق قطعات آرمور را دچار مشکل می‌کند. در برنامه‌ریزی احداث سازه باید به تغییرات آب و هوایی در زمان احداث توجه کرد.

در مکانهایی که امواج دورا به طور پیوسته با سازه در حال احداث برخورد می‌کنند، گاهی امکان استقرار دقیق قطعات آرمور از طریق خشکی نیز وجود ندارد. زیرا این قطعات به هنگام پایین رفتن در آب قدری جابه‌جا می‌شوند. این مسئله باید در طراحی با فرض خاصیت درگیری کم قطعات در نظر گرفته شود.

در صورت ساخت موج‌شکن از طریق خشکی، باید عرض کافی را برای عبور ماشین‌آلات از روی تاج سازه فراهم کرد. عملیات احداث سازه در این حالت باید در ارتفاعی صورت گیرد که امکان ادامه کار در شرایط عادی وجود داشته باشد. برای تأمین عرض عملیاتی کافی برای ماشین‌آلات می‌توان از هسته و زیرلایه استفاده کرد.

◀ ۸-۱۲-۳ ترتیب عملیات احداث

عملیات احداث باید به ترتیب زیر انجام شود:

- الف: آماده سازی بستر
- ب: استقرار هسته
- ج: استقرار مترس
- د: استقرار زیرلایه
- ه: احداث پنجه
- و: استقرار آرمور
- ی: ساخت یا استقرار تاج سازه

◀ ۸-۱۲-۴ احداث پنجه

در صورتی که خطر ورود مصالح معلق به خندق وجود داشته باشد، خندقهای پی باید بلافاصله پس از لایروبی با مصالح خاص پر شوند.

در صورت استفاده از پرده‌های زمینی در زیر آب، باید آنها را سنگین کرد. طوری که مانع از شناور شدن و بلند شدن آنها توسط امواج سنگین شد.

◀ ۸-۱۲-۵ هسته و زیرلایه‌ها

عملیات ساخت هسته در زیر سطح آب را می‌توان با صرف هزینه کمتری با استفاده از شناورها انجام داد. ریختن مصالح از کف دویه‌ها در اعماق بیش از حدود ۴ متر و ریختن مصالح از بغل پانتونها در اعماق بیش از ۲ متر عملی است. استفاده از یک جرثقیل مستقر بر روی شناور نیز راه حل دیگری برای ساخت هسته در زیر سطح آب است.

هسته و زیرلایه‌ها ممکن است در حین ساختمان در اثر برخورد امواج دچار آسیب شوند. در صورت احتمال بروز وضعیت آب و هوایی طوفانی در مراحل معینی از عملیات احداث، باید کار را قبل از آن متوقف کرده و برای سازه نیمه تمام حفاظت موقتی تأمین کرد.

برای کاهش احتمال آسیب ناشی از طوفان و جلوگیری از ایجاد تأخیر در توالی ساخت اجزای مختلف موج‌شکن، ساخت زیرلایه‌ها به فاصله زمانی کوتاه از هسته و نیز لایه آرمور به فاصله زمانی کوتاه از زیرلایه‌ها قابل توصیه است.

احتمال آسیب دیدن هسته توسط عملکرد موج طی عملیات احداث باید در تعیین اندازه سنگ زیرلایه مورد توجه قرار گیرد. پایداری قسمت انتهایی هسته، یا بخشی از هسته ساخته شده در زیر سطح آب نیز باید در تعیین مشخصات مصالح هسته در نظر گرفته شود. مصالح مورد قبول برای هسته باید ترجیحاً در قسمت میانی آن مستقر شود.

مصالح هسته را می‌توان با زوایای به تیزی ۱:۱ تا ۱:۱/۲۵ ریخت. برای ایجاد شیبهای ملایم‌تر باید مصالح بیشتری را مستقر کرده و شیبها را مرتب کرد. گاهی حجم زیادی از مصالح ریزدانه در قسمت فوقانی وجه ریخته شده باقی می‌ماند. این مصالح ریزدانه و هرگونه مصالح ریزدانه دیگری که برای ایجاد یک سطح موقت به کار برده می‌شوند باید قبل از استقرار زیر لایه‌ها، آرمور اصلی و یا تاج برداشته شوند. بدین ترتیب از باقی ماندن سطوح ضعیف بر روی سازه جلوگیری شده و در مورد تطابق نفوذپذیری با مقدار فرض شده در طراحی سازه اطمینان حاصل شود.

سنگهای با وزن بیش از یک تن در زیر لایه‌ها باید ترجیحاً به طور مجزا استقرار یابند تا ضخامت لایه به طور صحیح و یکنواخت توزیع شود.

◀ ۸-۱۲-۶-۶ قطعه محافظ

۸-۱۲-۶-۱ قطعه محافظ سنگی

سنگ را باید با توجه به اندازه آن در معدن طبقه‌بندی کرد. نمونه‌های قابل قبول از اندازه‌های سنگ مورد نیاز را باید به طور دائمی در معرض نمایش قرار داد.

هر سنگی را باید به طور مجزا مستقر کرد. البته این کار باید پس از انجام بازرسی و کسب اطمینان لازم در مورد محدوده وزنی مشخص شده، عدم وجود ترک و داشتن شکل قابل قبول صورت گیرد. ترجیح داده می‌شود که کل ضخامت لایه آرمور در یک مرحله استقرار یابد، تا در مورد درگیر شدن مناسب بلوکهای مجزا اطمینان حاصل شود.

۸-۱۲-۶-۲ قطعات محافظ بتنی

کارهای ساخت، حمل و استقرار قطعات محافظ (آرمور) بتنی باید با دقت کنترل شوند. نحوه اختلاط بتن خصوصاً برای قطعات بزرگ بتنی باید به گونه‌ای باشد که اختلاف درجه حرارت به حداقل رسیده و قالبها به نحوی طراحی شوند که از ایجاد ترکهای حرارتی در بتن جلوگیری شود. همچنین استفاده از سیمان با حرارت پایین قابل توصیه است.

کارهای اختلاط بتن، ریختن آن در قالبها، عمل‌آوری، باز کردن قالبها، حمل قطعات آرمور و استقرار آنها باید به نحوی صورت گیرند که تنشها به حداقل برسد. محوطه کارگاه باید به اندازه‌ای باشد که امکان ذخیره سازی قطعات آرمور بتنی حداقل به مدت ۱/۵ تا ۲ ماه علاوه بر محوطه مورد نیاز برای تولید وجود داشته باشد.

نحوه استقرار قطعات آرمور بتنی به نوع قطعه بستگی دارد (به بخش ۸-۳-۳-۱ مراجعه شود). استقرار قطعات بتنی با الگوی منظم تنها در شرایط آب و هوایی مناسب و آرامش دریا قابل انجام است، تا غواصان امکان بازرسی محل استقرار کلیه قطعات را داشته باشند.

در حالت استقرار تصادفی قطعات بتنی، تعداد قطعات برای یک سطح مشخص باید تعیین شود، تا نسبت به کافی بودن پوشش و ضخامت لایه آرمور اطمینان حاصل شود. کنترل نحوه استقرار این قطعات

با در نظر گرفتن تفاوت مجاز در ضخامت لایه آرمور به تنهایی، به ندرت عملی است. البته از روش عمق‌یابی نیز می‌توان برای تعیین ضخامت لایه آرمور استفاده کرد. در صورت استفاده از قطعات آرمور بتنی با تخلخل زیاد می‌توان به توصیه‌های مرجع [۹۵] برای عمق‌یابی صحیح مراجعه کرد. احتمال آسیب دیدن قطعات بتنی در حین استقرار در اثر وارد آمدن ضربه و نیز در اثر وقوع طوفانهای دریایی باید مورد توجه قرار گیرد.

◀ ۸-۱۲-۷ اندازه‌گیری، انحرافها و تفاوت‌های مجاز

احتمال بروز انحرافی نسبت به نیمرخهای نظری لایه‌های موج‌شکن در عمل وجود دارد. میزان این انحرافها به روشهای احداث، شرایط محیطی و کیفیت روش کنترل بستگی دارند. تفاوت‌های مجاز میزان انحرافهای قابل قبول در طراحی هستند. برای تعیین میزان انحراف باید اندازه‌گیری‌هایی بر روی شیب به طور کلی و موضعی و نیز ضخامت لایه آرمور انجام شود. شرایط کلی برای اندازه‌گیریها و تفاوت‌های مجاز در نیمرخ و ضخامت لایه باید توسط طراح مشخص شوند. این شرایط باید واقع‌گرایانه بوده و در طراحی و آزمایشهای مدل هیدرولیکی در نظر گرفته شوند.

◀ ۸-۱۲-۸ سازه تاج

برنامه‌ریزی عملیات احداث باید به نحوی باشد که زمان کافی برای نشست سازه توده سنگی قبل از احداث سازه تاج وجود داشته باشد. قبل از احداث سازه تاج باید مصالح ریزدانه از روی سطح برداشته شوند. سپس سطح محل استقرار سازه تاج را باید به صورت سطحی زبر آماده ساخت. پس از احداث سازه تاج باید لایه آرمور را تکمیل کرد.

◀◀ ۸-۱۳ پایش و نگهداری

در طراحی موج‌شکن باید به مسئله نگهداری آن به قدر کافی توجه کرد. ایجاد یک راه دسترسی بر روی تاج برای نگهداری سازه قابل توصیه است.

وضعیت موج‌شکن باید به طور منظم مورد بازرسی و برداشت قرار گیرد تا رفتار آن قابل ارزیابی بوده و آسیب وارده در مراحل اولیه قابل ردیابی باشد. بازرسی باید قبل از انتهای دوره وقوع طوفانهای محلی و خصوصاً بعد از وقوع هر طوفان شدید انجام شود.

برای پایش باید نقاط ثابتی در درون سازه در حین احداث در نظر گرفت. این نقاط شامل نقاط ثابت برای انجام عملیات برداشت نیمرخ می‌شوند. عملیات برداشت به منظور تعیین میزان حرکت، نشست و نیمرخ عرضی صورت می‌گیرد. همچنین باید برخی سنگهای آرمور یا قطعات بتنی را برای بررسی رفتار سازه رنگ‌آمیزی کرده و یا به نحوی مشخص کرد.

پایش موج‌شکن باید شامل موارد ذیل باشد:

الف: ثبت شرایط محیطی شامل سرعت و جهت باد و سطوح آب

این اندازه‌گیریها از جمله فعالیتهای معمول در عملیات هر بندر محسوب می‌شوند. ثبت موج نیز باید در حین احداث و پس از آن ادامه یابد.

ب: تعیین موقعیت و تراز نقاط یا ایستگاههای ثابت و مقاطع عرضی

ج: بازرسی توسط غواصها

د: ثبت رفتار سازه با عکسبرداری

عکسبرداری در زیر آب نیز در صورت امکان باید صورت گیرد. این کار برای ارزیابی تغییرات وضعیت لایه آرمور صورت می‌گیرد. بدین منظور عکسبرداری باید به طور پیوسته صورت گرفته و به طور ایده‌آل از یک زاویه دید انجام شود.

ه: قرائت مقادیر ثبت شده توسط دستگاههای اندازه‌گیری که احتمالاً در سازه نصب شده‌اند.

برای بررسی شیبهای زیر آب می‌توان از دستگاههای عمق‌سنج استفاده کرد. بستر دریا نیز تا فاصله حداقل یک چهارم حداکثر طول موج در پیرامون موج‌شکن باید برای بررسی مسئله آب‌شستگی پنجه سازه عمق‌سنجی شود.

۹



موج شکنهای قائم

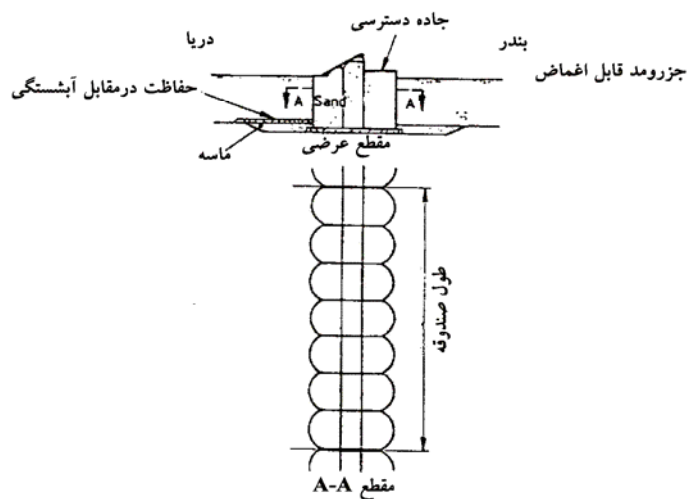
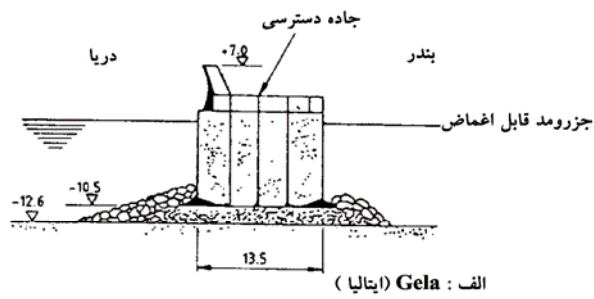
۹-۱ کلیات

توصیه‌ها و راهنماییهای لازم برای طراحی و احداث موج شکنهای قائم در این فصل ارائه می‌شود. این نوع موج شکن در قسمت ۶-۲ تعریف شد. انواع سازه‌های قائم در زیربخش ۹-۲ و طراح کلی در زیربخش ۹-۳ مورد بحث قرار می‌گیرند. همچنین توصیه‌هایی درباره روشهای اجرایی در این فصل ارائه می‌شوند.

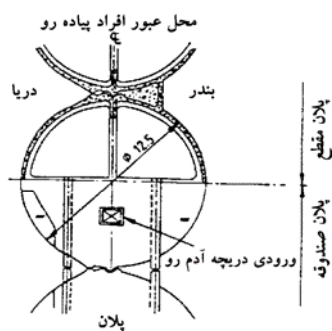
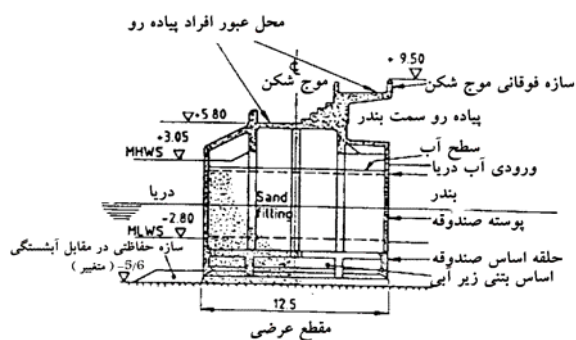
۹-۲ انواع سازه

۹-۲-۱ کلیات

معمولاً یک موج شکن قائم از عبور موج از سازه جلوگیری می‌کند. در نتیجه کل انرژی موج از سازه منعکس می‌شود. موج شکن قائم را می‌توان در موقعیتهای مناسب تا حدی نفوذپذیر ساخت. دیوار جلو برخی موج شکنهای قائم مشبک است. طوری که موج در فضای بین این دیوار و دیوار صلب پشت موج شکن مستهلک می‌شود. چنین موج شکنی، موج شکن دیوار مشبک نامیده می‌شود. اگر چه وجه سمت دریای یک موج شکن قائم معمولاً قائم است، اما بخشی از ارتفاع سازه را می‌توان به صورت شیب‌دار یا انحنادار ساخت. در جلوی برخی موج شکنهای قائم از بلوکهای مصنوعی یا سنگهای طبیعی استفاده می‌شود. سازه قائم می‌تواند به صورت ثقیل و یا شمعی باشد. برخی انواع موج شکنهای قائم در زیربخش ۶-۲-۴ نام برده شده‌اند. مقاطع عرضی مورد استفاده در طراحی موج شکنهای قائم متنوع هستند. نمونه‌هایی از این مقاطع در شکل‌های ۹-۱ تا ۹-۹ نشان داده شده‌اند.

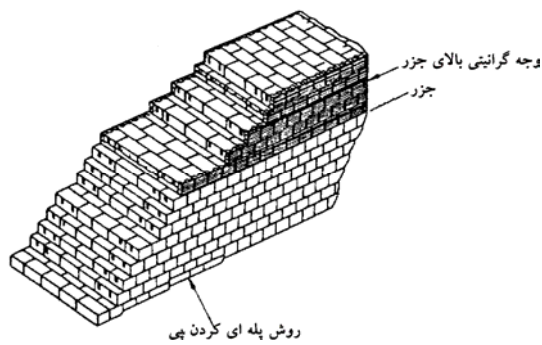


شکل ۹-۱ سازه‌های صندوقه‌ای

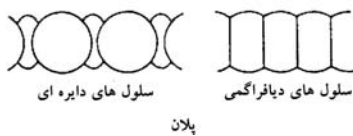
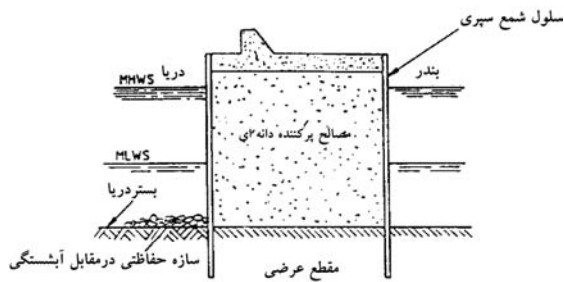


پ: بندر قایقرانی Brighton

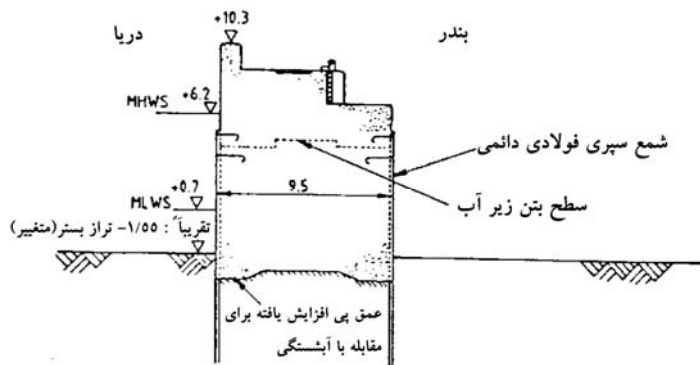
ادامه شکل ۹-۱ سازه‌های صندوقه‌ای



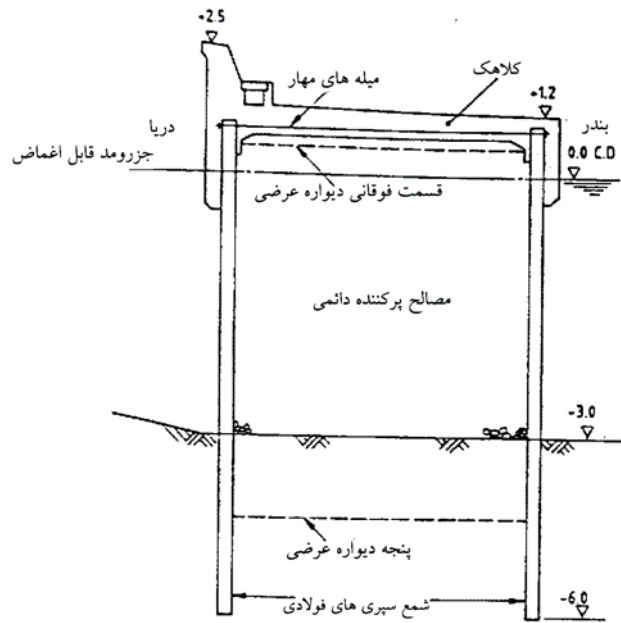
شکل ۹-۲ سازه‌های بلوک چینی بتونی



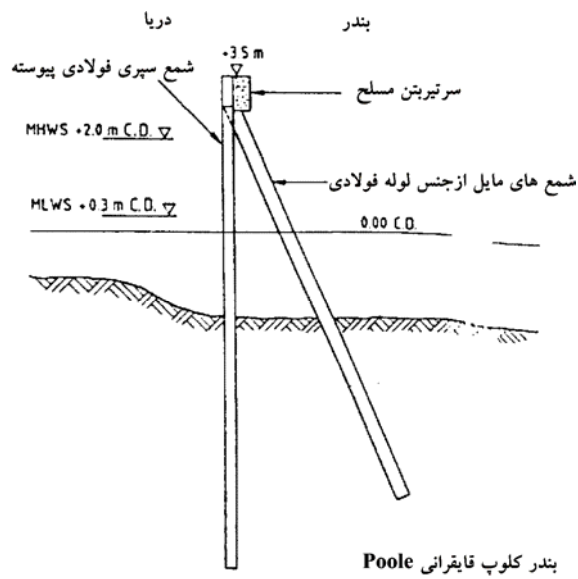
شکل ۹-۳ سازه بتنی وزنی



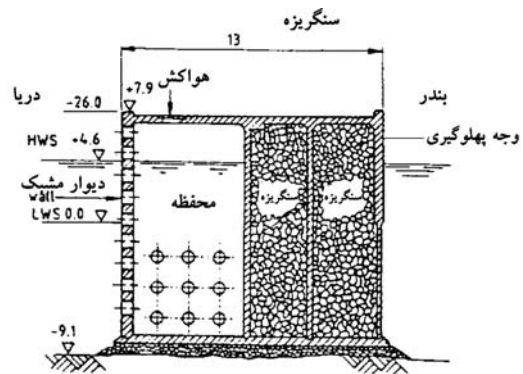
شکل ۹-۴ نمونه‌ای از سازه شمع سپری سلولی



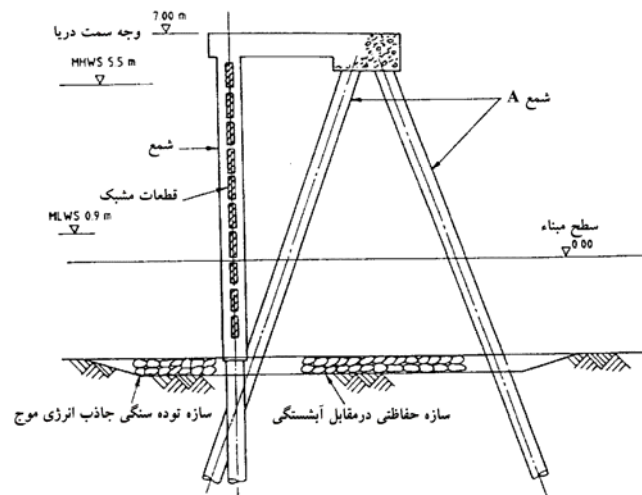
شکل ۹-۵ سازه شمع سپری دو دیواره‌ای



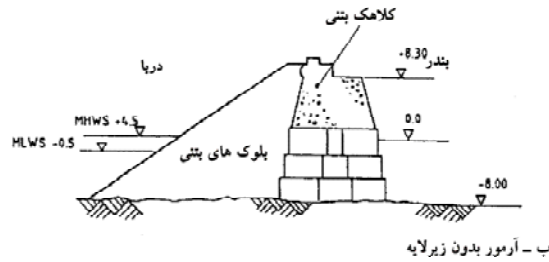
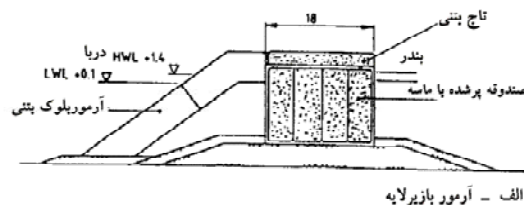
شکل ۹-۶ سازه شمع سپری تک دیواره‌ای



شکل ۷-۹ سازه قائم با وجه مشبک



شکل ۸-۹ موج شکن مشبک عبور دهنده موج



شکل ۹-۹ سازه‌های قائم محافظت شده به وسیله آرمورهای سنگی در وجه سمت دریا

۹-۲-۲ سازه‌های با وجه صلب

نمونه‌هایی از سازه‌های قائم با وجه صلب در اشکال ۹-۱ تا ۹-۶ نشان داده شده‌اند. معمول‌ترین موج‌شکنهای قائم با وجه صلب از نوع ثقلی هستند. سازه‌های صندوقه‌ای را می‌توان به صورت شناور اشکال ۹-۱-الف و ب و یا با برداشتن شکل ۹-۱-پ به محل مورد نظر حمل کرد. سازه‌های بلوک چینی نظیر شکل ۹-۲ به عملیات غواصی زیادی نیاز دارند. همچنین در سازه‌های نشان داده شده در اشکال ۹-۳ تا ۹-۵ از شمعه‌های سپری استفاده شده و سپس بین آنها پر می‌شود. این سازه‌ها به صورت ثقلی عمل می‌کنند.

۹-۲-۳ سازه‌های با وجه مشبک

نمونه‌ای از موج‌شکن قائم نفوذناپذیر با وجه مشبک در شکل ۹-۷ نشان داده شده است. هندسه خارجی این سازه‌ها مشابه سازه‌های با وجه صلب است. البته معمولاً سازه‌های با وجه مشبک به انواع

صندوقه‌ای و بلوک چینی محدود می‌شوند. موج‌شکنهای دیوار مشبک به موج‌شکنهای نوع جارلان نیز معروف هستند [۹۶].

دیوار مشبک جلو موج‌شکن نوع صندوقه‌ای نشان داده شده در شکل ۹-۷، دارای سوراخهایی به شکل دایره یا مستطیل است. موج در اثر عبور از این دیوار مشبک در اثر عمل جت و تلاطم ایجاد شده در فضای خالی بین این دیوار و دیوار صلب پشت سازه مستهلک می‌شود. در نتیجه ضریب انعکاس موج، میزان بالاروی و سرریزی موج و نیز نیروهای وارد بر سازه کاهش می‌یابند.

اطلاعات بیشتر در مورد طراحی دیوارهای مشبک در مراجعی نظیر Nagai [۹۷]، و Quinlan [۹۸] ارایه شده‌اند.

موج‌شکنهای مشبک را می‌توان به گونه‌ای طراحی کرد که امکان عبور بخشی از انرژی موج از آن وجود داشته باشد. چنین سازه‌ای شامل بلوک چینی مشبک یا صفحات مشبک می‌شود که تکیه‌گاه آن را چند شمع تشکیل می‌دهد. نمونه‌ای از این نوع سازه در شکل ۹-۸ ارایه شده است.

◀ ۹-۲-۴ موج‌شکنهای قائم با سازه توده‌سنگی در جلو وجه رو به دریا

دو نمونه موج‌شکن قائم با سازه توده‌سنگی در جلو وجه روبه دریا در شکل ۹-۹ نشان داده شده‌اند. اگر چه سازه اصلی قائم این موج‌شکنها می‌تواند بسته به شرایط به اشکال مختلف باشد، اما نوع صندوقه‌ای نشان داده شده در شکل ۹-۹-الف خصوصاً در کشور ژاپن نوع معمولی است [۱۰۰، ۱۰۲ و ۱۰۴].

نقش سازه توده‌سنگی در جلو قسمت اصلی موج‌شکن، کاهش سرریزی، انعکاس موج و نیز بارهای وارد بر سازه است.

۳-۹-۳ طراحی

۱-۳-۹ کلیات

عوامل اصلی که باید در طراحی سازه‌های قائم در نظر گرفته شوند شامل عملکرد هیدرولیکی، بارهای وارده و پایداری کلی سازه می‌شوند. شرایط بستر و روشهای اجرایی، تأثیر قابل توجهی بر روی نوع سازه انتخاب شده دارند.

۲-۳-۹ عملکرد هیدرولیکی

۱-۲-۳-۹ سرریزی موج

سازه را می‌توان برای درجات مختلفی از سرریزی موج طراحی کرد. میزان دبی سرریزی قابل قبول به وظیفه حفاظتی موج‌شکن زیربخش ۶-۳-۴ بستگی دارد.

سرریزی موج از سازه‌های قائم می‌تواند به کاهش قابل توجه نیروهای افقی موج به وجه قائم آنها منجر شود. اگر امکان سرریزی موج از سازه وجود داشته باشد، معمولاً هزینه ساخت سازه کاهش می‌یابد. البته هزینه اضافی برای تقویت قسمت فوقانی سازه جهت مقاومت در مقابل نیروهای حاصل از سرریزی موج را باید در نظر گرفت.

سرریزی مقادیر قابل توجهی آب در پشت سازه موجب ایجاد اغتشاش در آن ناحیه می‌شود. به گونه‌ای که گاهی امواج ثانویه در حوضچه بندر به وجود می‌آیند.

برآورد اولیه میزان عبور موج را می‌توان با استفاده از شکل ۹-۱۰ انجام داد. این شکل بر اساس آزمایشهای صورت گرفته با امواج منظم استوار است. برای برآورد اولیه میزان عبور موج از این سازه‌ها همچنین می‌توان به مراجع [۱۱، ۱۲، ۱۳ و ۵۷] مراجعه کرد. اگر چه روشهای طراحی و نتایج مختلف آزمایشگاهی در رابطه با موضوع فوق ارایه شده‌اند، اما انجام آزمایشهای مدل هیدرولیکی بر روی سازه توصیه می‌شود.

اگر در جلو موج‌شکن قائم از یک سازه توده‌سنگی استفاده شود، برآورد اولیه از میزان سرریزی موج را می‌توان با تعیین بالاروی موج از سازه توده‌سنگی انجام داد به زیربخش ۷-۲-۳ مراجعه شود.

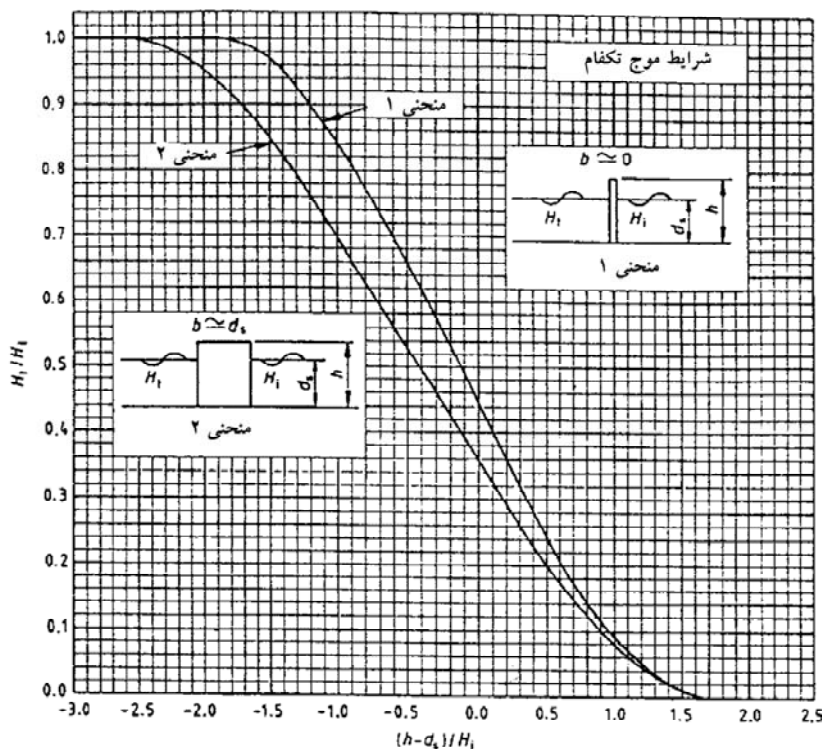
۹-۳-۲-۲ انعکاس موج

ضریب انعکاس امواج ناشکنا از یک سازه قائم تقریباً معادل (۱۰۰٪) است. میزان انعکاس موج از سازه می‌تواند برای کشتیرانی مهم باشد (زیربخش ۶-۳-۲). همچنین انعکاس موج می‌تواند موجب آب‌شستگی پای سازه در سمت دریا شود.

یکی از روشهای استهلاک انرژی موج در موج‌شکن قائم، استفاده از یک دیواره مشبک در سمت رو به دریای سازه است. میزان انعکاس موج از سازه‌های دیوار مشبک به ضریب تخلخل صفحه مشبک، فاصله بین صفحه مشبک و صفحه صلب انتهایی، و همچنین خصوصیات موج منتشره بستگی دارد. مقدار این ضریب در مثال ارایه شده از سوی Goda [۱۲]، بین (۳۰٪ تا ۷۰٪) متغیر است. Iwata و Sawaragi [۱۰۵ و ۱۰۶]، Kondo [۱۰۷]، Dong و chwang [۱۰۸]، Lin و twu [۱۰۹]، چگینی و wilkinson [۱۱۰] و چگینی [۱۱۱ و ۱۱۴] روشهایی برای محاسبه ضرایب انعکاس موج از موج‌شکنهای دیوار مشبک با وجود یک یا دو دیواره مشبک ارایه کرده‌اند. شایان ذکر است که Pena و Sawaragi, Iwata [۱۱۲] و Iwata و Sawaragi [۱۰۵ و ۱۰۶] استفاده از دو دیواره مشبک به جای یک دیواره را پیشنهاد کرده‌اند.

استفاده از سنگ یا قطعات آرمور بتنی در جلو دیوار قائم می‌تواند موجب کاهش انعکاس و سرریزی موج شود. ضریب انعکاس موج در چنین حالتی به پیروی موج، ارتفاع تاج توده‌سنگی یا بتنی و تخلخل آنها بستگی دارد. حسب گفته Goda [۱۲] بین (۳۰٪ تا ۵۰٪) انرژی موج توسط بلوکهای بتنی در جلو سازه مستهلک می‌شود. قسمت توده‌سنگی را می‌توان با مراجعه به فصل یازدهم طراحی کرد. همچنین توضیحات لازم در این خصوص در مراجع [۱۱ و ۱۳] ارایه شده است.

توصیه می‌شود که میزان انعکاس موج از سازه‌های فوق مگر در مورد موج‌شکنهای قائم تحت حمله امواج ناشکنا [که در آنها ضریب انعکاس موج تقریباً (۱۰۰٪) است]، با استفاده از روش مدل هیدرولیکی تعیین شود. ضریب انعکاس موج از موج‌شکنهای دیوار مشبک تا حد زیادی با پیروی موج تغییر می‌کند.



راهنما:

- H_2 - ارتفاع موج عبوری بر حسب متر
- H_1 - ارتفاع موج تابشی بر حسب متر
- n - عرض سازه بر حسب متر
- ds - عمق آب بر حسب متر
- h - ارتفاع سازه در بالای ترازبستر بر حسب متر
- g - شتاب ثقل

توجه: این منحنی در مورد موج شکن های دیوار قائم و موج شکن های دیوار نازک با شرایط $0.0157 < ds/gT^2 < 0.0793$ قابل کاربرد است.

شکل ۹-۱۰ ضرایب عبور موج در اثر سرریزی

◀ ۹-۳-۳ بارها

۹-۳-۳-۱ بارهای موج وارد بر دیوارهای قائم

نحوه حمله موج به سازه توسط عمق و شیب بستر دریا در جلو سازه و تیزی و جهت امواج تعیین می شود.

روشها و فرمولهای مربوط به محاسبه بارهای وارد بر سازه‌های قائم شامل موارد ذیل می‌شوند:

الف: روش Miche-Rundgren برای محاسبه نیروهای موج ناشکنا

ب: روش Minki برای محاسبه نیروهای موج شکنها

ج: فرمولهای محاسبه نیروهای امواج شکسته

د: فرمولهای Goda [۱۲ و ۱۳] برای محاسبه نیروهای امواج شکنا و ناشکنا در حالت برخورد قائم امواج با سازه

ه: فرمولهای Tanimoto و همکاران وی [۱۱۳] برای محاسبه نیروهای امواج شکنا و ناشکنا در حالت برخورد مورب امواج با سازه

شایان ذکر است که روشها و فرمولهای مربوط به بندهای الف تا ج فوق در مراجع [۵۷ و ۱۱۴] و همچنین فرمولهای مربوط به بندهای د و ه فوق در مراجع [۱۱ تا ۱۳]، توضیح داده شده‌اند.

برخی انواع موج‌شکنهای قائم در پلان به صورت مسطح و یا انحنادار هستند. نتایج آزمایشهای مدل هیدرولیکی نشان داده‌اند که بارهای افقی کل ناشی از عملکرد موج بر روی سازه تقریباً در هر دو مورد فوق یکسان هستند.

بارهای ضربه‌ای که برای طراحی اجزای کوچک در مقایسه با پایداری کل سازه بحرانی‌تر هستند، می‌توانند به اندازه دو برابر بارهای هیدرواستاتیک در مورد وجه مسطح در پلان و $1/3$ برابر آن بارها در حالت وجه انحنادار باشند [۴]. گاهی فشارهای موضعی و سرعتهای جریان زیادی در زاویه مقعر وجه انحنادار به وجود می‌آیند. فشار ضربه‌ای موضعی در موج‌شکنهای قائم ممکن است ۱۰ تا ۲۵۰ برابر فشار هیدرواستاتیک باشد.

قسمتهایی از سازه که تحت تأثیر چنین فشاری قرار می‌گیرند باید طوری طراحی شوند که قادر به مقاومت در مقابل آن باشند. زمان اعمال این فشارها بسیار کوتاه است (کمتر از $0/2$ ثانیه). روش محاسبه فشارهای موج شکنای آنی در مراجع [۱۱ تا ۱۳] توضیح داده شده است.

نحوه توزیع و برآیند فشارهای بالابرنده در زیر صندوقها و سایر انواع سازه‌هایی که بر روی بستر دانه‌ای مستقر می‌شوند، باید به دقت تعیین شوند. فشارهای آب در زیر سازه‌های بنا شده در چنین بسترهایی گاهی تغییر می‌کند، به زیربخش ۹-۳-۴ مراجعه شود.

۲-۳-۳-۹ روشهای کاهش بارهای موج

بارهای موج وارد بر سازه را می‌توان به یکی از روشهای زیر کاهش داد:

الف: فراهم کردن امکان سرریزی موج از روی سازه

ب: به‌کارگیری یک دیواره مشبک در جلو موج‌شکن قائم

ج: استقرار یک سازه توده‌سنگی در جلو موج‌شکن اصلی

د: شیب‌دار کردن قسمت فوقانی وجه قائم

نتایج برخی آزمایشها نشان داده‌اند که در صورت به‌کارگیری یک دیواره مشبک در جلو موج‌شکن، نیروهای موج وارد بر وجه قائم سازه تا میزان (۶۰٪) کاهش می‌یابد [۹۷]. البته میزان کاهش نیروهای وارده به پریود موج بستگی داشته و این دیواره همواره مؤثر نیست.

بارهای موج را می‌توان با پوشاندن کل یا بخشی از ارتفاع وجه قائم با سنگ کاهش داد. برای طراحی اولیه می‌توان از روش ارایه شده در مرجع [۷] استفاده کرد.

بارهای افقی را می‌توان با به‌کارگیری یک وجه شیب‌دار در قسمت فوقانی موج‌شکن به طور قابل توجهی کاهش داد (شکل ۹-۱-ب). اگر شیب مزبور از تراز آب طرح شروع شود، گاهی بارهای افقی تا میزان (۵۰٪) کاهش می‌یابند. البته در آن صورت سرریزی قابل توجهی از سازه رخ می‌دهد. میزان سرریزی موج به ارتفاع و زاویه شیب بستگی دارد. وجه شیب‌دار گاهی تحت فشارهای ضربه‌ای زیاد ناشی از امواج شکننا قرار می‌گیرد. عملکرد موج بر روی وجه شیب‌دار موجب تولید یک مؤلفه نیروی قائم می‌شود. این مؤلفه تحت شرایطی می‌تواند پایداری سازه را در مقابل لغزش و واژگونی افزایش دهد. در مورد هم‌فاز بودن نیروهای افقی و قائم وارد بر روی سطح شیب‌دار فوق با نیروهای اعمال شده به وجه قائم، اختلاف نظر وجود دارد.

انعکاس موج در صورت به‌کارگیری وجوه شیب‌دار در موج‌شکنهای قائم کاهش می‌یابد. این مسئله به افزایش پایداری سازه در مقابل آب‌شستگی پنجه می‌انجامد.

نیروهای موج وارد بر سازه را تنها در حالت الف فوق می‌توان با اطمینان محاسبه کرد. زیرا در این حالت یک پاسخ مستقیم از روش طراحی به دست می‌آید. در سایر حالات باید با استفاده از مدل هیدرولیکی بارهای موج را تعیین کرد.

۹-۳-۳ استفاده از آزمایشهای مدل هیدرولیکی

برای برآورد بارهای موج وارد بر سازه‌های مهم مگر در مورد دیوارهایی که امواج ناشکنا را به طور کامل منعکس می‌کنند باید از روش مدل هیدرولیکی استفاده کرد. روند انجام آزمایشهای مدل هیدرولیکی در بخش ۹-۳-۷ ارایه شده است.

عواملی که در آزمایشهای مدل هیدرولیکی باید مورد بررسی قرار گیرند، عبارتند از:

الف: فشارها و بارهای کل موج برای تعیین مؤلفه‌های افقی، قائم و واژگونی

ب: سرریزی برای تعیین میزان دبی آن و ضریب عبور موج به پشت سازه

ج: ضرایب انعکاس موج

د: حفاظت پنجه درمقابل آب‌شستگی

۹-۳-۴ بارهای زلزله

طراحی باید بر اساس ضوابط محلی در مورد زلزله صورت گیرد. استفاده از روشهای تحلیل پایداری نیمه استاتیک معمولاً برای طراحی یک سازه ثقلی مناسب است. این روشها لزوماً برای طراحی پی‌ها کفایت نمی‌کنند. در این مورد باید به توضیحات زیربخش ۸-۷ مراجعه کرد.

۹-۳-۴ پایداری کلی

ضرایب اطمینان در مقابل لغزش و واژگونی تحت بدترین شرایط حاصل از ترکیب ستیغها و ناوهای موج و ترازهای آب باید تعیین شوند.

ضرایب اطمینان باید به صورت نسبت اثر کل نیروهای پایدار کننده به اثر کل نیروهای برهم زننده تعادل محاسبه شوند.

هنگامی که در پشت موج‌شکن از یک خاکریز استفاده شده و یا در جلو وجه رو به دریای آن یک سازه توده‌سنگی قرار می‌گیرد، برآیند بارهای مربوطه باید در محاسبات پایداری سازه در نظر گرفته شود.

توزیع فشارهای بالابرنده در زیر صندوقه‌ها می‌تواند بسته به زهکشی آب از سمت پشت سازه و یا عدم زهکشی به صورت مثلی و یا مستطیلی باشد.

موضوع عدم دستیابی به شرایط طراحی اولیه در عمل نظیر پر شدن فضاهای خالی بستر دانه‌ای به وسیله رسوبات ریزدانه باید در نظر گرفته شود. در کنترل ضریب اطمینان در مقابل واژگونی باید بیشترین مقدار فشار بالا برنده در نظر گرفته شود.

توصیه می‌شود که ضریب اصطکاک بین اساس مسطح بتنی سازه و مصالح دانه‌ای درشت بیش از ۰/۶ فرض نشود. گاهی این ضریب با افزایش زبری سطح اساس بتنی (زیربخش ۹-۴-۲) افزایش می‌یابد.

توصیه شده است که موج شکنهای صندوقه‌ای با ضرایب اطمینان معادل ۱/۲ در مقابل لغزش و واژگونی طراحی شوند [۱۰۲]. البته با توجه به اطلاعات فعلی، از ضریب فوق فقط در حالتی می‌توان استفاده کرد که آسیب یا جابه‌جایی سازه موجب خدشه‌دار شدن وظیفه موج شکن نشده و اقلیم موج نیز به خوبی مشخص باشد. در حالتی که احتمال به مخاطره افتادن عملیات پهلوگیری شناورها در پشت سازه وجود داشته و یا حرکت سازه قابل قبول نباشد، استفاده از ضرایب اطمینان بین ۱/۵ تا ۲ مناسب‌تر است. انتخاب مقادیر خاص، مستلزم انجام تحلیل ریسک است.

باید از ضرایب اطمینان مشابهی در مورد سایر انواع سازه‌های قائم استفاده کرد. Goda [۱۲] عملکرد موج شکنهای واقعی در اثر برخورد امواج با ارتفاعهای نزدیک به ارتفاعهای امواج طرح و بیشتر از آنها را مورد بررسی و مطالعه قرار داد. وی ضرایب اطمینان این موج شکنها را در مقابل لغزش محاسبه کرد.

◀ ۹-۳-۵ پی‌ها

ضریب اطمینان در مقابل لغزش دایره‌ای یا تخریب از نوع گوه‌ای پی را باید محاسبه کرد. نشست پی موج شکن باید مورد ارزیابی قرار گیرد. میزان نشست قابل قبول برای موج شکنهای قائم بسیار کم است. طوری که این سازه‌ها فقط بر روی بسترهای مناسب احداث می‌شوند. علل نشست سازه که در زیربخش ۹-۷ فهرست شده‌اند باید مورد توجه قرار گیرند.

تعویض مصالح ضعیف پی با سنگریزه، شن و یا ماسه می‌تواند راه حلی برای ناکافی بودن پایداری پی و نشست بیش از حد آن باشد.

با به‌کارگیری یک لایه فیلتر می‌توان میزان ورود مصالح ریزدانه از بستر زیر پی به داخل اساس سنگی یا مصالح دانه‌ای بستر را محدود کرد. راهنمایی لازم درباره طراحی فیلتر در زیربخش ۸-۴ و نوشته Hedges [۴۶] ارایه شده است.

ارزیابی اثرات گرادپانهای معکوس هیدرولیکی بر روی مصالح پی دشوار است. با به‌کارگیری یک کف‌بند مقابله‌کننده با پدیده آب‌شستگی می‌توان حفاظت لازم را در مقابل این اثرات تأمین کرد. هنگامی که یک سازه تحت تأثیر بارهای ضربه‌ای دینامیک موج قرار می‌گیرد، تکرار بارگذاری گاهی موجب ایجاد فشارهای منفذی در بستر و در نتیجه روانگرایی مصالح ریزدانه می‌شود. در این صورت باید مصالح ریزدانه را با یک پی سنگریزه‌ای تعویض کرد. همچنین در این مواقع محافظت سازه در مقابل آب‌شستگی موجب استهلاک سریع فشار منفذی می‌شود.

◀ ۹-۳-۶ حفاظت در مقابل آب‌شستگی

عملکرد موج در محل یک موج‌شکن قائم موجب ایجاد تلاطم شدید در تراز بستر دریا می‌شود. هنگامی که سازه بر روی یک سطح تراز شده و مهیا شده از مصالح دانه‌ای قرار داده می‌شود، این سطح و بستر دریا در جلو سازه باید در مقابل آب‌شستگی پنجه و زیرشستگی احتمالی پی محافظت شود. شایان ذکر است که برخی پی‌های سنگی از جنس سنگهای آهکی یا نظایر آنها نیز دچار آب‌شستگی می‌شوند. به علت خطرات بالقوه آب‌شستگی برای یک موج‌شکن قائم و هزینه پایین سازه حفاظتی در مقایسه با کل هزینه موج‌شکن، طراحی این سازه باید به صورت محافظه‌کارانه صورت گیرد. اندازه سنگ، شکل نیمرخ و طول سازه حفاظتی در مقابل آب‌شستگی برای سازه‌های مهم، خصوصاً در شرایط موج‌شکنا باید با استفاده از روش مدل هیدرولیکی تعیین شوند. اطلاعات بیشتر در این مورد توسط Eckerte [۶۷] و Goda [۱۲] ارایه شده است.

آب‌شستگی در پنجه سازه گاهی به کاهش ظرفیت باربری و یا مقاومت غیر فعال خاک منجر می‌شود. تخمین دامنه آب‌شستگی حتی در صورت استفاده از مدل هیدرولیکی دشوار است. در برآورد اثرات آب‌شستگی در پایداری سازه باید از یک رهیافت محافظه‌کارانه استفاده کرد. برخی توضیحات در باره عمق آب‌شستگی در مرجع [۱۱۵] ارایه شده است.

اندازه سنگ مورد نیاز برای حفاظت در مقابل عملکرد موج را می‌توان از معادله ۳۴ تعیین کرد [۱۳]. این رابطه شبیه فرمول هادسن است، به زیربخش ۸-۳-۴-۲ مراجعه شود. رابطه مزبور با استفاده از نتایج مدل هیدرولیکی با موج منظم به دست آمده است. تعداد نتایج کمی درباره امواج تصادفی ناشکنا منتشر شده است [۱۱۶]. بنابراین استفاده از رابطه زیر برای تعیین اولیه وزن سنگ آرمور کفایت می‌کند [۵۶]:

$$W = \frac{W_r H^3}{N_s^3 \Delta^3} \quad (34)$$

متغیرهای رابطه فوق عبارتند از:

H : ارتفاع موج طرح در پای سازه بر حسب متر (توصیه می‌شود که مقدار در نظر گرفته شده از $H_{1/10}$ کمتر نباشد).

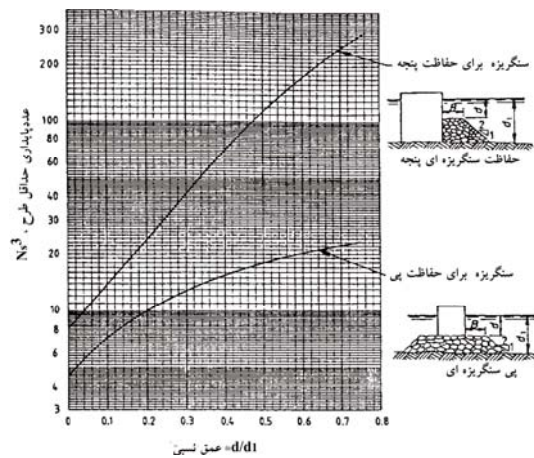
N_s : عدد پایداری طرح برای پی‌های توده‌سنگی و حفاظت پنجه

W_r : وزن واحد حجم سنگ اشباع با سطح خشک بر حسب نیوتن بر متر مکعب

Δ : چگالی نسبی سنگ آرمور نسبت به آب دریا در محل سازه

مقادیر N_s برای شرایط موج ناشکنا را می‌توان از شکل ۹-۱۱ یا نوشته **Goda** [۱۲] به دست آورد، به

شرط آنکه حالات نشان داده شده با شرایط طرح قابل مقایسه باشد.



