

جمهوری اسلامی ایران
سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور

آیین‌نامه طراحی بنادر و سازه‌های دریایی ایران

نشریه شماره ۱-۳۰۰
(ملاحظات محیطی و بارگذاری)

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: ۱۰۰/۲۰۰۵۱	به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران
تاریخ: ۱۳۸۵/۲/۱۱	
موضوع: آیین‌نامه طراحی بنادر و سازه‌های دریایی ایران (ملاحظات محیطی و بارگذاری)	
<p>به استناد آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی، موضوع ماده (۲۳) قانون برنامه و بودجه و در چارچوب نظام فنی و اجرایی طرح‌های عمرانی کشور مصوبه شماره ۱۴۸۹۸/ت/۲۴۵۲۵ هـ مورخ ۱۳۷۵/۴/۴ هیأت محترم وزیران به پیوست، نشریه شماره ۱-۳۰۰ دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله این سازمان، با عنوان «آیین‌نامه طراحی بنادر و سازه‌های دریایی ایران (ملاحظات محیطی و بارگذاری)» از نوع گروه سوم، ابلاغ می‌شود.</p> <p>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.</p> <p>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.</p>	
<p> فرهاد رهبر معاون رئیس جمهور و رئیس سازمان</p>	

:

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 ۱۴۸۹۸/ت/۲۴۵۲۵ 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 اول (ملاحظات محیطی و بارگذاری)

آگاهی از عوامل و شرایط محیطی جزء مهمترین فاکتورهای طراحی سازه‌ها می‌باشد. سازه‌های دریایی و بنادر با توجه به موقعیت ویژه‌ای که دارند از این امر مستثنی نیستند. در نظر گرفتن این عوامل، استفاده از روشهای صحیح و واقعی را در آنالیز و طراحی ممکن ساخته و سبب می‌گردد تا این سازه‌ها در مقابل بارهای وارده و شرایط محیطی، امکان پایداری قابل قبولی را دارا باشند. در این بخش از آیین‌نامه، چگونگی ملحوظ داشتن امواج به عنوان مهمترین عامل تأثیرگذاری بر طراحی سازه‌های دریایی و بنادر، ثبت و تحلیل امواج و محاسبه مشخصاتی مانند طول، ارتفاع و دوره تناوب ارایه شده است. همچنین جهت بررسی، پیش‌بینی و برون‌یابی امواج فراساحلی راهنمایی‌هایی مطرح گردیده است. در ادامه به بارگذاری انواع نیروهای حاصل از عواملی همچون موج، خاک، جریانهای دریایی، جزر و مد و زلزله بر سازه‌ها اشاره شده است. همچنین تأثیر سازه‌هایی مانند دیوارهای ساحلی و موج‌شکنها بر روی وضعیت دریا به همراه روشهایی برای تعیین وضعیت قابل قبول دریا برای شناورهای لنگر انداخته در این بخش مطرح شده است.

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

اعضای کمیته اجرایی بررسی نهایی و تکمیل آیین‌نامه

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

مهندس حسین مثقالی
مهندس عبدالرضا محبی
مهندس خسرو مشتریخواه

دکتر حمید رحیمی پور
مهندس محمد سعید سجادیپور
دکتر محمود صفارزاده

اعضای کمیته راهبردی

دکتر کیومرث عماد
مهندس مهران غلامی
مهندس طاهر فتح الهی

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

بخش اول (ملاحظات محیطی و بارگذاری) مجری: شرکت جهاد تحقیقات خاک و آبخیزداری

دکتر جواد طباطبایی
مهندس حسین عمید
مهندس حسین مروتی
مهندس سعید مظاهری

دکتر سید علی آرمسا
دکتر وحید چگینی
دکتر علی کرمی خانیکی
دکتر محرم دولتشاهی
ناظر: دکتر حمید رحیمی پور

معاون امور فنی
زمستان ۱۳۸۴

فهرست تفصیلی مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل اول - مشخصه‌های موج
۳	۱-۱ کلیات
۴	۲-۱ اشکال موج
۴	۳-۱ مشخصات پایه‌ای موج
۴	۱-۳-۱ کلیات.....
۵	۲-۳-۱ ارتفاع موج.....
۵	۳-۳-۱ دوره تناوب موج.....
۵	۴-۳-۱ فراوانی موج.....
۵	۵-۳-۱ طول موج.....
۶	۶-۳-۱ سرعت فاز.....
۷	۷-۳-۱ سرعت مداری.....
۷	۸-۳-۱ تیزی موج.....
۸	۹-۳-۱ گروه موج.....
۸	۴-۱ مشخصات وضعیت دریا
۸	۱-۴-۱ کلیات.....
۹	۲-۴-۱ ارتفاع موج شاخص.....
۹	۳-۴-۱ دوره تناوب موج شاخص.....
۹	۴-۴-۱ دوره تناوب عبور از صفر موج.....
۹	۵-۴-۱ چگالی طیفی.....
۹	۶-۴-۱ چگالی طیفی یک بعدی.....
۱۰	۷-۴-۱ طیف موج یک بعدی.....
۱۰	۸-۴-۱ دوره بازگشت و موج طراحی.....
۱۳	فصل دوم - اقلیم موج آب عمیق
۱۵	۱-۲ تولید موج
۱۵	۲-۲ پیش‌بینی موج

۱۵	۱-۲-۲ استفاده از روشهای پیش‌بینی موج.....
۱۵	۲-۲-۲ سرعت و زمان تداوم باد.....
۱۶	۳-۲-۲ طول موجگاه.....
۱۶	۴-۲-۲ پیش‌بینی موج از طریق نمودارهای موج شاخص.....
۱۸	۵-۲-۲ پیش‌بینی از طریق طیف موج.....
۲۲	۳-۲ میرایی موج و امواج دورا
۲۳	۴-۲ برون‌یابی داده‌های امواج فراساحلی
۲۵	فصل سوم - اثرات آب کم عمق
۲۷	۱-۳ کلیات
۲۷	۲-۳ انکسار و کاهش ژرفای موج
۲۷	۱-۲-۳ کلیات.....
۳۲	۲-۲-۳ روشهای عددی محاسبه انکسار و مشکلات خط سوزان.....
۳۴	۳-۲-۳ تأثیر ورودی کانال.....
۳۵	۳-۳ اصطکاک کف
۳۸	۴-۳ شکست موج
۴۳	فصل چهارم - امواج بلند
۴۵	۱-۴ کلیات
۴۵	۲-۴ جبهه فشار متحرک
۴۶	۳-۴ تأثیرات گروه‌بندی امواج
۴۷	۴-۴ سونامی
۴۷	۵-۴ برکشند طوفان
۴۹	۶-۴ نتیجه‌گیری
۵۱	فصل پنجم - ثبت و تحلیل امواج
۵۳	۱-۵ منابع اطلاعاتی موجود
۵۳	۲-۵ مشاهدات محلی
۵۵	۳-۵ ثبات موج

۵۵	۱-۳-۵ سیستمهای شناور.....
۵۶	۲-۳-۵ سیستمهای زیر سطحی.....
۵۶	۳-۳-۵ سیستمهای زیر سطحی.....
۵۶	۴-۳-۵ سیستمهای جهت‌مند.....
۵۷	۴-۵ تحلیل داده‌های ثبت شده
۵۷	۱-۴-۵ کلیات.....
۵۷	۲-۴-۵ تحلیل دستی.....
۵۸	۳-۴-۵ تحلیل محاسباتی.....
۵۹	فصل ششم - برون‌یابی داده‌های موج
۶۱	۱-۶ کلیات
۶۱	۲-۶ برون‌یابی برای تعیین مشخصات موج حدی
۶۱	۱-۲-۶ قابلیت اعتماد برون‌یابی.....
۶۲	۲-۲-۶ ارتفاع امواج.....
۶۵	۳-۶ برون‌یابی برای تعیین ارتفاع ماکزیمم امواج منفرد
۶۵	۱-۳-۶ کلیات.....
۶۶	۲-۳-۶ ارتفاعهای ماکزیمم.....
۶۷	۴-۶ برون‌یابی دوره تناوب موج
۶۹	فصل هفتم - اثرات موج شکنها و دیوارهای دریایی بر روی امواج
۷۱	۱-۷ کلیات
۷۲	۲-۷ موج شکنهای آب عمیق
۷۴	۳-۷ موج شکنها و دیوارهای دریایی آب کم عمق
۷۷	فصل هشتم - پاسخ بندر
۷۹	۱-۸ کلیات
۸۰	۲-۸ تفرق موج بر روی بستر کم شیب دریا
۸۰	۱-۲-۸ کلیات.....
۸۰	۲-۲-۸ حالت موج شکن منفرد.....

۸۴	..... ۳-۲-۸ موج شکن دو بازویه
۸۶	..... ۴-۲-۸ جریانهای ناشی از تفرق موج
۸۷	..... ۳-۸ روشهای پرتوی برای تفرق و انکسار موج
۸۸	..... ۴-۸ پدیده تشدید در بندر
۸۹	..... ۵-۸ مدل‌های فیزیکی
۹۱	..... ۶-۸ مدل‌های محاسباتی
۹۱	..... ۱-۶-۸ کلیات
۹۱	..... ۲-۶-۸ مدل‌های عمق ثابت
۹۲	..... ۳-۶-۸ مدل‌های عمق متغیر
۹۳	فصل نهم - نیروی حاصل از موج
۹۵	..... ۱-۹ مقدمه
۹۵	..... ۲-۹ نیروی موج وارده بر یک دیوار قائم
۹۵	..... ۱-۲-۹ ویژگی‌های کلی نیروی موج وارده بر یک دیوار قائم
۹۵	..... ۲-۲-۹ نیروی وارده از طرف امواج ایستاده و شکننا بر یک دیوار قائم
۹۹	..... ۳-۲-۹ فشار برخورد یا شوک امواج شکننا
۱۰۱	..... ۴-۲-۹ نیروی موج وارده بر دیوار قائم پوشیده شده با بلوکهای بتنی مستهلک کننده امواج
۱۰۲	..... ۵-۲-۹ محاسبه نیروی موج وارده بر یک دیوار قائم با امتداد مقعر
۱۰۳	..... ۶-۲-۹ نیروی موج وارده بر یک دیواره قائم در منطقه دارای تغییرات زیاد عمق آب
۱۰۳	..... ۷-۲-۹ نیروی موج وارده بر صندوقه‌های قائم مستهلک کننده امواج
۱۰۳	..... ۳-۹ وزن سنگها و بلوکهای آرمور
۱۰۴	..... ۴-۹ نیروی موج وارد بر اعضای مستغرق
۱۰۵	..... ۵-۹ نیروی موج وارده بر سازه‌های بزرگ
۱۰۶	..... ۶-۹ نیروی موج وارد بر یک سازه نزدیک به سطح آب
۱۰۶	..... ۱-۶-۹ نیروی بالا برنده وارد بر یک صفحه افقی واقع در نزدیکی سطح آب
۱۰۶	..... ۲-۶-۹ نیروی افقی موج وارد بر یک صفحه قائم در نزدیکی سطح آب
۱۰۷	فصل دهم - بارگذاری جریان
۱۰۹	..... ۱-۱۰ جریانهای دریایی

۱۱۲	۲-۱۰ جزر و مد
۱۱۳	۳-۱۰ تراز میانگین آب دریا MSL
۱۱۵	فصل یازدهم - بارگذاری زلزله
۱۱۷	۱-۱۱ کلیات
۱۱۷	۱-۱-۱۱ هدف
۱۱۷	۲-۱-۱۱ حدود کاربرد
۱۱۷	۳-۱-۱۱ ضوابط کلی
۱۱۸	۴-۱-۱۱ گروه‌بندی اسکله و سازه‌های دریایی بر حسب اهمیت
۱۱۹	۵-۱-۱۱ گروه‌بندی سازه‌های دریایی از نظر سیستم سازه‌ای
۱۱۹	۲-۱۱ محاسبه سازه‌های دریایی در برابر نیروی زلزله
۱۱۹	۱-۲-۱۱ کلیات
۱۲۰	۲-۲-۱۱ بار زنده
۱۲۰	۳-۲-۱۱ انتخاب روش محاسبه زلزله
۱۲۰	۴-۲-۱۱ روش تحلیل استاتیکی
۱۲۲	۵-۲-۱۱ تحلیل شبه دینامیکی و دینامیکی
۱۲۳	فصل دوازدهم - فشار جانبی خاک
۱۲۵	۱-۱۲ کلیات
۱۲۵	۲-۱۲ ضریب فشار جانبی خاک و اثر جا به جایی جانبی بر آن
۱۲۶	۳-۱۲ فشار جانبی محرک خاک
۱۲۸	۴-۱۲ فشار جانبی مقاوم خاک
۱۲۹	۵-۱۲ اثر اصطکاک دیوار
۱۲۹	۶-۱۲ اثر فشار آب و زهکشی
۱۲۹	۷-۱۲ اثر سربار
۱۲۹	۸-۱۲ اثر زلزله
۱۳۰	۱-۸-۱۲ اثر زلزله در حالت محرک
۱۳۱	۲-۸-۱۲ اثر زلزله در حالت مقاوم
۱۳۱	۳-۸-۱۲ اثر آب بر روی فشار جانبی

۱۳۳	فصل سیزدهم - پهلوگیری
۱۳۵	۱-۱۳ کلیات
۱۳۵	۲-۱۳ عوامل عملیات
۱۳۶	۳-۱۳ ضربه گیر
۱۳۶	۴-۱۳ برآورد بارهای پهلوگیری
۱۳۷	۵-۱۳ برآورد انرژی پهلوگیری
۱۴۱	فصل چهاردهم - مهاربندی
۱۴۳	۱-۱۴ کلیات
۱۴۳	۲-۱۴ برآورد بارهای مهاربندی
۱۵۵	فصل پانزدهم - شرایط قابل قبول موج برای مهار قایق
۱۵۷	۱-۱۵ کلیات
۱۵۷	۲-۱۵ بندرگاهها
۱۵۸	۳-۱۵ بنادر ماهیگیری
۱۵۸	۴-۱۵ بارگیری و باراندازی
۱۵۹	مراجع

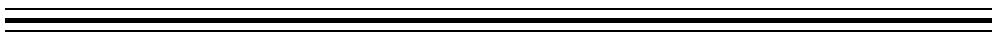
فهرست جدولها

عنوان	صفحه
جدول ۸-۱ ضریب تفرق برای بازوی موج‌شکن منفرد.....	۸۳
جدول ۱۰-۱.....	۱۱۰
جدول ۱۱-۱ ضرایب منطقه‌های G	۱۲۱
جدول ۱۱-۲ ضریب تأثیر نوع خاک B	۱۲۲
جدول ۱۱-۳ طبقه‌ندی خاک.....	۱۲۲
جدول ۱۳-۱ سرعت پیشنهادی پهلوگیری مایل.....	۱۳۸
جدول ۱۴-۱ بارگذاری اسمی طناب‌بندها و طناب‌مهارها برای شناورهای تا ۲۰,۰۰۰ تنی.....	۱۴۴

فهرست شکلها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱ تغییرات طول موج بر حسب عمق آب.....	۶
شکل ۱-۲ نمودار پیش‌بینی موج شاخص.....	۱۷
شکل ۲-۲ طیف موج JONSWAP.....	۲۱
شکل ۳-۲ طیف موج پیرسون - موسکوویچ.....	۲۲
شکل ۱-۳ نمودار نسبی انکسار موج.....	۲۹
شکل ۲-۳ الف- عمق نسبی آب بر حسب ضریب کاهش عمق.....	۲۹
شکل ۳-۳ ب- عمق نسبی بر حسب ارتفاع موج.....	۳۰
شکل ۳-۳ ج- عمق نسبی بر حسب ارتفاع موج.....	۳۱
شکل ۳-۳ د- رابطه عمق نسبی و ارتفاع موج.....	۳۲
شکل ۳-۳ ضریب کاهش ارتفاع موج در اثر اصطکاک کف.....	۳۷
شکل ۱-۶ نمودار نمونه برای برون‌یابی ارتفاع موج.....	۶۵
شکل ۲-۶ تغییرات $(H_{max}/HS)^2$ بر حسب N.....	۶۷
شکل ۱-۷ بالاروی بر روی شیبهای سنگچین دانه‌بندی شده.....	۷۳
شکل ۲-۷ بالاروی بر روی شیبهای توده سنگی.....	۷۴
شکل ۱-۸ تفرق موج در بازوی موج‌شکن منفرد.....	۸۲
شکل ۲-۸ ضریب شدت تفرق موج برای بازشدگی کم عرض.....	۸۵
شکل ۳-۸ تفرق موج در بازشدگی کم عرض موج‌شکن.....	۸۶
شکل ۱-۹ توزیع فشار مورد استفاده در طراحی.....	۹۶
شکل ۲-۹ تعریف زاویه حمله موج.....	۹۷
شکل ۳-۹ فشار موج بر روی دیوارهایی که با بلوکهای مستطیل کننده انرژی پوشیده شده‌اند.....	۱۰۲
شکل ۱-۱۲.....	۱۲۷
شکل ۲-۱۲.....	۱۲۷
شکل ۱-۱۴ ضرایب نیروی ناشی از جریانهای دریایی برای انواع کشتیها در آب عمیق.....	۱۴۷
شکل ۲-۱۴ پوش ضرایب نیروی ناشی از باد برای شناورهای حامل بار خشک و مخازن کوچک.....	۱۴۸
شکل ۳-۱۴ ضرایب نیروی ناشی از باد برای تانکرهای بزرگ.....	۱۴۹
شکل ۴-۱۴ ضرایب نیروی ناشی از باد برای کشتیهای باری نمونه.....	۱۵۰

- شکل ۱۴-۵ ضرایب تصحیح عمق آب برای نیروهای جانبی ناشی از جریانهای دریایی ۱۵۰
- شکل ۱۴-۶ ضرایب تصحیح عمق برای نیروی طولی ناشی از جریانهای دریایی بر کشتیهای باری ... ۱۵۱
- شکل ۱۴-۷ پوش ضرایب نیروی طولی برای VLCC در آب کم عمق ۱۵۲
- شکل ۱۴-۸ طولها و آبخورهای نمونه برای تانکرها..... ۱۵۲
- شکل ۱۴-۹ سطوح تصویر شده طولی نمونه برای تانکرها..... ۱۵۳
- شکل ۱۴-۱۰ طولها و سطوح افقی تصویر شده برای کشتیهای باری..... ۱۵۴



مشخصه‌های موج

◀ ۱-۱ کلیات

طراحی سازه‌های دریایی، مستلزم تخمین وضعیت بحرانی شرایط دریا در محل مورد نظر است. یکی از روشهای دستیابی به چنین تخمینی، مشاهده، ثبت و یا محاسبه سرعت باد و استفاده از آن در مدل‌های پیش‌بینی امواج است. پس از آن، می‌توان ارتفاع امواج پیش‌بینی شده را، برای تعیین شرایط بحرانی موج برون‌یابی کرد. صحت نتایج پیش‌بینی شده را نیز همواره باید با استفاده از داده‌های موجود، از قبیل مشاهدات انجام گرفته از روی کشتی‌ها بررسی کرد. مدل‌های پیش‌بینی امواج، معمولاً مشخصات امواج فراساحلی را به دست می‌دهند و می‌توان مشخصات امواج ساحلی را، از طریق منظور کردن پدیده‌هایی همچون انکسار و افت ناشی از تغییرات تراز بستر به دست آورد.

وضعیت بحرانی امواج در هر نقطه دلخواه، از طریق برون‌یابی داده‌های حاصل از اندازه‌گیری موج در همان محل نیز به دست می‌آید. استفاده از این روش مستلزم داشتن آمار موج حداقل برای یک سال است. نتایج حاصل از پیش‌بینی امواج از طریق باد، در صورت امکان باید پس از منظور کردن اثرهای انکسار و افت موج، با مشاهدات محلی مقایسه و تکمیل شود.

در حالتی که توپوگرافی بستر دریا پیچیده باشد، پیش‌بینی دقیق وضعیت امواج مستلزم بهره‌گیری از مشاهدات محلی است. برای مثال وجود تپه‌های ماسه‌ای فراساحلی، باعث بروز پدیده‌هایی همچون شکست موج و بروز رفتار غیر خطی در امواج شده و نتایج حاصل از محاسبات مربوط به انکسار و افت موج، غیر قابل اعتماد خواهند شد. در صورت عدم دسترسی به داده‌های موج، می‌توان اقلیم موج ساحلی را با استفاده از مدل فیزیکی منطقه مورد نظر و مولد امواج تصادفی تعیین کرد. از آنجا که نتایج به دست آمده در مورد افت ارتفاع موج ناشی از پدیده شکست و اصطکاک کف در مدل‌های با مقیاس کوچک دارای دقت کافی نمی‌باشند، در استفاده از این مدل‌ها باید احتیاط کرد. علاوه بر این در شرایطی که شناورها در نقاطی از ساحل یا بندر که در معرض دریای آزاد است لنگر اندازی می‌کنند، باید وضعیت امواج بلند و امواج دارای دوره تناوب در حد چند دقیقه را نیز اندازه‌گیری کرد. تجربه نشان داده است که نوسانهای ناشی از گروه‌بندی امواج با دوره تناوب بلند، نیروهای بزرگی را ایجاد می‌کنند که گاهی به جابه‌جایی شناورها و سازه‌ها از محل لنگر اندازی منجر می‌شوند. مشاهدات محلی تنها راه مطمئن برای

پیش‌بینی چنین امواجی می‌باشد، زیرا نوسانهای امواج بلند از نوع غیر خطی‌اند و پیش‌بینی آنها در مناطق ساحلی با کاربرد روشهای محاسباتی به نتایج غیر قابل اعتمادی منجر می‌شود.

۱-۲ اشکال موج

امواج قابلیت انتشار انرژی را تا نقاط دور دارند. بررسی نحوه حرکت یک جسم شناور در حین انتشار موج، در جلوی موج (تاج موج) و پشت موج (ناو موج) نشان می‌دهد که انتشار موج به انتقال جرم منجر نمی‌شود. در آب عمیق، ذرات سطح آب بر روی مدارهای تقریباً دایره‌ای شکل با قطری تقریباً مساوی ارتفاع موج حرکت می‌کنند که دامنه حرکت مداری، با کم شدن عمق به سرعت کاهش می‌یابد. حرکت موج در آب کم عمق، به دلیل محدود شدن عمق کاهش می‌یابد و ذرات آب بر روی مدارهایی حرکت می‌کنند که در سطح، شبیه یک بیضی و در بستر مانند یک خط افقی کشیده هستند.

امواج و بخصوص امواج آب عمیق، به شکل امواج سینوسی ایده‌آل در نظر گرفته می‌شوند که بر اساس نظریه خطی یا مرتبه اول، دارای نیمرخ متقارن نسبت به تراز میانگین آب هستند و مدارهای حرکت ذره، مدارهایی بسته هستند. البته برای منظور کردن پیچیدگی‌های نحوه حرکت واقعی ذرات، می‌توان از نظریه‌های مرتبه بالاتر استفاده کرد. در آب کم عمق، تاج موج تیزتر و ناو موج پهن‌تر می‌شوند، لذا در برخی از کاربردهای معین، استفاده از نظریه موج نویدال یا موج تکفام، مناسب‌تر از نظریه سینوسی مرتبه اول است. اغلب روابط مربوط به مشخصه‌های موج در این آیین‌نامه، از نظریه سینوسی مرتبه اول به دست آمده‌اند. در صورت استفاده از سایر نظریه‌های موج، مراجع مربوطه معرفی می‌شوند.

۱-۳ مشخصات پایه‌ای موج

۱-۳-۱ کلیات

امواج تکفام را از طریق مشخصاتی نظیر ارتفاع و دوره تناوب موج و به ازای عمق فرضی آب می‌توان تعریف کرد. جزئیات مربوط به این مشخصات و چگونگی استخراج روابط مربوط به آن، در بندهای ۱-۳-۱ تا ۱-۳-۹ ارایه شده‌اند.

◀ ۱-۳-۲ ارتفاع موج

ارتفاع موج عبارت از اختلاف تراز ناو تا تاج موج است که در حالت کلی با نماد H و در آب عمیق با نماد H_0 نشان داده می‌شود.

◀ ۱-۳-۳ دوره تناوب موج

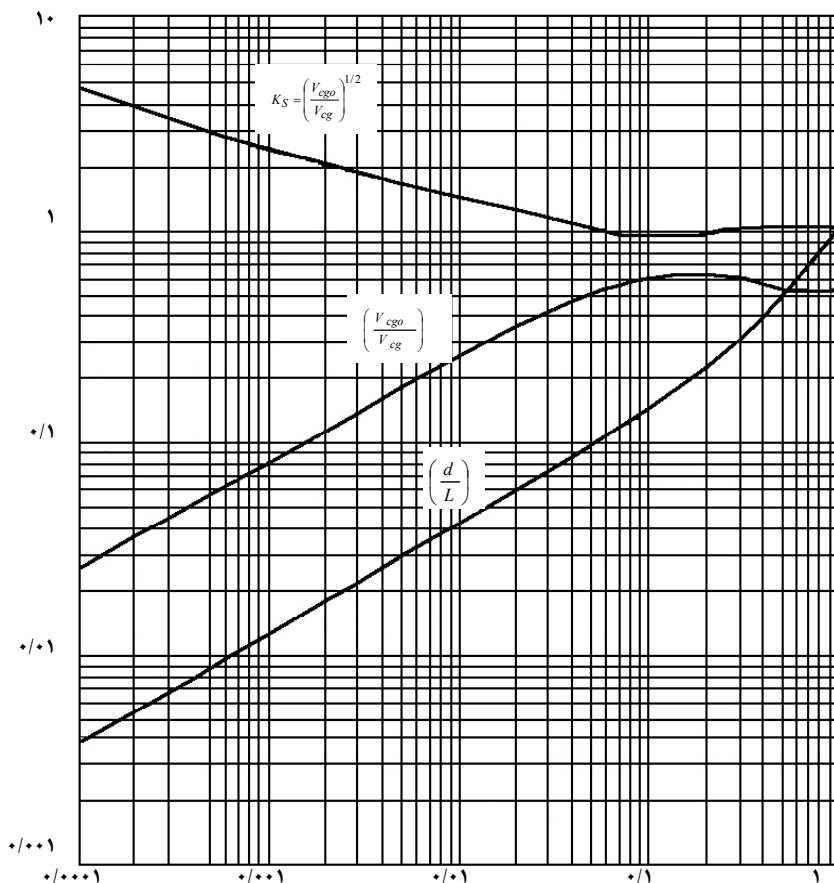
زمان عبور دو تاج متوالی موج از یک نقطه ثابت، دوره تناوب موج نامیده و با نماد T مشخص می‌شود. دوره تناوب در نظریه مرتبه اول، مستقل از عمق آب فرض می‌شود.

◀ ۱-۳-۴ فراوانی موج

فراوانی موج، عکس دوره تناوب موج است که با نماد f مشخص می‌شود.

◀ ۱-۳-۵ طول موج

طول موج فاصله بین تاجهای متوالی موج است و در حالت کلی، با نماد L و در آب عمیق با L_0 مشخص می‌شود. تغییرات طول موج بر حسب عمق آب، در شکل ۱-۱ نشان داده شده است، طول موج به دوره تناوب و سرعت فاز موج بستگی دارد.



شکل ۱-۱ تغییرات طول موج بر حسب عمق آب

۱-۳-۶ سرعت فاز

سرعت فاز که همان سرعت ظاهری یا سرعت انتشار موج است، سرعتی است که موج با آن منتشر می‌شود و در حالت کلی با نماد C و در آب عمیق با C_0 مشخص می‌شود. سرعت فاز از طریق رابطه $C = \frac{L}{T}$ به دوره تناوب و طول موج مربوط است. سرعت فاز در نظریه مرتبه اول موج، به صورت زیر

تعریف می‌شود:

$$C = \frac{gT}{2\pi} \tanh\left(\frac{2d}{L}\right) \quad (۱)$$

d: عمق آب ساکن

g: شتاب گرانش که برابر ۹/۸۱ متر بر مجذور ثانیه است. در نتیجه طول موج عبارت است از:

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2d}{L}\right) \quad (۲)$$

عبارتهای فوق به ازای مقادیر $\frac{d}{L} > 0.5$ ، روابط مربوط به آب عمیق را به دست می‌دهند. به عبارت

دیگر:

$$C_0 = \frac{gT}{2\pi} \quad (۳)$$

$$L_0 = \frac{gT^2}{2\pi} \quad (۴)$$

◀ ۷-۳-۱ سرعت مداری

از آنجا که مدار محیطی πH_0 در یک دوره تناوب موج T کامل می‌شود، سرعت مداری در سطح آب عمیق برابر $\frac{\pi H_0}{T}$ است. برآورد نیروی موج وارده بر سازه‌های مستغرق، نیازمند تعیین مقادیر سرعت و شتاب ذره است که با افزایش عمق کم می‌شوند. سرعت مداری در سطح بسیار کمتر از سرعت فاز است، البته زمانی که این سرعت از سرعت فاز بیشتر شود، ذرات آب تاج موج به ناو موج جلویی رسیده و در نتیجه موج می‌شکند.

◀ ۸-۳-۱ تیزی موج

تیزی موج از تقسیم ارتفاع موج به طول موج به دست می‌آید. مقایسه رابطه سرعت مداری و سرعت فاز موج، دلالت بر مقداری حدی برای ارتفاع موج آب عمیق دارد که این مقدار حدی، برای امواج کوتاه کمتر از امواج بلند است. با حل روابط اساسی موج تحت شرایط سطحی غیر خطی کامل، می‌توان نشان داد که حداکثر تیزی موج پیشرو با دوره تناوب ثابت در آب عمیق برابر $\frac{1}{\gamma}$ است.

◀ ۱-۳-۹ گروه موج

قطار موجی که با دوره تناوبی ثابت در آب ساکن حرکت می‌کند، دارای سرعتی کمتر از سرعت فاز امواج تشکیل دهنده آن است. لذا در قطار موج محدود چنین به نظر می‌رسد که امواج در انتهای آن ایجاد شده، در طول گروه موج حرکت کرده و در جبهه موج محو می‌شوند. سرعت گروهی بیانگر سرعت انتشار قطار موج و سرعت انتشار انرژی قطار موج می‌باشد.

سرعت گروهی در حالت کلی با نماد C_g و در آب عمیق با نماد C_{g0} نشان داده می‌شود. بر اساس نظریه مرتبه اول موج، سرعت گروهی با رابطه زیر به سرعت فاز مربوط می‌شود:

$$C_g = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{4 d/L}{\text{Sinh}(4 d/L)} \right) C \quad (5)$$

بنابراین سرعت گروهی در آب عمیق عبارت است از:

$$C_g = \frac{1}{2} C_0 = \frac{gT}{4\pi} \quad (6)$$

شکل ۱-۱ نشان دهنده نحوه تغییر سرعت گروهی در آب کم عمق بر حسب سرعت فاز و طول موج آب عمیق می‌باشد.

◀◀ ۱-۴ مشخصات وضعیت دریا

◀ ۱-۴-۱ کلیات

امواج حقیقی از تعدادی مؤلفه‌های تک موج تشکیل شده‌اند که هر یک از آنها دارای دوره تناوب مشخصی می‌باشند. وقتی این مؤلفه‌ها هم‌فاز شوند، گروه موجی بزرگتر ایجاد می‌کنند و با سرعت گروهی منتشر می‌شوند. اندرکنش مداوم امواج سبب می‌شود تا سطح دریا ظاهری نامنظم داشته باشد. پارامترهای مورد نیاز برای تشریح وضعیت دریا، در بندهای ۱-۴-۲ تا ۱-۴-۸ شرح داده می‌شوند.

◀ ۱-۴-۲ ارتفاع موج شاخص

ارتفاع موج شاخص H_s یک‌سوم میانگین بلندترین امواج است که تقریباً برابر ارتفاع موجی است که یک ناظر کار آزموده به روش چشمی تخمین می‌زند.

◀ ۱-۴-۳ دوره تناوب موج شاخص

دوره تناوب موج شاخص، یک‌سوم میانگین دوره تناوبهای بلندترین امواج است که با نماد T_s نشان داده می‌شود.

◀ ۱-۴-۴ دوره تناوب عبور از صفر موج

دوره تناوب عبور از صفر موج، میانگین دوره تناوب تمام امواجی است که ناو آنها، پایین‌تر و تاج آنها بالاتر از سطح میانگین آب است که با نماد T_z نشان داده می‌شود.

◀ ۱-۴-۵ چگالی طیفی

انرژی دریا توسط مجموعه‌ای از امواج منفرد منتشر می‌شود. امواج منفرد مورد اشاره، فراوانی‌های مختلفی داشته و در گستره‌ای از جهات منتشر می‌شوند. چگالی طیفی عبارت است از حاصل جمع مربعات دامنه امواج مختلفی که هر یک دارای جهت معینی هستند. بنابراین چگالی طیفی به منزله معیاری برای اندازه‌گیری انرژی دریا، تابعی از جهت و فراوانی موج است. چگالی طیفی با نماد $I(f, \phi)$ مشخص می‌شود.

◀ ۱-۴-۶ چگالی طیفی یک بعدی

محدودیت داده‌های موجود، مانع از به دست آوردن تخمین دقیقی از توزیع جهتمند انرژی و در نتیجه محاسبه چگالی طیفی جهتمند $I(f, \phi)$ است. بر این اساس می‌توان چگالی طیفی یک بعدی $S(f)$ را از طریق جمع کردن انرژی هر یک از فراوانی‌ها در هر جهت به دست آورد.

◀ ۱-۴-۷ طیف موج یک بعدی

طیف موج یک بعدی، نمودار تغییرات چگالی طیفی یک بعدی بر حسب فراوانی است. امروزه تخمینهای دقیقی از این طیفها موجود است. با استفاده از طیف موج به جای موج هم‌سان برای تشریح وضعیت سطح آزاد دریا و استفاده از آن در مدل‌های فیزیکی دریایی، می‌توان عکس‌العمل سازه در مقابل امواج را با دقت بیشتری تخمین زد.

◀ ۱-۴-۸ دوره بازگشت و موج طراحی

فراوانی وقوع یک پیش‌آمد هواشناسی، اغلب توسط دوره بازگشت T_R مشخص می‌شود. در حقیقت T_R میانگین مدت زمان وقوع دو پیش‌آمد متوالی می‌باشد. البته باید توجه کرد که T_R دقیقاً فاصله زمانی دو حادثه را مشخص نمی‌کند. اگر پیش‌آمدهای هواشناسی از نظر آماری مستقل باشند، احتمال P وقوع رخدادی با دوره بازگشت T_R در دوره زمانی n سال، از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$P=1-(1-1/T_R)^n \quad (7)$$

بنابراین شانس وقوع سالیانه پیش‌آمدی با دوره بازگشت ۱۰۰ سال، برابر (۱٪) است حتی اگر پیش‌آمد در سال قبل نیز اتفاق افتاده باشد. همچنین شانس وقوع پیش‌آمدی مذکور در یک دوره ۲۰ ساله، برابر (۱۸٪) خواهد بود. اگر فاصله زمانی مورد نظر برابر دوره تناوب بازگشت T_R در نظر گرفته شود، احتمال P عبارت است از:

$$P=1-(1-1/T_R)^n \approx 1-1/e=0.63$$

لذا شانس وقوع یک پدیده طی دوره بازگشت، برابر (۶۳٪) خواهد بود. در تخمین مقادیر نهایی طراحی به کمک برون‌یابی مؤلفه‌های طراحی، این موضوع مطرح می‌شود که از چه دوره بازگشتی باید استفاده کرد. اگرچه در بعضی شرایط لازم است از سازه‌های دارای مقاومت بالا استفاده شود، اما گاهی این نوع سازه‌ها پرهزینه‌تر از سازه‌های ضعیف‌تر، حتی با در نظر گرفتن مخارج تعمیرات دوره‌ای این گونه سازه‌ها می‌باشند. مقایسه اقتصادی طرحهای متفاوت، امکان تعیین مقدار قابل قبول ریسک را با توجه به شرایط طراحی برای یک دوره چند ساله فراهم می‌آورد. برای مثال اگر مشخص شود که طراحی یک

سازه برای تحمل شرایطی با احتمال وقوع (۲۰٪) در دوره‌ای ۲۰ ساله مقرون به صرفه است، دوره بازگشت لازم برای این طرح برابر است با:

$$0.2=1-(1-1/T_R)^{20} \Rightarrow T_R=90 \text{ سال}$$

می‌توان نتیجه گرفت که دوره بازگشت شرایط موج، از دوره معینی که مخارج در آن بهینه شده است تجاوز می‌کند. استفاده از این روش برای بهینه سازی مخارج، تنها وقتی قابل اعتماد است که درجه خسارت ناشی از تجاوز از شرایط طراحی مشخص باشد. این موضوع بخصوص برای سازه‌هایی نظیر موج‌شکنهای توده سنگی بسیار مهم است، زیرا خسارت وارده بر این سازه‌ها به صورت تدریجی در نظر گرفته می‌شود. در این موارد می‌توان نرخ خسارت را با استفاده از مدل‌های فیزیکی تعیین کرد.

برخی از سازه‌ها نظیر سازه‌های دارای وجه قائم، با قرار گرفتن در شرایطی فراتر از شرایط طراحی، کاملاً تخریب خواهند شد. عواقب تخریب این گونه سازه‌ها، به اندازه‌ای وخیم است که به جز در موارد بسیار نادر، غیر قابل قبول خواهد بود. بر این اساس چنین سازه‌هایی باید قادر به تحمل شرایط طراحی با دوره برگشت در حد ۱۰۰۰ سال باشند. در عین حال باید توجه داشت که دقت فرایند برون‌یابی داده‌های موج یا هواشناسی برای به دست آوردن این گونه مقادیر نهایی، ممکن است در اثر تغییرات دراز مدت محیطی کاهش یابد.

۲

اقلیم موج آب عمیق

◀ ۱-۲ تولید موج

بیشتر امواج در اثر باد بر روی سطح آب تولید می‌شوند. اگرچه مکانیسم اصلی تولید موج به وسیله باد هنوز کاملاً شناخته نشده است، اما می‌توان ادعا کرد که از طریق انتقال انرژی باد به امواجی که سرعت آنها کمی کمتر از سرعت باد است، موج تولید می‌شود. برای آگاهی از نظریه‌های موجود در مورد مکانیسم تولید و رشد امواج، به مراجع مربوطه مراجعه شود.

◀ ۲-۲ پیش‌بینی موج

◀ ۱-۲-۲ استفاده از روشهای پیش‌بینی موج

استفاده از روشهای پیش‌بینی موج (بندهای ۲-۲-۲ تا ۵-۲-۲)، مستلزم برآورد منطقه تولید موج موسوم به موجگاه، برآورد سرعت وزش باد در موجگاه و طول زمان تداوم آن است. برای تعیین پارامترهای موج می‌توان از دو روش عمومی استفاده کرد. در روش اول می‌توان ارتفاع و دوره تناوب موج شاخص را با استفاده از نمودارها یا روابط پیش‌بینی موج تعیین کرد، در حالی که روش دوم امکان تعیین طیف موج یک بعدی را فراهم می‌کند.

