جمهوری اسلامی ایران

سازمان برنامه و بودجه کشور

راهنمای طراحی موج‌شکن‌های توده‌سنگی و مرکب در برابر سونامی

ضابطه شماره ۷۵۲

معاونت فنی، امور زیربنایی و تولیدی

امور نظام فنی و اجرایی

nezamfanni.ir

وزارت راه و شهرسازی

سازمان بنادر و دریانوردی

http://coastseng.pmo.ir

۱۳۹۷

shaghool.ir

اصلاح مدارک فنی

خواننده گرامی:

امور نظام فنی و اجرایی معاونت فنی، امور زیربنایی و تولیدی سازمان برنامه و بودجه کشور، با استفاده از نظر کارشناسان برجسته مبادرت به تهیه این نشریه کرده و آن را برای استفاده به جامعه‌ی مهندسی کشور عرضه نموده است. با وجود تلاش فراوان، این اثر مصون از ایرادهایی نظیر غلط‌های مفهومی، فنی، ابهام، ایهام و اشکالات موضوعی نیست.

از این‌رو، از شما خواننده‌ی گرامی صمیمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده هر گونه ایراد و اشکال فنی، مراتب را بصورت زیر گزارش فرمایید:

۱- در سامانه مدیریت دانش اسناد فنی و اجرایی (سما) ثبت‌نام فرمایید: sama.nezamfanni.ir

۲- پس از ورود به سامانه سما و برای تماس احتمالی، نشانی خود را در بخش پروفایل کاربری تکمیل فرمایید.

۳- به بخش نظرخواهی این نشریه مراجعه فرمایید.

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

۵- ایراد مورد نظر را بصورت خلاصه بیان دارید.

۶- در صورت امکان متن اصلاح شده را برای جایگزینی ارسال کنید.

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

پیشاپیش از همکاری و دقت نظر جنابعالی قدردانی می‌شود.

نشانی برای مکاتبه: تهران، میدان بهارستان، خیابان صفی علی‌شاه – مرکز تلفن ۳۳۲۷۱

سازمان برنامه و بودجه کشور، امور نظام فنی و اجرایی

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

shaghool.ir

باسمه تعالی

ریاست جمهوری
سازمان برنامه و بودجه کشور
رییس سازمان

بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران	**شماره:**	**۹۷/۷۴۲۷۱**
	تاریخ:	**۱۳۹۷/۰۲/۲۳**

موضوع: راهنمای طراحی موج‌شکن‌های توده‌سنگی و مرکب در برابر سونامی

در چارچوب نظام فنی و اجرایی یکپارچه کشور موضوع ماده (۳۴) قانون احکام دائمی برنامه‌های توسعه کشور و ماده (۲۳) قانون برنامه و بودجه و مواد (۶) و (۷) آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی مصوب سال ۱۳۵۲، به پیوست ضابطه شماره ۷۵۲ امور نظام فنی و اجرایی، با عنوان «راهنمای طراحی موج‌شکن‌های توده‌سنگی و مرکب در برابر سونامی» از نوع گروه سوم ابلاغ می‌شود.

رعایت مفاد این ضابطه در صورت نداشتن ضوابط بهتر، از تاریخ ۱۳۹۷/۰۷/۰۱ الزامی است.

امور نظام فنی و اجرایی این سازمان دریافت‌کننده نظرات و پیشنهادهای اصلاحی در مورد مفاد این ضابطه بوده و اصلاحات لازم را اعلام خواهد کرد.

محمد باقر نوبخت

بسمه تعالی

پیشگفتار

استفاده از ضوابط و معیارهای فنی در مراحل امکان‌سنجی، مطالعات پایه، مطالعات تفصیلی، طراحی و اجرای طرح‌های تملک سرمایه‌ای به لحاظ توجیه فنی و اقتصادی طرح‌ها، ارتقای کیفیت، تامین پایایی و عمر مفید از اهمیت ویژه برخوردار است. نظام فنی و اجرایی طرح‌های تملک دارایی سرمایه‌ای کشور، موضوع تصویب نامه شماره ۴۲۳۳۹/ت۳۳۴۹۷ه مورخ ۱۳۸۵/۰۴/۲۰ هیات وزیران و آیین‌نامه استانداردهای اجرایی موضوع ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه، ناظر بر به‌کارگیری معیارها، استانداردها و ضوابط فنی در مراحل مختلف طرح‌ها می‌باشند.