شکل ۹-۱۱ عدد پایداری N_s برای پی توده‌سنگی و حفاظت پنجه

توجه به اثرات جریانهای که به آب‌شستگی بستر دریا منجر می‌شوند، ضروری است. این جریانها ممکن است به علت جزر و مد و یا انعکاس امواج مورب از وجه موج‌شکن به وجود آیند. تمرکز جریانها گاهی در محل تغییر مسیر موج‌شکن و یا در انتهای آن مشاهده می‌شود. وزن سنگ مورد نیاز برای حفاظت در مقابل جریانها را می‌توان از فرمول **Isbash** که برای بستر کانال ارایه شده به دست آورد [۱۱۷] این فرمول عبارت است از [۵۷]:

$$W = 0.0219 \frac{V^6 W_r}{g^3 \Delta^3} \left(1 - \frac{\sin^2 \theta}{\sin^2 \phi}\right)^{-3/2} \quad (۳۵)$$

متغیرهای جدید در رابطه فوق عبارتند از:

W: وزن سنگ در هوا بر حسب نیوتن

V: سرعت پیشینه جریان بر حسب متر بر ثانیه

θ : زاویه شیب

ϕ : زاویه طبیعی قرارگیری سنگ آرمور

در صورتی که جریان با موج ترکیب شود، افزایش وزن سنگ مورد نیاز برای حفاظت در مقابل آب‌شستگی ناشی از موج به میزان (۵۰٪) قابل توصیه است [۶۷]. روش دیگر عبارت از محاسبه تنشهای برشی ناشی از امواج در جریان و در نظر گرفتن اثر ترکیبی آنها است.

گاهی قسمت انتهایی سازه در هر مرحله از احداث موج‌شکن در معرض آب‌شستگی شدیدتری در مقایسه با قسمت انتهایی یک سازه تکمیل شده قرار می‌گیرد (به زیربخش ۹-۳-۸ مراجعه شود). بنابراین به‌کارگیری سازه‌های حفاظتی در مقابل آب‌شستگی بعد از پایان هر مرحله احداث سازه باید مورد توجه قرار گیرد.

هیچ معیار مشخصی تاکنون برای تعیین عرض سازه حفاظتی در مقابل آب‌شستگی ارایه نشده است. به طور کلی فرض می‌شود که آب‌شستگی تا فاصله یک چهارم طول موج از پای وجه دیوار بیشترین شدت را دارد. میزان ادامه کف‌بند را می‌توان به طور تقریبی تا بیش از دو برابر ارتفاع موج طرح مورد استفاده در رابطه ۳۴ در نظر گرفت. گاهی افزایش این فاصله برای تأمین پایداری ژئوتکنیکی پی ضرورت می‌یابد.

◀ ۹-۳-۷ سازه‌های تاج

برای جلوگیری از سرریزی موج و حفاظت تأسیسات مهم در مقابل آسیب ناشی از آن ایجاد یک دیوار تاج مرتفع ضرورت می‌یابد. اگر چه برای برگرداندن جریان ناشی از بالاروی موج می‌توان از یک دیواره شکل‌دار استفاده کرد، اما سازه مزبور لزوماً در مورد امواج مرتفع با پریود بلند کارساز نیست. یک سازه تاج باید در مقابل بارهای افقی و بارهای ناشی از ریزش حجم زیاد آب بر روی آن طراحی شود. همچنین سازه مزبور باید بعد از نشست اولیه موج‌شکن احداث شود. برای فراهم آوردن امکان نشست بلندمدت سازه باید درزهایی در نظر گرفته شود.

◀ ۹-۳-۸ پوزه موج‌شکن

پوزه موج‌شکن با توجه به عوامل فهرست شده در زیربخش ۸-۸ باید به طور خاص مورد توجه قرار گیرد.

عملکرد موج در قسمت‌های داخلی و خارجی پوزه یک موج‌شکن قائم قابل توجه است، طوری که تاجها و ناوهای موج در دو سمت مخالف موجب اعمال نیروهای کل بیشتری می‌شوند. بنابراین گاهی افزایش وزن سازه در محل پوزه ضرورت می‌یابد. این کار معمولاً با زیاد کردن عرض سازه در آن محل صورت می‌گیرد.

بستر دریا در محل پوزه موج‌شکن قائم در مقایسه با پوزه موج‌شکن توده‌سنگی به علت تغییر ناگهانی نیمرخ، راحت‌تر دچار آب‌شستگی می‌شود، به بخش ۸-۸ مراجعه شود. اثرات آب‌شستگی را می‌توان به صورتهای زیر کاهش داد:

الف: با ایجاد یک وجه بیرونی که در پلان انحنادار است.

ب: با افزایش عرض و وزن سنگهای سازه حفاظتی در مقابل آب شستگی در مقایسه با سازه مشابه در امتداد بدنه موج‌شکن به میزان حداقل (۵۰٪) و ادامه آن در امتداد وجه اصلی تا فاصله‌ای مطلوب.

◀ ۴-۹ سازه‌های صندوقه‌ای

◀ ۱-۴-۹ کلیات

نوعی موج‌شکن قائم از چند صندوقه بتنی مسلح تشکیل می‌شود. این صندوقه‌ها را می‌توان به صورت شناور و یا توسط یک جرثقیل مستقر بر روی یک شناور دریایی به محل مورد نظر حمل کرده و سپس با افزایش وزن به درون آب فرو برد.

صندوقه‌های شناور معمولاً سازه‌های سلولی چندگانه‌ای هستند که تقریباً با هر اندازه‌ای که با شرایط پی و روشهای اجرایی سازگار باشد، قابل احداث هستند. صندوقه‌های غیر شناور معمولاً سلولهای منفرد دایره‌ای یا کف باز هستند. اندازه این سازه‌ها با توجه به ظرفیت حمل محدود می‌شود.

◀ ۲-۴-۹ شکل صندوقه‌ها

اساس صندوقه‌های شناور معمولاً به صورت مسطح ساخته می‌شود، تا امکان قرار دادن آنها بر روی بستر تراز شده وجود داشته باشد (اشکال ۹-۱-الف و ب). البته گاهی به منظور افزایش مقاومت در مقابل لغزش، اساس این سازه‌ها به صورت زبر ساخته می‌شود. شکل صندوقه‌ها در پلان عمدتاً مستطیلی بوده و معمولاً به دلیل مقاومت و کنترل پایداری به هنگام کشیده شدن (با یدک‌کشها)، فرو رفتن در آب، قرار گرفتن در موقعیت خود و پر کردن آن با مصالح به چند سلول تقسیم می‌شوند. وجه هر سلول در پلان به صورت مسطح و یا انحنادار است.

در صورت سنگی بودن بستر می‌توان از صندوقه‌های دایره‌ای با کف باز استفاده کرد. به طور کلی این سازه‌ها تک سلولی بوده و هر سلول توسط جرثقیل بر روی دیگری قرار می‌گیرد. بعد از استقرار صندوقه بر روی بستر دریا، اساس را باید با استفاده از بتن زیر آب تکمیل کرد (شکل ۹-۱-پ). سلولهای سمت دریا در یک صندوقه شناور می‌تواند به صورت مشبک طراحی شود. البته در صورت ساخت صندوقه به این شکل باید به مسایلی که گاهی در پایداری شناوری آن اتفاق می‌افتد، توجه کرد.

◀ ۹-۴-۳ پی‌ها

صندوقه‌های شناور معمولاً بر روی یک پی متشکل از مصالح دانه‌ای آماده مستقر می‌شوند. یک صندوقه گاهی بلافاصله پس از استقرار، تحت عملکرد شدید موج قرار می‌گیرد. بنابراین حفاظت صندوقه در مقابل آب‌شستگی در سمت دریا باید بلافاصله پس از استقرار تأمین شود. اگر توقف عملیات احداث به دلیل وقوع طوفان ضرورت یابد، آنگاه باید از آخرین صندوقه در مقابل آب‌شستگی حفاظت کرد. البته گاهی سازه به طور موقت مورد حفاظت قرار می‌گیرد. در این صورت باید قبل از شروع مجدد عملیات احداث، حفاظت موقتی را جمع کرد. برای تعیین طول حفاظت موقت می‌توان از روش مدل هیدرولیکی استفاده کرد.

گاهی پی سازه برای استقرار صندوقه‌های با ارتفاعهای مختلف به صورت پله‌ای آماده شده است. در این صورت باید نخست صندوقه با ارتفاع بیشتر را مستقر کرد. بدین منظور گاهی لازم است عملیات استقرار صندوقه‌ها از قسمت عمیق‌تر رو به دریای موج‌شکن آغاز شود. در طراحی پی‌ها در محل اتصالات برای اجتناب از نشست تفاضلی و آب‌شستگی باید دقت کرد.

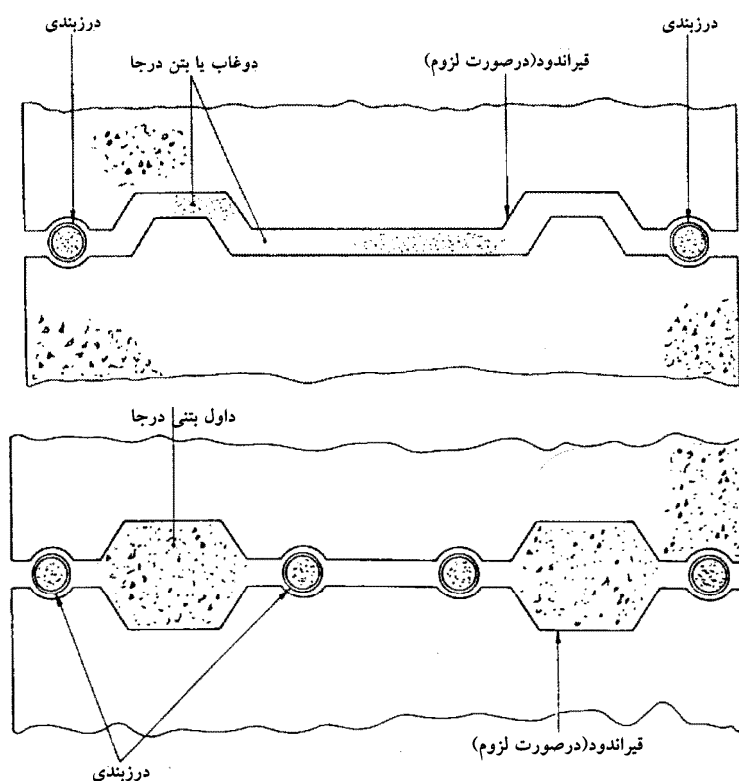
◀ ۹-۴-۴ سازه تاج

در صورت به‌کارگیری یک سازه تاج، معمولاً باید آن را بعد از فرو بردن در آب و پر کردن کامل کرد. میزان پیش‌ساختگی سازه فوقانی صندوقه به طرح کلی، عمق شناوری و پایداری آن بستگی دارد. سازه تاج با وجه شیب‌دار یا بدون آن معمولاً موجب نامتقارن شدن مقطع عرضی سازه می‌شود. این عدم تقارن، فرو بردن سازه را با مشکلاتی مواجه می‌کند.

◀ ۹-۴-۵ سایر ملاحظات

برخی صندوقه‌ها به صورت شناور در آب کشیده شده و در محل مورد نظر مستقر می‌شوند. بدین منظور برای اتصال قلابها به صندوقه باید نقاط مناسبی را در نظر گرفت. در عملیات استقرار صندوقه‌ها به هماهنگی بین اجزای مختلف آن باید توجه کرد. همچنین اطلاع داشتن از وضعیت آب و هوایی در آن هنگام ضروری است.

کار پر کردن صندوقه‌ها باید بلافاصله پس از استقرار صحیح آنها انجام شود. محفظه‌های سمت دریا به استثنای حالتی که دیواره‌های جلو آنها مشبک باشد باید به طور کامل پر شوند. محفظه‌های سمت عقب را می‌توان تا حدی پر کرد. این کار موجب افزایش پایداری سازه می‌شود. محفظه‌های صندوقه‌ها را معمولاً با ماسه پر می‌کنند. البته محفظه‌های سمت دریا را می‌توان با بتن کم‌مایه پر کرد. بدین ترتیب مقاومت در مقابل بارهای ضربه‌ای افزایش می‌یابد. فاصله بین صندوقه‌ها را معمولاً باید پر کرد. این کار به منظور جلوگیری از نفوذ جریان و حفاظت لایه بستر در مقابل آب‌شستگی حاصل از جریانهای با سرعت زیاد انجام می‌شود. جریانهای مزبور از موج ناشی می‌شوند. نمونه جزئیات اتصالات بین صندوقه‌ها در شکل ۹-۱۲ نشان داده شده است. توضیحاتی درباره اتصالات کلیدی در مرجع [۱۱۸] ارایه شده است.



شکل ۹-۱۲ درزهای تیب صندوقه‌ها

◀◀ ۵-۹ سازه‌های بلوک چینی بتنی

در گذشته از بلوکهای پیش ساخته بتنی در ساخت موج شکنها استفاده می شد. موج شکنهای **Dover** و **Peterhead** که در کشور انگلستان ساخته شده اند، نمونه هایی از این سازه ها هستند.

◀◀ ۶-۹ سازه‌های بتنی سنگین

این نوع سازه در شکل ۳-۹ نشان داده شده است.

◀◀ ۷-۹ سازه‌های سپری سلولی

◀ ۱-۷-۹ کلیات

نمونه ای از این نوع سازه در شکل ۴-۹ نشان داده شده است. سازه مزبور را می توان در آب تا عمق ۱۲ متر ساخت.

فشارهای ضربه ای می توانند موجب خیز شمعها و تخریب **clutch** ها شوند. بنابراین از این نوع سازه نباید در مکانهای در معرض عملکرد شدید موج و وقوع امواج شکنا استفاده کرد. استفاده از موج شکن سپری سلولی به عنوان یک سازه حفاظتی موقت و نه به صورت یک موج شکن دائمی مناسب تر است.

احتمال آسیب دیدن سازه های سپری توسط رسوبات دانه ای حمل شده در اثر موج می تواند موجب کاهش عمر آنها شود. همچنین به مسئله خوردگی سپریها باید توجه کرد. عمر طرح این سازه عمدتاً به ضخامت فلز به کار رفته در سپریها بستگی دارد. موضوع حفاظت سپریها در مقابل خوردگی از جمله حفاظت کاتدی باید مورد توجه قرار گیرد.

◀ ۹-۷-۲ حفاظت در مقابل آب‌شستگی

موضوع حفاظت سازه سپری سلولی در مقابل آب‌شستگی باید مورد توجه قرار گیرد. سازه حفاظتی علاوه بر جلوگیری از آب‌شستگی، موجب کاهش حرکت مصالح بستر می‌شود. این حرکت می‌تواند موجب ساییدگی سپریها شود.

◀ ۹-۷-۳ سازه‌های تاج

سازه‌های تاج نباید با جان سطح سپریها به صورت یکپارچه درآمده و یا به آنها تکیه کنند زیرا این عمل مانع گسترش نیروهای لازم کششی در clutch ها می‌شود. استقرار سازه تاج بر روی مصالح پرکننده موجب نشست بیشتر آنها می‌شود. به علاوه در چنین حالتی، وزن سازه تاج به مقاومت برشی کل سازه کمک می‌کند.

سازه تاج باید فقط پس از کامل شدن نشست اولیه احداث شود. در صورت وجود احتمال فرسایش مصالح پرکننده قبل از کامل شدن نشست، لایه پوششی باید تأمین شود.

◀◀ ۹-۸ سازه‌های سپری دو دیواره‌ای

نمونه‌ای از این سازه در شکل ۹-۵ نشان داده شده است. اگر به سپریهای سنگین‌تری برای فرو رفتن در زمین و مقاطع ضخیم‌تری برای مقاومت در مقابل خوردگی نیاز باشد، چنین سازه‌هایی به سازه‌های سپری سلولی با جانهای مستقیم ترجیح داده می‌شوند.

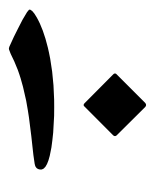
استفاده از سپریهای عرضی در فواصل منظم برای تأمین سختی جانبی طی عملیات احداث و در حین سرویس‌دهی سازه و به منظور محدود کردن آسیب وارده و از دست رفتن مصالح پرکننده به هنگام آسیب دیدن شمعه‌ها ضرورت دارد. فاصله بین سپرها معمولاً بین ۳ تا ۵ برابر عرض کل سازه در نظر گرفته می‌شود.

در صورت دانه‌ای بودن مصالح بستر گاهی سپریها دچار ساییدگی می‌شوند. این پدیده به علت به دام افتادن مصالح مزبور در اثر عملکرد امواج مورب رخ می‌دهد.

سازه‌های تاج را می‌توان بر روی شمعها مستقر کرد. در صورت ایجاد یک دال، بخشی از بار موج را می‌توان به شمعهای پشت سازه منتقل کرد. نشست مصالح پر کننده معمولاً بعد از احداث سازه ادامه می‌یابد. بنابراین سازه کلاهدک باید طوری طراحی شود که به طور کامل بر روی سپریها و یا مصالح پرکننده تکیه کند.

◀ ۹-۹ سازه‌های سپری تک‌دیواره‌ای

نمونه‌ای از این سازه در شکل ۹-۶ نشان داده شده است. چنین سازه‌ای فقط برای مقاومت در مقابل عملکرد متوسط موج مناسب است. سازه‌های تک‌دیواره‌ای به وسیله‌ای شمعهای مایل یا به طرق دیگر حمایت شوند تا بتوانند در مقابل فشارهای موج مقاومت کنند. در صورت مساعد بودن شرایط بستر، در آبهای کم‌عمق می‌توان سازه را به صورت طره‌ای طراحی کرد. طوری که در مقابل عملکرد ملایم موج به تنهایی خم شود. قسمت فوقانی سازه باید شامل یک کلاهدک باشد تا پیوستگی برای مقابله با بار موج تأمین شود. عملکرد موج باعث معکوس شدن تنش در سپریها و خاک می‌شود. بنابراین باید موضوع خستگی ناشی از بارگذاری دوره‌ای را در محاسبه تنشها در نظر گرفت. پایداری سازه‌های سپری تک‌دیواره‌ای بر اساس تراوش در زیر سطح بستر استوار است. تأمین عمق کافی آب‌شستگی برای شمع سپریها یا به کارگیری یک سازه محافظ در مقابل این پدیده ضرورت دارد. قسمت انتهایی یک سازه سپری تک‌دیواره‌ای خصوصاً در مقابل آب‌شستگی ناشی از جریانها و عملکرد مستعد است.



موج شکنهای مرکب

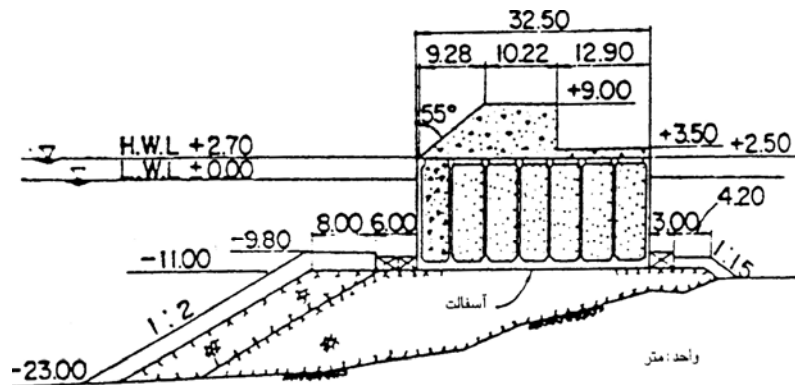
۱-۱۰ کلیات

در این فصل برخی توصیه‌ها و راهنمایی برای طراحی و احداث موج شکنهای مرکب ارائه می‌شود. موج شکنهای مرکب در زیربخش ۶-۲-۴ تعریف شد. برای طراحی این سازه‌ها همچنین باید به فصل ۹ مراجعه کرد.

۱-۱۰ انواع سازه

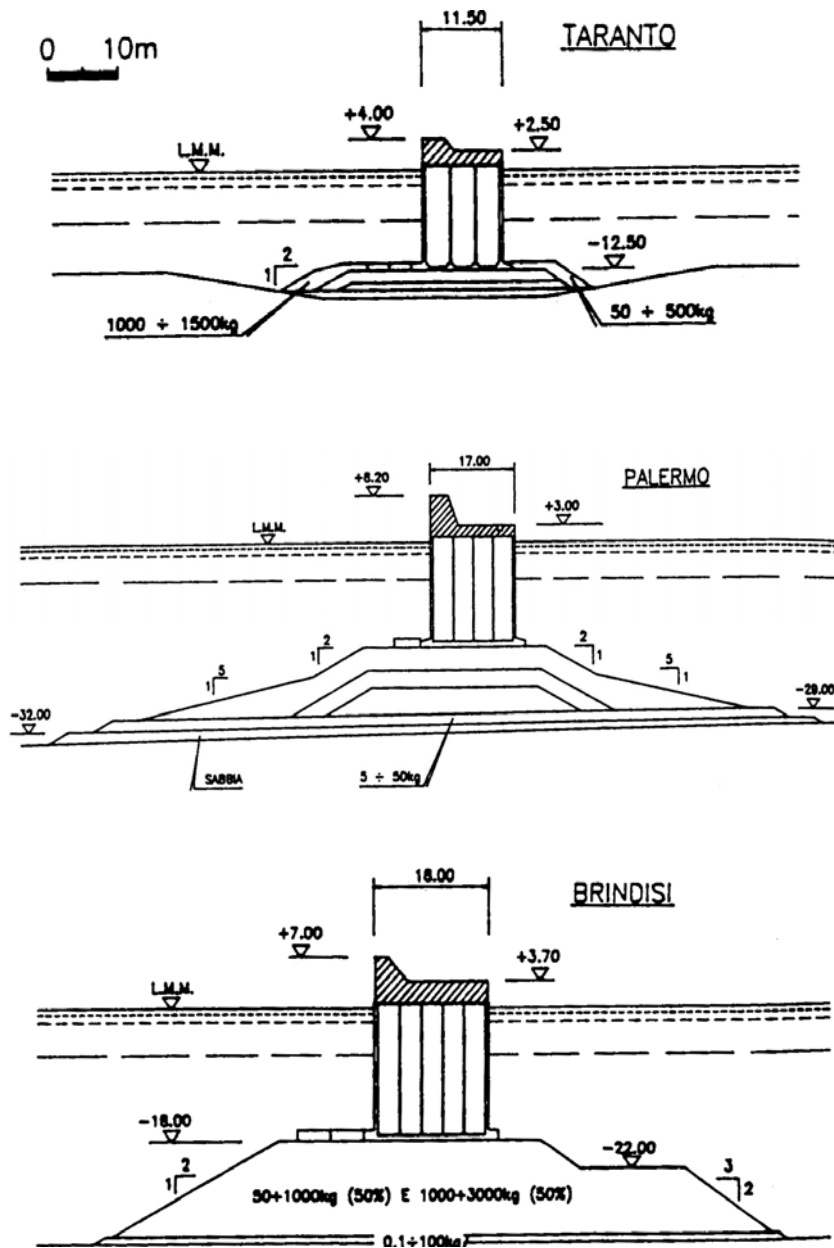
نمونه‌هایی از موج شکنهای مرکب در شکل ۱-۱۰ نشان داده شده‌اند. این نوع سازه را می‌توان به عنوان یک موج شکن در عمق آب زیاد مورد استفاده قرار داد. موج شکن مرکب در مواقع زیر احداث می‌شود:

- الف: هنگامی که سنگ کافی برای احداث یک موج شکن سنگ‌ریزه‌ای در دسترس نیست.
- ب: هنگامی که طراحی یک موج شکن قائم برای تحمل بار موج در کل عمق وجود نداشته باشد.
- ج: هنگامی که ساخت یک موج شکن قائم مقرون به صرفه اقتصادی نباشد.

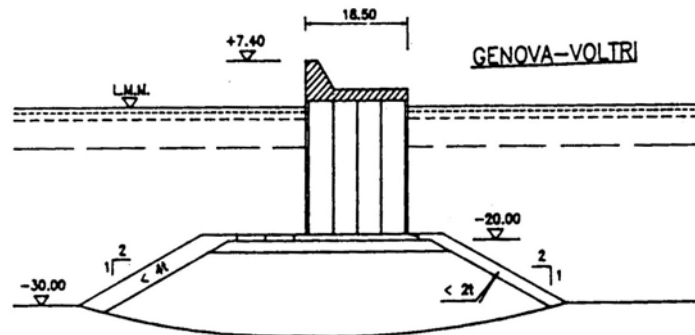


مقطع عرضی موج شکن صندوقه‌ای با وجه فوقانی شیب‌دار در بندر Katadomari

شکل ۱-۱۰ نمونه‌هایی از موج شکنهای مرکب



ادامه شکل ۱-۱ نمونه‌هایی از موج شکنهای مرکب



ادامه شکل ۱۰-۱ نمونه‌هایی از موج شکنهای مرکب

نمونه‌های زیادی از این موج شکنها در بنادر دریای مدیترانه، ژاپن، آمریکای جنوبی و اقیانوس آرام ساخته شده‌اند. سازه قائم یک موج شکن مرکب می‌تواند از نوع بتنی مسلح و یا بلوک چینی بتنی باشد. تغییرات عمق آب را می‌توان با اساس توده‌سنگی موج شکن مرکب تراز کرد.

۱۰-۳ طراحی موج شکنهای مرکب

۱۰-۳-۱ مقدمه

عوامل اصلی که باید در طراحی موج شکنهای مرکب در نظر گرفته شوند، عبارتند از:

الف: انتخاب مقطع عرضی

ب: عملکرد هیدرولیکی

ج: بارگذاری

د: پایداری کلی

ه: طراحی اجزای اصلی سازه

◀ ۱۰-۳-۲ عوامل مؤثر در انتخاب مقطع عرضی

در صورتی که داده‌های کاملاً قابل اطمینان موج در دسترس نباشد، انجام آزمایشهای مدل فیزیکی توصیه می‌شود. موج‌شکن مرکب هنگامی باید مورد استفاده قرار گیرد که امواج با توجه به عمق آب به طور کامل از سازه منعکس شده و امواج شکن در مقابل وجه قائم رخ ندهند. از فرمولهای طراحی مربوط به نیروهای موج فقط باید در مرحله طراحی مقدماتی استفاده کرد.

برای انعکاس کامل امواج از سازه، نسبتهای زیر در مرجع [۱۱۹] توصیه شده است:

$$d \geq 0.75d_1 \quad (۳۶)$$

$$d_1 \geq 1.8H_{1/10} \quad (۳۷)$$

طوری که d عمق آب در پنجه وجه قائم موج‌شکن و d_1 عمق آب در پنجه سازه توده‌سنگی هستند. البته اگر d_1 خیلی بیشتر از $1.8H_{1/10}$ باشد، آنگاه استفاده از رابطه $d < 0.75d_1$ مجاز خواهد بود. در استفاده از روابط فوق باید به تغییرات سطح آب به علت جزر و مد توجه کرد. تراز تاج سازه توده‌سنگی را باید با بهینه‌سازی کلیه عوامل مطرح در طراحی و احداث سازه و هزینه‌های مربوطه تعیین کرد. در تعیین تراز تاج سازه توده‌سنگی باید به مسئله عمق مورد نیاز برای شناوری سازه قائم صندوقه‌ای توجه کرد.

◀ ۱۰-۳-۳ عملکرد هیدرولیکی

عملکرد هیدرولیکی سازه فوقانی موج‌شکنهای مرکب در زیربخش ۹-۳-۲ توضیح داده شده است. راهنمایی لازم درباره نفوذپذیری سازه توده‌سنگی در بخش ۸ ارایه شده است.

◀ ۱۰-۳-۴ بارها

راهنمایی کلی درباره بارهای اعمال شده به سازه‌های قائم در زیربخش ۹-۳-۳ ارایه شده است. مسئله احتمال برخورد امواج شکنای آبی به سازه بسیار اهمیت دارد. بنابراین ابعاد اساس توده‌سنگی را باید به گونه‌ای انتخاب کرد که از ایجاد این پدیده جلوگیری شود. راهنمایی لازم در این خصوص در مراجع [۱۲، ۱۳، ۱۰۲ و ۱۱۴] ارایه شده است.

فشارها و بارهای موج را می‌توان با به‌کارگیری یک وجه قائم‌مشیب و ایجاد یک محفظه موج و یا با به‌کارگیری قسمت فوقانی شیب‌دار در سازه فوقانی کاهش داد. توضیحاتی درباره موج‌شکنهای مرکب صندوقه‌ای شیب‌دار و مقعر در مراجع [۱۲، ۱۳ و ۱۱۴] ارایه شده است.

۱۰-۳-۵ پایداری کلی

طراحی کلی موج‌شکن مرکب مستلزم بررسی پایداری سازه‌های توده‌سنگی و فوقانی است. بنابراین باید ملاحظات مطرح در طراحی سازه‌های توده‌سنگی زیربخش ۸-۲-۵ و قائم‌زیربخش ۹-۳-۴ را با یکدیگر تلفیق کرد.

برخی طریقه‌های تخریب اجزای مختلف یک موج‌شکن مرکب در شکل ۷-۳ نشان داده شده‌اند. علل اصلی تخریب سازه‌های مرکب شامل آب‌شستگی پنجه سازه توده‌سنگی و جابه‌جایی سازه قائم فوقانی در اثر بارهای زیاد اعمال شده از سوی موج می‌شود. تخریب سازه توده‌سنگی می‌تواند به تخریب سازه قائم منجر شود. این عمل در اثر زیرشستگی پی سازه قائم و تخریب آن در سمت دریا و یا افزایش فشار بالابرنده و لغزیدن سازه رخ می‌دهد. بنابراین توصیه می‌شود که در طراحی سازه حفاظتی در پنجه پی توده‌سنگی از یک رهیافت محافظه‌کارانه استفاده شود.

توزیع فشارهای بالابرنده زیربخش ۹-۳-۴ می‌تواند به صورتهای زیر باشد:

الف: مثلی در صورت قرار داشتن اساس بر روی بستر نفوذپذیر

ب: یکنواخت در صورت محدود شدن استهلاک فشار در سمت پشت سازه

این حالت گاهی به هنگام بسته شدن قسمت عقب سازه توده‌سنگی توسط مصالح ریزدانه رخ می‌دهد.

ضریب اصطکاک بین اساس و سازه توده‌سنگی نباید بیش از ۰/۶ فرض شود. احتمال افزایش اصطکاک طی گذشت زمان وجود دارد.

در حالتی که حرکت سازه قائم به علت لغزش در عملکرد آن تأثیر نگذارند، ضریب اطمینان تا مقدار ۱/۲ کاهش می‌یابد. البته این به شرطی است که لغزش سازه فوقانی موجب خارج شدن سازه فوقانی از سطح پی توده سنگی نشود.

ضرایب اطمینان در مقابل واژگونی یا لغزش معمولاً بین ۱/۵ تا ۲ در نظر گرفته می‌شوند. البته این ضرایب به عواقب تخریب سازه و میزان قابل اطمینان بودن اقلیم موج پیش‌بینی شده بستگی دارند.

◀ ۱۰-۳-۶ سازه زیرین و پی‌ها

در حال حاضر تعیین مطلوب مقادیر سرعت و شتاب‌مداری ناشی از حرکت موج در جلو سازه مرکب امکان‌پذیر نیست. در صورت تشکیل موج ایستا در جلو سازه، سرعت بیشینه افقی در فاصله یک چهارم طول موج در جلو دیوار ظاهر خواهد شد. این مقدار معمولاً بیش از عرض سازه توده سنگی در جلو وجه قائم است.

برای طراحی کلی سازه توده‌سنگی به بخش ۸ مراجعه شود. تعیین اولیه ابعاد سنگهای سازه توده‌سنگی با استفاده از رابطه ۳۴ صورت می‌گیرد. البته به‌کارگیری این رابطه برای تعیین وزن آرمور در قسمت فوقانی سازه توده سنگی موجب برآورد دست پایین آن می‌شود. زیرا آن قسمت تحت تأثیر همزمان نیروهای هیدرواستاتیک بالابرنده و نیروهای ناشی از عملکرد موج بر روی وجه قائم است. روش طراحی دیگری توسط Jensen [۱۱] ارائه شده است.

برای مسلح کردن سکوی سازه اغلب از بلوکها و یا دالهای پیش ساخته بتنی استفاده می‌شود. اگر چه وزن حداقل این قطعات ۱۰ تن است، اما وزن آنها ممکن است به ۳۰ تن و یا بیشتر نیز برسد [۱۰۱]. این قطعات بیش از آرمورهای سنگی در معرض فشار بالابرنده قرار می‌گیرند. بنابراین باید با تعبیه سوراخهای آزاد کننده فشار در قسمت فوقانی شیب، پایداری آنها را افزایش داد.

تاج و قسمت فوقانی شیب بحرانی‌ترین قسمتها در رابطه با موضوع پایداری هستند. عرض تاج سازه توده‌سنگی در جلو دیوار قائم در طراحی اولیه باید حداقل ۵ متر و یا به اندازه‌ای باشد که حداقل ۵ سنگ آرمور در آنجا گیرد.

پایداری مصالح بستر دریا باید کنترل شود به زیربخشهای ۸-۶ و ۹-۳-۵ مراجعه شود. همچنین در صورت نیاز باید سازه حفاظت پنجه را احداث کرد.

◀ ۱۰-۳-۷ سازه فوقانی

برای طراحی سازه فوقانی به فصل ۹ مراجعه شود.

◀◀ ۱۰-۴ احداث

راهنماییهای کلی برای احداث سازه‌های توده‌سنگی و قائم به ترتیب در زیربخشهای ۸-۱۲ و ۹-۴ ارائه شده‌اند.

سطح هسته توده‌سنگی باید برای استقرار صندوقه‌هایی که به صورت شناور حمل می‌شوند و سایر انواع سازه‌های فوقانی به دقت تسطیح شود. بدین منظور از یک لایه برای تسطیح سطح فوق استفاده می‌شود. ضخامت این لایه حداقل ۰/۵ متر بوده و قطر سنگهای آن حداکثر ۱۰۰ میلیمتر است. حفاظت این مصالح در مقابل آب‌شستگی ناشی از عملکرد امواج اهمیت دارد. تفاوت مجاز در تراز سطح مصالح زیر صندوقه‌ها و بلوک چینیه‌های قفل شده در یکدیگر می‌تواند تا ۱۵۰ میلیمتر در نظر گرفته شود. اگر صندوقه‌ها با برداشتن در محل خود مستقر شوند، احتمالاً می‌توان آنها را مستقیماً بر روی هسته قرار داد. برای پر کردن حفره‌ها می‌توان از بتن زیرآبی در شرایط آب و هوایی آرام استفاده کرد. برای نشست کافی پی توده‌سنگی و خاک بستر دریا، طولانی شدن زمان ساخت پی قبل از استقرار صندوقه‌ها تا حد امکان مطلوب است. در این صورت باید نسبت به پایداری موقت سازه توده‌سنگی اطمینان حاصل کرد. نشست سازه فوقانی تا مدتی بعد از تکمیل آن ادامه دارد. بنابراین اتصالات را باید با توجه به این واقعیت طراحی کرد.

۱۱



شرایط انتخاب نوع سازه‌های حفاظتی

۱۱-۱ کلیات

هنگامی که طرح یک پروژه حفاظت سواحل مورد نظر قرار می‌گیرد گزینه‌های مختلفی برای طرح و اجرا در دسترس مهندس سواحل وجود دارد. آنچه انتخاب نوع این سازه‌ها را تحت اثر قرار می‌دهد، شرایط و پارامترهای مختلف مؤثر بر سازه و محیط ساحلی است. جدول ۱-۱۱ مجموعه‌ای از این عوامل و شرایط را نشان می‌دهد. بدیهی است بررسی این شرایط به طور جداگانه کافی نیست و در هر پروژه مهندس سواحل باید مجموعه اثرات این شرایط را مد نظر قرار دهد.

جدول ۱-۱۱ عوامل و شرایط مؤثر در انتخاب نوع سازه‌های حفاظتی

شامل جریان، موج، تغییرات سطح آب، خیزآب ناشی از باد و موج	هیدرولیک و هیدرودینامیک دریا
شامل خصوصیات ژئوتکنیکی مصالح بستر و در برخی شرایط مصالح سازه حفاظتی	ژئوتکنیک
شامل نوع عملکرد سازه‌ها در شرایط مختلف	خصوصیات سازه
امکان اجرایی سازه، امکان تعمیر و نگهداری سازه	امکانات اجرایی و ساخت
دوام مصالح و منابع و نزدیک بودن مصالح مصرفی به محل پروژه	منابع و مصالح ساختمانی
شامل شکل ساحل و اهداف آبی تغییرات ساحلی	مورفولوژی ساحل
اثر روی جوامع بنتیک و بیولوژیک، کیفیت آب و زیباشناسی محیط، ماهیگیری	مسایل زیست محیطی
لزوم فراهم آوری عمق مناسب	مسایل ناوبری
شرایط فرهنگی، هزینه اولیه پروژه، زمان و طول عمر و طول دوره بهره‌برداری	مسایل اجتماعی و اقتصادی

۱۱-۲ شرایط هیدرولیکی مؤثر بر انتخاب سازه حفاظتی

پارامترهای هیدرولیکی مؤثر بر یک سازه حفاظتی را می‌توان در حالات زیر دسته‌بندی نمود:

- مقادیر بیشینه آب و ارتفاع موج
- میزان اختلاف ارتفاع سطوح آب در پشت و جلو سازه
- میزان اختلاف سرعت آب در پشت و جلو سازه یا در دو سمت
- اختلاف زمانی بین سطح ماکزیمم آب و مینیمم آن

- تغییرات ارتفاع سطوح آب در پشت و جلو سازه

- نوع تغییرات و مقادیر پارامترهای فوق اثر مستقیم بر انتخاب نوع سازه دارد.

تغییرات زیاد سطح آب در یک ناحیه که می‌تواند ناشی از پدیده‌هایی مثل جزر و مد یا خیزاب ناشی از طوفان باشد، در محاسبه سطح مرجع آب برای طراحی اثر مستقیم می‌گذارند. علاوه بر اثر مستقیم این عوامل روی ارتفاع سطح آب مسایلی نظیر افزایش ارتفاع جهانی سطح آب یا امکان افزایش تغییرات سطوح جزر و مد یک خلیج پس از لایروبی باید مورد نظر قرار گیرد. در صورت وجود تغییرات زیاد در سطح آب طراحی دایک برای حفاظت زمینهای پست مورد نظر قرار می‌گیرد. در صورت کم بودن تغییرات ممکن است ساخت دیواره ساحلی مقرون به صرفه‌تر باشد. در ساخت آب‌شکنها و تیغه‌های ساحلی تغییرات زیاد آب به همراه پارامترهایی نظیر جنس مصالح کف و شیب ساحل در کارایی سازه نقش دارند. تغییرات سطوح ممکن است باعث ایجاد جریانهای مختلف نیز گردد که می‌تواند باعث ایجاد فرسایش در نواحی مختلف یک سازه گردند. به طور معمول جریانها جزو بارگذاریهای بحرانی روی سازه‌های ساحلی نمی‌باشند.

امواج در هنگام برخورد با سازه نیروی قابل توجهی را بر آن وارد می‌کند که در نظر گرفتن اثر این نیرو در طرح سازه ضروری است. در محلهایی که تحت تأثیر امواج سنگین قرار دارند نمی‌توان از سازه‌های سبک استفاده کرد. امواج بلند همچنین در هنگام برخورد با دیواره‌های ساحلی انعکاس می‌یابند و جریانها هنگامی که طرح یک پروژه حفاظت سواحل مورد نظر قرار می‌گیرد، گزینه‌های ثانویه‌ای تولید می‌کنند که باعث ایجاد آب شکستگی در پای سازه می‌گردد. در اماکنی که تحت برخورد متناوب امواج قرار دارند، انتخاب پوششهایی که بتواند اثر موج را مستهلک کنند ضروری است.

همان‌طور که پیشتر نیز اشاره شد، جریانها در ایجاد آب شکستگی و انتقال رسوبات مؤثر می‌باشند. در محلهایی که جریان در کنار سازه قرار دارد باید تمهیدات لازم در کف فراهم گردد تا از آب شکستگی پای سازه جلوگیری به عمل آید. جریانها در انتقال رسوبات نیز اثر قابل توجهی می‌گذارند.

◀ ۱۱-۳ شرایط ژئوتکنیکی

انتخاب نوع سازه‌ها باید به طریقی صورت گیرد تا دو شرط عمده ذیل رعایت گردد:

- تغییرات شکل سازه در محدوده قابل قبول باشد.

- احتمال عدم پایداری در سازه به میزان کافی اندک باشد.

تغییر شکل در سازه تنها ناشی از بارهای خارجی نیست، بلکه وضعیت و شکل هندسی سازه هم در میزان تغییر شکلها، نشستها و ناپایداری احتمالی سازه نقش دارد. در صورت وجود یک سازه غیر خاکی عملکرد سازه از نظر ژئوتکنیکی ناشی از اندرکنش سازه با خاک کف خواهد بود. به این لحاظ مقاومت خاک بستر و خصوصیات مختلف آن ارتباط مستقیمی با نوع سازه انتخاب شده، پیدا می‌کند. به عنوان مثال همان‌گونه که استفاده از سازه‌هایی مثل شمع ورق در بسترهای سخت ممکن نیست، ساخت یک کیسون سنگین روی بستر سست باعث به وجود آمدن مشکلات مختلف می‌گردد. هنگامی که یک بستر لنجی تحت بررسی است، ساخت و طرح یک سازه شناور از دیگر گزینه‌ها مقرون به صرفه‌تر خواهد بود. شرایط ژئوتکنیکی که باید در هنگام طرح یک سازه ساحلی مورد نظر قرار گیرد، از دو دیدگاه ایجاد خرابی جزئی و کلی شامل شرایط ذیل می‌باشد.

◀ ۱۱-۳-۱ خرابی جزئی ناشی از خود سازه

عبور ذرات خاک در قسمتهای مختلف سازه از میان لایه‌هایی با ذرات درشت‌تر می‌تواند باعث ناپایداری سازه گردد. در انتقال ذرات از درون سازه (یا درون آن) جریانها و نوع دانه‌بندی سازه و فیلترها نقش دارند. این پدیده باید از دیدگاه نوع مصالح، شکل سازه و پارامترهای هیدرولیکی مورد بررسی قرار گیرد.

طراحی نادرست می‌تواند به شکستگی پوششها یا جابه‌جایی آنها در هنگام بهره‌برداری بیانجامد. رخداد این پدیده‌ها نیز خرابیهای جزئی در قسمتهای مختلف سازه به وجود می‌آورد.

◀ ۱۱-۳-۲ خرابی کلی

خرابی کلی سازه می‌تواند ناشی از مسایل زیر باشد:

الف: ناپایداری شیروانی سازه یا لغزش دورانی قسمتهای مختلف آن

ب: حرکت گوه‌ای یا دیگر شکلهای لغزش

ج: تغییر شیب سازه بر اثر عوامل مختلف

د: روانگرایی در زیر یا درون سازه

ه: نشست زیاد کل سازه

برای پیش‌بینی و بررسی مسایل فوق در هنگام انتخاب سازه حفاظتی باید موارد ذیل لحاظ گردند:

۱- خصوصیات کلی سازه مانند مکان، جانمایی، ساختار طبیعی محل و گستره سازه بررسی گردد.

۲- خصوصیات محلی و ژئولوژیکی جایگاه سازه بررسی گردد.

۳- وجود داده‌های کافی و سالم ژئوتکنیکی محرز گردد.

۴- از کارشناسان با تجربه در زمینه ژئوتکنیک استفاده گردد.

۵- خصوصیات سازه‌ای مورد نیاز از نظر ژئوتکنیکی و نوع بهره‌برداری، کاملاً مشخص گردد.

◀ ۱۱-۴ خصوصیات انواع مختلف سازه‌ها

خصوصیات سازه‌های مختلف حفاظت در بخشهای دیگر به طور کامل مورد بررسی قرار گرفته است.

خلاصه مطالب در جدول ۱۱-۲ آمده است.

جدول ۱۱-۲ خصوصیات سازه‌های مختلف حفاظت

نوع سازه	شرایط استفاده	فواید خاص	مضرات
آب‌شکنها و تیغه‌ها	<ul style="list-style-type: none"> - در سواحل قلوه‌سنگی در هر دامنه جزر و مدی - در سواحل ماسه‌ای در دامنه جزر و مدی کوتاه - در سواحل با نرخ حمل رسوب کلی بالا ولی نرخ خالص کم - ساخت و ساز عمود بر ساحل در طول دلخواه ممکن باشد. - امکان استفاده از سازه‌های حجیم در هنگام امواج شدید فراهم باشد 	<ul style="list-style-type: none"> - شکل پذیرفته شده دارند 	<ul style="list-style-type: none"> - ممکن است باعث ایجاد جریانهای محلی شوند که خود فرسایش را افزایش می‌دهد نیاز به بازسازی دارند تا کاملاً در آب فرو نروند

نوع سازه	شرایط استفاده	فواید خاص	مضرات
موج شکنهای دور از ساحل	<ul style="list-style-type: none"> - در سواحل قلوه‌سنگی در هر دامنه جزر و مدی - در سواحل ماسه‌ای در دامنه جزر و مدی کوتاه - یک جهت غالب عمود بر ساحل برای رسوب، قابل پیش‌بینی باشد - نیاز به ساخت ساحلهای کوچک تفریحی باشد 	<ul style="list-style-type: none"> - میزان حفاظت در جلوی ساحل بسته به نیاز، قابل تنظیم است 	<ul style="list-style-type: none"> - در شرایطی که دامنه جزر و مدی شدید است ظاهر خوشایندی نخواهند داشت. باعث ته‌نشین شدن تمامی ذرات موجود در آب در پشت خود می‌شوند - باعث به وجود آمدن جریانهای شدید از میان شکافهای بین موج‌شکنها می‌گردد - قابل تطابق برای در حالت طوفان و تغییرات بلندمدت نیست - قابل تطابق سنگریزه‌ای و ماسه‌ای نیست
دیوارهای ساحلی و دایکها	<ul style="list-style-type: none"> - در هر بستر قابل اجرا هستند - در هر شرایط هیدرولیکی قابل استفاده هستند - به شرایط نرخ حمل رسوب کم مناسب هستند - در هر شرایط موج قابل طرح هستند - برای جذب انرژی امواج روی ساحل بسیار مناسب‌اند - در کنار دیگر سازه‌ها قابل استفاده هستند. 	<ul style="list-style-type: none"> - روشهای دقیق طراحی موجود است - در تمام طول خود حفاظت یکسانی ایجاد می‌کنند - برای حفاظت از تفریح‌گاههای ساحلی مناسب‌اند. - از تلاطم ساحل در مقایسه با دیوارهای صخره‌ای طبیعی می‌کاهند 	<ul style="list-style-type: none"> - رسوب را کنترل نمی‌کنند - با ادامه یافتن فرسایش ممکن است نا پایدار شوند

۱۱-۵ امکانات اجرایی و ساخت مصالح ساختمانی

در طرح یک سازه ساحلی بررسی دقیق شرایط محیطی، جغرافیایی، توپوگرافیکی، هیدرولیکی، آب و هوایی و ... برای انتخاب روش مناسب ساخت ضروری است. امکان‌پذیری ساخت هر یک از روشهای

حفاظت سواحل باید با توجه به خصوصیات سازه صورت گیرد. پارامترهای مؤثر در اجرای سازه‌های ساحلی در بخش ۲-۵ اشاره گردید.

۱۱-۶ مورفولوژی ساحلی

این مبحث نیز به طور کامل در فصل ۱۲ این مجموعه مورد بررسی قرار گرفته است.

۱۱-۷ مسایل محیط زیستی

با ساخت سازه‌های ساحلی بعضی منابع محیط زیستی تحت تأثیر قرار می‌گیرند. چگونگی اثر سازه‌ها روی شرایط محیطی می‌تواند در مجموعه مسایل زیر مورد بررسی قرار گیرد:

۱۱-۷-۱ اثرپذیری شکل فیزیکی محیط

تغییر شکل فیزیکی ساحل می‌تواند روی محیط زیست آن اثرات مثبت و یا منفی بگذارد. بسیاری از اثرات منفی را می‌توان با جانمایی در طرح مناسب کاهش داد. اثرات فیزیکی هم در کوتاه‌مدت و هم در بلندمدت حایز اهمیت هستند.