لازم به ذکر است که نتایج حاصل از این روشها، ممکن است به دلیل ابهامهای موجود در تعریف میدان باد و مکانیسم تولید موج غیر دقیق باشد، بخصوص وقتی که حوزه تولید موج تحت اثر امواج دوراً می‌باشد (بند ۳-۲). بر این اساس همواره باید دقت نتایج حاصل از پیش‌بینی امواج را از طریق آمار حاصل از مشاهده یا ثبت امواج کنترل کرد.

◀ ۲-۲-۲ سرعت و زمان تداوم باد

سرعت باد مورد استفاده در روشهای پیش‌بینی موج، برابر میانگین سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری سطح آب در طول زمان تداوم آن است. هنگام پیش‌بینی امواج در اقیانوسها، می‌توان از نمودارهای هواشناسی حاوی خطوط هم‌فشار برای برآورد موجگاه، سرعت و زمان تداوم باد استفاده کرد. سرعت باد

حاصل از این روش، معمولاً از دقت بیشتری نسبت به مقادیر حاصل از اندازه‌گیری مستقیم سرعت باد توسط کشتی‌ها برخوردار است.

برای موجگاه کوچکتر می‌توان از سرعت‌های اندازه‌گیری شده در ساحل استفاده کرد. در چنین مواردی برای به دست آوردن سرعت باد در دریا، معمولاً سرعت میانگین ساحلی را به اندازه (۱۰٪) افزایش می‌دهند. لازم به تذکر است که استفاده از آمار باد ساحلی بر این فرض استوار است که سرعت و جهت باد در طول موجگاه، با سرعت و جهت باد ساحلی یکسان است. نتایج حاصل از روش‌های پیش‌بینی موج، وقتی که موجگاه آن از نصف شعاع باد چرخه‌ای تجاوز کند غیر قابل اعتماد خواهد بود.

۴-۲-۲ طول موجگاه

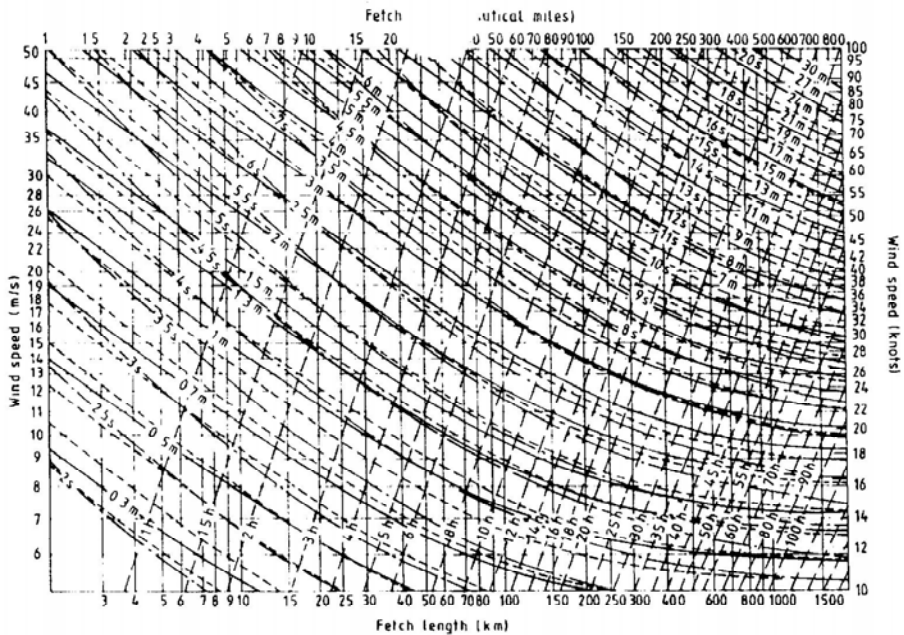
موجگاه مورد استفاده در روش‌های پیش‌بینی موج، مسافتی است که تغییرات سرعت باد در آن نسبت به سرعت میانگین، کمتر از $\frac{2}{5}$ متر بر ثانیه و تغییرات جهت باد کمتر از ۳۰ درجه باشد. طول موجگاه برابر طول خط راستی است که از نقطه مورد نظر تا مرز واقع در کران بالایی حوزه تولید موج رسم می‌شود. مرز مورد اشاره، معمولاً از طریق خشکی یا شرایط هواشناسی تعیین می‌شود.

۴-۲-۲ پیش‌بینی موج از طریق نمودارهای موج شاخص

قابلیت اعتماد و گستره کاربرد این نمودارها، با افزایش داده‌های مورد استفاده در ایجاد آنها روز به روز افزایش می‌یابد. نمونه‌ای از نمودارهای پیش‌بینی موج آب عمیق که همبستگی خوبی با نتایج حاصل از تکنیک‌های طیفی پیش‌بینی موج دارد، در شکل ۲-۱ نشان داده شده است. برای استفاده از این نمودارها، باید سرعت باد را روی محور عمودی در نظر گرفت و سپس به طور افقی حرکت نمود تا به یکی از منحنی‌های مربوط به طول موجگاه یا زمان تداوم برخورد کند، سپس می‌توان ارتفاع و دوره تناوب موج مربوط به نقطه تقاطع را ثبت کرد.

انرژی امواج آب عمیق با توان دوم حاصلضرب ارتفاع و دوره تناوب موج متناسب است. بر این اساس خطوط تراز انرژی H^2T^2 نیز به صورت خطوط نقطه‌چین در شکل ۲-۱ رسم شده‌اند. از این خطوط می‌توان برای محاسبه پارامترهای موج حاصل از بادهای با سرعت متغیر استفاده کرد. در چنین مواردی

باید توجه شود که از شرط مربوط به محدودیت موجگه تخلف نشود. برای مثال، با استفاده از این نمودار برای موجگاهی به طول ۱۲۰ کیلومتر که سرعت متوسط باد در آن، از ساعت ۱۰ تا ۱۶ برابر ۲۰ متر بر ثانیه و از ساعت ۱۶ تا ۱۸ برابر ۲۵ متر بر ثانیه است، می‌توان ارتفاع و دوره تناوب موج حاصل در ساعت ۱۶ را به ازای سرعت ۲۰ متر بر ثانیه و زمان تداوم ۶ ساعت، به ترتیب برابر $3/7$ متر و $7/6$ ثانیه به دست آورد. با حرکت به سمت بالا بر روی خط تراز انرژی مربوط به چنین موجی، تا رسیدن به منحنی مربوط به سرعت باد ۲۵ متر بر ثانیه و سپس حرکت بر روی این منحنی به سمت راست و به اندازه ۲ ساعت، می‌توان ارتفاع و دوره تناوب موج عمده در ساعت ۱۸ را به ازای طول موجگاهی مساوی یا بزرگتر از ۹۷ کیلومتر، به ترتیب برابر $4/8$ متر و $8/6$ ثانیه به دست آورد. اگر طول موجگه برابر ۸۰ کیلومتر می‌بود، ارتفاع و دوره تناوب موج شاخص در ساعت ۱۸ از طریق موجگه ۸۰ کیلومتری، به مقادیری برابر $4/4$ متر و $8/3$ ثانیه محدود می‌شد.



شکل ۲-۱ نمودار پیش‌بینی موج شاخص

۲-۲-۵ پیش‌بینی از طریق طیف موج

نتایج حاصل از مطالعات انجام شده در دریای شمال، امکان برآورد مناسبی از طیف موج یک بعدی موجگاه محدود را فراهم کرده است که با نتایج حاصل از مطالعات قبلی در مورد طیف موج کاملاً توسعه یافته مطابقت کامل دارد.

شکل‌های ۲-۲ و ۳-۲ دو نمونه از طیف موج یک بعدی را نشان می‌دهند که تغییرات چگالی طیفی موج $S(f)$ بر حسب فراوانی موج f رسم شده است. طیف موج نمایشگر چگونگی توزیع انرژی دریا بین امواج با دوره تناوبهای متفاوت است. با استفاده از سطح زیر منحنی طیف موج، می‌توان پارامترهای ارتفاعی موج را محاسبه کرد. مطالعات انجام شده بر روی داده‌های امواج نشان می‌دهند که ارتفاع عمده را می‌توان از طریق رابطه زیر به دست آورد:

$$H_s = 4 \times (\text{سطح زیر منحنی طیف موج})^{\frac{1}{2}} \quad (8)$$

طیف موج JONSWAP طیفی است که از بررسی داده‌های امواج با موجگاه محدود مشاهده شده در دریای شمال به دست آمده است. چگالی طیف مذکور با رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$S(f) = \frac{K_j g^2}{(2\pi)^4 f^5} \exp\left[-\frac{5}{4} \left(\frac{f_m}{f}\right)^4\right] \lambda^a \quad (9)$$

به طوری که در آن روابط زیر برقرار هستند:

$$a = \exp\left[-\frac{(f - f_m)^2}{2W^2 f_m^2}\right]$$

$$K_j = 0.066 \left(\frac{2}{x}\right)^{0.2} = 0.033 \left(\frac{f_m U_w}{g}\right)^{\frac{2}{3}}$$

$$x = \frac{gL_F}{U_w^2} = \left(\frac{2.84g}{U_w f_m}\right)^{\frac{10}{3}}$$

در روابط فوق:

L_F - طول موجگاه

U_w - سرعت باد در ۱۰ متری بالای سطح آب دریا

f - فراوانی موج

f_m - فراوانی مربوط به اوج طیف موج است که با رابطه $f_m = 2.84g^{0.7} L_F^{-0.3} U_w^{-0.4}$ تعریف می‌شود.

مقادیر پارامترهای γ و W نیز از روابط زیر به دست می‌آیند:

$$\gamma = 3.3$$

$$W = 0.07$$

به ازای $f \leq f_m$

$$W = 0.09$$

به ازای $f > f_m$

شکل ۲-۲ نمایشگر طیف موج JONSWAP به ازای $U_w = 20.6$ متر بر ثانیه (معادل 40 Knots) و

$L_F = 29.81$ کیلومتر (معادل ۱۶ مایل دریایی) است.

با استفاده از داده‌های به دست آمده از امواج اقیانوس آتلانتیک شمالی، طیف موج یک بعدی کاملاً

توسعه یافته‌ای موسوم به طیف پیرسون - موسکویچ، ابداع شده است که چگالی طیفی آن به صورت زیر

تعریف می‌شود:

$$S(f) = \frac{K_p g^2}{(2\pi)^4 f^5} \exp\left[-\frac{5}{4} \left(\frac{f_m}{f}\right)^4\right] \quad (10)$$

به طوری که در آن:

$$K_p = 0.0081, f_m = \frac{0.8772g}{2 U_{19.5}}$$

در رابطه فوق، $U_{19.5}$ سرعت باد در ارتفاع ۱۹/۵ متری از سطح دریا می‌باشد. شکل ۲-۳ نمایشگر

طیف پیرسون - موسکویچ به ازای $U_{19.5} = 22.66$ متر بر ثانیه است.

سرعت باد U_Z در ارتفاع Z متری از سطح دریا، با استفاده از رابطه $U_Z = U_w \left(\frac{Z}{10}\right)^{\frac{1}{7}}$ به دست

می‌آید که U_w سرعت باد در ۱۰ متری سطح دریا می‌باشد. بنابراین سرعت $U_{19.5} = 22.66$ در واقع معادل

سرعت $U_{10} = 20.6$ است، در نتیجه سرعت باد مؤثر هر دو طیف مورد اشاره یکسان‌اند.

مقایسه دو طیف مورد اشاره نشان می‌دهد که فراوانی اوج طیف، از مقدار ۰/۱۹ هرتز در شکل ۲-۳

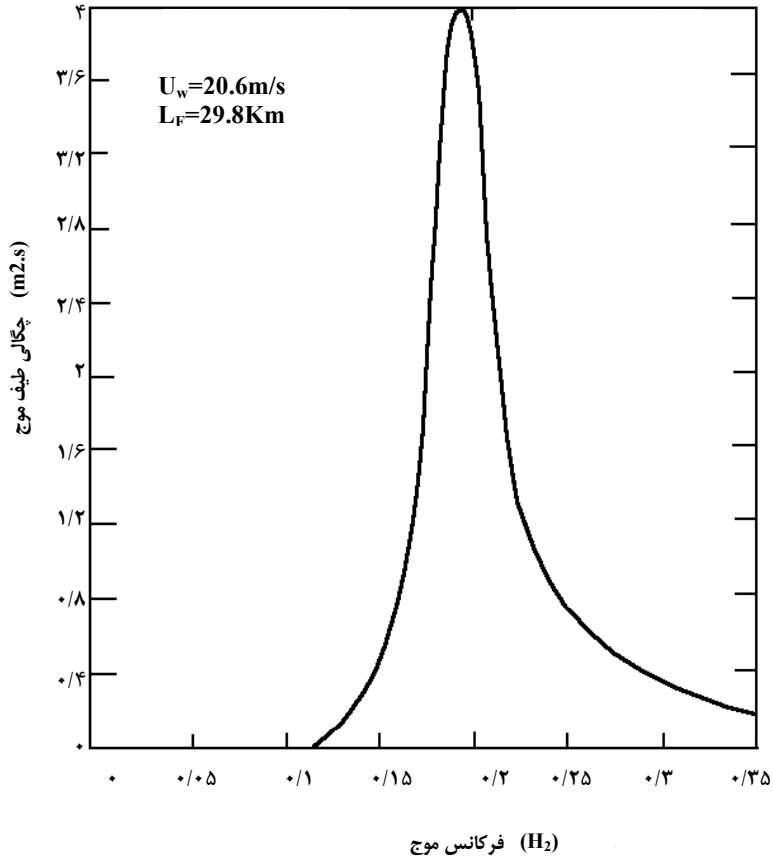
به مقدار ۰/۰۶۰۴ هرتز در شکل ۲-۳ کاهش یافته است و مقدار انرژی موج در شکل ۲-۳ که سطح زیر

منحنی طیف می‌باشد، به مقدار قابل ملاحظه‌ای از انرژی موج شکل ۲-۲ بیشتر است. می‌توان ثابت کرد

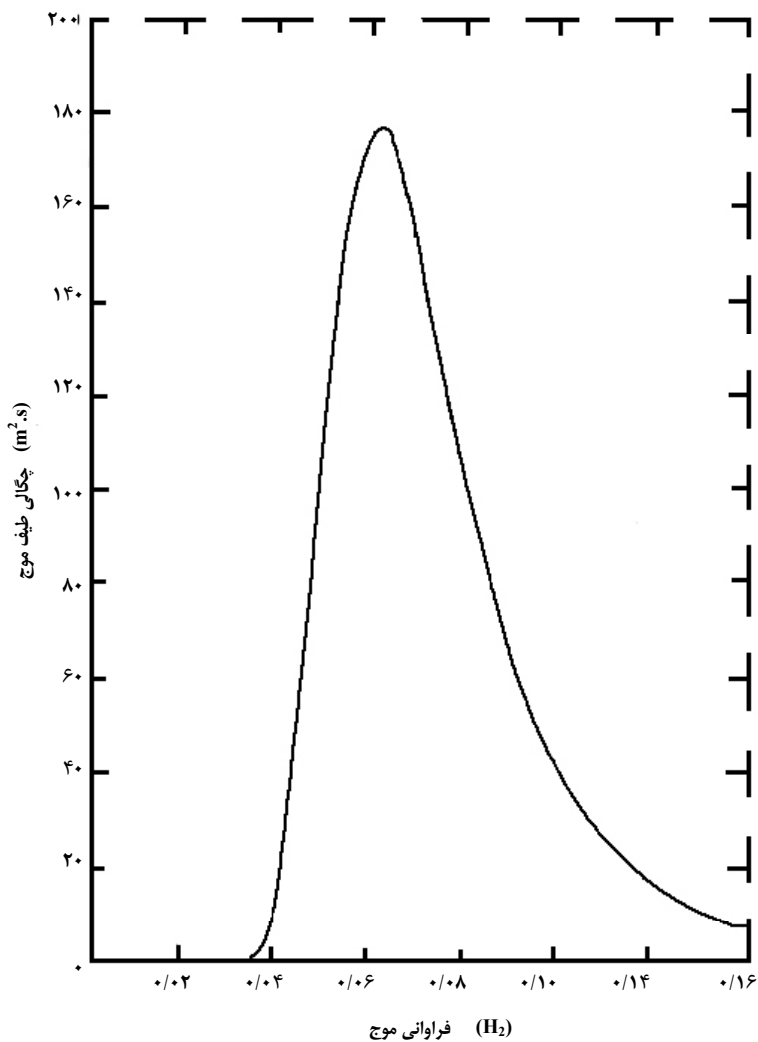
که به ازای فراوانی اوج ۰/۱۹ هرترز یکسان، طیف امواج کاملاً توسعه یافته، تقریباً نصف طیف امواج با موجگاه محدود است. این نتایج با نتایج حاصل از داده‌های امواج با موجگاه محدود نیز مطابقت دارند. تحلیل این داده‌ها نشان می‌دهد که با افزایش طول موجگاه، اندرکنش بین امواج باعث انتقال اوج طیف به سمت فراوانی‌های بیشتر می‌شود و طیف موج کاملاً توسعه یافته نهایی، تقریباً نصف طیف موج حاصل از موجگاه کوتاه‌تر است. این پدیده که به بالا‌پرش موسوم است، در سایر داده‌های تجربی نیز به ازای موجگاه‌های کوتاه‌تر مشاهده شده است. داده‌های مورد استفاده در ابداع طیف موج با موجگاه محدود، به موجگاه کمتر از ۱۶۰ کیلومتر مربوط هستند، لذا مطالعات پروژه JONSWAP قادر به بررسی این نکته نیست که آیا شرایط کاملاً توسعه یافته (شرایطی که در آن انرژی باد دقیقاً برابر انرژی تلف شده است) محقق شده است یا اندرکنش بین امواج، همچنان باعث افزایش ارتفاع موج و انتقال اوج طیفی به سمت فراوانی‌های پایین‌تر خواهد شد.

در حال حاضر و در غیاب اطلاعات دقیق‌تر، در مواردی که طیف JONSWAP اوج طیفی کمتری را نسبت به اوج طیفی پیرسون - موسکویچ به دست می‌دهد، یعنی $\frac{gL_f}{U_w^2} > 2.92 \times 10^4$ ، از طیف پیرسون استفاده می‌شود.

در مواردی که موجگاه کمتر از این مقدار باشد، طیف JONSWAP قابل اعتمادترین طیف یک بعدی موجود است، زیرا با استفاده از بیشترین داده‌های موجود ارایه شده است. در عین حال باید احتیاط لازم را به هنگام استفاده از این طیف برای پیش‌بینی امواج حاصل از موجگاه، که سرعت آنها کمی کمتر از موجگاه و سرعت مربوط به امواج کاملاً توسعه یافته است رعایت کرد. زیرا H_s به دست آمده از طیف JONSWAP، بیشتر از مقدار به دست آمده از طیف کاملاً توسعه یافته خواهد بود. این مشکل را می‌توان با استفاده از اشکالی که در آن خطوط تراز H_s ، امکان ارتباط بین دو طیف مورد اشاره را فراهم می‌کنند رفع کرد.



شکل ۲-۲ طیف موج JONSWAP



شکل ۲-۳ طیف موج پیرسون - موسکویچ

◀ ۳-۲ میرایی موج و امواج دورا

تکنیک‌های اشاره شده در بخش قبل را می‌توان برای پیش‌بینی وضعیت دریا، در حالتی که بیش از هر چیز تحت تأثیر امواج طوفانی است به کار گرفت. ولی در برخی موارد وضعیت دریا به طور عمده تحت

تأثیر امواج دورآی حاصل از طوفانهای دریایی فراساحلی است که باید آنها را در طراحی سازه‌های ساحلی منظور کرد. انتشار امواج مذکور در خارج از حوزه تولید، باعث توزیع انرژی آنها در سطح وسیعی از دریا می‌شود و در نتیجه این امواج دارای ارتفاعی کوتاه‌تر و تاجی طولانی‌تر از امواج طوفانی‌اند. برای محاسبه ارتفاع و دوره تناوب چنین امواجی، باید از داده‌های موجود در مورد چگونگی میرایی امواج طوفانی پس از خروج از حوزه تولید و همچنین مشخصات این امواج در انتهای موجگاه استفاده کرد، ولی دستیابی به مشخصات امواج ایجاد شده در دوردست کاری مشکل است و در نتیجه کمتر می‌توان از چنین روشی برای پیش‌بینی استفاده کرد. در چنین مواردی بهتر است با نصب ثبات موج در محل مورد نظر، اطلاعات مورد نیاز را برای برآورد مشخصات موج حدی جمع‌آوری کرد.

اگر محدودیت زمانی، امکان نصب ثبات موج و تحلیل نتایج حاصل از آن را فراهم نکند، باید از داده‌های چندین ساله موجود حاصل از مشاهدات موج از طریق کشتی‌ها، که شامل ارتفاع، دوره تناوب و جهت امواج ماههای مختلف سال در سراسر جهان است استفاده کرد. با این که مشاهدات یک مشاهده‌گر از روی کشتی نمی‌تواند چندان دقیق و قابل اعتماد باشد، ولی تجربه نشان داده است که پیش‌بینی‌های مبتنی بر مشاهدات افراد متفاوت، به نتایج قابل قبولی منجر می‌شود. بدیهی است که این داده‌ها در بردارنده اطلاعات مربوط به هر دو نوع موج طوفانی و دورآ می‌باشند و لذا از آنها می‌توان برای کنترل صحت نتایج حاصل از پیش‌بینی امواج از طریق داده‌های باد استفاده کرد.

۴-۲ ◀ برون‌یابی داده‌های امواج فراساحلی

پس از محاسبه مشخصات امواج فراساحلی از طریق یکی از روشهای شرح داده شده، باید داده‌ها را جهت به دست آوردن مشخصات امواج حدی مورد استفاده در طراحی برون‌یابی کرد. تکنیکهای برون‌یابی امواج در فصل ۶ شرح داده شده‌اند.

۳

اثرات آب کم عمق

◀ ۱-۳ کلیات

مشخصات گروه موج از قبیل سرعت، طول موج، ارتفاع موج و جهت انتشار موج، با انتشار آن به منطقه کم عمق به دلیل اثرات کف دریا تغییر می کند ولی دوره تناوب آن کم و بیش ثابت می ماند. اثرات آب کم عمق باید از زمانی که عمق آب به کمتر از نصف طول موج آب عمیق می رسد منظور شود. تأثیرات عمق آب همچون انکسار، تغییر ارتفاع، اصطکاک کف و شکست موج، در این بخش مد نظر قرار می گیرند. پدیده های تفرق و انعکاس در فصلهای ۸ و ۹ شرح داده خواهند شد.

◀ ۲-۳ انکسار و کاهش ژرفای موج

◀ ۱-۲-۳ کلیات

سرعت انتشار موج در آب کم عمق کاهش می یابد و جبهه موجی که با زاویه ای نسبت به خطوط تراز کف دریا به سمت ساحل نزدیک می شود، تغییر جهت داده و به تدریج تاج خود را با خطوط تراز کف هم جهت می کند. این پدیده همانند پدیده انکسار نور است و مقدار انحراف موج را می توان با استفاده از قانون اسنل محاسبه کرد. بر اساس قانون مذکور کمیت $\frac{\sin \psi}{C}$ که در آن ψ زاویه بین جبهه موج و خطوط تراز کف و C سرعت انتشار موج است، مقداری ثابت باقی می ماند. نموداری نسبی از پدیده انکسار در شکل ۱-۳ نشان داده شده است که در آن، خطوط تراز کف مستقیم هستند. در حالتی که خطوط تراز کف خطوطی نامنظم یا منحنی باشند، می توان با استفاده از قانون اسنل و رسم خطوط متعامد یا پرتوهای موج، تصویر نسبی از پدیده انکسار در منطقه مورد نظر ترسیم کرد.

واگرایی یا همگرایی پرتوهای مجاور، به معنی تمرکز یا پراکندگی انرژی موج در جهت تاج موج است. وقتی که زاویه ψ برابر صفر باشد پدیده انکسار رخ نمی دهد، ولی پدیده کاهش ژرفای موج که در واقع نمایشگر تمرکز یا پراکندگی انرژی موج در جهت موج است، همواره وجود خواهد داشت. این پدیده ناشی از تغییر سرعت گروهی موج در اثر تغییر عمق آب است.

در صورتی که تغییرات عمق تدریجی باشد و هیچ‌گونه فرایند اتلاف انرژی، نظیر شکست موج و اصطکاک کف وجود نداشته باشد، تغییرات ارتفاع موج آب عمیق را می‌توان با استفاده از قانون پایستاری شار انرژی تعریف کرد:

$$H^2 C_g b = \text{ثابت}$$

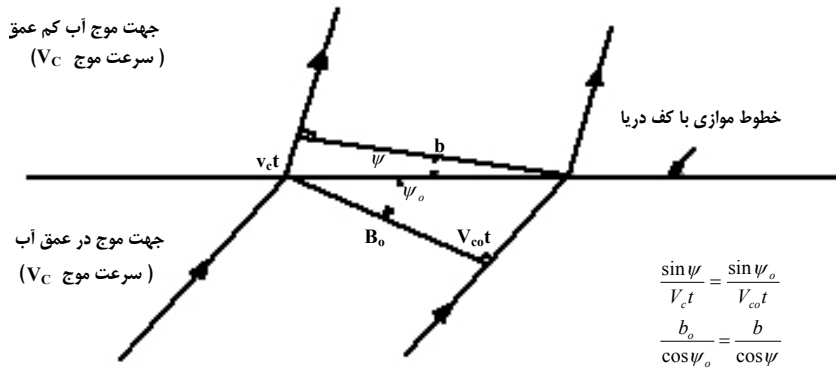
که در آن H ارتفاع موج، C_g سرعت گروهی موج و b فاصله دو پرتو موج در جهت تاج موج است. ارتفاع نهایی موج را می‌توان به صورت زیر محاسبه کرد:

$$H = K_s K_r H_0 \quad (11)$$

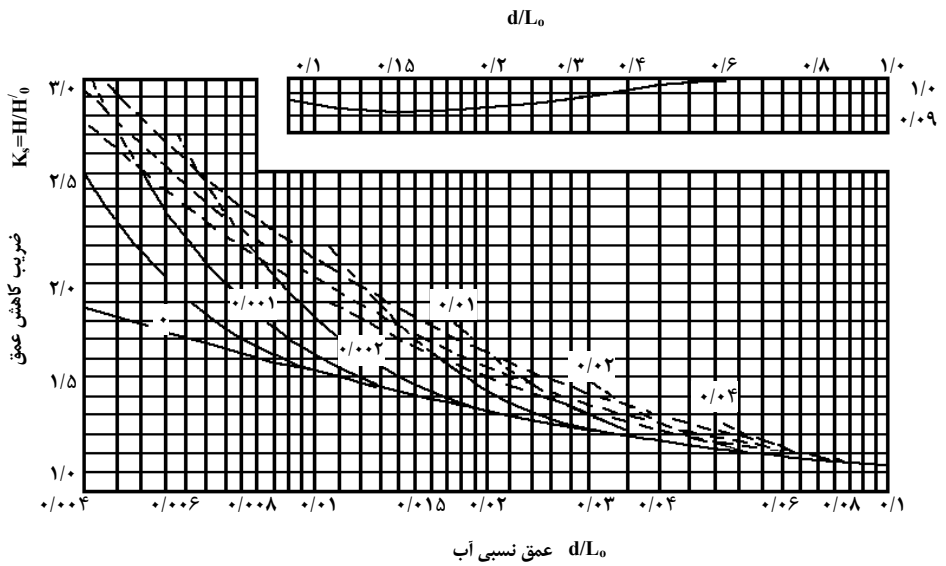
به طوری که در آن H_0 ارتفاع موج آب عمیق، $K_s = \sqrt{\frac{C_{g0}}{C_g}}$ ضریب کاهش ژرفای موج و $K_r = \sqrt{\frac{b_0}{b}}$

ضریب انکسار است. در این روابط C_{g0} نمایشگر سرعت گروهی موج آب عمیق و b_0 فاصله پرتوهای موج آب عمیق است.

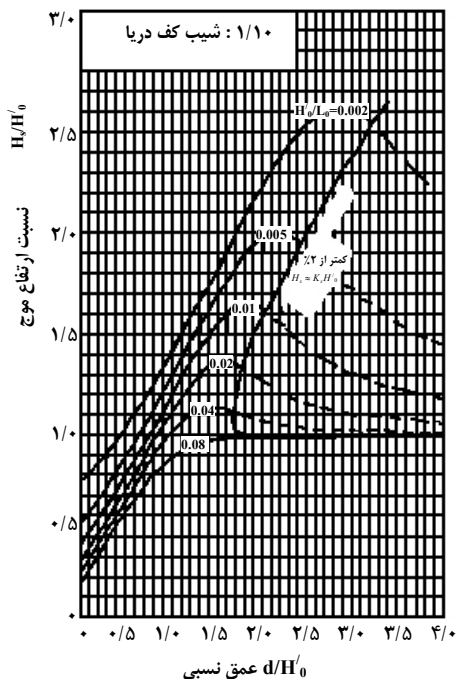
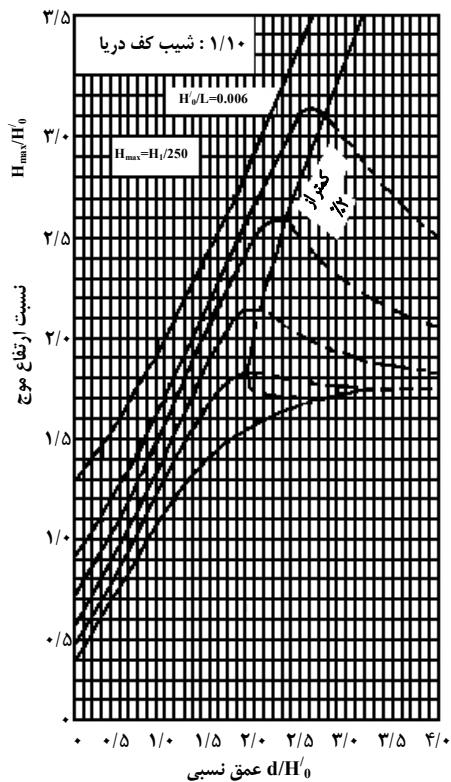
مقادیر ضریب تغییر ارتفاع، طول موج و سرعت گروهی موج آب کم عمق را با استفاده از شکل ۱-۲ نیز می‌توان به دست آورد. اثر پدیده کاهش ژرفا و شکست موج بر روی امواج تصادفی را نیز می‌توان از شکل ۲-۳ به دست آورد. ضریب انکسار را می‌توان با اندازه‌گیری همگرایی یا واگرایی نسبی پرتوهای موج که از طریق تحلیل نموداری پدیده انکسار به دست می‌آیند تعیین کرد. لازم به تذکر است که تغییرات ناگهانی تراز کف، ممکن است باعث بروز پدیده تفرق و انعکاس و در نتیجه انتقال انرژی موج در جهت عمود بر اشعه‌های موج شود که در این صورت، روابط بالا اعتبار خود را از دست خواهند داد.



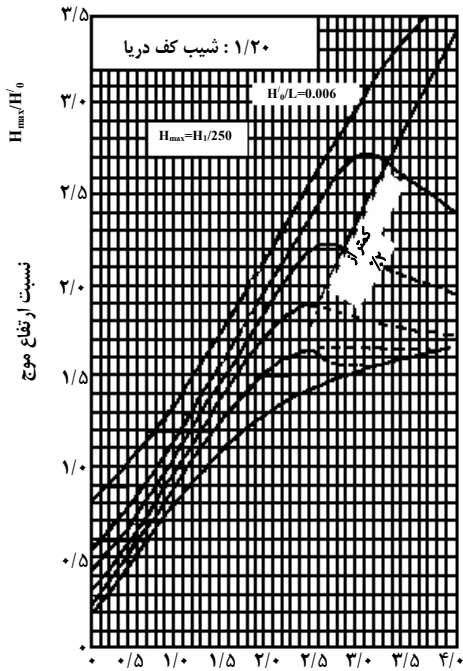
شکل ۳-۱ نمودار نسبی انکسار موج



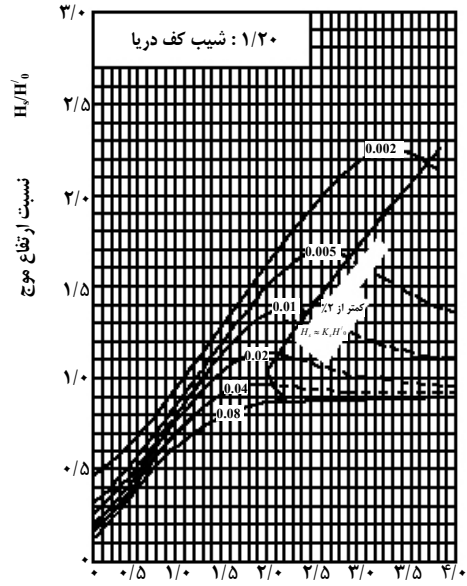
شکل ۳-۲-الف- عمق نسبی آب بر حسب ضریب کاهش عمق



شکل ۲-۳-ب عمق نسبی بر حسب ارتفاع موج

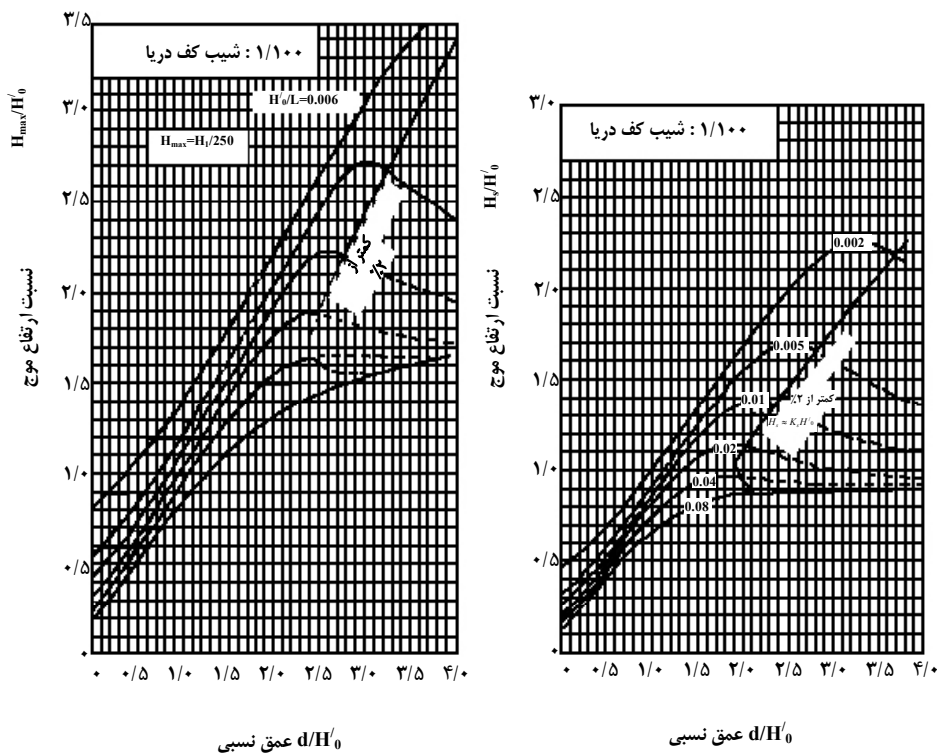


نسبت ارتفاع موج H_{max}/H_0



نسبت ارتفاع موج H/H_0

شکل ۳-۲-۳ عمق نسبی بر حسب ارتفاع موج



شکل ۳-۲-د رابطه عمق نسبی و ارتفاع موج

۳-۲-۳ روشهای عددی محاسبه انکسار و مشکلات خط سوزان

امروزه برنامه‌های رایانه‌ای مناسبی وجود دارند که با استفاده از آنها می‌توان مسیر پرتوهای موج را در آب با کف نامنظم به دست آورد. تمامی این برنامه‌ها از قانون اسنل برای محاسبه مسیر پرتوها استفاده می‌کنند. از این برنامه‌ها می‌توان برای یافتن مسیر پرتوهای موج منتشره از آب عمیق به آب کم عمق و یا مخروطه‌ای از پرتوهای منشعب از نقطه ساحلی مورد نظر استفاده کرد. روش اول، روشی متداول‌تر می‌باشد و امکان یافتن ارتفاع و جهت امواج را در طول معینی از ساحل فراهم می‌کند. در حالی که روش دوم، ارتفاع و جهت امواج را در هر نقطه دلخواه به دست می‌دهد. در برخی موارد حتی وقتی که تغییرات تراز کف دریا به صورتی دقیق مدل‌سازی می‌شود نیز، ممکن است حالتی مطرح شود که در آن اشعه‌های مجاور، یکدیگر را قطع می‌کنند. بروز این پدیده به معنی افزایش ارتفاع موج با کاهش فاصله b است.

منحنی پوش پرتوهای متقاطع، خط سوزان نامیده می‌شود. نتایج حاصل از تعمیم نظریه انکسار برای منظور کردن خط سوزان در مورد امواج یکنواخت، نشان داده است که پدیده انکسار از اهمیت زیادی در مجاورت خط سوزان برخوردار است. ارتفاع امواج در نزدیکی خط سوزان، دارای تغییرات بسیار زیادی است که محاسبه آن حتی در موارد ساده نیز مشکل می‌باشد.