سازمان برنامه و بودجه کشور بنابر مفاد ماده ۳۴ احکام دائمی برنامه‌های توسعه، موظف به تهیه و ابلاغ ضوابط، مشخصات فنی، آیین‌نامه‌های فنی و معیارهای مورد نیاز طرح‌های مشمول نظام فنی و اجرایی کشور است، لیکن با توجه به تنوع و گستردگی طرح‌های عمرانی و افزایش ظرفیت تخصصی دستگاه‌های اجرایی، طی سالیان اخیر در تهیه و تدوین این گونه مدارک فنی از توانمندی دستگاه‌های اجرایی نیز استفاده شده است. از دستگاه‌های اجرایی که در سنوات اخیر همکاری چشمگیری در تدوین اسناد فنی تخصصی داشته است، سازمان بنادر و دریانوردی می‌باشد. با توجه به وجود حدود ۵۸۰۰ کیلومتر خط ساحلی در شمال و جنوب کشور ایران لازم است اسناد فنی تخصصی در زمینه سازه‌های دریایی و ساحلی توسعه یابد. یکی از مخاطرات احتمالی برای سواحل کشور، رویداد سونامی می‌باشد و آگاهی از نحوه طراحی موج‌شکن‌های مرسوم و یا تقویت موج‌شکن‌های موجود در مراحل مختلف (طراحی تا اجرا) تاثیر مستقیمی بر عملکرد آن‌ها در برابر سونامی احتمالی خواهد داشت. بر این اساس و با اعلام آمادگی سازمان بنادر و دریانوردی به‌عنوان دستگاه اجرایی مربوط، کار تدوین دستورالعمل طراحی موج‌شکن‌های توده‌سنگی و مرکب در برابر سونامی به انجام رسید.

سازمان بنادر و دریانوردی در راستای وظایف قانونی و حاکمیتی خود در سواحل، بنادر و آبراهه‌های تحت حاکمیت کشور مبنی بر ساخت و توسعه و تجهیز بنادر کشور و نیز صدور هرگونه مجوز ساخت و ساز دریایی و به پشتوانه مطالعات و تحقیقات صورت پذیرفته در بخش مهندسی سواحل و بنادر، به منظور ایجاد زمینه‌های لازم برای طراحی و احداث سازه‌ها و تاسیسات دریایی مطمئن و با دوام در سطح کشور لازم دید تا تهیه و تدوین دستورالعمل حاضر با مدیریت آن سازمان در دستور کار قرار گیرد. سازمان بنادر و دریانوردی کار تدوین دستورالعمل طراحی موج‌شکن‌های توده‌سنگی و مرکب در برابر سونامی را با همکاری شرکت مهندسین مشاور دریابندر به انجام رسانیده و با تشکیل کمیته‌ای فنی تخصصی، مراحل نظرخواهی ادواری و اصلاحات آن صورت پذیرفت. امور نظام فنی و اجرایی نیز به لحاظ ساختاری در تنظیم و تدوین متن نهایی اقدام نمود.

دستورالعمل حاضر به منظور تکمیل ضابطه شماره ۶۳۱ سازمان برنامه و بودجه کشور با عنوان «دستورالعمل طراحی سازه‌های ساحلی: شرایط طراحی» بوده و جایگزین بخش ۴ فصل ششم آن می‌گردد. از این رو، تلاش شده است که علاوه بر

در نظر گرفتن رئوس مطالب بخش مرتبط ضابطه شماره ۶۳۱، تعاریف و مباحث کامل‌تری از سونامی در کنار ارائه روش‌های تحلیل حدی و تعیّنی خطر سونامی و نیز ضوابط و راهکارهای تقویت موج‌شکن‌های توده‌سنگی و مرکب ارائه شود.

سازمان برنامه و بودجه کشور برخود فرض می‌داند که مراتب سپاس‌گزاری و امتنان خود را از زحمات تمامی آنانی که در پیشبرد این دستورالعمل تا این مرحله مساعدت، مشارکت و پشتیبانی نموده‌اند، مهندسین مشاور دریابندر که مسوولیت تدوین و تهیه این راهنما را در چارچوب قراردادی با سازمان بنادر و دریانوردی به عهده داشته است، جناب آقای مهندس مصطفوی رییس امور نظام فنی و اجرایی، جناب آقای مهندس الهیار معاون مهندسی و توسعه امور زیربنایی سازمان بنادر و دریانوردی، اعضای گروه نظارت و تدوین نهایی راهنما، گروه هدایت و راهبری پروژه در امور نظام فنی و اجرایی و سایر کارشناسان مربوط تقدیم دارد.