۱۱-۷-۲ اثر در کیفیت آب

این رخداد ممکن است در کوتاه‌مدت یا بلندمدت به وقوع بپیوندد و اثراتی مثبت یا منفی داشته باشد. در هنگام اجرای سازه ساحلی به طور معمول غلظت مواد معلق آب در نزدیکی سایت افزایش می‌یابد. این اثر جزو اثرات کوتاه‌مدت اجرای سازه بر شرایط طبیعی محیط زیستی اطراف سایت می‌باشد. همچنین اثر مصالح روی کیفیت آب و اثرپذیری مستقیم آب از تأسیسات ساحلی در بلندمدت حایز اهمیت هستند. اثر بلندمدت گزینه‌های غیر سازه‌ای مانند چمن‌کاری روی ساحل و استفاده از پوششهای گیاهی قابل صرف نظر کردن است. از میان دیگر سازه‌ها آب‌شکنها کمترین اثر را روی کیفیت آب دارند. دیوارهای ساحلی و آب‌بند هر دو باعث کاهش روند فرسایش و در نتیجه کم شدن میزان ذرات معلق می‌شوند. پوششهای شیبها مانند دو سازه قبل عمل می‌کنند ولی اثر کمتر، تیغه‌های ساحلی و موج‌شکنهای سنگی و خاکی

بیشترین اثر را روی وضعیت کیفی آب ساحل می‌گذارند. تیغه‌های ساحلی علاوه بر اثر روی غلظت مواد معلق بر الگوی جریانهای ساحلی نیز اثر می‌گذارند و در نتیجه ممکن است باعث تغییرات شدیدتر کیفیت آب شوند.

◀ ۱۱-۷-۳ اثر روی منابع بیولوژیکی

منابع بیولوژیکی در نزدیکی ساحل از پیچیدگی خاصی برخوردارند. حفاظت سواحل، در عین حال که می‌تواند روی برخی خصوصیات بیولوژیکی اثر مثبت بگذارد، می‌تواند اثرات منفی قابل توجهی نیز داشته باشد. این اثرات را می‌توان به طور خلاصه شامل موارد ذیل دانست.

الف: اثر روی جوامع بنتیک (کفزی)

ب: اثر روی الگوهای حرکت دسته‌های ماهیها و جانداران (ناشی از سازه‌هایی مثل آب‌شکن)

ج: اثر آلودگیهای صوتی (ناشی از دوره اجرا یا بهره‌برداری) روی جانوران دریایی

د: اثر روی آبزیان از طریق آلودگی آب

◀ ۱۱-۷-۴ زیباییهای ظاهری

شکل و خصوصیات ظاهری ساحل در اثر ساخت سازه‌های حفاظت سواحل به شدت اثرپذیر خواهد بود. انتخاب مناسب این سازه‌ها می‌تواند در وضعیت یک ساحل اثر مثبت یا منفی تعیین کننده داشته باشد.

◀◀ ۱۱-۸ اثرات فرهنگی

اثرپذیری وضعیت فرهنگی و اجتماعی محل از ساخت سازه‌های حفاظتی باید به طور کامل مورد بررسی قرار گیرد. اثر سایت‌های تفریحی روی مشاغل ساکنان، وضعیت ماهیگیری و ... جزو دسته مواردی هستند که در بررسیهای اثرپذیری فرهنگی حایز اهمیت می‌باشند.

◀◀ ۹-۱۱ ملاحظات اقتصادی و مدیریتی سواحل

این قسمت نیز در فصل اول مورد بررسی قرار گرفته است.

۱۲

شرایط انتخاب محل و مبانی حفاظت سواحل

۱۲-۱ مشخصات سواحل

۱-۱-۱۲ مبانی

فرایندهای طبیعی ساحل همواره مرز بین دریا و خشکی را تحت اثر قرار داده و تغییرات و دگرگونیهای مختلفی را که در زمان و مکان متفاوت نیز هستند به وجود می‌آورند. این تغییرات ممکن است در راستای فرسایش سواحل و رسوب‌برداری، رسوب‌گذاری و یا پیشروی خشکی باشد. اگر چه پدیده‌های رسوب‌گذاری و رسوب‌برداری در تمامی سواحل دیده می‌شوند، آنچه بررسی آنها را مهم و قابل توجه می‌سازد شدت این فرایندها و میزان اثر آنها بر وضعیت ساحل است.

پدیده فرسایش سواحل به طور خاص در سواحل دیده می‌شود که ماهیتی رسوبی یا ماسه‌ای دارند. سواحل صخره‌ای در کوتاه‌مدت کمتر تحت اثر فرسایش قرار می‌گیرند و معمولاً در محدوده بررسیهای مربوط به سیستمهای حفاظت سواحل قرار نمی‌گیرند.

عوامل مؤثر در رسوب‌گذاری و فرسایش در سواحل علاوه بر فرایندهای طبیعی شامل فعالیتهای انسانی در ساحل و تغییرات مصنوعی به وجود آمده توسط وی نیز می‌شود. در بررسی حفاظت سواحل، عوامل طبیعی به عنوان عوامل اثرگذاری بر ساحل مورد بررسی قرار می‌گیرند و هدف از ساخت سازه حفاظتی ایجاد تداخل در جهت اهداف مورد نیاز در رژیم طبیعی سواحل است. عوامل طبیعی مؤثر بر رسوب‌گذاری و فرسایش سواحل شامل موارد ذیل می‌شوند:

- ۱- باد.
- ۲- امواج، مؤلفه انرژی آنها در راستای ساحل و جریانهای عمود بر ساحل.
- ۳- تغییرات سطح آب شامل جزر و مد، خیزاب ناشی از باد و طوفان.
- ۴- تغییرات بار رسوبی رودخانه‌هایی که در ساحل به دریا می‌ریزند.
- ۵- بارشهای شدید که موجب شستشوی تپه‌های ماسه‌ای می‌گردد.
- ۶- عوامل دیگر نظیر حرکت زمین، فعالیت حیوانات و غیره.

از میان عوامل فوق سه عامل اول بیشترین نقش را در شکل‌دهی ساحل دارند. همچنین به طور دقیق‌تر می‌توان موج و جریانهای در امتداد ساحل ناشی از آن را از جمله اصلی‌ترین عوامل تغییر در وضعیت سواحل به حساب آورد.

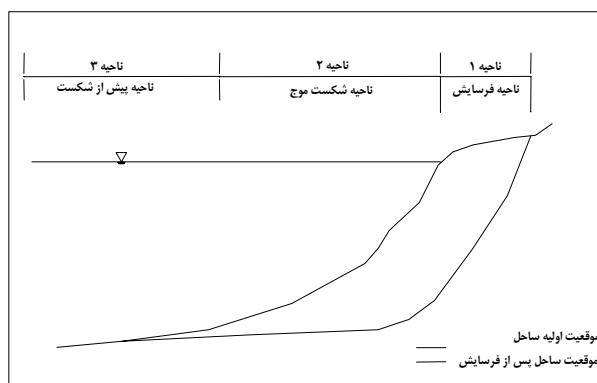
فرسایش سواحل به شکل‌های مختلف دیده می‌شود. اگر چه ذکر دلایل و علل شکل‌گیری سواحل به آسانی مقدور نیست، اما به طور کلی می‌توان برخی تغییرات را در شکل ساحل نشانه اثر عوامل محیطی یا مصنوعی فرسایش دهنده دانست. سواحل در حالات ذیل تحت فرسایش قرار دارند:

- وجود تپه‌های ماسه و شیبهای تند در سواحل ماسه‌ای.
- پیشروی آب دریا در خشکی در حالی که سطح آب دریا افزایش نیافته باشد.
- وجود دیواره‌های واریزه‌ای در سواحل و در معرض امواج.
- خرابی سازه‌های کنار ساحل مثل ساختمانها، جاده‌ها و سدهای دریایی که در همسایگی خطوط ساحلی ساخته شده‌اند.

◀ ۱۲-۱-۲ چگونگی فرسایش سواحل

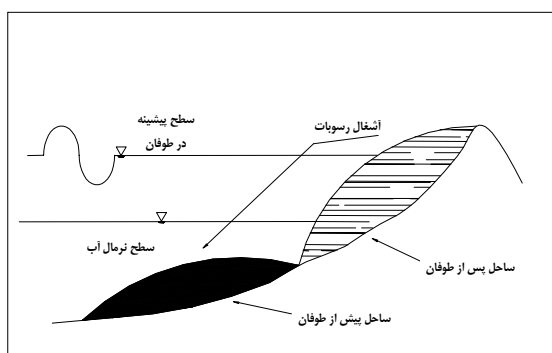
روند فرسایش سواحل عمدتاً از دو شکل متفاوت پیروی می‌کند. در حالت نخست ساحل در طول زمان تغییرات اندک خواهد داشت و شکل آن تغییر چندانی نخواهد کرد. در این حالت حجم رسوبات در یک ناحیه از ساحل در اثر فرسایش کاهش می‌یابد. در این حالت موقعیت ساحل به آهستگی به سمت خشکی حرکت خواهد کرد. علت این عدم تغییر در شکل ساحل ثابت بودن شرایط مرزی وارد در طول زمان است. به این معنی که عواملی نظیر باد، موج و تغییرات سطح آب در منطقه با شکلی خاص از نیمرخ ساحل به تعادل رسیده‌اند و رسوب‌برداری و فرسایش، تنها در موقعیت این شکل اثر دارد. در شکل ۱-۱۲ نیمرخ ساحل که تحت تأثیر این حالت از فرسایش قرار دارد نشان داده شده است.

در این فرسایش جریانهای در امتداد ساحل ناشی از امواج، فرسایش را در ناحیه شکست امواج (ناحیه ۲ در شکل ۱-۱۲) به وجود می‌آورند. فرسایش نواحی ۱ و ۳ به طور غیر مستقیم و در اثر فرسایش ناحیه ۲ شکل می‌پذیرد. رسوب موجود در ناحیه ۲ در امتداد ساحل حرکت می‌کند و رسوبات از نواحی ۱ و ۳ به سمت ناحیه ۲ حرکت می‌کنند.



شکل ۱-۱۲ تغییر موقعیت ساحل با زمان - فرسایش پیش‌رونده

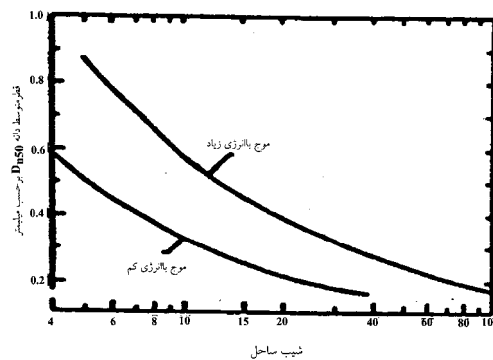
حالت دوم از فرسایش ناشی از شرایط طبیعی خاص مانند طوفان است. در این حالت در ریخت طبیعی ساحل تغییر شکل کلی صورت می‌گیرد که ناشی از شرایط مرزی تازه موجود در اثر طوفان است. در این حالت حرکت رسوبات عمود بر خط ساحل تعیین‌کننده می‌باشد. تپه‌های ماسه‌ای و دیواره‌های سنگریزه‌ای ساحلی در اثر طوفان شسته می‌شوند و رسوبات به سمت ناحیه ۲ شکل ۱-۱۲ حرکت می‌کنند. این فرایند در شکل ۲-۱۲ دیده می‌شود.



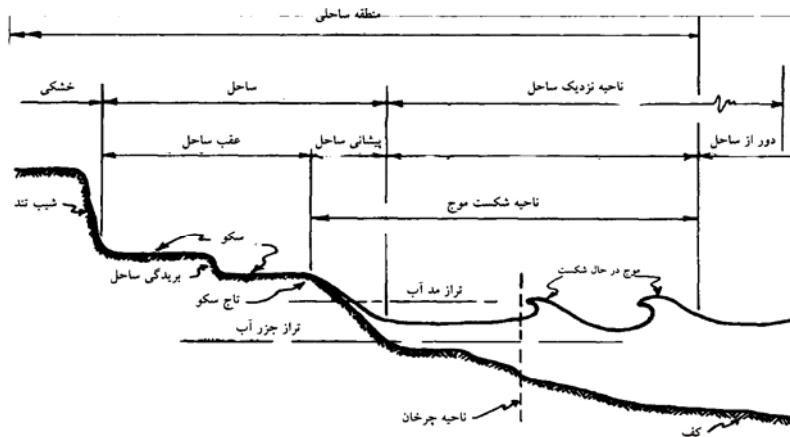
شکل ۲-۱۲ تغییر در نیمرخ عرض ساحل ناشی از طوفان

در این حالت شیب کف ساحل پس از طوفان کم می‌شود. نوع فرسایش ماسه‌های ساحلی در اثر طوفان با فرسایش عادی که در حالت نخست ذکر گردید متفاوت است. در این حالت حجم رسوبات در مقطع عرضی ساحل ثابت است و تنها توزیع آن تغییر می‌کند. پس از طوفان، برای رسیدن به شرایط تعادلی پیشین، ممکن است حتی چند سال طول بکشد. باد و جریانهای به طرف ساحل، وضعیت تپه‌های ساحلی را به حالت پیش از طوفان برخواهد گرداند. البته باید گفت تغییرات ناشی از پدیده‌های طبیعی، متأثر از حالت اتفاقی و غیر قابل پیش‌بینی خود پدیده‌ها است و تعیین دقیق شرایط آتی ممکن نیست. بنابراین رسیدن شرایط ساحل به وضعیت پیش از طوفان، بستگی به شدت و تعداد طوفانهایی دارد که اتفاق خواهد افتاد.

در بیشتر سواحل موجهای طوفانی و طوفان در طول فصل زمستان به وقوع می‌پیوندد و امواج و باد آرامتر در ماههای دیگر و خصوصاً تابستان دیده می‌شوند. لذا مقطع عرضی ساحل در شرایط طوفانی نیمرخ زمستانی و برای حالت عادی و آرام نیمرخ تابستانی نامیده می‌شود. یک سکو در دوره آرام تابستانی تشکیل می‌گردد. شکل مقطع در ساحل البته به جنس و دانه‌بندی رسوبات آن نیز بستگی دارد. در شکل ۱۲-۳ شیب ساحل برای دانه‌بندیهای مختلف ماسه موجود دیده می‌شود. در شکل ۱۲-۴ هم قسمتهای مختلف یک ساحل که تحت فرایند رسوب‌گذاری و رسوب‌برداری قرار دارد و همچنین نیمرخهای تابستانی و زمستانی آن مشاهده می‌گردد.



شکل ۱۲-۳ شیب ساحلی برای دانه‌بندیهای مختلف



شکل ۱۲-۴ مقطع یک ساحل و قسمتهای مختلف آن

۱۲-۱-۳ روابط نیمرخ متعادل ساحل

روابط مختلفی برای توصیف نیمرخ ساحلی متعادل موجود می‌باشد. این روابط یا بر اساس خصوصیات هندسی واقعی که در سواحل اندازه‌گیری شده یا به صورت تقریبی بر پایه تعادل بین نیروهای مؤثر در شکل ساحل به دست آمده‌اند. یکی از روشهای متعارف در تعیین روابط تعادل نیمرخ ساحلی تعیین نیروهای مخرب و مقایسه آن با نیروهای مقاوم است. Dean (۱۹۹۱) نیمرخ متعادل ساحل را بر اساس سه شکل مختلف از نیروهای مخرب وارد بر ساحل تعیین نمود. این سه شکل نیرو پراکنش انرژی موج در واحد حجم، پراکنش انرژی موج در واحد سطح و تنش برشی متوسط یکنواخت در طول ناحیه شکست امواج بودند. بر اساس بررسیهای وی، شکل ساحل ناشی از تمامی نیروهای مخرب را می‌توان به شکل رابطه زیر نشان داد:

$$h=Ay^n \quad (38)$$

که در آن A ضریبی برای توصیف بزرگی ذرات رسوب می‌باشد. بر اساس بررسیهای صورت گرفته، در نظر گرفتن توان n برابر با $\frac{2}{3}$ می‌تواند در اکثر شرایط، تقریب خوبی از وضعیت ساحل به دست آورد.

Dean (۱۹۹۱) رابطه زیر را برای محاسبه ضریب A از روی پراکنش انرژی موج در واحد حجم D^*

ارایه نموده است:

$$A = \left[\frac{24}{5} \frac{D_*}{\rho g \sqrt{gk}} \right]^{\frac{2}{3}} \quad (39)$$

در این رابطه ρ وزن مخصوص آب و g شتاب جاذبه زمین می‌باشد. البته روابط دیگری نیز برای تعیین A از روی قطر ذرات و سرعت سقوط آنها وجود دارد. به عنوان مثال کرایبل و همکاران ۱۹۹۱ رابطه زیر را برای تعیین این پارامتر پیشنهاد نموده است:

$$A = 2.25 \left(\frac{W_f^2}{g} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (40)$$

که در آن W_f سرعت سقوط ذرات در آب می‌باشد. رابطه فوق برای ذرات با قطر بین ۰/۱ تا ۰/۴ میلیمتر ارایه شده است. در کنار روابط نامی برای تعیین نیمرخ متعادل ساحل، McDougal (۱۹۹۴) یک رابطه نامی به شکل زیر را ارایه نموده است:

$$h(y) = h_0 (1 - e^{-ky}) \quad (41)$$

در این رابطه h_0 عمق فرضی آب در یک نقطه دور از ساحل و k یک ضریب کاهنده است. این رابطه نیز همخوانی مناسبی با شرایط واقعی اندازه‌گیری شده دارد.

روابط ارایه شده در بالا از محدودیتهای کاربردی برخوردار می‌باشند. به عنوان مثال رابطه Dean برای حالتی که ساحل در محل برخورد آب با آن به صورت دیواره قائم باشد، صادق نخواهد بود. استفاده از این روابط برای تعیین نیمرخ ساحل در شرایط مختلف به طور کامل در مرجع ۵ قابل دستیابی است و در اینجا از پرداختن به آن خودداری می‌شود.

◀ ۱۲-۲ امکان‌سنجی حفاظت سواحل

حفاظت سواحل به طرق مختلف و عمدتاً به دو طریق مستقیم و غیر مستقیم انجام می‌شود. حفاظت از سواحل با توجه به هدف مورد نظر از آن می‌تواند در مکانهای مختلف، تعاریف متفاوت داشته باشد. احیای سواحل دریایی، جلوگیری از پیشرفت دریا و جلوگیری از رسوب‌برداری یا رسوب‌گذاری در نواحی

خاص، جزو اهدافی است که در چارچوب حفاظت از سواحل قرار می‌گیرند. بنابراین اولین مرحله در بررسی یک طرح حفاظت از سواحل تبیین دقیق اهداف مورد نظر است. در مرحله دوم شناخت و بررسی دقیق خصوصیات مورفولوژیکی ساحل برای انتخاب روش مناسب حفاظت از آن حایز اهمیت بسیار است. عدم بررسی دقیق عوامل مختلف در دو مرحله فوق می‌تواند اثر منفی در وضعیت ساحلی بگذارد. توجه به این نکته ضروری است که سیستمهای حفاظت از سواحل در صورت عدم طرح مناسب می‌توانند ضمن اثرگذاری در رژیمهای فرسایشی و رسوبی سواحل، تغییرات بسیاری در مورفولوژی سواحل به وجود بیاورند که بعضاً جبران آن تنها با صرف هزینه‌های بسیار امکان‌پذیر باشد.

◀ ۱۲-۲-۱ شناسایی مسئله و بررسی شرایط مرزی

طراحی یک سیستم حفاظت از سواحل تنها با تعیین شرایط محلی مانند هیدروگرافی، امواج، جزر و مد، جریانها، فرایندهای مورفولوژیک و خصوصیات رسوب و خاک منطقه ممکن است. به علت آنکه بارگذاریهای ناشی از شرایط محیطی دریایی به طور مطلق قابل پیش‌بینی نیستند، عموماً به صورت توابع احتمالی تعریف می‌شوند. بنابراین شرایط طراحی به صورت یکسری موارد احتمالاتی بیان شده و روش طراحی بر پایه اصول احتمالات است. علاوه بر عوامل فوق عواملی نظیر محدودیتهای زیست‌محیطی، وضعیت پی و زمان اجرا هم بعضاً مورد نظر قرار می‌گیرند. در طراحی از ابزارهای مختلف استفاده می‌گردد. مدل‌های ریاضی برای بررسی موج، جریان و رسوب که در برخی موارد امکان بررسی وضعیت سواحل با یا بدون سازه را نیز دارند، قابل استفاده هستند. تغییرات مورفولوژیک نه تنها نوع حفاظت سواحل انتخابی را تحت اثر قرار می‌دهد، بلکه در صورت وجود سواحل فرسایشی برای تعیین حجم ماسه مورد نیاز برای دستیابی به اهداف اولیه در زمان معین لازم است. بررسی شرایط مورفولوژیک از بررسی داده‌های موجود صورت می‌پذیرد. در کنار این بررسی، مطالعه روند فرایندهای رسوبی ساحل مورد نظر قابل اتخاذ است. در مورد تغییرات شکل ساحل باید علاوه بر تغییرات و دگرگونیهای فعلی در سواحل، دگرگونیهای آتی نیز پیش‌بینی و بررسی شوند و تنها شرایط فعلی، معیار تصمیم‌گیری برای حفاظت سواحل نباشد.

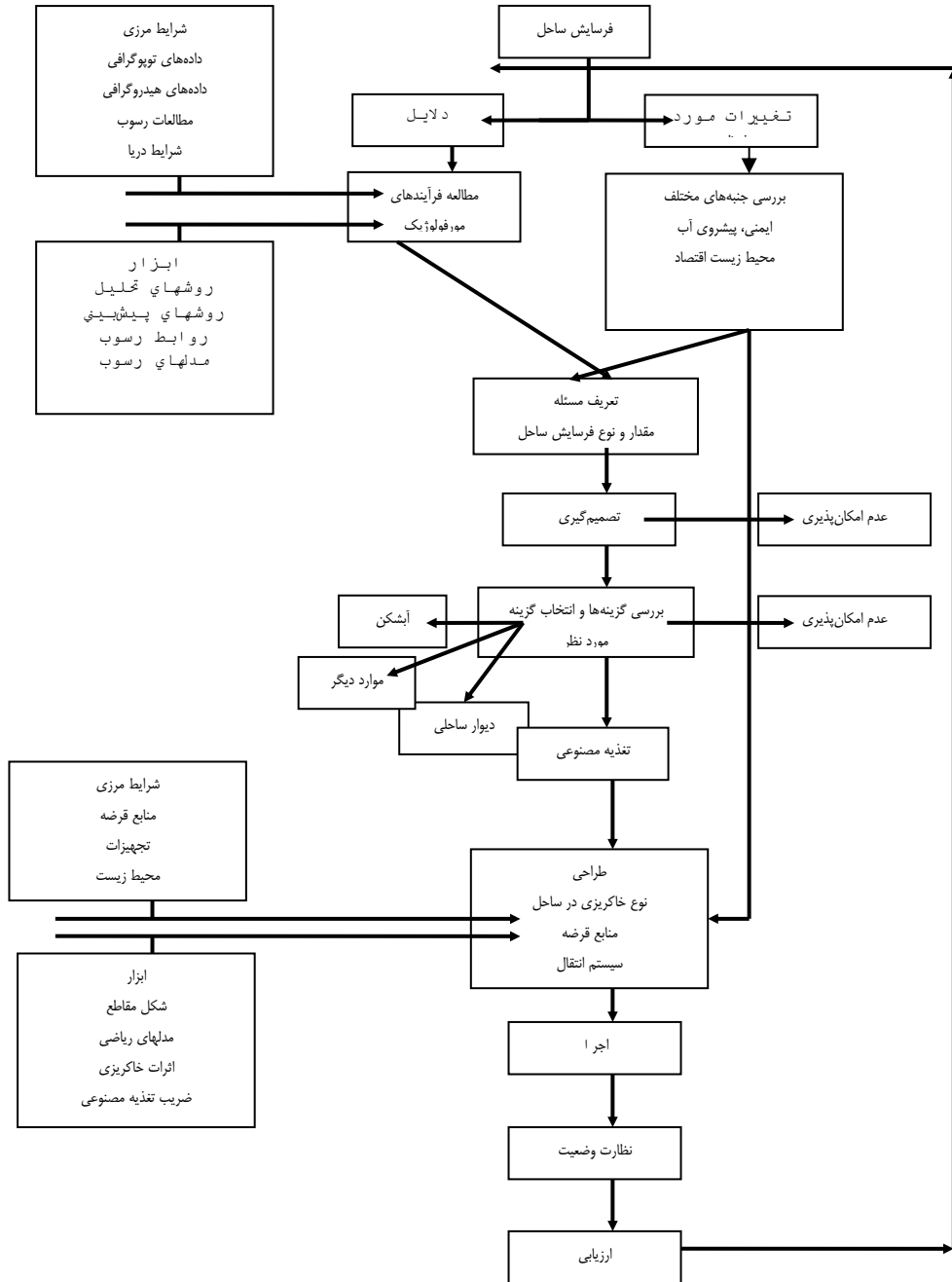
◀ ۱۲-۲-۲ تصمیم‌گیری برای حفاظت ساحل و بررسی گزینه‌ها

همان‌طور که اشاره شد، تصمیم‌گیری در مورد لزوم یا عدم لزوم حفاظت سواحل در یک ناحیه به پارامترهای مختلفی بستگی دارد. یک گروه از این پارامترها عوامل ایجاد و حجم فرسایش ساحل یا تخریب آن است. بررسی این پارامترها از طریق بررسی مورفولوژی ساحل صورت می‌گیرد. در این بررسی، داده‌های موجود تحلیل شده و با استفاده از روشهای پیش‌بینی، وضعیت آتی ساحل مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. گروه دوم از پارامترهای مؤثر شامل مسایلی نظیر ایمنی مورد نظر، پیشرفت ساحل، وضعیت محیط زیست و مسایل اقتصادی می‌باشند. ارزیابی هر دو گروه از پارامترها و ارزش‌دهی به آنها در تصمیم‌گیری نهایی برای حفاظت ساحل ضروری است.

با فرض ضروری بودن حفاظت ساحل باید مجموعه‌ای از روشهای قابل اتخاذ و مناسب برگزیده شوند و با توجه به پارامترهای مؤثر مختلف، روشهای مختلف، ارزش‌گذاری گردند. نتایج حاصله از این ارزش‌گذاری می‌تواند برای انتخاب گزینه‌های نهایی برای طراحی مورد استفاده قرار گرفته و یا خود تصمیم‌گیری برای حفاظت ساحلی را تحت تأثیر قرار دهند.

لازم به ذکر است که با توجه به ماهیت احتمالاتی پدیده‌های مؤثر در حفاظت سواحل، روند طراحی سازه‌های حفاظت سواحل یک روند بازگشتی است. بدین معنی که در هر مرحله از طراحی داده‌های جدید به دست آمده می‌تواند در طرح مجدد قسمتهای پیشین مورد استفاده قرار گیرند.

شکل ۱۲-۵ روند طراحی را به طور نمونه برای یک طرح تغذیه مصنوعی ساحل نشان می‌دهد. در صورتی که طرح مورد نظر، اجرای یک سازه حفاظت سواحل باشد، روند ارائه شده در شکل ۱۲-۵ تغییر چندانی نخواهد کرد و تنها شرایط مرزی و ابزار لازم برای طراحی طرح مورد نظر تغییر می‌کند. در هنگام طرح سازه‌های حفاظتی، بررسی دقیق اثر سازه‌ها روی وضعیت آتی ساحل ضروری است تا از پیامدهای منفی احتمالی آنها جلوگیری گردد.



شکل ۱۲-۵ روند امکان‌یابی و طراحی یک طرح تغذیه مصنوعی برای جلوگیری از فرسایش یک ساحل

۱۲-۳ معرفی انواع روشهای حفاظتی و عملکرد آنها

روشهای حفاظتی شامل طرحهای تغذیه مصنوعی و سازه‌های مختلف حفاظت سواحل می‌شوند. هر کدام از روشها با توجه به خصوصیات خود می‌تواند برای حالات و شرایط مختلف فرسایش یا رسوب‌گذاری به کار برده شود. این روش به طور مستقیم بر فرایندهای فرسایش و رسوب‌گذاری در سواحل اثر می‌گذارند. البته روشهای غیر مستقیم حفاظت سواحل نیز قابل بررسی هستند. به عنوان مثال از این روشها می‌توان از طراحی سیستمهایی برای کم شدن رسوب یک رودخانه منتهی به ساحل نام برد. این روشها در این قسمت بررسی نمی‌شود.

۱۲-۳-۱ تغذیه مصنوعی و انتقال رسوبات

یکی از طرحهای اصلی در توسعه سواحل، تغذیه مکانیکی سواحل به وسیله ماسه است. این طرح با آنکه در نگاه اول غیر عملی و گران به نظر می‌رسد در بسیاری موارد، پس از بررسی دقیق شرایط، عملی‌ترین و اقتصادی‌ترین گزینه ممکنه خواهد بود. در این طرح، ماسه از یک منبع قرضه به ساحل انتقال داده می‌شود. این منبع می‌تواند منابع خشکی یا دریایی باشد. اگر منبع رسوبات، رسوب‌گذاریهای صورت گرفته در یک قسمت دیگر از طرح ساحل باشد، به این شکل از تغذیه مصنوعی، انتقال رسوب گفته می‌شود. تغذیه مصنوعی و انتقال رسوب به طور معمولی در کنار سازه‌های حفاظتی طراحی می‌شوند تا کارایی آن افزایش یابد.

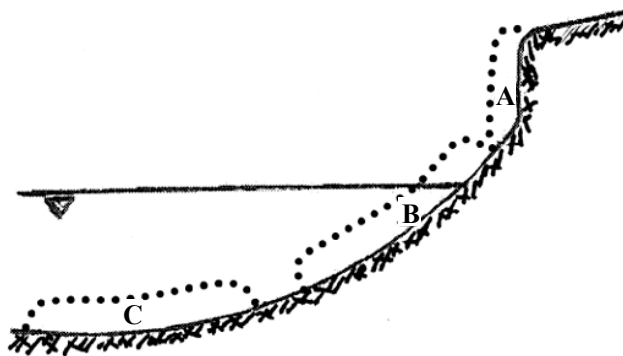
طرحهای تغذیه مصنوعی و انتقال رسوب معمولاً به صورت پیوسته یا مرحله به مرحله در تمام طول عمر یک سازه ساحلی انجام می‌شود و با این وجود جزو طرحهای اقتصادی است. تغذیه به صورتی انجام می‌شود که برای هر متر از زمین احیا شده در طول عمر سازه کمترین هزینه صرف شود.

۱۲-۳-۱ تغذیه مصنوعی

منابع رسوبی اصلی در این طرح، توده‌های ماسه دور از ساحل، توده‌های ماسه‌ای در دلتاها و کناره سواحل، معادن خشکی و رسوبات نشست کرده در کناره‌های سازه‌های ساحلی و ورودیهای تأسیسات بندری است. در طرح تغذیه مصنوعی باید خصوصیات رسوب مورد نیاز از نظر حجم و دانه‌بندی به طور دقیق مطالعه گردد. انتخاب ابعاد دانه‌ها در مقدار پایداری و شیب نهایی ساحل بسیار اثرگذار خواهد بود. انتقال رسوبات و ماسه‌ها باید از نظر مسایل زیست‌محیطی هم به طور دقیق بررسی شود. آلوده بودن رسوبات به آلاینده‌های ناپایدار باعث می‌شود تا با به هم خوردگی رسوبات و پخش آنها در محل‌های جدید، آلودگیهای احتمالی در اماکن مختلف توزیع گردد. حتی رنگ ماسه در شکل‌گیری سواحل جدید باید مد نظر قرار گیرد. معمول‌ترین روش در برداشت و انتقال رسوب، استفاده از یک دستگاه لایروب برای برداشت رسوب و انتقال آن از طریق خطوط لوله یا بارج به محل تغذیه است. انتخاب محل رسوب‌برداری در هزینه‌های اجرایی طرح بسیار تأثیرگذار است. طرح خاکریزی برای تغذیه مصنوعی با اضافه کردن عرض خاکریز موجود و افزودن سکوی ساحل صورت می‌پذیرد. در این حالت معمولاً در شکل و شیب کف ساحل تغییراتی به وجود می‌آید. در صورت تعبیه سازه‌های نگهداری رسوب، ماسه تغذیه شده در محل باقی می‌ماند و ساحل مورد نظر ایجاد می‌گردد. در بسیاری حالات نیز با در نظر گرفتن سازه‌های حفاظتی، تغذیه قسمتهای پایین دست جریان در امتداد ساحل مد نظر می‌باشد. معمولاً برای دستیابی به اهداف طراحی، حجم بیشتری از ماسه مورد نیاز انتخاب می‌گردد. حجم خاک مورد نیاز برای تثبیت یک متر مکعب خاک در ساحل به عنوان ضریب خاکریزی نامیده می‌شود و در شرایط مختلف متفاوت است.

محل تغذیه مصنوعی در مقطع عرض ساحل هم در وضعیت نهایی ساحل تأثیرگذار است. در شکل ۱۲-۶ سه ناحیه ممکن برای تغذیه مصنوعی ساحل دیده می‌شود. در صورت انتخاب ناحیه A برای تغذیه مصنوعی واریزه‌های ماسه‌ای موجود و زمین فعلی به طور مستقیم مورد حفاظت قرار می‌گیرد. البته خاک ریخته شده با زمان شسته می‌شود و شیبهای تند شسته شده در بلندمدت به وجود می‌آید. در صورت تغذیه در ناحیه B رسوبات در نواحی مورد نیاز و اماکنی که در آن رسوب برداشته می‌شود انتقال می‌یابد.

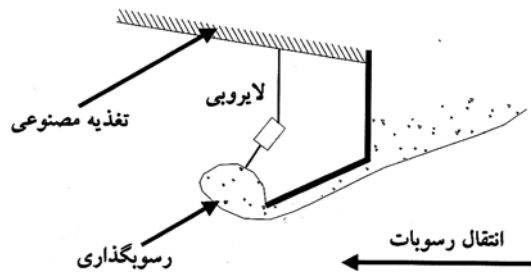
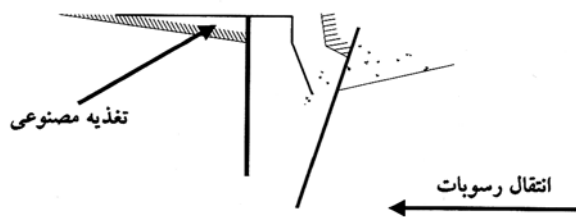
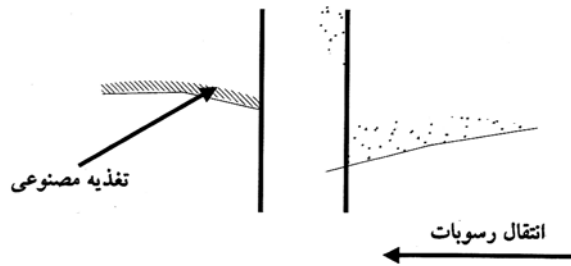
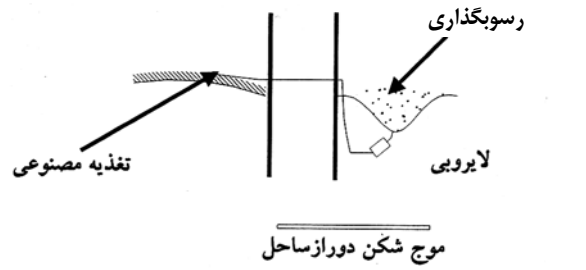
گزینه B در مهندسی سواحل بسیار مورد نظر است. در صورت ریختن مصالح در ناحیه C رسوبات به صورت یک تپه ماسه‌ای به موازات خط ساحلی در زیر آب جمع می‌گردند. در این حالت ارتفاع موج پس از تپه حداقل به طور موقت کاهش می‌یابد و همچنین انتقال رسوب تحت تأثیر قرار می‌گیرد. رسوب‌ریزی در نواحی A و C نسبت به B از نظر اجرایی راحت‌تر می‌باشد.



شکل ۱۲-۶ قسمتهای مختلف ممکن برای تغذیه مصنوعی

۱۲-۳-۱-۲ انتقال رسوب از کنار تأسیسات ساحلی

انتقال رسوب به طور معمول در کنار تأسیسات ساحلی و بندری یا سازه‌های حفاظت سواحل صورت می‌پذیرد. در این حالت رسوب تجمع یافته ناشی از ساخت یک سازه به وسیله یک سیستم لایروبی و انتقال رسوب به نواحی فرسایش‌پذیر در قسمتهای دیگر تأسیسات منتقل می‌گردد. انتقال رسوب معمولاً به وسیله یک سیستم پیوسته تشکیل شده از لوله و پمپ در طول عمر سازه انجام می‌گیرد. در برخی حالات تهیه سازه‌های اضافی برای تأمین رسوب بیشتر به صورت طبیعی نیز از اطراف سازه‌های حفاظتی یا تأسیسات بندری اتفاق می‌افتد. بیشتر کردن انتقال طبیعی رسوب به صورت کنترل شده نسبت به استفاده از دستگاههای لایروب نه تنها از هزینه‌ها می‌کاهد بلکه در مواقع طوفانی یا در هنگامی که لایروبها از کار افتاده‌اند یا قادر به فعالیت نیستند، امکان ادامه انتقال را فراهم می‌سازند. در شکل ۱۲-۷ چند نمونه از طرق مختلف انتقال رسوب دیده می‌شود.



شکل ۱۲-۷ انتقال رسوب به روشهای مختلف

◀ ۱۲-۳-۲ سازه‌های حفاظت سواحل

سازه‌های حفاظت سواحل برای اهداف مختلفی مورد طرح و اجرا قرار می‌گیرند. این اهداف را می‌توان در موارد ذیل خلاصه کرد:

- پایدارسازی یا توسعه یک ناحیه از ساحل - حفظ خط ساحلی در پشت یک سازه از خطر فرسایش، حملات امواج و بالا آمدن آب.

- حفاظت و پایدارسازی ورودیهای تأسیسات بندری.

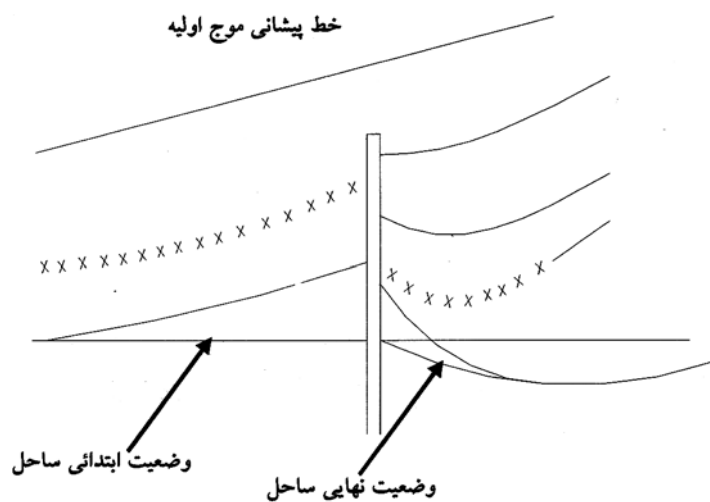
- ایجاد یک ناحیه آرام برای شناورها جهت لنگراندازی.

مجموعه این سازه‌ها به سه شکل کلی، طرح و اجرا می‌گردد. گروه اول سازه‌هایی هستند که عمود بر خط ساحل و چسبیده به آن ساخته می‌شوند. آب‌شکنها و تیغه‌های ساحلی از این دسته‌اند. گروه دوم سازه‌های موازی خط ساحل روی ساحل می‌باشند. دیوارهای ساحلی دیوارهای حایل ساحلی، پوششهای حفاظتی و سدهای ساحلی، جزو این گروه از سازه‌ها هستند. گروه سوم سازه‌های موازی خط ساحل و دور از آن می‌باشند. در این دسته می‌توان از موج‌شکنهای دور از ساحل نام برد.

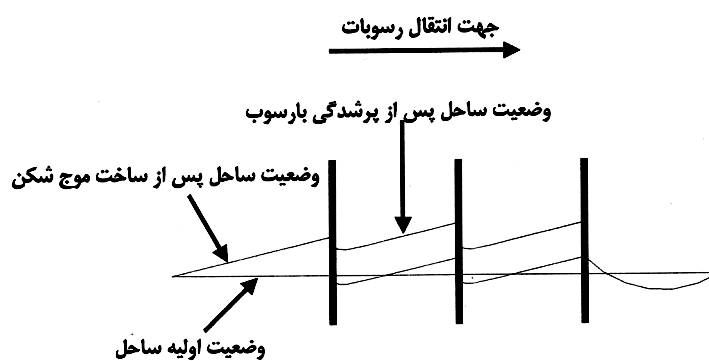
۱۲-۳-۱ آب‌شکنها و تیغه‌های ساحلی

آب‌شکنها و تیغه‌های ساحلی برای تثبیت رسوبی که توسط جریانهای در امتداد ساحل انتقال داده می‌شود یا رسوباتی که به طور مصنوعی تغذیه شده‌اند به کار می‌روند. تیغه‌های ساحلی از آب‌شکنها بزرگ‌تر و حجیم‌تر بوده و در طول بیشتری به سمت دریا امتداد پیدا می‌کنند. تیغه‌های ساحلی اغلب برای ایجاد کانالهای کشتیرانی ایمن در ساحل ساخته می‌شود. در شکل ۱۲-۸ وضعیت ساحل در تقابل با یک سازه عمود بر ساحل دیده می‌شود. در این شکل تغییر امتداد سینه امواج، پیش و پس از رسیدن به سازه هم مشخص است. در ناحیه A با توجه به طول ناحیه شکست قسمتی یا بیشتر رسوبات معلق که در امتداد ساحل جابه‌جا می‌شوند تثبیت می‌گردد. در این حالت علاوه بر A قسمتی از رسوبات در منطقه B نشست می‌کند. در پایین دست سازه در نقطه C، رسوب برای آنکه پتانسیل انتقال رسوب جریانهای در امتداد ساحل ارضا گردد، برداشته می‌شود. در بلندمدت هم در پایین دست و هم در بالادست خط ساحلی جدید به موازات امواج غالب منطقه تشکیل می‌گردد. ممکن است در بلندمدت قسمتی از رسوبات ناحیه A

به علت کوتاه بودن سازه، یا نفوذپذیر بودن آن از سازه عبور کند. پس از آنکه بالادست سازه از رسوب پر شد، باقیمانده رسوب از سازه عبور کرده، یا در پایین دست آن می‌نشیند و یا در امتداد ساحل به حرکت خود ادامه می‌دهد. در شکل ۹-۱۲ وضعیت یک ساحل پس از ساخته شدن مجموعه‌ای از سازه‌های عمود بر آن دیده می‌شود.



شکل ۸-۱۲ وضعیت ساحل پس از ساخته شدن یک سازه عمود بر آن



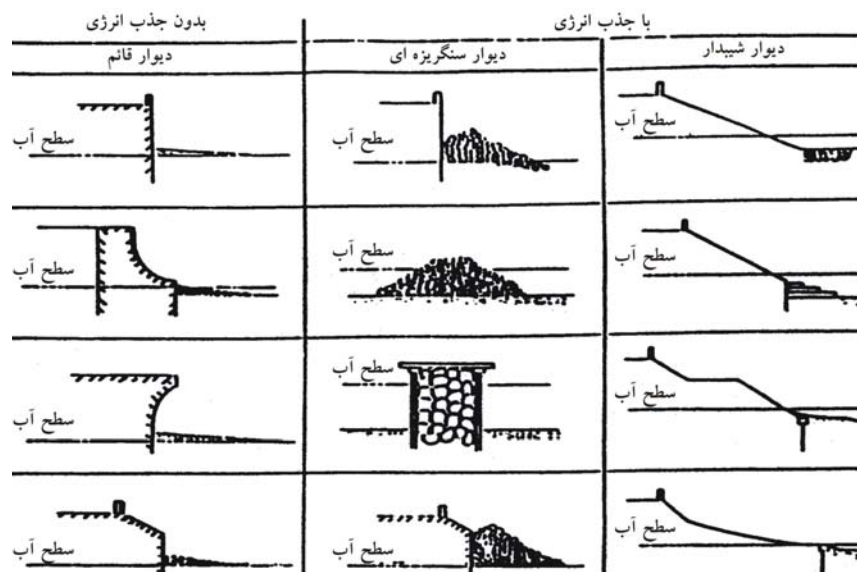
شکل ۹-۱۲ وضعیت ساحل پس از ساخت مجموعه‌ای از سازه‌های عمود بر آن

۱۲-۳-۲-۲ سازه‌های روی خط ساحلی

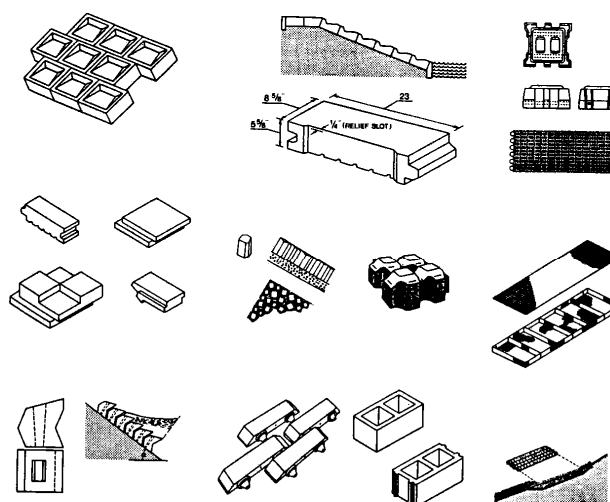
پوششهای حفاظتی، دیوارهای آب‌بند، دیوارهای ساحلی و شیبهای مصنوعی، سازه‌های حجیمی هستند که معمولاً از سنگ، بتن یا به صورت ترکیبی برای حفظ سرزمینهای پشت خود طراحی و ساخته می‌شوند. این سازه‌ها در فرایند فرسایش یا رسوب اثری ندارند و تنها جنبه حفاظتی دارند. در شکل ۱۲-۹ مجموعه‌ای از این سازه‌ها دیده می‌شوند. انتخاب این سازه‌ها نظر به تغییر زیادی که در وضعیت طبیعی سواحل به وجود می‌آورند، باید با دقت فراوان صورت پذیرد. با این وجود در بسیاری از شرایط که زمینهای پشت خط ساحل در معرض هجوم آب قرار دارند، انتخاب آنها غیر قابل اجتناب است.

این سازه‌ها در صورتی که در سواحل فرسایشی ساخته شوند، در مقابل خطر فرسایش بستر، بسیار آسیب‌پذیر هستند و باید تدابیر لازم برای حفاظت آنها اتخاذ گردد. پوششهای حفاظتی شکل ۱۲-۱۱ عموماً در محلهایی استفاده می‌شوند که شدت عوامل محیطی مانند باد، موج و جریان از حالات نیاز به دیوارهای ساحلی کمتر است. این پوششها ممکن است برای حفاظت شیبهای سایر سازه‌ها استفاده شوند، یا به طور مستقیم روی ساحل قرار گیرند. انواع مختلفی از پوششهای حفاظتی، طراحی و ساخته شده است که می‌توان آنها را شامل موارد زیر دانست:

- سنگ‌چینها که از چینش سنگهای مختلف روی شیب تشکیل می‌شوند.
 - قطعات آرمور بتنی که در شکلهای مختلف ساخته می‌شوند و روی سازه‌های مختلف به کار می‌روند (شکل ۱۲-۱۱).
 - گابیونها (برای ساخت آب‌شکنها و پوشش سواحل در نقاط آرام به کار می‌روند).
 - کیسه‌های پر شده از سیمان، بتن، ماسه و ... که ممکن است از جنسهای مختلف مصنوعی مانند ژئوسینتتیکها ساخته شده باشند.
 - موارد دیگر نظیر چمن، آسفالت، ژئوتکستیلها (پارچه گونه‌ها)
- دیوارهای آب‌بند نیز معمولاً در نقاطی که عمق آب زیاد مورد نظر می‌باشد ساخته می‌شوند. این سازه با پی خود به خوبی اتصال داده می‌شود و در واقع نقش دیوار حایل برای خاک پشت خود را پیدا می‌کند.



شکل ۱۰-۱۲ انواع دیوارهای ساحلی و شبیههای مصنوعی

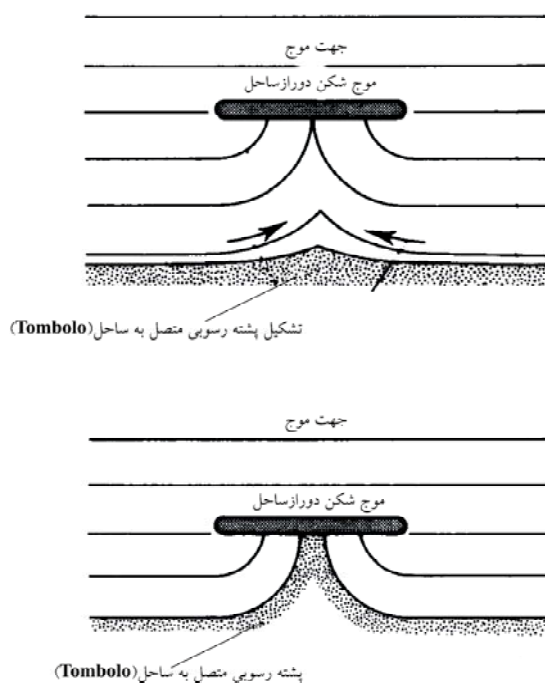


شکل ۱۱-۱۲ انواع مختلف پوششهای حفاظتی

۱۲-۳-۲-۳ موج‌شکنهای دور از ساحل

این سازه‌ها به موازات ساحل و با فاصله از آن ساخته می‌شوند. در شکل ۱۲-۱۲ نمونه‌ای از این سازه‌ها دیده می‌شود. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود الگوهای انکسار و تفرق در پشت این سازه تغییر می‌کند. خط ساحل نیز در پشت موج‌شکن تغییر می‌کند و رسوب‌گذاری و رسوب‌برداری در قسمت‌های مختلف به وقوع می‌پیوندد. کم شدن انرژی امواج در پشت سازه باعث می‌شود تا رسوبات در حال انتقال به وسیله جریانهای در امتداد ساحل در پشت سازه ته‌نشین گردند و یک جلو آمدگی در ساحل به وجود آورد. در بعضی حالات، این جلو آمدگی تا پشت موج‌شکن ادامه پیدا می‌کند (پشته ارتباطی). حجم رسوبی که در پشت سازه نشست می‌کند با طول سازه، فاصله آن از خشکی به نسبت عرض منطقه خیزآبی و این که آیا امکان عبور انرژی از درون یا روی سازه وجود دارد، بستگی پیدا می‌کند.