طیف موج یکی از روشهای مناسب برای منظور کردن خط سوزان در محاسبات مربوط به انکسار می‌باشد. وجود پدیده توزیع انرژی حتی به مقدار بسیار کم، باعث هموارسازی خواهد شد که در غیر این صورت در مورد امواج یکنواخت نیز، تغییرات شدیدی در نزدیکی خط سوزان مشاهده می‌شود. از آنجا که امواج واقعی دریا همواره انرژی خود را بین جهات و فراوانی‌های مختلف توزیع می‌کنند، استفاده از طیف موج در محاسبات انکسار به نتایجی منجر می‌شود که به رفتار واقعی دریا نزدیک‌تر است. در این موارد رابطه مربوط به پایستاری شار انرژی (بند ۳-۲-۱) بر روی مسیر پرتو موج به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$CC_g I(\mathbf{f}, \phi) = \text{ثابت} \quad (12)$$

به طوری که در آن I نمایشگر چگالی طیف جهت‌دار است که به صورت زیر به طیف موج $S(\mathbf{f})$ مربوط می‌شود:

$$S(\mathbf{f}) = \int I(\mathbf{f}, \phi) d\phi \quad (13)$$

به این ترتیب با منظور کردن مخروطه‌ای از پرتوهای موج منشعب از نقطه مورد نظر و استفاده از قانون اسنل برای آبهای عمیق، می‌توان چگالی طیف موج ساحلی $I(\mathbf{f}, \phi)$ را به صورت زیر بر حسب چگالی طیف فراساحلی $L(\mathbf{f}, \phi)$ نشان داد:

$$L(\mathbf{f}, \phi) = \frac{C_0 C_g}{CC_g} \int L_0(\mathbf{f}, \phi_0) \quad (14)$$

پارامتر ϕ در رابطه فوق، زاویه پرتو موج در نقطه ساحلی بوده و ϕ_0 زاویه پرتو موج در آب عمیق است. با منظور کردن مخروطه‌ای از اشعه‌های موج با فراوانی‌های مختلف، طیف موج ساحلی را به صورت تابعی از طیف موج فراساحلی می‌توان محاسبه کرد. معمولاً چگالی I_0 را در نبود اطلاعات کامل و دقیق توزیع جهتمند امواج، می‌توان به صورت حاصل ضرب تابعی از فراوانی و تابعی از زاویه موج بیان کرد که در آن، تابع فراوانی داده‌های موجود یا پیش‌بینی شده در مورد طیف موج فراساحلی (بند ۲-۲-۵) و تابع

زاویه موج، بر اساس تابعی متقارن که اوج آن بر زاویه مربوط به جهت میانگین امواج فراساحلی منطبق است تعریف می‌شود. پس از آن، جهت میانگین امواج ساحلی ϕ_m را می‌توان به صورت زیر به دست آورد:

$$\phi_m \int S(\mathbf{f}) d\mathbf{f} = \frac{1}{\phi_2 - \phi_1} \int_{\phi_1}^{\phi_2} \phi_1(\mathbf{f}, \phi) d\mathbf{f} d\phi \quad (15)$$

به طوری که در آن ϕ_1 و ϕ_2 جهات حدی پرتو موج می‌باشند. (یعنی جهاتی که به ازای آنها پرتوهای موج قبل از رسیدن به آب عمیق به سمت ساحل منحرف می‌شوند).

$S(\mathbf{f})$ نمایشگر طیف موج یک بعدی ساحلی است که با رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$S(\mathbf{f}) = \int_{\phi_1}^{\phi_2} I(\mathbf{f}, \phi) d\phi \quad (16)$$

این روش که در آن از یک طیف موج به همراه تصویر سازی پرتو موج استفاده می‌شود، امکان محاسبه جهت میانگین موج و طیف موج یک بعدی را پس از منظور کردن اثرات انکسار و کاهش ژرفای موج در هر نقطه دلخواه به دست می‌دهد. این روش در تهیه برنامه‌ای رایانه‌ای به کار گرفته شده است که می‌توان از آن برای پیش‌بینی دقیق اثرات پدیده انکسار بر اقلیم موج ساحلی استفاده کرد. یکی از تأثیرات آشکار پدیده انکسار بر طیف موج، عبارت از کاهش پراکندگی جهتمند آن با انتشار در آب کم عمق است. بدیهی است بروز چنین پدیده‌ای، به دلیل تمایل عمومی امواج در هم‌جهت کردن تاجشان با خطوط تراز کف، امری قابل پیش‌بینی است.

۳-۲-۳-۳ تأثیر ورودی کانال

استفاده از شناورهایی با مقیاس بزرگ مانند ابرتانکرها، نیازمند تعبیه کانال ورودی عمیقی در سواحل مورد نظر است. در چنین مواردی ممکن است برخی از امواج به دلیل بروز پدیده انکسار، امکان عبور از کانال ورودی عمیق را پیدا نکنند. بدیهی است که زاویه حمله بحرانی، با کاهش دوره تناوب امواج افزایش می‌یابد و زاویه حمله بحرانی امواجی که امکان عبور از کانال را نمی‌یابند، دارای گستره‌ای کوچکتر برای امواج با دوره تناوب کوتاه‌تر و گستره‌ای بزرگتر برای امواج با دوره تناوب بلندتر خواهد بود. از آنجا که تعبیه چنین کانالهایی اخیراً متداول شده است، داده‌های ثبت شده موجود در حال حاضر امکان سنجش صحت نظریه ساده ارائه شده در مورد انکسار را فراهم نمی‌کنند. می‌توان انتظار داشت که

تأثیر پدیده انکسار در سمتی از کانال که موج به آن نزدیک می‌شود از اهمیت بیشتری برخوردار باشد، زیرا انعکاس برخی از امواج از این لبه به معنی پیدایش خط سوزانی منطبق بر لبه کانال است که در شرایط حدی، ممکن است به شکست امواج در این ناحیه منجر شود.

علاوه بر این همواره برخی از مؤلفه‌ها امکان عبور از کانال را خواهند یافت زیرا امواج با زوایای مختلفی به لبه کانال نزدیک می‌شوند. مجموعه این تأثیرات به بروز پدیده‌ای موسوم به عمل موج در داخل کانال منجر می‌شود که برآیند آن در مواردی که بخش قابل توجهی از امواج با جهات و دوره تناوبهای متفاوت بر اساس قانون اسنل منعکس می‌شوند، ممکن است به کاهش ارتفاع موج در داخل کانال منجر شود.

◀ ۳-۳ اصطکاک کف

با مقایسه جریان موج و جریان دائمی در لوله‌ها که در آن افت اصطکاک جریانی به صورت نیروی مقاومی در مقابل جریان عمل می‌کند، می‌توان انتظار داشت که امواج نیز به هنگام انتشار به سمت آب کم عمق، با نیروی مقاومی در مقابل جریان مدار گونه آنها در نزدیکی کف مواجه شوند. مقدار نیروی اصطکاک مورد نظر F_b در واحد سطح، به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$F_b = K_b \rho u^2 \quad (17)$$

K_b - ضریب اصطکاک کف

ρ - چگالی سیال

u - مؤلفه افقی سرعت مدار گونه سیال در کف دریا در غیاب اصطکاک کف

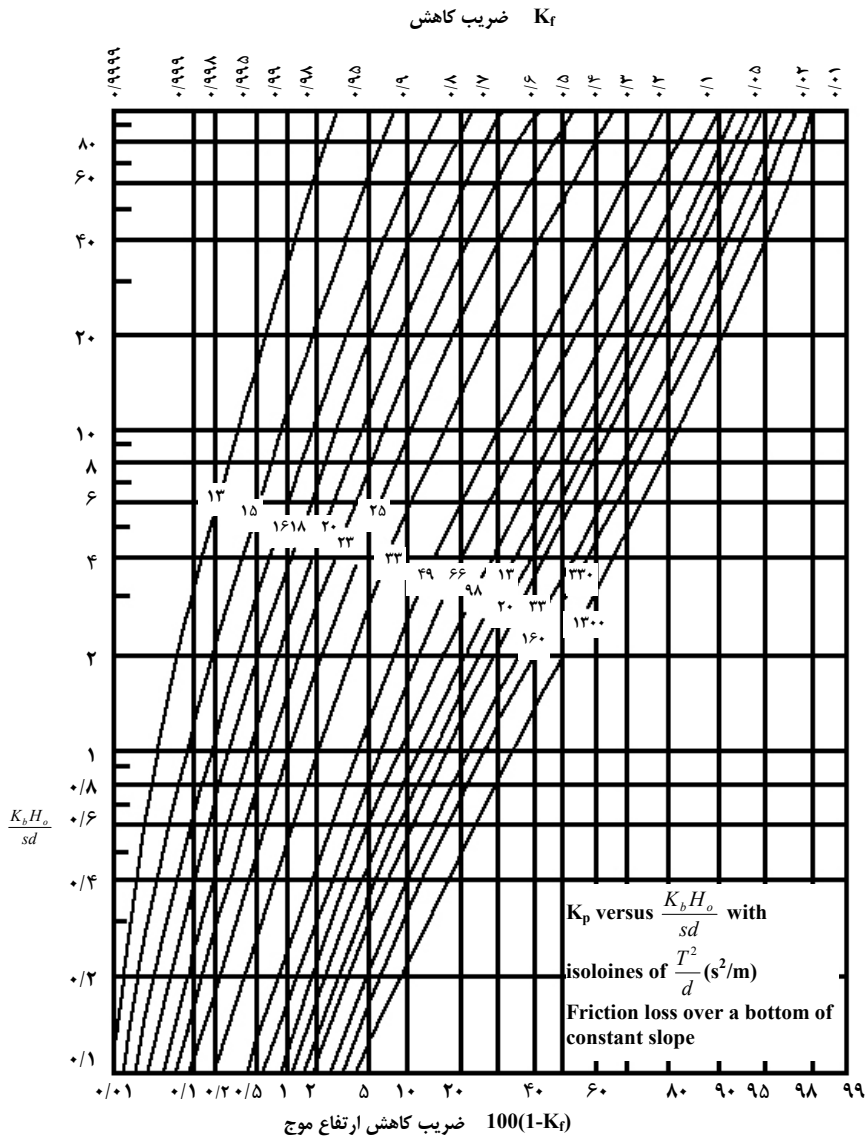
با محاسبه میانگین حاصل ضرب این نیرو در سرعت u ، می‌توان رابطه انرژی تلف شده در اثر اصطکاک را در واحد سطح کف و در واحد زمان به دست آورد و سپس آن را برابر اتلاف قدرت موج در واحد طول موج قرار داد. با حل معادله حاصل، رابطه‌ای را برای ضریب کاهش ارتفاع موج در اثر اصطکاک کف K_f به دست می‌آید. رابطه مذکور برای حالتی که شیب کف S (تانژانت زاویه بین کف و افق) ثابت باشد، در شکل ۳-۳ ترسیم شده است. البته از تأثیرات پدیده انکسار و کاهش ژرفای موج صرف نظر شده است.

با استفاده از شکل ۳-۳ می‌توان دریافت که محاسبه برخی از پارامترهای موج، به طور مثال محاسبه تأثیر عمل موج بر فرسایش ساحل در آب کم عمق، تنها نیازمند منظور کردن تأثیرات کف است. ولی در مورد سازه‌هایی که مثلاً در آب با عمق ۱۰ متر قرار گرفته‌اند، می‌توان از تأثیر اصطکاک کف بر روی امواج غالب صرف نظر کرد. با این حال اصطکاک کف می‌تواند نقش قابل ملاحظه‌ای در کاهش ارتفاع امواج با دوره تناوبهای بلند داشته باشد.

اگر شکل ۳-۳ نمایشگر اهمیت تأثیر اصطکاک کف باشد، بدیهی است که انتخاب مقداری واقعی و دقیق برای ضریب اصطکاک کف در تعیین مقدار K_f اهمیت خواهد داشت. در بیشتر مواردی که اصطکاک کف از اهمیت قابل ملاحظه‌ای برخوردار است، می‌توان چنین فرض کرد که انرژی موج در اثر جریان آشفته حاصل از نوسان ذرات آب بر روی پستی و بلندی‌های ریز کف ماسه‌ای تلف می‌شود. این پستی و بلندی‌ها خود در اثر امواج ریزی که ارتفاع آنها تابعی از پارامترهای موج است به وجود می‌آیند. لذا می‌توان انتظار داشت که ضریب اصطکاک کف از طوفانی به طوفان دیگر تغییر کند.

برای برآورد ضریب اصطکاک کف با استفاده از مشاهدات میدانی، باید ابتدا کلیه تأثیرات آب کم عمق، همچون انکسار و کاهش ژرفای موج را از داده‌های مورد نظر استخراج کرد. چنین مطالعاتی نشان داده است که ضریب اصطکاک کف دارای تغییرات قابل ملاحظه‌ای است و اندازه آن بزرگتر از مقدار اعلام شده ۰/۰۱ می‌باشد.

بر اساس نتایج حاصل از مطالعات، مقدار میانگین ضریب اصطکاک کف در حدود ۰/۰۴ تا ۰/۰۶ می‌باشد. لازم به تذکر است که تغییر مقدار ضریب اصطکاک کف، ممکن است ناشی از خطای محاسبه تأثیرات آب کم عمق از داده‌های موجود باشد. بدیهی است که در حال حاضر برای پیش‌بینی دقیق اقلیم موج ساحلی در شرایطی که اصطکاک کف از اهمیت قابل ملاحظه‌ای برخوردار است، باید از مشاهده‌های میدانی استفاده کرد. در غیاب مشاهدات میدانی، می‌توان نتایج محافظه‌کارانه‌ای را با منظور کردن مقدار ۰/۰۱ برای ضریب اصطکاک کف به دست آورد.



شکل ۳-۳ ضریب کاهش ارتفاع موج در اثر اصطکاک کف

۳-۴ شکست موج

امواج آب عمیق قبل از رسیدن به تیزی موج حدی دچار شکست می‌شوند. برای مطالعه شکست موج آب کم عمق، باید ابتدا انواع مختلف موج شکنا در آب کم عمق را مورد بررسی قرار داد. نوع موج شکنا در آب کم عمق، تابعی از انرژی اولیه موج متناسب با تیزی موج فراساحلی $\frac{H_0}{L_0}$ و نرخ تغییرات ارتفاع موج در اثر انتشار آن به سمت آب کم عمق است. بدیهی است که عامل دوم با صرف نظر از پدیده انکسار و اصطکاک کف، تنها تابعی از پدیده کاهش ژرفای موج و در نتیجه شیب ساحل $\tan\alpha$ خواهد بود. اگر نسبت تیزی موج فراساحلی به جذر شیب ساحل، J ، بیشتر از S باشد، موج شکنا از نوع آشفته خواهد بود. وجود آب سفید در جبهه موج و شکست تدریجی موج، از مشخصات چنین موجی است. چنین موج شکنایی معمولاً به ازای مقداری بین $0/7$ تا $0/9$ برای نسبت ارتفاع موج به عمق آب رخ می‌دهد. وقتی که نسبت J کمتر از 5 ولی بزرگتر از $0/1$ باشد، معمولاً موج شکنا از نوع چرخان خواهد بود و موج پس از چرخیدن بر روی تاج خود، بر روی ناو موج ریزش می‌کند. ارتفاع چنین موج شکنایی ممکن است حتی از عمق آب نیز فراتر رود. در صورتی که سرعت آب به هنگام ریزش تاج بیشتر از سرعت انتشار موج شود، بارگذاری ناشی از شکست این امواج بر روی سازه‌ها بسیار زیاد خواهد بود.

وقتی که نسبت J کمتر از $0/1$ باشد، موج شکنا از نوع لغزشی خواهد بود. با پیشروی این موج بر روی ساحل شیبدار و افزایش تیزی آن تاج موج عملاً ناپدید می‌شود. نوع دیگری از موج شکنا موسوم به موج شکنای آواری، در واقع نمایشگر نوعی شکست انتقالی بین امواج شکنای چرخان و لغزشی است. بدیهی است که با شکل‌گیری دیواره قائم توسط تیزی موج، مقدار J برابر صفر شده و پدیده انعکاس موج رخ خواهد داد. انتقال بین انواع مختلف شکست موج، فرایندی تدریجی است و مقادیر آرایه شده در بالا برای نسبت J ، تنها نمایشگر مقادیری تقریبی هستند.

اگرچه آزمایشهای تجربی زیادی برای تعیین حداکثر ارتفاع موج شکنا در عمق مفروض صورت گرفته است، اما پراکندگی نتایج به دست آمده امکان به دست آوردن رابطه‌ای قابل اعتماد را فراهم نمی‌کند. در حالتی که سازه ساحلی تحت تأثیر امواج شکنا قرار گرفته باشد، می‌توان با توجه به موارد زیر حد بالای ارتفاع موج شکنا را تعیین کرد:

الف: وقتی که ارتفاع شاخص موج پیش‌بینی شده در محل سازه مورد نظر، از عمق آب بیشتر و نسبت J کمتر یا مساوی ۵ باشد، ارتفاع شاخص موج را می‌توان برابر عمق آب در نظر گرفت.

ب: وقتی که شیب کف در مجاورت سازه مورد نظر، به اندازه کافی ملایم و موج شکنا از نوع آشفته باشد، یعنی J بزرگتر از ۵ و ارتفاع شاخص موج بیشتر از $0/8$ برابر عمق آب ساکن باشند، ارتفاع شاخص موج را می‌توان برابر $0/8$ عمق آب در نظر گرفت.

روش فوق روشی محافظه‌کارانه است زیرا مقادیر دست‌بالایی از ارتفاع موج شاخص را به دست می‌دهد، بخصوص وقتی که از آن به همراه فرایند برون‌یابی استفاده شود و نباید از آن در شرایط شکست موج که نیازمند جوابهای دقیقی برای ارتفاع موج است استفاده کرد.

آزمایشهای انجام شده در مورد امواج شکنای آشفته نامنظم بر روی شبیه‌های $\frac{1}{30}$ در مقابل دیوار ساحلی سنگریزه‌ای، نشان داده است که ارتفاع حدی موج شاخص به ازای ارتفاع امواجی تا دو برابر عمق آب، تقریباً برابر عمق آب ساکن است. سطح آزاد میانگین آب در مقابل دیوار نوسانهایی خواهد داشت که در نتیجه آن، عمق آب به هنگام برخورد گروه امواج با ارتفاع زیاد به دیوار ساحلی، بیشتر از عمق آب ساکن خواهد بود. افزایش سطح آزاد میانگین در اثر برخورد امواج با ارتفاع زیاد، یکی از عوامل مؤثر در افزایش ارتفاع امواج از حداکثر ارتفاع موج مربوط به عمق آب ساکن می‌تواند باشد.

حداکثر ارتفاع موج شکنا، معمولاً برابر حاصلضرب عدد $0/78$ در عمق آب ساکن فرض می‌شود. اگرچه این ضریب را می‌توان با استفاده از نظریه امواج تنها نیز به دست آورد، اما آزمایشهای تجربی نشان می‌دهند که نتایج تفاوت قابل ملاحظه‌ای با نتایج حاصل از منظور کردن نظریه امواج تصادفی دارند و این عدد، نمایشگر برآورد قابل قبولی از ارتفاع موج شکنا در همه شرایط نیست.

ژاپنی‌ها روشی را با ترکیب نتایج حاصل از مدل‌های آزمایشگاهی و مشاهدات محلی ابداع کرده‌اند که امکان برآورد ارتفاع امواج را در منطقه خیزآبی، در شرایط امواج تصادفی به دست می‌دهد. در روش مذکور نسبت مقادیر حداکثر ارتفاع موج و ارتفاع شاخص موج به ارتفاع هم‌ارز موج در آب عمیق، بر حسب تیزی هم‌ارز موج آب عمیق $\frac{H'_0}{L_0}$ ، شیب کف و عمق نسبی آب $\frac{d}{L_0}$ رسم می‌شوند. حداکثر ارتفاع

موج برابر ارتفاع میانگین ($0/4$ ٪) از بلندترین امواج $H_{1/250}$ فرض شده است.

کمیت‌های $H_{1/250}$ و H_S را می‌توان از طریق رابطه تقریبی $H_{1/250}=1.8H_S$ به هم مربوط کرد. شکل‌های ۲-۳ تا ۲-۳-د منحنی‌های مربوط به شیب کف $\frac{1}{10}$ ، $\frac{1}{20}$ ، $\frac{1}{30}$ و $\frac{1}{100}$ را نشان می‌دهند. هر یک از این اشکال، شامل منحنی نقطه‌چینی با برچسب و میرایی کمتر از (۲٪) است. میرایی ارتفاع موج در اثر پدیده شکست در منطقه سمت راست منحنی، کمتر از (۲٪) است و به همین دلیل ارتفاع موج را می‌توان با استفاده از ضریب کاهش ارتفاع ارایه شده در شکل ۱-۱ به دست آورد. ارتفاع هم‌ارز موج آب عمیق، برابر ارتفاع موج حاصل از انتشار موج آب عمیق با ارتفاع موج شاخص در نقطه مورد نظر است. ارتفاع هم‌ارز موج آب عمیق با رابطه زیر بیان می‌شود:

$$H'_0 = K_d K_r (H_S)_0 \quad (18)$$

دوره تناوب هم‌ارز موج آب عمیق، برابر دوره تناوب ارتفاع موج شاخص آب عمیق فرض می‌شود.

$$T_S = (T_S)_0 \quad (19)$$

مقدار H'_0 متناسب با موقعیت منطقه مورد نظر تغییر خواهد کرد. ارتفاع موج را می‌توان با استفاده از

روابط زیر برآورد کرد.

$$H_S = K_S H'_0 \quad (20) \quad \frac{d}{L_0} < 0.2$$

اگر $\frac{d}{L_0} < 0.2$ ، مقدار H_S کمترین مقدار از مقادیر زیر می‌باشد:

$$H_S = \beta_0 H'_0 + \beta_1 d$$

$$H_S = \beta_{\max} H'_0 \quad (21)$$

$$H_S = K_S H'_0$$

به طوری که در آن:

$$\beta_0 = 0.028 \left(\frac{H'_0}{L_0} \right)^{-0.38} \exp[20(\tan \alpha_s)^{1.5}]$$

$$\beta_1 = 0.52 \exp[4.2 \tan \alpha_s]$$

همچنین β_{\max} بیشترین مقدار از مقادیر زیر است:

$$\beta_{\max} = 0.92$$

$$\beta_{\max} = 0.32 \left(\frac{H'_0}{L_0} \right)^{-0.29} \exp[2.4 \tan \alpha_s]$$

همچنین مقدار H_{\max} به صورت زیر تعیین می گردد:

$$H_{\max} = 1.8 K_S H_0$$

$$\frac{d}{L_0} = 0.2$$

$$H_{\max} = \min \{ (\beta^*_0 H'_0 + \beta^*_1 h), \beta^*_{\max} H'_0, 1.8 K_S H_0 \}$$

$$\frac{d}{L_0} < 0.2$$

به طوری که در آن:

$$\beta^*_0 = 0.052 \left(\frac{H'_0}{L_0} \right)^{-0.38} \exp[20(\tan \alpha_s)^{1.5}]$$

$$\beta^*_1 = 0.63 \exp[3.8 \tan \alpha_s]$$

به علاوه β^*_{\max} نیز بیشترین مقدار از مقادیر زیر است:

$$\beta^*_{\max} = 1.65$$

$$\beta^*_{\max} = 0.53 \left(\frac{H'_0}{L_0} \right)^{-0.29} \exp[2.4 \tan \alpha_s]$$

نتایج حاصل از روابط فوق، ممکن است چند درصد با نتایج حاصل از منحنی‌های ارایه شده تفاوت داشته باشند. این اختلاف بخصوص در حالتی که تیزی امواج بیشتر از ۰/۰۴ باشد و عمق آب از رابطه زیر پیروی کند، گاهی از (۱۰٪) نیز فراتر می‌رود.

$$\beta_0 H'_0 + \beta_1 d = \beta_{\max} H'_0 \quad (22)$$

مقدار $H_{1/250}$ نیز ممکن است به ازای $\frac{d}{L_0} = 0.2$ ناپیوسته باشد.

۴

امواج بلند

◀◀ ۴-۱ کلیات

مشخصات امواج بلند با دوره تناوب چند دقیقه و ارتفاع کمتر از یک متر، در بسیاری از نقاط فراساحلی دنیا اندازه‌گیری شده و در دسترس است. امواج بلند از اهمیت بسیار زیادی در ارتباط با شناورهای بزرگ لنگر انداخته برخوردارند، زیرا دوره تناوب طبیعی نوسانهای چنین شناورهایی، معمولاً بزرگتر از دوره تناوب امواج طوفانی یا دوراً و در حد دوره تناوب امواج بلند است. در نتیجه امواج بلند ممکن است باعث تشدید نوسانهای شناورهای لنگر گرفته شده که این امر به دلیل پایین بودن نرخ میرایی چنین نوسانهایی، می‌تواند منجر به بارگذاری‌های بزرگی شود.

عوامل عمده تشکیل امواج بلند عبارتند از:

الف: جبهه فشار متحرک

ب: گروه‌بندی امواج

ج: سونامی

◀◀ ۴-۲ جبهه فشار متحرک

می‌توان چنین تصور کرد که همانند مکانیزم ایجاد امواج ناشی از باد، ضربه‌های فشاری ایجاد شده در اثر جبهه‌های فشار جوی که با سرعت فاز مناسبی حرکت می‌کنند، باعث ایجاد امواج بلند خواهند شد. آبهای بسته همچون دریاچه‌ها و حوضچه بنادر نیز ممکن است در اثر حرکت جبهه‌های فشار، تشدید شده و باعث ایجاد امواج بلند شوند. پدیده تشدید در چنین مواردی، مانند به صدا درآمدن زنگی در اثر ضربه اولیه است که صدای آن به تدریج با گذشت زمان از بین می‌رود. اگر نرخ میرایی چنین نوسانهایی کوچک باشد، نوسانهای ایجاد شده تا مدتها پس از گذشتن جبهه فشار از محل مورد نظر، باقی خواهند ماند.

۳-۴ تأثیرات گروه‌بندی امواج

گروه‌بندی امواج، دومین عامل از عوامل تولید امواج بلند است. گروه امواج بلند در اثر هم‌فاز شدن مؤلفه‌های مختلف امواج طوفانی یا دوراً با یکدیگر تولید شده و انرژی جنبشی حرکت مداری ذرات آب را افزایش می‌دهند. این امر سبب کاهش فشار آب می‌شود که در صورت ثابت بودن فشار هوا، از یک طرف منجر به افت تراز میانگین آب در زیرگروه امواج بلند و از طرف دیگر، باعث افزایش تراز میانگین آب در فاصله بین امواج خواهد شد. نوسان تولید شده، حرکتی مواج زیر سطح آب ایجاد می‌کند و از این طریق به تشدید اغتشاش اولیه منجر می‌شود. این پدیده که در زیرگروه امواج به فروآب موسوم است، در واقع متفاوت از امواج بلند واقعی است، زیرا این امواج با سرعتی برابر سرعت گروهی که کمتر از سرعت فاز موج بلندی با همان دوره تناوب است، به سمت ساحل منتشر می‌شوند.

وقتی که نسبت عمق آب به طول موج به میزان قابل ملاحظه‌ای کمتر از ۱ به ۶ باشد، دامنه فروآب افزایش می‌یابد. ارتفاع شاخص H_{sd} حاصل از موج اولیه از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$H_{sd} = 0.01 \frac{g H_s^2 T_z^2}{d^2} \quad (23)$$

که در آن:

g - شتاب ثقل

H_s - ارتفاع شاخص امواج اولیه

T_z - دوره تناوب عبور از صفر امواج اولیه

d - عمق آب

برای مثال، فروآب امواج دوراً با تاج طولانی و ارتفاع ۱/۵ متر و دوره تناوب ۱۵ ثانیه، در آب با عمق ۱۲ متر در حدود ۰/۳۴ متر خواهد بود. دوره تناوب میانگین فروآب، متناسب با عکس عرض طیف موج یک بعدی است. از رابطه فوق باید فقط به منزله راهنمایی استفاده کرد، زیرا داده‌های آزمایشگاهی موجود برای تأیید دقت آن کافی نمی‌باشند.

سیستم موج اولیه با رسیدن فروآب به ساحل مستهلک می‌شود، ولی انرژی موجود در فروآب به دلیل طبیعت امواج بلند کاملاً تلف نشده و همواره احتمال ایجاد و انتشار امواج بلندی به سمت دریا با دوره

تناوب مشابه وجود خواهد داشت. وجود نوعی همبستگی بین پوش امواج دورآی ورودی و ناو امواج با دوره تناوب طولانی، با تأخر زمانی بین آن دو مشاهده شده است. مقدار تأخیر زمانی، بستگی به زمان لازم برای طی فاصله بین محل ثبات موج و ناحیه ساحلی شکست موج توسط امواج دوراً و زمان لازم برای برگشت موج بلند به محل ثبات موج دارد. چنین امواجی معمولاً به نام زیرگروههای موج خوانده می‌شوند.

در بسیاری از موارد امواج بلند منتشره به سمت دریا، در اثر پدیده انکسار به سمت ساحل تغییر جهت می‌دهند که چنین تأثیراتی، ممکن است به تشکیل امواج لبه‌ای منجر شود. ارتفاع این امواج که همواره به موازات خط ساحلی منتشر می‌شوند، با افزایش عمق آب کاهش می‌یابد و در نتیجه انرژی آنها در محدوده ساحلی باقی می‌ماند.

◀ ۴-۴ سونامی

این امواج معمولاً از طریق زمین لرزه ایجاد می‌شوند. یکی از ویژگی‌های اصلی امواج سونامی، افزایش ارتفاع قابل ملاحظه آنها با وجود کوچکی در آب عمیق، با انتشار به سمت ساحل و در اثر کاهش عمق می‌باشد. اگر عمق آب ثابت باشد، هرچه شیب بستر زیادتر و تیزی موج سونامی کمتر باشد، مقدار بالاروی موج بیشتر خواهد بود. وقوع پدیده تشدید در خلیج و پدیده انکسار موج، می‌تواند باعث افزایش موضعی ارتفاع امواج سونامی شود.

◀ ۴-۵ برکشند طوفان

تراز آب یکی از عوامل مهم در طراحی سازه‌های دریایی است. برکشند طوفان می‌تواند تراز آب را تا مقداری بیش از تراز آب در مد بالا افزایش دهد. بنابراین برآورد اثر هم‌زمان مد بالا، برکشند طوفان و اندرکنش موج، با در نظر گرفتن این نکته که مرتفع‌ترین امواج، لزوماً در هنگام بالاترین تراز آب اتفاق نمی‌افتد، مهم است.

عواملی که در تعیین برکشند طوفان نقش دارند عبارتند از: خیزآب باد، فشار جوی کاهش یافته، گردش زمین، شکل خط ساحلی و حرکت طوفان. از این عوامل، خیزآب باد بیشترین تأثیر را دارد. بادی که بر روی سطح دریا می‌وزد، جریانی سطحی را بوجود می‌آورد که منجر به انباشتگی آب در طول خط ساحلی می‌شود. واضح است که اگر برکشند طوفان در وسعتی از دریا و در بین دو خشکی که به تدریج باریک می‌شود منتشر گردد، سطح آب به علت وجود شرایط کیفی افزایش می‌یابد. حرکت طوفان در آبهای بسته، باعث تحریک و تشدید دریا و در نتیجه افزایش تراز برکشند طوفان می‌شود. علاوه بر این، حرکت طوفان در خلیج‌های بزرگ ممکن است باعث تحریک مدهای طبیعی، نوسان خلیج و از این طریق باعث افزایش تراز برکشند شود. روش متداول پیش‌بینی افزایش تراز آب ناشی از برکشند طوفان برای آبهای اطراف سواحل ایران، کم کردن تراز جزر و مد پیش‌بینی شده از تراز جزر و مد ثبت شده در آب ساکن می‌باشد. بدین ترتیب برکشند طوفان دارای مقداری مثبت و یا منفی خواهد شد.

مقادیر ارتفاع موج و تراز آب از پارامترهای مهم در طراحی بسیاری از سازه‌های دریایی می‌باشند و از این رو باید استقلال یا وابستگی ارتفاعهای بلند موج و ترازهای بالای غیر عادی آب به یکدیگر را تعیین کرد. در صورت وابستگی مقادیر مذکور، می‌توان فرض کرد که ارتفاع موج شاخص با دوره بازگشت ۵۰ سال، هم‌زمان با تراز بالای غیر عادی آب با دوره بازگشت ۵۰ سال اتفاق می‌افتد. اگر داده‌های موجود نشان دهند که مقادیر مذکور، مستقل از یکدیگرند و اگر این عدم وابستگی مزیتی داشته باشد، باید در تعیین شرایط طراحی احتیاط کرد، زیرا ترکیبهای متفاوتی از تراز آب و اقلیم موج، ممکن است به درجه واژگونی یا ارتفاع موج طراحی مشابهی برای دیوارهای دریایی و موج‌شکنها منجر شوند. در این موارد باید همه عواملی را که ممکن است باعث افزایش معیارهای طراحی شوند مورد بررسی قرار داد. اگر اطلاعات کافی برای تعیین وابستگی ترازهای بالای آب و ارتفاعهای بلند موج در دسترس نباشند، باید آنها را وابسته به یکدیگر فرض کرد. اگرچه این فرض در برخی موارد ممکن است به برآورد محافظه‌کارانه ابعاد و استحکام سازه‌های دریایی منجر شود.

◀◀ ۴-۶ نتیجه گیری

بررسی امواج بلند در مناطق فراساحلی، نشان می‌دهد که ارتفاع این امواج با ارتفاع امواج طوفانی یا دوراً همبستگی دارد. یعنی پدیده گروه‌بندی امواج، عامل اصلی تشکیل امواج بلند در مناطقی است که در معرض امواج سونامی قرار ندارند. بر این اساس، امواج بلند تنها برای بنادر و پایانه‌های فراساحلی که در مناطق نسبتاً باز یا در معرض امواج دورآی با ارتفاع بیش از ۱ متر قرار دارند مهم می‌باشد. در این حالت، باید اقلیم امواج بلند در منطقه ساحلی مورد نظر را از طریق نصب ثبات امواج بلند، دقیقاً به دست آورد.



ثبت و تحليل امواج

۵-۱ منابع اطلاعاتی موجود

کسب اطلاعات موج نیازمند وجود مراکز اقیانوس شناسی، جهت تهیه و نگهداری داده‌های موج می‌باشد. هدف از ایجاد مراکز مذکور نه تنها نگهداری اطلاعات خام، بلکه تحلیل داده‌ها و ارایه به مؤسسات نیازمند اطلاعات می‌باشد. مشورت با این مراکز می‌تواند به دسترسی به اطلاعات و همچنین اطمینان از صحت داده‌های مربوط به ناحیه مورد نظر منجر شود.

اهداف دیگر این مراکز، جمع‌آوری و ثبت آمار موج توسط شناورهای در حال تردد، ایجاد بانک اطلاعاتی متناسب با کاربردهای مهندسی و تحقیقاتی، گردآوری اطلاعات جمع‌آوری شده توسط کشتی‌های کشورهای همسایه و افزودن آن به بانک اطلاعاتی می‌باشد.

۵-۲ مشاهدات محلی

اندازه‌گیری‌های محلی زمانی به کار می‌روند که امکان دستیابی به داده‌های صحیح موج وجود نداشته باشد. مشاهدات محلی به طور مجزا و یا به منزله مکمل روشهای پیش‌بینی پارامترهای موج، وقتی ضرورت می‌یابند که:

الف: توپوگرافی بستر دریا در محل مورد مطالعه، پیچیده بوده و پیش‌بینی تغییرات مشخصه‌های موج آب عمیق مورد اطمینان نباشد.

ب: داده‌های هواشناسی برای پیش‌بینی موج در محل مورد مطالعه کافی و دقیق نباشند.

ج: ویژگی‌های موجگاه، امکان استفاده از روشهای پیش‌بینی موج را فراهم نکند.

د: وجود جریانها یا تغییرات جزر و مدی در ناحیه مورد مطالعه، تأثیر عمده‌ای بر خصوصیات موج داشته باشد.

ه: اثر امواج دوراً یا امواج با دوره تناوب بلند مهم باشد.

مشاهده چشمی یکی از روشهای ثبت اطلاعات امواج است که نتایج حاصل از آن، مطابقت خوبی با ارتفاعها و دوره تناوبهای اندازه‌گیری شده امواج دارند. ماکزیمم ارتفاع موج ثبت شده از طریق مشاهدات

چشمی در یک دوره محدود، به عنوان ارتفاع موج شاخص مربوط به دوره نامیده می‌شود. همواره این احتمال وجود دارد که ارتفاع امواج ماکزیمم و امواج دارای دوره تناوب بلند که از اهمیت زیادی در طراحی بنادر و مطالعه کشتی‌های مهار شده برخوردار هستند، حتی در طی مشاهدات مکرر از دید مشاهده‌گر مخفی مانده و یا درست تخمین زده نشوند. یکی از مزیت‌های مهم مشاهدات چشمی، آسانی تخمین جهت امواج دریا و امواج دوراً است.

انواع دستگاههای ثبات موج خودکار، به همراه مزایای نسبی آنها در بند ۵-۳ شرح داده شده‌اند. این ابزارها باید قابلیت استفاده در محدوده‌های زیر را دارا باشند:

- ۱- دامنه جزر و مد
 - ۲- دوره تناوب و ارتفاع موج ماکزیمم مورد انتظار
 - ۳- نقاطی که در معرض خطرهای دریایی می‌باشند به ویژه در مجاورت کشتی‌ها
- دستگاه‌های اندازه‌گیری مورد استفاده باید محکم، مناسب، دقیق و صحیح طراحی شده باشند. تجربه نشان داده است که ثبات‌های موج، همواره ممکن است بر اثر نواقص داخلی و اختلالات دیگری همانند اختلالات ناشی از عبور کشتی‌ها در معرض خرابی قرار گیرند، به همین دلیل دستگاهها را باید به طور منظم کنترل کرد. بیشتر ابزارهای جدید کارایی بیشتری نسبت به سیستمهای قدیمی دارند، با این وجود ابزارهای امتحان شده صرف نظر از جدید یا قدیمی بودن، قابل اعتمادتر بوده و اطلاعات مفید بیشتری را به دست می‌دهند.

توصیه می‌شود دستگاه ثبات همیشه در جایی نصب شود که امکان ثبت دراز مدت اطلاعات را فراهم کند. برون‌یابی معقول پارامترهای طرح، نیازمند حداقل یک سال ثبت داده‌ها است. برای استخراج داده‌های موج دوراً یا موج طوفان، ثبت داده‌ها در دوره‌های ۱۵-۱۰ دقیقه‌ای و فواصل ۳ ساعته کفایت می‌کند. برای مطالعه امواج بلند با دوره تناوبهای چند دقیقه‌ای، فرایند ثبت داده‌ها باید حداقل یک الی دو ساعت ادامه یابد تا برآورد درستی از طیف موج بلند به دست آید.

از آنجا که خصوصیات امواج بلند تابعی از حضور امواج دوراً یا امواج طوفان است، کافی است دستگاه ثبات به گونه‌ای تنظیم شود تا وقتی که ارتفاع امواج اولیه از مقدار خاصی فراتر می‌رود، دستگاه ثبات به صورت خودکار به مدت ۱ تا ۲ ساعت، از ثبت دوره‌ای به ثبت مستمر تغییر وضعیت دهد. فرایند برون‌یابی

به وجود مقادیر حدی موج در داده‌های ثبت شده حساس است، لذا حصول اطمینان از عدم حضور مقادیر مذکور در داده‌های ثبت شده برای طوفانها در موجگاه مورد نظر الزامی است. در برون‌یابی داده‌ها باید فقط از یک مجموعه کامل داده‌ها استفاده کرد و چون اغلب ثبت کننده‌ها در اثر طوفان دچار آسیب می‌شوند، ثبت اطلاعات کامل ۱۲ ماهه اغلب نیازمند ثبت داده‌ها در مدت بیش از یک سال است. برای تعیین اقلیم موج فراساحلی، باید دستگاه ثبت موج را در آب عمیق و در مجاورت ناحیه مورد مطالعه، به گونه‌ای نصب کرد تا متعامدهای موج منتشره از آن امکان رسیدن به نقاط مورد نظر را داشته باشند. ثبت موج باید از عوامل تولید انکسار و انعکاس امواج و همچنین جریانهای شدیدی که ممکن است روی اقلیم موج تأثیر گذارند، دور باشد. ثبت موج همواره باید در مجاورت محل مورد مطالعه نصب شود و باید دقت کافی را در تعیین محل نصب دستگاه ثبت موج، هنگام مطالعه پدیده تشدید و الگوی تداخل امواج به کار برد تا داده‌های ثبت شده معرف وضعیت واقعی دریا باشند.