حمیدرضا عدل
معاون فنی، امور زیربنایی و تولیدی
بهار ۱۳۹۷

تهیه و کنترل «راهنمای طراحی موج‌شکن‌های توده‌سنگی و مرکب در برابر سونامی»

[ضابطه شماره ۷۵۲]

مجری و مسوول تهیه متن:

بابک بنی‌جمالی	شرکت مهندسین مشاور دریابندر	دکترای مهندسی عمران

اعضای گروه تهیه‌کننده:

مرتضی بنی‌جمالی	شرکت مهندسین مشاور دریابندر	کارشناس ارشد طراحی بنادر و سازه‌های دریایی
بابک بنی‌جمالی	شرکت مهندسین مشاور دریابندر	دکترای مهندسی عمران
امیرحامد الویری	شرکت مهندسین مشاور دریابندر	کارشناس ارشد سازه‌های دریایی
محمودرضا اکبرپور جنت	پژوهشگاه ملی اقیانوس شناسی و علوم جوی	دکترای سازه‌های دریایی

اعضای گروه نظارت و تدوین نهایی:

محمدرضا الهیار	معاون مهندسی و توسعه امور زیربنایی سازمان بنادر و دریانوردی	کارشناسی ارشد مهندسی عمران
محمد حسین نعمتی	رییس اداره مهندسی سواحل سازمان بنادر و دریانوردی	کارشناسی ارشد مهندسی عمران
حمیدرضا خاشعی	کارشناس امور نظام فنی و اجرایی سازمان برنامه و بودجه کشور	کارشناسی ارشد مهندسی زلزله
محمد مختاری	پژوهشگاه بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله	دکترای ژئوفیزیک
یاسر دهقان	کارشناس اداره مهندسی سواحل سازمان بنادر و دریانوردی	کارشناسی ارشد فیزیک دریا

اعضای گروه هدایت و راهبری (سازمان برنامه و بودجه کشور):

علیرضا توتونچی	معاون امور نظام فنی و اجرایی سازمان برنامه و بودجه کشور
فرزانه آقارمضانعلی	رییس گروه امور نظام فنی و اجرایی سازمان برنامه و بودجه کشور

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
مقدمه	**۱**
فصل اول- تعاریف	**۳**
۱-۱- محدوده کاربرد	۵
۱-۲- سونامی	۵
۱-۳- حرکت اولیه	۵
۱-۴- تراز جزر و مدی تخمینی (تراز جزر و مد معمولی)	۶
۱-۵- ارتفاع سونامی	۶
۱-۶- بالاترین تراز آب	۶
۱-۷- ارتفاع موج سونامی	۶
۱-۸- ارتفاع بالاروی و ارتفاع اثر سونامی	۶
۱-۹- دوره تناوب سونامی	۷
۱-۱۰- سرعت موج سونامی	۷
فصل دوم- تحلیل سونامی	**۹**
۲-۱- محدوده کاربرد	۱۱
۲-۲- تغییر شکل سونامی	۱۱
۲-۲-۱- خزش، انکسار و پراش امواج	۱۱
۲-۲-۲- تغییر شکل سونامی درون محیط‌های آبی نیمه‌بسته	۱۱
۲-۳- سونامی بلند آبخیز	۱۲
۲-۴- امواج کناره‌ای	۱۲
۲-۵- سرعت سیال سونامی	۱۲
۲-۶- سونامی‌ها در نگاشت‌های جزر و مدی	۱۳
۲-۷- شبیه‌سازی‌های عددی سونامی	۱۳
۲-۷-۱- تئوری‌های امواج بلند ناپراکنا	۱۳
۲-۷-۲- تئوری‌های امواج بلند پراکنا	۱۳
۲-۸- تحلیل خطر سونامی	۱۴
۲-۸-۱- کلیات	۱۴