این سازه‌ها هم در طرحهایی که با تغذیه مصنوعی همراه هستند و هم بدون تغذیه مصنوعی، اجرا و استفاده می‌شوند. در طرح این سازه‌ها مانند آب‌شکنها ممکن است از مجموعه‌ای از سازه‌های در امتداد یکدیگر استفاده شود.

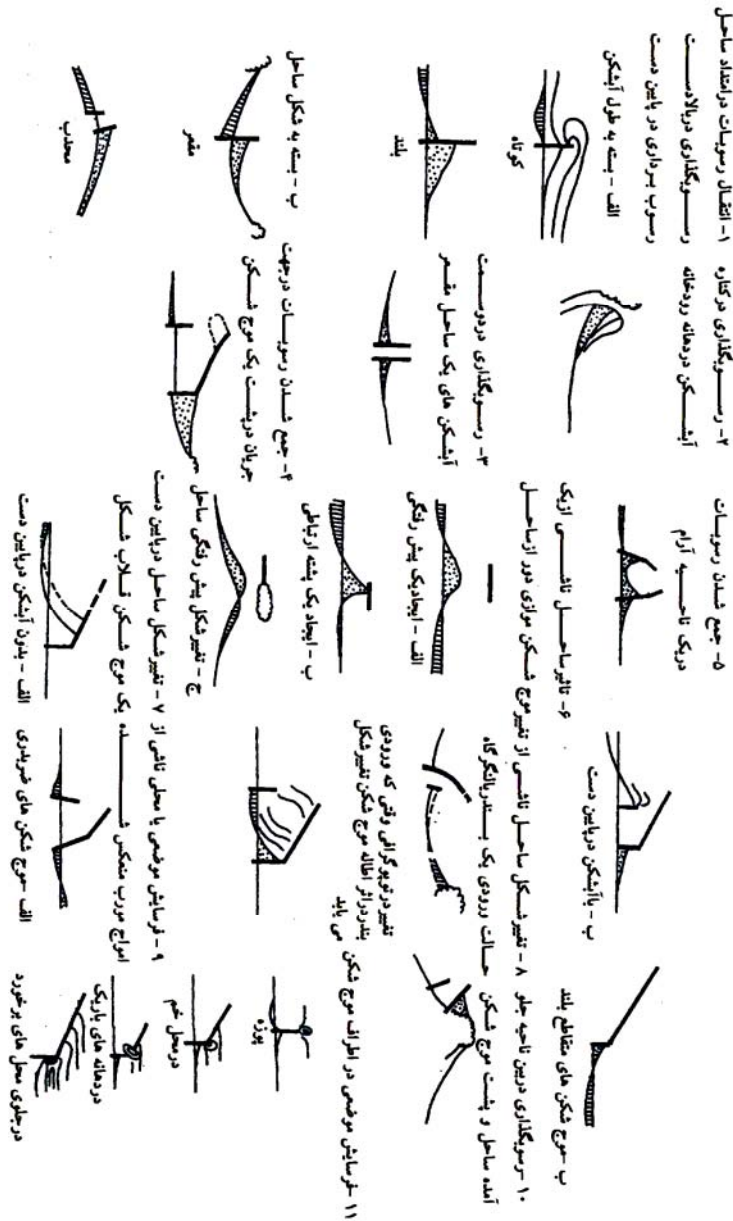


شکل ۱۲-۱۲ وضعیت ساحل در تقابل با یک سازه دور از ساحل

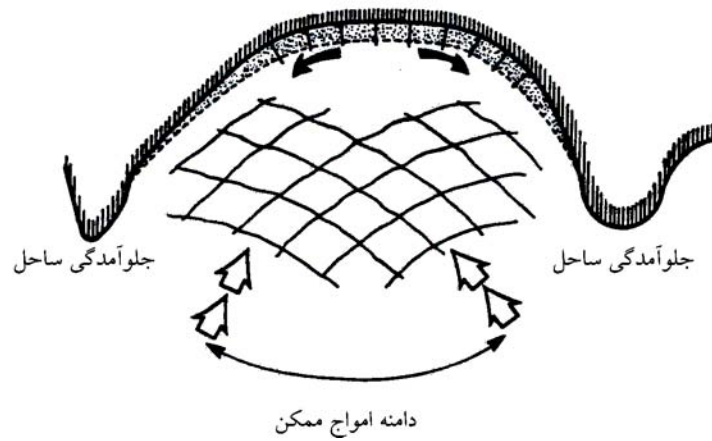
۱۲-۴ انتخاب محل و جانمایی سازه

انتخاب موقعیت سازه به طور مستقیم با شرایط محیطی و نوع سازه در ارتباط است. عدم بررسی دقیق محل سازه باعث به وجود آمدن شرایط غیر قابل جبران و ناخواسته می‌گردد. در شکل ۱۲-۱۳ تغییرات مختلفی که یک ساحل ممکن است از نحوه انتخاب و جانمایی سازه بپذیرد برای گونه‌های مختلف سازه‌های حفاظتی دیده می‌شود. انتخاب محل برای سازه‌های مختلف وضعیت‌های گوناگون به وجود می‌آورد. شکل‌های ۱۲-۱۴ و ۱۲-۱۵ وضعیت ساحل در حالات مختلف برای جانمایی مجموعه‌ای از آب‌شکنها را نشان می‌دهد. وضعیت خط ساحلی پیش از انتخاب سازه، طول ناحیه خیزآبی، شیب ساحل، جهت باد غالب، جنس رسوبات و ... از عواملی هستند که در انتخاب محل سازه حفاظتی نقش اساسی

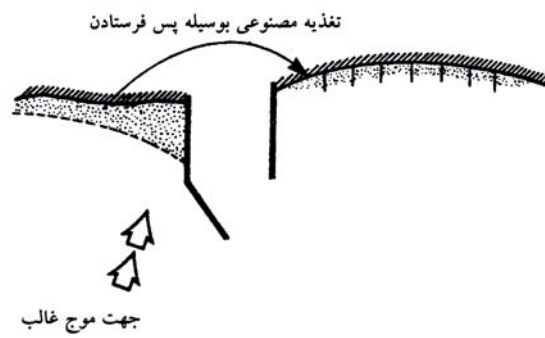
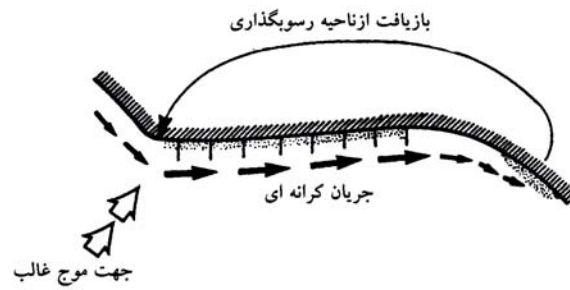
ایفا می‌کنند. امکان فراهم‌آوری منبع برای تغذیه مصنوعی هم، در جانمایی سازه حفاظتی نقش اساسی دارد.



شکل ۱۲-۱۳ تغییرات مختلف یک ساحل ناشی از سازه‌های ساحلی



شکل ۱۲-۱۴ اثر استفاده از یک سیستم آب‌شکن در خلیج



شکل ۱۲-۱۵ استفاده از آب‌شکن در کنار یک سیستم تغذیه

۱۳

آب شڪنھا

۱۳-۱- معرفی آبشکنها

۱-۱-۱۳-۱ تعریف

آبشکنها نوعی سازه حفاظت ساحل می‌باشند که برای به تله انداختن رسوبات موازی ساحل به منظور ایجاد ساحلی محافظت شده، یا کند کردن آهنگ فرسایش آن و یا جلوگیری از رسیدن رسوبات موازی ساحل به نقطه‌ای در پایین دست مانند یک بندر یا مدخل حوضچه‌ها طراحی می‌گردند. آبشکنها سازه‌هایی باریک و با طول و ارتفاع متفاوت هستند و معمولاً عمود بر خط ساحل ساخته می‌شوند. ارتفاع، طول و نفوذپذیری آبشکن از مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده اثر آن بر میزان انتقال مواد رسوبی موازی ساحل است. برای محافظت از بخش وسیعی از ساحل می‌توان از تعدادی آبشکن که در ارتباط با یکدیگر عمل می‌نمایند استفاده کرد. این مجموعه آبشکنها به سیستم آبشکن یا میدان آبشکن موسوم است.

۱۳-۱-۲ موارد کاربرد و عملکرد

علی‌رغم پیچیدگی و عدم شناخت کامل اندرکنش بین فرایندهای ساحلی و یک آبشکن یا سیستم چند آبشکن، اصول ذیل را می‌توان به عنوان معیارهایی برای کاربرد و عملکرد آبشکنها در نظر گرفت:

- آبشکنها تنها می‌توانند مانعی در برابر انتقال جریانات موازی ساحل ایجاد کرده و تأثیری بر انتقال جریانات عمود بر ساحل ندارند.

- تنظیم شکل سواحل در مجاورت آبشکنها به شدت و جهت انتقال جریانات موازی ساحل بستگی دارد، اشکال ۱-۱۳ و ۲-۱۳ عملکرد تک آبشکن یا سیستم چند آبشکن را بر روی خط ساحلی نمایش می‌دهد. ملاحظه می‌شود که آبشکنها باعث کاهش نرخ انتقال رسوبات موازی ساحل گردیده و به تبدیل خط ساحلی در امتداد عمود بر جهت امواج غالب منطقه کمک می‌کنند.

- ذخیره‌سازی رسوبات موازی ساحل در بالادست آبشکن باعث اصلاح مقطع ساحل خواهد شد که نتیجه آن ایجاد پایداری مجدد و رسیدن به شکل طبیعی جدید است. این تعادل جدید باعث تغییراتی در

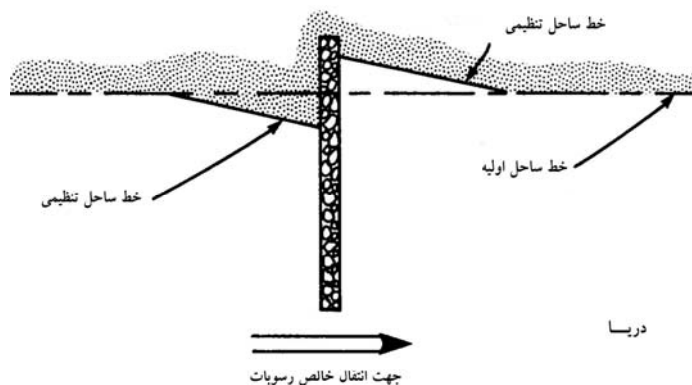
شیبها و دانه‌بندی مواد دانه‌ای رسوبی در طول مقطع عرضی ساحل خواهد شد (ساحل بالادست نسبت به حالت اولیه پرشیب‌تر و ساحل پایین‌دست نسبت به آن کم‌شیب‌تر خواهد شد).

- بعضی اوقات یک زوج آب‌شکن می‌تواند باعث برگشت جریان آب به طرف آبهای عمیق‌تر مشابه جریانات شکافنده و چرخشی گردد (شکل ۱۳-۳).

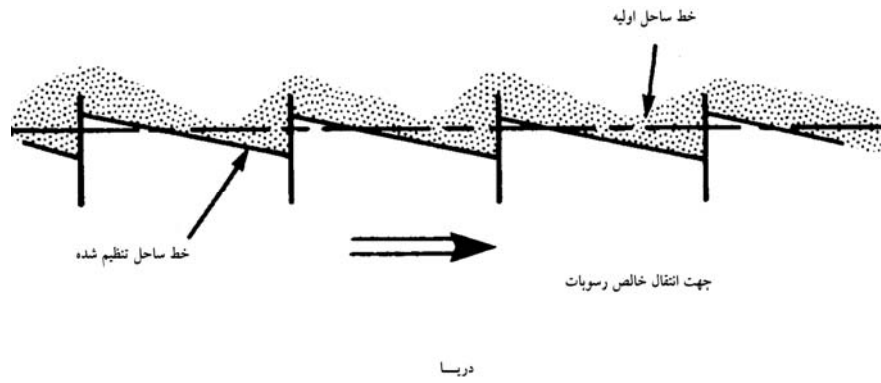
- درصد عبوری رسوبات موازی ساحل از یک آب‌شکن به ابعاد و نفوذپذیری آب‌شکن، تراز آب و مشخصات امواج بستگی دارد.

- رسوبات ساحلی جمع شده در بالادست از دست‌یابی ناحیه پایین‌دست به مواد رسوبی لازم جلوگیری می‌نماید لذا باعث به هم ریختگی تعادل ماسه و ایجاد مسایل تصاعدی فرسایش در ساحل پایین‌دست می‌گردد. در چنین مواقعی برای جبران آن می‌توان از روش تغذیه مصنوعی ساحل استفاده کرد.

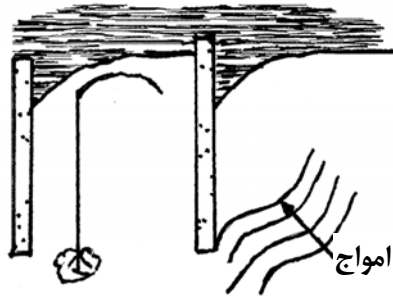
- از مهم‌ترین مزایای آب‌شکنها، عدم تغییر مشخصات منطقه شکست امواج می‌باشد، طوری که ارتفاع امواج در سواحل حفاظت شده با این روش تغییر محسوسی نخواهد.



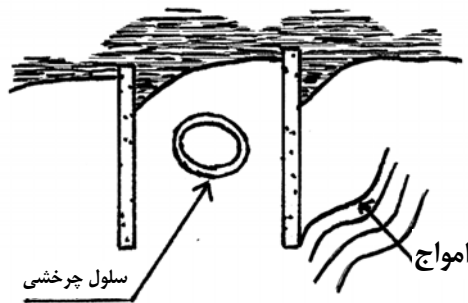
شکل ۱۳-۱ خط ساحلی در مجاورت یک آب‌شکن منفرد



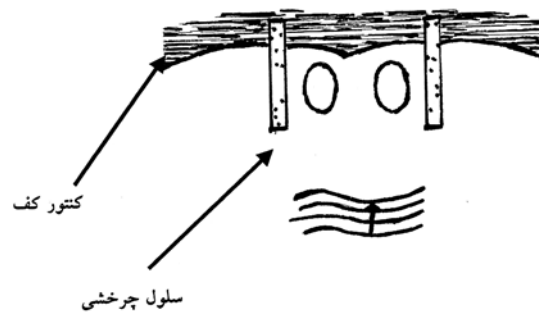
شکل ۱۳-۲ خط ساحلی در مجاورت دو یا چند آب‌شکن



الف- تشکیل جریان شکافنده ناشی از کانالیزه شدن جریان موازی به ساحل (کرانه‌ای)



ب- چرخش میان یک زوج آب‌شکن ناشی از تغییرات در آرایش جدید جریان رسوب کرانه‌ای



ج- سلول چرخشی میان یک زوج آبشکن ناشی از پخش شدن انرژی در مجاورت آبشکنها و تنظیم خط ساحلی

شکل ۱۳-۳ سه مکانیزم برای ایجاد جریان شکافنده بین آبشکنها DEAN (۱۹۷۸)

◀ ۱۳-۱-۳ محدودیتها

به دلیل وجود محدودیتهای خاص، باید بعد از ملاحظه و رعایت نکات دقیق زیر، آبشکن را به عنوان سازه حفاظت ساحل به کار برد.

- حصول اطمینان از کفایت تغذیه طبیعی ماسه برای دستیابی به عملکرد دلخواه آبشکنها. در مواقع ناکافی بودن تغذیه مواد رسوبی، ساحل پایین دست، تحت فرسایش قرار خواهد گرفت و برای کاهش آن نیاز به تغذیه مصنوعی ساحل خواهد بود.

- حصول اطمینان از کفایت طول تکیه‌گاه ساحلی آبشکن در مقابل تهاجم جناحی ناشی از فرسایش پایین دست و تخریب احتمالی آن (این مسئله بخصوص در شرایط مد در دریاهاى آزاد و یا پیش‌بینی افزایش رقوم سطح آب دریاچه‌ها از اهمیت خاصی برخوردار است).

- در شرایطی که عملکرد انتقال رسوبات به صورت رو به ساحل - دور از ساحل، در قیاس با انتقال کرانه‌ای عمده‌تر می‌باشد، آبشکنها چندان مؤثر نمی‌باشند و استفاده از روشهای دیگر حفاظت ساحل از جمله موج‌شکنهای دور از ساحل احتمالاً مناسب‌تر است.

- در سواحل فاقد استعداد رسوب‌گذاری در بالادست، نظیر سواحل تخته‌سنگی، آبشکنها کارایی

ندارند.

- آب‌شکن از تغییرات آنی سواحل در اثر امواج سهمگین جلوگیری نمی‌کند و معمولاً برای حفاظت از چنین سواحلی استفاده از دیوار ساحلی لغزش‌گیر لازم است.

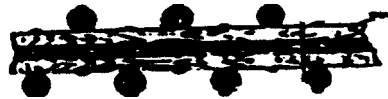
◀ ۱۳-۲ انواع آب‌شکنها

به طور کلی آب‌شکنها بر اساس نوع مصالح تشکیل دهنده آنها طبقه‌بندی می‌شوند. این سازه‌ها با مصالح مختلفی ساخته می‌شوند که رایج‌ترین آنها سنگ، بتن، چوب و فولاد می‌باشد. همچنین مصالح آسفالت و کیسه‌های نایلونی پر شده از ماسه و توریسنگ (گابیون) نیز در احداث آب‌شکنها به کار برده شده‌اند.

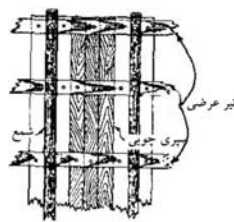
در ذیل به معرفی برخی از انواع متداول تر آب‌شکنها پرداخته می‌شود.

◀ ۱۳-۲-۱ آب‌شکنهای چوبی

نوع متداول آب‌شکنهای چوبی از یک سری شمع گرد و سپر چوبی مطابق شکل ۱۳-۴ تشکیل می‌گردد که با تیرهای عرضی به یکدیگر متصل می‌گردند. بسته به اهداف پروژه می‌توان این نوع آب‌شکن را به صورت نفوذناپذیر و یا با فاصله دادن بین سپرها به صورت نفوذپذیر طرح و اجرا نمود. به هر حال کلیه اجزای چوبی این آب‌شکن همچون سایر موارد مشابه در سازه‌های دریایی، باید با استفاده از مواد Creosote یا Coal-tar به طور ویژه عمل‌آوری شوند.



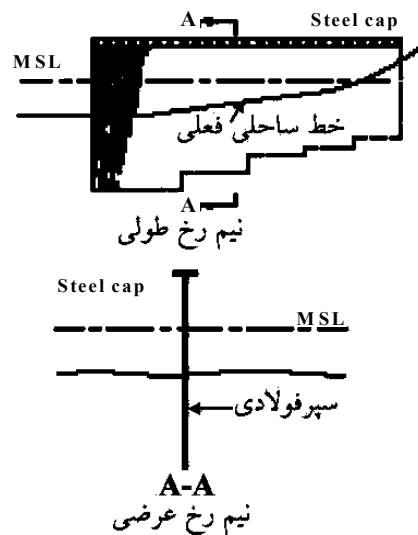
پلان



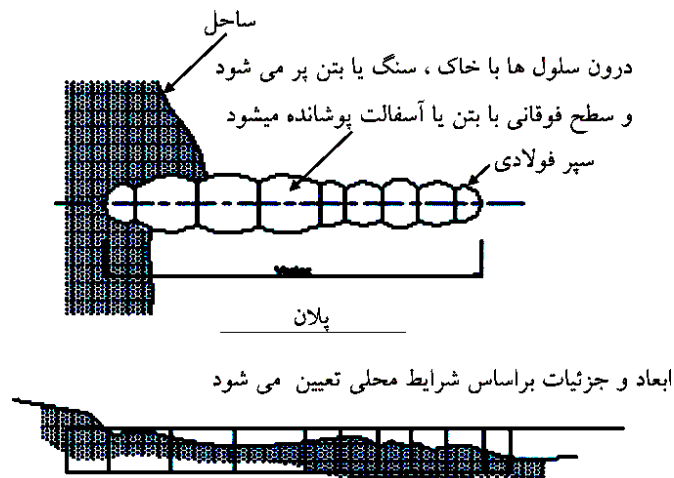
شکل ۱۳-۴ آب‌شکن سپر چوبی

۱۳-۲-۲ آب‌شکنهای فولادی

تاکنون انواع متفاوتی از آب‌شکن فولادی ساخته شده‌اند که بسته به میزان نیروی امواج و فشار فعال مصالح و همچنین شرایط ژئوتکنیکی بستر، نوع و شکل سپر فولادی با یکدیگر متفاوت هستند. شکل (۱۳-۵ و ۱۳-۶). به دلیل عدم امکان عبور ماسه از قفل و بست سپرهای فولادی، در مواقعی که نیازی به آب‌شکن نفوذپذیر باشد، لازم است سوراخهایی در سپرها یا فواصلی در بین آنها ایجاد گردد. کلیه اجزای فولادی آب‌شکن نیز همانند موارد مشابه استفاده در سازه‌های دریایی، نیازمند روشهای مقابله با خوردگی می‌باشند که از آن جمله می‌توان، استفاده از پوششهای اپوکسی و حفاظت کاتدیک را نام برد.



شکل ۱۳-۵ آب‌شکن سپر فولادی طره‌ای



نیم رخ طولی

شکل ۱۳-۶ آب‌شکن سپر فولادی سلولی

۱۳-۲-۳ آب‌شکنهای بتنی

مشابه آب‌شکنهای فولادی می‌توان با سپرهای بتن‌آرمه پیش‌ساخته و یا پیش‌تنیده که پس از کوبیدن با یک کلاهک بتن درجا به یکدیگر متصل می‌گردند، آب‌شکنهای نفوذناپذیری احداث نمود. در مورد این آب‌شکنها نیز باید روشهای مقابله با خوردگی آرماتور درون اجزای بتن‌آرمه کاملاً رعایت گردد. این روشها می‌تواند شامل افزایش پوشش بتنی آرماتور، استفاده از پوشش اپوکسی، افزایش نفوذناپذیری بتن با استفاده از نسبت آب به سیمان کم و کاربرد مواد افزودنی روان کننده و همچنین استفاده از سیمان سرباره یا تیپ ۲ علاوه بر سایر موارد طراحی مخلوط بتن باشد.

۱۳-۲-۴ آب‌شکنهای توده‌سنگی

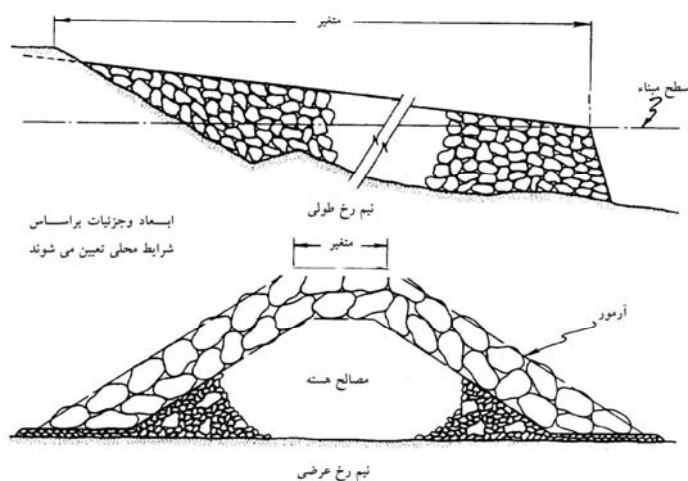
این آب‌شکنها با مغزه مصالح سنگی همراه با موارد ریزدانه‌تر ساخته می‌شوند، طوری که نفوذپذیری آنها را در مقابل عبور ماسه افزایش می‌دهد. مغزه آب‌شکنها به وسیله سنگهای بزرگتر محافظ در برابر حمله امواج مورد حفاظت قرار می‌گیرد. شکل ۱۳-۷ نشان دهنده این نوع آب‌شکنها می‌باشد. به منظور

ایجاد نفوذناپذیری کامل این نوع آب‌شکنها، می‌توان فضای خالی سنگها را با بتن یا آسفالت پر نمود که این عمل به افزایش پایداری در برابر حمله امواج نیز کمک می‌نماید.

به طور کلی، این آب‌شکنها به دلیل نفوذناپذیری نسبی و دارا بودن سطحی زبر و شیب‌دار، دارای ضریب انعکاس به مراتب پایین‌تری نسبت به سایر آب‌شکنها هستند و از این نظر مشکلات کمتری را به وجود می‌آورند.



Westhampton Beach, New York (1972)



شکل ۱۳-۷ آب‌شکن توده‌سنگی

◀ ۱۳-۲-۵ آب‌شکنهای آسفالتی

کاربری آب‌شکنهای ماسه آسفالتی با توجه به تجربیات موجود با محدودیتهای متعددی مواجه است. این مسئله عمدتاً ناشی از محدودیت کاربرد آسفالت در زیر سطح آب و گسیختگی سریع سازه‌های مقطع در سمت دریا، در قسمت تاج پروفیل ساحل، در اثر تغییرات طبیعی فصلی و خالی شدن تدریجی زیر پی آن می‌باشد. البته انجام اصلاحاتی در طرح مخلوط آسفالت، ابعاد سازه‌ای و روشهای اجرایی، احتمالاً می‌تواند عملکرد این آب‌شکنها را بهبود بخشد.

◀ ۱۳-۲-۶ انتخاب نوع

به دلیل شرایط متغیر هر سایت، روش ثابتی برای طرح و اجرای آب‌شکنها وجود ندارد. از مهم‌ترین عوامل طرح، شناخت دقیق مصالح زیر پی و عوامل ژئوتکنیکی به کمک گمانه‌زنی جهت دستیابی به شرایط زیر سطحی و میزان نفوذ شمعها می‌باشد. در مواقع عدم امکان نفوذ بالا، سازه‌های ثقلی از جمله آب‌شکنهای سنگی یا صندوقه‌ای و در غیر این صورت سازه‌های طره با مصالح بتنی، چوبی یا فولادی بایستی در نظر گرفته شوند.

امکان دسترسی به مصالح مورد نظر با صرف حداقل هزینه در انتخاب نوع آب‌شکن تأثیر عمده‌ای دارد. از طرفی عمر مفید مصالح و هزینه سالیانه نگهداری آن نیز از دیگر عوامل مهم در انتخاب روش است. به عنوان مثال ممکن است هزینه‌های اولیه آب‌شکنهای فولادی و چوبی کمتر از روشهای دیگر باشد ولی آب‌شکنهای بتنی و سنگی به نگهداری کمتری نیاز دارند.

مجموعه این عوامل، علاوه بر میزان سرمایه موجود برای مراحل اولیه ساخت، می‌بایست قبل از تصمیم‌گیری در مورد جزئیات طرح، مورد مطالعه قرار گیرند.

◀◀ ۱۳-۳ طراحی اولیه آب‌شکنها

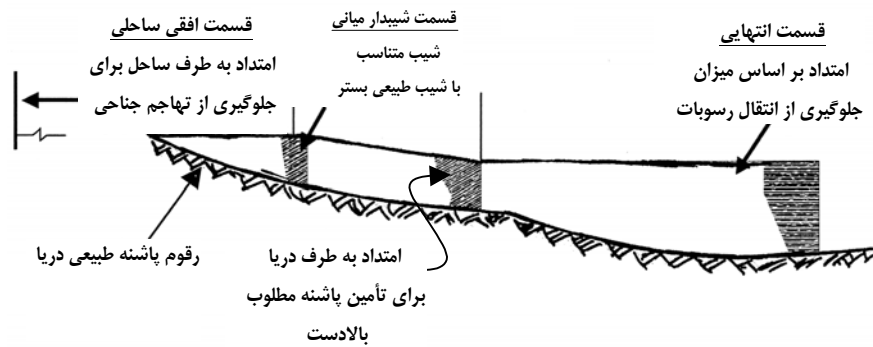
◀ ۱۳-۳-۱ طراحی کاربردی آب‌شکنها

۱۳-۳-۱-۱ مبانی طراحی

اولین قدم در طراحی کاربردی تک آب‌شکن یا سیستم چند آب‌شکن تعیین امتداد جدید خط ساحلی در مجاورت آنها می‌باشد. بهترین تخمین از این تغییر امتداد با مشاهده ساحل مجاور سازه‌های مشابه موجود در محل مورد نظر به دست می‌آید. در صورتی که چنین اطلاعاتی موجود نباشد، باید جهت امواج غالب منطقه را تعیین و سپس امتداد جدید خط ساحلی را عمود بر آن فرض نمود. در شکل ۱۳-۸ سه وضعیت محتمل برای تغییر خط ساحلی (ساحل بالادست، ساحل میانی و ساحل پایین‌دست) در مجاورت یک سیستم دو آب‌شکنی نمایش داده شده است که برای حالت تک آب‌شکن وضعیت میانی وجود نخواهد داشت. در دومین قدم طراحی، لازم است که با توجه به این امتداد جدید، پارامترهای هندسی آب‌شکنها انتخاب گردند. سپس با استفاده از روشهای متعدد موجود در مراجع [۵۷] و [۱۲۹] و یا مدل‌های ریاضی معتبر و با داشتن رژیم هیدرودینامیکی منطقه، دوره زمانی تحت مطالعه و میزان نفوذپذیری آب‌شکن با توجه به پروفیل طولی، فاصله، طول، امتداد و شکل آنها و سایر پارامترهای مهم آن طبق توضیحات ذیل، می‌توان تغییرات امتداد و میزان پیشروی یا پسروی خط ساحلی، احجام پشته رسوبی بالادست، فرسایش پایین‌دست، مجموعه فرسایش و رسوب‌گذاری اولیه در ساحل میانی سیستمهای چند آب‌شکن (که به تدریج و با گذشت زمان به عنوان تله مواد رسوبی عمل خواهد نمود)، پلان تغییرات و مقطع عرضی خط ساحلی در طرفین آب‌شکن و سایر عوامل را به دست آورد. اطلاعات به دست آمده فوق در طراحی ساختاری آب‌شکن و راندمان آن در حفاظت ساحل با توجه به حجم رسوب به تله افتاده در سیستم به کار گرفته خواهند شد.

باید توجه داشت که گاهی با توجه به نتایج حاصله از محاسبات شکل‌گیری مجدد خط ساحل و یا در زمان ساخت برای کاهش اثر فرسایش پایین‌دست انجام تغذیه مصنوعی این سواحل و یا استفاده از آب‌شکنهای نفوذپذیر و یا قابل تنظیم ضرورت می‌یابد.

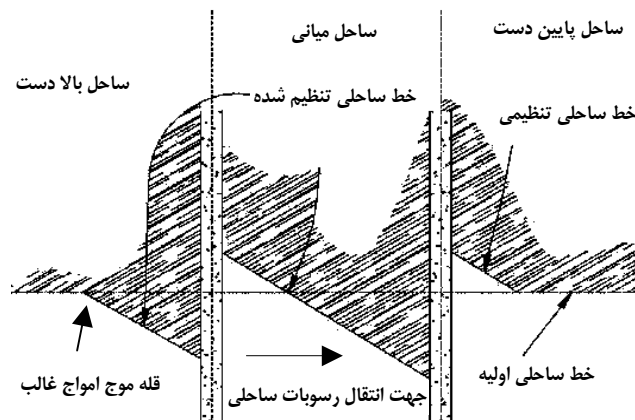
بدیهی است که برای انجام دقیق مطالعات فوق به اطلاعات کامل تغییرات سطح آب، ریز اطلاعات امواج متوسط سالیانه، شامل جهت، ارتفاع و پریود آنها و نرخ انتقال مواد رسوبی موازی ساحل، هیدروگرافی بستر، شناخت تغییرات دوره‌ای خط ساحلی، سازه‌های موجود در محدوده مورد مطالعه و پارامترهای ژئوتکنیکی نیاز است.



شکل ۸-۱۳ سه قسمت اصلی پروفیل طولی آب‌شکن و خلاصه مبانی طرح آنها

۱۳-۱-۲ پروفیل طولی آب‌شکن

معمولاً پروفیل طولی آب‌شکنها از سه قسمت تشکیل می‌گردد. این قسمتها مطابق شکل ۱۳-۹ عبارت از قسمت افقی ساحلی، قسمت شیب‌دار میانی و قسمت انتهایی هستند. بدیهی است که طول و رقوم ارتفاعی هر یک از این قسمتها تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر نفوذپذیری آب‌شکن دارد و با توجه به مقاصد طراحی انتخاب می‌گردند.



شکل ۱۳-۹ سه وضعیت محتمل برای تغییرات خط ساحلی در مجاورت آب‌شکنها

۱۳-۱-۲-۱-۳-۱۳ قسمت افقی ساحلی

این قسمت باید آنقدر به طرف ساحل امتداد یابد تا اطمینان کافی از مهار آب‌شکن به ساحل و جلوگیری از تهاجم جناحی ناشی از فرسایش پایین‌دست با توجه به امتداد جدید خط ساحلی حاصل گردد. ادامه این قسمت به طرف دریا بر اساس امتداد جدید خط ساحلی در بالادست تعیین می‌گردد. همچنین رقوم ارتفاعی آن بستگی به درجه مطلوب روگذری ماسه از آب‌شکن و نیاز احتمالی به احیای ساحل پایین‌دست دارد که معمولاً معادل رقوم ارتفاعی پاشنه طبیعی ساحل انتخاب می‌گردد این رقوم ارتفاعی برابر مجموع حداکثر مد به علاوه ارتفاع بالاروی، ناشی از امواج معمولی منطقه است. استفاده از آب‌شکن با ارتفاع بیشتر، به غیر از آب‌شکن انتهایی در سیستم چند آب‌شکن، ممکن است از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نباشد. اضافه نمودن ۳۰ سانتیمتر به رقوم فوق در آب‌شکن سنگی، به منظور جبران فاصله و خلل و فرج سنگها معمول می‌باشد.

ممکن است در بعضی از موارد تماماً، تمام یا بخشهایی از قسمت افقی ساحلی آب‌شکن پایین‌تر از رقوم فوق‌الذکر انتخاب گردد که به آن، آب‌شکنهای کوتاه گفته می‌شود و بدین ترتیب امکان عبور ماسه در شرایط مد فراهم شده و ضمناً ضریب انعکاس امواج نیز کم می‌گردد.

۱۳-۱-۳-۲ قسمت انتهایی

این قسمت در انتهای آبشکن به سمت دریا امتداد می‌یابد و معمولاً به طور افقی و با ارتفاع حداقل ساخته می‌شود. رقوم ارتفاعی این قسمت با توجه به مسایل اقتصادی، امکانات اجرایی و ایمنی عمومی انتخاب می‌گردد که به عنوان مثال می‌تواند معادل MLW یا MLLW باشد.

انتخاب مقدار امتداد طولی انتهای آبشکن به طرف دریا و در نتیجه عمق آب‌پای آن به دو عامل میزان انتقال کرانه‌ای رسوبات و درصد عبور ماسه از آبشکن مورد نظر در طراحی بستگی تام دارد، که این دو عامل نیز خود تابعی از رقوم آب و مشخصات امواج منطقه و نیز طول و رقوم قسمتهای مختلف آبشکن هستند. لذا بسته به شرایط طرح، عبور ماسه به صورت مجموعه‌ای از روگذری و گذر انتهایی اتفاق می‌افتد. به عنوان مثال با افزایش تورم رقوم سطح آب دریا در اثر مد یا طوفان در شرایط مشابه، میزان روگذری افزایش می‌یابد. حال آنکه با کاهش رقوم سطح آب، منطقه شکست موج به طرف دریا انتقال داده شده و باعث می‌شود به میزان گذر انتهایی افزوده گردد.

ترکیب کلیه عوامل باعث پیچیدگی پیش‌بینی درصد عبور ماسه از آبشکن به صورت تفکیکی می‌شود ولی با تجربه و قضاوت مهندسی می‌توان درصد کلی آن را تخمین زد. به عنوان مثال در منطقه‌ای با عمق شکست متوسط ۱/۸ متر می‌توان برای شرایط زیر درصد، مواد رسوبی عبوری را انتخاب نمود و یا در مناطق با اعماق شکست متوسط متفاوت با آن درصد مورد نظر را هماهنگ نمود.

- ۱- برای آبشکنهای مرتفع که تا عمق ۳ متر یا بیشتر نسبت به MLW در دریا ادامه یافته‌اند، درصد مواد عبوری (٪۰).
- ۲- برای آبشکنهای مرتفع که تا عمق ۱/۲ متر نسبت به MLW در دریا ادامه یافته‌اند، درصد مواد عبوری (٪۲۵).
- ۳- برای آبشکنهای مرتفع که از عمق ۰ تا ۱/۲ متر نسبت به MLW در دریا ادامه یافته‌اند، درصد مواد عبوری (٪۵۰).
- ۴- برای آبشکنهای کوتاه که تا عمق کمتر از ۳ متر نسبت به MLW در دریا ادامه یافته‌اند، درصد مواد عبوری (٪۵۰).

بایستی توجه شود که در سواحل قله‌سنگی به دلیل وجود شیبهای تندتر پروفیل ساحلی از آب‌شکنهای با طول به مراتب کوتاهتری نسبت به سواحل ماسه‌ای استفاده می‌شود.

۱۳-۳-۱-۳ فاصله و طول آب‌شکنها

در طراحی سیستم چند آب‌شکن، تخمین امتداد جدید خط ساحلی در میان دو آب‌شکن بستگی به فاصله آنها از یکدیگر و در حقیقت نسبت "فاصله به طول" آنها دارد. در غیاب نتایج حاصل از مدل‌های ریاضی یا فیزیکی می‌توان این نسبت را رقمی بین ۱ تا ۴ انتخاب نمود. (لازم به توضیح است که طول آب‌شکن از خط ساحلی در رقوم فوقانی پاشنه طبیعی ساحل تا انتهای قسمت درون دریا محاسبه می‌گردد). مرجع [۵۷] برای این نسبت رقم بین ۲ تا ۳ را توصیه نموده است. معمولاً در سواحل قله‌سنگی و یا در مواقعی که زاویه برخورد موج با امتداد آب‌شکن زیاد است (امواج مورب) از ارقام پایین‌تر نسبت "فاصله به طول" در قیاس با سواحل ماسه‌ای و یا زاویه برخورد موج کمتر (نزدیک به قائم) استفاده می‌گردد.

۱۳-۳-۱-۴ محدوده انتقالی در سیستم چند آب‌شکن

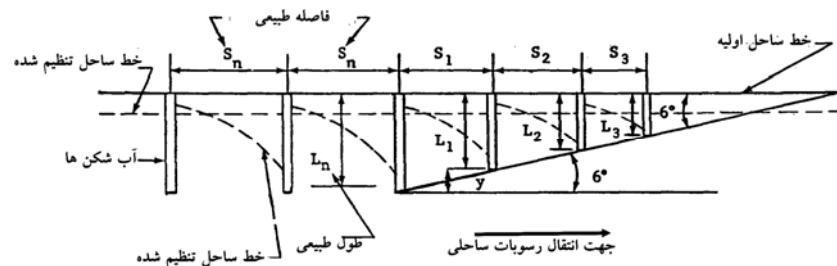
به منظور اجتناب از تغییرات ناگهانی در امتداد جدید خط ساحلی در منطقه تحت فرسایش پایین‌دست، از آب‌شکنهای انتقالی (که طولشان به تدریج کاهش می‌یابد) استفاده می‌شود. این محدوده انتقالی در سواحل دارای رژیم انتقال رسوب کرانه‌ای معکوس و یا در سواحل تحت حفاظت بسیار طویل در هر دو طرف محدوده سیستم چند آب‌شکن طرح و اجرا می‌گردد.

معمولاً توصیه می‌شود که سه یا چهار آب‌شکن انتهایی مطابق شکل ۱۳-۱۰ تحت زاویه ۶ درجه به تدریج کوتاه شوند و برای حفظ نسبت "فاصله به طول" ثابت (R_0) در سیستم لازم است که فاصله این آب‌شکنها نیز به تدریج کاسته شود. حال اگر فاصله و طول نرمال آب‌شکنها در سیستم S_n و l_n و فاصله و طول آب‌شکنها به ترتیب با S_1 و l_1 و S_2 و l_2 و ... نمایش داده شوند، نسبت کاهش فاصله و طول هر آب‌شکن کوتاه شده (RL, RS) نسبت به طول آب‌شکن بزرگتر مجاورش از روابط زیر قابل محاسبه خواهند بود:

$$R_s = \frac{R_0}{1 + \frac{R_0}{2} \tan 6^\circ} \quad (42)$$

$$R_1 = \frac{1 - \frac{R_0}{2} \tan 6^\circ}{1 + \frac{R_0}{2} \tan 6^\circ} \quad (43)$$

ضمناً پیشنهاد می‌شود که عمق پای آخرین آب شکن کوتاه شده معادل تراز MLLW یا کمتر از آن باشد.



شکل ۱۰-۱۳ کوتاه شدن تدریجی طول در آب شکنهای انتهایی

۱۳-۱-۳-۵ امتداد و شکل آب شکنها

طرحهای متعددی برای امتداد و شکل آب شکنها مطرح شده‌اند که هر یک دارای مزایا و معایبی هستند و از میان آنها آب شکنهای مستقیم و عمود بر خط ساحل کم‌هزینه‌ترین و متداول‌ترین می‌باشند. برای محدودسازی پس‌روی پایین‌دست آب شکن و یا کاهش اثرات جریانات شکافی طرحهای اصلاحاتی متعددی از جمله آب شکنهای T و L شکل و دم ماهی مطرح شده‌اند که این اصلاحات معمولاً مقاصد طراحی فوق‌الذکر را تأمین نموده و محدوده حداکثر پس‌روی پایین‌دست را به راحتی از مجاورت آب شکن دور می‌نمایند. ولی در انتخاب این طرحهای باید نکات ذیل و در نتیجه محدودیت منافع حاصله مد نظر باشند. نکته قابل توجه در این آب شکنها این است که در اثر حمله امواج در پای سازه قسمتهای انتهایی آنها آب‌شستگی قابل ملاحظه‌ای به وجود می‌آید که باعث تأخیر در برگشت به شرایط پروفیل طبیعی پس از فروکش طوفان می‌شود. به طور کلی آب شکنهای نامبرده و انواع آب شکنهای منحنی شکل، قلابی شکل و زاویه‌دار که با همان مقاصد مطرح شده‌اند، علاوه بر مشکل بالا دارای هزینه‌های ساخت و

نگهداری بیشتری نسبت به نوع مستقیم و عمود بر ساحل هستند که استفاده از آنها مستلزم مطالعات اقتصادی دقیق‌تری خواهد بود.

در مواقعی که امتداد جدید خط ساحلی در اثر ایجاد سیستم چند آب‌شکن در زمان ساخت تفاوت عمده‌ای با امتداد اولیه دارد، بهتر است امتداد آب‌شکنها عمود بر امتداد جدید خط ساحلی طراحی شود تا بدین ترتیب از حمله امواج زاویه‌دار در زمان ایجاد ساحل پایدار بعدی اجتناب شود.

تحقیقات نشان داده است که در سواحل دارای جهت امواج متغیر، استفاده از امتداد عمود بر ساحل برای آب‌شکن ارجح می‌باشد ولی در سواحل دارای جهت موج نسبتاً ثابت و مورب با زاویه قله موج نسبت خط ساحل بیشتر از ۳۰ درجه انحراف امتداد آب‌شکن به طرف ساحل پایین‌دست (حداکثر ۱۱۰ درجه نسبت به ساحل) می‌تواند مفید باشد.

۱۳-۳-۱-۶ آب‌شکن پایانه

در انتهای سیستمهای چند آب‌شکن که محافظت از ورودی یک بندرگاه یا سواحل احیا شده را به عهده دارند از آب‌شکن پایانه استفاده می‌شود. لذا لازم است که این آب‌شکن به منظور حفظ ساحل احیا شده و جلوگیری از عبور مواد ماسه‌ای از آن محدوده، به صورت نفوذناپذیر طرح و اجرا شود. بدیهی است که عبور ماسه از این آب‌شکن می‌تواند عملکرد و راندمان احیای ساحل را کاهش دهد. نفوذناپذیری در آب‌شکن پایانه به وسیله طول زیاد، رقوم ارتفاعی بالا و استفاده از مغزه غیر قابل نفوذ با مصالح ریزدانه و در بعضی موارد با ایجاد دیواره سپری جدا کننده درون مغزه تأمین می‌گردد و به این ترتیب از عبور ماسه به طرق گذر انتهایی، روگذری و همچنین از درون آب‌شکن جلوگیری می‌گردد.

در تعیین طول آب‌شکن پایانه به عنوان یک قاعده کلی می‌توان از این اصل استفاده نمود که انتقال مواد رسوبی در محدوده خط ساحلی تا عمق حدود ۱/۶ برابر عمق شکست امواج مشخصه منطقه صورت می‌گیرد.

◀ ۱۳-۳-۲ طراحی ساختاری آب‌شکنها

۱۳-۳-۲-۱ بارگذاری

۱۳-۳-۲-۱-۱ نیروهای امواج

از آنجا که آب‌شکنها امتدادی نزدیک به عمود بر خط ساحلی دارند، معمولاً قله امواج منطقه با زاویه‌ای حدود ۹۰ درجه نسبت به محور امتداد آب‌شکن به آن برخورد می‌نماید. آب‌شکن باید برای هر جهت محتمل برخورد موج به آن و اثرات انعکاس موج طراحی گردد. به طور کلی با توجه به مشخصات موج طرح و شرایط شیب بستر و عمق آب طراحی، امواج می‌توانند به صورت یکی از سه حالت شکسته، در حال شکست و یا شکسته به سازه آب‌شکن برخورد نمایند که برای محاسبه نیروی این حالات موج می‌توان به مرجع [۵۷] مراجعه نمود. بایستی توجه شود که حداکثر نیروی جانبی امواج تنها در قسمتی از طول سازه (محل قرارگیری قله موج) به طور لحظه‌ای اتفاق می‌افتد. لذا در سازه‌های سپری شکل استفاده از تیرهای عرضی در توزیع نیروها در جهت طولی می‌تواند بسیار مؤثر باشد. در طراحی ساختاری آب‌شکنها تعیین ارتفاع مشخصه موج در اعماق طراحی مورد نظر با دوره بازگشت ۲۰ تا ۵۰ سال با توجه به ملاحظات اقتصادی و اجتماعی ضرورت دارد. همچنین بسته به انعطاف‌پذیری سازه آب‌شکن، ارتفاع موج طرح (H) انتخاب می‌گردد. بایستی توجه شود که H انتخابی حداکثر برابر H_b (ارتفاع موج شکننده در عمق طراحی) می‌باشد.

محدوده انتخاب و مقدار ارتفاع موج مطابق جدول ۱-۱۳ توصیه می‌شود [۵۷]:

جدول ۱-۱۳ محدوده انتخاب و مقدار ارتفاع موج

سازه	مثال	محدوده انتخاب	مقدار توصیه شده
صلب	سپری طره	H_i	H_i
نیمه صلب	سپر سلولی	$H_{10} \sim H_i$	H_{10}
انعطاف‌پذیر	توده سنگی	$H_5 \sim H_s$	H_{10}

در جدول فوق $H_1=1.67H_s$ و $H_5=1.37H_s, H_{10}=1.27H_s$ می‌باشد.

۱۳-۳-۲-۱ نیروهای جریانات

جریانات ساحلی می‌توانند نیروهایی در آب‌شکنهای سپری شکل و توده‌سنگی به وجود آورند که معمولاً در مقایسه با نیروهای امواج به مراتب کوچکتر هستند. نیروهای حاصل از این جریانات بخصوص در سازه‌های سپری شکل می‌توانند در جهت موازی ساحل در اثر جریانات انتقال رسوب و یا در جهت عمود بر ساحل در اثر جریانات شکافنده بر روی شمعهای نگه‌دارنده جانبی تأثیرگذار باشند.

۱۳-۳-۲-۳ نیروهای جانبی خاک

علاوه بر نیروهای امواج، نیروهای ناشی از اختلاف رقوم ماسه در طرفین آب‌شکنهای سپری شکل در اثر رسوب‌گذاری در بالادست و فرسایش در پایین دست از اهمیت خاصی برخوردار است. مجموعه این دو نیرو می‌تواند بحرانی‌ترین تنشهای خمشی را در آب‌شکنهای طره به وجود آورد. نیروهای جانبی خاک به صورت مجموعه‌ای از نیروهای فعال و مقاوم به ترتیب در سمت بالادست و پایین دست سازه عمل می‌نمایند.

۱۳-۳-۲-۲ طرح مقطع

۱۳-۳-۲-۱ آب‌شکنهای سپری شکل طره

این آب‌شکنها برای لنگر خمشی ناشی از مجموعه بارگذاری نیروهای امواج، جریانات و فشار فعال خاک و با توجه به میزان نفوذ آنها در بستر و تأمین نیروهای مقاوم خاک طراحی می‌گردند. به دلیل وجود نیروهای سیکلی امواج و تغییر جهت دادن‌های متوالی آن اثرات خستگی می‌تواند قابل ملاحظه باشد. از دیگر عوامل مهم در طراحی این آب‌شکنها، رعایت اصل مقابله با خوردگی است که در بخشهای قبلی آیین‌نامه بدان پرداخته شده است.