◀ ۳-۵ ثبت موج

◀ ۱-۳-۵ سیستمهای شناور

کاربرد شتاب‌سنجهای سوار بر بویه، در سالهای اخیر رواج زیادی یافته‌اند. انواع جدیدتر این دستگاهها از دقت بالاتری در ثبت امواج با دوره تناوبهای ۲۰-۳ ثانیه برخوردارند. یکی از محاسن این دستگاهها برخورداری از حساسیت کافی در اندازه‌گیری شتاب قائم ناشی از امواج بلند با دوره تناوب از چند ثانیه تا امواج جزر ومدی می‌باشد. عیب اصلی این دستگاهها نیاز مبرم آنها به سازه‌ای ثابت جهت نصب و استقرار است.

در گذشته از ثبت شناور یا جزر و مدسنج اصلاح شده، برای اندازه‌گیری‌های سطحی استفاده می‌شد، ولی عیب اصلی آنها پاسخ غیر خطی نسبت به امواج دوراً و امواج طوفان است. این گونه ثبتها در صورت نصب و نگهداری صحیح، امکان ثبت دقیق و مستمر امواج بلند با دوره تناوبهای بیشتر از ۳۰ ثانیه را فراهم می‌کنند.

۵-۳-۲ سیستم‌های زیر سطحی

ثباتهای مبدل فشار را می‌توان موفق‌ترین ثبات موج بعد از شتاب‌سنج سوار بر بویه دانست. نوسانهای فشار اندازه‌گیری شده در آب را می‌توان به نوسانهای سطح آب ربط داد. کاربرد نظریه خطی امواج در تعیین تغییرات تراز سطح آب، با خطایی کمتر از (۱۰٪) همراه خواهد بود. این مبدلها قادر به اندازه‌گیری امواجی با دوره تناوب چند ثانیه تا امواج جزر و مدی هستند. در انتخاب عمق مناسب جهت نصب دستگاه، به علت میرایی زیاد امواج کوتاه که با افزایش عمق رابطه مستقیم دارد، باید احتیاط و دقت کرد. ثباتهای پژواکی که در زیر سطح آب نصب می‌شوند نیز قادر به اندازه‌گیری امواجی هستند که از بالای آنها عبور می‌کنند. استفاده از این دستگاهها برای ثبت امواجی چون امواج طوفان که به دلیل ایجاد حبابهای هوا در سطح آب، به جای انعکاس صوت به سمت بستر دریا باعث پراکندگی آن می‌شوند، به نتایجی غیر قابل اعتماد منجر می‌شود.

۵-۳-۳ سیستم‌های زیر سطحی

برای اندازه‌گیری امواج و سنجش هم‌زمان جهت و ارتفاع آنها می‌توان از اشعه لیزر و رادار ماهواره‌ها، هواپیماها یا ایستگاه‌های زمینی استفاده کرد. بزرگترین مزیت این فناوری، سطح پوشش وسیع و همچنین عدم نیاز به نصب در دریا است. این فناوری هنوز تکمیل نشده و استفاده از آن برای جمع‌آوری داده‌ها هنوز معمول نشده است.

۵-۳-۴ سیستم‌های جهت‌مند

اندازه‌گیری خصوصیات جهت‌مند امواج، هنوز به طور کامل معمول نشده است. امروزه تحقیقات برای ابداع روشهایی مناسب در این زمینه ادامه دارد. بویه‌های الاکلنگی، غلطشی و کششی، می‌توانند جهت میانگین موج متوسط را به طور دقیق و طیف جهت‌مند موج را به طور تقریبی تعیین کنند. طیف جهت‌مند موج را می‌توان با کاربرد آرایه‌ای از ارتفاع‌سنجهای موج نیز به دست آورد. برخی از اطلاعات جهت‌مند را می‌توان از طریق اندازه‌گیری بازپراکنش امواج رادار یا امواج رادیویی ناشی از امواج دریا به دست آورد.

جریان سنجهای الکترومغناطیسی که قادر به اندازه‌گیری دو مؤلفه افقی سرعت مداری امواج هستند، می‌توانند در به دست آوردن اطلاعات جهت‌مند موج به کار روند. تا زمانی که روشهای خودکار ثبت جهت موج پیشرفت کافی نکرده‌اند، می‌توان از مشاهده چشمی، داده‌های محلی و بررسی نمودارهای آب و هوایی استفاده کرد.

◀ ۴-۵ تحلیل داده‌های ثبت شده

◀ ۱-۴-۵ کلیات

تغییرات تراز سطح آب ناشی از موج، در گذشته به وسیله حرکت پیوسته یک قلم بر روی کاغذ دوار ثبت و نمودار آن به طور دستی پردازش می‌شد. امروزه داده‌های نموداری را می‌توان ابتدا به داده‌های دیجیتالی تبدیل و سپس توسط کامپیوتر تحلیل نمود. تحلیل دستی داده‌های نموداری وقت‌گیر است و امروزه جای خود را به ضبط نوار مغناطیسی و تحلیل محاسباتی مستقیم داده است. بهتر است که ثبتهای نموداری را به منزله اطلاعات پشتیبان نگهداری کرد تا در صورت نیاز بتوان از آن برای تشخیص معایب احتمالی دستگاه استفاده کرد.

◀ ۲-۴-۵ تحلیل دستی

ثبتهای نموداری را که معمولاً هر ۳-۴ ساعت یک بار به مدت ۲۰-۱۲ دقیقه انجام می‌شوند، می‌توان به طور دستی تفسیر کرد. بدین منظور خط میانگینی بر داده‌های موج، برازش و تعداد عبورهای فوقانی این خط N_z در مدت ۱۰ دقیقه یادداشت می‌شود. دوره تناوب عبور از صفر موج، با تقسیم ۶۰۰ ثانیه بر N_z به دست می‌آید. علاوه بر این، ارتفاع بلندترین تاج H_A و دومین تاج بلند H_B در بالای خط میانگین و عمق پایین‌ترین ناو d_A و دومین ناو پایین d_B از زیر خط میانگین، در مدت زمان ۱۰ دقیقه ثبت می‌شود. پس از آن می‌توان از رابطه زیر برای تخمین ارتفاع موج شاخص H_s استفاده کرد.

$$H_s = \frac{H_{s,1} + H_{s,2}}{2} \quad (24)$$

$$H_{s,1} = H_1 \left(\frac{2}{\lambda}\right)^2 (1 + 0.289\lambda^{-1} - 0.247\lambda^{-2})^{-1}$$

$$H_{s,2} = H_2 \left(\frac{2}{\lambda}\right)^2 (1 - 0.21\lambda^{-1} - 0.103\lambda^{-2})^{-1}$$

$$H_1 = H_A + d_A \text{ و } H_2 = H_B + d_B \text{ , } \lambda = \ln(Nz)$$

پارامترهای H_1 و H_2 حاصل از روابط فوق را باید جهت منظور کردن پاسخ فراوانی ثبات اصلاح کرد. در صورت استفاده از ثباتهای فشاری که در زیر آب نصب می‌شوند، باید نتیجه به دست آمده را جهت منظور کردن افت هیدرودینامیکی ناشی از عمق تصحیح کرد. ضرایب اصلاحی، تابعی از دوره تناوب موج هستند که برای محاسبه آنها معمولاً از دوره تناوب عبور از صفر T_z استفاده می‌شود. ثباتهای فشاری دوره تناوب عبور از صفر را بیشتر از مقدار واقعی آن تخمین می‌زنند، زیرا افت ناشی از عمق برای دوره تناوبهای کوتاه‌تر طیف موج، بیشتر از دوره تناوبهای بلندتر آن است. می‌توان از طریق تحلیل طیفی فشارهای ثبت شده و تصحیح طیف فراوانی به دست آمده به دلیل افت ناشی از عمق و پاسخ دستگاه در مورد طیف نوسانهای سطح آب، این مشکل را رفع نمود.

فرایند بالا تخمینی از مقادیر H_s و T_z برای هر یک از ثبتها به دست می‌دهد که با برون‌یابی آنها، می‌توان ارتفاع موج شاخص را برای هر دوره بازگشت فرضی و همچنین ماکزیمم ارتفاع موج طراحی را، به ازای هر احتمال فرضی به دست آورد. با فرض اینکه قطار موج حاصل از ثبت ۱۰ دقیقه‌ای، طی یک فاصله زمانی ۳-۴ ساعته تداوم داشته باشد، می‌توان میانگین ارتفاع موج ماکزیمم را که در بین ثبتها رخ می‌دهد تخمین زد. سپس می‌توان موج طراحی مورد نظر را با برون‌یابی مقادیر ماکزیمم حاصله به دست آورد. روشهای برون‌یابی داده‌ها در فصل ۶ شرح داده شده‌اند.

۵-۴-۳ تحلیل محاسباتی ◀

داده‌های نموداری را می‌توان از طریق دستگاه تعقیب کننده منحنی نیز تحلیل کرد. این دستگاه داده‌های نموداری را به داده‌های عددی تبدیل و آنها را جهت تعیین طیف یک بعدی موج پردازش می‌کند. اگر اطلاعات به طور مستقیم و به صورت عددی روی یک نوار مغناطیسی ثبت شوند، می‌توان تحلیل طیفی را بسیار سریع‌تر انجام داد.

۶

برونیابی داده‌های موج

۱-۶ کلیات

روشهای مورد استفاده برای برون‌یابی ارتفاع موج را می‌توان به دو دسته زیر تقسیم کرد:

الف: تعیین ارتفاع موج حدی با دوره برگشت معین، به وسیله برون‌یابی مجموعه مشخصی از ارتفاع امواج که از نظر آماری مستقلند (بند ۲-۶).

ب: به دست آوردن ارتفاع موج ماکزیمم با احتمال وقوع معین، به وسیله برون‌یابی ارتفاع معرف گروه موج که معمولاً همان ارتفاع موج مشخصه است (بند ۳-۶).

اطلاعات اولیه در روش الف، ممکن است مجموعه‌ای از ارتفاعهای موج شاخص یا ارتفاعهای موج ماکزیمم باشند که از طریق درونیابی ارتفاع موج مشخصه به روش ب به دست آمده‌اند. باید به این نکته توجه داشت که مجموعه اطلاعات اولیه باید از نظر آماری مستقل، سازگار و معرف شرایط واقعی باشند. برون‌یابی دوره تناوب موج معمولاً با منظور کردن تیزی موج انجام می‌شود.

۲-۶ برون‌یابی برای تعیین مشخصات موج حدی

۱-۲-۶ قابلیت اعتماد برون‌یابی

مشخصات موج حدی به دست آمده از برون‌یابی، بستگی به وضعیت دریا در طی سال یا سالهای اندازه‌گیری دارد. اگر وضعیت امواج در طی دوره ثبت داده‌ها شدید یا ملایم باشد، برون‌یابی سبب برآورد بالاتر یا پایین‌تر از مقادیر حدی واقعی می‌شود. قابلیت اعتماد مقادیر حاصل از برون‌یابی، با افزایش تعداد سالهای ثبت داده‌ها افزایش می‌یابد. مجموعه اطلاعات اولیه باید از نظر آماری مستقل باشند و باید توجه کرد که از مشاهدات غیر مستقل جهت افزایش داده‌های محدود موجود استفاده نشود.

اگر داده‌های موج برای یکسال کامل در دسترس باشند، می‌توان ارتفاعهای ماکزیمم را در گامهای زمانی مشخص نظیر سه ساعته یا چهار ساعته، با استفاده از روشهای برون‌یابی محاسبه کرد و از این طریق، بانک اطلاعاتی شامل بیش از دو هزار داده به دست آورد. می‌توان داده‌ها را مطابق روش بند ۲-۲-۶، ترسیم و برون‌یابی کرد. در این صورت امکان تردید در مورد اعتبار نتایج وجود دارد، زیرا

داده‌های اولیه مورد استفاده در فاصله زمانی ۳ یا ۴ ساعت را نمی‌توان از نظر آماری مستقل فرض کرد. این مشکل را می‌توان از طریق استخراج مجموعه‌ای که تنها شامل ارتفاع ماکزیمم مربوط به اوج طوفان است، از مجموع داده‌های اولیه برطرف کرد، زیرا طوفانها را می‌توان وقایع آماری مستقلی فرض کرد. اگر تعداد طوفانها در طی سال کم باشد، جهت اطمینان از صحت نتایج حاصل، می‌توان از بزرگترین مقادیر هفتگی ارتفاع موج ماکزیمم به منزله وقایع آماری مستقل، جهت برون‌یابی استفاده کرد.

استفاده از روشهای برون‌یابی بر این فرض استوار است که مکانیزم تولید امواج در دراز مدت ثابت و بدون تغییر باقی می‌ماند. بر این اساس باید در استفاده از کمیتهای با دوره برگشت بیش از ۱۰۰ سال که از طریق برون‌یابی به دست آمده‌اند، محتاط بود زیرا چنین نتایجی به دلیل وجود احتمال تغییرات دراز مدت در شرایط آب و هوایی، چندان قابل اعتماد نیستند.

۴-۲-۶ ارتفاع امواج

در این روش با استفاده از تابع احتمالاتی مناسبی، ارتفاع امواج اولیه بر حسب احتمالات تجمعی وقوع آنها ترسیم و نمودار حاصل را به خطی مستقیم تبدیل کرده و از آن برای برآورد احتمال وقوع وضعیت حدی استفاده می‌شود.

اگر مجموعه‌ای متشکل از n_x ارتفاع موج به صورت صعودی مرتب شده باشند، احتمال این که مقدار H کمتر از مقدار مشخص H_n (که در آن n کمتر یا مساوی n_x است) باشد، با رابطه $\frac{n}{n_x + 1}$ تعریف می‌شود. احتمال مساوی یا بیشتر بودن H از H_n از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$P_n = 1 - \left(\frac{n}{n_x + 1} \right) \quad (25)$$

اگر تعداد داده‌های مجموعه زیاد باشند، بهتر است که مجموعه داده‌های مرتب شده را به چند مجموعه از داده‌ها با ارتفاع یکسان تقسیم کرد. به ازای هر یک از این ارتفاعها، یک شماره در فاصله مربوطه و یک شماره در هر یک از فواصل پایین‌تر از آن ثبت می‌شود. با تقسیم تعداد کل شماره‌های هر یک از فواصل بر تعداد کل مشاهدات، می‌توان احتمال مساوی یا بیشتر بودن ارتفاع H از ارتفاع H_n را به دست آورد. H_n حد پایینی ارتفاع موج در فاصله مورد نظر است.

تجربه نشان داده که توابع توزیع احتمالاتی برای شرایط متفاوت یکسان نیستند. برای مثال ممکن است یک تابع توزیع خاص برای ارتفاعهای حد پایین و تابع توزیع دیگری برای ارتفاعهای حد بالا مناسب باشد. این تفاوت ممکن است ناشی از وابستگی ارتفاعهای مورد اشاره، به دو مجموعه متفاوت از امواج باشد. در این موارد باید از توزیعی برای برون‌یابی استفاده کرد که بهترین انطباق را با امواج بلندتر دارد. توابع توزیع زیر، توابع مناسبی برای برون‌یابی هستند.

الف: توزیع وایبول

در این توزیع، کمیت $\text{Ln}(\text{Ln} \frac{1}{P_n})$ بر حسب $\text{Ln}(H_n - H_1)$ ترسیم می‌شود.

ب: توزیع فیشر - تیپت

در این توزیع، کمیت $\text{Ln}(\text{Ln} \frac{1}{1 - P_n})$ بر حسب $\text{Ln}(H_n - H_1)$ ترسیم می‌شود.

ج: توزیع فرچر

در این توزیع، کمیت $\text{Ln}(\text{Ln} \frac{1}{1 - P_n})$ بر حسب $\text{Ln}(H_n - H_1)$ ترسیم می‌شود.

د: توزیع گامبل

در این توزیع، کمیت $\text{Ln}(\text{Ln} \frac{1}{1 - P_n})$ بر حسب H_n ترسیم می‌شود.

و: توزیع لاگ - نرمال

در این توزیع، کمیت H_n بر حسب P_n روی کاغذ لگاریتمی ترسیم می‌شود. در صورت عدم دسترسی به کاغذ لگاریتمی، می‌توان کمیت y را بر حسب $\text{Ln} H_n$ ترسیم کرد که کمیت y به صورت زیر تعریف و از جداول مربوطه استخراج می‌شود.

$$P_n = 0.5 - (2\pi)^{-\frac{1}{2}} \int_0^y \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt \quad (26)$$

در توزیعهای الف، ب و ج باید از طریق آزمون و خطا، مقدار H_1 را که معرف مقدار حد بالایی یا پایینی H_n است، جهت دستیابی به بهترین برازش تعیین کرد.

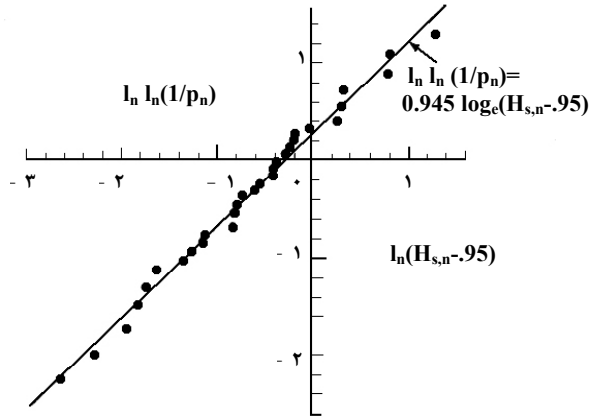
با استفاده از خط مستقیم حاصل از ترسیم داده‌ها، می‌توان احتمال مساوی یا بیشتر شدن ارتفاع موج از یک ارتفاع مشخص در دوره آماری موجود را به دست آورد. اگر مجموعه داده‌های اولیه از نظر آماری مستقل و معرف شرایط دریا باشند، می‌توان با استفاده از برون‌یابی، ارتفاع امواج با احتمال وقوع کمتر و در نتیجه دوره برگشت طولانی‌تر را به دست آورد. طبق تعریف، دوره برگشت عبارت از مدت زمانی است که طی آن واقعه مورد نظر به طور میانگین تنها یکبار اتفاق می‌افتد (بند ۴-۶). ارتفاع بیشینه Hn_x در مجموعه‌ای متشکل از n_x ارتفاع که در طی دوره زمان T_0 ثبت شده باشند، دارای دوره برگشتی معادل T_0 خواهد بود که احتمال وقوع چنین ارتفاعی، با جایگزینی n_x به جای n در رابطه $P_n = \left(\frac{1}{n_x + 1}\right)$ به دست می‌آید. احتمال وقوع ارتفاعی با دوره برگشت T_R ، برابر $\frac{T_0}{T_R(n_x + 1)}$ است که با استفاده از آن می‌توان ارتفاع موج حدی را به دست آورد.

در عمل بهتر است داده‌های مورد نیاز فرایند برون‌یابی را از مجموعه داده‌های حداقل یکساله استخراج کرد تا مجموعه مورد استفاده، مجموعه‌ای معرف شرایط واقعی محسوب گردد. شکل ۶-۱ نمونه‌ای را نشان می‌دهد که در آن ارتفاع امواج مشخصه ۳۹ طوفان در دوره زمانی یکساله، بر اساس توزیع وایبول ترسیم شده است. با استفاده از برون‌یابی، ارتفاع موج مشخصه با دوره برگشت ۵۰ و ۱۰۰ سال را به ترتیب برابر ۷/۳ متر و ۷/۹ متر به دست می‌آید.

روشهای مذکور در بالا را می‌توان برای برون‌یابی ارتفاع امواج اندازه‌گیری شده در مناطق ساحلی به کار گرفت، ولی چون اقلیم موج ساحلی همواره تحت تأثیر پدیده شکست موج قرار دارد استفاده از توزیع فیشر - تیبت به دلیل اعمال حد بالایی ارتفاع امواج، به برآزش مناسب‌تری منجر می‌شود.

ماکزیمم ارتفاع موج برای ۳۹ طوفان در یک سال

طوفان	H _s m	طوفان	H _s m
1	1.05	20	1.14
2	1.80	21	1.09
3	1.11	22	1.77
4	2.31	23	1.39
5	3.16	24	1.60
6	1.64	25	1.27
7	1.70	26	3.16
8	1.49	27	2.31
9	2.25	28	1.74
10	1.12	29	1.09
11	1.39	30	1.61
12	1.43	31	1.21
13	0.75	32	0.96
14	1.12	33	1.38
15	1.52	34	2.31
16	0.79	35	3.21
17	1.26	36	1.93
18	1.02	37	2.34
19	1.40	38	4.57
		39	1.23



مثال:

$T_R = 50 \text{ سال} \Rightarrow P_n = 1/200$ و $n = 39 \Rightarrow T_0 = 50 \text{ سال}$: با فرض
 $H_{s,n} = 7/9 \text{ m}$ (سال ۱۰۰) و $H_{s,n} = 7/3 \text{ m}$ (سال ۵۰) : بنابراین

شکل ۶-۱ نمودار نمونه برای برون یابی ارتفاع موج

۳-۶ برون یابی برای تعیین ارتفاع ماکزیمم امواج منفرد

۱-۳-۶ کلیات

تحلیل داده های امواج نشان می دهد که با معلوم بودن دوره تناوب عبور از صفر و زمان تداوم شرایط طراحی، می توان تخمین قابل اعتمادی را برای ارتفاع ماکزیمم امواج از طریق برون یابی ارتفاع موج مشخصه به دست آورد. چنین محاسبه ای بر فرض دائمی بودن وضعیت دریا استوار است که ارتفاع میانگین و دوره تناوب میانگین امواج، در طول زمان تداوم شرایط طراحی ثابت فرض می شود. استفاده از برون یابی برای به دست آوردن شرایط طراحی، معمولاً به زمان تداوم موج شاخص طراحی منجر می شود. سپس می توان تعداد امواج عبور از صفر N در طی زمان تداوم شرایط طراحی را، با تقسیم زمان تداوم بر دوره تناوب عبور از صفر Tz به دست آورد. اگر روش مورد استفاده برای به دست

آوردن ارتفاع موج مشخصه امکان محاسبه مقدار طراحی T_z را فراهم نکند، می‌توان از رابطه زیر برای محاسبه T_z استفاده کرد. در رابطه زیر صورت و مخرج کسر به ترتیب نمایشگر سطح و لنگر دوم سطح زیر منحنی طیف یک بعدی موج $s(f)$ است.

$$T_z = \left[\frac{\int S(f) df}{\int S(f) f^2 df} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (27)$$

برای امواج طوفان، باید از طیف JONSWAP در شرایط بادگیر محدود و از طیف پیرسون - موسکوویچ در شرایط کاملاً توسعه یافته استفاده کرد (فصل ۲).

۶-۳-۲ ارتفاعهای ماکزیمم

ارتفاع موج ماکزیمم در شرایط متفاوت طراحی که حتی پارامترهای میانگین موج و زمان تداوم آنها یکسان باشد، به دلیل طبیعت احتمالی دریا متفاوت خواهد بود. ولی ارتفاع میانگین موج موسوم به ماکزیمم میانگین، تنها تابعی از پارامترهای میانگین موج و زمان تداوم شرایط طراحی خواهد بود. ماکزیمم میانگین دارای مقداری نزدیک به محتمل‌ترین ارتفاع ماکزیمم موج است که می‌توان آن را از رابطه زیر به دست آورد.

$$\bar{H}_{\max} = \frac{H_S}{\sqrt{2}} \left[(\ln N)^2 + 0.2886(\ln N) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (28)$$

که در آن:

\bar{H}_{\max} - ارتفاع ماکزیمم میانگین موج

H_S - ارتفاع موج مشخصه

N - تعداد امواج عبور از صفر در طی زمان تداوم شرایط طراحی

ماکزیمم ارتفاع موجی که احتمال مساوی یا بیشتر شدن از آن در طول زمان تداوم شرایط طراحی معلوم است، از رابطه زیر به دست می‌آید.

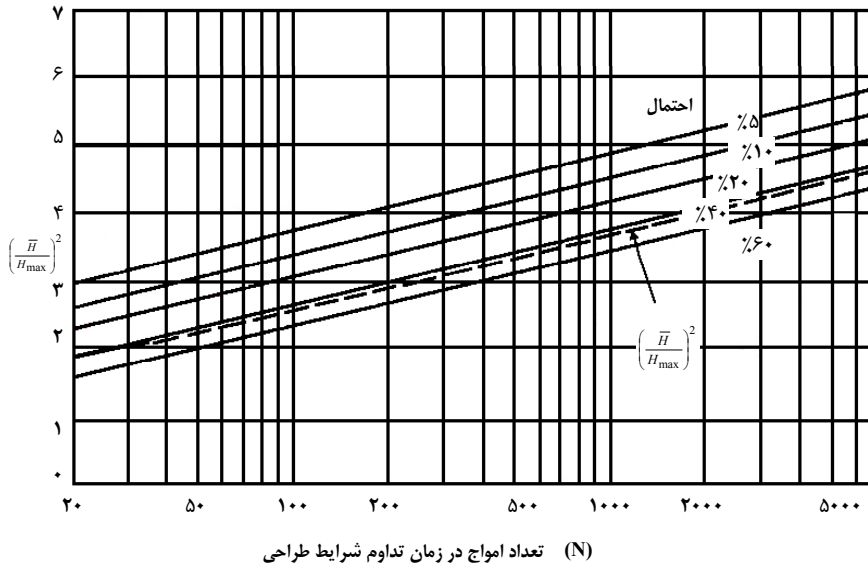
$$H_{\max} = \frac{H_S}{\sqrt{2}} \left[\ln N - \ln \left(\ln \frac{1}{1-p} \right) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (29)$$

که در آن:

H_{max} - ارتفاع ماکزیمم موج

P - احتمال برابر یا بیشتر شدن ارتفاع موج از \bar{H}_{max} یا H_{max} طی زمان تداوم شرایط طراحی

مقادیر کمیت $(H_{max}/H_s)^2$ به ازای احتمالهای مختلف و مقادیر مختلف $(H_{max}/H_s)^2$ در شکل ۶-۲ ترسیم شده‌اند. روشهای فوق را می‌توان برای محاسبه ماکزیمم ارتفاع موج مناطق ساحلی به کار برد. باید توجه کرد که حداکثر ارتفاع موج شاخص در مناطق ساحلی به ازای $J \leq S$ ، مثلاً شکست موج شکن بر روی بستر با شیب نسبتاً تند، برابر عمق آب و به ازای $J > S$ ، مثلاً شکست موج شکن بر روی بستر با شیب ملایم، برابر $0/8$ عمق آب است. در این جا J نسبت تیزی موج فراساحلی به جذر دوم شیب ساحل است.



شکل ۶-۲ تغییرات $(H_{max}/H_s)^2$ بر حسب N

۴-۶ ◀◀ برون‌یابی دوره تناوب موج

داده‌های مورد استفاده در برون‌یابی ارتفاع موج، صرف نظر از این که از روش پیش‌بینی مبتنی بر آمار باد یا از طریق مشاهده چشمی یا ثبت داده‌های موج به دست آمده باشند، باید شامل اطلاعاتی در مورد دوره تناوب امواج نیز باشند. بر حسب نوع منبع تولید امواج، دوره تناوب آنها ممکن است با دوره تناوب عبور از صفر T_z ، دوره تناوب موج مشخصه T_s و یا دوره تناوب مربوط به اوج طیف موج T_p نشان داده شود. با توجه به شکل طیف موج، نامعادله زیر همواره برقرار است:

$$T_z < T_s < T_p$$

نمودار پراکندگی موج با رسم تغییرات ارتفاع موج بر حسب دوره تناوب آن به دست می‌آید و می‌توان منحنی‌های تیزی موج را نیز روی نمودار مذکور ترسیم کرد. با استفاده از این نمودار می‌توان مقدار تیزی موج را در شرایط طراحی به دست آورد. اگر پراکندگی مقادیر تیزی موج زیاد باشد، گستره‌ای از مقادیر ارتفاع موج طراحی را باید به جای مقداری مشخص مد نظر قرار داد.

در ارتفاع ثابت هرچه مقدار تیزی موج کوچکتر و در نتیجه دوره تناوب موج بزرگتر باشد، نیروی موج بیشتر خواهد بود. اگر احتمال وقوع تشدید برای سازه یا یکی از اعضای منفرد آن وجود داشته باشد، باید دوره تناوب تشدید را به منزله یکی از پارامترهای طراحی مد نظر قرار داد.

در مورد امواج طوفان، مقدار شیب موج که با رابطه $\frac{2 H_s}{g T_z^2}$ بر حسب ارتفاع موج مشخصه و دوره

تناوب عبور از صفر تعریف می‌شود، معمولاً بین (۴٪) تا (۶٪) تغییر می‌کند. مقدار شیب موج در شرایط کاملاً توسعه یافته، صرف نظر از ارتفاع موج مشخصه برابر (۵٪) می‌باشد. دوره تناوب ارتفاعهای ماکزیمم موج، دارای مقادیری نزدیک به دوره تناوب مقدار به اوج طیف موج T_p است که به میزان قابل

ملاحظه‌ای، بزرگتر از دوره تناوب عبور از صفر T_z است. در شرایط کاملاً توسعه یافته، رابطه $\frac{T_p}{T_z} = 1.4$

بین این دوره تناوبها برقرار است.



اثرات موج شکنها و

دیوارهای دریایی بر روی امواج

◀ ۷-۱ کلیات

دیوارهای دریایی برای حفاظت خشکی در مقابل امواج مورد استفاده قرار می‌گیرند. احداث این سازه‌ها در مکانهای فاقد ساحل حفاظتی، ضرورت پیدا می‌کند. موج شکنها از بنادر در مقابل امواج حفاظت می‌کنند.

وجوه سازه‌های حفاظتی، معمولاً به صورت قائم یا شیب‌دار هستند. سازه‌های قائم در برخورد امواج ناشکنا، انرژی موج را تا حد زیادی منعکس می‌کنند. این پدیده برای موج شکنهای بندر، امواجی عرضی ایجاد می‌کند که می‌تواند به شرایط غیر مطلوبی برای ورود کشتی‌ها به بندر یا خروج آنها منجر شود. چنین سازه‌هایی بخصوص هنگام برخورد امواج شکسته، می‌توانند موجب ایجاد جریانهایی در بستر و تلاطم شوند که جریانهای مزبور، در مرحله نخست باعث آب‌شستگی شدید مصالح از پای سازه می‌گردند، طوری که حفاظت پنجه موج شکن ضرورت می‌یابد و سپس این جریانها، به علت افزایش رانه ساحلی موجب پایین افتادن تراز بستر در مجاورت سازه می‌شوند.

سازه‌های از نوع توده سنگی که از آنها به عنوان دیوار دریایی یا موج شکن استفاده می‌شود، تا حد زیادی باعث استهلاک انرژی موج می‌شوند، به طوری که امواج عرضی مورد اشاره در ورودی‌های بندر، کمتر شکل گرفته و آب‌شستگی در جلو سازه کاهش می‌یابد.

برخی موج شکنها دارای سازه‌های با وجه قائم بر روی تاج خود هستند. این سازه‌ها در برخورد با امواج بزرگ که معمولاً قبل از رسیدن به سازه می‌شکنند، به عنوان جاذب موج عمل می‌کنند و انرژی امواج کوتاه را تا حد زیادی منعکس می‌کنند. دیوارهای دریایی قائم محافظ ساحل نیز دارای رفتار مشابهی هستند.

تراز تاج مورد نیاز برای محدود کردن سرریزی موج، یکی از ملاحظات عملی مهم در طراحی موج شکنها و دیوارهای دریایی است. پدیده سرریزی موجب کاهش انعکاس موج می‌شود و میزان سرریزی، به حداکثر تراز آب و حداکثر فاصله قائم طی شده توسط موج (بالاروی موج) بستگی دارد. برکشندهای طوفان نیز می‌توانند موجب افزایش سطح آب تا مقادیری بیش از تراز کشند شوند. عوامل مؤثر در این ترازاها در فصل ۶ مورد بحث قرار گرفته‌اند. حداکثر ترازای که امواج به آن می‌رسند، به

بیشترین ارتفاع امواج و به میزان صعود تراز میانگین ناشی از گروه‌های امواج مرتفعی که با سازه برخورد می‌کنند بستگی دارد.

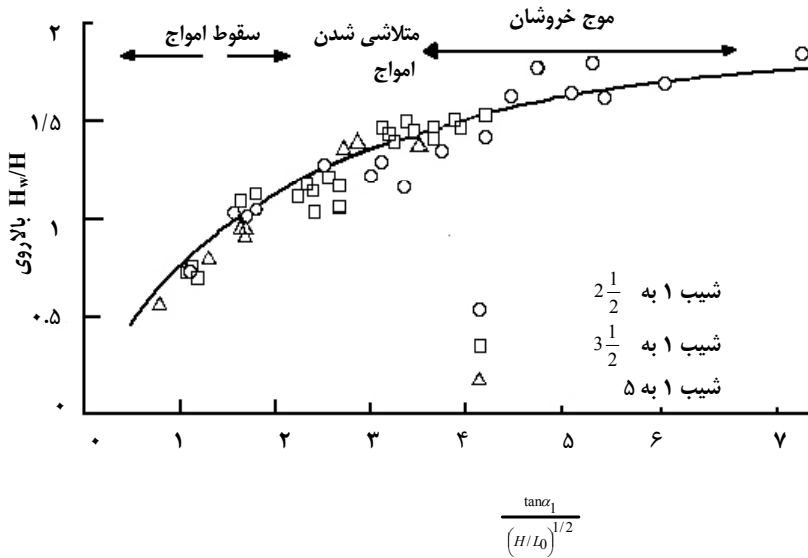
۷-۲ موج شکنهای آب عمیق

طیف انرژی امواج آب عمیق، به صورت طیف JONSWAP یا طیف پیرسون - موسکویچ می‌باشد (ر. ک. به فصل ۲). در تعیین خصوصیات موج باید علاوه بر موارد مذکور به اثرات کاهش ژرفا و انکسار نیز توجه کرد (بند ۳-۲). در اکثر آزمایشهای انجام شده برای اندازه‌گیری سرریزی موج از روی موج شکنها، از امواج منظم دارای ارتفاع و دوره تناوب ثابت استفاده شده است. البته برخی آزمایشها نیز با استفاده از امواج نامنظم صورت گرفته‌اند که نتایج این آزمایشها در اشکال ۷-۱ و ۷-۲ خلاصه شده‌اند. این نتایج به ترتیب به موج شکنهای ساخته شده با شیب حفاظتی سنگ‌چین و سازه‌های توده سنگی دارای نفوذپذیری بیشتر نسبت به سازه‌های نوع اول مربوط می‌شوند. این نتایج در صورت شکست امواج قبل از رسیدن به سازه قابل اعمال نیستند.

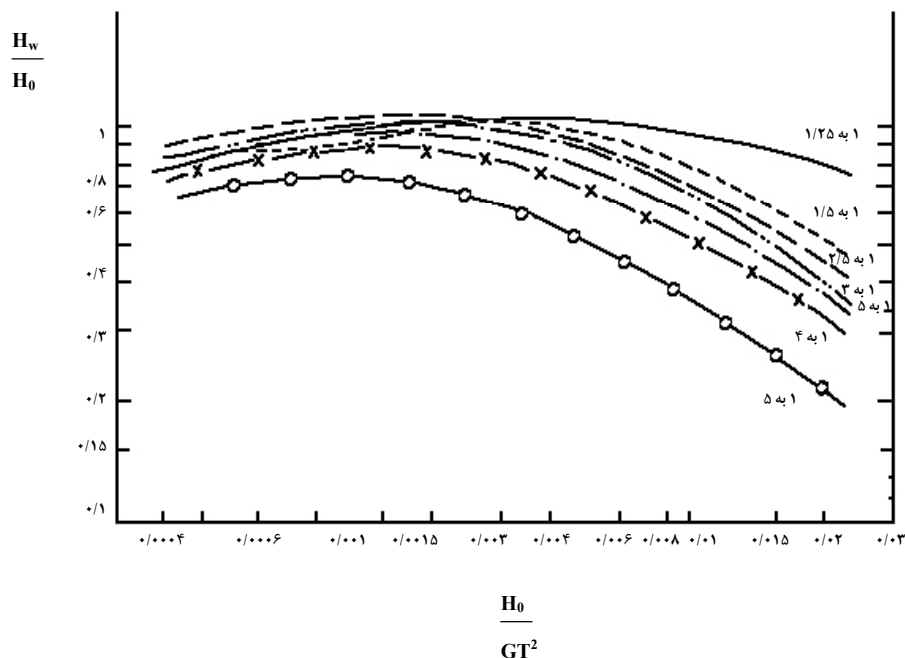
بالاروی نسبی (یا نسبت بالاروی موج به ارتفاع آن) در شکل ۷-۱ به صورت تابعی از نسبت تندی شیب به جذر تیزی موج ارایه شده است که در آن، پارامتر α_s زاویه شیب سازه با افق، H ارتفاع موج در جلو سازه و L_0 طول موج آب عمیق هستند. نتایج ارایه شده در شکل ۷-۲ به طور جداگانه برای چند شیب سازه و بر حسب ارتفاع موج آب عمیق H_0 و دوره تناوب موج T بیان شده‌اند.

اگر چه این نتایج در مورد امواج منظم صادق هستند، اما می‌توان آنها را با توجه به مباحثی که در پی می‌آید به امواج نامنظم نیز تعمیم داد. طیفهای موج باریک هستند و می‌توان فرض کرد که ارتفاعهای موج در حالت نامنظم، از توزیع ریلی تبعیت می‌کنند. بر این اساس حدود (۱۳٪) از ارتفاعهای موج، بیشتر از ارتفاع موج شاخص خواهند بود. لذا اگر تراز تاج یک سازه توده سنگی طوری طراحی شود که از روگذری موجی با ارتفاعی معادل ارتفاع موج شاخص جلوگیری کند، آنگاه فقط حدود (۱۳٪) امواج از روی سازه سرریز خواهند شد. استفاده از این ارتفاع برای طراحی موج شکنها سبب سنگین‌تر شدن آرمور وجه پایین نسبت به وجه بالا و اغتشاش موج در پایین موج شکن نمی‌شود و طرح حاصل دست بالا

نخواهد بود. بنابراین در اکثر موارد می توان از ارتفاع موج شاخص به عنوان ارتفاع موج طراحی برای تعیین تراز تاج یک موج شکن توده سنگی استفاده کرد.