برای مقابله با آب‌شستگی یا افزایش پایداری جانبی، گاهی استفاده از پاشنه حفاظتی سنگی ضرورت می‌یابد. طراحی این پاشنه مشابه پاشنه سنگی موج‌شکنهای قائم می‌باشد.

این سازه‌ها از لحاظ ژئوتکنیکی باید ضریب اطمینان لازم را در برابر تعادل استاتیکی نیروهای فعال و غیر فعال و همچنین پایداری کلی لغزشی تأمین نمایند.

۱۳-۲-۲-۳-۲ آبشکنهای سلولی

اگر چه بارگذاری خارجی این آبشکنها نیز مشابه آبشکنهای سپری شکل طره می‌باشد، اما نوع مقاومت آنها در برابر این نیروها به صورت مجموعه‌ای از نیروهای غیر فعال خاک در قسمت فرو رفته در بستر و اصطکاک ناشی از وزن خاکریز درونی آنها است. در حقیقت، طراحی سازه‌ای مقطع آنها مشابه موجشکنهای صندوقه‌ای می‌باشد و معمولاً حالت بحرانی طراحی در اثر فشار فعال خاکریز درونی به علاوه اثرات مکش امواج به وجود می‌آید. به هر حال از لحاظ ژئوتکنیکی باید این سازه‌ها در برابر واژگونی، لغزش صفحه‌ای، ظرفیت باربری خاک و پایداری کلی لغزش کنترل گردند.

۱۳-۲-۳-۳-۲ آبشکنهای توده‌سنگی

این آبشکنها مشابه موجشکنهای توده‌سنگی (بخش هشتم) در برابر حمله امواج، طراحی می‌گردند. بایستی توجه شود که در آبشکنهای توده‌سنگی معمولاً اجازه روگذری امواج داده می‌شود، لذا رعایت کامل اصول طرح این‌گونه سازه‌ها مطابق بخش هشتم الزامی می‌باشد.

۱۳-۴ اجرای آبشکنها

بسته به نوع آبشکن مورد نظر ممکن است برای اجرای این‌گونه سازه‌ها نیاز به روشها و ماشین‌آلات خاصی باشد. به عنوان مثال، آبشکنهای توده‌سنگی همانند موجشکنهای مشابه به وسیله ماشین‌آلات حمل، تخلیه، جابه‌جایی و تنظیم شیب مصالح سنگی احداث می‌گردند و آبشکنهای سپری شکل همانند دیوارهای ساحلی و لغزش‌گیر، اسکله‌ها و تیغه‌های با مقطع سپری، نیازمند ماشین‌آلات کوبیدن، تنظیم و نگهداری سپرها در آب می‌باشند که توضیحات بیشتر در مورد این ماشین‌آلات و روشهای اجرایی مربوطه در بخشهای دیگر آیین‌نامه آورده شده است.

در اجرای سیستم آبشکن باید دقت داشت تا زمانبندی اجرا به گونه‌ای در نظر گرفته شود که تغییرات مورفولوژی ساحل در اثر اجرای آبشکنهای بالادست، کارگاه را تحت‌الشعاع قرار ندهد.

۱۳-۵ نگهداری و رفتارسنجی آب‌شکنها

۱۳-۵-۱ بازرسیها

بعد از اتمام عملیات ساخت و در طول عمر مفید پروژه، انجام بازرسیهای دوره‌ای از پروژه ضرورت می‌یابد. فواصل زمانی این بازرسیها به نوع پروژه، محدوده تأثیر آن و شرایط محیطی سایت بستگی دارد. در سواحل با تغییرات محسوس برای پروژه همراه با احیای ساحل باید علاوه بر بازرسیهای سالیانه، بلافاصله بعد از هر طوفان فصلی سهمگین، بازرسی صورت گیرد. در این بازرسیهای دوره‌ای باید موارد ذیل مد نظر قرار گیرند:

- مناطق خطرناک احتمالی و شرایطی که می‌تواند باعث خدشه‌دار شدن امنیت عمومی باشد (از قبیل خطراتی که شناگران یا کشتیرانی را تهدید می‌نماید).
- مسایل مربوط به از دست دادن کیفیت سازه‌ای، که می‌تواند اشکالاتی را در توانایی کاربردی یا ساختاری پروژه موجب شوند.
- موارد تعمیراتی لازم که می‌تواند از پیچیده شدن عملیات ترمیمی سازه جلوگیری نماید به همراه برآورد رفتار و برنامه زمانی مورد نیاز برای این تعمیرات.
- تهیه اسناد مصور در صورت نیاز.
- مستندسازی وضعیت تغییرات خط ساحلی و اعماق بستر که ممکن است نمایانگر آغاز گسیختگی کاربردی یا ساختاری باشند (به عنوان مثال آب‌شستگی در پاشنه آب‌شکن یا دیوارهای ساحلی که می‌تواند هشدار برای انهدام یا شکست قریب‌الوقوع باشد).

۱۳-۵-۲ رفتارسنجی

۱۳-۵-۲-۱ عملکرد کاربردی

رفتارسنجی عملکرد کاربردی پروژه‌های کنترل فرسایش ساحل می‌تواند در جهت نیل به دو هدف صورت گیرد:

- شناسایی نقایص اجرایی پروژه به منظور دستیابی به اصلاحات مورد نیاز پیشرفت عملیات اجرایی مشابه (رفتارسنجی عملیاتی).

- برآورد دقت روشهای طراحی به کار رفته و در صورت لزوم تکمیل آنها (رفتارسنجی تحقیقاتی).
حتی بهترین طرحهای حفاظت ساحل نیز معمولاً بر اساس اطلاعاتی ناقص و ناکافی تهیه می‌گردند. شرایط متوسط امواج سالیانه و نرخهای انتقال رسوب سال به سال می‌توانند به طور مشخصی دستخوش تغییرات گردند که این موضوع باعث مشکلاتی در طراحی سازه‌های کنترل فرسایش ساحل می‌گردد. لذا رفتارسنجی پروژه‌های تکمیل شده می‌تواند تأمین کننده اطلاعات لازم برای تکمیل روشهای اجرایی و قواعد طراحی باشد و بدین ترتیب زمینه‌ساز اجرای پروژه‌هایی بهتر و ارزان‌تر در آینده خواهد بود. توصیه‌های ذیل انواع مختلفی از اطلاعات پایه که معمولاً در رفتارسنجی این‌گونه سازه‌ها به کار گرفته می‌شوند را شامل می‌شود.

۱۳-۵-۲-۱-۱ اسناد مصور

یکی از راه‌های ارزان قیمت و ساده برای رفتارسنجی علمیاتی پروژه، تهیه عکسهای ادواری می‌باشد که بهتر است برای یک موضوع عکس مشخص، در دوره‌های مختلف محل عکس‌برداری ثابتی انتخاب گردد. این روش می‌تواند تاریخچه‌ای از اجرای پروژه را فقط به طور کیفی به دست دهد، حال آنکه داده‌های کمی را می‌توان با عکسهای هوایی کنترل شده قائم از محدوده پروژه به دست آورد که راه حلی گران‌قیمت است. از جمله این اطلاعات رقوم زمین، موقعیت خط ساحلی و پاشنه طبیعی آن، رسوبات موضعی دور از ساحل، هندسه سازه و خرابیها می‌باشند. به علاوه بدین ترتیب نحوه استفاده از زمینها، ساحل و تغییرات آنها نیز قابل مشاهده و سنجش خواهند شد.

۱۳-۵-۲-۲-۱-۲ پروفیل‌های ساحلی و تغییرات اعماق بستر

مهم‌ترین موضوع در طراحی پروژه‌های تثبیت ساحلی، حفظ پهنای نوار ساحلی می‌باشد و غالباً بهترین نمود موفقیت یا شکست آن پروژه را برداشت شرایط ساحلی جدید مشخص می‌سازد. پروفیل‌های ساحلی که به طور ادواری به دست می‌آیند، بهترین سند برای تعیین میزان رسوب‌گذاری، فرسایش یا

پایداری خط ساحلی در محدوده پروژه می‌باشد. فواصل زمانی بین نقشه‌برداریهای ساحلی بستگی به برنامه رفتارسنجی موضوعات مورد نظر دارد. ولی حداقل یک بار پروفیل‌برداری در سال لازم است. فاصله بین خطوط برداشت پروفیل ساحل نیز بستگی به مقاصد مورد نظر دارد. به عنوان مثال برداشت دو پروفیل می‌تواند تشریح کننده شرایط و تغییرات حاصل از یک ساحل طویل ممتد باشد ولی اگر محاسبات احجام رسوب‌گذاری و فرسایش، مورد نظر است یا اگر مستندسازی تغییرات فصلی احجام مورد نیاز باشد، باید آنقدر فاصله پروفیلها کم انتخاب گردد تا دقت لازمه محاسبات تأمین شود. طول پروفیلها می‌بایست از حداقل یکصد متر بالاتر از سطح آب در مد تا محدوده شکست امواج را شامل شود.

۱۳-۵-۲-۱-۳ شرایط امواج

تجهیز و راه‌اندازی دستگاههای ثابت ارتفاع و یا جهت و ارتفاع امواج برای دستیابی به جزئیات بیشتر در پروژه‌های تحقیقاتی و در برنامه‌های رفتارسنجی مطالعاتی که در آنها دلایل و اثرات نسبی بین امواج، انتقال مواد رسوبی منتج از آن و نحوه عملکرد پروژه مورد نظر است، امری لازم خواهد بود.

۱۳-۵-۲-۲-۲ عملکرد ساختاری

مشابه رفتارسنجی عملکرد کاربردی، دو نوع رفتارسنجی ساختاری می‌تواند مد نظر قرار گیرد:

- برآورد خرابیهای سازه موجود و تعمیرات لازم آن طی یک برنامه زمانی (رفتارسنجی عملیاتی).
- جمع‌آوری اطلاعات به منظور توسعه روشهای طراحی (رفتارسنجی تحقیقاتی).

رفتارسنجی عملیاتی به بازرسیهای دوره‌ای کمتر نیازمند است حال آنکه برای رفتارسنجی تحقیقاتی ممکن است نیاز به دستگاههای دقیق اندازه‌گیری امواج و نیروهای آن باشد.

۱۳-۵-۲-۲-۱ اسناد مصور

یک طریق ارزان نسبی برای مستندسازی عملکرد ساختاری، بازرسی دوره‌ای سازه و عکس‌برداری از نواحی در حال تخریب می‌باشد. این عکسها باید منضم به مکتوباتی در مورد شرح خرابی، نمایش محل وقوع خرابی و عامل احتمالی آن باشد. محل خرابی می‌تواند بر روی نقشه‌های جدید و یا بر روی

نقشه‌های پروژه منعکس شود. نقشه‌برداری برداشت جزئیات خرابی سازه‌های توده‌سنگی بعد از طوفانهای مهم نیز از دیگر روشها است.

۱۳-۵-۲-۲-۲ شرایط امواج

از ثباتهای موج معمولاً برای رفتارسنجی تحقیقاتی سازه‌های توده‌های سنگی استفاده می‌شود. امواج بزرگ و طوفانها باعث جابه‌جایی قطعات آرمور و دیگر خرابیها خواهند شد. اطلاعات مربوط به جهت امواج در جهت رفتارسنجی ساختاری معمولاً در درجه دوم اهمیت قرار دارد و برای تعیین آنها می‌توان به وسیله یک شناور ساده، فشارسنج زیر سطحی و یا ثبات سطحی عمل نمود.

۱۳-۵-۳ کتابچه راهنمای بهره‌برداری و نگهداری برای مسئولین محلی

در پروژه‌های حفاظت ساحل همواره باید کتابچه راهنمایی برای نحوه بهره‌برداری و نگهداری از آنها تهیه گردد که در اختیار مسئولین محلی قرار گیرد. این کتابچه آنها را ملزم به برداشت اطلاعاتی خواهد نمود که اطمینان لازم از رفتارسنجی پروژه در آن ملحوظ شده است و بدین ترتیب امکان داوری از نحوه بهره‌برداری فراهم می‌گردد.

مسئولین محلی باید گزارشات منظمی از نحوه بهره‌برداری، شرایط نگهداری و تعمیرات، بازرسیها و وضعیت اجزای پروژه از جمله سازه‌ها و ساحل‌سازیها ارائه دهند. به طور کلی کتابچه راهنمای بهره‌برداری و نگهداری و در نتیجه برنامه رفتارسنجی باید به چهار جزء پروژه حفاظت ساحل اشاره نماید. پاشنه طبیعی ساحل و نوار ساحلی آن، تپه‌های ماسه‌ای محافظ ساحل، سازه‌های ساحلی و هرگونه تأسیسات وابسته.

۱۴

تیغها

۱۴-۱ معرفی تیغه‌ها (تعریف، کاربرد، عملکرد، محدودیتها و تأثیر سازه بر ساحل)

تیغه‌ها، یکی از سازه‌های حفاظت ساحل می‌باشند که به منظور تثبیت مصب خورها و رودخانه‌ها و همچنین جلوگیری از رسوب‌گذاری در آبراهه‌ها، حوضچه‌ها و حفظ عمق آب‌خور مناسب جهت کشتیرانی ساخته می‌شوند.

این سازه‌ها که معمولاً به صورت دو شاخه موازی هم احداث می‌شوند، با به تله انداختن رسوب موازی ساحل، میزان رسوب وارده به رودخانه را کاهش می‌دهند. تیغه‌ها، در محل ورود رودخانه‌ها به دریا، در دهانه باریک خلیجها، در اطراف کانال ورودی حوضچه بندر (در صورتی که آب‌خور لازم جهت کشتیرانی توسط لایروبی ایجاد شود) و مناطقی مشابه که در آن عمق کانال کشتیرانی از ناحیه مجاور خود بیشتر باشد، قرار داده می‌شوند. معمولاً تیغه‌ها، عمود بر ساحل ساخته شده و تا خارج از ناحیه فعالیت امواج در حال شکست امتداد می‌یابند. تیغه‌ها از لحاظ رفتار مشابه آب‌شکنها و از طرف دیگر مشابه موج‌شکنها می‌باشند. تأثیر تیغه‌ها بر ساحل همانند تأثیر آب‌شکنها است.

توجه به این نکته ضروری است که تیغه‌ها، آبراهه‌ای را دربر گرفته و آن را در برابر رسوبهایی که موازی ساحل منتقل می‌شوند، محافظت می‌نمایند و مانعی در برابر عوامل دیگر رسوب ایجاد نمی‌کنند. به ویژه در دهانه رودخانه‌ها، رسوباتی که توسط رودخانه حمل شده‌اند با توجه به کاهش سرعت جریان در ناحیه اتصال به دریا انباشته شده و باعث رسوب‌گذاری در داخل آبراهه می‌شوند. به علاوه تیغه‌ها در مقابل جریانات جزر و مدی و انتقال رسوب عمود بر ساحل در هنگام طوفان تأثیر زیادی ندارند.

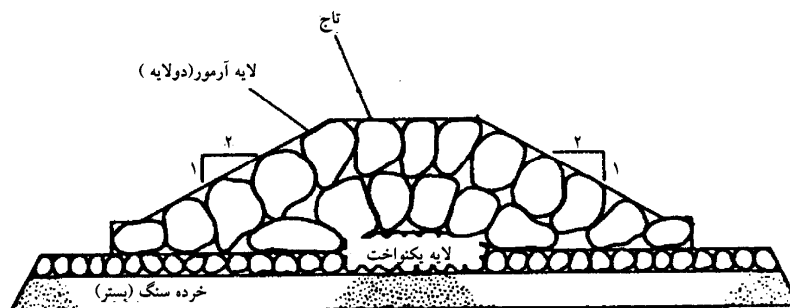
۱۴-۲ انواع تیغه‌ها

نظر به مشابهت تیغه‌ها، آب‌شکنها و موج‌شکنها، به طور کلی می‌توان گفت تیغه‌ها از لحاظ طبقه‌بندی مصالح و طبقه‌بندی سازه‌ای مشابه با آب‌شکنها و موج‌شکنها می‌باشند. از نظر مصالح تشکیل دهنده، تیغه‌ها به انواع چوبی (شمع، الوار)، فولادی (سپری، شمع)، بتنی (سپری)، سنگریزه‌ای، توری‌سنگی، آسفالتی، کیسه‌سنی، و یا ترکیبی از انواع فوق‌الذکر تقسیم می‌شوند.

انتخاب نوع تیغه با توجه به شرایط معادن منطقه و فاصله آن از محل، عمق آب، شرایط هیدرودینامیکی امواج، ملاحظات ژئوتکنیکی پی، امکانات اجرایی و نهایتاً ملاحظات اقتصادی تعیین می‌گردد. در سواحل باز که تحت اثر امواج بزرگ قرار دارند، معمولاً از مصالح سنگریزه‌ای و بتنی استفاده می‌شود.

◀ ۱۴-۲-۱ تیغه توده‌سنگی

به طور کلی در مناطقی که معادن مناسب سنگ در فاصله نزدیک وجود داشته باشند، استفاده از این گزینه اقتصادی خواهد بود. از تیغه‌های سنگریزه‌ای عمدتاً در سواحل حفاظت نشده استفاده می‌شود. تفاوت اصلی تیغه‌های توده‌سنگی با آب‌شکنهای توده‌سنگی در اختلاف پوشش محافظت دریا نسبت به سمت مقابل است. علت این تفاوت اثر پوششی دو تیغه بر روی یکدیگر در ناحیه حفاظت شده می‌باشد (شکل ۱۴-۱). در مواردی که در فاصله نزدیک سنگ مناسب جهت لایه محافظ (آرمور) وجود نداشته باشد، می‌توان از قطعات بتنی به عنوان لایه آرمور استفاده نمود.



شکل ۱۴-۱ مقطعی از یک تیغه توده‌سنگی

◀ ۱۴-۲-۲ تیغه‌های سپری

از این نوع سازه در خلیجها و سواحل حفاظت شده که ارتفاع امواج چندانی ندارند، در صورت مناسب بودن شرایط ژئوتکنیکی می‌توان استفاده نمود. (توجه به این نکته ضروری می‌باشد که در سواحل سنگی و صخره‌ای نمی‌توان از سپر استفاده کرد. همچنین در جاهایی که لایه‌های فوقانی خاک در ضخامت زیاد، دارای شرایط مناسبی نباشند، استفاده از سپر اقتصادی نخواهد بود).

سپرها، از لحاظ نوع مصالح به انواع چوبی، فلزی، چوبی-فلزی، بتنی و بتن پیش‌تنیده تقسیم‌بندی می‌شود. در ساخت تیغه‌ها از یک ردیف شمع تکی با پشت‌بند یا بدون آن نیز می‌توان استفاده نمود (همچنین رجوع گردد به بخش ۱۳-۲).

◀ ۱۴-۲-۳ تیغه‌های سلولی

با استفاده از دو ردیف سپر که توسط تیرهای افقی به همدیگر مهار شده‌اند می‌توان تیغه سلولی ایجاد کرد. داخل این تیغه با سنگ یا مصالح ماسه‌ای پر می‌شود که در صورت پر کردن آن با سنگ، عمر سازه بیشتر خواهد بود. در صورتی که از سیستم سپرهای موازی استفاده شود، در عرضهای مناسب می‌توان این سیستم را از خشکی اجرا نمود. استفاده از صندوقه در ساخت تیغه‌ها مرسوم نمی‌باشد (همچنین رجوع گردد به بخش ۱۶-۲).

◀◀ ۱۴-۳ طراحی اولیه تیغه‌ها

◀ ۱۴-۳-۱ طراحی کاربردی تیغه‌ها

۱۴-۳-۱-۱ جانمایی تیغه‌ها

پارامترهای مختلفی در جانمایی تیغه‌ها دخیل هستند که به صورت خلاصه می‌توان آنها را در عوامل هیدرودینامیکی، نوابری و رسوب خلاصه کرد.

عوامل هیدرولیکی که در طراحی جانمایی تیغه‌ها می‌بایست مد نظر قرار گیرند عبارتند از:

- ۱- وضعیت ورودی بندر در حالت جزر و مد
- ۲- تاریخچه تغییرات وضعیت و ابعاد ورودیها (شامل طول، عرض و سطح مقطع)
- ۳- تغییرات و مدت جزر و مد در داخل و خارج ورودیها
- ۴- تأثیر طوفان و باد
- ۵- وضعیت ورودی رودخانه در حالت جزر و مد
- ۶- جریانهای جزر و مدی

علاوه بر عوامل فوق‌الذکر، عوامل هیدرودینامیکی ناشی از احداث تیغه‌ها و به عبارتی عواقب احداث

آنها می‌بایست مد نظر قرار گیرند. این عوامل به شرح زیر هستند:

- ۱- ابعاد ورودی (طول، عرض و سطح مقطع)
 - ۲- اثرات وضعیت جدید روی جریان، جزر و مد و شوری آب
 - ۳- تأثیر امواج عبوری از میان ورودیها (تفرق امواج).
- پارامترهای مربوط به ناورپی که در طراحی جانمایی تیغه‌ها باید لحاظ شوند به شرح زیر می‌باشند:
- ۱- تأثیر باد، امواج، جزر و مد و جریانها روی آبراهه کشتیرانی
 - ۲- مسیر آبراهه با توجه به جهت امواج غالب و آبراهه طبیعی اولیه
 - ۳- تأثیر آبراهه روی جزر و مد و جریانهای هیدرولیکی
 - ۴- تعیین ابعاد آبراهه بر اساس ابعاد شناور طرح و اطلاعات در مورد تعداد خطوط ترافیکی
 - ۵- عوامل دیگر کشتیرانی نظیر تغییر آبراهه کشتیرانی، پیش‌بینی جهت توسعه آبی آبراهه و تأثیر امکانات و تجهیزات بندری و جانمایی آن بر روی مسیر آبراهه

عوامل رسوب‌گذاری نیز می‌بایست در جانمایی سازه لحاظ شوند. این عوامل عبارتند از:

- ۱- تأثیر مستقیم و غیر مستقیم انتقال مصالح در طول ساحل و روشهای تخلیه ماسه، وسعت منطقه محافظت شده و نگهداری آبراهه
 - ۲- نمای کلی از منطقه محافظت شده و فرایند تخلیه مصالح
 - ۳- اثر رسوب‌گذاری ناشی از تفرق امواج در انتهای تیغه‌ها به ویژه تیغه بالادست
- اگر جهتی به عنوان جهت غالب امواج وجود داشته باشد و در جهات دیگر، فرکانس وقوع موج و شدت آن قابل نظر کردن باشد، می‌توان از تیغه با یک بازو استفاده کرد. ولی عموماً وضعیت هیدرودینامیکی سواحل به گونه‌ای است که در فصول مختلف و در ساعات مختلف شبانه‌روز، امواج در جهات مختلف رخ می‌دهد و به ناچار باید از تیغه با دو بازو که شکل معمول آن است، استفاده شود. در مصب رودخانه‌ها، ترجیحاً باید از تیغه با دو بازو استفاده نمود و تیغه تک‌بازو در دهانه رودخانه‌ها کارایی لازم را ندارد. در صورتی که شرایط هیدرودینامیکی (با توجه به تفاوت ارتفاع شکست و پریود موج)

ایجاب کند که تیغه دارای دو بازو با طولهای مختلف باشد، اغلب کارایی طرح با افزایش طول بازوی بالادست بهبود می‌یابد.

با توجه به شرایط نگهداری دوره‌های مختلف لایروبی برای طرح تعریف می‌شود که این دوره لایروبی در تعیین طول تیغه‌ها تأثیر به‌سزایی دارد. در صورتی که برنامه لایروبی خاصی در محل تیغه‌ها تعریف نشده باشد، به ویژه در دهانه رودخانه، بازوی سمت بالادست باید با زاویه قائم نسبت به خط ساحل تا پشت ناحیه شکست امتداد یابد و در خارج ناحیه شکست، جهت آن به سمت امواج برخوردی تغییر جهت دهد تا به صورت موج‌شکن عمل کرده و جهت جریان ساحلی را با استفاده از امواج انعکاس یافته در جهت خلاف ورودی بندرگاه یا دهانه رودخانه هدایت کند. در حالت اخیر باید مطالعات کافی در رابطه با تفرق امواج و رسوب‌گذاری ناشی از آن در دهانه ورودی تیغه‌ها صورت گرفته و تأثیر تیغه‌ها بر ایجاد پشته رسوبی در دهانه (و در مسیر) آبراه در نظر گرفته شود.

به طور کلی در جانمایی تیغه‌ها در دهانه رودخانه‌ها باید به موارد زیر توجه خاص مبذول داشت:

- مشخصات جریان ساحلی و رژیم جریان رودخانه
 - ظرفیت رسوب‌گذاری و رسوب‌برداری در هنگام طوفان
 - نیروهای وارده روی ذرات ماسه‌ای در جریانات با سرعت پایین
- در شکل ۱۴-۲ چند نمونه از جانمایی تیغه‌ها در دهانه رودخانه‌ها نشان داده شده است که در شرایط مختلف می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

۱۴-۳-۱-۲ طول تیغه‌ها

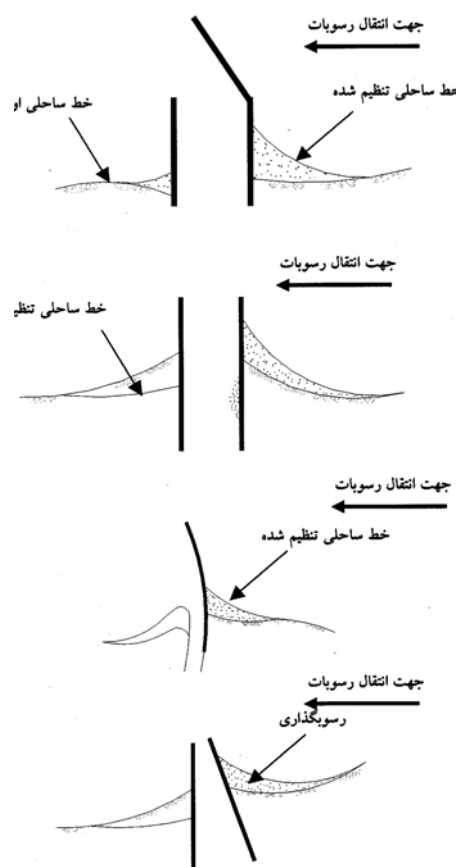
پارامترهای مهم در تعیین طول تیغه‌ها عبارتند از:

- ۱- مشخصات امواج برخوردی
- ۲- آب‌خور شناور طرح
- ۳- عمق آبراهه
- ۴- جنس مصالح ساحل
- ۵- رسوب سالانه

۶- دوره لایروبی

طول تیغه‌ها حداقل باید به اندازه‌ای باشد که در سر تیغه، عمقی حداقل برابر با عمق آبراهه وجود داشته باشد.

تیغه‌ها، باید تا نقطه‌ای فراتر از نقطه شکست در شرایط طوفان ادامه یابند، تا در صورت وقوع طوفان رسوب انباشته شده به ورودی تیغه‌ها راه پیدا نکند. همچنین طول تیغه باید به اندازه‌ای باشد که حجم مخزن حاصل در پشت تیغه، جوابگوی رسوب انباشته شده در دوره لایروبی باشد. حجم رسوب انباشته شده به نوبه خود تابعی از جنس بستر، مشخصات موج در حال شکست و جهت امواج می‌باشد.



شکل ۱۴-۲ انواع جانمایی تیغه‌ها

۱۴-۳-۱ فاصله بین تیغه‌ها

عوامل مؤثر در فاصله تیغه‌ها، مسایل نوابری، عرض طبیعی رودخانه یا خور و همچنین وضعیت موج برخوردی به تیغه‌ها و هیدروگرافی ناحیه طرح، شرایط جزر و مدی و شرایط ژئوتکنیکی می‌باشد. فاصله بین تیغه‌ها باید به گونه‌ای باشد که آبراهه میان آن دارای شرایط استاندارد آبراهه حفاظت شده باشد. فاصله تیغه‌ها باید چنان باشد که موج تفرق یافته در داخل آبراهه برای نوابری مشکلی ایجاد نکند. در صورتی که عرض طبیعی رودخانه محدودیت‌های فوق را تأمین نماید، بهتر است که تیغه، حتی‌الامکان در امتداد رودخانه ساخته شود. در صورتی که شرایط هیدرودینامیکی انحراف تیغه را ایجاد کند، محدودیت‌های ناشی از مانور شناور طرح نیز در این انحراف باید مد نظر قرار گیرد.

۱۴-۳-۴ پروفیل طولی

با توجه به اهمیت طرح و هزینه اختصاص یافته به پروژه، میزان سرریزی موج از روی تیغه متفاوت است ولی در حالت کلی تیغه‌ها همانند موج‌شکنها باید نفوذناپذیر باشند. از این رو، پروفیل طولی در تیغه‌ها تابعی از تراز تاج لایه محافظ و اندازه سنگهای مصرفی در لایه‌های مختلف خواهد بود.

۱۴-۳-۲ طراحی ساختاری تیغه‌ها

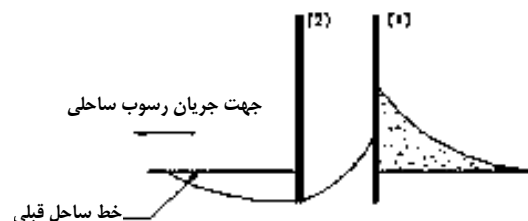
با توجه به مشابهت فراوان تیغه‌ها با آب‌شکنها و موج‌شکنها، جهت طراحی تیغه‌ها از روابط مربوط به طراحی موج‌شکنها و آب‌شکنها استفاده می‌شود. ریسک‌پذیری در طراحی تیغه‌ها بیشتر از موج‌شکنها است (برای طراحی ساختاری تیغه‌ها رجوع شود به بخش ۱۶-۳-۲).

۱۴-۴ اجرای تیغه‌ها

اصول کلی اجرای تیغه‌ها مشابه موج‌شکنها می‌باشد. با توجه به امکانات اجرایی، سازه‌های توده‌سنگی را، هم از طریق خشکی و هم از طریق دریا می‌توان اجرا نمود. در شرایطی که امکان اجرا از سمت دریا فراهم باشد، حجم مصالح مصرفی به علت از بین رفتن محدودیت تردد کامیون و دمپتراکها کاهش می‌یابد.

تیغه‌های سپری و سلولی عموماً از سمت دریا اجرا می‌شوند. از این رو با توجه به هزینه اجرا از دریا، استفاده از سازه‌های توده‌سنگی در اکثر موارد مقرون به صرفه خواهد بود.

یکی از مهم‌ترین مسایلی که در اجرای تیغه‌ها باید مد نظر داشت، زمان‌بندی اجرای دو شاخه تیغه می‌باشد. اجرای شاخه بالادست باید زودتر آغاز گردد. در مواقعی که ناحیه طرح در مکانی قرار گرفته باشد که جریان ساحلی از هر دو سمت (بالادست و پایین‌دست) در زمانهای مختلف وجود داشته باشد، اجرای منفرد شاخه بالادست باعث انباشته شدن رسوبات در سمت پایین‌دست می‌گردد و داخل حوضچه یا داخل کانال کشتیرانی، انباشته از رسوب می‌گردد. بنابراین بهتر است برنامه زمانبندی به نوعی تنظیم گردد که در چنین شرایطی اجرای عملیات شاخه پایین‌دست نیز با تأخیر اندکی آغاز گردد تا نیاز به لایروبی مجدد و هزینه اضافی نباشد. در صورت اجرای منفرد شاخه بالادست فرسایش زیادی در فواصل دور از ساحل پایین‌دست به وقوع می‌پیوندد که مورفولوژی ساحل را تغییر می‌دهد.



(شاخه (۲) با تأخیر جدا شده است)



(اجرای همزمان)

شکل ۱۴-۳ ترتیب اجرای تیغه‌ها

◀◀ ۱۴-۵ نگهداری و رفتارسنجی تیغه‌ها

با توجه به مشابهت کاربری تیغه‌ها و آب‌شکنها برای نگهداری و رفتارسنجی تیغه‌ها به قسمت (۵-۱۳) رجوع شود.

۱۵

دیوارهای ساحلی

۱۵-۱ معرفی دیوارهای ساحلی

یکی از انواع سازه‌های حفاظت ساحلی، دیوارهای ساحلی می‌باشند که همانند پوششهای حفاظتی و دیوارهای لغزش‌گیر ساحلی، سازه‌هایی هستند که به موازات خط ساحلی ساخته می‌شوند. گرچه کاربردها و تعریفهای گوناگونی برای هر یک از سه سازه مذکور وجود دارد، لیکن تلفیق و ترکیب این سازه‌های حفاظتی در بعضی از موارد، تمایز آشکار آنها را در عمل دشوار می‌سازد.

دیوارهای ساحلی، سازه‌هایی هستند که از لحاظ ایستایی کاملاً متکی به خود بوده و برای حفاظت ساحل از اثرات امواج مورد استفاده قرار می‌گیرند. بر خلاف پوششهای حفاظتی که بر روی شیبه‌های ساحلی احداث می‌گردند، دیوارهای ساحلی معمولاً در مناطقی بنا می‌گردند که فاقد شیبه‌های ساحلی می‌باشند.

از نقطه نظر کاربردی، هدف اولیه از احداث دیوارهای ساحلی را می‌توان حفاظت جبهه پشت آن از اثرات تخریبی امواج عنوان نمود. بسته به نوع دیوارهای ساحلی، این سازه‌ها برای تحمل نیروی امواج و یا برای تغییر جهت دادن و جذب نیروی امواج بنا می‌گردند.

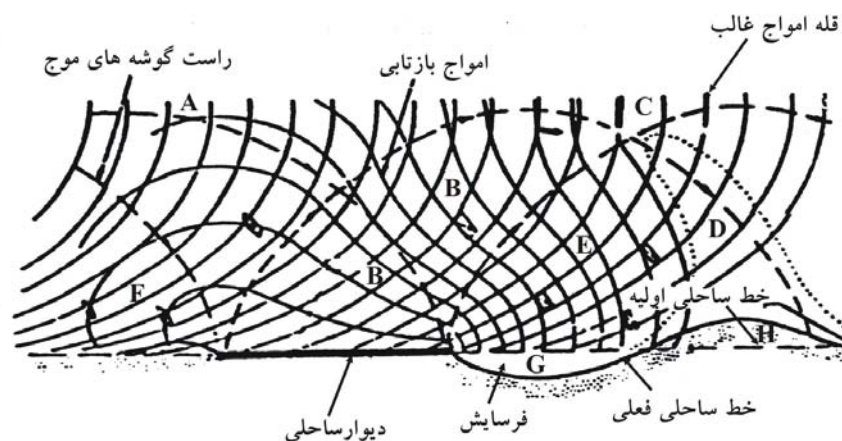
به هنگام انتخاب دیوارهای ساحلی به عنوان سازه حفاظت ساحل لازم است به محدودیت‌های عمومی انواع آنها که به شرح ذیل می‌باشد، توجه نمود:

۱- دیوارهای ساحلی، تنها محدوده زمین پشت دیوار را محافظت نموده و به قسمتهای ساحل در جلوی دیوار در مقابله با فرسایش بستر دریا هیچ‌گونه کمکی نمی‌نمایند. در واقع به دلیل اثرات انعکاس امواج پس از برخورد با دیوارهای ساحلی فرسایش بستر ساحل جلوی دیوار ساحلی عموماً تشدید می‌گردد و میزان این فرسایش را تا ارتفاع امواج عمده منطقه (H_s) نیز تخمین زده‌اند. بنابراین در مواردی که تأکید بر حفظ بستر دریا در جلوی دیوار ساحلی باشد، استفاده از مواد پرکننده و یا سازه‌های دیگر حفاظتی لازم می‌باشد.

۲- دیوارهای ساحلی، خشکی را تنها در امتداد دیوار حفاظت می‌نمایند. در واقع به دلیل احداث دیوار ساحلی در یک منطقه، مسئله فرسایش و پس‌روی خشکی می‌تواند برای اراضی مجاور دیوار ساحلی تشدید نیز گردد (شکل ۱۵-۱).

این امر در مورد تمامی سازه‌های حفاظت ساحلی موازی ساحل مصداق دارد. بنابراین می‌بایست در طراحی و تصمیم‌گیریها دقت شود که اگر زمینهای مجاور دارای ارزش لازم برای حفاظت باشند. جانمایی سازه‌های حفاظتی به گونه‌ای انجام پذیرد که منطقه پس روی خشکی در سواحل مجاور تشدید نگردد.

۳- بعضی از دیوارهای ساحلی دسترسی به دریا را محدود می‌کنند. این محدودیت، استفاده از دیوارهای ساحلی را در سواحل تفریحی با تردید مواجه می‌سازد. در این موارد برای دسترسی به ساحل پلکانهایی در مناطق مناسب باید در نظر گرفته شوند.



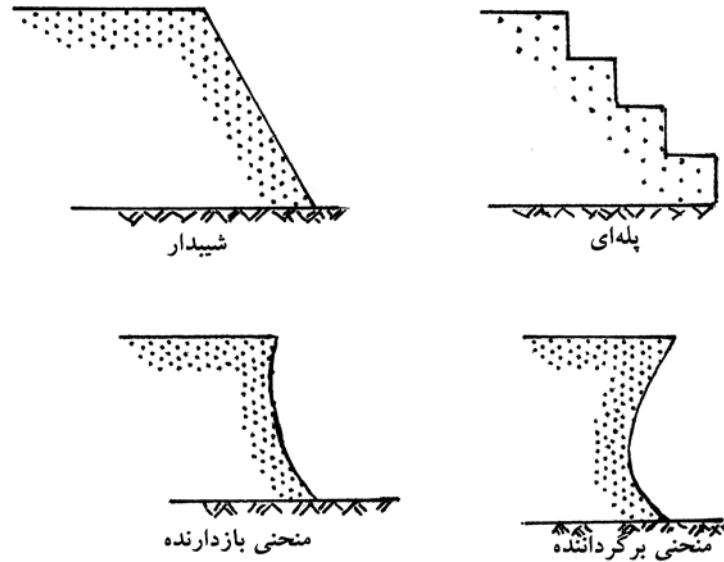
شکل ۱۵-۱ تأثیر دیوار ساحلی بر سواحل مجاور

◀ ۱۵-۲ انواع دیوارهای ساحلی

از نقطه نظر ایستایی، دیوارهای ساحلی را می‌توان به دو نوع ثقلی که تنها متکی به وزن و پهناى سازه در قبال اثرات بارگذاری است، و نوع صفحه‌ای یا سپری تقسیم نمود. طبقه‌بندی دیوارهای ساحلی بر حسب مصالح مورد استفاده شامل دیوارهای ساحلی با استفاده از مصالح خاکی، خاک مسلح، سنگی، بتنی و سپرهای فولادی می‌باشد.

شکل سطح رو به دریای دیوارهای ساحلی نیز می‌تواند دربر گیرنده نماهای قائم، شیب‌دار، پله‌ای، انواع منحنیها و یا ترکیبی از انواع مذکور باشد. در شکل ۱۵-۲ انواع گوناگون اشکال نمای سطح رو به

دریای دیوارهای ساحلی آورده شده‌اند. ذیلاً برخی از انواع گوناگون دیوارهای ساحلی به اجمال معرفی می‌شوند.



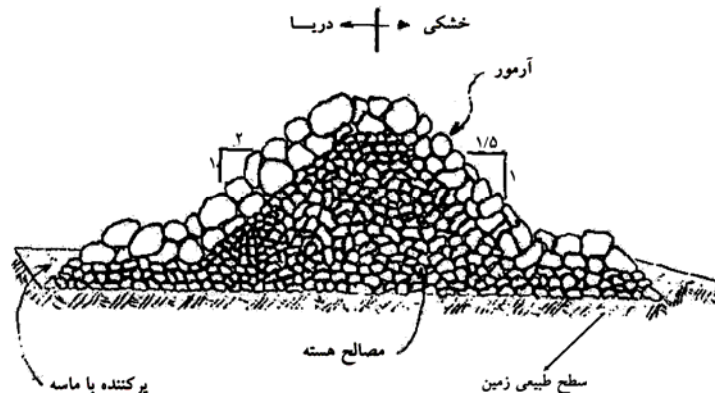
شکل ۱۵-۲ انواع نماهای دیوارهای ساحلی

۱-۲-۱۵ ◀ دیوارهای ساحلی سنگی

دیوارهای ساحلی، مشابه موج‌شکنهای توده‌سنگی می‌باشند، با این تفاوت که دیوارهای ساحلی عموماً نیاز به قطعه سنگهای سبک‌تری نسبت به موج‌شکنها دارند، چرا که در معرض امواج با ارتفاع زیاد فراساحلی قرار نمی‌گیرند. به همین دلیل در بعضی موارد تنها دو لایه مغزه و آرمور (به دلیل ابعاد و وزن کم سنگهای آرمور) کفایت می‌کند و احتیاج به زیر لایه برای آرمور نمی‌باشد (شکل ۱۵-۳).

از ویژگیهای این نوع سازه این است که به دلیل تخلخل و نفوذپذیری دیوار، انرژی امواج نسبتاً بهتر از انواع دیگر دیوارهای ساحلی که دارای سطحی صاف می‌باشند جذب می‌گردد و میزان انعکاس امواج و فرسایش موضعی در نزدیکی پنجه دیوارهای ساحلی سنگی نیز نسبتاً کمتر از انواع دیگر غیر سنگی

می‌باشد. مزیت دیگر دیوارهای ساحلی سنگی این است که به دلیل زبری سطح دیوار از میزان سرریزی موج تا میزانی در حدود (۵۰٪) نسبت به دیوارهای با سطح صاف کاسته می‌شود.



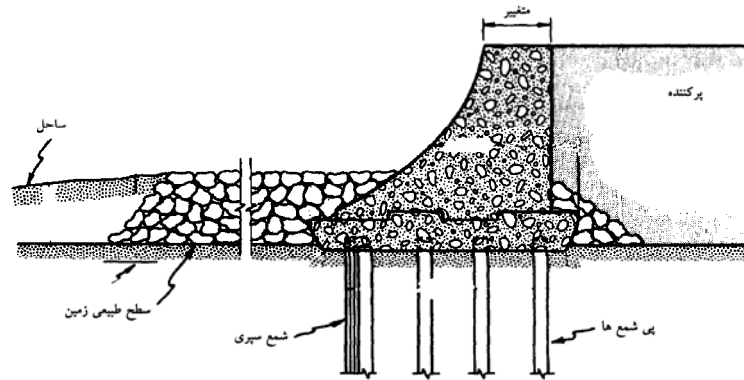
شکل ۱۵-۳ دیوار ساحلی سنگی

۱۵-۲-۲ دیوارهای ساحلی بتنی

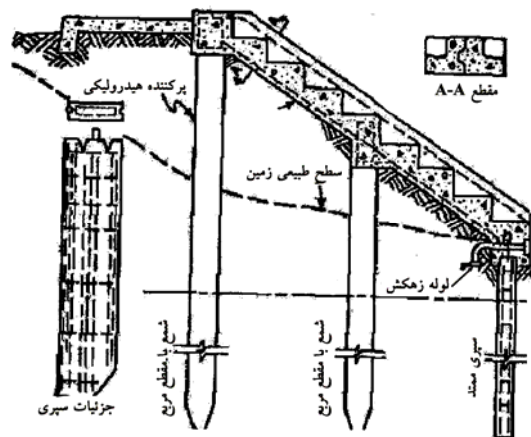
در این نوع از سازه‌ها عموماً از صفحه‌های بتنی یا سپرهای فولادی متصل به پنجه سازه استفاده می‌گردد تا از پنجه‌شویی امواج جلوگیری شود. البته برای اطمینان بیشتر می‌توان از حفاظت پنجه‌سنگی نیز برای حفاظت مضاعف در مناطقی که امکان فرسایش شدید موضعی می‌رود استفاده نمود. اشکال نمای سطح رو به دریای دیوارهای بتنی می‌تواند پله‌ای، عمودی و یا به شکل انواع منحنیها باشد (شکل ۱۵-۴). دیوارهای ساحلی با نمای منحنی برای کنترل بهینه انرژی و خصوصاً بالاروی موج طراحی می‌گردند. در این دیوارها از دو گونه شکل منحنی استفاده می‌گردد که یک نوع جریان را پس از بالاروی موج به هوا پرتاب می‌کند و دیگری این جریان را به سمت دریا و کاملاً دور از تاج دیوار ساحلی هدایت می‌کند.

اگر چه مزیت‌های این گونه سازه جهت کنترل سرریزی امواج آشکار است ولی نیروهای بسیار شدید برخورد امواج با این سازه‌ها نیاز به طراحی سازه‌ای حجیم با پی قوی دارد. انعکاس نسبتاً قابل توجه امواج از این گونه سازه‌ها نیازمند تعبیه مکانیزم‌های مؤثر حفاظت پنجه است.

در دیوارهای ساحلی بتنی با پله‌ای به دلیل وجود پله‌ها میزان بالاروی و سرریزی کاهش می‌یابد. این نوع دیوارهای ساحلی در مقایسه با انواع بانمای منحنی عمدتاً کم‌حجم‌تر بوده و لیکن به همان ترتیب نیازمند حفاظت پنجه می‌باشد.

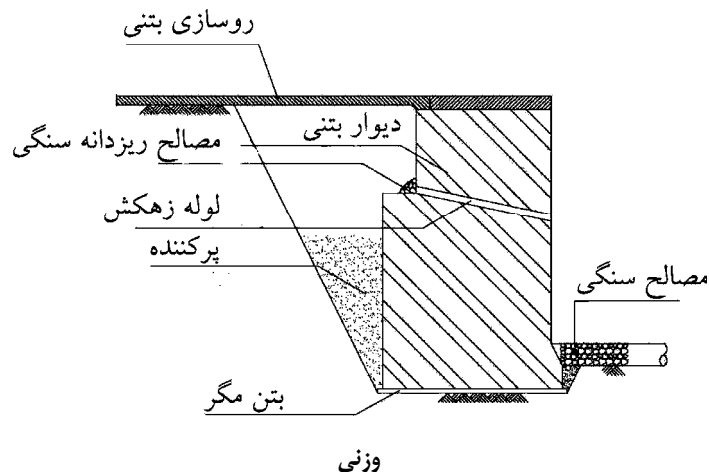


منحنی برگرداننده



پله‌ای

شکل ۱۵-۴ انواع دیوارهای ساحلی بتنی



ادامه شکل ۱۵-۴ انواع دیوارهای ساحلی بتنی

◀ ۱۵-۲-۳ دیوارهای ساحلی با استفاده از سپرهای فولادی

در مناطقی که امواج نسبتاً آرام بوده و نیروهای ناشی از برخورد امواج با سازه چندان سهمگین نباشد، می‌توان از دیوارهای ساحلی ساخته شده از سپرهای فولادی استفاده نمود. دیوارهای ساحلی سپر فولادی نسبت به دیوارهای ساحلی سنگی و بتنی عملکرد ضعیف‌تری در جذب انرژی امواج دارند و همین‌طور به دلیل داشتن نمای قائم و غیر قابل نفوذ، سبب انعکاس شدید امواج و تشدید فرسایش موضعی در نزدیکی دیوار ساحلی می‌گردند. با این وجود در مناطقی که امکان استفاده از اراضی، محدود می‌باشد می‌توان از مزیت کم‌عرض‌تر بودن مقاطع دیوارهای ساحلی با استفاده از سپرهای فولادی سود جست. در رابطه با دیوارهای ساحلی سپر فولادی به ۱۹-۳ نیز مراجعه شود.

◀ ۱۵-۲-۴ دایکها

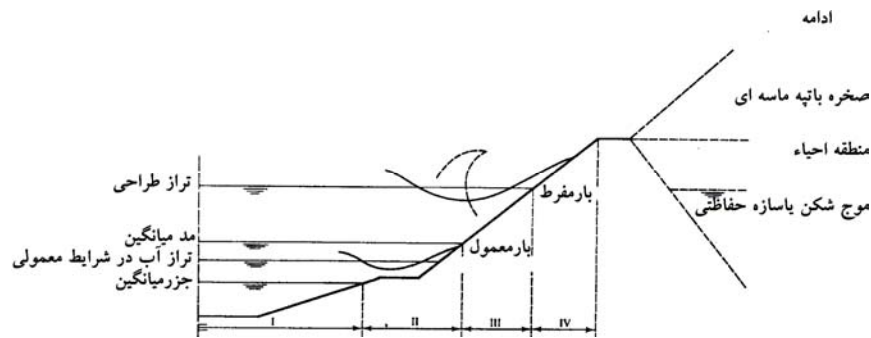
دایکها (دیوارهای ساحلی خاکی یا سدهای خاکی) به عنوان اولین سازه‌های حفاظت ساحلی ساخته دست بشر قلمداد می‌شوند. تفاوت عمده دایکها با سایر دیوارهای ساحلی در این است که دایکها بیشتر برای کنترل افزایش سطح آب طراحی و ساخته می‌شوند و از این رو در سواحل رودخانه‌های سیلابی نیز

مورد استفاده قرار می‌گیرند. در سواحلی که در معرض امواج قرار دارند، استفاده از دایک معمولاً به همراه یکی از پوششهای حفاظتی مناسب (قسمت ۱۶-۲) می‌باشد.

۱۵-۳ طراحی اولیه دیوارهای ساحلی

۱۵-۳-۱ طراحی کاربردی دیوارهای ساحلی

به طور کلی، دیوارهای ساحلی می‌بایست در مقابل بدترین شرایط فیزیکی که برای ساحل ایجاد خرابی و خسارت می‌کند، مقاومت نمایند و حداقل در مقابل شرایط تخریبی که دارای احتمال وقوع (۵۰٪) در طول عمر مفید سازه می‌باشد، مقاومت نمایند.



شکل ۱۵-۵ شمای عمومی یک دایک محافظ ساحل

۱۵-۳-۱-۱ جانمایی دیوارهای ساحلی

اصولاً نقطه آغاز جهت مشخص کردن جانمایی دیوارهای ساحلی، در نظر گرفتن خط ساحلی موجود می‌باشد. در این امر می‌بایست به شکل خطوط هم‌عمق نیز توجه لازم مبذول گردد. در صورت وقوع جزر و مد، خط ساحلی موجود، خط ساحلی در مد کامل تعبیر می‌گردد.

پس از مشخص نمودن خط ساحلی و مشخصات بستر می‌بایست یکی از راهکارهای ذیل را برگزید:

- ۱- عقب نشینی از خط ساحلی و استفاده از دایکها یا دیوارهای جدید جهت کنترل پیشروی آب دریا
- ۲- حفاظت خط ساحلی فعلی در مناطقی که حایز اهمیت بیشتر می‌باشد.

۳- حفاظت خط ساحلی فعلی در تمامی مناطق در معرض فرسایش

۴- پیشروی به طرف دریا و گرفتن خشکی از دریا

البته موارد متعددی در انتخاب فوق مؤثرند ولیکن عامل عمده می‌تواند مقایسه مزایا و هزینه‌های هر مورد باشد تا اقتصادی‌ترین تصمیم اتخاذ گردد.

۱۵-۳-۱-۲ امتداد و شکل دیوارهای ساحلی

به عنوان یک راهنمایی کلی توصیه می‌شود دیوارهای ساحلی در امتدادی تقریباً به موازات خطوط هم‌عمق آب در نزدیکی منطقه ساحلی جانمایی شوند. در صورت وجود یک سازه دیوار ساحلی قدیمی در منطقه، حتی‌الامکان سعی در حفظ امتداد سازه قدیمی و بازسازی آن می‌گردد. اگر قرار است سازه جدید جایگزین یک سازه قبلی شود، می‌بایست ابتدا کنترل گردد که امتداد غلط سبب تخریب سازه قبلی نبوده باشد. تعیین طول دیوار ساحلی تابع عوامل اقتصادی، کاربری ساحل و عوامل زیست‌محیطی می‌باشد. در طراحی جانماییها، می‌بایست امتداد دیوار ساحلی، حتی‌الامکان فاقد زوایا و یا انحنای تند داخلی یا خارجی باشد، این امر سبب تمرکز انرژی امواج منعکس شده در یک نقطه و احتمالاً تخریب سازه می‌گردد.

اگر امتداد دیوارهای ساحلی به صورت منحنی محدب باشد، می‌تواند به تولید امواج که به موازات امتداد سازه حرکت می‌کنند، بیانجامد و اثرات سوء و خصوصاً فرسایش شدید را نتیجه دهد. مضاف اینکه قسمت کوژ دیوار ساحلی معمولاً در عمیق‌ترین نقطه قرار می‌گیرد که پتانسیل برخورد با امواج بلندتری را دارا می‌باشد.

قسمت انتهایی دیوارهای ساحلی می‌بایست به نحو مناسبی به ساحل دوخته شود تا تحت اثر تفرق امواج بازتابیده شده از دیوارها دچار زیرشویی و تخریب نگردند.

۱۵-۳-۲ طراحی ساختاری دیوارهای ساحلی

به عنوان یک اصل کلی، طراحی اولیه می‌بایست با در نظر گرفتن شرایط مرزی هیدرولیکی و ژئوتکنیکی و محیطی (هیدروگرافی و توپوگرافی) باشد و تمامی مکانیزمهای تخریب ممکن نیز پیش‌بینی

گردد. لیکن طراحی دقیق می‌بایست حتی‌الامکان با استفاده از مدل‌های فیزیکی و یا ریاضی کنترل شود. البته صرف هزینه برای مدلسازی دقیق پاسخ سازه به شرایط مرزی، برای سازه‌های با مقیاسهای بزرگ و نه پروژه‌های در مقیاس متوسط الی کوچک توجیه اقتصادی دارد.

۱۵-۳-۲-۱ مراحل طراحی

- برای سهولت طراحی دیوارهای ساحلی، چک‌لیست ذیل می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد:
- ۱- تعیین میزان تغییرات سطح آب منطقه: مانند تغییرات جزر و مدی و یا تغییرات سطح آب دریاچه‌ها و Storm Surge در منطقه. در طراحی می‌بایست دقت کافی در تعیین پایین‌ترین و بالاترین سطح آب ممکن اعمال گردد.
 - ۲- تعیین ارتفاع امواج منطقه: اصولاً در انتخاب موج طرح می‌بایست ترکیبی از ارتفاع و پرپود امواج را در نظر گرفت که شدیدترین نیروهای ممکن را بر سازه در طول عمر آن سازه وارد آورند. برای تعیین ارتفاع امواج به بخش فرایندهای ساحلی رجوع شود.
 - ۳- انتخاب شکل مناسب دیوار ساحلی: بسته به خصوصیات امواج در منطقه و این که تا چه میزان فرسایش بستر جلوی دیوار ساحلی دارای اهمیت می‌باشد، یکی از اشکال دیوارهای ساحلی مذکور در بخش ۱۵-۲ انتخاب شود. این امر تا حدی مشخص می‌نماید که از چه مصالحی می‌بایست استفاده کرد.
 - ۴- انتخاب نوع مصالح و نوع دیوار ساحلی: با بررسی خصوصیات امواج و مقاومت بستر ساحل و با در نظر گرفتن مصالح و منابع قرضه موجود، نوع دیوار مطابق با یکی از انواع مندرج در بخش ۱۵-۱ می‌بایست تعیین شود. بدیهی است در انتخاب نوع دیوار ساحلی شرایط ژئوتکنیکی محل نقش عمده‌ای را ایفا کرده و می‌بایست دقیقاً مورد ارزیابی قرار گیرد.
 - ۵- تعیین میزان بالاروی امواج: در انتخاب ارتفاع تاج دیوارهای ساحلی، می‌بایست ماکزیمم سطح آب و بالاروی و سرریزی امواج در نظر گرفته شود.
 - ۶- تعیین میزان سرریزی امواج: اگر چه ارجح است که سازه‌های حفاظت ساحل با ارتفاع کافی ساخته شوند تا هیچ‌گونه سرریزی را اجازه ندهند، لیکن غالباً برای اقتصادی‌تر نمودن طرحها، ارتفاع

دیوارهای ساحلی به صورتی انتخاب می‌شود تا میزان کنترل شده‌ای سرریزی به وقوع پیوندد. برای تعیین میزان سرریزی امواج، به فصل طراحی موج‌شکنها مراجعه شود.

۷- زهکشی: در صورت استفاده از دیوارهای غیر سنگی، مسیرهای زهکشی تعبیه گردد تا آب سرریز شده سبب فرسایش سمت خشکی و خصوصاً **Back-Fill** که نقش مهمی در ایستایی دیوار دارد نگردد.

۸- طراحی سیستم حفاظتی دو انتهای دیوار: محافظت در قبال تخریب به وسیله سپرکوبی و یا استفاده از پوششهای سنگی میسر است. در مورد دیوارهای ساحلی سنگی بهترین راه حل می‌تواند استفاده از یک مقطع ضخیم شده در دو انتها باشد، همانند آنچه در حفاظت پنجه اعمال می‌شود.

۹- طراحی حفاظت پنجه دیوار ساحلی: حفاظت پنجه عبارت از استفاده از لایه آرمور در جلوی سازه می‌باشد تا از فرسایش پنجه و نتیجتاً زیرشویی جلوگیری گردد. از نقطه نظر هیدرولیکی، طول لایه حفاظت پنجه می‌بایست بین یک تا دو برابر ارتفاع موج طرح باشد که این مقدار برای دیوارهای سنگی بیشتر نزدیک به ارتفاع موج طرح می‌باشد. به علاوه ضخامت لایه محافظ می‌بایست حداقل (۴۰٪) عمق آب در پای سازه باشد. برای تعیین وزن سنگهای حفاظت پنجه می‌توان از روابط ارایه شده برای طراحی پنجه موج‌شکنهای توده‌سنگی همین آیین‌نامه استفاده نمود.

۱۰- طراحی آرمور، فیلتر و لایه‌های زیرین آن: در صورتی که دیوار ساحلی سنگی باشد، طراحی لایه‌های آرمور، فیلتر و مغزه آن با استفاده از ضوابط طراحی مندرج در فصل موج‌شکنهای همین آیین‌نامه تعیین می‌شود.

۱۱- تعیین تراکم مورد نیاز: در صورتی که دیوار ساحلی از نوع دایکهای خاکی باشد، تعیین ضخامت لایه‌های خاکریزی و مقدار تراکم هر لایه با توجه به مشخصات منابع قرضه و شرایط ژئوتکنیکی محل می‌بایست تعیین شوند. حداقل تراکم برای دایکهای حفاظت شده (۸۰٪) و برای دایکهای بدون حفاظ (۹۰٪) توصیه می‌شود.

۱۲- تعیین شیب و کنترل پایداری: شیب مناسب برای لایه آرمور در دیوارهای سنگی و در دایکها با در نظر گرفتن میزان بالاروی و سرریزی موج و با در نظر گرفتن ملاحظات ژئوتکنیکی تعیین می‌گردد. در تعیین شیب، پایداری هیدرولیکی قطعات آرمور باید مد نظر قرار گیرد. در برخی دایکها

بنا به ملاحظات پایداری کلی سازه و یا ملاحظات اقتصادی استفاده از سکو برای افزایش ضریب اطمینان پایداری و محدود کردن اثر سرریزی امواج توصیه می‌شود.

۱۳- برآورد هزینه اجرا: بالاخره در پایان مراحل طراحی، لازم است که هزینه اجرا برای هر یک از گزینه‌های محتمل محاسبه و مورد ارزیابی قرارگیرد.

۱۵-۲-۳-۲ مصالح دیوارهای ساحلی

موارد ذیل در ارتباط با مصالح مورد استفاده شایان ذکر می‌باشد:

بتن: به سبب ساییده شدن ذرات معلق درون امواج به سطح بتن، ساییدگی اتفاق می‌افتد، می‌توان با به حداقل رسانیدن مصالح نرم مورد استفاده در بتن، این مشکل را کاهش داد. در این رابطه استفاده از سیمان میکروسیلیس می‌تواند مؤثر باشد.

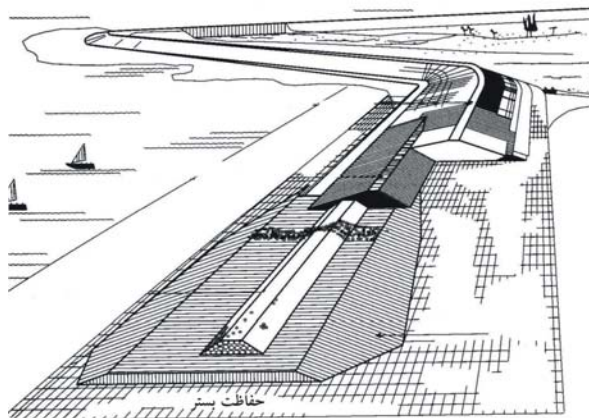
فولاد: حتی‌الامکان از فولاد در مقابل ساییدگی و خوردگی باید محافظت به عمل آید و از انواع مقاوم استفاده گردد.

سنگ: استفاده از سنگهای مقاوم در مقابل سایش، بدون درز و ترک و دارای وزن مخصوصی بیش از بتن در ساخت دیوارهای سنگی توصیه می‌شود.

۱۵-۴ ملاحظات اجرایی دیوارهای ساحلی

در حالتی که دیوار ساحلی جلوتر از خط ساحل ساخته شود، اجرای آن از بسیاری جهات به اجرای موج‌شکنها شباهت دارد. در این صورت دیوار همانند موج‌شکنها در شرایط حضور امواج و جزر و مد ساخته می‌شود. از این رو عمده آنچه درباره اجرای موج‌شکنها در فصل ۳ ذکر شده است در رابطه با دیوارهای فراساحلی نیز مصداق دارد با این تفاوت که به دلیل عرض نوار ساحلی قابل توجه در پشت دیوارهای ساحلی، محدودیتها برای عملکرد ماشین‌آلات و نیروی انسانی کمتر است. در صورتی که شرایط ژئوتکنیکی بستر در محل احداث دیوار به گونه‌ای باشد که نیاز به تحکیم داشته باشد، استفاده از شیوه‌های تحکیم نظیر پیش‌بارگذاری یا زهکشی را باید در برنامه اجرایی و زمانبندی اجرا لحاظ کرد. در چنین شرایطی استفاده از قطعات پیش ساخته در صورت امکان به تسریع در اجرا کمک خواهد کرد.

به دلیل سهولت اجرای دیوارهای ساحلی در خشکی (دور از منطقه جزر و مدی) تمایل بیشتری به اجرای دیوار خشکی وجود دارد در این حالت می‌بایست بین صرفه‌جویی ناشی از احداث دیوار خشکی و هزینه ساحل قربانی شونده یک مقایسه اقتصادی صورت گیرد. شکل ۱۵-۶ مراحل مختلف اجرای یک دایک ساحلی را نشان می‌دهد.



شکل ۱۵-۶ مراحل مختلف اجرای یک دایک

◀ ۱۵-۵ رفتارسنجی و نگهداری دیوارهای ساحلی

یک برنامه جامع نگهداری از دیوارهای ساحلی شامل مراحل ذیل می‌باشد:

- ۱- تدوین سیاست اصولی نگهداری
- ۲- تدوین برنامه رفتارسنجی برای شرایط بارگذاری معمولی و تحت شرایط حاد طوفانی
- ۳- برنامه تعمیر سازه برای شرایط معمولی و آسیبهای ناشی از طوفانهای حاد
- ۴- تصمیم‌گیری در مورد پایان عمر مفید سازه و جایگزینی آن

◀ ۱۵-۱ رفتارسنجی دیوارهای ساحلی

برای رفتارسنجی دیوارهای ساحلی، مجموعه‌ای از اقدامات زیر می‌بایست صورت گیرد:

- ۱- نقشه برداری موقعیت کلی سازه: قرائت مختصات ۳ تا ۱۰ نقطه ثابت و مشخص واقع در طول سازه نسبت به حداقل دو نقطه مبنایی (B.M) دور از ساحل، برای تعیین نشست و یا جابه جاییهای محوری سازه.
- ۲- پروفیل برداری از مقطع: برداشت حداقل ۳ پروفیل عرضی و یک پروفیل طولی از محور دیوار ساحلی برای تعیین تغییر شکل دیوار و مقدار تخریب لایه آرمور (در دیوار ساحلی سنگی یا دایکها).
- ۳- معاینه ظاهری سازه: بررسی موقعیت و حالت لایه های آرمور و پنجه، مخصوصاً سنگهای ناپایدار، اندازه و موقعیت فواصل بیش از حد مجاز بین سنگهای آرمور و میزان آسیب وارده به لایه های آرمور و فیلتر، معاینه قطعات بتنی یا فولادی و بررسی نحوه خوردگی یا سایش و تعیین درصد تخریب دیوار.
- علاوه بر موارد فوق الذکر، برای رفتارسنجی بهتر است عوامل بارگذاری محیط شامل سطح آب، مشخصات امواج و مشخصات بادهای منطقه نیز به طور مداوم اندازه گیری شده و ثبت شوند. با انجام رفتارسنجی برنامه ریزی شده که با گذشت سالهای عمر سازه می بایست در فواصل زمانی کوتاه تری صورت گیرد می توان یک تخمین منطقی از طول عمر مفید سازه حاصل نمود.

۱۵-۵-۲ تعمیرات دیوارهای ساحلی

لازم به ذکر است که در طراحی بهینه می بایست انواع تعمیرات و خصوصاً هزینه آنها در نظر گرفته شود. در دیوارهای ساحلی سنگی معمولاً از نقطه نظر اقتصادی به صرفه است تا تنها، لایه آرمور، مورد تعمیر قرار گیرد. برای تعمیر لایه آرمور، یک موضوع مهم، وجود دسترسی به سنگهای آرمور اضافی می باشد. بسیار اقتصادی خواهد بود اگر که در زمان ساخت اولیه سازه، مقادیری سنگ آرمور در نزدیکی سازه برای استفاده در تعمیرات بعدی دپو شوند تا از هزینه استخراج و حمل تعداد نسبتاً کمی سنگ از معدن تا محل سایت در زمان تعمیرات جلوگیری به عمل آید.

در مورد دیوارهای ساحلی بتنی نیز دپو کردن تعدادی از قطعات پیش ساخته بتنی برای استفاده در تعمیرات آتی توصیه می شود. در مورد دیوارهای ساحلی با استفاده از سپرهای فولادی و یا دیوارهای

ساحلی بتنی می‌بایست توجه خاصی به مباحث خوردگی و ساییدگی مبذول داشت. رنگ‌آمیزی دوره‌ای برای سپرهای فولادی، عامل مهمی در نگهداری و افزایش عمر سازه می‌باشد.

۱۶

دیواره لغزش گیر ساحلی

۱۶-۱ معرفی

یکی از مکانیزمهای تخریب سواحل، لغزش زمینهای ساحلی به داخل دریا و فرسایش اراضی ساحلی در مقابل هجوم امواج می‌باشد. از سازه‌هایی که برای جلوگیری از تخریبهای فوق مورد استفاده قرار می‌گیرند، دیوارهای لغزش گیر ساحلی می‌باشند. هدف اولیه از اجرای این دیوارهای ساحلی، تثبیت خط ساحلی و محافظت از لغزش زمین بوده و هدف ثانویه آن تلاش برای محافظت زمین ساحلی در مقابل هجوم امواج می‌باشد.

دیوارهای لغزش گیر، عموماً به صورت قائم و با شیوه شمع کوبی در امتداد موازی خط ساحل ساخته می‌شود و در واقع نقش دیوار حایل را برای خاک پشت خود پیدا می‌کند. این دیوارها معمولاً در جاهایی با شرایط زیر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

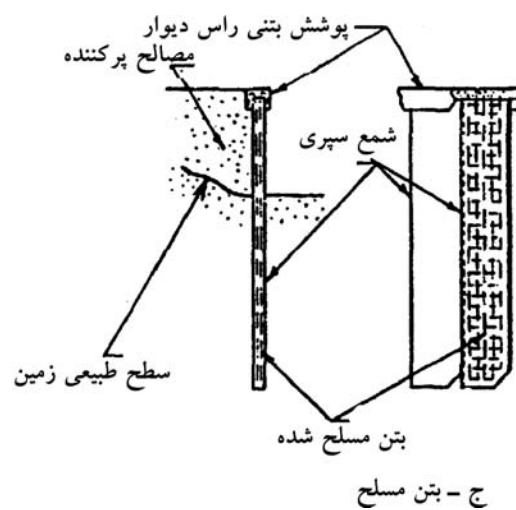
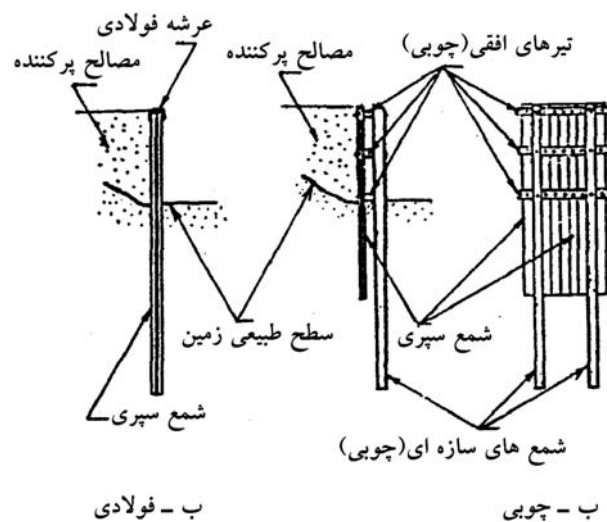
- ۱- فرسایش در بخش پیشانی ساحل اتفاق افتاده باشد که استفاده از این سازه، زمینه حفاظت از زمینها و تأسیسات پشت پیشانی ساحل را ایجاد می‌کند.
 - ۲- پیشانی ساحل در معرض اصابت امواج و فرسایش موضعی قرار گرفته باشد که استفاده از این سازه باعث حفاظت ساحل در مقابل امواج می‌گردد.
- مهم‌ترین اثر احداث این سازه‌ها بر ساحل، افزایش عمق طبیعی ساحل در پای دیوار می‌باشد. این افزایش در اثر عملکرد امواج پس از اصابت به دیوار و آب‌شستگی موضعی پی ایجاد می‌شود. بنابراین پایه دیوارهای لغزش گیر ساحلی می‌بایست تا زیر عمق آب‌شستگی ادامه یابد.

۱۶-۲ انواع دیوارهای لغزش گیر

از نظر پایداری سازه و نحوه اجرا، دیوارهای لغزش گیر ساحلی به سه نوع اصلی تقسیم می‌شوند:

◀ ۱-۲-۱۶ دیوارهای لغزش گیر طره‌ای

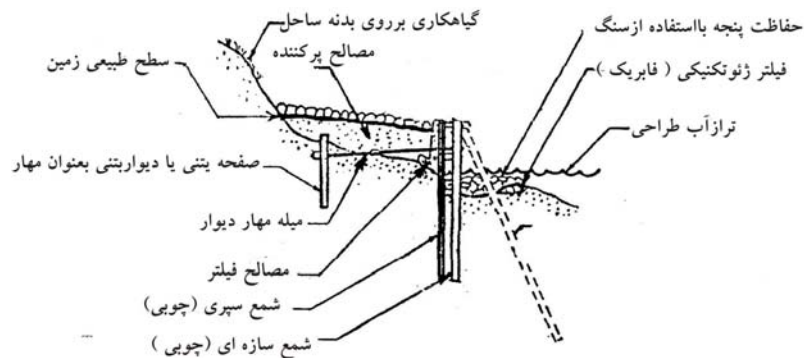
شامل یک دیوار شیت پایلی بوده و پایداری آن منحصراً به وسیله نفوذ شیت پایل به داخل خاک تأمین می‌شود. بسته به جنس شیت پایل انواع چوبی، بتنی و فولادی این دیوارها ساخته می‌شوند، (شکل ۱-۱۶).



شکل ۱-۱۶ دیوارهای لغزش گیر ساحلی از نوع طره‌ای

◀ ۲-۲-۱۶ دیوارهای لغزش گیر مهار شده

این گونه دیوارها شبیه دیوارهای طره‌ای هستند، با این تفاوت که پایداری آنها در مقابل رانش افقی خاک به وسیله یک یا چند مهار جانبی تأمین می‌شود. در این نوع دیوارها صفحات مهاری به اندازه کافی دور از سازه اصلی نصب می‌شوند، (شکل ۲-۱۶).

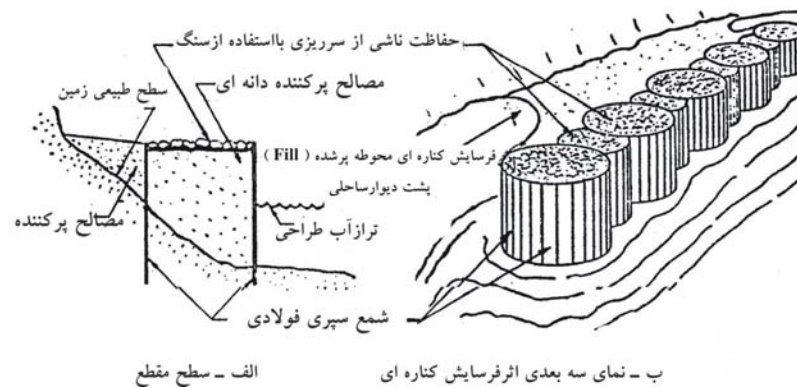


شکل ۲-۱۶ دیوار لغزش گیر ساحلی از نوع مهار شده

◀ ۳-۲-۱۶ دیوارهای لغزش گیر ثقلی

این گونه دیوارها شامل سلولهای شیت پایلی یا صندوقه‌های پر شده از مصالح دانه‌ای می‌باشد. فرم و شکل این گونه دیوارها بستگی به وزن و عرض پایه آنها برای تأمین ایستایی در مقابل واژگونی و افزایش اصطکاک با خاک زیر سازه برای جلوگیری از لغزش به سمت دریا دارد. این نوع دیوارها در سواحل با بستر مقاوم کاربرد دارند (شکل ۳-۱۶).

بر حسب نوع مصالح، دیوارهای لغزش گیر ساحلی به سه نوع چوبی، بتنی و فولادی تقسیم می‌شوند. انتخاب نوع مصالح تابع شرایط محلی، نوع پروژه و ملاحظات اقتصادی است. در انتخاب نوع مصالح، عمر مفید سازه و خوردگی محیط دریایی می‌بایست مد نظر قرار گرفته و پوشش لازم یا سایر تدابیر منطقی در مقابل خوردگی تأمین شود.



شکل ۱۶-۳ دیوار لغزش گیر ساحلی از نوع نقلی

◀◀ ۱۶-۳ طراحی اولیه دیوارهای لغزش گیر

◀ ۱۶-۳-۱ طراحی هندسی دیوارهای لغزش گیر

۱۶-۳-۱-۱ جانمایی سازه

در جانمایی دیوار لغزش گیر ساحلی به غیر از حفاظت از سواحل در معرض تخریب، به اراضی مجاور نیز باید توجه داشت. در صورتی که اراضی مجاور از اهمیت کافی برخوردار باشند، امتداد دیوار بایستی به اندازه لازم سواحل مجاور را پوشش داده و یا با استفاده از سازه‌های دیگری نظیر آب‌شکن یا سنگریزی به تثبیت ساحل اقدام نمود.

در جانمایی دیوار ساحلی از تعبیه هر گونه زاویه تند یا شکستگی در امتداد طولی دیوار حتی‌الامکان اجتناب گردد. به منظور کاهش شیب ساحل و فشار فعال خاک پشت دیوار می‌توان دیوار را به سمت دریا انتقال داد، ولی انتخاب موقعیت دیوار نسبت به خط ساحل نهایتاً بر اساس ملاحظات اقتصادی و اجرایی صورت می‌گیرد.

باید دقت داشت که دو انتهای دیوار لغزش گیر ساحلی تحت زاویه مساوی یا بزرگتر از 90° به اندازه کافی به داخل ساحل امتداد یابد تا از فرسایش جناحی در انتهای دیوار جلوگیری شود.

۱۶-۳-۱-۲ ارتفاع دیوار لغزش گیر ساحلی

همانند دیگر دیوارهای ساحلی، در مورد دیوار لغزش گیر نیز لزومی به ترفیع دیوار به نحوی که مانع از سرریز موج شود نمی‌باشد. بنابراین تراز فوقانی دیوار لغزش گیر با در نظر گرفتن دامنه جزر و مد، برکشند طوفان، اثر امواج بازتاب شده از دیوار و بالاروی موج می‌باید به گونه‌ای طراحی گردد که اجازه سرریزی موج را به مقداری دهد که مانع از تخریب دیوار شود. در صورت در نظر گرفتن روگذری موج از دیوار، تمهیدات لازم برای زهکشی و تخلیه بی‌ضرر آب سرریز شده در طراحی اندیشیده شود، (رجوع شود به ۱۶-۳-۱-۲).

۱۶-۳-۱-۳ دسترسی به ساحل

دیوارهای لغزش گیر ساحلی ارتباط مستقیم با ساحل را قطع می‌کنند. اگر دسترسی از پشت دیوار به ساحل مورد نیاز باشد، طراحی و اجرای پله‌هایی به این منظور باید مد نظر قرار گیرد.

۱۶-۳-۲ طراحی سازه‌ای دیوارهای لغزش گیر

به طور کلی این گونه سازه‌ها می‌بایست در مقابل بدترین شرایط فیزیکی که برای ساحل ایجاد خرابی و خسارت می‌کند مقاومت نمایند. به عنوان حداقل شرایط، سازه حفاظتی مورد نظر می‌بایست در مقابل شرایط تخریبی که دارای احتمال وقوع (۵۰٪) در طول عمر مفید سازه می‌باشد مقاومت نماید. به علاوه در طول شرایط احتمالی حاد که در اثر هر حادثه‌ای به وجود آید سازه نمی‌بایست منهدم گردد. پارامترهای مؤثر در طراحی سازه‌ای دیوار ساحلی لغزش گیر عبارتند از: مشخصات امواج شامل ارتفاع و پریود، مشخصات ژئوتکنیکی خاک بستر ساحل، جزر و مد و به طور کلی تغییرات دوره‌ای سطح آب، سرریزی موج، باد و اثر ضربه اجسام شناور به دیوار، مشخصات ژئوتکنیکی مصالح پشت دیوار، اثر زلزله، تراز آب زیرزمینی، نوع مصالح تشکیل دهنده دیوار، روشهای اجرا و نهایتاً هزینه ساخت.

۱۶-۳-۱-۱ طراحی مقطع دیوار لغزش گیر ساحلی

مقطع دیوار لغزش گیر ساحلی دقیقاً همانند مقطع اسکله‌های سپری طراحی می‌شود با این تفاوت که ارتفاع این دیوارها عموماً کوتاه‌تر بوده و اثر ضربه کشتی در طراحی این دیوارها منظور نمی‌شود. برای

- جزئیات مربوط به طراحی مقطع دیوارهای لغزش‌گیر ساحلی به فصل طراحی اسکله همین آیین‌نامه رجوع شود. در اینجا صرفاً به ذکر توصیه‌های کلی در زمینه طراحی این دیوارها اشاره می‌شود:
- ۱- از آنجایی که مکانیزم عمده خرابی دیوارهای لغزش‌گیر، لغزش توده خاک پشت دیوار می‌باشد، کنترل پایداری کلی سازه تحت اثر نیروهای استاتیکی و دینامیکی وارده به دیوار ضروری بوده و طول گیرداری دیوار درون خاک برای تأمین پایداری کلی می‌بایست محاسبه شود.
 - ۲- یک دیوار لغزش‌گیر ساحلی می‌بایست در مقابل اثرات فرسایش موضعی امواج در پنجه دیوار مقاومت نماید. بنابراین اگر دیوار بدون حفاظت پنجه طراحی می‌شود، بایستی طول گیرداری شیت پایلها با در نظر گرفتن فرسایش پنجه محاسبه شود. در این حالت به طول لازم برای گیرداری شیت پایل، به اندازه H_s نیز بایستی اضافه شود.
 - ۳- در شرایطی که پنجه دیوار لغزش‌گیر با استفاده از سنگ‌ریزی، توری سنگ یا کیسه‌های شن حفاظت شود، نیاز به افزایش عمق دیوار برای مقابله با فرسایش نیست. در این شرایط عرض محافظتی پنجه برای شیت پایلها دو برابر ارتفاع موج و برای دیوارهای ثقلی برابر ارتفاع موج پای سازه در نظر گرفته شود. ضخامت لایه محافظ می‌بایست حداقل (۴۰٪) عمق آب در پای سازه در نظر گرفته شود. لازم به ذکر است در محاسبات طراحی دیوار، فشار غیر فعال ناشی از این لایه محافظ نباید در نظر گرفته شود.
 - ۴- جهت جلوگیری از فرار مصالح پشت دیوار در اثر عملکرد آب و امواج و همچنین به منظور جلوگیری از فرسایش مصالح پنجه دیوار و نهایتاً به منظور تخلیه آب سرریز شده امواج، پیش‌بینی یک سیستم زهکشی مناسب در طراحی ضرورت دارد. استفاده از مصالح درشت‌دانه (فیلتر شنی) در پشت دیوار و تعبیه سوراخهای زهکشی در تراز زیر **M.L.W** می‌تواند یک راه حل عمومی باشد. برای جزئیات طرح زهکشی به مرجع [۱۳۶] مراجعه شود.
 - ۵- مقطع طراحی شده برای شرایط مختلف اجرا و بهره‌برداری، از جمله بارگذاری ناشی از کوبش در حین اجرا و بارگذاری خاص در هنگام حمل قطعات (برای شیت پایلهای بتنی) کنترل گردد.

۱۶-۳-۲-۲ انتخاب مصالح

در ساخت دیوارهای لغزش گیر ساحلی بسته به نوع دیوار از مصالح متفاوتی نظیر چوب، فولاد، شن و ماسه و بتن استفاده می‌شود. در خصوص مصالح، رعایت موارد زیر توصیه می‌شود:

- ۱- از آنجایی که دیوارهای بتنی در معرض سایش قرار دارند، استفاده از بتن مقاوم در مقابل ساییدگی ارجحیت دارد. به کار گرفتن سنگدانه‌های تیز گوشه نظیر شن شکسته و استفاده از سیمان میکروسیلیس، سیمان سرباره‌ای یا سیمان پرتلند تیپ ۲ به افزایش مقاومت سازه کمک می‌کند.
- ۲- در دیوارهای لغزش گیر با شیت پایل فولادی، استفاده از فولادهای با تنش تسلیم بالا و مقاوم در برابر خوردگی توصیه می‌شود. پوشش شیت پابلها با اپوکسی و پوششهای مقاوم در برابر خوردگی خصوصاً در ناحیه جزر و مدی به افزایش عمر مفید دیوار کمک می‌کند.

۱۶-۴ اجرای دیوار لغزش گیر ساحلی

اجرای دیوارهای لغزش گیر، معمولاً از خشکی صورت می‌گیرد و برای کوبیدن عناصر تشکیل دهنده دیوار لغزش گیر غالباً از دستگاههای شمع کوب، بهره گرفته می‌شود. در صورتی که خاک بستر از مصالح درشت‌دانه نظیر شن و ماسه تشکیل شده باشد، شمع کوبهای ویراتوری بیشترین راندمان را دارند. از شمع کوبهای دیزلی بیشتر در خاکهای چسبنده و سفت استفاده می‌شود. انتخاب نوع و ظرفیت شمع کوب تابع نوع خاک و سطح مقطع و طول شیت پایل و جنس آن می‌باشد. در مورد اجرای دیوار لغزش گیر ساحلی همچنین به بخش ۱۵-۴ رجوع شود.

۱۶-۵ نگهداری و رفتارسنجی دیوار لغزش گیر ساحلی

برای نگهداری و رفتارسنجی این نوع دیوارها رجوع گردد به بخش ۱۵-۵.

۱۷

پوششهای حفاظتی

۱۷-۱ معرفی

بنا به تعریف، استفاده از انواع پوشش‌ها برای محافظت و پایدار کردن شیب‌هایی است که در معرض اثر امواج و جریان‌ات دریایی قرار دارند. پوشش‌های حفاظتی انواع گوناگونی دارند. این پوشش‌ها باید حتی‌المقدور ویژگی‌های زیر را داشته باشند.

- پایداری
 - تغییر شکل‌پذیری (تحمل نشست بدون به مخاطره افتادن پایداری)
 - سازگاری با محیط اطراف
 - امکان بازرسی خرابی
 - سهولت تعمیر و نگهداری (موضعی بودن خرابی)
 - هزینه ساخت و نگهداری کم
 - تأمین ایمنی کلی
 - سایر کاربری‌های مورد نیاز
- یک پوشش حفاظتی مناسب آن است که بتواند تعداد بیشتری از نیازهای فوق را برآورده نماید.

۱۷-۲ انواع پوشش‌های حفاظتی

پوشش‌های حفاظتی را می‌توان به دو گروه کلی سازه‌ای و غیر سازه‌ای تقسیم‌بندی کرد. پوشش‌های غیر سازه‌ای به دو دسته پوشش‌های گیاهی (بیولوژیک) و تثبیت‌کننده‌های خاک، قابل تقسیم‌بندی هستند. پوشش‌های سازه‌ای نیز خود به دو دسته صلب و تغییرشکل‌پذیر قابل تقسیم‌بندی هستند که در بند ۱۷-۲-۲ از آنها گفتگو به میان خواهد آمد.

عموماً پوشش‌های حفاظتی غیر سازه‌ای در شیب‌هایی به کار می‌روند که امواج قابل توجهی با آنها برخورد نمی‌نماید. این وضعیت در حفاظت سواحل رودخانه، آبراه‌های داخلی یا در مناطق حفاظت شده

دریایی مصداق دارد. از پوششهای حفاظتی سازه‌ای در محللهایی استفاده می‌شود که ارتفاع امواج و انرژی آنها در برخورد با ساحل قابل توجه است.

◀ ۱۷-۲-۱ پوششهای حفاظتی غیرسازه‌ای

۱۷-۲-۱-۱ پوششهای گیاهی

استفاده از پوششهای گیاهی جهت حفاظت از سواحل، شاخه‌ای از **Bio Engineering** محسوب می‌شود. استفاده از پوششهای حفاظتی گیاهی در مقایسه با روشهای مرسوم در مهندسی، هزینه اولیه کمتری برمی‌دارد ولی ممکن است هزینه‌های نگهداری آنها در درازمدت (نظیر بازمینی، تعمیرات، هرس کردن) بیشتر باشد.

باید توجه داشت که برای حفاظت مؤثر از ساحل با توجه به تغییرات محتمل در وضعیت خاک نوار ساحلی، ممکن است استفاده همزمان از روشها یا پوششهای گیاهی مختلف ضروری باشد. پوششهای گیاهی که برای حفاظت از ساحل مورد استفاده قرار می‌گیرند عبارتند از:

- گیاهان آبی

- چمن

- نیزار و علفزار

- بوته

- درخت

استفاده از پوششهای گیاهی جهت حفاظت از سواحل با توجه به آنکه گیاهان باید به رشد حداقلی برسند تا قادر به ایفای وظیفه خود باشند ایجاب می‌نماید که در طول یک یا چند فصل رشد گیاهان کاشته شده مورد مراقبت قرار گیرند. این مسئله ممکن است یکی از معایب استفاده از پوششهای گیاهی یا بیولوژیک محسوب شود.

مراحل حفاظت از ساحل با استفاده از پوششهای گیاهی به شرح زیر است:

- انتخاب نوع گیاه

- تعیین ویژگی‌های موجود و لازم برای خاک

- آماده کردن سطح

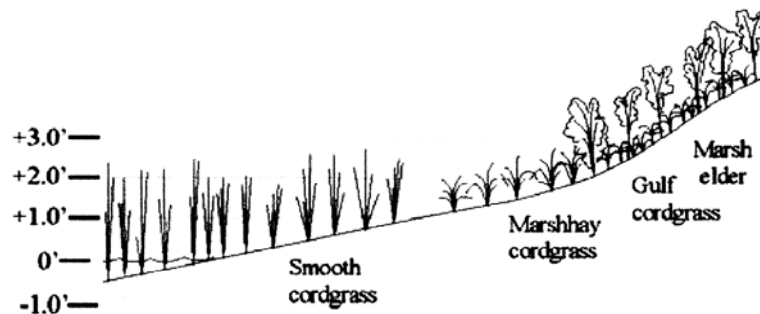
- استقرار پوشش گیاهی

انتخاب نوع گیاه به جنس خاک، وضعیت آب و هوا، شیب ساحل، تغییرات تراز آب و شرایط اقلیمی دیگر بستگی دارد. برای انتخاب نوع گیاه، پروفیل خاک حداقل تا عمق ۰/۵ متری بایستی مشخص باشد. همان‌طور که در شکل ۱۷-۱ نشان داده شده، هر تراز از ساحل، نوع خاصی از پوشش گیاهی را اقتضا می‌کند. گیاهان آبی به گیاهانی اطلاق می‌شود که ریشه آنها همیشه در آب قرار دارد. این گیاهان در حفاظت از پای شیب می‌توانند نقش مؤثری داشته باشند. استفاده از چمن در حفاظت از ساحل، خصوصاً مناطق بالاتر از سطح متوسط آب، بسیار معمول است. برای تثبیت بهتر چمن در خاکهای ماسه‌ای از بلوکهای بتنی و ژئوتکستایل نیز استفاده شده است.

برای آنکه چمنها به نحو مناسبی اجرا شوند نرخ تخم‌افشانی بایستی یکنواخت باشد. تجربه نشان داده است که تخم‌افشانی صحیح نقش به‌سزایی در کیفیت حفاظت ساحل خواهد داشت. تخمها بایستی زیر پوششی از خاک به ضخامت حدود ۱۰ میلیمتر قرار گیرند. تخم‌افشانی در شیبهای تندتر از ۱:۴ مشکل است، به همین دلیل در شیبهای تند باید از روشهای دیگر مانند **Hydroseeding** استفاده کرد. در این روش، تخم چمن به همراه آب و سایر مواد مضاف به وسیله یک پمپ با فشار زیاد روی شیبهای ساحل پاشیده می‌شود.

نیزار یکی از پوششهای مؤثر در حفاظت از سواحل خاکی به شمار می‌رود. نیزارها با ارتفاع زیاد و نیز به صورت انبوه می‌توانند در حفاظت ساحل، خصوصاً در ترازهای که در معرض تغییرات مداوم سطح آب است به کار روند.

بوته‌ها و درختها معمولاً در ترازهای بالای شیبهای ساحلی به کار برده می‌شوند، چون ریشه این گیاهان غالباً بایستی بیرون از آب قرار گیرد. کاشتن بوته یا درخت نیز با توجه به نوع خاص آنها بایستی در ردیفهای منظم با فواصل مشخص صورت گیرد.



شکل ۱۷-۱ حفاظت ساحلی و پوشش گیاهی

۱۷-۲-۱-۲ تثبیت کننده‌های خاک

استفاده از تثبیت کننده‌های خاک روش دیگری برای حفاظت از سواحل از نوع غیر سازه‌ای است. هدف اصلی در این روش تقویت خاک ساحل و بهبود پارامترهای مکانیکی آن است تا به میزان پایداری آن افزوده شود. عمل تراکم که موجب کاهش حفرات خالی داخل خاک و افزایش وزن مخصوص خاک می‌گردد، خود موجب بهبود مقاومت و پایداری خاک شده و می‌تواند به تنهایی یا همراه با روشهای دیگر برای تثبیت و مقاوم‌سازی خاک به کار رود.

تثبیت کننده‌های خاک را می‌توان به چهار دسته زیر تقسیم‌بندی کرد:

- خاک سیمان
- خاک آهک
- خاک قیر
- خاک امولسیون

استفاده از تثبیت کننده‌های فوق در مقایسه با حفاظت بیولوژیک از سازگاری کمتری با محیط اطراف برخوردار است. اثرات زیست‌محیطی استفاده از سیمان، آهک یا سایر تثبیت کننده‌های خاک بر اکوسیستم، قبل از کاربرد این مواد بایستی مورد بررسی قرار گیرد.

خاک سیمان (یا خاک آهک) یک پوشش حفاظتی است که از مخلوط کردن خاک محل با (۸٪ تا ۱۵٪) سیمان (یا آهک) ساخته می‌شود. گاهی نیز از بلوکهای خاک سیمان که از متراکم نمودن مصالح

محلی و سیمان و آب ساخته می‌شود برای محافظت از ساحل استفاده می‌کنند. این روش برای سالیان متمادی خصوصاً در منطقه آسیا مورد استفاده قرار گرفته است. با استفاده از خاک سیمان، پوششی به ضخامت ۳۰ تا ۴۵ سانتیمتر در سطح تسطیح شده شیب ساحلی ایجاد می‌کنند. گاهی نیز شیب را به صورت پله‌هایی به ارتفاع ۱۵ تا ۲۰ سانتیمتر و به عرض ۲/۵ تا ۳/۰ متر درمی‌آورند. روش اجرای کار به این صورت است که مخلوط خاک سیمان را به وسیله اسکرپیر یا دامپر ریخته و سپس آن را با گریدر تسطیح و پروفیله کرده و در نهایت با چند بار عبور دادن غلتک متراکم می‌نماید.

استفاده از پوشش خاک قیر، سابقه‌ای طولانی دارد. مزیت استفاده از قیر نسبت به سایر تثبیت کننده‌های خاک آن است که علاوه بر ایجاد پایداری قادر است که انعطاف‌پذیری نیز در پوشش حفاظتی ایجاد نماید. برای ایجاد انعطاف‌پذیری مورد نظر بایستی درصد قیر به کار رفته زیاد باشد.

ضخامت پوشش‌های حفاظتی قیری را می‌توان از رابطه زیر تعیین نمود [۱۲۰]:

حداقل درصد قیری که بایستی به کار رود به شرح زیر است:

(۳٪) وزن سنگ شکسته

(۶٪) وزن ماسه درشت

(۹٪) وزن ماسه ریز

(۱۲٪) وزن ماسه خیلی ریز (۷۵ تا ۲۰۰ میکرون)

(۱۴٪) وزن فیلر (کوچکتر از ۷۵ میکرون)

برای چسبیدن قیر به دانه‌های سنگی بهتر است قبل از مخلوط کردن، هر دو را گرم کرد. نوع قیری که به کار می‌رود با درجه نفوذ متوسط یعنی قیر 60/70, 50/60 و یا 80/100 می‌باشد که با توجه به شرایط آب و هوای محلی انتخاب می‌شود. لازم به ذکر است، پوشش‌های قیری در ضخامت‌های زیاد نبایستی به کار روند چون روان شده و تغییر شکل‌های زیادی در آنها حادث خواهد شد.

خاک - امولسیون تا حدی مشابه خاک - قیر می‌باشد. امولسیون مورد نظر از ذرات قیر یا هیدروکربورهای مشابه که در مایعی مانند آب به صورت مخلوط قرار دارند تشکیل یافته است. در کاربرد امولسیون به حرارت نیازی نیست و امولسیون مستقیماً بر روی خاک پاشیده می‌شود. پس از تبخیر آب، روکشی از قیر بر روی سطح خاک باقی می‌ماند.

از آنجا که قیر به آسانی در هیدروکربورهای سبک‌تر حل می‌شود به همین دلیل استفاده از این نوع پوششهای حفاظتی در بنادر نفتی توصیه نمی‌شود، چون هیدروکربورهای شناور بر سطح آب می‌تواند موجب زوال تدریجی این‌گونه پوششها شود. در بنادری که هیدروکربورهای شناور در سطح آب داخل حوضچه وجود دارد استفاده از سیمان یا آهک در تثبیت خاک ارجح است.

پوششهای حفاظتی خاک قیر و خاک امولسیون در مقابل اثرات مکانیکی و شیمیایی و بیولوژیکی از سیمان یا آهک مقاوم‌تر هستند.

◀ ۱۷-۲-۲ پوششهای حفاظتی سازه‌ای

۱۷-۲-۲-۱ پوششهای قابل انعطاف

پوششهای تغییرشکل‌پذیر، انواع مختلف دارند. ویژگی اصلی این پوششها آن است که قابلیت پذیرش تغییر شکلهایی نظیر نشست و ناپایداری موضعی را دارند بدون آنکه تأثیری بر عملکرد آنها از نظر حفاظت شیب داشته باشد. پوششهای معمول این گروه عبارتند از:

- سنگ‌چین
- بلوکهای بتنی
- شن
- توری سنگ
- دال آسفالتی
- کیسه‌های حاوی ماسه یا بتن
- ژئوستتیکها

استفاده از سنگ‌چین برای محافظت شیب طبیعی سواحل و یا شیب دایکها مشابه استفاده از آرمور در موج‌شکنها می‌باشد. اگر ابعاد قطعات سنگ زیاد باشد، لازم است که حد فاصل لایه سنگی و خاک بستر یک لایه فیلتر به کار رود یا از لایه‌های ژئوتکستایل استفاده شود.

در مناطقی که امکان تهیه سنگ وجود ندارد و یا معدن سنگ مناسب در فاصله معقولی موجود نیست، استفاده از بلوکهای بتنی می‌تواند اقتصادی باشد. گاهی بلوکهای بتنی طوری ساخته می‌شوند که در هم قفل و بست شوند و یا با استفاده از کابل و طنابهایی به هم متصل می‌گردند. برای قفل و بست شدن بلوکهای بتنی بایستی آنها را به طور منظم در کنار یکدیگر قرار داد. چند نمونه از این نوع پوشش‌های حفاظتی در شکل ۱۷-۲ نشان داده شده است.

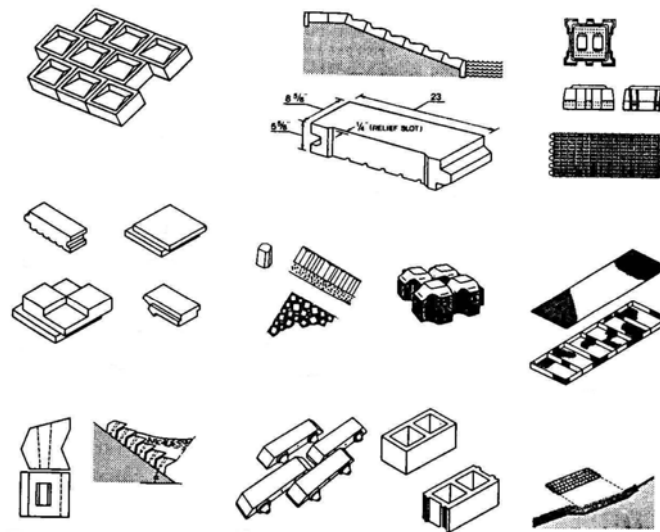
توریسنگ به دلیل باربری خوب و نفوذپذیری زیاد یکی از سازه‌هایی است که جهت پایدارسازی شیبها مورد استفاده قرار می‌گیرد. توریسنگ مورد استفاده جهت حفاظت سواحل، معمولاً به صورت تشک می‌باشد. ضخامت این توریسنگها حدود ۱۵ تا ۵۰ سانتیمتر بوده و طول و عرض آنها به چندین متر می‌تواند بالغ شود. برای دوام توریهای فلزی در مقابل شرایط خورنده سواحل از غلافهای ویژه‌ای مانند روکش پلاستیکی، روکش PVC یا روکش گالوانیزه جهت مقابله با زنگ‌زدگی و خوردگی استفاده می‌شود. مصالح سنگی به کار رفته در توریسنگ نیز باید دارای دوام کافی در مقابل شرایط اقلیمی باشند.