شکل ۷-۱ بالاروی بر روی شیبهای سنگ چین دانه بندی شده



شکل ۷-۲ بالاروی بر روی شیبهای توده سنگی

۷-۳ موج شکنها و دیوارهای دریایی آب کم عمق

امواج دارای ارتفاع بالا قبل از رسیدن به موج‌شکنها و دیوارهای دریایی طراحی شده در آب کم عمق، شکسته شده و طیف موج در پای سازه به طور قابل توجهی تغییر می‌کند. اگر ارتفاع امواج فراساحلی کوتاه باشد، فقط امواج دارای بیشترین ارتفاع قبل از رسیدن به سازه می‌شکنند و بقیه امواج در پای سازه شکسته شده و یا از آن منعکس می‌شوند. در شرایط شدیدتر پدیده شکست موج در وسعتی از بالادست سازه رخ می‌دهد که گستره آن به نسبت ارتفاع موج شاخص محلی، عمق آب و تا حد کمتری به دوره تناوب میانگین موج و شیب بستر بستگی دارد.

با حرکت امواج به سوی ساحل، نسبت ارتفاع موج شاخص به عمق آب با توجه به کاهش عمق، مقداری بین ۰/۸ متر تا ۱ متر خواهد بود (بند ۴-۴). ارتفاع موج شاخص تنها تابعی از عمق محلی و شیب

بستر خواهد بود و از طریق پدیده شکست امواج به یکی از دو صورت آشفته یا چرخان و همچنین در اثر اصطکاک بستر، پدیده افزایش ارتفاع موج در اثر کاهش ژرفا خشی می‌شود.

بخشی از انرژی امواج شکن در اثر برخورد با موج شکنها یا دیوارهای دریایی و شکست موج بر روی سازه، مستهلک شده و بخشی از آن از سازه منعکس می‌شود. میزان استهلاک یا انعکاس موج به شیب وجه سازه و تخلخل آن بستگی دارد. ضریب انعکاس امواج کوتاه از سازه‌های قائم بسیار بالا است که می‌تواند موجب شکست امواج قبل از رسیدن به عمق حدی شود. انرژی امواج چرخان در لحظه برخورد با جهت تقریباً قائم، با ایجاد جریان مغشوش در محل تاج سازه و بستر و انعکاس مستهلک می‌شود. ضریب انعکاس موج شکن با کاهش شیب کمتر می‌شود زیرا بخشی از انرژی امواج آشفته، در اثر بالاروی از روی سازه و شیرجه زدن بر روی آن مستهلک می‌شود. بنابراین هندسه سازه و تخلخل آن می‌تواند موجب تغییر ارتفاع موج در حال برخورد با سازه شود. در مدل‌سازی سازه‌های آبی کم عمق معمولاً از امواج نامنظم استفاده می‌شود، زیرا انرژی موج تابعی از عمق آب است. در این گونه آزمایشها باید توپوگرافی بستر را به نحوی بازسازی کرد تا از وقوع پدیده شکست اطمینان حاصل شود.

ارتفاع بزرگترین امواجی که به طور مستقیم به یک سازه ساحلی برخورد می‌کنند، به مقدار عمق آب در پنجه سازه بستگی دارد. بنابراین بالاروی و سرریزی موج در آب بالا، دارای بیشترین مقادیر خواهند بود. بدین ترتیب وقوع مقادیر حدی بیشتر به برکننده‌های جزر و مدی بستگی دارند تا طوفانهای شدید استثنایی.

احتمال سرریزی موج از دیوارهای دریایی (بخصوص وقتی که ساختمانها یا راههای دسترسی احتمالی موجود، در فاصله کوتاهی از آن قرار گرفته باشند) باید خیلی کمتر از موج شکنهای ساخته شده برای حفاظت بندر باشد. بخش عمده‌ای از آب سرریز شده از دیوار، به صورت توده‌ای پیوسته در نزدیکی آن فرو می‌ریزد که پاشش آن مستقل از سرعت باد است. در حالی که بخش باقیمانده آب سرریز شده، در فاصله‌ای دورتر از دیوار و به صورت ابری از افشانه فرو می‌ریزد و در نتیجه امکان حمل آن از طریق باد فراهم خواهد بود. امروزه نرخهای سرریزی اندازه‌گیری شده در مدل‌های فیزیکی و واقعی به همراه برآوردهای صورت گرفته در مورد خطر ناشی از نرخهای مختلف سرریزی برای ساختمانها و افراد مستقر در پشت دیوارهای ساحلی، منتشر شده و در دسترس است



پاسخ بندر

◀ ۸-۱ کلیات

یکی از شرایط طراحی بنادر تخمین میزان آرامش آن در مقابل امواج با توجه به جانمایی ارایه شده است. الگوی موج درون بندری که در هر یک از دو سمت ورودی آن دو بازوی موج‌شکن دارد، از تاجهایی درست می‌شود که کمانهایی را در داخل بندر تشکیل می‌دهند. ارتفاع این تاجها با گسترده شدن آنها به داخل بندر کاهش می‌یابد. وجود این امواج در داخل بندر، مشروط به وجود یک منبع انرژی موج در ورودی بندر است. محاسبه تأثیر این پدیده که به تفرق موج موسوم است، برای پیش‌بینی ارتفاع امواج داخل بندر ضرورت دارد.

پاسخ بندر با توجه به اثرات انکسار موج بر روی بستر متغیر دریا و انعکاس موج از مرزهای داخلی بندر، باز هم پیچیده‌تر می‌شود (بند ۳-۲). اگر ضریب انعکاس موج (به عبارت دیگر نسبت ارتفاع موج منعکس شده به ارتفاع موج برخورد کننده) زیاد باشد، امواج منعکس شده (بازتابی) موجب انعکاسهای متوالی و در نتیجه افزایش ارتفاع امواج داخل حوضچه بندر می‌شوند. این پدیده که به نام تشدید بندر یا نوسانهای ثانویه شناخته می‌شود، موجب به نوسان در آمدن کشتی‌ها در محل پهلوگیرها و در نتیجه افزایش نیروهای وارد بر مهارها و ضربه‌گیرها می‌شود، طوری که گاهی کابل‌های مهار و ضربه‌گیرها در اثر شدت ضربات وارده دچار آسیب می‌شوند. بنابراین موج‌شکنها، دیوارهای دریایی، اسکله‌ها و نواحی بازیافتی را باید با استفاده از شیبه‌های توده‌سنگی ساخت، زیرا این نوع سازه‌ها برای استهلاک انرژی موج بسیار مفید هستند، سواحل طبیعی نیز مستهلک کننده‌های خوبی برای انرژی امواج ناشی از طوفان و امواج دوراً هستند، بنابراین قبل از انجام هر گونه تغییر در بندر، باید به موضوع کاهش احتمالی اثر سازه‌های طبیعی یا حذف آنها به دقت توجه کرد.

برخی از راه‌حل‌های ساده برای تحلیل پدیده تفرق موج که با صرف نظر کردن از اثرات انکسار و انعکاس موج به دست آمده‌اند، در بند ۸-۲ ارایه شده‌اند. از این راه‌حلها فقط می‌توان به عنوان روشی جهت برآورد ارتفاع امواج ناشی از طوفان یا امواج دوراً در داخل بنادر بزرگ که مرزهای آن در فاصله‌ای برابر چند طول موج از ورودی بندر قرار دارند استفاده کرد. در چنین شرایطی امواج بازتابی از انرژی کافی برای تغییر الگوی تفرق موج که با نادیده گرفتن انعکاس موج از مرزها حاصل شده‌اند برخوردار نخواهند

بود. البته مطلب فوق برای امواج بلند با دوره تناوبهای در حد چند دقیقه و بنادر کوچک ماهیگیری یا تفریحی صادق نیست، زیرا امواج بلند حتی در صورت برخورد با سواحل نیز ممکن است موجب انعکاس قابل توجه موج شوند. در بنادر کوچک نیز دیوارها موجب انعکاس موج شده و از این طریق امکان وقوع پدیده تشدید را به ازای دوره تناوب امواج طوفان یا دوراً فراهم خواهند کرد.

راه‌حلهای پدیده تفرق موج که در بند ۸-۲ ارایه شده‌اند، برای منظور کردن اثرات انکسار موج، در بند ۸-۳ اصلاح شده‌اند. اگر چه امکان در نظر گرفتن اثرات انعکاس موج در راه‌حلهای فوق با انجام اصلاحاتی وجود دارد، اما نتایج حاصله برای بررسی پدیده تشدید در بندر مناسب نبوده و از آنها فقط می‌توان برای محاسبه دقیق‌تر ارتفاعهای موج ناشی از موج طوفان یا دوراً در داخل بنادر بزرگ استفاده کرد. برخی از مدهای پایه‌ای تشدید برای ایجاد نوسان در بندر، در بند ۸-۴ توضیح داده شده‌اند. راهنمایی‌های لازم برای استفاده از مدلها در تحلیل بندر، در بندهای ۸-۵ و ۸-۶ ارایه شده‌اند.

۸-۲ تفرق موج بر روی بستر کم‌شیب دریا

۸-۲-۱ کلیات

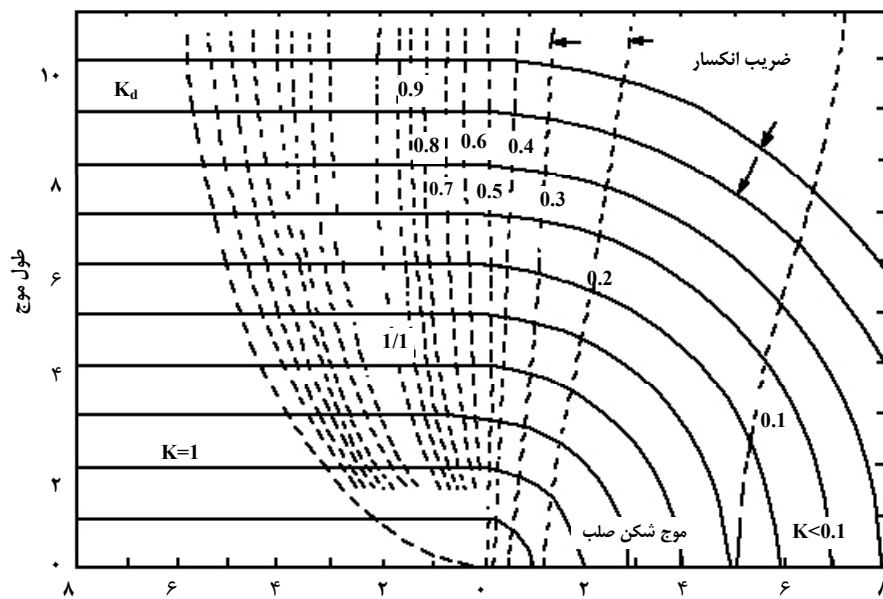
راه‌حلهای ارایه شده در بندهای ۸-۲-۲ تا ۸-۲-۴ را با شرط کم بودن تأثیر پدیده‌های انکسار و انعکاس موج در نواحی محافظت شده توسط موج‌شکنها می‌توان به کار برد.

۸-۲-۲ حالت موج‌شکن منفرد

راه‌حل مربوط به برخورد امواج به یک بازوی منفرد موج‌شکن، مشابه راه‌حل به دست آمده برای تفرق نور اطراف یک صفحه نیمه بی‌نهایت است. نمونه‌ای از نمودار تفرق موج در شکل ۸-۱ ارایه شده است. در این شکل ضریب تفرق موج K_d ، یعنی نسبت ارتفاع موج متفرق شده به ارتفاع موج منتشره در سمت محافظت شده موج‌شکن منفرد قائم نفوذناپذیر، برای امواج منتشره یکنواختی که تاجهای آنها موازی موج‌شکن است نشان داده شده است. در این نمودارها فاصله‌ها بر حسب طول موج بیان می‌شود و باید مقدار طول موج مناسب را با توجه به عمق آب و دوره تناوب موج از شکل ۳-۲ به دست آورد.

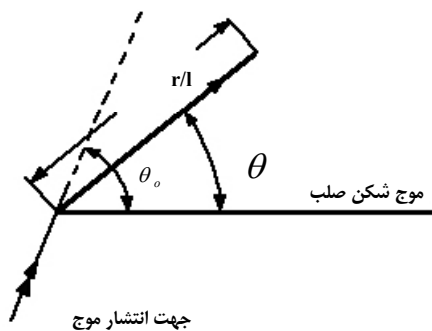
ضرایب تفرق مربوط به گستره‌ای از جهات انتشار امواج یکنواخت بر روی بازوی منفرد یک موج‌شکن، در جدول ۸-۱ نشان داده شده است. در این جدول ضریب تفرق مربوط به موقعیتهای مختلف که از طریق مختصات قطبی و جهات مختلف انتشار موج تعریف می‌شوند ارائه شده است. زوایا و فواصل مورد استفاده جدول مذکور، در شکل ۸-۱ تعریف شده‌اند.

نمودارهایی از این نوع نشان می‌دهند که ارتفاع موج متفرق شده، در امتداد خطی موسوم به خط سایه که در سمت محافظت شده موج‌شکن، از رأس آن به موازات جهت موج منتشره ترسیم می‌شود، تقریباً معادل نصف ارتفاع موج منتشره است و ارتفاع موج متفرق شده در دو طرف این خط، به سرعت تغییر می‌کند. باید توجه داشت که در عمل احتمال تغییر سریع ارتفاع موج در این ناحیه وجود ندارد، زیرا انرژی موج در جهت انتشار آن گسترده می‌شود. اگر چه تأثیر پدیده انکسار موج در خارج بندر موجب کاهش گسترش انرژی موج منتشره می‌شود، ولی در اکثر موارد میزان گستردگی باقیمانده برای کاهش نرخ تغییر الگوهای نظری تفرق حاصل از امواج یکنواخت (جدول ۸-۱) کافی خواهد بود.



طول موج

دیاگرام انکسار برای $\theta_0 = 90^\circ$



شکل ۸-۱ تفرق موج در بازوی موج‌شکن منفرد

جدول ۸-۱ ضریب تفرق برای بازوی موج‌شکن منفرد

r/L	θ (برحسب درجه)												
	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
K ضریب													
$\theta_s = 15^\circ$													
0.5	0.49	0.79	0.83	0.90	0.97	1.01	1.03	1.02	1.01	0.99	0.99	1.00	1.00
1	0.38	0.73	0.83	0.95	1.04	1.04	0.99	0.98	1.01	1.01	1.00	1.00	1.00
2	0.21	0.68	0.86	1.05	1.03	0.97	1.02	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
5	0.13	0.63	0.99	1.04	1.03	1.02	0.99	0.99	1.00	1.01	1.00	1.00	1.00
10	0.25	0.58	1.10	1.05	0.98	0.99	1.01	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$\theta_s = 30^\circ$													
0.5	0.61	0.63	0.68	0.78	0.87	0.97	1.03	1.05	1.03	1.01	0.99	0.95	1.00
1	0.50	0.53	0.63	0.78	0.95	1.06	1.05	0.98	0.98	1.01	1.01	0.97	1.00
2	0.40	0.44	0.59	0.84	1.07	1.03	0.96	1.02	0.98	1.01	0.99	0.95	1.00
5	0.27	0.32	0.55	1.00	1.04	1.04	1.02	0.99	0.99	1.00	1.01	0.87	1.00
10	0.20	0.24	0.54	1.12	1.06	0.97	0.99	1.01	1.00	1.00	1.00	0.98	1.00
$\theta_s = 45^\circ$													
0.5	0.49	0.50	0.55	0.63	0.73	0.85	0.96	1.04	1.06	1.04	1.00	0.99	1.00
1	0.38	0.40	0.47	0.59	0.76	0.95	1.07	1.08	0.98	0.97	1.01	1.01	1.00
2	0.29	0.31	0.39	0.56	0.83	1.08	1.04	0.96	1.03	0.98	1.01	1.00	1.00
5	0.18	0.20	0.29	0.54	1.01	1.04	1.05	1.03	1.00	0.99	1.01	1.00	1.00
10	0.13	0.15	0.22	0.53	1.13	1.07	0.96	0.98	1.02	0.99	1.00	1.00	1.00
$\theta_s = 60^\circ$													
0.5	0.40	0.41	0.45	0.52	0.60	0.72	0.85	1.13	1.04	1.08	1.03	1.01	1.00
1	0.31	0.32	0.36	0.44	0.57	0.75	0.96	1.08	1.06	0.98	0.98	1.01	1.00
2	0.22	0.23	0.28	0.37	0.55	0.83	1.08	1.04	0.96	1.03	0.98	1.01	1.00
5	0.14	0.15	0.18	0.28	0.53	1.01	1.04	1.05	1.03	0.99	0.99	1.00	1.00
10	0.10	0.11	0.13	0.21	0.52	1.14	1.07	0.96	0.98	1.01	1.00	1.00	1.00
$\theta_s = 75^\circ$													
0.5	0.34	0.35	0.38	0.42	0.50	0.59	0.71	0.85	0.97	1.04	1.06	1.02	1.00
1	0.25	0.26	0.29	0.34	0.43	0.56	0.75	0.95	1.02	1.06	0.98	0.98	1.00
2	0.18	0.19	0.22	0.28	0.38	0.54	0.83	1.09	1.04	0.96	1.03	0.99	1.00
5	0.12	0.12	0.13	0.17	0.27	0.52	1.01	1.04	1.05	1.03	0.99	0.99	1.00
10	0.08	0.08	0.10	0.13	0.20	0.52	1.14	1.07	0.98	0.98	1.01	1.00	1.00
$\theta_s = 90^\circ$													
0.5	0.31	0.31	0.33	0.36	0.41	0.49	0.59	0.71	0.86	0.96	1.03	1.03	1.00
1	0.22	0.23	0.24	0.28	0.33	0.42	0.56	0.75	0.96	1.07	1.06	0.99	1.00
2	0.16	0.16	0.18	0.20	0.26	0.35	0.54	0.69	1.08	1.04	0.96	1.02	1.00
5	0.10	0.10	0.11	0.13	0.18	0.27	0.53	1.01	1.04	1.05	1.02	0.99	1.00
10	0.07	0.07	0.08	0.09	0.13	0.20	0.52	1.14	1.07	0.96	0.99	1.01	1.00
$\theta_s = 105^\circ$													
0.5	0.28	0.28	0.29	0.32	0.35	0.41	0.49	0.59	0.72	0.85	0.97	1.01	1.00
1	0.20	0.20	0.24	0.23	0.27	0.33	0.42	0.56	0.75	0.96	1.08	1.04	1.00
2	0.14	0.14	0.13	0.17	0.20	0.25	0.35	0.54	0.83	1.08	1.03	0.97	1.00
5	0.09	0.09	0.10	0.11	0.13	0.17	0.27	0.52	1.02	1.04	1.04	1.02	1.00
10	0.07	0.07	0.08	0.08	0.09	0.12	0.20	0.52	1.14	1.07	0.97	0.99	1.00
$\theta_s = 120^\circ$													
0.5	0.25	0.26	0.27	0.28	0.31	0.35	0.41	0.50	0.60	0.73	0.87	0.97	1.00
1	0.18	0.19	0.19	0.21	0.23	0.27	0.33	0.43	0.57	0.76	0.95	1.04	1.00
2	0.13	0.13	0.14	0.14	0.17	0.20	0.26	0.36	0.55	0.83	1.07	1.03	1.00
5	0.08	0.08	0.08	0.09	0.11	0.13	0.16	0.27	0.53	1.01	1.04	1.03	1.00
10	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.09	0.13	0.20	0.52	1.13	1.06	0.98	1.00
$\theta_s = 135^\circ$													
0.5	0.24	0.24	0.25	0.26	0.28	0.32	0.36	0.42	0.52	0.63	0.76	0.90	1.00
1	0.18	0.17	0.18	0.19	0.21	0.23	0.28	0.34	0.44	0.59	0.78	0.95	1.00
2	0.12	0.12	0.13	0.14	0.14	0.17	0.20	0.26	0.37	0.56	0.84	1.05	1.00
5	0.08	0.07	0.08	0.08	0.09	0.11	0.13	0.17	0.28	0.54	1.00	1.04	1.00
10	0.03	0.06	0.06	0.06	0.07	0.08	0.09	0.13	0.21	0.53	1.12	1.05	1.00

۸-۲-۳ موج‌شکن دو بازویه

اگر ورودی بندر از دو بازوی موج‌شکن تشکیل شده و فاصله بین دو بازو برابر یا بیشتر از ۵ برابر طول موج باشد، می‌توان از راه‌حل مذکور در مورد یک بازوی موج‌شکن، برای هر دو بازو استفاده کرد. در صورت کمتر بودن عرض ورودی از ۵ طول موج، باید از راه‌حل دقیق‌تری که در آن از سری‌های توابع ماتیو استفاده می‌شود بهره گرفت.

نتایج مربوط به هفت زاویه حمله مختلف موج و عرضهای ورودی ۰/۵، ۱، ۲ و ۳ برابر طول موج، در شکل ۸-۲ خلاصه شده‌اند. در این شکل ضریب شدت $I_D(\theta)$ به همراه مقیاس مربوطه برای هر یک از حالتها ارایه شده است. ضریب تفرق موج K_d را می‌توان در هر نقطه با مختصات قطبی (r, θ) از طریق تعقیب روند زیر به دست آورد:

ابتدا نمودار ضریب شدت مناسب مطابق شکل ۸-۳ با توجه به عرض ورودی بندر و جهت موج انتخاب می‌شود. روی نمودار و از مرکز ورودی بندر، خطی با زاویه مورد نظر θ ترسیم می‌گردد. فاصله نقطه تقاطع نمودار ضریب شدت و خط ترسیم شده تا مرکز ورودی بندر، مقدار ضریب شدت را با منظور کردن مقیاس مربوطه به دست می‌دهد. سپس ضریب تفرق موج در نقطه با موقعیت (r, θ) از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$K_d = \sqrt{I_D(\theta)} L/r \quad (30)$$

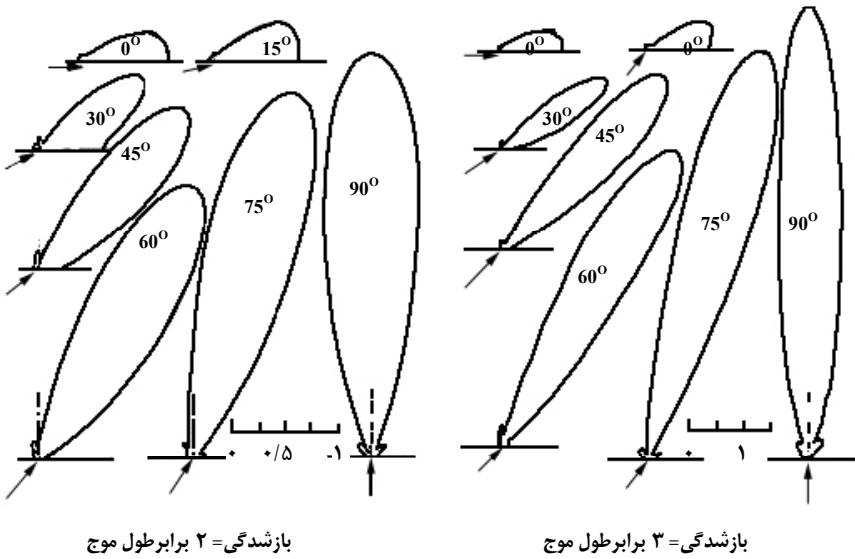
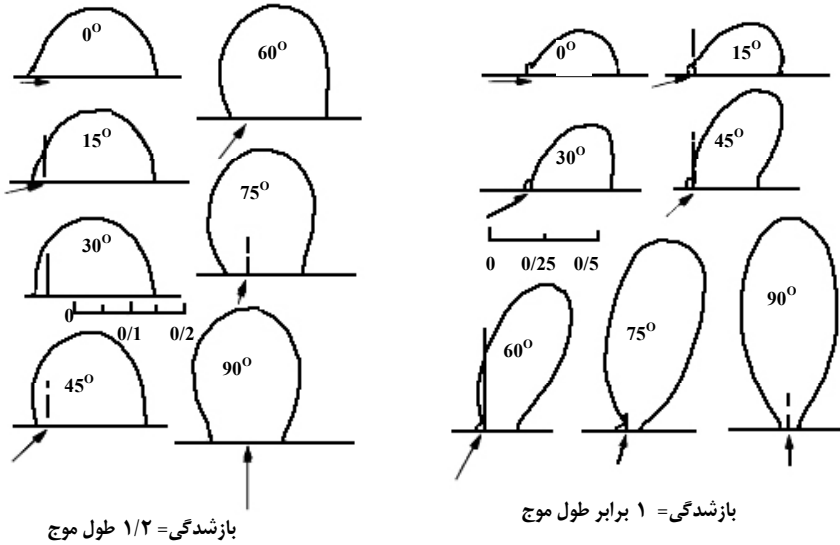
اگر K_d به صورت نسبت ارتفاع موج $H_{r,\theta}$ به ارتفاع موج منتشره H_{Inc} نوشته شود، رابطه فوق را می‌توان به صورت زیر ارایه کرد:

$$H_{r,\theta} = \sqrt{H_{Inc}^2 I_D(\theta)} L/r \quad (31)$$

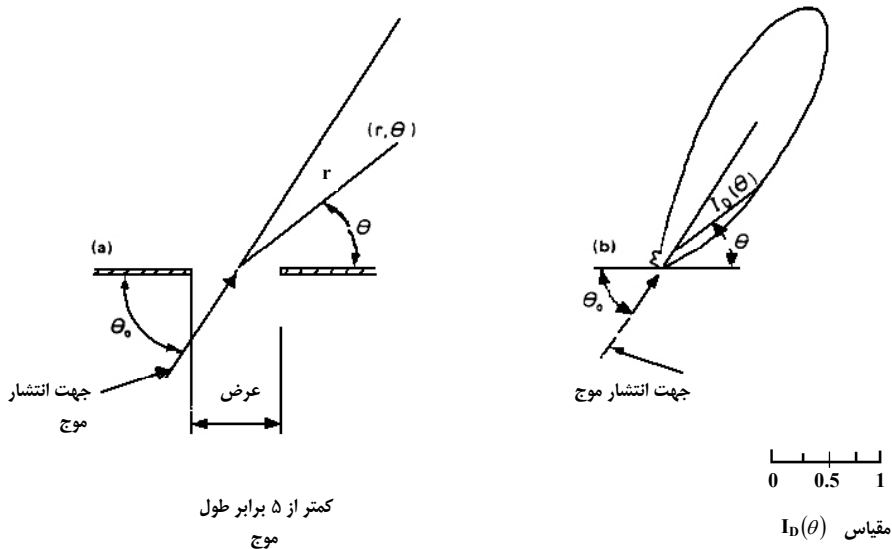
رابطه فوق نشان می‌دهد که در صورت وجود یک منبع انرژی $L I_D(\theta) H_{Inc}^2$ در ورودی بندر، ارتفاع موج متفرق شده به ازای زاویه معین θ با شعاع r کاهش می‌یابد.

شکل ۸-۲ نشان می‌دهد که منبع انرژی، از منبعی که برای بازشدگی معادل نصف طول موج، ارتفاع موج نسبتاً یکنواختی را به ازای کلیه زوایای θ به دست می‌دهد، تا منبعی که برای بازشدگی با عرض بیش از یک طول موج، ارتفاع موج متفرق و وابسته به زاویه θ را به دست می‌دهد تغییر می‌کند. در نتیجه

احداث بازوی دوم موج‌شکن برای کاهش عرض ورودی بندر، می‌تواند ارتفاع امواج را در برخی نقاط داخل بندر افزایش دهد. البته شکل ۸-۲ به وضوح نشان می‌دهد که ارتفاع موج متفرق شده در مقابل ورودی بندر ($\theta = 90^\circ$) با کاهش عرض بازشدگی کاهش می‌یابد.



شکل ۸-۲ ضریب شدت تفرق موج برای بازشدگی کم عرض



کمتر از ۵ برابر طول
موج

شکل ۸-۳ تفرق موج در بازشدگی کم عرض موج‌شکن

۴-۲-۸ ◀ جریانهای ناشی از تفرق موج

یکی از اثرات ثانویه تفرق موج در ورودی بندر، ایجاد جریانهایی در پشت موج‌شکنها است. خطوط تراز ضریب تفرق نشان داده شده در شکل ۸-۱، نشان می‌دهند که ارتفاع موج در امتداد تاج موج و در سمت حفاظت شده موج‌شکن دارای گرادیان است. حرکت مداری ذرات آب در نقاط واقع روی مرز بندر، در اثر پدیده شکست موج به بالا روی آب تبدیل می‌شود. این پدیده موجب افزایش موضعی سطح میانگین آب می‌شود و با شکست متوالی امواج تداوم می‌یابد که به عنوان خیز آب موج شناخته شده است و با افزایش ارتفاع موج افزایش می‌یابد. الگوی تفرق نشان داده شده در شکل ۸-۱، به خیزآبی منجر می‌شود که در امتداد مرز بندر و در جهت حفاظت شده موج‌شکن کاهش می‌یابد و جریانی به سوی سمت حفاظت شده تولید می‌کند. جریانی برگشتی از رأس موج‌شکن به سوی مرز مقابل ورودی بندر ایجاد و چرخابه‌های بزرگی در سمت حفاظت شده موج‌شکنها تشکیل می‌شوند. سرعت این جریانه‌ها در صورت زیاد بودن ارتفاع موج منتشره، در حد ۰/۵ تا ۱ متر بر ثانیه (۱ تا ۲ گره دریایی، **Knots**) است.

۳-۸ ◀◀ روشهای پرتوی برای تفرق و انکسار موج

عمق آب درون بندر در بسیاری از موارد متغیر است و الگوهای تفرق ارایه شده بند ۸-۲ در مورد بستر مسطح را با توجه به امکان انعکاس موج درون بندر باید اصلاح کرد. یکی از روشهای تقریبی برای ترکیب اثر دو پدیده تفرق و انکسار موج، استفاده از راه حل تفرق برای بستر مسطح درون بندر، در فاصله ۳ تا ۴ طول موج از ورودی بندر و سپس استفاده از پرتوهای موج با تبعیت از قانون اسنل در سطح باقیمانده بندر است. ارتفاع و جهت موج در نقطه شروع هر پرتو، باید طوری انتخاب شوند که با نتایج حاصل از تحلیل تفرق سازگار باشند.

اگر عمق آب درون بندر در فاصله ۳ تا ۴ طول موج از ورودی بندر دارای تغییرات زیادی باشد، تقریبهای فوق برای حل مسئله کافی نیستند. در چنین مواردی بهتر است ابتدا پدیده انکسار را در کل محدوده بندر از طریق مخروطه منظمی از پرتوهای فرستاده شده از نقطه مرکزی ورودی بندر تحلیل کرد، سپس تأثیر پدیده انکسار را با این فرض که شار انرژی امواج داخل مخروطه در ورودی بندر، قبل و بعد از منظور کردن اثر پدیده انکسار ثابت باقی می ماند دخالت داد.

با ترکیب روابط به دست آمده در بند ۸-۲-۲ برای مورد شرح داده شده، با روابط بند ۳-۲-۱ مربوط به پدیدههای انکسار و کاهش ژرفا، می توان روابط زیر را برای ارتفاع موج در نقاط ورود پرتوها در داخل بندر به دست آورد:

$$H_S = H_{Inc} \sqrt{I_D(\theta) L V_{cg} \delta \theta / V_{cg} a b_s} \quad (32)$$

طوری که در آن:

H_S - ارتفاع موج در نقطه ورود پرتو با توجه به اثرات انکسار، کاهش ژرفا و تفرق

H_{Inc} - ارتفاع موج منتشره در بندر

$I_D(\theta)$ - ضریب شدت موج مربوط به جهت موج منتشره و عرض ورودی بندر

θ - زاویه شروع پرتو در ورودی بندر

L - طول موج مربوط به عمق آب در ورودی بندر

V_{cg} - سرعت گروهی مربوط به عمق آب در ورودی بندر

۵۰ - جدایی زاویه‌ای پرتو در ورودی بندر

V_{ega} - سرعت گروهی موج در نقطه ورود

b_s - جدایی پرتو در نقطه ورود

تمامی راه حل‌های ذکر شده تقریبی‌اند و تنها برآوردهایی تقریبی برای ترکیب اثرات انکسار و تفرق را به دست می‌دهند. راه حل‌های تقریبی مشابهی را می‌توان در مورد یک بازوی موج‌شکن اعمال کرد.

۴-۸ پدیده تشدید در بندر

مطابق توضیحات بند ۸-۱، پدیده تشدید در بندر در اثر انعکاس امواج با طول موجهایی که امکان تشدید امواج منتشره را داشته باشند رخ می‌دهد. در بلندترین مُد تشدید بندر، موسوم به مُد پمپاژ یا هلمولتز، نوسانهای قائمی در کل سطح آب بندر رخ داده و جریانهای نوسانی افقی بزرگی در ورودی بندر شکل می‌گیرند. بلندترین مُد تشدید دوم وقتی رخ می‌دهد که آب به طور قائم در امتداد یکی از مرزها بالا رفته و به طور قائم در مرز مقابل پایین می‌آید، طوری که یک جریان نوسانی افقی در بین این دو نقطه رخ می‌دهد. این مُد به نام مُد کاهش ژرفا نامیده می‌شود. بدیهی است که امکان بروز مُدهای دیگری با دوره تناوبهایی که به تدریج کاهش می‌یابند نیز وجود دارد که توصیف آنها به علت اشکال پیچیده‌شان دشوار است. با این که ابعاد بندر تعیین کننده طول موجهای ممکن پدیده تشدید می‌باشد، دوره تناوب موج تشدید شده با جزر و مد تغییر می‌کند.

برای بنادر کشتی‌های بزرگ، بلندترین طول موج پدیده تشدید در حدود چند کیلومتر و دوره تناوب آن در حدود چند دقیقه می‌باشد. به عنوان عوامل ایجاد پدیده تشدید، می‌توان از جبهه‌های فشار در حال حرکت، فرو آب در زیرگروههای موج، امواج لبه‌ای و سونامی نام برد. مُدهای تشدید در مورد دوره تناوبهای موج طوفان یا موج دورا، اغلب از اهمیت کمتری در بنادر بزرگ برخوردار هستند. این مُدها ممکن است در بنادر کوچکتر نظیر بنادر ماهیگیری و قایقرانی فعال شوند.

◀ ۸-۵ مدل‌های فیزیکی

در حال حاضر قابل اعتمادترین روش برای ارزیابی طرح‌های بندر، استفاده از مدل فیزیکی است. با استفاده از مدل‌سازی فیزیکی، می‌توان پاسخ بندر را با توجه به ترکیب اثرات انکسار، تفرق و انعکاس موج تعیین و پدیده واقعی را با مقیاس کوچکتری بازسازی کرد. در ضمن می‌توان اثرات ثانویه پدیده‌های فیزیکی مختلف را نیز تبیین کرد، در حالی که منظور کردن این اثرات در مدل‌های محاسباتی، مستلزم شناسایی و توصیف نظری آنها است. برای مثال می‌توان از پدیده جدایی سیال (بند ۸-۶-۲)، پدیده فروآب در زیرگروه‌های موج حاصل از تولید و انتشار امواج نامنظم و سیستم‌های جریان ناشی از اثرات تفرق موج نام برد. توصیه می‌شود که کلیه آزمایش‌های مربوط به مدل‌سازی فیزیکی و تفسیر نتایج حاصل از آنها، تحت نظارت اشخاص با تجربه و دارای صلاحیت و در آزمایشگاه‌های دارای امکانات خاص و مناسب انجام شوند.

در پروژه‌هایی که طراحی آنها مستلزم بررسی و مطالعه جانمایی‌های مختلف بندر است، باید در مورد لزوم انجام مطالعات مدل فیزیکی زود تصمیم گرفت. زیرا اطلاعات مورد نیاز برای چنین مطالعاتی، ممکن است مستلزم نصب دستگاه ثابت موج برای جمع‌آوری داده‌های یک ساله موج در محل مورد نظر و عمق سنجی برای تعیین توپوگرافی بستر دریا باشد. در صورت نیاز باید مطالعات مربوط به انکسار موج را نیز قبل از اجرای آزمایش‌های مدل فیزیکی انجام داد. انجام چنین مطالعاتی برای انتقال شرایط موج از آب عمیق به موقعیتی که دستگاه مولد موج مدل فیزیکی در آن مستقر خواهد شد ضرورت دارد. هنگامی که داده‌های مناسبی موجود باشند، باید از آنها برای کنترل صحت داده‌های مدل فیزیکی استفاده کرد. مدت زمان مطالعات مدل فیزیکی، از زمان احداث مدل تا تکمیل برنامه آزمایش‌ها و بررسی‌های مورد نیاز، معمولاً کمتر از ۶ ماه طول می‌کشد. این مطالعات درصدی از کل هزینه پروژه را شامل می‌شود.

در این مدل‌ها بخشی از محوطه بندر به همراه بخشی از ناحیه فراساحلی اطراف آن و خط ساحلی، با استفاده از مقیاسی مناسب بازسازی می‌شوند. بستر دریا معمولاً به صورت لایه نازکی از سیمان بر روی ماسه ساخته می‌شود و توپوگرافی بستر دریا با دقت بازسازی می‌شود. امواج به وسیله تخته در حال نوسان یا پاروی موج تولید می‌شوند، بنابراین امواج مزبور از نوع امواج با تاج طولانی هستند. البته در بسیاری از

موارد، دستگاه مولد موج امکان تولید گستره‌ای از امواج با ارتفاع و دوره تناوبهای مختلف را فراهم می‌سازد که از طریق آن، می‌توان سیستم موج نامنظمی را که دارای طیف تک جهت مناسبی برای شرایط طراحی مورد نظر است تولید کرد. اغلب دستگاههای مولد موج را می‌توان جابه‌جا کرد تا امکان تولید موج در جهات مختلف وجود داشته باشد. ارتفاع امواج نقاط مختلف درون بندر را می‌توان با استفاده از دستگاههای اندازه‌گیری ارتفاع موج، تا دقت ۰/۱ میلی‌متر اندازه‌گیری کرد.

از آنجا که نیروی ثقل در مدل فیزیکی و نمونه واقعی یکسان است، در شبیه‌سازی حرکت موج باید از قانون مقیاس‌بندی فرود استفاده شود. بنابراین اگر مقیاس طولی، افقی و عمودی، برابر $N_s : 1$ باشد، می‌توان از ضرایب مقیاسی زیر برای کمیت‌های مختلف استفاده کرد.

الف: شتاب $1 : 1$

ب: طول $1 : N_s$

ج: زمان $1 : N_s^{1/2}$

د: سرعت $1 : N_s^{1/2}$

ه: نیرو، حجم، جرم $1 : N_s^3$

مدلهای بنادری که تحت اثر امواج ناشی از طوفان یا امواج دوراً قراردارند باید دگرشکل ناشده و به عبارت دیگر، مقیاسهای طولی و عرضی باید یکسان باشند، زیرا تولید امواج ناشی از طوفان یا دورآی دگرشکل شده امکانپذیر نیست. البته مدلهای موج بلند، معمولاً به صورت دگرشکل شده ساخته می‌شوند که مقیاس قائم آنها بزرگتر از مقیاس افقی می‌باشد. معمولاً مؤلفه‌های اصلی رفتار موج به دقت شبیه‌سازی خواهند شد و در مورد امواج بلند با دوره تناوب در حد یک دقیقه یا بیشتر، جریانهای افقی که جریانهای غالب هستند به طور صحیحی باید مدل‌سازی شوند. این امر مستلزم به کارگیری سطح وسیع‌تری در مدلهای موج بلند است. مقیاس مورد استفاده برای مدلهای دگرشکل ناشده، معمولاً در محدوده بین ۵۰ : ۱ تا ۱۵۰ : ۱ قرار می‌گیرد و می‌توان بنادر کوچکتر را با استفاده از مقیاس بزرگتری بازسازی کرد.

◀ ۸-۶ مدل‌های محاسباتی

◀ ۸-۶-۱ کلیات

مدل‌های محاسباتی جدید، قادر به نشان دادن اثرات کیفی طرح‌های پیشنهادی بنادر جدید و یا اصلاح بنادر موجود هستند. البته از این مدل‌ها نمی‌توان انتظار اطلاعات دقیقی را داشت.

◀ ۸-۶-۲ مدل‌های عمق ثابت

امروزه برنامه‌های رایانه‌ای مناسبی برای ترکیب اثرات انکسار، تفرق و انعکاس موج، از مرزهای بنادر دارای عمق ثابت و شکل دلخواه در دسترس هستند. در این برنامه‌ها فرض می‌شود که منابع انرژی موج در امتداد مرز بندر و در عرض ورودی بندر قرار دارند. با مقایسه جواب به دست آمده در داخل بندر با شرایط موج در بیرون آن، مجموعه معادلاتی برای منابع انرژی موج به دست می‌آید که امکان محاسبه ارتفاع موج در هر نقطه از داخل بندر را فراهم می‌کنند. چنین برنامه‌هایی امکان پیش‌بینی دقیق دوره تناوب‌های نوسان سطح آب بندر را در شرایط تشدید و به ازای عمق ثابت آب فراهم می‌کنند. با استفاده از این برنامه‌ها می‌توان شکل مُد نوسان بندر را از طریق تعیین مناطقی که سطح آب آنها دارای حرکت‌های قائم و افقی است نیز پیش‌بینی کرد.

البته نتایج حاصل از پیش‌بینی ضرایب تشدید برای مُدهای تشدید مختلف هنوز قابل اعتماد نیستند. این برنامه‌ها برآوردهای دست‌بالایی را در مورد ضرایب بزرگنمایی به دست می‌دهند، زیرا بنادر واقعی دارای مکانیزم‌های استهلاک متفاوتی هستند که اغلب برنامه‌های رایانه‌ای قادر به منظور کردن آنها نیستند.

در مدل‌های فیزیکی و بنادر واقعی جریان آب در نزدیکی مرزهای تیز، جریان‌های نوسانی افقی بزرگ‌اند و تمایل به جدایی از مرز و تولید حرکت‌های چرخابه‌ای دارند که به منزله مکانیسم استهلاکی بسیار مهمی برای بلندترین طول موج‌های تشدید شناخته می‌شوند. چنین طول موج‌هایی با مُد هلمولتز همراه بوده و جریان‌های نوسانی بزرگی را در ورودی بندر بوجود می‌آورند. یکی دیگر از مکانیسم‌های مهم استهلاک، اصطکاک بستر است (بند ۳-۳). اگرچه شبیه‌سازی اثرات جدایی سیال و اصطکاک بستر در

برنامه‌های رایانه‌ای با استفاده از روابط خطی اصطکاک امکانپذیر است، ولی مقدار مناسب ضریب اصطکاک به دلیل فقدان دانش کافی در مورد مکانیسمهای استهلاک روشن نیست.

۸-۶-۳ مدلهای عمق متغیر

امروزه برنامه‌های رایانه‌ای مناسبی برای ترکیب اثرات تفرق، انکسار و انعکاس موج برای بنادر با عمق متغیر نیز در دسترس است که در آنها معادله موج به روش اجزاء محدود حل می‌شود. استفاده از این برنامه بر اساس فرض تغییرات کم عمق آب در یک طول موج آب عمیق و ثابت بودن عمق آب در خارج از بندر استوار است. این مدلها دارای محدودیتهایی هستند که از آن جمله می‌توان به شبیه‌سازی واقع‌بینانه اثرات جدایی سیال و اصطکاک بستر در مدلهای با عمق ثابت، مطابق بند ۸-۶-۲ اشاره کرد.

۹

نیروی حاصل از موج

◀ ۹-۱ مقدمه

نیروی موج وارده بر یک سازه را می‌توان با استفاده از مدل فیزیکی و یا روابط طراحی بر حسب نوع سازه، توپوگرافی بستر دریا، عمق آب و مشخصه‌های موج، با توجه به طبیعت تصادفی امواج تعیین کرد. در واقع امواج دریا از نظر ارتفاع و دوره تناوب نامنظم بوده و بسته به عمق آب و وضعیت توپوگرافی بستر دریا، ممکن است دارای یکی از حالات ناشکنا، شکنا و شکسته باشند و در بررسی و محاسبه نیروی موج، باید امواجی را که بیشترین تأثیر را بر سازه دارند مورد توجه قرارداد.

معمولاً امواج دارای ارتفاع بیشتر نیروی بیشتری اعمال می‌کنند. بنابراین در طراحی سازه‌ها، نیروی موج با ارتفاع ماکزیمم (در بین یک رشته امواج نامنظم) بر روی سازه مورد توجه است. البته در محاسبه پایداری سنگهای آرمور و بلوکهای بتنی مستقر بر روی شیروانی سازه‌ها و محاسبه نیروهای وارده بر سازه‌های ستونی یا شناور، در نظر گرفتن تأثیر عملکرد پی‌درپی امواج نامنظم مطلوب خواهد بود.

◀ ۹-۲ نیروی موج وارده بر یک دیوار قائم

◀ ۹-۲-۱ ویژگی‌های کلی نیروی موج وارده بر یک دیوار قائم

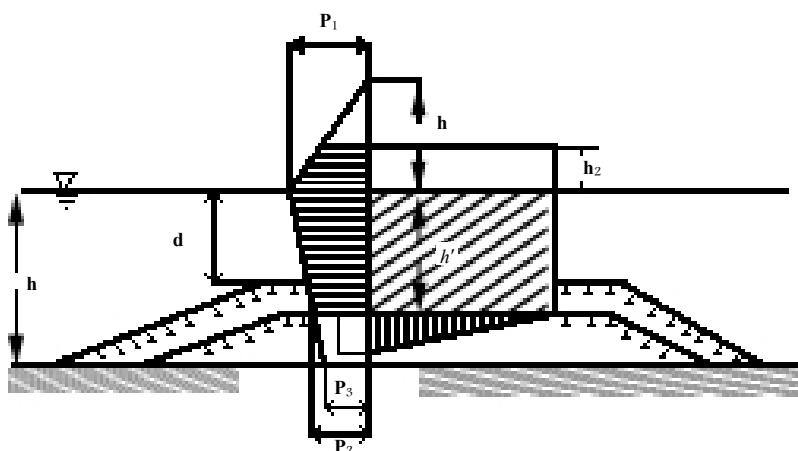
نیروی موج وارده بر دیوار قائم واقع بر بستر با شیب تند و یا واقع بر شالوده‌ای که تحت تأثیر نیروی برخورد یا شوک وارده از طرف امواج شکنا قرار می‌گیرد، به وضعیت امواج، ارتفاع جزر و مدی، عمق آب، توپوگرافی بستر دریا، پروفیل و شکل وجه جلوی سازه بستگی دارد.

◀ ۹-۲-۲ نیروی وارده از طرف امواج ایستاده و شکنا بر یک دیوار قائم

نیروی موج در هنگام برخورد تاج موج با سازه، نیروی ماکزیمم موج و نیروی بالا برنده وارده بر یک دیوار قائم، با استفاده از روشهای زیر محاسبه می‌گردند.

۱-۲-۲-۹ فشار جبهه موج

با فرض توزیع خطی برای فشار موج با مقدار ماکزیمم P_1 در سطح ایستایی، صفر در ارتفاع η^* بالای سطح ایستایی و P_2 در روی بستر دریا، توزیع فشار موج وارده بر کف تا تاج یک دیوار قائم مطابق شکل ۱-۹ در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۱-۹ توزیع فشار مورد استفاده در طراحی

$$\eta^* = 0.75(1 + \cos\beta)H_D \quad (33)$$

$$P_1 = \frac{1}{2}(1 + \cos\beta)(\alpha_1 + \alpha_2 \cos^2\beta) H_D \quad (34)$$

$$P_2 = \frac{P_1}{\cosh(2h/L)} \quad (35)$$

$$P_3 = \alpha_3 P_1 \quad (36)$$

$$P_4 = P_1(1 - R_C/\eta^*) \quad \eta^* > R_C \quad (37)$$

$$P_4 = 0 \quad \eta^* \leq R_C$$

$$\alpha_1 = 0.6 + \frac{1}{2} \left[\frac{4h/L}{\sinh(4h/L)} \right]^2 \quad (38)$$

$$\alpha_2 = \min \left\{ \frac{h_b - d}{3h_b} \left(\frac{H_D}{d} \right)^2, \frac{2d}{H_D} \right\} \quad (39)$$

$$\alpha_3 = 1 - \frac{h'}{h} \left[1 - \frac{1}{\text{Cosh}(2h/L)} \right] \quad (۴۰)$$

* η - ارتفاع آب در بالای سطح ایستابی بر حسب متر که مقدار فشار در آن برابر صفر است

P_1 - مقدار فشار موج در سطح ایستابی بر حسب نیوتن بر متر مربع

P_2 - مقدار فشار موج در کف دریا بر حسب نیوتن بر متر مربع

P_4 - مقدار فشار در بالاترین نقطه سازه

h - عمق آب در جلوی دیوار قائم بر حسب متر

h_b - عمق آب در فاصله ۵ برابر ارتفاع مؤثر موج از جبهه جلویی دیوار قائم بر حسب متر

h' - عمق آب در تراز کف دیوار قائم بر حسب متر

d - عمق آب در تراز روی بلوکهای محافظ شالوده بر حسب متر

γ_w - وزن مخصوص آب دریا بر حسب نیوتن بر متر مکعب

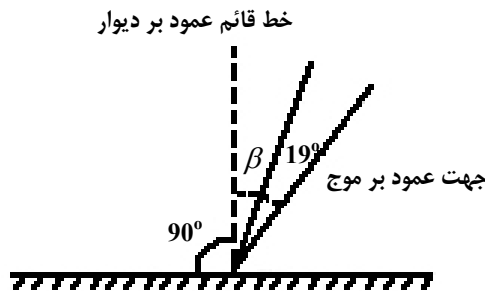
H_D - ارتفاع موج طراحی بر حسب متر

L - طول موج طراحی در عمق h بر حسب متر

$\text{Min} \{a, b\}$ - مقدار کوچکتر بین مقادیر a و b

β - زاویه بین جهت پیشروی موج و خط عمود بر دیوار (امتداد پیشروی موج مطابق شکل ۹-۲ باید به

اندازه ۱۵ درجه به سمت امتداد عمود بر دیوار چرخانده شود).



شکل ۹-۲ تعریف زاویه حمله موج

۹-۲-۲-۲ فشار بالا برنده وارد بر کف یک دیوار قائم

فشار بالا برنده وارد بر کف یک دیوار قائم دارای توزیع مثلثی با مقدار P_u بر حسب تن بر متر مربع، در جلو پاشنه و مقدار صفر در عقب پاشنه است که از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$P_u = \frac{1}{2}(1 + \cos \alpha_1) \alpha_3 H_D \quad (41)$$

در این حالت برای محاسبه نیروی شناوری، تنها باید میزان حجم جابه‌جا شده آب ساکن نسبت به سطح ایستایی ملاک عمل قرار گیرد.

۹-۲-۲-۳ ارتفاع موج و طول موج

ارتفاع موج H_D و طول موج L مورد استفاده در محاسبات روابط ۳۳ تا ۴۱، به ترتیب ارتفاع و طول بلندترین امواج هستند. بلندترین طول موج با طول موج به دست آمده از دوره تناوب موج عمده، مطابقت داشته و ارتفاع بلندترین موج H_{max} از روابط زیر محاسبه می‌شود.

الف: در صورتی که دیوار قائم در خارج از منطقه شکست واقع شده باشد:

$$H_D = H_{max} = 1.8H_{1/3}$$

طوری که در رابطه فوق $H_{1/3}$ ارتفاع موج شاخص بر حسب متر در جلوی دیوار قائم است.

ب: اگر دیوار قائم در داخل منطقه شکست واقع شده باشد:

$$H_D = H_{max}$$

ضمناً تغییر شکل امواج نامنظم در حال شکست نیز باید مورد توجه قرار گیرد. ارتفاع موج بیشینه، مقدار ارتفاع موج در عمق H_D در فاصله $5H_{1/3}$ در جلو دیوار قائم است.

۹-۲-۲-۴ نکاتی در مورد فرمول گودا

برای محاسبه نیروی موج از فرمول پیشنهادی گودا استفاده می‌شود که با توجه به تأثیر جهت پیشروی موج تصحیح شده است. فرمول گودا بر اساس آزمایش‌های انجام شده در مورد فشار موج و با توجه به کاربرد نتایج آن در مورد بسیاری از موج‌شکنها، تهیه شده و برای هر دو حالت نیروی وارده از طرف امواج ایستاده و امواج شکننا کاربرد دارد. اگر دیوار قائم روی یک شیب تند از بستر دریا و یا روی یک پشته قرار گرفته باشد، تحت تأثیر فشار شوک ناشی از امواج شکننا بوده و فرمول گودا نتایج

دست‌پایینی را برای نیروی موج به دست می‌دهد. لذا کاربرد آن باید با دقت و وسواس زیاد و با در نظر گرفتن احتمال وقوع فشار شوک ناشی از شکست امواج صورت پذیرد.

فشار موج در این فرمول بر اساس فرض فشار هیدرواستاتیکی در شرایط آب ساکن به دست آمده است. در صورت وجود تفاوت بین فشار هیدرواستاتیکی وارده بر قسمت رو به دریا (جلو) و قسمت رو به ساحل (عقب) دیوار، این اختلاف باید به طور جداگانه محاسبه و لحاظ شود. فرمول گودا برای بررسی پایداری کلی دیوار قائم طراحی شده و به هنگام برخورد امواج شکنا با سازه، الزاماً بیانگر حداکثر فشارهای وارده در هر نقطه از آن نخواهد بود. بنابراین توجه به نکته فوق در بررسی میزان تنش ایجاد شده در سازه از اهمیت خاصی برخوردار است.

۹-۲-۲-۵ کاربرد فرمول محاسباتی نیروی موج در طراحی متعارف

معمولاً برای منطقه دارای امواج ایستاده، یعنی مناطقی که مقدار $\frac{d}{H_{1/3}}$ در آن برابر یا بیش از ۲ است، نیروی موج طراحی با استفاده از فرمول سن‌فلو به دست می‌آید. فشار امواج شکنا در این فرمول به طور جزئی در نظر گرفته شده است. برای منطقه دارای امواج شکنا، یعنی مکانهایی که مقدار $\frac{d}{H_{1/3}}$ کمتر از ۲ است، فرمول هیروئی مورد استفاده قرار می‌گیرد. اگرچه این فرمولها دارای محدودیتهایی هستند، اما تجربیات گذشته بیانگر نقش مفید این روابط در طراحی‌های انجام شده بوده‌اند. در مناطقی که یک موج‌شکن قدیمی بر اساس روابط مذکور طراحی شده و هنوز هم در برابر عملکرد دراز مدت امواج پایدار باقی مانده است، محاسبه نیروی امواج در شرایط طراحی مشابه بر اساس روابط مذکور می‌باشد.

۹-۲-۳ فشار برخورد یا شوک امواج شکنا

اگر احتمال تولید و اعمال فشار شوک ناشی از امواج شکنا وجود داشته باشد، نیروی موج باید بر اساس آزمایشهای مدل فیزیکی که با شرایط طبیعی منطقه مطابقت دارد بررسی و تعیین گردد. ولی بهتر است که از مقطع عرضی یا سازه‌ای که باعث ایجاد فشار شوک بالای ناشی از امواج شکنا می‌گردند خودداری شود. در مناطقی که فشار شوک ناشی از امواج شکنا به خاطر شیب تند بستر دریا اجتناب‌ناپذیر است،

می‌توان سازه را با استفاده از سیستم‌های مستهلک کننده امواج، برای مقابله با نیروی موج کمتری طراحی کرد.

عوامل متنوعی در ایجاد فشار شوک ناشی از امواج شکنا نقش دارند، طوری که تعیین و تعریف آنها به طور کلی مشکل است. البته بر اساس نتایج آزمایشگاهی می‌توان گفت که فشار شوک ناشی از امواج شکنا، زمانی اتفاق می‌افتد که زاویه بین امتداد نیروی موج و امتداد عمود بر دیوار β (مطابق شکل ۹-۲) کمتر از ۲۰ درجه بوده و یکی از شرایط ذیل نیز وجود داشته باشد:

الف: تند بودن شیب بستر دریا

چنانچه شیب بستر دریا از حدود $\frac{1}{30}$ بیشتر باشد، امواج در فاصله کمی از دیواره قائم بشکنند و

تیزی امواج آب عمیق از حدود 0.3 کمتر باشد، شرایط مناسب برای ایجاد فشار شوک ناشی از امواج شکنا فراهم است.

ب: بلند بودن شالوده

در صورتی که اگر شیب بستر دریا ملایم باشد، بسته به هندسه شالوده احتمال بروز فشار شوک ناشی از امواج شکنا وجود دارد. در این حالت علاوه بر مشخصه‌های موج، ارتفاع تاج شالوده، عرض شالوده در جبهه جلوی دیوار قائم و میزان تندی شیب شالوده نیز در ایجاد شرایط مناسب برای تولید فشار شوک مؤثر می‌باشند و تعیین عامل اصلی فشار بسیار مشکل است. چنانچه ارتفاع شالوده نسبتاً بلند و عرض آن در محل تاج نیز به اندازه کافی زیاد یا جبهه جلو آن دارای شیب ملایم باشد، امواج شکنا به شکل یک دیوار آب در حوالی سطح یا بالای شیب شالوده با آن برخورد کرده و به آن ضربه می‌زنند. در این حالت شرایط مناسب برای تولید فشار شوک ناشی از امواج شکنا مهیا است. در محلهایی که شیب بستر دریا ملایم‌تر از حدود $\frac{1}{50}$ بوده و نسبت عمق آب

بالای تاج شالوده (با احتساب واحدهای آرمور) به عمق آب در تراز اجرای شالوده (پای شالوده) از 0.6 بیشتر باشد، فشار شوک وارده ناشی از امواج شکنا قابل توجه نخواهد بود.

◀ ۹-۲-۴ نیروی موج وارده بر دیوار قائم پوشیده شده با بلوکهای بتنی مستهلک کننده

امواج

نیروی موج وارده بر دیوار قائم پوشیده شده با بلوکهای بتنی مستهلک کننده موج، تابعی از ارتفاع تاج، عرض قسمت پوشش داده شده با بلوکهای بتنی مستهلک کننده موج و مشخصه‌های بلوکها است. نیروی موج بر، از طریق آزمایشهای فیزیکی یا از فرمولهای محاسباتی مناسب که شامل تأثیر عوامل مذکور باشند به دست می‌آید.

از فرمول تصحیح شده گودا، می‌توان به عنوان یک استاندارد طراحی برای محاسبه نیروی کل موج وارده بر مقطع دیوار قائم، تحت شرایط ذیل استفاده کرد.

۱- تراز تاج قسمت پوشیده شده از بلوکهای بتنی مستهلک کننده موج، تقریباً با تراز تاج دیوار قائم هم‌سطح باشد.

۲- قسمت پوشیده شده با بلوکهای مستهلک کننده موج در برابر امواج پایدار باشد. نحوه محاسبه مطابق بند ۹-۲-۱ در مورد فرمول گودا می‌باشد، با این تفاوت که پارامترهای η^* در رابطه ۳۳، P_1 در رابطه ۳۴ و ρ_u در رابطه ۴۰ را باید به ترتیب با η^* در رابطه ۴۱، P_1 در رابطه ۴۲ و ρ_u در رابطه ۴۳ جایگزین کرد (شکل ۹-۳).

$$\eta^* = 0.75(1 + \cos\beta)\lambda H_D \quad (42)$$

$$P_1 = (1 + \cos\beta)\lambda \alpha_1 \gamma_w H_D \quad (43)$$

$$P_u = \frac{1}{2}(1 + \cos\beta) \alpha_1 a_3 H_D \quad (44)$$

طوری که:

η^* - ارتفاع تراز بالای سطح ایستابی بر حسب متر که شدت فشار موج در آن برابر صفر است.

P_1 - شدت فشار موج در سطح ایستابی بر حسب نیوتن بر متر مربع هنگامی که دیوار با بلوکهای مستهلک کننده موج پوشیده شده است.

P_u - فشار بالا برنده در پاشنه جلو و در تراز کف دیوار قائم پوشیده شده با بلوکهای مستهلک کننده موج

بر حسب نیوتن بر متر مربع

β - زاویه بین امتداد پیشروی موج و خط عمود بر امتداد دیوار (امتداد پیشروی موج می‌بایست تا مقدار ۱۵ درجه به سمت امتداد عمود بر دیوار چرخانده شود).

λ - عامل تصحیح کننده فشار موج به هنگام وجود بلوکهای مستهلک کننده موج

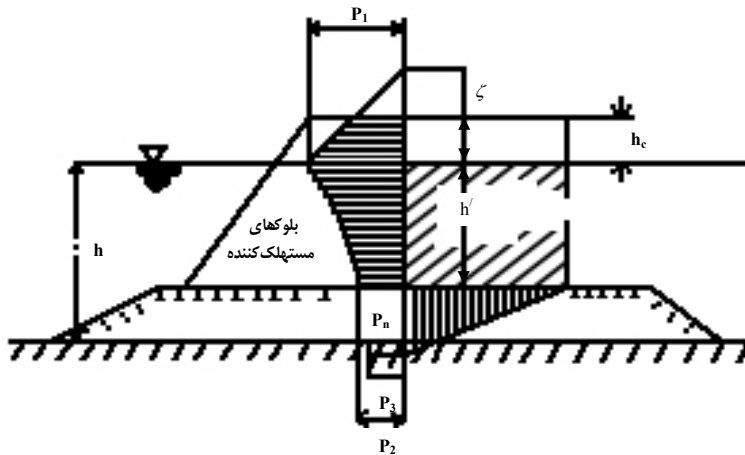
α_1 - ضریب تعریف شده در رابطه ۳۸

α_3 - ضریب تعریف شده در رابطه ۴۰

γ_w - وزن مخصوص آب دریا بر حسب تن بر متر مکعب

H_D - ارتفاع موج استفاده شده در محاسبات طراحی بر حسب متر

مقدار عامل تصحیح کننده λ با مقادیر ضخامت و ارتفاع بلوکها و شرایط موج تغییر می‌کند. برای دیواری که با مقدار کافی بلوک پوشیده شده و سازه تحت تأثیر امواج شکننا است، مقدار λ را می‌توان $0/8$ در نظر گرفت.



شکل ۳-۹ فشار موج بر روی دیوارهایی که با بلوکهای مستهلک کننده انرژی پوشیده شده‌اند

۹-۲-۵ محاسبه نیروی موج وارده بر یک دیوار قائم با امتداد مقعر

چنانچه امتداد جبهه جلو دیوار نسبت به جهت پیشروی موج به شکل مقعر باشد، محاسبه نیروی موج باید با توجه به افزایش نیروی ناشی از تداخل کامل امواج تابشی و انعکاسی صورت گیرد. در این حالت می‌توان به کمک فرمول استاندارد ارایه شده در بند ۹-۲-۲-۲، نیروی وارده از طرف امواج ایستاده و

شکنا بر دیوارهای قائم را به دست آورد، با این تفاوت که ارتفاع موج به دست آمده برای امواج تابشی به دلیل شکل مقعر امتداد دیوار، در ضریب افزایشی مناسبی ضرب می‌شود.

◀ ۹-۲-۶ نیروی موج وارده بر یک دیواره قائم در منطقه دارای تغییرات زیاد عمق آب

تغییرات ناگهانی عمق آب (به دلیل وجود تپه‌های زیرآبی) باعث تغییر شکل قابل ملاحظه امواج شده و در نتیجه دیوارهای قائم احدائی تحت تأثیر نیروهای برخورد (شوک) امواج قرار می‌گیرند. در چنین حالاتی توصیه می‌شود نیروی موج را با استفاده از آزمایشهای مدل فیزیکی که به نحو مناسبی پدیده‌های مربوطه را مدل کرده باشند تعیین کرد.

◀ ۹-۲-۷ نیروی موج وارده بر صندوقه‌های قائم مستهلک کننده امواج

میزان نیروی موج وارده بر یک صندوقه قائم مستهلک کننده امواج، به مشخصه‌های موج، ترازهای جزر و مدی، عمق آب، توپوگرافی بستر دریا، هندسه شالوده و هندسه قسمت مستهلک کننده موج بستگی دارد. نیروی موج بر اساس یکی از فرمولهای مناسب یا نتایج آزمایشهای مدل هیدرولیکی تعیین می‌گردد. به منظور بررسی پایداری کلی سازه در مقابل نیروی موج، بررسی جامعی در مورد نیروی موج وارد بر هر عضو سازه مورد نیاز است. اگر قسمت بالایی محفظه صندوقه در قسمت مستهلک کننده توسط یک دال مسقف گردد، مشخصه‌های نیروی موج تغییر خواهند کرد.

◀ ۹-۳ وزن سنگها و بلوکهای آرمور

وزن قطعات سنگی یا بلوکهای بتنی محافظ شیروانی سازه‌ای که تحت تأثیر نیروی امواج قرار دارند از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$W = \frac{\gamma_r H^3}{K_D (S_r - 1)^3 \text{Cot} \alpha} \quad (45)$$

طوری که در آن:

W - وزن متوسط قطعه سنگ یا بلوک بتنی آرمور بر حسب نیوتن

γ_r : وزن مخصوص قطعه سنگ یا بلوک بتنی در هوا بر حسب نیوتن بر متر مکعب

S_r : چگالی نسبی قطعه سنگ یا بلوک نسبت به آب دریا

A: زاویه شیب با امتداد افق بر حسب درجه

H: ارتفاع موج بر حسب متر

K_D : ضریب پایداری بر حسب مصالح واحدهای آرمور و درجه خرابی

۱- برای واحدهای آرمور کار گذاشته شده در عمق بیش از $1.5H$ زیر سطح ایستابی، می‌توان وزنی کمتر از وزن به دست آمده از رابطه فوق را به کار برد.

۲- ارتفاع موج H در رابطه فوق، همان ارتفاع موج شاخص $H_{1/3}$ در عمقی است که سازه در آن احداث شده است.

۳- ضریب پایداری K_D نیز به مشخصه‌های موج و نحوه قرار دادن واحدهای آرمور بستگی دارد. مقدار ضریب K_D را باید بر اساس نتایج آزمایشهای مدل فیزیکی تعیین کرد.

۴- قطعات آرمور علاوه بر وزن لازم، باید از مقاومت سازه‌ای کافی نیز برخوردار باشند.

۹-۴ نیروی موج وارد بر اعضای مستغرق

نیروی موج وارد بر یک سازه مستغرق (مانند پایه واقع در اعماق دریا که مانع انتشار امواج نمی‌شود) از حاصل جمع نیروی پسا، متناسب با مربع سرعت ذرات آب و نیروی ماند، متناسب با شتاب آن از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\bar{F}_n = C_D \frac{\gamma \omega}{2g} D \bar{u}_n |u_n| \Delta S + C_M \frac{\gamma \omega}{g} A a_n \Delta S \quad (۴۶)$$

طوری که:

F_n - نیروی وارده بر یک المان بی‌نهایت کوچک $\Delta S(m)$ از سازه بر حسب نیوتن در جهتی عمود بر محور سازه که در صفحه محور سازه و محور جهت حرکت ذرات آب قرار دارد.

u_n : مؤلفه سرعت ذرات آب بر حسب متر بر ثانیه و a_n مؤلفه شتاب ذرات آب بر حسب متر بر مجذور ثانیه در جهت عمود بر محور سازه (هم‌جهت با نیروی f_n) در صفحه محور سازه و محور جهت حرکت ذرات آب (مؤلفه‌هایی از امواج تابشی که تحت تأثیر اغتشاش ناشی از سازه قرار نگرفته‌اند).

u_n : قدر مطلق u_n

C_D : ضریب پسا

C_M : ضریب نیروی ماند

D : عرض عضو بر حسب متر در جهت عمود بر محور سازه و هم‌جهت با f_n

A : مساحت مقطع سازه در صفحه عمود بر محور سازه بر حسب متر مربع

γ_w : وزن مخصوص آب دریا بر حسب نیوتن بر متر مربع

g : شتاب ثقل بر حسب متر بر مجذور ثانیه

هنگامی که بستر دریا در محل سازه دارای شیب تند بوده و امواج بر روی سازه بشکنند، علاوه بر نیروهای پسا و ماند، نیروی برخورد یا شوک ناشی از امواج شکنا نیز بر سازه اعمال می‌شود که در محاسبات نیرو باید به طور کامل در نظر گرفته شود. ضمناً گاهی علاوه بر نیروی پسا و ماند، نیروی بالا برنده نیز بر بعضی از سازه‌های مستغرق وارد می‌شود. اعضای نازک نیز گاهی تحت نیروی بالا برنده مرتعش می‌گردند.

◀ ۹-۵ نیروی موج وارده بر سازه‌های بزرگ

نیروی موج وارده بر یک سازه بزرگ احداثی در دریا به شدت تغییر می‌کند که این تغییرات، به اندازه و شکل سازه بستگی دارند و نیروی موج باید با استفاده از محاسبات عددی (مدلهای عددی) یا نتایج آزمایشهای مدل هیدرولیکی تعیین گردد.

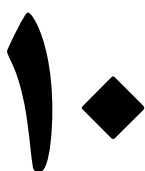
◀ ۹-۶ نیروی موج وارد بر یک سازه نزدیک به سطح آب

◀ ۹-۶-۱ نیروی بالا برنده وارد بر یک صفحه افقی واقع در نزدیکی سطح آب

نیروهای برخورد (شوک) گاهی اوقات بر صفحات افقی واقع در نزدیکی سطح آب وارد می‌شوند. پیدایش این نیروها به مشخصه‌های موج، حدود جزر و مدی، شکل سازه و عواملی نظیر آن بستگی دارد. در شرایطی که خطر بروز این نیرو احساس می‌شود، نیروی بالا برنده را باید به کمک روشهای مناسب نظیر آزمایشهای مدل هیدرولیکی تعیین کرد.

◀ ۹-۶-۲ نیروی افقی موج وارد بر یک صفحه قائم در نزدیکی سطح آب

نیروهای افقی وارد بر یک صفحه قائم مهار شده در نزدیکی سطح آب، از طبیعتی پیچیده برخوردار بوده و باید با استفاده از روشهای مناسب تعیین گردند.



بارگذاری جریان

◀ ۱۰-۱ جریانهای دریایی

اندازه‌گیری مستقیم سرعت و جهت جریان در طراحی سازه‌های دریایی، بنادر و سازه‌های خاص از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشند. نیروهای ناشی از جریان بر روی سازه‌های دریایی نیز باید محاسبه شوند. نیروی ناشی از جریان بر روی سازه‌های استوانه‌ای شکل، به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$F_D = C_D \frac{\rho}{2} A U^2 \quad (47)$$

که در آن:

F_D - نیروی پسا بر حسب کیلو نیوتن

C_D - ضریب پسا

ρ - چگالی آب دریا بر حسب تن بر متر مکعب

A - سطح مقطع تصویر شده بر حسب متر مربع

U - سرعت جریان بر حسب متر بر ثانیه

روش به دست آوردن U برای جریانهای مختلف متفاوت است که بعداً مورد بحث قرار خواهد گرفت. سطح عمود بر جریان عامل موثر در محاسبات مربوط به بارگذاری جریانهای دریایی بر روی اجسام می‌باشد. برای سازه‌هایی که مقطع آنها دایره‌ای است، می‌توان از رابطه زیر برای محاسبه نیروهای ناشی از جریانهای دریایی استفاده کرد:

$$F_L = \frac{1}{2} C_D \rho V^2 A_n \quad (48)$$

که در آن:

F_L : نیروی پسا بر حسب کیلو نیوتن

C_D : ضریب پسا

ρ : چگالی آب دریا

V : سرعت جریانهای دریایی بر حسب متر بر ثانیه

A_n : سطح مقطع عمود بر جریان بر حسب متر مربع

مقدار C_D را می‌توان از جدول زیر استخراج کرد.

جدول ۱۰-۱

C_D	آبخور / عرض (B/D)	شکل سازه (مقطع)
۰/۷۲	۸/۱	مربع
۰/۷۰	۳/۴	
۰/۸۶	۱/۶	
۰/۵۷	۸/۱	چند ضلعی
۰/۵۲	۳/۴	
۰/۶۰	۱/۶	
۰/۵۸	۱/۸	چند ضلعی Side loading
۰/۴۷	۸/۱	استوانه‌ای
۰/۳۹	۳/۴	
۰/۴۵	۱/۶	

اگر اطلاعات کافی برای محاسبه C_D وجود نداشته باشند، می‌توان از مقدار $C_D = 1.0$ برای طراحی سازه‌ها استفاده کرد.

نیروی ناشی از جریانهای دریایی پس از نیروی امواج از اهمیت ویژه‌ای در طراحی سازه‌های دریایی، بخصوص سازه‌های دور از ساحل برخوردار است. محاسبات این نیرو با توجه به دوره تناوب و تغییر مشخصات جریان نسبت به زمان و مکان، به صورت استاتیکی انجام می‌شود. برای تعیین و محاسبه نیروی حاصل از جریان بر روی عضوی با سطح مقطع A می‌توان از روابط ذیل استفاده کرد:

$$F_x = \frac{1}{2} \rho C_x V^2 A_x \quad (۴۹)$$

$$F_y = \frac{1}{2} \rho C_y V^2 A_y \quad (۵۰)$$

F_x - نیروی ناشی از جریان در جهت جریان

F_y - نیروی ناشی از جریان در جهت عمود بر جریان

ρ - چگالی سیال

C_D - ضریب پسا که از جداول مربوطه بر حسب C_x و C_y محاسبه می‌شود.

A_x - تصویر مساحت سازه در جهت جریان

A_y - تصویر مساحت سازه در جهت عمود بر جریان

جریانهای اقیانوسی، جریانهای ناشی از جزر و مد و جریان ناشی از وزش باد مهمترین انواع جریانهای دریایی می‌باشند. با توجه به اینکه معمولاً سرعت این جریانها در سطح آب اندازه‌گیری می‌شود، برای برآورد نیروی وارده باید تغییرات سرعت جریان را به صورت زیر بر حسب عمق آب منظور کرد.
الف: تغییرات قائم سرعت جریان دریایی

چنانچه V_D سرعت جریان در سطح دریا با عمق D باشد، سرعت جریان $V(Z)$ در عمق Z از رابطه ذیل به دست می‌آید:

$$V(z) = V_D \left(\frac{D-Z}{D} \right)^{0.1} \quad (51)$$

ب: تغییرات قائم سرعت جریانهای ناشی از جزر و مد

$$0.1 < \alpha < 0.1429$$

$$V(z) = V_D \left(1 - \frac{Z}{D} \right)^\alpha \quad (52)$$

ج: تغییرات قائم سرعت جریان ناشی از باد

$$V(z) = 0.017 V_w \left(\frac{50-Z}{50} \right) \quad (53)$$

که در آن:

V_w - سرعت باد (سرعت میانگین باد با مدت تداوم یک دقیقه در ۱۰ متر بالاتر از سطح آب)

Z - عمق آب از سطح دریا ($Z=0$)

چنانچه مقدار Z بیشتر از ۵۰ متر باشد، مقدار آن در رابطه فوق برابر ۵۰ متر در نظر گرفته می‌شود.

برای تعیین سرعت طراحی جریانهای دریایی به ازای یک دوره برگشت معین، باید سرعتی را در نظر گرفت که اثر جزر و مد، برگشتند و سرعت جریانهای ناشی از باد در آن منظور شده باشد. محاسبه سرعت جریانهای ناشی از باد، باید بر اساس بادی باشد که مدت وزش آن ۱۲ ساعت است. سرعت جریانهای سطحی آب دریا، معمولاً (۲-۳٪) سرعت بادی است که روی دریا می‌وزد. پروفیل سرعت جریانها از

سطح آب دریا تا بستر دریا نیز معمولاً به صورت خطی در نظر گرفته می‌شود. در حقیقت سرعت طراحی با توجه به همه پدیده‌های مؤثر در ایجاد جریانهای دریایی به دست می‌آید.

در طراحی سازه‌های دریایی به ویژه سازه‌های دور از ساحل، باید توجه کرد که امواج همواره با جریانهای دریایی همراه می‌باشند و باید سرعت ناشی از موج را با سرعت جریانهای دریایی ترکیب کرد و برآیند نیروی وارده را با در نظر گرفتن اثر اینرسی به دست آورد. جریانهای دریایی علاوه بر نیرویی که در جهت جریان اعمال می‌کنند، نیروی دیگری نیز در جهت عمود بر جهت جریان، بر مقاطع با شکل شبه آیرودینامیکی وارد می‌کنند. این نیرو دارای طبیعتی نوسانی است و وقتی دوره تناوب آن برابر دوره تناوب سازه گردد، پدیده تشدید رخ داده و موجب ناپایداری سازه می‌شود. این مسئله را باید در طراحی سازه‌های دریایی مدنظر قرار داد.