استفاده از کیسه‌های حاوی ماسه، همواره آسان‌ترین روش برای جلوگیری از پیشروی آب، خصوصاً در سیلابها بوده است. امروزه استفاده از کیسه‌های حاوی ماسه یا بتن که روی هم چیده می‌شوند یا لحافهایی که بتن در داخل آنها تزریق می‌شود به عنوان یکی از روشهای حفاظت از ساحل مطرح می‌باشد. دال آسفالتی یکی از روشهای قدیمی در محافظت از شیبهای ساحلی می‌باشد. دال آسفالتی می‌تواند درشت‌دانه و نفوذپذیر و یا ریزدانه و نسبتاً نفوذناپذیر باشد. انتخاب نوع آسفالت به کار رفته به شرایط محیطی و معیارهای طراحی بستگی دارد که در بخش ۱۷-۳ در مورد آن بیشتر توضیح داده می‌شود.

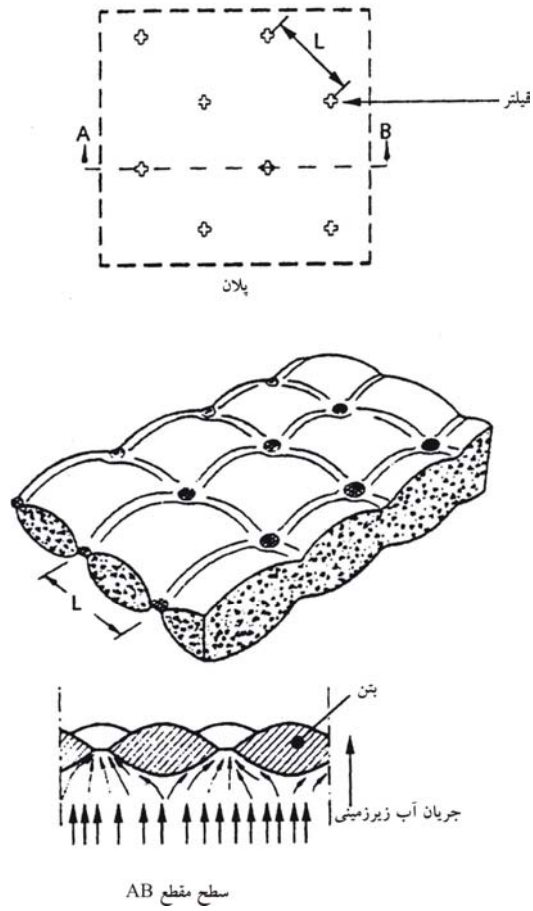
استفاده از شن در حفاظت از ساحل ایده‌ای نسبتاً جدید است. فلسفه استفاده از شن در واقع حلقه واسط بین سنگ‌چین و تغذیه مصنوعی ساحل می‌باشد. در این روش شیب ساحلی تا ارتفاع مناسبی با شن پوشیده می‌شود و اثر امواج ضمن شستن مقداری از شن، باقیمانده آن را به شکل هندسی پایداری می‌رساند. به همین دلیل به این نوع پوشش، پوشش حفاظتی پویا اطلاق می‌شود.

انواع ژئوسنتتیکها به تنهایی یا همراه بقیه پوششها (به عنوان فیلتر) برای محافظت از سواحل به کار

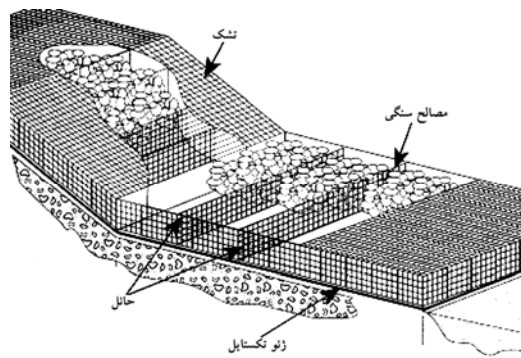
می‌روند.



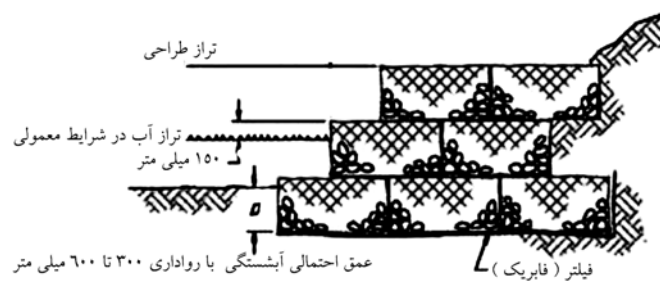
شکل ۱۷-۲ انواع بلوکهای بتونی برای حفاظت ساحل



شکل ۱۷-۳ استفاده از کیسه بتن در حفاظت ساحل



شکل ۱۷-۴ استفاده از توربستگ در حفاظت ساحل



ادامه شکل ۱۷-۴ استفاده از توریسنگ در حفاظت ساحل

۱۷-۲-۲ پوششهای صلب

این نوع پوشش عمدتاً به دال بتن مسلح اطلاق می‌شود که بر روی بستر خاکی آماده شده ریخته میشود. دانه‌بندی بتن و کیفیت آن باید طوری باشد تا در مقابل اثرات فرسایشی امواج و جریانات دریایی مقاومت کافی را دارا باشد. پنجه شیب در پوششهای صلب بایستی به نحوی ساخته شود که پایداری مناسبی برای دال بتنی فراهم آورد.

نکته مهم در مورد دالهای بتنی صلب اثر نیروی برکنش یا بالا برنده است که توسط آب از زیر به دال تأثیر می‌کند و باید حتی‌المقدور اثر مخرب آن کاهش داده شود. به همین دلیل تمهیدات لازم جهت زهکشی خاک زیر دال باید به کار بسته شود.

۱۷-۳ طراحی اولیه پوششهای حفاظتی سازه‌ای

در انتخاب نوع بایستی محورهای زیر مورد توجه قرار بگیرد:

- ایمنی
- هزینه
- محیط زیست
- کاربری زمین

طبیعی است نوعی که جوابگوی موارد بیشتری باشد به عنوان گزینه بهتر برگزیده خواهد شد.

◀ ۱۷-۳-۱ طراحی ساختاری (نوع پوشش حفاظتی)

عموماً پوشش‌های حفاظتی غیر سازه‌ای (پوشش‌های بیولوژیک و تثبیت کننده‌های خاک) در شرایطی به کار می‌روند که درجه ایمنی بالا مورد نظر نیست. به عبارت دیگر ساحل تحت اثر امواج بلند و جریان‌ات دریایی شدید قرار ندارد. استفاده از پوشش‌های گیاهی مناسب جهت محافظت از شیب می‌تواند چشم‌انداز زیبایی را ایجاد نماید و با شرایط اکولوژیک محلی در سازگاری کامل باشد.

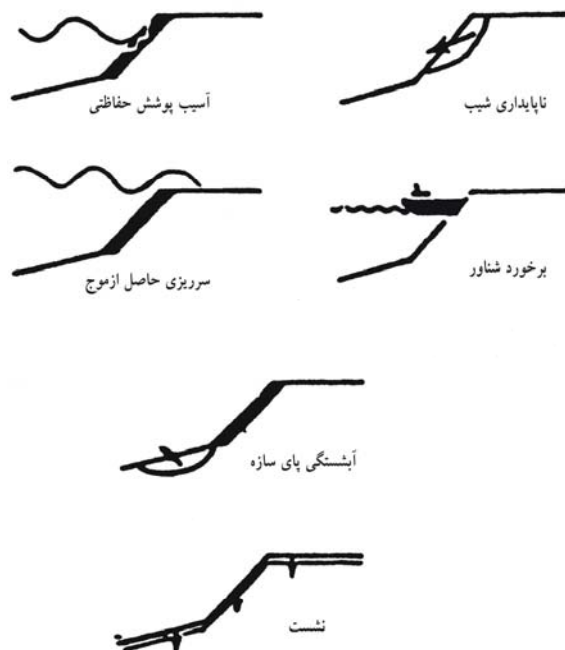
تثبیت کننده‌های خاک از درجه ایمنی نسبتاً بالاتری در مقایسه با پوشش‌های گیاهی برخوردار هستند. نوع تثبیت کننده (سیمان، آهک، قیر و ...) بر اساس هزینه و قابل دسترس بودن مصالح در محل پروژه تعیین می‌گردد. شیب محافظت شده به وسیله این مواد، غالباً قابلیت ایجاد فضای سبز را ندارد و در صورت لزوم بایستی کاربری دیگری برای آن اندیشیده شود. در مورد مصالح تثبیت کننده بایستی احتمال بروز اثرات سوء زیست‌محیطی مورد مطالعه کامل قرار گیرد.

در صورتی که شیب ساحل در معرض شرایط نامساعد محیطی مانند امواج بلند و جریان‌ات و طوفان‌های دریایی قرار دارد بایستی از پوشش‌های حفاظتی سازه‌ای استفاده شود تا ایمنی کافی جهت محافظت از شیب طبیعی یا مصنوعی ساحل و جلوگیری از فرسایش آن را فراهم آورد. اجرای پوشش‌های سازه‌ای غیر صلب که امکان بروز تغییر شکل محدودی در آنها وجود دارد معمولاً ساده‌تر بوده و با هزینه کمتری صورت می‌گیرد.

پوشش‌های سازه‌ای غیر صلب متنوع بوده (به بخش ۱۷-۲ رجوع شود) و انتخاب یکی از آنها با توجه به جنبه‌های فنی و اقتصادی صورت می‌گیرد. احداث دال بتن مسلح صلب به عنوان پوشش محافظ به علت صعوبت اجرا و لزوم تأمین شرایط فنی خاص نظیر جلوگیری از زنگ زدن میلگردها، تأمین مقاومت مصالح بتن در مقابل فرسایش و ... معمولاً با صرف هزینه‌های بیشتری همراه است و در نقاطی که شرایط نامساعد محیطی لزوم استفاده از آن را محرز نماید احداث می‌گردد.

◀ ۱۷-۳-۲ مکانیزم‌های خرابی

مکانیزم‌های خرابی پوشش‌های حفاظتی در شکل ۱۷-۵ نشان داده شده است.



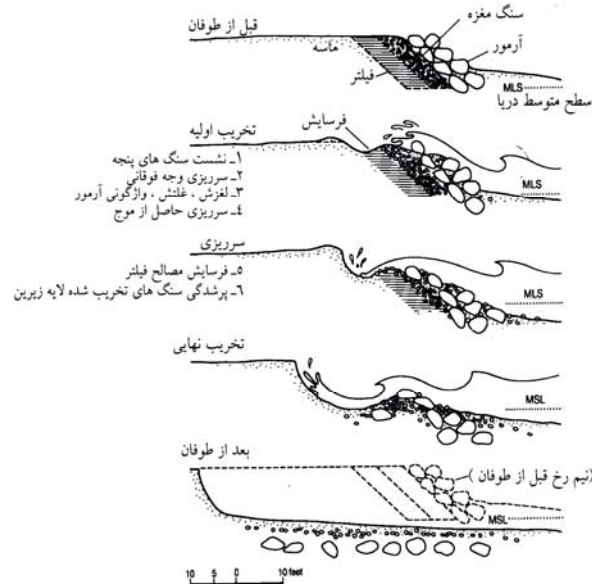
شکل ۱۷-۵ مکانیزمهای خرابی پوششهای حفاظتی

ذکر این نکته لازم است که در طراحی پوششهای حفاظتی میزان ریسک قابل قبول، بسیار بیشتر از میزان ریسک قابل قبول در طراحی دیوارهای ساحلی یا دایکها می‌باشد. در صورتی که دیوارهای ساحلی طوری طراحی شوند که فقط در یک طوفان یا سیل صد ساله احتمال خرابی آنها وجود داشته باشد، قبول خسارات جزئی سالانه به پوششهای حفاظتی، مسئله حادی را ایجاد نمی‌نماید.

از مکانیزمهای خرابی، مسئله ناپایداری شیب یک مسئله ژئوتکنیکی است که هنگام طراحی باید مورد بررسی قرارگیرد و ضریب اطمینان کافی برای جلوگیری از این نوع خرابی تأمین گردد. سرریز شدن موج مشکلی است که در اثر کافی نبودن ارتفاع سطح شیب‌دار رخ می‌دهد و با طراحی صحیح آن از نظر هندسی مشکل سرریز شدن موج پیش نخواهد آمد. چگونگی حفاظت از پنجه نیز در طراحی دایکها مطرح می‌گردد.

فرونشست، مکانیزم دیگر خرابی پوششهای حفاظتی است. این نوع خرابی نیز نتیجه مستقیم تغییر شکلهای درازمدت (و غالباً ناهمگون) لایه‌های رسی در بدنه دایک می‌باشد.

خطر برخورد یا تصادم شناورها، یکی دیگر از مکانیزمهای خرابی برای پوششهای حفاظتی می‌باشد که بایستی با استفاده از علائم کمک ناوبری کافی و مناسب از وقوع آن جلوگیری کرد.



شکل ۱۷-۶ ساز و کارهای خرابی پوششهای حفاظتی

◀ ۱۷-۳-۳ طراحی پوششهای حفاظتی

۱۷-۳-۳-۱ مبانی طراحی

در طراحی پوششهای حفاظتی از نوع سازه‌ای بایستی معیارهای زیر برآورده شود:

- معیار لغزش

- معیار تعادل

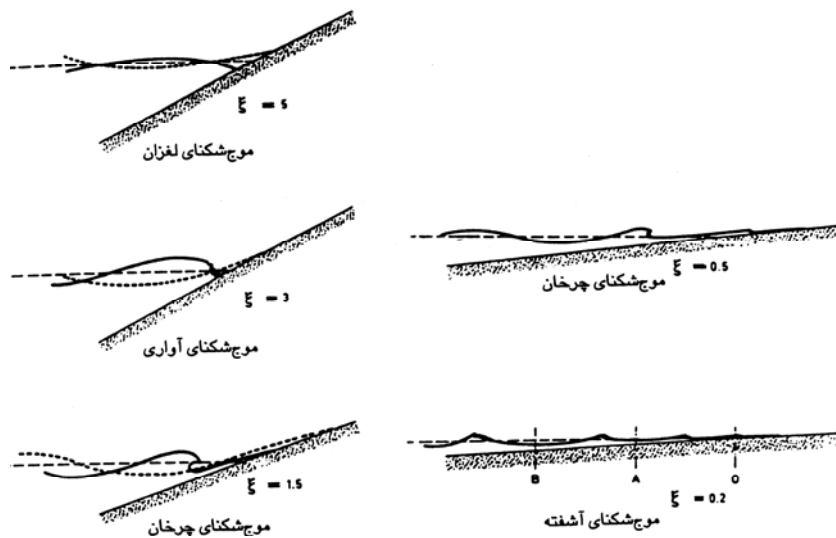
- معیار برکنش

- معیارهای مقاومت سطحی

برخی از معیارها با توجه به نوع پوشش از اهمیت بیشتری در مقایسه با بقیه معیارها برخوردارند. برای مثال در صورتی که پوشش حفاظتی، نفوذناپذیر باشد نظیر دال بتنی یا آسفالتی، اثر برکنش یا نیروی

بالا برنده اهمیت فوق‌العاده‌ای دارد. حالت بحرانی برای دالهای بتنی یا آسفالتی در انتهای پایین‌آمدگی موج (درست قبل از ورود جبهه موج بعدی) رخ می‌دهد چرا که در این حالت نیروهای برگشت، بیشترین مقدار خود را دارند. اگر پوشش حفاظتی نفوذپذیر باشد، مانند سنگ‌چین و توریسنگ، نیروی برگشت شدیداً کاهش می‌یابد. برای پوششهای سازه‌ای نفوذپذیر، حالت بحرانی ناپایداری قطعات سنگی یا بلوکهای بتنی است که عمدتاً ناشی از اثر توأم نیروی برگشت و نیروی ضربه موج درست بعد از شکست موج می‌باشد. رخداد شکست موج، به شیب ساحل و مشخصات موج بستگی دارد. در شکل ۱۷-۷ انواع حالت‌های برخورد موج به ساحل دسته‌بندی شده است.

همان‌طور که در شکل ۱۷-۷ مشاهده می‌شود برای $\xi > 3$ شکست موج تقریباً محسوس نبوده و به موج ایستا شبیه‌تر است. نیروی ضربه موج برای $0.5 < \xi < 3$ شدیدترین حالت را دارد، چون شکست موج به صورت کامل رخ می‌دهد. وقتی $\xi < 0.5$ است این اثر مجدداً کاهش می‌یابد.



شکل ۱۷-۷ انواع حالت‌های برخورد موج به ساحل

ناپایداری در قطعات سنگی یا بلوکهای بتنی تقریباً در تراز سطح آب رخ می‌دهد، چون سرعت آب بیشتر است. معیار تعادل یا پایداری در مقابل حمله امواج برای انواع مختلف پوششهای حفاظتی نفوذپذیر

بایستی بررسی شود. پایداری پوششها از اصطکاک، چسبندگی، وزن قطعات، اصطکاک بین قطعات، قفل و بست بین قطعات و مقاومت مکانیکی ناشی می‌شود.

اثر امواج بر پوششهای حفاظتی مثل ضربه موج و نیروی برکنش، عمدتاً با مدل فیزیکی یا آزمایش بر روی نمونه با ابعاد واقعی تعیین می‌شود، چون این اثر برای انواع پوششهای مختلف متفاوت است. مقاومت سطحی یا پایداری داخلی پوششهای حفاظتی به لایه خاک زیر بستگی تام دارد. اگر ظرفیت باربری خاک بستر زیاد باشد می‌توان ضخامت لایه پوشش را کاهش داد. این مطلب خصوصاً هنگام استفاده از دال آسفالتی یا بتنی قابل توجه خواهد بود. برای جلوگیری از زیاد شدن ضخامت پوشش در برخی موارد لازم است که خاک بستر تقویت شود. یکی از روشهای تقویت بستر و اصلاح خواص مکانیکی آن، تراکم است. استفاده از تراکم برای خاکهای دانه‌ای بسیار مناسب است. در صورتی که خاک بستر به ضخامت حدود ۲ متر را بتوان به درجه تراکم بین (۹۵٪ تا ۱۰۰٪) رسانید علاوه بر کاهش ضخامت پوشش لازم، می‌توان احتمال وقوع روانگرایی را نیز به حد قابل قبولی کاهش داد. در صورتی که خاک بستر رسی است معمولاً استفاده از ژئوتکستایل توصیه می‌شود.

اگر از ژئوتکستایل استفاده نمی‌شود به کار بردن یک لایه فیلتر الزامی است. هنگام به کار بردن فیلتر، قانون کلی آن است که نفوذپذیری از پایین به بالا بایستی تدریجاً افزایش یابد یعنی:

$$K_{\text{ground}} < K_{\text{filter}} < K_{\text{toplayer}}$$

برای انتخاب فیلتر مناسب رعایت ضوابط زیر لازم است:

$$D_{15 \text{ Filter}} < 5 \times D_{85 \text{ Base}}$$

$$D_{15 \text{ Filter}} > 5 \times D_{15 \text{ Base}}$$

$$D_{60 \text{ Filter}} < 10 \times D_{10 \text{ Filter}}$$

۱۷-۳-۲ انتخاب ابعاد مناسب

استفاده از پوششهای حفاظتی سازه‌ای اغلب بر اساس تجربیات محلی صورت می‌گیرد. در حال حاضر تحقیقات برای تحلیل دقیق رفتار انواع پوششهای حفاظتی و قانونمند کردن استفاده از آنها با ابعاد روشهای طراحی دقیق در نقاط مختلف جهان در دست انجام است. از این رو در اغلب موارد، روشهای طراحی استاندارد که مقبولیت جهانی داشته باشند، هنوز تهیه نشده است. در این بخش برای چند نوع از

پوششهای حفاظتی که مطالعات به مراحل قطعی‌تری رسیده است معیارهایی جهت طراحی و انتخاب ابعاد مناسب پوشش عنوان می‌شود.

۱۷-۳-۳-۲-۱ سنگ‌چین

برای تعیین قطعات سنگ در پوشش حفاظتی از نوع **Rip-Rap** به مبحث طراحی موج‌شکن در همین آیین‌نامه رجوع گردد.

برای حفظ پایداری شیبهای انواع سنگ‌چینها، حداکثر شیب برای شرایط چیدن سنگها ۱/۵: ۱ و حداکثر شیب برای شرایط تخلیه سنگها (دامپ کردن) ۱:۲ توصیه می‌شود.

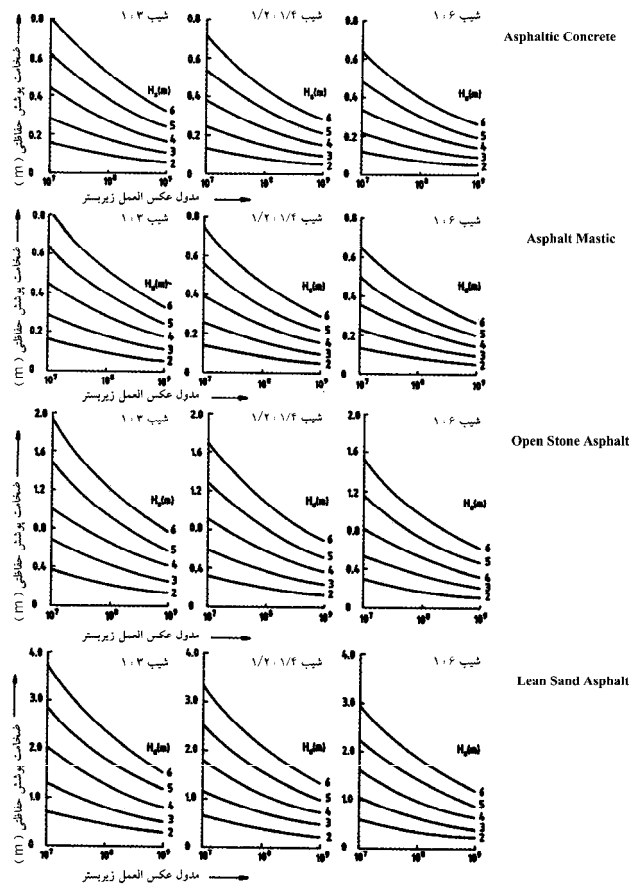
۱۷-۳-۳-۲-۲ دال آسفالتی

عموماً دال آسفالتی در حفاظت از ساحل، هنگامی که سرعت جریان به ۲ متر در ثانیه می‌رسد مناسب نیست. یکی از معایب دال آسفالتی آن است که نسبتاً نفوذناپذیر بوده و نیروی برگشت تأثیر شدیدی بر ناپایداری آن دارد، مگر آنکه لوله‌های زهکشی یا درزهای تخلیه در دال آسفالتی تعبیه گردد. ضخامت دال آسفالتی به زاویه شیب، جنس خاک بستر، میزان اصطکاک بین آسفالت و خاک بستر، جنس آسفالت و چگالی آن و میزان نیروی برگشت اعمال شده بر آن بستگی دارد. برای طراحی اولیه ضخامت دال آسفالتی، می‌توان از نمودار شکل ۱۷-۷ استفاده کرد. در این نمودار بر اساس نوع آسفالت به کار رفته، زاویه شیب و ارتفاع موجی مهم (Hs) که با دال آسفالتی برخورد می‌نماید ضخامت پوشش آسفالتی مشخص شده است.

۱۷-۳-۳-۳-۲-۳ دال بتن صلب

دال بتنی صلب به علت نفوذناپذیر بودن، شدیداً تحت نیروی برگشت آب قرار دارد. به همین دلیل تعبیه سوراخهای تخلیه فشار یا پیش‌بینی درز در فواصل کم، هنگام ساخت دال بتنی الزامی است. ویژگی دیگر این نوع پوشش که می‌تواند مشکل‌ساز باشد صلب بودن آن است که مانع انعطاف‌پذیری سازه در مقابل تغییر شکل و نشستهای خاک بستر می‌باشد. برای جلوگیری از ترک‌خوردگی و خرابی دال بتنی

صلب، خاک بستر بایستی از قبل آماده گردد تا نشست، فرسایش خارجی و فرسایش داخلی مانند رگاب در آن رخ ندهد. محل بتن‌ریزی دال بایستی خشک باشد تا عمل‌آوری بتن با اشکال مواجه نشود. دانه‌بندی بتن از نظر فرسایش بایستی معیارهای عنوان شده در استاندارد و مراجع را ارضا نمایند. با توجه به آنکه دال بتنی صلب در معرض اثر ضربه و فرسایش شدید امواج و محیط خورنده قرار دارد، پوشش آرماتورها باید بیشتر در نظر گرفته شود. در طراحی سازه‌های دال و آرماتورگذاری بایستی علاوه بر حالت بارگذاری استاندارد، اثر ضربه امواج و زیر فشار آب نیز مد نظر قرار گیرد.



شکل ۱۷-۸ تعیین ضخامت پوشش حفاظتی آسفالتی

◀ ۱۷-۴ نگهداری و رفتارسنجی پوششهای حفاظتی

در طول عمر سازه پوششهای حفاظتی باید به طور مداوم مورد بازبینی و نگهداری قرار گیرند. برای این کار بایستی امکان دسترسی، پایش و تعمیر نقاط مختلف پوشش حفاظتی وجود داشته باشد زیرا در بسیاری موارد، تعمیر و نگهداری پوششهای حفاظتی مستلزم آن است که ماشین‌آلات سنگین از مسیرهای زمینی به نقاط تخریب شده یا آسیب دیده انتقال داده شوند.

برنامه تعمیر و نگهداری یک پوشش حفاظتی می‌تواند اصلاح کننده یا بازدارنده باشد. بدین معنا که اصلاح و تعمیرات پس از وقوع خرابی انجام پذیرد و یا آنکه حتی‌المقدور از وقوع خرابی در پوششهای حفاظتی جلوگیری شود. معمولاً استفاده از یک برنامه تعمیر و نگهداری بازدارنده ارجحیت دارد. در این حالت دو روش، قابل انتخاب است.

برنامه تعمیر و نگهداری بازدارنده:

۱- رفتارسنجی و بازبینی پوشش پس از گذشت مدت مشخص یا شرایط مشخص (پس از طوفان یا سیل) و انجام تعمیرات مورد نیاز

۲- رفتارسنجی و بازبینی پوشش به صورت نوبه‌ای به فواصل زمانی مشخص و انجام تعمیرات موردنیاز هنگامی که معیار خاصی در مورد پوشش حفاظتی به حد بحرانی برسد.

در این روش بایستی معیار (یا معیارهای) خاصی با توجه به کاربریهای پیش‌بینی شده برای پوشش حفاظتی تعیین شود و بر اساس آیین‌نامه‌ها هنگامی که این معیار به حد بحرانی رسید مراحل تعمیر

پوشش حفاظتی آغاز گردد. (condition- based preventive stratgy)

نحوه رفتارسنجی چند نوع از پوششهای حفاظتی، ذیلاً تشریح می‌گردد:

◀ ۱۷-۴-۱ پوشش حفاظتی از نوع چمن

رفتارسنجی بایستی بر روی بازبینی و کنترل مناطق خالی شده از پوشش گیاهی متمرکز گردد.

با ایجاد یک پایگاه داده‌ها تعداد و مساحت مناطق خالی شده از پوشش گیاهی در طول زمان تحت

کنترل قرار گیرد و در صورت نیاز، دوره‌های بازبینی کوتاه‌تر شود.

چال‌زنی و نمونه‌برداری سطحی از لایه‌های فوقانی خاک جهت بررسی وضعیت خاک صورت گیرد.

برنامه‌ریزی جهت عملیات اجرایی تعمیرات صورت پذیرد.

◀ ۱۷-۴-۲ پوشش حفاظتی از نوع سنگی یا بلوکی

رفتارسنجی پوشش حفاظتی با مشاهده و بازبینی وضعیت سنگها و بلوکها صورت می‌گیرد. فاصله بین سنگها یا بلوکها بایستی کنترل شده یا مناطقی از پوشش که فاقد سنگ یا بلوک می‌باشد مشخص گردند. یک پایگاه داده صحیح در مورد وضعیت سنگها یا بلوکها ایجاد شود. آزمایشهای ژئوفیزیک جهت تعیین حفره‌ها و فضاهاى خالی احتمالی در زیر پوشش فوقانی صورت گیرد. آزمایشهای درجا برای تعیین مقاومت کششی سنگها یا بلوکها و مقاومت آنها در برابر نیروهای برکنش انجام شود.

در صورت لزوم برنامه‌ریزی جهت مراحل اجرایی تعمیرات صورت پذیرد.

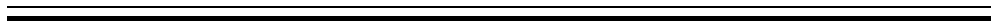
◀ ۱۷-۴-۳ پوشش حفاظتی از نوع آسفالتی

رفتارسنجی پوشش آسفالتی با مشاهده و بازبینی ترکهای سطحی و بررسی ضخامت لایه آسفالتی صورت گیرد. برای بررسی و کنترل ضخامت لایه آسفالتی می‌توان از نمونه‌گیری و یا روشهای ژئوفیزیکی استفاده کرد. آزمایشهای درجا جهت تعیین مقاومت آسفالت و آزمایشهای آزمایشگاهی بر روی نمونه‌ها جهت تعیین دوام آسفالت بایستی صورت پذیرد.

چگالی و میزان متراکم بودن خاک بستر که در زیر لایه آسفالتی قرار دارد با حفر چاهک و انجام آزمایشهای الکتریکی یا هسته‌ای تعیین شود.

در صورت لزوم برنامه‌ریزی جهت انجام تعمیرات صورت پذیرد.

۱۸



تپه‌های ماسه‌ای

۱۸-۱ معرفی

تپه‌های ماسه‌ای یکی از روشهای طبیعی حفاظت از سواحل می‌باشند. این تپه‌ها در طول خط ساحلی به صورت طبیعی و در اندازه‌های هندسی مختلف از مواد رسوبی به وجود آمده، و باعث جلوگیری از نفوذ و حرکت امواج دریا و طوفانهای شدید و همچنین جریانات ناشی از جزر و مد به داخل مناطق ساحلی می‌گردند و به عنوان یک دایک ساحلی طبیعی از سواحل حفاظت می‌کنند.

۱۸-۲ انواع تپه‌های ماسه‌ای

تپه‌های ماسه‌ای در سواحل اکثر دریاها و اقیانوسها به صورت طبیعی به وجود می‌آیند. این تپه‌ها زائیده اثرات متقابل امواج دریا، جریانات دریایی، وزش باد و مواد رسوبی موجود در ساحل می‌باشند. مناطق ساحلی معمولاً مملو از موارد رسوبی ریزدانه است که در اثر وزش باد روی هم انباشته می‌شوند. با توجه به سرعت باد، مواد رسوبی با دانه‌بندی مختلف سرند می‌شوند، بدین ترتیب که رسوبات ریزدانه در جهت وزش باد منتقل شده و مواد درشت‌دانه‌تر باقی می‌مانند و در اثر این‌گونه فیلتراسیون طبیعی در سواحل به مرور زمان انواع مختلفی از تپه‌های ساحلی به وجود می‌آید.

تپه‌های ماسه‌ای ساحلی بر اساس دانه‌بندی مواد تشکیل دهنده و شیب عمومی ساحل به انواع مختلفی تقسیم می‌شوند: تپه‌های ماسه‌ای با شیب ۱:۳۰، تپه‌های شنی ماسه‌ای با شیب ۱:۱۰ تا ۱:۴۰ و تپه‌های شنی با شیب ۱:۱۰ تا ۱:۶. در مصب رودخانه دائمی با شیب تند تپه‌های ساحلی قلوه‌سنگی نیز تشکیل می‌شود.

تپه‌های ماسه‌ای ساحلی اغلب دارای مواد ریزدانه در $D_{ms0} = (0.1-1)mm$ می‌باشند، و غالب آنها در صورتی که حفاظت نشوند، توسط باد جابه‌جا شده و فرم و شکل هندسی جدید و خاصی را به خود می‌گیرند. این تپه‌ها غالباً به شکل نیم‌دایره، نیم‌بیضی و یا نیم‌صافی هستند، که به صورت‌های یک ردیفه، دوردیفه، چندردیفه به شکل یک نوار موازی با ساحل به وجود می‌آیند. ارتفاع تپه‌های ساحلی معمولاً از حدود ۱۰ متر تا ۵۰ متر نسبت به تراز متوسط سطح آب دریا متفاوت است. عرض متوسط و یا شعاع

مقطع تپه‌های ماسه‌ای در سواحل مختلف فرق می‌کند، و در سواحل ایران از ۱۰۰ متر تا ۵۰۰ متر تخمین زده می‌شود.

در سواحل دریای خزر حد فاصل غرب بندر انزلی به شعاع حدود ده کیلومتر، تپه‌های ماسه‌ای ساحلی ریزدانه‌ای قرار دارند. که دارای مقطع عرضی در حد ۱۰۰ تا ۳۰۰ متر می‌باشد. در سواحل خلیج فارس و دریای عمان تپه‌های ماسه‌ای به علت دخالت کمتر انسان و اثر پدیده جزر و مد از استحکام خاصی برخوردار است، که به مرور زمان از پوششهای گیاهی مناسب نیز بهره‌مند شده است.

◀ ۱۸-۳ میزان فرسایش و پروفیل ساحل پس از یک طوفان دریایی

شکل پروفیل ساحل پس از تأثیر یک طوفان دریایی، فرسایش یافته و در اثر عملکرد متقابل آب و ساحل و باد به تعادل پایداری می‌رسد. پیش‌بینی شکل پروفیل ساحل فرسایش یافته و کنترل فرسایش در سواحل با کاربریهای خاص همواره مورد نظر مهندسين بوده است. مهم‌ترین پارامترهایی که در شکل‌گیری فرسایش تپه‌های ماسه‌ای مؤثرند عبارتند از:

- تراز سطح آب دریا در هنگام طوفان دریایی

- ارتفاع موج طوفانی

- پریود طوفان دریایی

- دانه‌بندی مواد ساحلی

- ارتفاع و نوع تپه ساحلی

از مهم‌ترین روابط تحلیلی برای پیش‌بینی پروفیل ساحل تپه ماسه‌ای پس از طوفان به معادله زیر می‌توان اشاره کرد که بر اساس یک دهه تجربیات و تحقیقات آزمایشگاهی در مؤسسه تحقیقات دلفت هلند به دست آمده است [۱۲۰].

$$\left(\frac{7.60}{H_s}\right)_Y = 0.4714 \left[\left(\frac{7.60}{H_s}\right)^{1.28} \left(\frac{W}{0.02868}\right)^{0.56} x + 18 \right]^{-2}$$

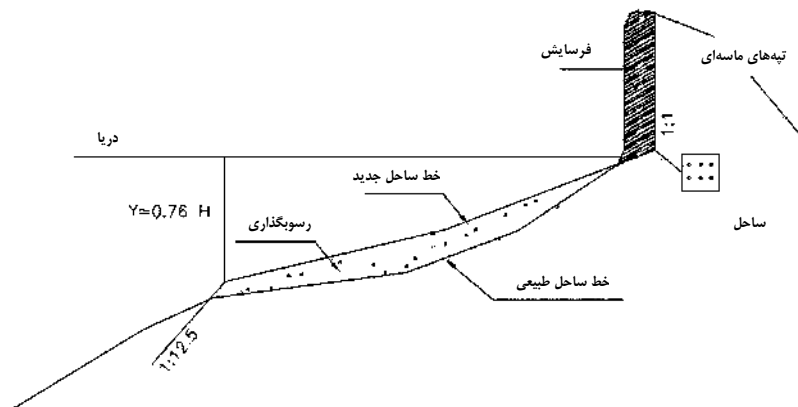
H_s : ارتفاع موج مشخصه

W : سرعت سقوط ذرات رسوبی تشکیل دهنده تپه ماسه‌ای

X: فاصله از پای تپه ساحلی

Y: ارتفاع هر نقطه از پروفیل ساحل ماسه‌ای پس از طوفان نسبت به سطح مبنا (تراز آب در حالت طوفان)

شکل ۱-۱۸ ضمن معرفی پارامترهای مؤثر، پروفیل ساحل را پس از فرسایش نمایش می‌دهد. علاوه بر روشهای تحلیلی برای پیش‌بینی پروفیل ساحل ماسه‌ای در معرض فرسایش، روشهای محاسباتی مبتنی بر آمار و احتمالات نیز وجود دارند. در این ارتباط مدل‌های احتمالاتی مختلفی توسعه داده شده‌اند. علاقه‌مندان می‌توانند برای مطالعه بیشتر به مرجع مراجعه کنند.



شکل ۱-۱۸ پروفیل ساحل پس از فرسایش تپه ماسه‌ای

۱-۳-۱۸ تثبیت‌های ماسه‌ای

۱-۳-۱۸ شکل مقطع عرضی تپه‌های ماسه‌ای

تپه‌های ماسه‌ای به عنوان یک پدیده طبیعی حفاظت ساحلی عمل کرده و در معرض تغییرات فصلی و طوفانهای دریایی شکل مقطع عرضی آنها جابه‌جا می‌شود. در شرایط خاصی که اراضی پایین‌دست تپه‌های ماسه‌ای دارای ارزش اقتصادی باشند و فرسایش تپه‌های ماسه‌ای پیش‌رونده ارزیابی شود، ممکن است حفاظت تپه‌های ماسه‌ای ضرورت پیدا کند. در این صورت یکی از روشهای حفاظت ساحلی که در همین فصل به آنها اشاره شده به عنوان روش تلفیقی حفاظت ساحل می‌تواند به کار گرفته شود.

متداول‌ترین روش تلفیقی برای حفاظت تپه‌های ماسه‌ای تغذیه مصنوعی ساحل است که در بند ۱۸-۴ توضیح داده می‌شود.

۱۸-۳-۱-۲ تثبیت تپه‌های ماسه‌ای و نگهداری

به صورت طبیعی تپه‌های ماسه‌ای ساحلی ثابت نیستند، چرا که همواره تحت تأثیر امواج طوفانی و بادهای ساحلی قرار می‌گیرند و مواد رسوبی تشکیل دهنده آنها نه تنها تحت تأثیر عوامل طبیعی چون باد و امواج قرار دارند، بلکه تردد انسانها، حیوانات، ماشین‌آلات و غیره نیز در از هم پاشیدن و جدا کردن ذرات از یکدیگر نقش مؤثر دارند، از این رو برای تثبیت تپه‌های ماسه‌ای انجام اقدامات زیر ممکن است حسب مورد ضرورت پیدا کند.

- ۱- حصاربندی و فنس‌کشی اطراف تپه‌های ماسه‌ای، و اعمال قوانین منطقه حفاظت شده ساحلی جهت رشد و نمو گیاهان و بوته‌های کاشته شده روی تپه‌های ساحلی
 - ۲- کاشتن بوته‌ها و گیاهان شور پسند، از گونه‌هایی که دارای ریشه‌های قوی بوده و از حرکت شنها در اثر وزش بادهای ساحلی جلوگیری نمایند.
 - ۳- پاشیدن آب دریا بر روی تپه‌های ماسه‌ای، به طریقی که ذرات رسوبی به هم بچسبند، شوری آب دریا نیز در ایجاد کشش سطحی بین ذرات بسیار مؤثر است.
 - ۴- اجرای سازه‌های حفاظت ساحل مانند آب‌شکنها و موج‌شکنهای دور از ساحل برای مستهلک کردن انرژی امواج طوفانی در برخورد به تپه‌های ماسه‌ای ساحلی در شرایط خاص.
- بوته‌ها و گیاهان در تثبیت و نگهداری تپه‌های ماسه‌ای ساحلی نقش اساسی دارند. پوشش گیاهی مناسب از سرعت باد در سطح زمین کاسته و مانع جابه‌جایی ذرات ماسه می‌شود. به علاوه ریشه‌های گیاه به حفظ رطوبت در خاک کمک کرده و ایجاد چسبندگی در ذرات خاک می‌کند و این نوع حفاظت بیولوژیکی با محیط زیست سازگاری دارد. از این رو گونه‌هایی که مناسب و سازگار با محیط دریایی شناخته شده‌اند به قرار ذیل است:

Ammophila breviligulate

Uniolapaniculata

Ammophila arenaria

Panicum amarum

◀ ۱۸-۳-۲ رفتارسنجی تپه‌های ماسه‌ای

یکی از روشهای کنترل و مراقبت تپه‌های ماسه‌ای و از روشهای پیش‌بینی فرسایش آنها، رفتارسنجی می‌باشد. بدین منظور توصیه می‌شود در جاهایی که ضرورت دارد، متناسب با طول ساحل تپه ماسه‌ای پروفیل‌های طولی به فواصل منظم از یکدیگر برداشت شود. (حداقل ۳ پروفیل) این پروفیلها ضمن آنکه عرض تپه را کاملاً پوشش می‌دهند، می‌بایست در دریا تا جایی که نوار رانه ساحلی را ببوشانند امتداد یابند. در مسیر هر پروفیل، برداشت نمونه‌های خاک بستر (برای انجام آزمایش دانه‌بندی) به فواصل مساوی توصیه می‌شود. در سواحل ماسه‌ای شنی، فاصله نمونه‌برداریها کمتر شده و حتماً در دو طرف مرز آب و خشکی نمونه‌های بیشتری اخذ شود.

فاصله زمانی پروفیل برداری از ساحل، متناسب با اهمیت شرایط محلی تعیین می‌شود ولی توصیه می‌شود هر سال یک بار انجام شود، برداشت پروفیل پس از هر طوفان در مطالعات خاص ممکن است ضرورت یابد.

◀◀ ۱۸-۴ تغذیه مصنوعی در ساحل

تغذیه مصنوعی ساحل یکی از روشهای حفاظت از ساحل است که در آن حفاظت بدون ساخت سازه دریایی انجام می‌شود و به میزان چند برابر مواد رسوبی فرسایش یافته از ساحل با روشهای خاص به منطقه ساحلی تغذیه و جایگزین می‌شود. از آنجا که این عمل به روش مصنوعی در ساحل انجام می‌شود، به روش تغذیه مصنوعی ساحلی معروف است. این روش حفاظت ساحل یکی از سالم‌ترین و سهل‌الوصول‌ترین و سازگارترین روشها با محیط زیست ساحلی محسوب می‌گردد و از آنجایی که به لحاظ چشم‌انداز، منظره‌ای طبیعی را فراروی قرار می‌دهد، در اکثر کشورهای ساحلی دنیا به ویژه در مناطق توریستی و ساحلی به کار برده می‌شود.

◀ ۱۸-۴-۱ انواع تغذیه مصنوعی در ساحل

تغذیه مصنوعی در سواحل نیز به روشهای گوناگون انجام می‌شود. یکی از روشهای معمول، پمپاژ مستقیم مواد رسوبی از بالادست موج‌شکنها، بنادر، و سازه‌های ساحلی به سواحل پایین‌دست می‌باشد، این

روش را انتقال مستقیم مواد رسوبی یا تغذیه ساحل می‌گویند. در این روش مواد رسوبی به تله افتاده ناشی از وجود سازه ساحلی به قسمت‌های فرسایش یافته پایین‌دست منتقل می‌شود. در مصب رودخانه‌ها نیز که روند طبیعی انتقال رسوب ساحلی، توسط جریان‌ات رودخانه‌ها مختل می‌گردد و رسوب‌گذاری در بالادست مصب رودخانه به صورت رسوبی شکل می‌گیرد، پمپاژ مواد رسوبی از بالادست مصب رودخانه به پایین‌دست آن نیز با همین روش انتقال مستقیم انجام می‌شود، در این حالت لوله‌های انتقال مواد رسوبی می‌توانند، از زیر آب رودخانه و یا به کمک یک پل سبک انتقال داده شوند.

نوع دیگر تغذیه مصنوعی در ساحل، پمپاژ مستقیم دور از ساحل به منطقه ساحل است، در این حالت منطقه مواد قرضه بایستی در فاصله مناسب (۱ تا ۱/۵ کیلومتری) از خط ساحلی انتخاب شود، تا پمپاژ مواد رسوبی روی شیب ساحل در حال فرسایش، اثر منفی نداشته باشد. در این روش ایستگاه دور از ساحل یک شناور لایروب می‌باشد. در برخی از مناطق ساحلی که تردد شناورها زیاد نیست، لوله‌های انتقال مواد رسوبی در کف ساحل قرار داده می‌شود، در این حالت به میزان چند برابر مواد رسوبی در حال فرسایش، به ساحل رسوب تزریق شده و این عمل به صورت متوالی و با برنامه زمانبندی شده انجام می‌شود. برای آشنایی بیشتر با روش‌های مختلف تغذیه مصنوعی ساحلی به مراجع انتهایی این بخش مراجعه شود.



شکل ۱۸-۲ تغذیه مصنوعی ساحل به وسیله پمپاژ مواد لایروبی شده در ساحل

◀ ۱۸-۴-۲ طراحی اولیه مصنوعی در ساحل

هدف اساسی از طرح اولیه در این روش از حفاظت ساحلی آن است که میزان مواد رسوبی فرسایش یافته، به منطقه و مکان ساحلی قبلی برگردانده شود. در طرح اولیه، علت فرسایش در منطقه‌ای از ساحل شاید خیلی مهم نباشد، اما آنچه مهم است محاسبه و تخمین دقیق میزان فرسایش است. پس از محاسبه حجم و دبی فرسایش، انتخاب یکی از روشهای تغذیه مصنوعی، در ساحل بسیار مهم است، تا از آن طریق مواد رسوبی به صورت منظم به پروفیل ساحل برگردانده شود. در طراحی اولیه، مراحل ذیل بایستی اجرا شود:

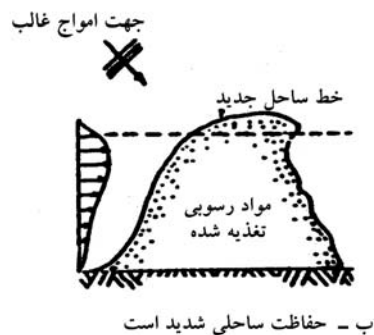
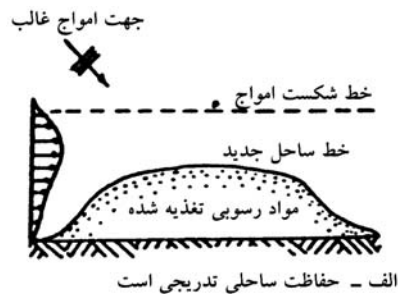
- ۱- مطالعه میدانی و پیمایش اولیه منطقه ساحلی و حصول اطمینان از فرسایش ساحلی
- ۲- محاسبه و تخمین میزان فرسایش مواد رسوبی بر حسب متر مکعب در سال
- ۳- انتخاب یکی از روشهای تغذیه مصنوعی در ساحل، که به لحاظ هزینه و اجرا مناسب باشد.
- ۴- طرح اولیه جانمایی و تعیین ارتفاع ساحل احیا شده

◀ ۱۸-۴-۳ طراحی کاربردی تغذیه مصنوعی در ساحل

مراحل ذیل در طرح کاربردی تغذیه مصنوعی در ساحل بایستی انجام شود.

- ۱- هیدروگرافی و برداشت پروفیل ساحلی در پریودهای زمانی مختلف، به صورت معمول هر سال یک بار و در صورت فراهم بودن امکانات پس از هر طوفان دریایی
- ۲- تعیین دانه‌بندی مواد رسوبی ساحلی، منطقه در حال فرسایش
- ۳- تخمین و محاسبه میزان انتقال رسوب ساحلی سالیانه در جهت امواج غالب
- ۴- انتخاب مواد رسوبی با دانه‌بندی مناسب (مواد رسوبی برای تغذیه رسوبی در ساحل باید دارای دانه‌بندی نسبتاً مشابه با مواد فرسایش یافته باشد، البته در برخی از مراجع پیشنهاد شده است که استفاده از مواد رسوبی با دانه‌بندی کمی بزرگتر بهتر است).
- ۵- میزان دبی تغذیه رسوبی در ساحل، بایستی به طور متوسط ۵ تا ۱۰ برابر میزان رسوب فرسایش شده از ساحل باشد، تا ساحل حالت پایدار و تغذیه‌ای خود را داشته باشد، البته تغذیه رسوب به ساحل در پریودهای مشخص انجام می‌شود.

۶- طرح جانمایی تغذیه مصنوعی رسوب در ساحل بستگی به میزان فرسایش، خط شکست امواج غالب، سرعت جریان‌ات ساحلی، پروفیل ساحل و نوع ساحل در حال فرسایش دارد، در ذیل دو نمونه طرح جانمایی مشاهده می‌گردد، برای کسب اطلاعات بیشتر به مرجع [۱۳۹] مراجعه شود.