◀ ۱۰-۲ جزر و مد

جزر و مد پدیده‌ای است که در اکثر دریاها و اقیانوسهای دنیا اتفاق می‌افتد. طبق تعریف، خیز قائم سطح آب دریا در اثر جاذبه کره ماه و خورشید را جزر و مد سماوی گویند. مقدار افزایش و کاهش تراز سطح آب دریا که به ترتیب مد و جزر نامیده می‌شود را می‌توان با استفاده از مقادیر اندازه‌گیری شده و یا به کمک مدل‌های پیش‌بینی عددی به دست آورد. پدیده جزر و مد در طول یک شبانه روز تکرار می‌شود. در طول یک شبانه روز، جزر و مد ممکن است یک بار (جزر و مد روزانه)، دو بار (جزر و مد نیم‌روزانه) و یا چند بار (جزر و مد ترکیبی) اتفاق افتد. سواحل شمالی خلیج فارس و آبهای سرزمین جمهوری اسلامی ایران در دریای عمان، دارای جزر و مد نیم‌روزانه است. دریای خزر به علت بسته بودن و راه نداشتن به آبهای آزاد اقیانوسها، جزر و مد بسیار ناچیزی دارد. کمیت‌های تعاریف زیر از اهمیت زیادی در ارتباط با پدیده جزر و مد برخوردارند.

الف: میانگین تراز آب دریا در حالت مد MHHW

میانگین تراز مدهایی است که در طول یک دوره طولانی اتفاق می‌افتند (ترجیحاً ۱۸/۶ سال).

ب: میانگین تراز آب دریا در حالت جزر MLLW

میانگین تراز جزرهایی است که در طول یک دوره طولانی اتفاق می‌افتند (ترجیحاً ۱۸/۶ سال).

ج: بالاترین مد نجومی HAT

بالاترین تراز آب دریا که در طول ۱۸/۶ سال یکبار اتفاق می‌افتد.

د: پایین‌ترین جزر نجومی LAT

پایین‌ترین تراز آب دریا که در طول ۱۸/۶ سال یک بار اتفاق می‌افتد.

◀◀ ۱۰-۳ تراز میانگین آب دریا MSL

میانگین تراز آب دریا در مدت زمانی طولانی (ترجیحاً ۱۸/۶ سال)، تراز میانگین آب دریا نامیده می‌شود. به عبارت دیگر میانگین تراز آب دریا را که در نبود جزر و مد اندازه‌گیری و در طول دوره‌ای طولانی میانگین‌گیری شده باشد، تراز میانگین آب دریا می‌نامند. این مدت طولانی معمولاً ۱۸/۶ سال در نظر گرفته می‌شود.

۱۱

بارگذاری زلزله

◀ ۱-۱۱ کلیات

◀ ۱-۱-۱۱ هدف

هدف این بخش از آیین‌نامه، تعیین حداقل ضوابط و مقررات برای محاسبه اثر زلزله، به عنوان یک بار خارجی روی سازه‌های دریایی می‌باشد، به طوری که:

الف: با حفظ ایستایی و پایداری سازه‌ها، تلفات جانی به حداقل برسد.

ب: سازه‌های با اهمیت زیاد (مطابق تعریف بند ۱۱-۱-۴) هنگام وقوع زلزله قابلیت بهره‌برداری خود را حفظ نموده و در سایر سازه‌های دریایی نیز خسارتهای سازه‌ای و غیر سازه‌ای به حداقل برسد.

◀ ۱-۱-۱۱ ۲- حدود کاربرد

شامل محاسبه بار ناشی از زلزله روی سازه‌های زیر است:

الف: سازه‌های وزنی

ب: سازه‌های انعطاف‌پذیر

ج: دکلهای دریایی

تبصره: محاسبه ساختمانها و سازه‌های معمولی که در معرض آب دریا نمی‌باشند، توسط آیین‌نامه‌های مربوطه مانند آیین‌نامه محاسبه ساختمانها در برابر زلزله (استاندارد شماره ۲۸۰۰) انجام می‌پذیرد.

◀ ۱-۱-۱۱ ۳- ضوابط کلی

الف: سازه‌های دریایی باید در دو امتداد عمود بر هم، قادر به تحمل نیروهای ناشی از زلزله باشند.

ب: در مورد سازه‌های انعطاف‌پذیر (مانند اسکله شمع و عرشه)، عرشه اسکله باید از صلبیت کافی برای انتقال نیروی زلزله برخوردار باشد.

ج: سازه‌هایی که تحت اثر بار جانبی فشار خاک یا آب قرار دارند، باید دارای تحمل کافی در برابر فشار اضافی ناشی از زلزله باشند.

د: به طور کلی، باید از احداث سازه‌های دریایی در کنار یا مجاورت گسلها پرهیز نمود.

- ه: کلیه عناصر سازه‌ای، به هم پیوسته در نظر گرفته شده و نحوه انتقال بار در عناصر و محل اتصال آنها به یکدیگر باید کاملاً معلوم باشد.
- و: در صورت زیاد بودن طول سازه دریایی، باید درزهای انقطاع در فواصل مشخص از سازه در نظر گرفته شوند.
- ز: در زمینهایی که دارای مشخصات ویژه‌ای همچون روانگرایی، نشست غیر متعارف و یا دامنه شیب باشند، ملاحظات ژئوتکنیکی باید از طریق مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی صورت پذیرند.
- ح: با کاربرد مواد سازه‌ای مقاوم و مصالح غیر سازه‌ای سبک، نسبت وزن سازه به مقاومت آن به حداقل رسانده شود.
- ط: در طراحی سازه‌های سه بعدی جهت جلوگیری از پیچش، تا حد امکان مرکز جرم و مرکز سختی سازه بر هم منطبق شوند.
- ی: از ایجاد سوراخهای باز و مجاور یکدیگر در دیافراگمها و صفحات صلب باربر جلوگیری شود.
- ک: سازه‌های دریایی باید طوری ساخته شوند که به صورت کلی و موضعی، قابلیت شکل‌پذیری کافی داشته باشند.

۱۱-۱-۴ گروه‌بندی اسکله و سازه‌های دریایی بر حسب اهمیت

- الف: سازه‌های با اهمیت زیاد
این گروه از سازه‌ها شامل سازه‌هایی می‌گردد که تخریب یا از کار افتادن آنها، باعث اختلال در امر امداد در مواقع بحرانی، اختلال در عملیات نظامی ضروری، احتمال وقوع انفجار یا انتشار مواد سمی و خطرناک، بوجود آمدن تلفات سنگین جانی و یا بحران اقتصادی شدید گردد.
- ب: سازه‌های با اهمیت متوسط
سازه‌هایی که تخریب یا از کار افتادن آنها، باعث بوجود آمدن خسارتهای مالی سنگین گردد.
- ج: سازه‌های با اهمیت کم
شامل موج‌شکنها، اسکله‌های موقت یا بنادر کوچک که تخریب یا از کار افتادن آنها، خسارتهای جانی و مالی شدید را ایجاد نمی‌کند.

۱۱-۱-۵ گروه‌بندی سازه‌های دریایی از نظر سیستم سازه‌ای

- الف: سازه‌های وزنی، مانند موج‌شکنها و اسکله‌های وزنی بتنی سنگی
- ب: سازه‌های صفحه‌ای و پوسته‌ای، مانند شمعه‌های ورقه‌ای و دیافراگمهای بتنی یا دیوارهای حایل بتنی
- ج: سازه‌های باز (قابی شکل)، مانند اسکله‌های شمع و عرشه و سکوه‌های دریایی
- د: سازه‌های ترکیبی که ترکیبی از سیستمهای سازه‌ای فوق می‌باشند.

۱۱-۲ محاسبه سازه‌های دریایی در برابر نیروی زلزله

۱۱-۲-۱ کلیات

- الف: در محاسبه نیروی زلزله وارد بر سازه‌های دریایی، فقط مؤلفه افقی نیروی زلزله در نظر گرفته می‌شود و از مؤلفه قائم صرف نظر می‌گردد.
- ب: سازه‌های دریایی در دو امتداد عمود بر هم، در برابر نیروی زلزله محاسبه می‌شوند. تبصره ۱: محاسبه در هر یک از دو امتداد عمود بر هم، مستقل از یکدیگر صورت گرفته و اثرهای آنها، هم‌زمان بر سازه تأثیر داده نمی‌شود.
- تبصره ۲: برای سازه‌هایی که رفتار کرنش مسطح دارند، منظور کردن اثر زلزله در امتداد عمود بر محور طولی سازه کافی است.
- ج: نیروی زلزله باید در هر امتداد، به صورت رفت و برگشت بر سازه اثر داده شود.
- د: محاسبه سازه‌های دریایی در برابر نیروی زلزله و باد، به تفکیک انجام می‌شود و هر کدام که اثر بیشتری داشته باشد ملاک طراحی قرار می‌گیرد.
- ه: محاسبه سازه‌های دریایی در برابر نیروهای زلزله و موج، به تفکیک انجام می‌شود و هر کدام که اثر بیشتری داشته باشد ملاک طراحی می‌باشد.

۱۱-۲-۲ بار زنده

در محاسبه نیروی جانبی زلزله، اگر مقدار بار زنده کمتر از نصف بار مرده باشد، بار زنده منظور نمی‌گردد. در غیر این صورت (۴۰٪) بار زنده در محاسبات منظور می‌شود.

۱۱-۲-۳ انتخاب روش محاسبه زلزله

الف: سازه‌های وزنی، صفحه‌ای و پوسته‌ای، با استفاده از رابطه ۵۴ و مطابق بند ۱۱-۲-۴ به روش استاتیکی قابل محاسبه می‌باشند.

ب: سازه‌های کنار ساحل با سیستم سازه‌ای باز، بر اساس آیین‌نامه طرح پلهای شوسه و راه آهن در برابر زلزله و با در نظر گرفتن ملاحظات این آیین‌نامه قابل محاسبه می‌باشند.

ج: سازه‌های ترکیبی طبق بند ۱۱-۲-۴ به روش استاتیکی یا به روشهای شبه دینامیکی یا دینامیکی محاسبه می‌شوند.

تبصره ۱: روش آنالیز دینامیکی را می‌توان برای کلیه سازه‌ها به کار برد.

تبصره ۲: به کار بردن روش آنالیز دینامیکی برای سازه‌هایی که رفتار سه بعدی آنها قابل صرف نظر کردن نیست و همچنین نامنظمی آشکاری در توزیع جرم و یا سختی آنها وجود دارد الزامی است.

د: سازه‌های باز فراساحل مانند سکوه‌های دریایی، بر اساس روش تحلیل استاتیکی، شبه دینامیکی یا دینامیکی قابل محاسبه می‌باشند، ولی در هر حال تحلیل دینامیکی این نوع سازه‌ها توصیه می‌شود. تبصره: در هر حال نتایج آنالیز دینامیکی و شبه دینامیکی، نباید کمتر از نتایج آنالیز استاتیکی باشد.

۱۱-۲-۴ روش تحلیل استاتیکی

در این روش مؤلفه افقی نیروی زلزله، بر اساس وزن سازه و ضریب زلزله به دست می‌آید.

۱۱-۲-۴-۱ مؤلفه افقی نیروی زلزله

این نیرو از ضرب کردن وزن سازه در ضریب زلزله به دست می‌آید.

$$F=C.W$$

(۵۴)

F - مؤلفه افقی نیروی زلزله که در مرکز جرم سازه اثر می‌کند.

C - ضریب زلزله که از بند ۱۱-۲-۴-۲ محاسبه می‌شود.

W - وزن مؤثر سازه در هنگام زلزله که شامل بارهای زنده روی سازه از جمله بارهای ترافیکی و تجهیزات می‌باشد.

۱۱-۲-۴ ضریب زلزله c

ضریب زلزله از دو روش قابل محاسبه است:

الف: اگر شتاب حداکثر زلزله در محل مشخص باشد، مقدار C از روابط زیر محاسبه می‌شود:

$$C = \frac{1}{3} \left(\frac{A}{g} \right)^{\frac{1}{3}} \quad A \geq 0.2g \quad (55)$$

$$C = \left(\frac{A}{g} \right) \quad A < 0.2g \quad (56)$$

ب: اگر شتاب حداکثر زلزله در محل مشخص نباشد، مقدار C از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$C = G \cdot B \cdot I \quad (57)$$

ضریب G، ضریب منطقه‌ای است که مقدار آن از جدول زیر به دست می‌آید.

جدول ۱-۱۱ ضرایب منطقه‌ای G

ضریب G	منطقه
۰/۱۸	خطر نسبی زیاد I
۰/۱۲	خطر نسبی متوسط II
۰/۰۷	خطر نسبی کم III

محدوده مناطق I، II و III مطابق پهنه‌بندی خطر زلزله در آیین‌نامه طرح ساختمانها در برابر زلزله

(استاندارد شماره ۲۸۰۰) می‌باشد.

ضریب B، ضریب تأثیر نوع خاک است و مقدار آن بر حسب جنس و نوع خاک از جداول زیر تعیین

می‌شود.

جدول ۱۱-۲ ضریب تأثیر نوع خاک B

نوع III	نوع II	نوع I	طبقه‌بندی خاک
۱/۲	۱/۰	۰/۸	B

جدول ۱۱-۳ طبقه‌بندی خاک

خاک شل	ماسه یا رس	شن و ماسه	ضخامت نهشته‌های دوران چهارم
نوع III	نوع II	نوع I	کمتر از ۵ متر
نوع III	نوع II	نوع I	۵ - ۲۵ متر
نوع III	نوع II	نوع I	بیشتر از ۲۵ متر

ضریب I ضریب تأثیر اهمیت سازه است و برحسب تقسیم‌بندی مذکور در بند ۱۱-۱-۴، مقادیری به

شرح ذیل دارا می‌باشد:

الف: سازه‌های با اهمیت زیاد

$$I=1.2$$

ب: سازه‌های با اهمیت متوسط

$$I=1$$

ج: سازه‌های با اهمیت کم

$$I=0.5$$

تبصره: اگر سازه‌ای از لحاظ اهمیت شرایط ویژه‌ای دارد و در بند ۱۱-۱-۴ عنوان نشده است، ضریب

I را می‌توان در مورد آن تا عدد ۱/۵ افزایش داد.

۱۱-۲-۵ تحلیل شبه دینامیکی و دینامیکی

استفاده از روش‌های تحلیلی شبه دینامیکی یا دینامیکی بایستی مطابق با ضوابط یکی از استانداردهای

معتبر صورت پذیرد.

۱۲

فشار جانبی خاک

◀ ۱۲-۱ کلیات

فشار جانبی مؤثر بر سازه‌های دریایی، تابع جنس خاک، نوع سازه، میزان و جهت جابه‌جایی سازه و وضعیت سطح ایستایی در طرفین سازه است.

◀ ۱۲-۲ ضریب فشار جانبی خاک و اثر جابه‌جایی جانبی بر آن

نسبت فشار مؤثر جانبی σ'_h به فشار مؤثر σ'_v در هر نقطه از توده خاک، ضریب فشار جانبی K نام دارد.

$$K = \frac{\sigma'_h}{\sigma'_v} \quad (58)$$

اگر جابه‌جایی جانبی در خاک وجود نداشته باشد، مقدار فشار جانبی خاک به کمک ضریب فشار جانبی ساکن خاک K_0 تعیین می‌شود. تعیین K_0 در حالت کلی پیچیده است ولی در عمل می‌توان از رابطه تقریبی زیر برای تعیین آن استفاده کرد:

$$K_0 = (1 - \sin\phi')(OCR)^{0.5} \quad (59)$$

ϕ' : زوایه اصطکاک داخلی

OCR: نسبت پیش تحکیمی خاک

جابه‌جایی جانبی خاک باعث تغییر فشار جانبی آن می‌گردد. با دور شدن دیوار از خاک، مقدار فشار جانبی به حداقل مقدار آن در حالت حدی محرک می‌رسد. به عکس، با حرکت دیوار به سمت خاک، مقدار فشار جانبی به حداکثر مقدار آن در حالت حدی مقاوم خواهد رسید. در عمل مقدار واقعی فشار جانبی خاک، بسته به میزان و جهت جابه‌جایی دیوار، بین دو حد ذکر شده یعنی حالت محرک و مقاوم قرار دارد.

۱۲-۳ فشار جانبی محرک خاک

مقدار جابه‌جایی لازم جهت ایجاد حالت حدی محرک، کم و در حدود $0/001$ ارتفاع دیوار برای خاکهای دانه‌ای متراکم و $0/02$ ارتفاع دیوار برای خاکهای چسبنده نرم می‌باشد. اگر جابه‌جایی دیوار جهت بسیج کامل مقاومت پشت آن کافی باشد، حداقل فشار (محرک) خاک بر دیوار وارد می‌شود. نسبت فشار مؤثر جانبی خاک غیر چسبنده در حالت محرک به فشار مؤثر قائم، ضریب فشار جانبی آن در حالت محرک K_a نامیده می‌شود. مقدار ضریب مذکور از رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$K_a = \left[\frac{\cos \beta \sin(\beta + \phi')}{\sqrt{\sin(\beta - \delta) \times a}} \right]^2 \quad (60)$$

$$a = 1 + \frac{\sin(\delta + \phi') \sin(\phi' - i)}{\sin(\beta - \delta) \sin(i + \beta)}$$

β : زاویه بین سطح داخلی دیوار و افق

δ : زاویه اصطکاک بین خاک و دیوار

i : زاویه بین سطح خاک پشت دیوار و افق

در خاکهای لایه‌ای، مقدار K_a هر لایه، با توجه به مشخصات آن تعیین می‌شود. مقدار فشار جانبی خاکهای غیر چسبنده در هر عمق فرضی p_a از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$p_a = K_a \sigma'_z \quad (61)$$

σ'_z در رابطه فوق، تنش مؤثر قائم در عمق Z می‌باشد.

در خاکهای چسبنده و در حالتی که $\delta = 0$ ، $i = 0$ و $\beta = 90^\circ$ درجه است، مقدار فشار کل محرک خاک از رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$p_a = \sigma_z - 2C_u \quad (62)$$

σ_z : تنش کل قائم در خاک

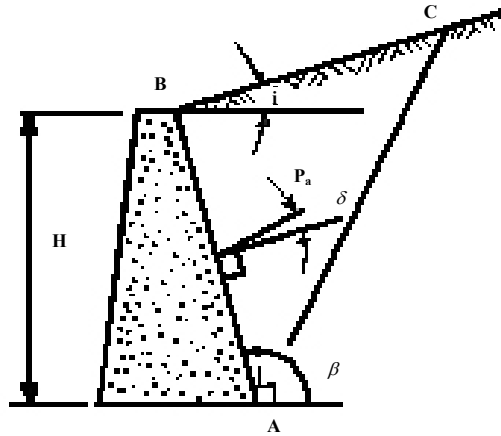
C_u : مقاومت برشی زهکشی نشده

مقدار فشار محرک خاک در حالتی که خاک علاوه بر اصطکاک دارای چسبندگی نیز باشد، از رابطه زیر به دست می‌آید:

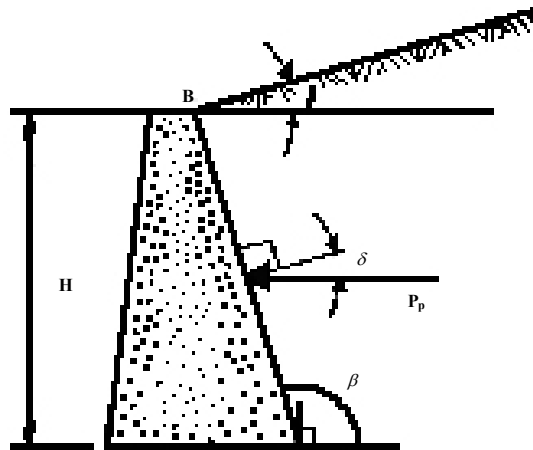
$$P_a = K_a \sigma'_z - 2C' \sqrt{K_a} \quad (۶۳)$$

در این رابطه C' چسبندگی خاک است.

نیروی محرک خاک P_a و محل اثر آن، باتوجه به نحوه توزیع فشار محرک تعیین می‌شود.



شکل ۱-۱۲



شکل ۲-۱۲

۱۲-۴ فشار جانبی مقاوم خاک

مقدار جابه‌جایی لازم جهت ایجاد حالت حدی مقاوم، حدوداً بین ۰/۰۲ تا ۰/۰۶ ارتفاع دیوار می‌باشد. اگر جابه‌جایی دیوار جهت بسیج کامل مقاومت پشت آن کافی باشد، حداکثر فشار (مقاوم) خاک بر دیوار وارد می‌شود. مقدار جابه‌جایی لازم برای ایجاد حالت حدی مقاوم، به مراتب بیشتر از جابه‌جایی لازم برای ایجاد حالت حدی محرک در خاک است. امکان ایجاد چنین جابه‌جایی در خاک همواره باید کنترل گردد. اگر جابه‌جایی محتمل کمتر از این مقدار باشد، فشار جانبی کمتری را می‌توان انتظار داشت.

نسبت فشار مؤثر جانبی خاک دانه‌ای به فشار مؤثر قائم در حالت مقاوم، ضریب فشار جانبی مقاوم خاک K_p نامیده می‌شود. مقدار ضریب مذکور از رابطه زیر تعیین می‌گردد:

$$K_p = \left[\frac{\operatorname{cosec} \beta \sin(\beta - \phi)}{\sqrt{\sin(\beta + \delta) \times a}} \right]^2 \quad (64)$$

$$a = \sqrt{\frac{\sin(\delta + \phi) \sin(\phi + i)}{\sin(\beta - \delta) \sin(i + \beta)}}$$

در خاکهای لایه‌ای، مقدار K_p هر لایه با توجه به مشخصات آن تعیین می‌گردد. فشار مقاوم خاکهای غیر چسبنده P_p در هر عمق فرضی از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$P_p = K_p \sigma'_z \quad (65)$$

در خاکهای چسبنده و در حالتی که $\sigma = 0$ ، $i = 0$ و $\beta = 90^\circ$ درجه است، مقدار فشار کل مقاوم خاک از رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$P_p = \sigma_z + 2C_u \quad (66)$$

مقدار فشار مقاوم خاک را در حالتی که خاک علاوه بر اصطکاک دارای چسبندگی نیز باشد، می‌توان از رابطه زیر به دست آورد:

$$P_p = K_p \sigma'_z + 2C' \sqrt{K_p} \quad (67)$$

نیروی مقاوم خاک P_p و محل اثر آن، با توجه به نحوه توزیع فشار مقاوم تعیین می‌شود.

« ۱۲-۵ اثر اصطکاک دیوار

اصطکاک بین دیوار و خاک باعث کاهش فشار محرک خاک و افزایش فشار مقاوم آن می‌گردد. عملی شدن این تأثیر مستلزم جابه‌جایی نسبی بین دیوار و خاک است. معمولاً به دلیل کم بودن میزان کاهش فشار محرک و کافی نبودن میزان جابه‌جایی، از اثر اصطکاک در جهت اطمینان صرف نظر می‌شود. تأثیر اصطکاک بین دیوار و خاک در حالت مقاوم بیشتر می‌باشد و اگر اطلاعات کافی در مورد مقدار δ در دسترس نباشد، معمولاً این زاویه بین $\frac{1}{2}$ تا $\frac{2}{3}$ اختیار می‌شود.

« ۱۲-۶ اثر فشار آب و زهکشی

در بررسی پایداری دیوارها، علاوه بر فشار محرک و مقاوم ذکر شده، تأثیر فشار آب نیز باید در نظر گرفته شود. در حالتی که جریان آب در داخل خاک وجود ندارد، مقدار فشار آب به صورت هیدرواستاتیکی تعیین می‌گردد. در صورت وجود تراوش آب در خاک، میزان فشار آب در نقاط مختلف به کمک روشهای معمول از جمله رسم شبکه جریان تعیین می‌گردد. تأثیر فشار آب حایز اهمیت بوده و در برخی موارد، فشار کل وارد بر سازه به حدود دو برابر آن در حالت خاک خشک می‌رسد. بنابراین در طراحی این سازه‌ها، باید توجه کافی به فشار آب مبذول گردد.

« ۱۲-۷ اثر سربار

چنانچه سربار به صورت بار گسترده یکنواختی روی سطح خاک پشت دیوار اعمال گردد، مقدار آن به تنش مؤثر قائم σ'_z در روابط مربوط به تعیین فشارهای محرک و مقاوم افزوده می‌گردد.

« ۱۲-۸ اثر زلزله

تعیین دقیق نیرویی که خاک در حین زلزله بر دیوار نگهبان اعمال می‌کند، پیچیده است و معمولاً در طراحی از روشهای ساده شده‌ای برای محاسبه آن استفاده می‌گردد. روش مونونوبه - اُکابه، یکی از این

روشها است که بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. روش مذکور تعمیم تئوری کولمب برای شرایط شبه استاتیکی است و در هر دو حالت محرک و مقاوم به کار می‌رود.

۱۲-۸-۱ اثر زلزله در حالت محرک

ضریب فشار جانبی محرک خاک در حین وقوع زلزله K_{ae} از رابطه زیر تعیین می‌گردد:

$$K_{ae} = a \times b \quad (۶۸)$$

$$a = \frac{\cos^2(\phi' - \theta - \psi)}{\cos\psi \cos^2\theta \cos(\delta + \theta + \psi)}$$

$$b = \left[1 + \frac{\sin(\delta + \phi') \sin(\phi' - i - \psi)}{\cos(\delta + \theta + \psi) \cos(i - \theta)} \right]^{-2}$$

که در آن:

$$\theta = \beta - 90^\circ$$

$$\psi = \text{tg}^{-1} \left(\frac{K_h}{1 - K_v} \right)$$

که K_h و K_v به ترتیب ضرایب بدون بعد افقی و قائم زلزله می‌باشند و $\phi' - i \geq \psi$ زاویه سطح لغزش نسبت به افق α_{ae} از رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$\alpha_{ae} = \phi' - \psi + \text{tg}^{-1} \left[\frac{-\text{tg}(\phi' - \psi - i) + C_{a1e}}{C_{a2e}} \right] \quad (۶۹)$$

$$C_{a1e} = \sqrt{\text{tg}(\phi' - \psi - i) [\text{tg}(\phi' - \psi - i) + \text{cotg}(\phi' - \psi - \theta)] \times [1 + \text{tg}(\delta + \psi + \theta) \text{cotg}(\phi' - \psi - \theta)]} \quad (۷۰)$$

$$C_{a2e} = 1 + \{ \text{tg}(\delta + \psi + \theta) [\text{tg}(\phi' - \psi - i) + \text{cotg}(\phi' - \psi - \theta)] \} \quad (۷۱)$$

مقدار نیروی محرک وارد بر دیوار، از رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$P_{ae} = \frac{1}{2} K_{ae} \gamma H^2 (1 - K_v) \quad (۷۲)$$

این نیرو به دو مؤلفه استاتیکی P_a و دینامیکی ΔP_{ae} تقسیم می‌شود:

$$P_{ae} = P_a + \Delta P_{ae} \quad (۷۳)$$

محل اثر مؤلفه‌های استاتیکی و دینامیکی، به ترتیب در $\frac{1}{3}$ و $\frac{1}{6}$ ارتفاع دیوار از پایین آن در نظر

گرفته می‌شوند.

◀ ۱۲-۸-۲ اثر زلزله در حالت مقاوم

ضریب فشار جانبی مقاوم خاک K_{pe} در حین وقوع زلزله، از رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$K_{pe} = \frac{\cos^2(\varphi' + \theta - \psi)}{\cos\psi\cos^2\theta\cos(\delta - \theta + \psi)} \times \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\delta + \varphi')\sin(\varphi' + i - \psi)}{\cos(\delta - \theta + \psi)\cos(i - \theta)}} \right]^2 \quad (74)$$

زاویه سطح لغزش نسبت به افق α_{pe} از رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$\alpha_{pe} = \psi - \phi' + \text{tg}^{-1} \left[\frac{\text{tg}(\varphi' + \psi + i + C_{3e})}{C_{4e}} \right] \quad (75)$$

$$C_{a3e} = \sqrt{\text{tg}(\varphi' + i - \psi)[\text{tg}(\varphi' + i - \psi) + \text{cotg}(\varphi' - \psi + \theta)] \times [1 + \text{tg}(\delta + \psi - \theta)\text{cotg}(\varphi' - \psi + \theta)]} \quad (76)$$

$$C_{a4e} = 1 + \{\text{tg}(\delta + \psi - \theta)[\text{tg}(\varphi' - \psi + i) + \text{cotg}(\varphi' - \psi + \theta)]\} \quad (77)$$

مقدار نیروی مقاوم وارد بر دیوار، از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$P_{pe} = \frac{1}{2} K_{pe} \gamma H^2 (1 - K_v) \quad (78)$$

این نیرو را می‌توان به دو مؤلفه استاتیکی P_p و دینامیکی ΔP_{pe} تجزیه کرد:

$$P_{pe} = P_p + \Delta P_{pe} \quad (79)$$

در این حالت اثر زلزله باعث کاهش نیروی مقاوم می‌شود.

◀ ۱۲-۸-۳ اثر آب بر روی فشار جانبی

وجود آب اثر قابل توجهی بر میزان نیروهای وارد بر دیوارهای نگهدارنده دارد. وجود آب در جلوی دیوار می‌تواند علاوه بر اعمال فشار استاتیکی در حین وقوع زلزله، موجب اعمال فشار دینامیکی نیز بر دیوار شود (بند ۱۲-۸-۳-۱). وجود آب در خاک پشت دیوار نیز می‌تواند بر روی فشار جانبی وارد بر دیوار اثر بگذارد (بند ۱۲-۸-۳-۲).

◀ ۱۲-۸-۳-۱ آب در جلوی دیوار

تعیین میزان دقیق فشار دینامیکی ناشی از وجود آب در جلوی دیوار پیچیده است. فشار دینامیکی آب

در عمق Z_w با استفاده از روش وسترگارد، از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$P_w = \frac{7}{8} K_h \gamma_w \sqrt{Z_w H} \quad (۸۰)$$

P_w - فشار دینامیکی آب در عمق Z

H - ارتفاع دیوار

مقدار برآیند نیروی ناشی از فشار مذکور، از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$P_w = \frac{7}{12} K_h \gamma_w H^2 \quad (۸۱)$$

۱۲-۸-۳-۲ آب در پشت دیوار

فشار هیدرودینامیکی در پشت دیوار، تابع میزان حرکت نسبی دانه‌های جامد خاک و آب حفره‌ای در حین زلزله است. اگر ضریب نفوذپذیری خاک K کمتر از $۱۰^{-۵}$ متر بر ثانیه باشد، می‌توان از روابط بند ۱۲-۸-۱ استفاده کرد که در آن از وزن مخصوص اشباع خاک استفاده می‌شود. اگر ضریب نفوذپذیری بزرگتر از $۱۰^{-۵}$ متر بر ثانیه باشد، برای محاسبه فشار جانبی خاک در حین زلزله، باید از وزن مخصوص غوطه‌وری استفاده کرد و فشار هیدرودینامیکی (بند ۱۲-۸-۳-۱) و فشار هیدرواستاتیکی آب به فشار خاک اضافه می‌شوند.

۱۳

پهلوگیری

◀ ۱۳-۱ کلیات

طی پهلوگیری یک شناور یعنی از لحظه‌ای که بین شناور و سازه پهلوگیری، تماس حاصل می‌شود تا زمانی که شناور به سکون می‌رسد، بارهایی بر سازه‌ها اعمال می‌شوند. بزرگی بارها نه تنها به ابعاد و سرعت شناور، بلکه به خصوصیات سازه پهلوگیری، از قبیل نوع ضربه‌گیر و درجه جهندگی که در اثر برخورد از خود نشان می‌دهد بستگی خواهد داشت.

در مورد اسکله‌های ساحلی پشت خاکی بزرگ، بارهای پهلوگیری عموماً توسط فشار خاک مقاوم پشت اسکله تحمل شده و تأثیر آن روی خود سازه پهلوگیری کم است. در چنین مواردی نیازی به منظور کردن بارهای پهلوگیری نیست مگر برای جلوگیری از آسیب دیدگی کشتی‌ها. وقتی که کشتی به دیوار اسکله نزدیک می‌شود، جابه‌جایی آب سبب ایجاد پدیده بالشتکی و در نتیجه کاهش سرعت نزدیک شدن کشتی می‌شود. در طراحی سازه‌ها، بارهای پهلوگیری دارای تأثیری تعیین کننده خواهند بود.

◀ ۱۳-۲ عوامل عملیات

مؤلفه عمودی سرعت شناور عامل مهمی در محاسبه انرژی جنبشی پهلوگیری است. به دلیل تأثیر تعیین کننده جزئیات عملیات پهلوگیری روی سرعت شناور و تبعیت عملیات پهلوگیری از تجربیات عملی در طراحی پهلوگیرهای جدید باید با متخصصان سازه‌های پهلوگیری مشورت کرد همیشه امکان برخورد فاجعه‌آمیز کشتی‌هایی که از کنترل خارج شده‌اند وجود دارد. با توجه به عواقب وخیم ناشی از چنین برخوردهایی، از جمله هزینه بالای تعمیر پهلوگیرها، همواره اقدامهای احتیاطی لازم را جهت جلوگیری از چنین خسارتهایی باید انجام داد. علاوه بر این همواره باید احتمال اعمال بارهای غیر عادی بر پهلوگیرها در اثر تخریب و شکست و پیامد ناشی از آن و همچنین کمبود منابع را نیز در نظر گرفت.

۱۳-۳ ضربه‌گیر

ضربه‌گیرها وسایل جذب انرژی هستند که وظیفه اصلی آنها کاهش بار ناشی از برخورد شدید شناور در حال حرکت به سمت سازه است تا هم شناور و هم سازه بتوانند بدون خطر بار وارده را تحمل کنند. دستگاه‌های ضربه‌گیری باید قادر باشند علاوه بر تحمل بارهای بیشینه عمود بر جوه ضربه‌گیر، تمام مولفه‌های بار موازی با وجه ضربه‌گیر (هم افقی و هم عمودی) را نیز که از حرکات کشتی ناشی می‌شوند تحمل کنند.

۱۳-۴ برآورد بارهای پهلوگیری

بارهای ضربه‌ای عمود بر وجه پهلوگیر و بارهای اصطکاکی موازی با وجه پهلوگیر، بارهای وارده بر سازه می‌باشند. بار ضربه‌ای عمود بر وجه پهلوگیر به عوامل زیر بستگی دارد:

الف: انرژی پهلوگیری

ب: ضریب خروج از مرکز، یعنی نسبت برخورد مرکز جرمی

ج: مشخصات بار، تغییر شکل شناور، سازه و دستگاه ضربه‌گیر

راهنمای برآورد انرژی پهلوگیری طراحی در بند ۱۳-۵ ارائه شده است. ضریب خروج از مرکز برای برخورد مرکز جرمی، یعنی وقتی که مرکز جرم شناور به پهلوگیر برخورد می‌کند برابر واحد است. با دور شدن نقطه برخورد از مرکز جرم، انرژی برخورد نیز به همان نسبت کاهش پیدا می‌کند. انرژی شناور که با زاویه حمله غیر صفر و بدون کمک بر سازه وارد می‌شود، بین نقاط برخورد اول و برخورد دوم تقسیم خواهد شد. بسته به وضعیت دستگاه ضربه‌گیر، مقدار انرژی وارده در نقطه دوم می‌تواند دو برابر مقدار انرژی وارده در نقطه اول باشد.

راهنمای نحوه استقرار و میزان تأثیر دستگاه‌های ضربه‌گیر که از آنها برای ایجاد وضعیت پهلوگیری سخت یا نرم استفاده می‌شود، در قسمت‌های بعدی این آیین‌نامه آمده است. بار اصطکاکی طراحی موازی با وجه پهلوگیری، باید برابر حاصل ضرب مقدار μ در بار ضربه‌ای ماکزیمم طراحی و در هر دو جهت افقی و قائم در نظر گرفته شود. در اینجا μ ضریب اصطکاک بین دو وجه در تماس است.

۱۳-۵ برآورد انرژی پهلوگیری

انرژی جنبشی مؤثر یک کشتی را در حال پهلوگیری از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$E = \frac{1}{2} C_M m_D (V_B)^2 \quad (۸۲)$$

E - انرژی جنبشی مؤثر بر حسب کیلو نیوتن متر

m_D - تناژ جابه‌جایی کشتی بر حسب تن

V_B - مؤلفه سرعت کشتی در جهت عمود بر وجه پهلوگیری در زمان برخورد بر حسب متر بر ثانیه

C_M - ضریب جرم هیدرودینامیکی

اگر مقادیر ثبت شده انرژی پهلوگیری و تناژ کشتی‌ها در مکانهای مشابه از اسکله‌های مشابه در دسترس باشند، انرژی منتقل شده به سازه را می‌توان با استفاده از روش آماری استخراج کرد. باید توجه داشت که حالات پهلوگیری ظاهراً مشابه، کاملاً یکسان نیستند و تفاوت موجود، باعث ایجاد اختلاف زیادی بین انرژی‌های پهلوگیری خواهد شد. چنین اختلافی در اثر تفاوت در معرض قرار گرفتن، تفاوت شرایط جزر و مدی و تفاوت در سختی و آسانی پهلوگیری ایجاد می‌شود.

تأثیر جرم هیدرودینامیکی بسیار پیچیده است و در حال حاضر نمی‌توان اثر آن را به گونه‌ای رضایتبخش تخمین زد. مطالعات نشان می‌دهند که جرم هیدرودینامیکی به عوامل مختلفی از قبیل تمیز یا آلوده بودن بدنه کشتی، تمیزی تیرک ته کشتی، نوع اسکله ساحلی یا اسکله، سرعت شناور و مانند آن بستگی دارد. تحقیقات نشان داده است که ضریب جرم هیدرودینامیکی، مقادیری بین $1/3$ و $3/6$ دارد. در صورت در دسترس نبودن اطلاعات موثق، می‌توان مقدار C_M را در رابطه محاسبه انرژی جنبشی مؤثر، مقداری بین $1/3$ و $1/8$ در نظر گرفت.

آمار مربوط به سرعت برخورد شناورهای بزرگ، نشان می‌دهند که مقدار بیشینه سرعت عرضی با ابعاد کشتی، فراوانی ورود کشتی و شرایط محل تغییر می‌کند. مقادیر حدی سرعت در بدترین حالت پهلوگیری، چهار برابر مقادیر مربوط به بهترین حالت می‌باشند.

توصیه می‌شود که مقدار سرعت عرضی جهت طراحی را، مثلاً در حالت عمود بر وجه پهلوگیری، از آمار مربوط به سرعت نزدیک شدن به اسکله‌های مشابه در مکانهای دیگر به دست آورد، به شرط اینکه

نحوه در معرض قرار گرفتن، شرایط جزر و مدی و سختی و آسانی نزدیک شدن شناورها نیز مشابه باشند. در صورت نبود آمار می‌توان از مقادیر ارایه شده در جدول ۱-۱۳ استفاده کرد.

جدول ۱-۱۳ سرعت پیشنهادی پهلوگیری مایل

سرعت اریب (متر بر ثانیه)	تناژ(تن)
۰/۳	تا ۲۰۰۰
۰/۱۸	۱۰۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰
۰/۱۶	۱۰۰۰۰ تا ۱۲۵۰۰۰
۰/۱۴	بالای ۱۲۵۰۰۰

عملیات پهلوگیری، به کمک یدک‌کش و یا توسط راننده شناور انجام می‌گیرد. معمولاً دو دسته بزرگتر کشتی‌های جدول ۱-۱۳، برای پهلوگیری از یدک‌کشیها کمک می‌گیرند و دو دسته دیگر، بدون استفاده از یدک‌کش پهلوگیری می‌کنند. در بررسی پهلوگیری کشتی‌های کمتر از ۲۰۰۰ تن، اعم از اینکه بدنه شناورها با تسمه بسته شده یا نشده باشند، باید شرایط محلی دقیقاً مورد توجه قرار گیرند. مقادیر سرعت‌های پهلوگیری ارایه شده در جدول ۱-۱۳ می‌توانند در شرایط عادی نیز به کار روند. انتخاب سرعت طراحی برای هر دسته از کشتی‌ها، با در نظر گرفتن عوامل زیر که در کنترل شناور نیز مؤثرند صورت می‌گیرد.

الف: ابعاد کشتی، نوع و فراوانی ورود

ب: محدودیتهای احتمالی موجود در حرکت کشتی

ج: شرایط موج احتمالی

د: شرایط جریان احتمالی

هـ: شرایط باد احتمالی

و: استفاده از یدک‌کشیها

ز: بود یا نبود ابزار اندازه‌گیری سرعت بر روی شناور

افزایش تعداد پهلوگیری، باعث افزایش سرعت نزدیک شدن کشتی می‌شود و باید در کاربرد پهلوگیرها به عنوان پایانه کشتی‌های کوچک به این موضوع توجه شود. مقادیر سرعت طراحی سینه و پاشنه کشتی که توسط محققان برای شناورهای کوچک یا شناورهای رو رو که بدون یدک‌کش و با توان خود پهلوگیری می‌کنند استفاده شده، به اندازه قابل ملاحظه‌ای متفاوت است. انتخاب این مقادیر باید بر اساس فاصله توقف شناورهای مورد نظر در پهلوگیر صورت گیرد. سرعت‌های مورد استفاده از ۰/۴ تا ۱ متر بر ثانیه متغیر است.

۱۴

مهاربندی

◀ ۱۴-۱ کلیات

بارهای ناشی از مهاربندی، نیروهایی هستند که شناور مهار شده از طریق خط تماس شناور با سازه، دستگاه مهاربندی و طنابهای مهاربندی بر سازه دریایی وارد می‌کند. همچنین این بارها شامل نیروهایی هستند که در اثر مانور شناور در کنار پهلوگیر (اعم از تخلیه، ترک، اعوجاج و نوسانهای قائم سینه کشتی) بر سازه اعمال می‌شوند. لازم به تذکر است که نیروهای ناشی از بارهای ضربه و اصطکاک شرح داده شده در فصل ۱۳، جزء این نیروها نیستند.

بارهای مهاربندی در بنادر و لنگرگاه‌های محافظت شده، به وسیله باد و جریانهای دریایی که هر دو از نوع مغشوش هستند ایجاد می‌شوند. اکثر این اغتشاشها دارای دوره تناوبهایی کوچکتر از دوره تناوب تشدید شناورهای بزرگ مهار شده‌اند و دوره تناوب کوچک نوسان شناورهای بزرگ مهار شده، باعث تشدید واکنش دینامیکی شاخص این شناورها نمی‌شوند. با این که واکنش شناورهای کوچک به این اغتشاشها قابل ملاحظه می‌باشد، بارهای ایجاد شده در اثر آن در طراحی سازه نقشی ندارند.

راهنمای برآورد بارهای مهاربندی که بر اثر باد و جریانها ایجاد می‌شوند، در بند ۱۴-۲ ارایه خواهد شد. در مکانهایی که بارگذاری ناشی از موج شدید است، واکنش دینامیکی شناور متصل به خطوط مهاربندی و ضربه‌گیرها، باید توسط آزمایش مدل فیزیکی، تحلیلهای ریاضی محاسبه شوند. راهنمای شرایط قابل قبول برای قایقها و کشتی‌های مهار شده، در فصل ۱۵ شرح داده خواهد شد.

◀ ۱۴-۲ برآورد بارهای مهاربندی

برای شناورهای حاوی بار تا ۲۰۰۰۰ تن، در صورت نبود تخمینی مناسب برای بارهای مهاربندی، باید طناب‌بندها را در فواصل ۱۵ تا ۳۰ متری قرار داد تا بتوان به هر طناب‌بند، بیش از یک طناب متصل کرد. ظرفیت باربری طناب‌بندها در جدول ۱۴-۱ ارایه شده است. ظرفیت باربری طناب‌مهراها وقتی که طنابهای مهاربندی از طریق آنها باز گردانده می‌شوند، باید مطابق جدول ۱۴-۱ باشد.

جدول ۱۴-۱ بارگذاری اسمی طناب‌بندها و طناب‌مهارها برای شناورهای تا ۲۰,۰۰۰ تنی

بارگذاری طناب مهار (کیلو نیوتن)	بارگذاری طناب‌بند (کیلو نیوتن)	تناژ شناور با بار (تن)
۲۰۰	۱۰۰	تا ۲۰۰۰
۵۰۰	۳۰۰	تا ۱۰۰۰۰
۱۰۰۰	۶۰۰	تا ۲۰۰۰۰

برای شناورهای بارگیری شده بزرگتر از ۲۰۰۰۰ تن، باید محاسبات ویژه‌ای را برای بارهای بیشینه احتمالی در مهاربندی (با در نظر گرفتن تعداد الگوهای استقرار، مشخصات و پیش‌کشیدگی خطوط مهاربندی) انجام داد. سرعت باد طراحی را باید همان‌گونه که در قسمت مربوطه شرح داده شد محاسبه کرد، مگر در حالتی که شناورها در زمان وزش بادهای با سرعت بالا، پهلوگیرها را ترک می‌کنند. در این حالت سرعت باد طراحی باید بر پایه روندی که در پی می‌آید استخراج شود. سرعت جریان طراحی نیز باید همان‌گونه که در قسمت مربوطه شرح داده شد استخراج شود.

نیروهای ناشی از باد و جریان، به طور قابل ملاحظه‌ای با نوع و ابعاد سازه تغییر می‌کنند و با آزمایش روی مدل فیزیکی می‌توان تخمین دقیق آنها را به دست آورد. نیروی باد وارد بر شناورهای باری و دیگر کشتی‌های دارای وجوه مرتفع، تابعی از طرح تفصیلی آنها می‌باشد، به طوری که تانکرهای بسیار عظیم، نوسانها و انحرافهای قابل ملاحظه‌ای را در نیروی طولی مربوط به طراحی سینه کشتی نشان می‌دهند. علاوه بر این، نیروی ناشی از جریانهای طولی همان طور که در شکل ۱۴-۱ نشان داده شده است، تا حد زیادی به مقیاس مورد استفاده وابسته است. در شکل مذکور، ضرایب مربوط به نیروهای ناشی از جریانهای طولی وارد بر کشتی‌های باری، مربوط به حالت پروتوتایپ است در صورتی که ضرایب نیروهای طولی دیگر، از آزمایش روی مدل به دست آمده‌اند. به همین دلیل باید از روش محاسبه‌ای که در زیر ارایه می‌شود، تنها به عنوان راهنمای محاسبه نیروهای باد و جریان وارده بر کشتی‌ها استفاده کرد. وقتی که تأثیر چنین نیروهایی در طراحی سازه مورد نظر بحرانی است، باید به نتایج حاصل از آزمایش روی مدل فیزیکی شناورهای مورد نظر و یا کشتی‌های مشابه استناد کرد. برآیند نیروهای باد و جریان را می‌توان با یک نیروی طولی و یک نیروی عرضی به همراه گشتاوری حول محور قائم، که همگی بر

مرکز شناور اعمال می‌شوند و یا با دو نیروی عرضی عمود بر هم به همراه یک نیروی طولی جایگزین کرد. در این آیین‌نامه، از روش اخیر استفاده شده است و مقدار و مفهوم نیروها در زیر ارایه شده‌اند.

نیروی باد:

$$F_{TW} = C_{TW} \rho_A A_L V_w^2 \times 10^{-4} \quad (۸۳)$$

$$F_{LW} = C_{LW} \rho_A A_L V_w^2 \times 10^{-4} \quad (۸۴)$$

که در آن:

F_{TW} - نیروی باد عرضی بر حسب کیلو نیوتن که در جلو یا انتها وارد می‌شود.

F_{LW} - نیروی باد طولی بر حسب کیلو نیوتن

C_{TW} - ضریب نیروی عرضی باد که در جلو یا انتها وارد می‌شود.

C_{LW} - ضریب نیروی طولی باد

ρ_A - چگالی هوا بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب که می‌تواند مقادیری از $۱/۳۰۹۶$ در صفر درجه سانتیگراد تا $۱/۱۷۰۳$ در ۳۰ درجه سانتیگراد داشته باشد.

A_L - مساحت تصویر شده طولی شناور در بالای داغ آب (خط آب) بر حسب متر مربع

V_w - سرعت باد طراحی در ارتفاع ۱۰ متری بالای سطح آب بر حسب متر بر ثانیه

نیروهای جریان:

$$F_{TC} = C_{TC} C_{CT} \rho L_{BP} d_m V'_c{}^2 \times 10^{-4} \quad (۸۵)$$

$$F_{LC} = C_{LC} C_{CL} \rho L_{BP} d_m V'_c{}^2 \times 10^{-4} \quad (۸۶)$$

طوری که:

F_{TC} : نیروی عرضی جریان بر حسب کیلو نیوتن که جلو یا انتها اعمال می‌شود

F_{LC} : نیروی طولی جریان بر حسب کیلو نیوتن

C_{TC} : ضریب نیروی عرضی جریان که جلو یا انتها اعمال می‌شود

C_{LC} : ضریب نیروی طولی جریان

C_{CL} : ضریب تصحیح عمق برای نیروهای طولی جریان

C_{CT} : ضریب تصحیح عمق برای نیروهای عرضی جریان

p: چگالی آب بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب که می‌توان مقدار آن را برای آب خالص برابر ۱۰۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب و برای آب دریا ۱۰۲۵ کیلوگرم بر متر مکعب در نظر گرفت

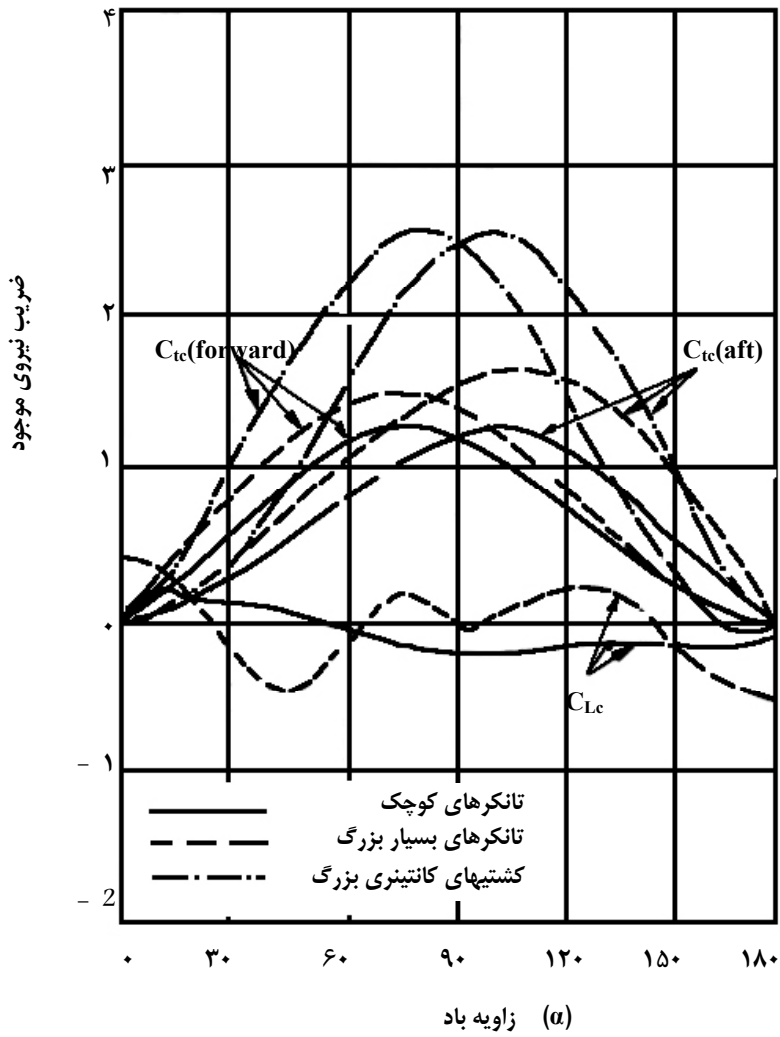
L_{BP}: طول بین عمودهای شناور بر حسب متر

d_m: آب‌خور میانگین شناور بر حسب متر

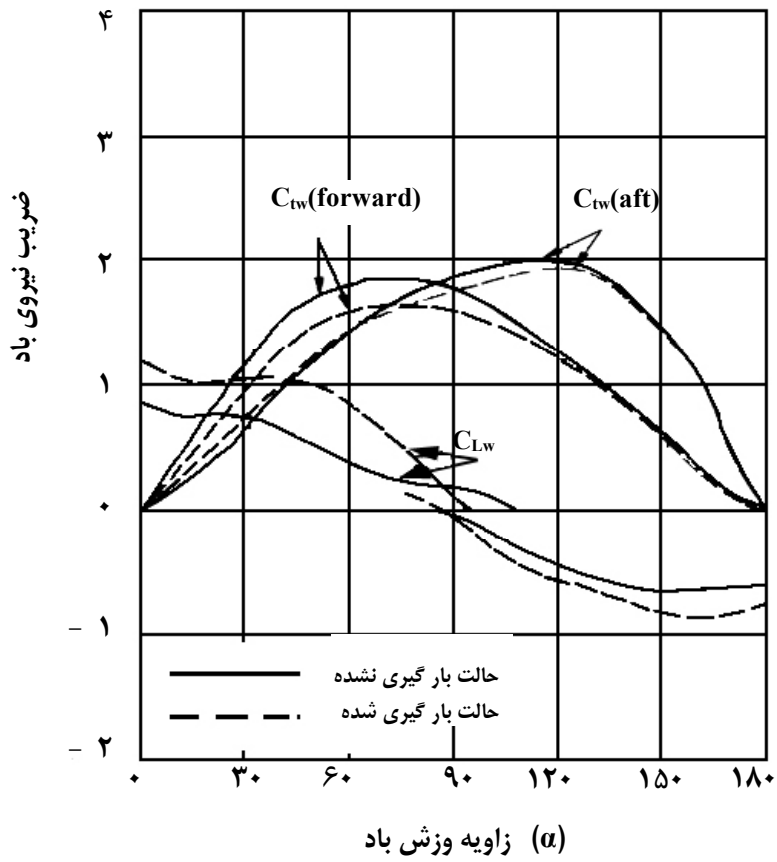
V_c: متوسط سرعت جریان در عمق میانگین شناور بر حسب متر بر ثانیه

مقادیر مربوط به ضرایب نیروی باد در اشکال ۱۴-۲ و ۱۴-۳ و ۱۴-۴ به ازای زوایای مختلف جهت وزش باد، انواع شناورها و حالت‌های بارگیری شده و بارگیری نشده ارائه شده است. مقادیر مربوط به ضرایب نیروی جریان نیز در شکل ۱۴-۱ و ضرایب تصحیح برای اثرات آب کم عمق در شکل‌های ۱۴-۵ و ۱۴-۶ ارائه شده‌اند. برای نفتکش‌های بسیار بزرگ، علاوه بر بزرگی نیروی طولی، جهت آن هم با کاهش عمق تغییر می‌کند و کاربرد ضرایب تصحیح مشکل می‌شود. در چنین مواردی مقدار نیروی کل در مقایسه با نیروهای عرضی، با کاهش عمق تا جایی که نسبت عمق به آب‌خور برابر $\frac{1}{10}$ شود، کوچک باقی می‌ماند. شکل ۱۴-۷ پوش ضرایب نیرو را نشان می‌دهد که از آن می‌توان برای زوایای حمله جریان‌های مختلف و اعماق مختلف استفاده کرد. باید توجه داشت که این مقادیر با مقادیری که از مطالعات تونل باد و مخزن یدک‌کشی شده به دست آمده‌اند مطابقت دارد.

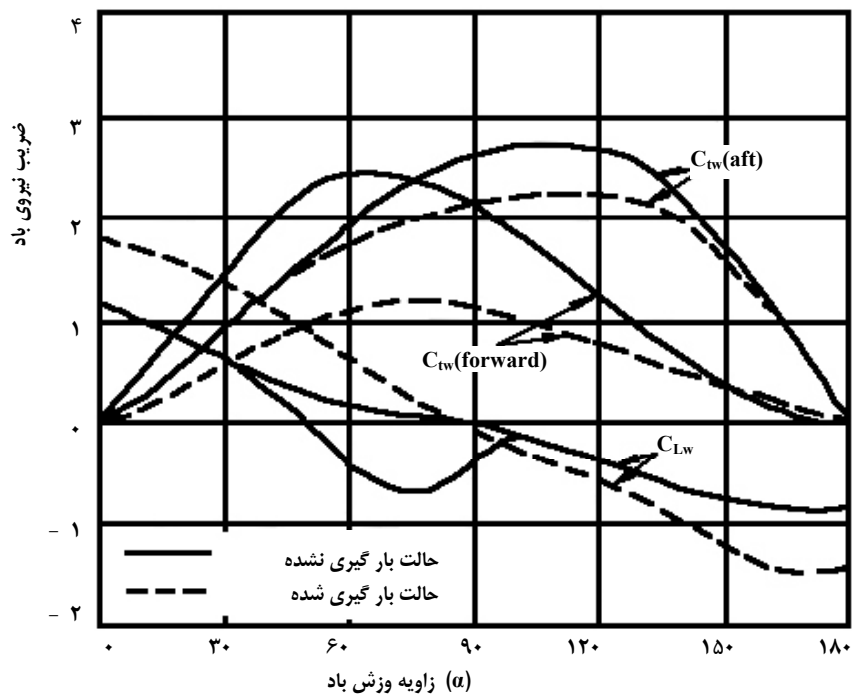
مقادیر نمونه برای طولها، آب‌خورها و مساحت‌های جانبی تانکرها و شناورهای باری نیز در شکل‌های ۱۴-۸ و ۱۴-۹ و ۱۴-۱۰ ارائه شده‌اند. از شکل‌های مذکور می‌توان به منزله راهنما برای محاسبه مقادیر کمیتهای مورد استفاده در روابط این بخش استفاده کرد، اما برای طراحی‌های عملی، بهتر است از مشخصات کشتی‌های واقعی که به پهلوگیر متصل می‌شوند استفاده شود.



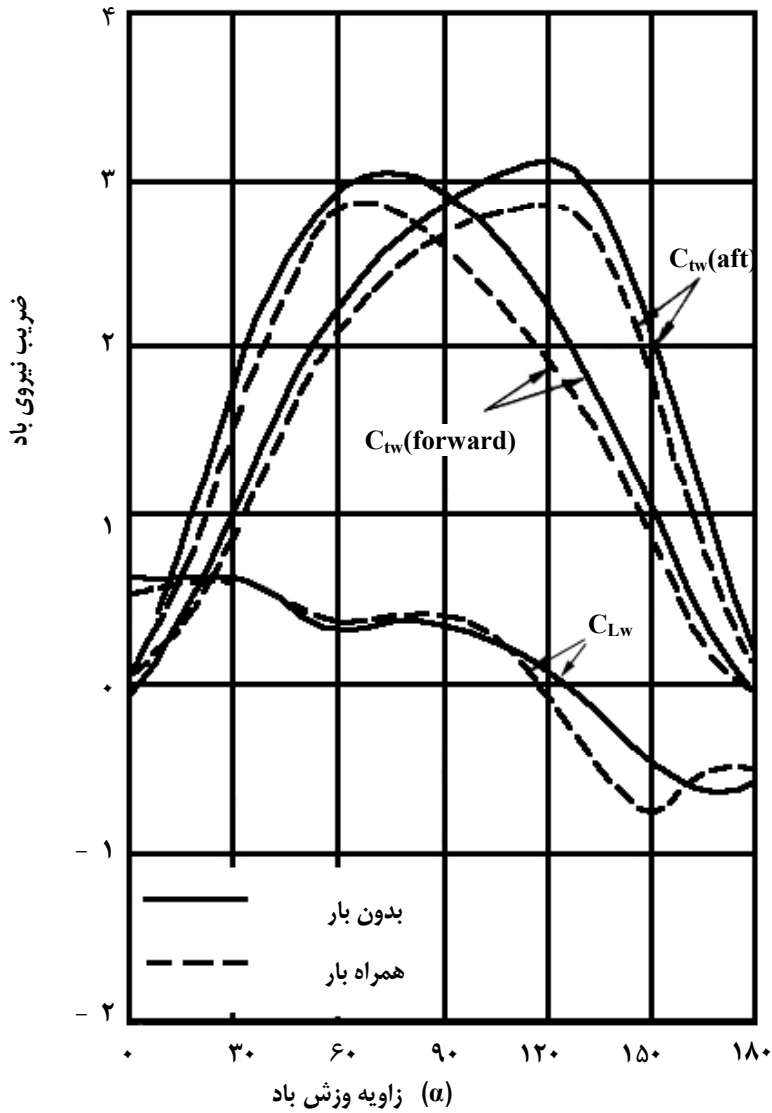
شکل ۱۴-۱ ضرایب نیروی ناشی از جریانهای دریایی برای انواع کشتیها در آب عمیق



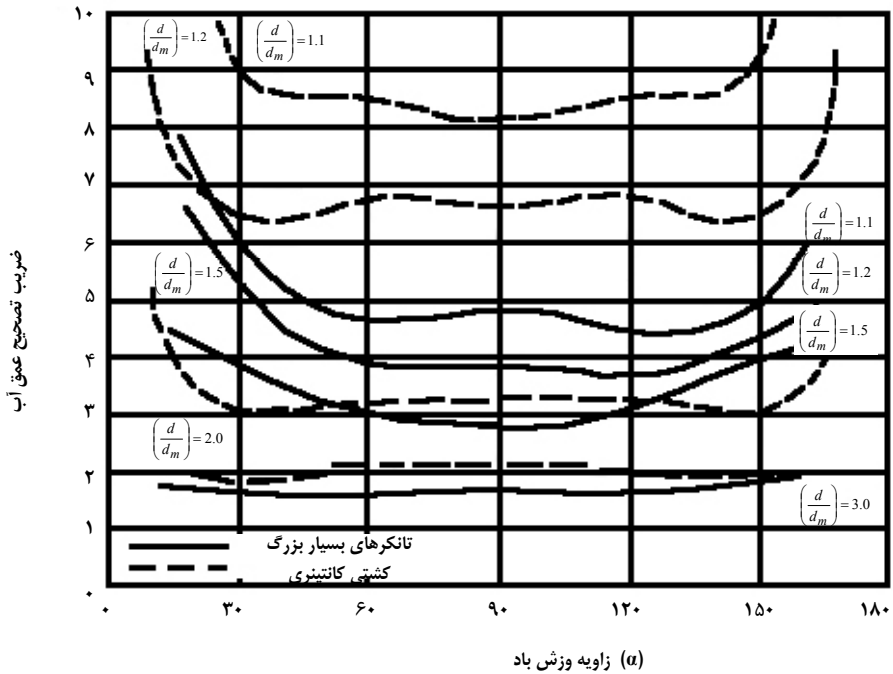
شکل ۱۴-۲ پوش ضرایب نیروی ناشی از باد برای شناورهای حامل بار خشک و مخازن کوچک



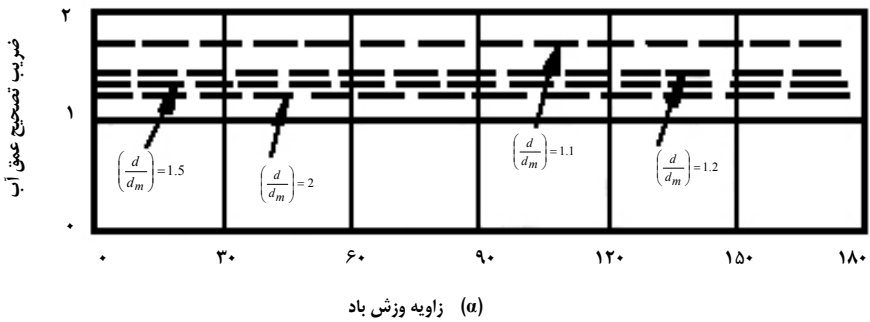
شکل ۱۴-۳ ضرایب نیروی ناشی از باد برای تانکرهای بزرگ



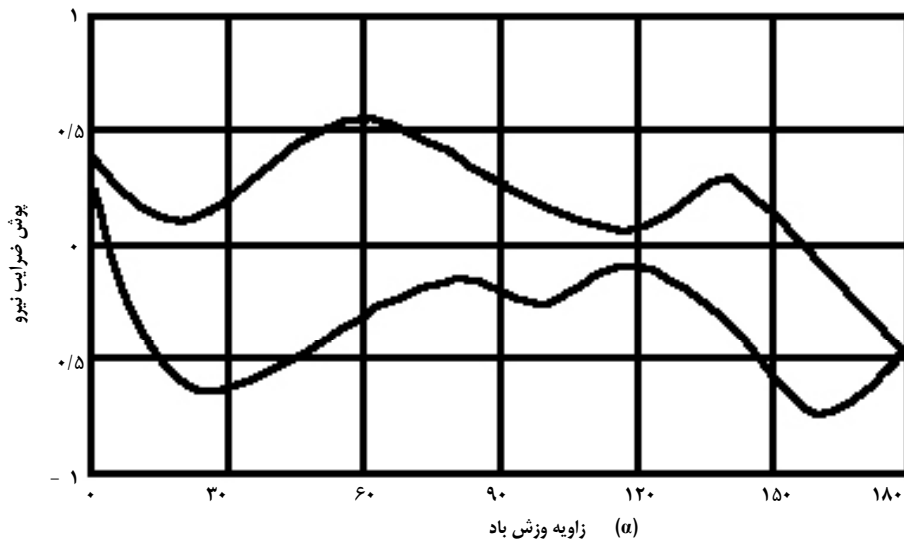
شکل ۱۴-۴ ضرایب نیروی ناشی از باد برای کشتی‌های باری نمونه



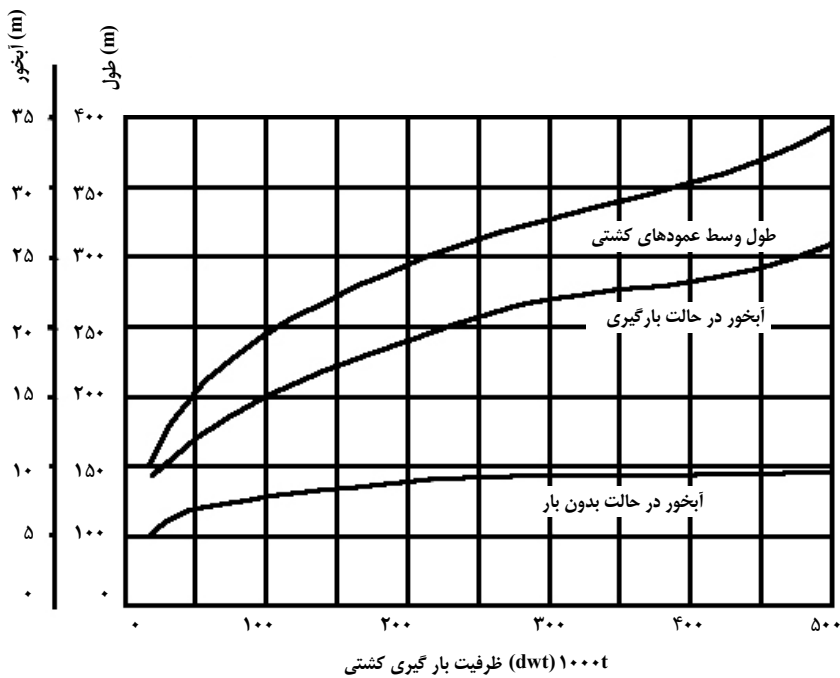
شکل ۱۴-۵ ضرایب تصحیح عمق آب برای نیروهای جانبی ناشی از جریانهای دریایی



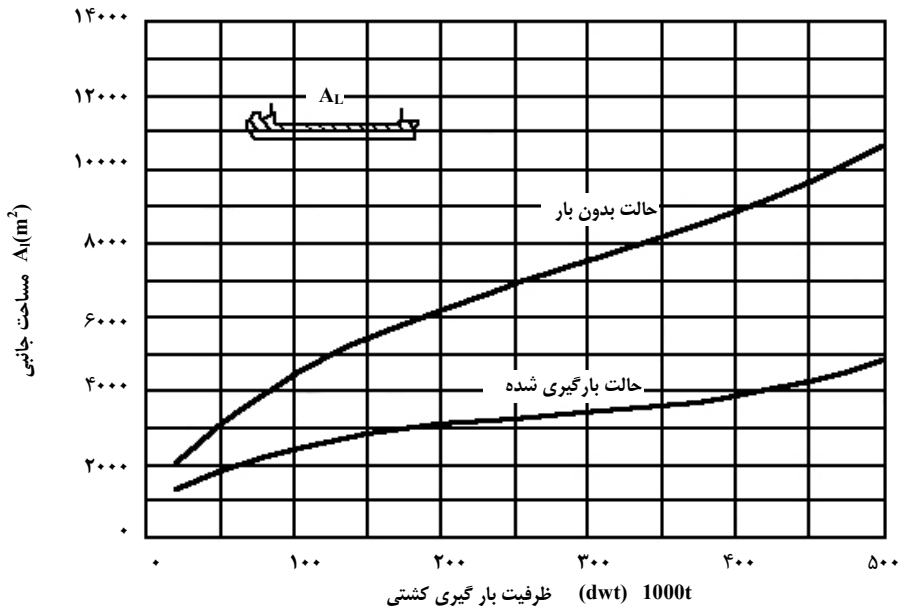
شکل ۱۴-۶ ضریب تصحیح عمق برای نیروی طولی ناشی از جریانهای دریایی بر کشتیهای باری



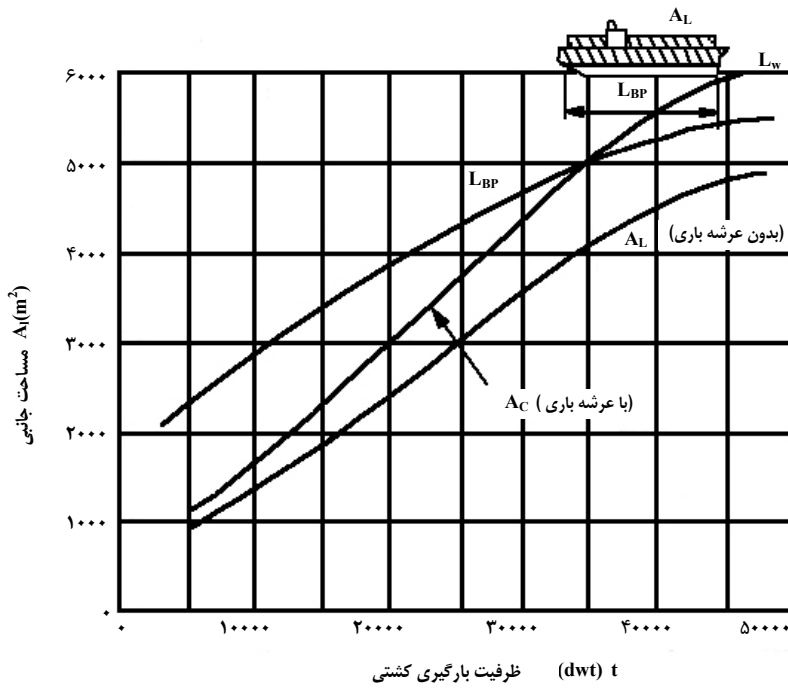
شکل ۱۴-۷ پوش ضرایب نیروی طولی برای VLCC در آب کم عمق



شکل ۱۴-۸ طولها و آبخورهای نمونه برای تانکرها



شکل ۱۴-۹ سطوح تصویر شده طولی نمونه برای تانکرها



شکل ۱۴-۱۰ طولها و سطوح افقی تصویر شده برای کشتیهای باری

۱۵

شرایط قابل قبول موج

برای مهار قایق

◀ ۱-۱۵ کلیات

در این قسمت راهنمایی‌های لازم برای تعیین ارتفاع بیشینه موج قابل قبول برای قایقهای لنگر گرفته در کنار اسکله، دیوارهای ساحلی بنادر دریایی و ماهیگیری و یدک‌کشهای لنگر گرفته در کنار کشتی‌های بزرگتر ارایه می‌شود. این موضوع بر خلاف اهمیت آن، به ندرت در متون منتشر شده مورد بحث قرار گرفته‌اند. از آنجا که نظر کارشناسان بندر در این زمینه متغیر است، ارقام مورد اشاره در این قسمت را باید فقط به منزله راهنمایی مورد استفاده قرار داد. در مواردی که فرایند لنگرگیری، با دقت کافی صورت گرفته و قایقها در دریای موج لنگر نگرفته باشند، شرایط قابل قبول قایق می‌تواند بیشتر از ارتفاعهایی باشد که در زیر ذکر می‌شود. علاوه بر این اگر برای جلوگیری از برخورد، قایقها در فاصله مناسب از اسکله و فاصله کافی بین یکدیگر لنگر گرفته باشند، امکان تحمل امواجی با ارتفاع بزرگتر را خواهند داشت.

اگر زمان تداوم موج طراحی معلوم باشد باید ارتفاعهای داده شده را به منزله میانگین ارتفاع بیشینه موج (که توسط آنها می‌توان ارتفاع عمده موج بیشینه قابل قبول را به دست آورد) منظور و بیشینه ارتفاع شاخص موج را با استفاده از آنها محاسبه کرد. اگر زمان تداوم موج طراحی معلوم نباشد، ارتفاع شاخص موج را می‌توان برابر نصف میانگین ارتفاع بیشینه موج در نظر گرفت.

چون پاسخ کشتی‌های تفریحی و قایقهای ماهیگیری به امواج با دوره تناوب یک دقیقه و یا بیشتر، مشابه پاسخ آنها به جریانها است، می‌توان از تأثیر چنین امواج بلندی بر قایقهای لنگر گرفته صرف نظر کرد. بنابر این معیار ارایه شده در بندهای ۱۵-۲ تا ۱۵-۴ را می‌توان برای کنترل ارتفاع امواج داخل بندر که دوره تناوبی در حد دوره تناوب امواج طوفان یا دوراً دارند به کار برد.

◀ ۲-۱۵ بندرگاهها

ارتفاع بیشینه موج قابل قبول، معمولاً برابر $0/3$ متر در نظر گرفته می‌شود. چنین فرضی به ارتفاع بیشینه قابل قبول موج طراحی برابر $0/15$ متر منجر می‌گردد. محدودیت فضا یکی از محدودیتهای عمده

در بندرگاهها است که در نتیجه آن، قایقها مجبور به لنگرگیری در فاصله کمی از یکدیگر می‌باشند. این امر باعث می‌شود که برای جلوگیری از برخورد قایقها با یکدیگر، امکان جابه‌جایی بسیار کمی وجود داشته باشد. بنابر این بندرگاههای واقع در معرض امواج را باید از طریق مجموعه‌ای از موج‌شکنهای هم‌پوشان، به منظور فراهم آوردن شرایط قابل قبول موج محافظت کرد. راهنمایی کلی در مورد چنین بندرگاههایی، این است که در هیچ وضعیتی از جزر و مد، نباید امکان مشاهده مستقیم دریایی باز از تراز آب محل لنگرگیری وجود داشته باشد.

۱۵-۳ بندر ماهیگیری

از آنجا که قایقهای ماهیگیری معمولاً بزرگتر و مقاوم‌تر از قایقهای تفریحی هستند، ارتفاع بیشینه موج قابل قبول برای قایقهای با طول کمتر از ۳۰ متر، برابر ۰/۸ متر در نظر گرفته می‌شود. چنین فرضی به ارتفاع شاخص قابل قبول موج بیشینه برابر ۰/۴ متر منجر می‌شود. برای تأمین امنیت قایقهای ماهیگیری همانند قایقهای تفریحی، معمولاً از بنادر و حوضچه‌های داخلی استفاده می‌شود.

۱۵-۴ بارگیری و باراندازی

یکی از مشکلات عمده ناشی از اثر موج بر روی قایق بزرگ یا یدک‌کشی که برای بارگیری و یا تخلیه بار در کنار کشتی بزرگتری لنگر گرفته است، حرکت نسبی بین دو شناور می‌باشد. شرایط قابل قبول موج برای تخلیه و بارگیری، چه در داخل بنادر بزرگ و چه دور از ساحل، به مشخصات بار، روش تخلیه و بارگیری و نوع و مقدار ریسک پذیرفته شده بستگی دارد. بیشینه ارتفاع قابل قبول کمتر از ۲ متر می‌باشد، در نتیجه بیشینه ارتفاع قابل قبول موج شاخص در حدود ۱ متر خواهد بود، مشروط بر این که چنین وضعیتی از نظر حفظ کشتی بزرگتر در محل لنگرگیری نیز قابل قبول باشد.

مراجع

-
- 1- API – RP2A, Recommended practice for planning, designing and constructing fixed offshore platforms. (ver20 – 1996)
 - 2- BNV – OS101, Design of offshore wind turbine structures (2002)
 - 3- Technical standards and commentaries for port and harbour facilities in Japan (1999)
 - 4- Hydrodynamics of offshore structures, Sengul (1994)
 - 5- Offshore structural engineering, Thomas H. Dawson (1983)
 - 6- Dynamics of offshore structures, James Wilson (1984)
 - 7- Dynamics of offshore structures, Minoo H. Patel (1989)

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
(Loadings and Design Consideration)**

No: 300-1

**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 (ملاحظات محیطی و بارگذاری)»، شامل پانزده فصل است.

مشخصه‌های موج، اقلیم موج آب عمیق، اثرات آب کم عمق، امواج بلند، ثبت و تحلیل امواج، برون‌یابی داده‌های موج، اثرات موج شکنها و دیوارهای دریایی بر روی امواج، پاسخ بندر، نیروی حاصل از موج، بارگذاری جریان، بارگذاری زلزله، فشار جانبی خاک، پهلوگیری، مهاربندی و شرایط قابل قبول موج برای مهار قایق، فصلهای مختلف نشریه را تشکیل می‌دهند. دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور، پیمانکاران و عوامل دیگر می‌توانند از این نشریه به عنوان راهنما استفاده کنند.