شکل ۱۸-۳ طرحهای مختلف جانمایی تغذیه مصنوعی ساحل

◀ ۱۸-۴-۵ روشهای اجرایی تغذیه رسوبی در ساحل

اجرای تغذیه رسوبی در ساحل از آسان‌ترین و کم‌هزینه‌ترین روشهای حفاظت ساحلی در کوتاه‌مدت می‌باشد. عواملی که در اجرای تغذیه مصنوعی در ساحل بیشترین سهم را دارند عبارتند از مواد قرضه و تجهیزات:

۱۸-۴-۵-۱ شیوه‌های تهیه مواد قرضه رسوبی برای تغذیه مصنوعی

۱- پمپاژ مواد رسوبی کف دریا از منطقه دور از ساحل به ساحل به وسیله لایروبه‌های مکند و انتقال مواد رسوبی توسط خط لوله شناور یا از طریق خط لوله مستقر بر کف دریا

۲- پمپاژ مواد رسوبی از سواحل مجاور که در حال رسوب‌گذاری است. بالادست بنادر، موج‌شکنها و مصب رودخانه‌ها

۳- انتقال مواد رسوبی به ساحل، و تخلیه آن توسط شناورهای خاص تخلیه مواد رسوبی را از حوضچه بنادر، کانال لایروبی، و منطقه دور از ساحل جمع‌آوری و به ساحل در حال فرسایش منتقل می‌کنند.

در صورتی که هیچ‌کدام از روشهای اجرایی فوق‌الذکر میسر نباشد، مواد رسوبی از طریق خشکی و از بالادست توسط کامیونهای حمل رسوب به ساحل منتقل می‌شود. این روش از پرهزینه‌ترین روشهای تغذیه رسوبی در ساحل می‌باشد.

۱۸-۴-۵-۲ تجهیزات و ماشین‌آلات

برای تهیه و حمل مصالح مناسب از دستگاههای لایروبی، خطوط لوله شناور یا مستغرق و در برخی از موارد که طول مسیر خط لوله زیاد است، از پمپهای تقویتی استفاده می‌شود. برای استقرار رسوب حمل شده در ساحل مورد نظر نیز در ناحیه دریایی از بارجهای مخصوص یا لایروپها و در ناحیه ساحلی از ماشین‌آلات ویژه عملیات خاکی نظیر بلدوزر و لودر برای تسطیح و پروفیله نمودن ساحل احیا شده استفاده می‌شود.

۱۹

موج‌شکنهای دور از ساحل

◀ ۱-۱۹ معرفی موج شکن‌های دور از ساحل

موج شکن‌های دور از ساحل نوعی از سازه‌های حفاظت ساحل هستند که در امتداد خط ساحل و در فاصله معینی از آن ساخته می‌شوند. این سازه‌های حفاظتی از اصابت مستقیم امواج به ساحل سایه (شکل ۱-۱۹) جلوگیری می‌نمایند. احداث این نوع موج شکن‌ها علاوه بر کاهش ظرفیت حمل رسوب عمود بر ساحل (به‌خصوص در هنگام طوفان)، سبب کاهش ظرفیت حمل رسوب کرانه‌ای در جهت موازی ساحل می‌شود و در اثر تفرق امواج حول پوزه‌های موج شکن موجب رسوب‌گذاری و ایجاد ساحل هلالی شکل در سمت خشکی موج شکن می‌گردد. گاهی اوقات احداث موج شکن دور از ساحل منجر به ایجاد پشته رسوبی متصل به ساحل می‌شود.



شکل ۱-۱۹ موج شکن دور از ساحل

◀ ۱-۱۹-۱ کاربرد موج‌شکنهای دور از ساحل

کاربرد موج‌شکنهای دور از ساحل همانند سایر سازه‌های حفاظتی، جلوگیری از فرسایش ساحل در بازه مورد نظر و به صورت خاص، ایجاد سواحل ماسه‌ای تفریحی می‌باشد. برای حفاظت بازه‌های طولانی از زنجیر موج‌شکنهای منقطع استفاده می‌کنند. احداث موج‌شکنهای دور از ساحل به همراه آب‌شکنها نیز برای تثبیت ساحل معمول می‌باشد. لازم به ذکر است که بیشترین راندمان موج‌شکنهای دور از ساحل در سواحلی است که تغییرات جزر و مدی کم یا قابل صرف نظر کردن دارند.

یک کاربرد دیگر موج‌شکن دور از ساحل، حفاظت از مدخل ورودی بنادر است. در چنین مواردی موج‌شکن در فاصله معینی از مدخل ورودی بندر قرار داده می‌شود.

موج‌شکنهای دور از ساحل مستقیماً برای ایجاد بنادر کوچک نظیر بنادر صیادی و پناهگاه قایقها و شناورهای کوچک ساخته نمی‌شوند ولی می‌توانند چنین کاربردی به همراه داشته باشند. در چنین حالتی موج‌شکن دور از ساحل معمولاً به صورت پیوسته طراحی و اجرا می‌شود.

◀ ۱-۱۹-۲ محدودیتها

محدودیت کاربرد این‌گونه سازه‌ها برای اهداف حفاظت ساحل به شرح زیر می‌باشد:

- مناطقی که جهت غالب امواج به موازات ساحل باشد.
- مناطقی که شیب ساحل بسیار تند بوده و بلافاصله بستر دریا عمیق می‌گردد.
- مناطقی که مصالح و منابع قرضه سنگی مناسب در دسترس نبوده یا در فاصله بیش از ۱۵۰ کیلومتر واقع باشد.



شکل ۱۹-۲ تصویری از ساحل حفاظت شده با موج‌شکنهای دور از ساحل، ایجاد عوارضی نظیر تومبولو می‌تواند از اهداف اصلی طرح باشد.

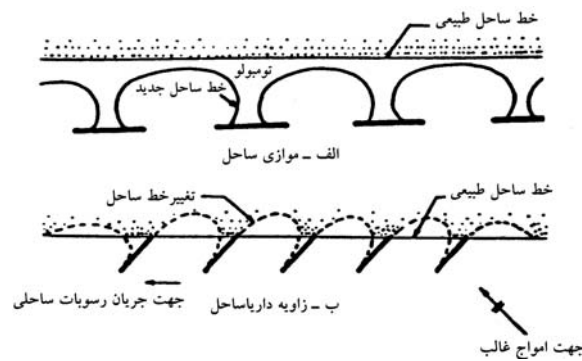
۱۹-۲ انواع موج شکنهای دور از ساحل

موج شکنهای دور از ساحل بسته به نحوه استقرار، نوع ساخت و جنس ساختمانی آن طبقه بندیهای متفاوتی دارند. از نقطه نظر نحوه استقرار، موج شکنها به دو نوع موازی با ساحل یا زاویه دار ساخته می شوند. در حالتی که جهت امواج غالب جهت ثابتی بوده یا محدوده کوچکی را می پوشاند، لزومی به موازی گرفتن جهت موج شکن با ساحل نبوده و بهتر است جهت موج شکن در امتداد عمود بر جهت موج غالب در نظر گرفته شود (شکل ۱۹-۳). عمق ساحل، جهت امواج غالب و جریانات دریایی و مورفولوژی ساحل در تعیین امتداد موج شکنهای دور از ساحل مؤثرند.

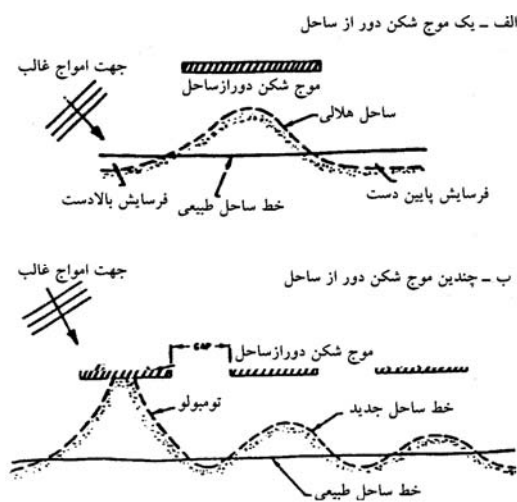
در طبقه بندی دیگری، موج شکنهای دور از ساحل به دو نوع منقطع و پیوسته تقسیم می شوند. موج شکنهای منقطع بیشتر برای حفاظت ساحل از طریق ایجاد پشته های رسوبی متصل به ساحل (تومبولو) یا پشته های هلالی شکل به کار می روند، در حالی که در ساخت موج شکن پیوسته اهداف بندری نیز مستقر است. در نوع اخیر متناسب با اهداف طراحی، امکان بالاروی و عبور موج از موج شکن وجود نداشته یا محدود است.

بسته به موقعیت موج شکن نسبت به تراز آب دریا، موج شکنهای دور از ساحل به سه نوع شناور، مستغرق (موج شکنهای تاج کوتاه) و ثابت یا غیر مستغرق تقسیم می گردد.

از نظر نوع و جنس مصالح ساختمانی نیز موج شکنهای دور از ساحل به صورتهای مختلف سنگریزه ای، صندوقه ای با استفاده از سپر فولادی، صندوق بتونی، کیسه های شنی، لوله های فولادی و حتی با استفاده از بدنه کشتیهای مغروق ساخته می شوند. متداول ترین نوع موج شکنهای دور از ساحل از نوع سنگریزه ای و همچنین از نوع موج شکن پشته ای می باشد. جهت انتخاب سیستم سازه ای مناسب برای ساخت موج شکن مقایسه اقتصادی بین همه گزینه های قابل قبول الزامی است.



شکل ۱۹-۳ انواع موج شکن‌های دور از ساحل



شکل ۱۹-۴ انواع موج شکن‌های دور از ساحل

◀ ۱۹-۳ طراحی اولیه موج شکن‌های دور از ساحل

از آنجایی که گزینه موج شکن دور از ساحل نسبت به سایر گزینه‌های حفاظتی ساحل معمولاً گران‌تر تمام می‌شود، لذا احداث این گزینه هنگامی مطرح می‌شود که سایر گزینه‌های حفاظتی پاسخگو نباشد.

عوامل مؤثر در طراحی موج شکن‌های دور از ساحل به شرح زیر می‌باشد:

- عمق آب

- جزر و مد
- مشخصات امواج غالب (جهت امواج - طول موج و ...)
- ویژگیهای جریانات ساحلی
- شکل ساحل
- نوع بستر دریا
- نوع مصالح در دسترس
- هزینه های اجرا

◀ ۱۹-۳-۱ طراحی ابعادی موج شکنهای دور از ساحل

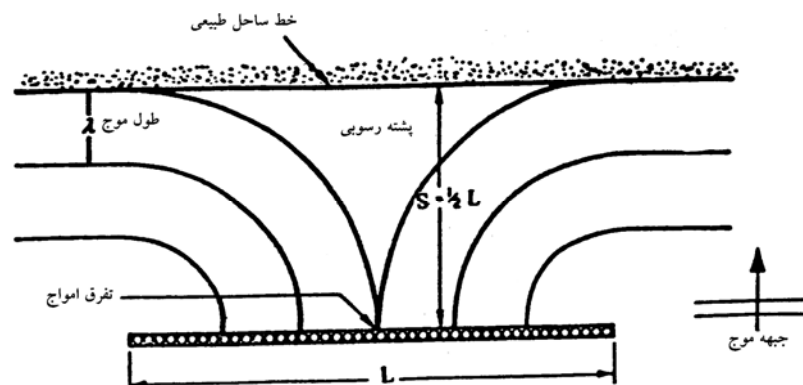
مؤلفه های اساسی که در طراحی اولیه موج شکنهای دور از ساحل می بایست تعیین شوند عبارتند از فاصله موج شکن از خط ساحلی S ، طول موج شکن L و فواصل موج شکنها از یکدیگر (در سیستم موج شکنهای دور از ساحل زنجیره ای)

به طور کلی یک موج شکن دور از ساحل می بایست در ابتدای منطقه شکست امواج قرار گیرد تا جریان رسوب کرانه ای، امکان عبور از فضای ایجاد شده را داشته باشد. به عنوان یک راهنمایی اولیه، فاصله موج شکن تا خط ساحلی سه برابر طول موج (قبل از ورود به منطقه شکست) پیشنهاد می شود ($S = 3L$). تشکیل تومبولو در پشت موج شکن بستگی کامل به ابعاد موج شکن و نسبت فاصله آن از ساحل به طول موج وارده و همچنین فاصله بین دو موج شکن دارد و در صورتی که تشکیل تومبولو مد نظر باشد، در سواحل با دامنه جزر و مد محدود، نسبت طول موج شکن به فاصله از ساحل می بایست از ۲ بزرگتر باشد.

اگر هدف از احداث موج شکن ایجاد تومبولو نبوده و به دلایلی نظیر پالایش آب یا عدم فرسایش ساحل پایین دست، قطع جریان رسوب کرانه ای مد نظر نباشد، در نظر گرفته شود.

فاصله بین موج شکنها اساساً تابعی از میزان مورد نیاز کاهش انرژی امواج است که با کاهش فاصله موج شکنها و کوچک کردن سطح روزنه ورود امواج و یا با افزایش تراز تاج موج شکنها حاصل می شود. برای تعیین مناسب ترین فاصله می بایست مطالعات مدل ریاضی غیر خطی تفرق امواج صورت پذیرد. در

موارد خاص انجام مطالعات مدل فیزیکی با بستر متحرک برای تعیین دقیق‌تر ابعاد و فواصل ممکن است ضرورت پیدا کند.



شکل ۱۹-۵ مؤلفه‌های اصلی در طراحی موج‌شکن دور از ساحل

◀ ۱۹-۳-۲ طراحی ساختار موج‌شکنهای دور از ساحل

از لحاظ طراحی سازه‌ای در به کار گرفتن روابط مندرج در فصل چهارم، هیچ تفاوتی بین موج‌شکنهای متصل به ساحل و موج‌شکنهای دور از ساحل وجود ندارد. تنها تفاوت عمده بین موج‌شکنهای دور از ساحل و موج‌شکنهای معمولی در انتخاب میزان سرریز موج و نفوذپذیری بدنه موج‌شکن می‌باشد. موج‌شکن دور از ساحل را می‌توان به صورت مغروق یا تاج کوتاه طراحی نمود تا بخشی از انرژی امواج را در اثر سرریزی از خود عبور داده و مانع از تشکیل تومبولو شود. هدف فوق‌الذکر با افزایش نفوذپذیری موج‌شکن نیز قابل تأمین است. لیکن باید توجه داشت که میزان انتقال انرژی موج به شدت تابع طول موج خواهد بود. از آنجایی که موج‌شکنهای دور از ساحل عمدتاً همانند موج‌شکنهای توده‌سنگی و موج‌شکنهای پشته‌ای طراحی می‌شوند.

◀◀ ۱۹-۴ اجرای موج‌شکنهای دور از ساحل

اجرای موج‌شکنهای دور از ساحل به دو روش مرسوم است، اجرا از خشکی و اجرا از دریا. در روش اجرا از خشکی، یک جاده دسترسی موقت از ساحل تا موقعیت احداث موج‌شکن به عنوان پل دسترسی

برای تردد ماشین‌آلات و حمل مصالح، ساخته می‌شود و پس از تکمیل سازه موج‌شکن، جاده دسترسی برچیده می‌شود. این روش اجرا هیچ تفاوتی با اجرای موج‌شکنهای متصل به ساحل ندارد. روش اجرا از خشکی در جاهایی استفاده می‌شود که عمق ساحل کم است، یا دامنه جزر و مد آنقدر محدود است که امکان استفاده از تجهیزات شناور وجود ندارد.

۱۹-۵ نگهداری موج‌شکنهای دور از ساحل

موج‌شکنهای دور از ساحل بر خلاف سایر سازه‌های حفاظت ساحلی هیچ‌گونه ارتباط پیوسته‌ای با ساحل ندارد. لذا ترمیم و بازسازی این سازه‌ها همانند احداث آنها گران و پرهزینه تمام می‌شود. در هنگام طراحی موج‌شکنهای دور از ساحل به عدم دسترسی از خشکی می‌بایست توجه داشت و ضرایب اطمینان بالاتری در طراحی این سازه‌ها به کار برد.

البته در صورتی که فاصله موج‌شکن دور از ساحل به گونه‌ای اختیار شده باشد که پشت سازه، تومبولو تشکیل شود، در این صورت امکان دسترسی به موج‌شکن جهت ترمیم ادواری وجود داشته و نیازی به استفاده از جرثقیل شناور و بارج برای تعمیر و نگهداری نیست. این نکته در کاهش هزینه‌های نگهداری حایز اهمیت فراوان است.

۱۹-۶ رفتارسنجی موج‌شکنهای دور از ساحل

به منظور سنجش عملکرد موج‌شکن دور از ساحل بر ساحل و ارزیابی تغییرات مورفولوژیک ساحل، متداول‌ترین روش مطالعه برداشت متناوب پروفیل‌های عرضی از ساحل قبل و بعد از احداث موج‌شکن می‌باشد. تعداد و فواصل پروفیل‌ها و فاصله زمانی بین دو برداشت بر اساس مشخصات طرح تعیین می‌شود. به عنوان یک راهنمایی کلی حداقل ۵ پروفیل عمود بر ساحل لازم است که محدوده تشکیل تومبولو و موج‌شکن را پوشش دهند. نمونه‌برداری از رسوبات بستر در محل احداث موج‌شکن و نمونه‌برداری از رسوبات ساحل ایجاد شده، در کنار برداشت پروفیل بستر، کمک مؤثری به تحلیل پدیده رسوب‌گذاری و ارزیابی تثبیت ساحل خواهد کرد. تعداد و محل برداشت نمونه‌ها بر اساس موقعیت پروژه

تعیین می‌شود. بر روی نمونه‌ها می‌بایست آزمایشهای دانه‌بندی، هیدرومتری، وزن مخصوص و تعیین منشأ رسوبات صورت پذیرد. حداقل فاصله برداشتها برای پوشش دادن به تغییرات فصلی ۶ ماه تا یک سال است. پروفیل برداری بعد از هر طوفان مهم در صورت امکان مفید خواهد بود.

مراجع

◀ مراجع فارسی

- ۱- چگینی، وحید: "نظریه‌های موج"، مجموعه کتابهای مهندسی دریا، شماره ۱، شرکت جهاد تحقیقات آب و آبخیزداری، ۳۰۱ صفحه، ۱۳۷۷.
- ۲- چگینی، وحید: "راهنمای طراحی موج‌شکنها (جلد اول)"، مجموعه کتابهای مهندسی دریا، شماره ۲، شرکت جهاد تحقیقات آب و آبخیزداری، ۳۰۴ صفحه، ۱۳۷۷.
- ۳- چگینی، وحید؛ آق تومان، پیمان؛ یثربی، فرشاد و حسینی بندرآبادی، سید محمد: "بررسی تغییر شکل موج‌شکنهای شکل‌پذیر"، مجموعه مقالات دومین کنفرانس بین‌المللی سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی، تهران، دانشگاه علم و صنعت، صفحات ۱۱۰ تا ۱۲۳، ۱۱ تا ۱۴ آذر ۱۳۷۵.
- ۴- سنجانی، محمد سعید؛ چگینی، وحید و بنازاده ماهانی، محمد رضا: "بررسی اثر امواج مایل بر پایداری پوزه موج‌شکنهای سکویی"، چهارمین کنفرانس بین‌المللی سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی، بندرعباس، جمهوری اسلامی ایران، آذر ۱۳۷۹.
- ۵- چگینی وحید: "راهنمای طراحی موج‌شکنها (جلد دوم)"، مجموعه کتابهای مهندسی دریا، شماره ۳ شرکت جهاد تحقیقات آب و آبخیزداری، ۳۱۲ صفحه، ۱۳۷۷.

◀ مراجع انگلیسی

- 1- Bradbury, A. P. , Allsop, N. W. H. and Stephens, R. V. : "Hydraulic performance of breakwater crown walls", Report SR 146, Wallingford, Hydraulics Research, March 1988.
- 2- Christianson F. T. , Broberg, P. C. , Sand, S. E. and Tryde, P. : "Behaviour of rubble mound breakwater in directional and uni-directional waves", Coastal Engineering, 8(3), August 1984.
- 3- Hughes, Steven A. : "Physical models and laboratory techniques in coastal engineering", Coastal Eng. Research Center , waterways Experiment Station, USA, 1994.
- 4- Van der Meer, J. W. and Benassi, E. : "Wave forces and impacts on a circular and square caisson", Proc. 19th Conf. On Coastal Eng., New York, ASCE, 1984.

- 5- Hall, L. R. and Baird, W. F. : "Structural design procedures for concrete armour units", Proc. 19th Conf. On Coastal Eng., New York, ASCE, 1984.
- 6- Phelp, D. , Holtzhausen, A. , Hough, G. and Bartels, A. : "Digital imaging techniques to quantify structure damage in physical models", COPEDEC V Conference, Cape Town, South Africa, pp 1620-1631, April 1999.
- 7- Goda, Y. and Suzuki, Y. "Estimation of incident and reflected waves in random wave experiments", Proc. of the 15th Coastal Eng. Conf., Honolulu, Hawaii, 1976, pp 91-114.
- 8- Mettam, J. D. and Berry, J. G. : "Factors of safety for the design of breakwaters", Proc. 18th Conf. On Coastal Eng., New York, ASCE, 1982.
- 9- Clifford, J. E. : "The design process", Breakwaters, Design and Construction Conference Proc., Institution of Civil Engineers, 1983.
- 10- Goda, Y. : "Random seas and design of maritime structures", Univ. of Tokyo Press, 1985.
- 11- Goda, Y. : "The design of upright breakwaters", Proc. of the Short Course on Design and Reliability of Coastal Structures, Venice, Scuola di S., Giovanni Evangelista, 1-3 Oct. 1992.
- 12- CUR / CIRIA : "Manual on the use of rock in coastal and shoreline engineering", 1991.
- 13- Quinn, A. D. : "Design and construction of ports and marine structures", Second Edition, Mc Graw Hill Book Company, 1972.
- 14- Van der Meer, J. W. : "Rock slopes and gravel beaches under wave attack", Delft Hydraulics Communication No. 396, 1988.
- 15- Kobayashi, N. and Wurjanto, A. : "Numerical model for design of impermeable coastal structures", Research Report No. CE-89-75, Univ. of Delaware, USA, 1989.
- 16- Kobayashi, N. and Wurjanto, A. : "Numerical model for waves on rough permeable slopes", J. of Coastal Res., Special Issue No. 7, pp 149-166, 1988.
- 17- Van Gent, M. R. A. : "The modelling of wave action on and in coastal structures", Elsevier, J. of Coastal Eng., 1994.
- 18- Engering, F. P. H. and Spierenburg, S. E. J. : "MBREAK : Computer model for the water motion on and inside a rubble mound breakwater", Delft Geotechnics, MAST-G6S Report, 1993.

- 19- Van der Meer, J. W. , Petit, H. A. H. , Van der Bosch, P. , Klopman, G. and Broekens, R. L. : “Numerical simulation of wave motion on and in coastal structures”, ASCE, Proc. 23rd ICCE, Venice, Italy, pp 1772-1784, 1992.
- 20- De Waal, J. P. and Van der Meer, J. W. : “Wave run-up and overtopping at coastal structures”, ASCE, Proc. 23rd ICCE, Venice, Italy, pp 1758-1771, 1992.
- 21- Van der Meer, J. W. : “Conceptual design of rubble mound breakwaters”, Delft, Jan. 1994.
- 22- Owen, M. W. : “Design of sea walls allowing for wave overtopping”, Report EX 924, Wallingford, Hydraulics Research, 1985.
- 23- Jensen, O. J. and Sorensen, T. : “Overspilling/overtopping of rubble mound breakwaters”, Coastal Eng., 3, 1979.
- 24- Bradbury, A. P. and Allsop, N. W. H. : “Hydraulic effects of breakwater crown walls”, 3rd Int. Conf. on Breakwaters, Institution of Civil Engineers, Eastbourne, 1988.
- 25- Powell, K. A. and Allsop, N. W. H. : “Low crest breakwaters, hydraulic performance and stability”, Report SR 57, Wallingford, Hydraulics Research, 1985.
- 26- Van der Meer, J. W. : “Data on wave transmission due to overtopping”, Delft Hydraulics, Report H986, 1990.
- 27- Seelig, W. N. : “Two-dimensional tests of wave transmission and reflection characteristics of laboratory breakwaters”, CERC Tech. Report No. 80-1, Vicksburg, 1980.
- 28- Daemrich, K. F. and Kahle, W. : “Schutzwirkung von unterwasserwellen brechern unter dem einfluss unregelmässiger seegangswellen”, Eigenverlag des Franzius-Instituts für Wasserbau und Küstening-enieurswesen, Heft 61, 1985.
- 29- Ahrens, J. P. : “Characteristics of reef breakwaters”, CERC, Vicksburg, Tech. Report, CERC-87-17, 1987.
- 30- Seelig, W. N. : “Wave reflection from coastal structures”, Proc. Conf. Coastal Eng. '83, ASCE, Arlington, 1983.
- 31- Postma, G. M. : “Wave reflection from rock slopes under random wave attack”, M.Sc. Thesis, Delft Univ. of Tech., Faculty of Civil Eng., Delft, 1989.
- 32- Allsop, N. W. H. and Channel, A. R. : “Wave reflection in harbours, reflection performance of rock armoured slopes in random waves”, Report OD 102, Hydraulics Research, Wallingford, 1989.

- 33- Seelig, W. N. and Ahrens, J. P. : “Wave reflection and energy dissipation by coastal structures”, Wave Forces on Inclined and Vertical Wall Structures, TC 172, W367, pp 28-51, 1995.
- 34- Chegini, V., Aghtouman, P. and Saghri, N. : “Wave reflection from rubble-mound breakwaters”, Proc. 4th Int. Conf. on Coasts, Ports and Marine Structures’ 2000 (ICOPMAS IV), Bandar Abbass, I R Iran, Nov. 2000.
- 35- Barends, F. B. J. : “Geotechnical aspects of rubble mound breakwaters”, Development in Breakwaters, Conf. Proc., Institution of Civil Engineers, 1985.
- 36- Allsop, N. W. H. and Wood, L. A. : “Hydro-geotechnical performance of rubble mound breakwaters : a literature review”, Report SR 98, Wallingford, Hydraulics Research, March 1987.
- 37- Van der Meer, J. W. : “Stability of breakwater armour layers – design formulae”, Development in Breakwaters, Con. Proc. Institution of Civil Engineers, 1985.
- 38- Timco, G. W. , Mansard, E. P. D. and Ploeg, J. : “Stability of breakwaters with variations in core permeability”, Proc. 19th Conf. On Coastal Eng., New York, ASCE, 1984.
- 39- Bruun, P. and Johannesson, P. : “Parameters affecting stability of rubble mounds”, J. of Waterways, Harbours and Coastal Eng., ASCE, Div. WW2, pp 141-165, May 1976.
- 40- Van der Meer, J. W. and Pilarczyk, K. W. : “Stability of low-crested and reef breakwaters”, Proc. 22nd ICCE, Delft, 1990.
- 41- Nasser, M. S. : “ Experimental analysis of wave interaction with rockfill embankments with impervious cores”, Proc. Ports & Oceans under Arctic Conditions, Norway, Vol. II, pp 1351-1364, 1979.
- 42- Hedar, P. A. : “Stability of rock fill breakwaters”, Doctoral Thesis, Univ. of Goteburg, Sweden, 1960.
- 43- Hedar, P. A. : “Armour stability of rock fill breakwaters”, Seminar at Royal Institute of Tech., Stockholm, Sweden, pp 69-85, April 1983.
- 44- Hedges, T. S. : “The core and underlayers of a rubble mound structure”, Breakwaters, Design and Construction, Conf. Proc., Institution of Civil Engineers, 1983.
- 45- Barton, N. and Kjaerusli, B. : “Shear strength of rockfill”, Proc. ASCE, 107(G T7),1981.

- 46- Charles, J. A. and Soares, M. M. : "Stability of compacted rockfill slopes", *Geotechnique*, 34(1), 1984.
- 47- Baird, W. F. and Hall, K. R. : "The design of breakwaters using quarried stone", *Proc. 19th Conf. On Coastal Eng.*, New York, ASCE, 1984.
- 48- Grimaldi, F. and Fontana, F. : "Redesign of main breakwaters of Gioia Tauro (Italy)", *Int. Symposium on Maritime Structures in the Mediterranean Sea*, Athens, National Tech. Univ. of Athens, 1984.
- 49- Burcharth, H. F. : "Fatigue on breakwater concrete armour units", *Proc. 19th Conf. On Coastal Eng.*, New York, ASCE, 1984.
- 50- Silva, M. A. G. : "On the mechanical strength of cubic armour blocks", *Coastal Structures '83*, New York, ASCE, 1983.
- 51- Burcharth, H. F. : "Full scale testing of dolosse to destruction", *Coastal Eng.*, 1981.
- 52- PIANC : "Final report of the international commission for the study of waves", *Supplement to Bulletin No. 25, Vol. III*, 1976.
- 53- Hudson, R. Y. : "Laboratory investigations of rubble-mound breakwaters", *Proc. ASCE*, 1959.
- 54- British Standard 6349 , Part 7 : "Maritime structures, guide to the design and construction of breakwaters", 1991.
- 55- U. S. Army Corps of Engineers : "Shore protection manual", Vos. I and II, Fort Belvoir, Coastal Eng. Res. Center, 1984.
- 56- Markle, D. G. and Davidson, D. D. : "Placed-stone stability tests, Tillamook, Oregon", *Tech. Report HL-79-16*, U. S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss., April 1979.
- 57- Zwamborn, J. A. and Van Niekerk, M. : "Additional model tests-dolos packing density and effect of relative rock density", *CSIR Research 554*, Council for Scientific and Industrial Research, National Res. Institute for Oceanology, Coastal Engineering and Hydraulics Div., Stellenbosch, South Africa, July 1982.
- 58- Van der Meer, J. W. : "Rock slopes and gravel beaches under wave attack", *Doctoral Thesis*, Delft Univ. of Tech., 1988.
- 59- Thompson, D. M. and Shutter, R. M. : "Riprap design for wind wave attack-a laboratory study in random waves", *Wallingford HRS, Ex 707*, Sept. 1975.

- 60- Broderick, L. L. : “Riprap stability versus monochromatic and irregular waves”, M.Sc. Thesis. George Washington Univ., USA, 1984.
- 61- Powell, K. A. : “Armour rock size, the prediction methods available”, Hydraulics Res. Seminar, Wallingford, Hydraulics Res., 16 Jan. 1986.
- 62- Latham, J.-P. , Mannion, M. B. , Bradbury, A. P. and Allsop, N. W. H. : “The influence of armourstone shape and rounding on the stability of breakwater armour layers”, Queen Mary College, Univ. of London, UK, 1988.
- 63- Van der Meer, J. W. : “Stability of cubes, tetrapods and accropode”, Proc. Breakwaters '88, Eastbourne, Thomas Telford, 1988.
- 64- Van der Meer, J. W. and Heydra, G. : “Rocking armour units: number, location and impact velocity”, Elsevier, J. of Coastal Eng., Vol. 15, No's 1, 2, pp 21- 40, 1991.
- 65- Eckert, J. W. : “Design of toe protection for coastal structures”, Coastal Structures '83, New York, ASCE, 1983.
- 66- Pilarczyk, K. W. : “Design of seawalls and dikes – including overview of revetments”, Coastal Protection, K W. Pilarczyk Editor, Proc. of the Short Course on Coastal Protection, delft Univ. of Tech., A. A. Balkema Publishers, 1990.
- 67- Hoffmans, G. J. C. M. : “Incipient motion and scouring of loose materials”, Dikes and Revetments : Design, Maintenance and Safety Assessment, K. W. Pilarczyk Editor, A. A. Balkema Publishers, 1998.
- 68- Isbash, S. V. and Khaldre, K. Y. : “Hydraulics of river channel closure”, 1959.
- 69- Hales, L. Z. : “Erosion control of scour during construction”, HL-80-3, Report 1-3, US Army Engineer Waterways Experimental Station, Vicksburg, 1980.
- 70- HRS Notes, 15, Wallingford, Hydraulics Research, Dec. 1969.
- 71- Jensen, O. J. : “A monograph on rubble mound breakwaters”, Danish Hydraulic Institute, Denmark, 1984.
- 72- Juhl, J. and Jensen, O. J. : “Features of berm breakwaters and practical experience”, 4th Int. Conf. On Coastal and Port Eng. In Developing Countries, RJ, Brazil, pp 1307-1320, 25-29 Sept. 1995.
- 73- Van der Meer, J. W. and Veldman, J. J. : “Stability of the seaward slope of berm breakwaters”. Elsevier, J. of Coastal Eng., 16, pp 205-234, Sept. Issue, 1992.

- 74- Andersen, O. H. , Juhl, J. and Sloth, P. : “Rear side stability of berm breakwater”, Proc. Final overall Workshop of MAST G6S Coastal Structures, Lisbon, 1992.
- 75- Burcharth, H. F. and Frigaard, P. : “On the stability of berm breakwater roundheads and trunk erosion in oblique waves”, ASCE, Seminar on Unconventional Rubble-Mound Breakwaters, Ottawa, Canada, 1987.
- 76- Burcharth, H. F. and Frigaard, P. : “On 3-dimensional stability of reshaping berm breakwaters”ASCE, Proc. 21st ICCE, Malaga, Spain, Ch. 169, 1988.
- 77- Vrijling, J. K. , Smit, E. S. P. and De Swart, P. F. : “Berm breakwater design, the longshore transport case: a probabilistic approach”, ICE, Proc. Coastal Structures and Breakwaters, London, 1991.
- 78- Ahrens, J. P. : “Stability of reef breakwaters”, ASCE, J. of WPC and OE, Vol. 115, No. 2, 1989.
- 79- Van der Meer, J. W. : “Low-crested and reef breakwaters”, Delft Hydraulics, Report H 198/Q 638, 1990.
- 80- Vidal, C. , Losada, M. A. , Medina, R. , Mansard, E. P. D. and Gomez-Pina, G. : “A universal analysis for the stability of both low-crested and submerged breakwaters”, ASCE, 23rd ICCE, Venice, Italy, 1992.
- 81- Gilver, L. D. and Sorensen, R. M. : “An investigation of the stability of submerged homogeneous rubble-mound structures under wave attack”, Lehigh Univ. H. R. IMBT Hydraulics, Report # IHL-110-86,1986.
- 82- Fookes, P. G. and Poole, A. B. : “Some preliminary considerations on the selection and durability of rock and concrete materials for breakwaters and coastal protection works”, Quarterly J. of Eng. Geology, 14, 1981.
- 83- Institution of Civil Engineers : “Flexible armoured revetments incorporating geotextiles”, Proc. Int. Conf., London, Thomas Telford, March 1984.
- 84- John N. W. M. : “Gotextile”, New York, Chapman and Hall, 1977
- 85- Heerten, G. : “Geotextiles in coastal engineering – 25 years experience”, Geotextiles and Geomembranes, 1, 1984.
- 86- Van Garderen, A. P. and Mulders, G. L. M. : “The use of bitumen in coastal structures”, Coastal Structures '83, New York, ASCE, 1983.
- 87- Rijkwaterstat : “The use of asphalt in hydraulic engineering”, Report No. 37, Netherlands, 1985.

- 88- Van Herpen, J. A. : “Bituminous revetments”, Dikes and Revetments : Design, Maintenance and Safety Assessment, K. W. Pilarczyk Editor, A. A. Balkema Publishers, 1998.
- 89- Ridgway, R. J. , Kier, M. , Hill, L. P. and Low, D. W. : “Port Talbot harbour : construction”, Proc. Institution of Civil Engineers, April 1970.
- 90- Hookway, D. W. and Brinson, A. G. : “Construction of rubble mound breakwaters at Ras Lanuf, libya”, Proc. ICE, London, Nov. 1958.
- 91- Barlow, P. G. R. and Briggs, M. G. : “Rubble breakwaters – specifications”, Coastal Structures ’83, New York, ASCE, 1983.
- 92- Jarlan, G. L. E. : “A perforated vertical wall breakwater”, The dock and Harbour Authority, Vol. XLI, No. 486, pp 394-398, April 1961.
- 93- Nagai, S. : “Wave pressures on slit-type breakwaters”, Proc. 16th Conf. On Coastal Eng., New York, ASCE, 1978.
- 94- Quinlan, J. S. S. : “Kuwait breakwater – a case history”, Proc. ICE, London, Nov. 1958.
- 95- Cornick, H. F. : “Dock and harbour engineering”, 2nd Edn., London, Charles Griffin, 1968.
- 96- Proc. ICE, London, Nov. 1958.
- 97- Gardner, J. D. and Townend, I. H. : “Slotted vertical screen breakwaters”, Design of Breakwaters, Conf. Proc. Institution of Civil Engineers, 1983.
- 98- Ports and Harbour Research Institute : “Technical standards for port and harbour facilities in Japan”, Ministry of Transport, Japan, 1980.
- 99- Bruun, P. (ed.) : “Design and construction of mounds for breakwaters and coastal protection”, Developments in Coastal Engineering, Elsevier, Amsterdam, 1985.
- 100- Institution of Civil Engineers : “Development in breakwaters”, Conf. Proc., 1985.
- 101- Sawaragi, T. and Iwata, K. : “On the wave attenuation of a double permeable wall breakwater”, Transaction of JSCE, Vol. 9, pp 133-135, 1977.
- 102- Sawaragi, T. and Iwata, K. : “Wave attenuation of a vertical breakwater with two air chambers”, Coastal Eng. in Japan, Vol. 21, pp 63-74, 1978.
- 103- Kondo, H. : “Analysis of breakwaters having two porous walls”, Coastal Structures ’79, pp 962-977, 1979.

- 104- Chwang, A. T. and Dong, Z. : “Wave-trapping due to a porous plate”, Proc. Of the 15th Office of Naval Res. Symposium, Hamburg, pp 407-417, 1984.
- 105- Twu, S. W. and Lin, D. T. : “On a highly effective wave absorber”, Coastal Eng., Vol. 15, pp 389-405, 1991.
- 106- Chegini, V. and Wilkinson, D. : “Theoretical analysis of upright perforated wave absorbers”, Proc. 4th Int. Conf. on Coastal and Port Eng. in Developing Countries (COPEDEC IV), RJ, Brazil, pp 2354-2365, 25-29 Sept. 1995.
- 107- Chegini, V. : “Design of upright perforated energy dissipators for use in wave basins”, Ph.D. Thesis, Dept. of Water Eng., School of Civil Eng., Univ. of New South Wales, Australia, March 1994.
- 108- Sawaragi, T. , Iwata, K. and Pena, J. C. : “Transmission et réflexion de la houle par une digue formée de planches verticales”, La houille Blanche, No. 8, pp 625-637, 1976.
- 109- Tanimoto, K. , Moto, K. , Ishizuka, S. and Goda, Y. : “An investigation on design wave force formulae of composite-breakwaters”, Proc. 23rd Japanese Conf. Coastal Eng., pp 11-16, 1976.
- 110- Hoffmans, G. J. C. M. : “Incipient motion and scouring of loose material”, Dikes and Revetments: Design, Maintenance and Safety Assessment, K. W. Pilarczyk Editor, A. A. Balkema Publishers, 1998, pp. 125-144.
- 111- Jensen, O. J. : “Stability of rubble foundation for composite breakwaters”, Int. Conf. on Coastal and Port Engineering in Developing Countries, Colombo, 1983.
- 112- Isbash, S. V. and Khaldre, K. Y. : “Hydraulics of river channel closure”, 1959.
- 113- Gravensen, H. and Lundgren, H. : “Forces on vertical and sloping face breakwaters”, 17th Congress, Int. Association for Hydraulic Res., 1977.
- 114- Romiti, G. , Noli, A. and Franco, L. : “The Italian experience in composite breakwaters”, Development in Breakwaters, Conf. Proc. Institution of Civil Engineers, 1985.
- 115- Piarczyk, Editor: “Coastal Protection”, Balkema, 1990.
- 116- Piarczyk: “Dikes & Reventments”, Balkema, 1998.
- 117- Simm Vian, Cruo Shank: “Construction Risk in Coastal Engineering”, Thom an Telford, 1998.
- 118- Frankel, G. : “Reliability Engineering and Risk Analysis”, 1988.

- 119- Steve, C. : “Risk Analysis in Designing of Marine Breakwaters”, Prof. Of First Int. ICOPMAS, 1994.
- 120- Beecm, N.W., John, S. : “A Manual for Beach Management Coastal Management, Putting Policy in to Practice”, Thomcy Telford, PP. 224-247, 1996.
- 121- Sorensen: “RiBasic Coastal Engineering”, Chapman & Aall, 1997.
- 122- US Army Corps of Engineering : “Coastal Groins and Nearshore Breakwaters”, Em 1102-2-1617, 1992.
- 123- CIRIA: “Groynes in Coastal Engineering”, A Review- Technical Note 111,1983.
- 124- Perbrunu : “Port Engineering”.
- 125- CIRIA : “Guide on the Uses of Groynes in Coastal Engineering”, Report 119, 1990.
- 126- Silverster : “Coastal Engineering”, 1947.
- 127- Collier- courtland: “Seawall & Revetment Effectiveness, Cost and Construction”.
- 128- Kinball Chase Company: “Project Manual Including Specifications of the Prescott Park Seawall”.
- 129- Hanson, H. & Kraus, N.C.: “Seawall oundary Condition in Numerical Models”, 1986.
- 130- Geace, P.J. & Carver, R. D. : “Sea Wall & Revetment Revetment Stability Study”, 1985.
- 131- EAV: “Recomman dations of the Committee for Water Front Structures,”, 1985.
- 132- Komar, Paul D. : “Hand book of Coastal Processes and Erosion”.
- 133- Delft Hydrsulic Institute: “Coastal Engineering, Beach & Sediment”.
- 134- Silver, R. : “Coastal Stabilization”, 1993.

واژه نامه

A

Accretion انباشتگی
 Air entrainment پدیده هوادهی
 Approach channel کانال دسترسی
 Area porosity تخلخل سطحی
 Armour crest تاج آرمور

B

Backshore عقب کرانه
 Beach face دریا کنار
 Beach nourishment تغذیه ساحل
 Berm سکو
 Berm breakwater موج شکن سکویی
 Blockwork بلوک چینی
 Breaking waves موج شکن
 Breakwater alignment آرایش موج شکنها
 Bulkheads دیوارهای لغزش گیر ساحلی

C

Caissons breakwaters
 موج شکنهای صندوقه‌ای
 Cap کلاهک
 Compaction تراکم
 Composite breakwater موج شکن مرکب
 Computational models مدل‌های محاسباتی
 Concrete blocks بلوک‌های بتنی
 Concrete caissons صندوقه‌های بتنی
 Construction loads بارهای حین اجرای سازه
 Conventional سنتی
 Convex کوژ
 Crest قله موج

Crest freeboard ارتفاع آزاد تاج
 Cross shore عمود بر ساحل
 Crown wall دیواره تاج
 Crown wall دیواره تاج

D

Damage آسیب
 Deep water ژرفاب
 Design life عمر طرح
 Design wave condition شرایط موج طرح
 Deterministic معین
 Dike سد ساحلی
 Dikes دایکها
 Dune bedform اشکال تپه مانند بستر
 Dunes بستر تپه مانند
 Dynamic Revetment پوشش حفاظتی پویا

E

Endpassing گذر انتهایی
 Equivalent relative density چگالی نسبی معادل
 Erosion فرسایش
 Exceedance line حد فزونی
 Exceedance curves منحنیهای فزونی

F

Fetch بادگیر
 Flat waves امواج مسطح
 Flooding سیلاب
 Freeboard ارتفاع آزاد
 Froude scaling law مقیاس بندی فرود

G

Gabions توری سنگ

Groins آب‌شکنها

H

Head..... پوزه یا رأس

HHW بالاترین مدها

Horizontal Shore Section... قسمت افقی ساحلی

Hydraulic loads..... بارهای هیدرولیکی

I

Inland waterways..... آبراهه‌های داخلی

J

Jetties..... تیغه‌های ساحلی

L

Lean concrete..... بتن مگر

Lee breakwater..... موج‌شکن فرعی

Littoral transport انتقال کرانه‌ای

Littoral Zone منطقه کرانه‌ای

Long period waves..... امواج پریود بلند

Longshore موازی ساحل

Longshore currents جریانهای موازی ساحل

Low-crested breakwaters.....

موج‌شکنهای تاج کوتاه

M

Main breakwater موج‌شکن اصلی

Mass armoured breakwaters

موج‌شکنهای مسلح توده‌ای

Mass overtopping سرریزی حجیم

Mastic asphalt..... آسفالت بتونه

Mattress- بالشک

Maximum wave height..... ارتفاع بیشینه موج

MLLW..... سطح متوسط آب پایین

Monitoring..... پایش

Multi-cellular structures

سازه‌های سلولی چندگانه

N

No-damage condition..... شرایط عدم آسیب

Nominal diameter قطر اسمی

Non-breaking wave..... موج ناشکنا

Notional permeability factor

ضریب نفوذ پذیری فرضی

O

Offshore breakwater .. دور از ساحل

Offshore reefs آب‌سنگهای دور از ساحل

Operation..... عملیات بندر

Orbital velocity سرعت مداری

Overburden..... سربار

Over-compaction..... تراکم بیش از حد

P

Peak period..... پریود حداکثر

Perforated concrete breakwater.....

موج‌شکن بتنی مشبک

Perforated wall breakwater

موج‌شکن دیوار مشبک

Perforated wave screens breakwaters.....

موج‌شکنهای مشبک عبور دهنده موج

Pervious Revetments..... پوشش حفاظتی نفوذپذیر

Plunging breaking waves..... امواج شکنای چرخان

Primary armour آرمور اولیه

Probablistic..... احتمالی

R

Racking piles..... شمعهای مایل

Random long-crested waves	امواج تصادفی تاج‌بلند	Shoaling.....	کم‌عمقی
Rare events	پیشامدهای نادر	Shoaling effects	اثرات کاهش ژرفا
Refraction.....	انکسار	Sieve curves	منحنیهای دانه‌بندی
Regular pattern placed units	استقرار منظم قطعات	Significant wave height.....	ارتفاع عمده موج
Reinforcement	تسلیح	Single circular cells	سلولهای منفرد دایره‌ای
Relative buoyant density.....	چگالی شناوری نسبی	Sliding Criterion	معیار لغزش
Reshaping breakwater	موج‌شکن شکل‌پذیر	Slumping.....	پدیده فرو نشست
Resonance	پدیده تشدید	Small boat harbours	بنادر قایق‌های کوچک
Return period.....	دوره بازگشت	Sounding	روش عمق‌یابی
Revetments	پوشش‌های حفاظتی	SPEM.....	جامعه زمین‌شناسی آمریکا
Ripple	بستر موج	Spray	پاشش آب
Ripple bedform	اشکال موج وار بستر	Stability.....	پایداری
Rotational failure.....	خرابی ناشی از چرخش	Stability/ Equilibrium Criterion...	معیار تعادل
Rubble mound breakwater	موج‌شکن توده‌سنگی	Stable breakwaters	موج‌شکن‌های پایدار
Run-up	بالاروی	Standing wave	الگوهای موج ایستا
Run-up	بالا روی	Static loads.....	بارهای استاتیکی
S		Statically stable submerged structures	سازه‌های مستغرق پایدار ایستا
Sand.....	ماسه	Steep waves.....	امواج تند
Scale effects.....	اثرات مقیاس	Still water level.....	سطح ایستایی
Scour.....	فرسایش‌های عمومی و موضعی	Storm surge.....	برکشند طوفان
Seawalls	دیوارهای ساحلی یا دریایی	Sub Littoral Zone	زیر کرانه‌ای
Secondary armour layer.....	لایه آرمور ثانویه	Subsidence	فرو نشست
Serviceability limit state.....	حالت حدی قابلیت سرویس	Subsoil.....	خاک بستر
Sheet-pile.....	سپری	Superstructure	سازه فوقانی
Shell	پوسته	Surface-resistance criterion.....	معیارهای مقاومت سطحی
		T	
		Terminal groin	آب‌شکن پایانه

Tidal currents جریانهای کشندی
 Tidal inlet شاخاب کشندی
 Timber cribs سدهای مغروق چوبی
 Tolerable damage آسیب قابل قبول

U

Ultimate limit state حالت حدی نهایی
 Ultimate Limit State حد نهایی عوامل مخرب
 Unconventional غیر سنتی
 Underlayer زیر لایه
 Undistorted تحریف نشده
 Undistorted scale مقیاس تحریف نشده
 Uplift برکنش
 Uplift Criterion معیار برکنش
 Uplift pressures فشارهای بالابرنده

V

Vertical breakwater موج‌شکن قائم
 Volumetric porosity تخلخل حجمی

W

Wave basin حوضچه موج
 Wave chamber محفظه موج
 Wave diffraction تفرق موج
 Wave direction جهت موج
 Wave overtopping سرزیر شدن موج
 Wave reflection انعکاس موج
 Wave run-down پایین آمدگی موج
 Wave run-up بالاروی موج
 Wave set-up خیز آب موج
 Wave steepness تیزی موج

Wave transmission انتقال موج

Wind carried spray پاشش آب توسط باد

Z

Zero crossing period پریود تقاطع صفر

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
(Breakwaters and Coastal Protection Structures)**

No: 300-5

**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 (موج‌شکنها و سازه‌های حفاظتی)» شامل نوزده فصل است.

فرایندهای ساحلی، عوامل مؤثر در طراحی سازه‌های حفاظت ساحلی، جمع‌آوری اطلاعات، تحلیل اطلاعات، تحلیل ریسک، طراحی جانمایی موج‌شکنها، طراحی کلی موج‌شکنها، موج‌شکنهای توده‌سنگی، موج‌شکنهای قائم، موج‌شکنهای مرکب، شرایط انتخاب نوع سازه‌های حفاظتی، شرایط انتخاب محل و مبانی حفاظت ساحل، آب‌شکنها، تیغه‌ها، دیوارهای ساحلی، دیواره لغزش‌گیر ساحلی، پوشش‌های حفاظتی، تپه‌های ماسه‌ای و موج‌شکنهای دور از ساحل، فصلهای مختلف نشریه را تشکیل می‌دهند.

دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور، پیمانکاران و عوامل دیگر می‌توانند از این نشریه به عنوان راهنما استفاده کنند.