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۲-۸-۲- تحلیل خطر تعینی	۱۵
۲-۸-۳- تحلیل خطر احتمالی	۱۵
فصل سوم - ضوابط طراحی و مقاوم‌سازی موج‌شکن‌ها در برابر سونامی	**۱۹**
۳-۱- محدوده کاربرد	۲۱
۳-۲- مقدمه	۲۱
۳-۳- بازطراحی و کنترل موج‌شکن بر مبنای سونامی طرح	۲۲
۳-۳-۱- بازطراحی موج‌شکن توده سنگی و مرکب	۲۲
۳-۳-۲- کنترل عملکرد موج‌شکن در برابر سونامی	۳۱
۳-۴- راهکارهای مختلف برای مقاوم سازی موج‌شکن	۳۵
۳-۴-۱- تقویت وجه سمت بندر موج‌شکن مرکب	۳۵
۳-۴-۲- بلوک‌های SPF	۴۰
۳-۴-۳- بهسازی بستر دریا	۴۲
فصل چهارم - راهکارهای کاهش اثر سونامی بر سواحل و مستحدثات ساحلی	**۴۳**
۴-۱- محدوده کاربرد	۴۵
۴-۲- راهکارهای سازه‌ای	۴۵
۴-۲-۱- موج‌شکن‌های توده‌سنگی و مرکب	۴۵
۴-۲-۲- مانع فراساحلی سونامی	۴۵
۴-۲-۳- مانع ساحلی سونامی	۴۵
۴-۲-۴- مانع خشکی سونامی	۴۶
۴-۲-۵- موج‌شکن تلسکوپی قائم	۴۶
۴-۲-۶- سامانه ضد سونامی برگرفته گرفته از لوله هوا	۴۶
۴-۲-۷- دیوارهای متحرک	۴۷
۴-۳- راهکارهای غیرسازه‌ای	۴۷
۴-۳-۱- سامانه هشدار سریع	۴۷
۴-۳-۲- درخت‌های ساحلی	۴۸
۴-۳-۳- جاده‌های کمربندی اضطراری	۴۸

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
پیوست ۱- واژه‌نامه فارسی به انگلیسی	**۴۹**
پیوست ۲- واژه‌نامه انگلیسی به فارسی	**۵۵**
منابع و مراجع	**۶۱**

فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول ۳-۱- ضرایب تاثیر در تایید عملکرد برای سونامی	۳۳
جدول ۳-۲- ضریب اصطکاک بین مصالح مختلف	۴۲

مقدمه

طراحی موج‌شکن‌های مقاوم در برابر سونامی و یا تقویت موج‌شکن‌های موجود در برابر انواع بارگذاری ناشی از سونامی، به عنوان یک مبحث لازم برای حفاظت از جوامع انسانی و مستحدثات دریایی کشور امری اجتناب‌ناپذیر است.

براساس شواهد تاریخی، کشور ایران با وجود در اختیار داشتن حدود ۵۸۰۰ کیلومتر خط ساحلی در شمال و جنوب آن، تنها سواحل مکران می‌تواند به عنوان یک ناحیه با خطر نسبی زیاد در برابر سونامی مورد توجه قرارگیرد. از این‌رو، آگاهی از نحوه طراحی موج‌شکن‌های مرسوم و یا تقویت موج‌شکن‌های موجود در مراحل مختلف (طراحی تا اجرا) تاثیر مستقیمی بر عملکرد آن‌ها در برابر سونامی خواهد داشت.

- هدف

هدف از تدوین راهنمای طراحی موج‌شکن‌های توده‌سنگی و مرکب در برابر سونامی، ارائه مجموعه‌ای کامل و جامع از روش‌های متداول و مناسب طراحی و تقویت این دسته از موج‌شکن‌ها در برابر سونامی به منظور استفاده متخصصان، پژوهشگران و مشاوران در پروژه‌های مرتبط می‌باشد.

در تهیه این راهنما با بهره‌گیری از تجربیات، منابع و دستاوردهای جهانی، نسبت به تعیین سونامی طرح به روش‌های حدی و تعیّنی اقدام نموده و ضوابط طراحی موج‌شکن‌های توده‌سنگی و مرکب و راهکارهای تقویت آن‌ها نیز ارائه شده است.

- دامنه کاربرد

راهنمای حاضر نسخه به روز و کامل شده بخش ۴ فصل ششم ضابطه شماره ۶۳۱ سازمان برنامه و بودجه کشور با عنوان «دستورالعمل طراحی سازه‌های ساحلی: شرایط طراحی» بوده و جایگزین آن می‌گردد. از این رو، تلاش شده است که علاوه بر درنظر گرفتن رئوس مطالب بخش مرتبط ضابطه ۶۳۱، تعاریف و مباحث کامل‌تری از سونامی در کنار ارائه روش‌های تحلیل حدی و تعیّنی خطر سونامی و نیز ضوابط و راهکارهای تقویت موج‌شکن‌های توده‌سنگی و مرکب ارائه شود.

فصل ۱

تعاریف

۱-۱- محدوده کاربرد

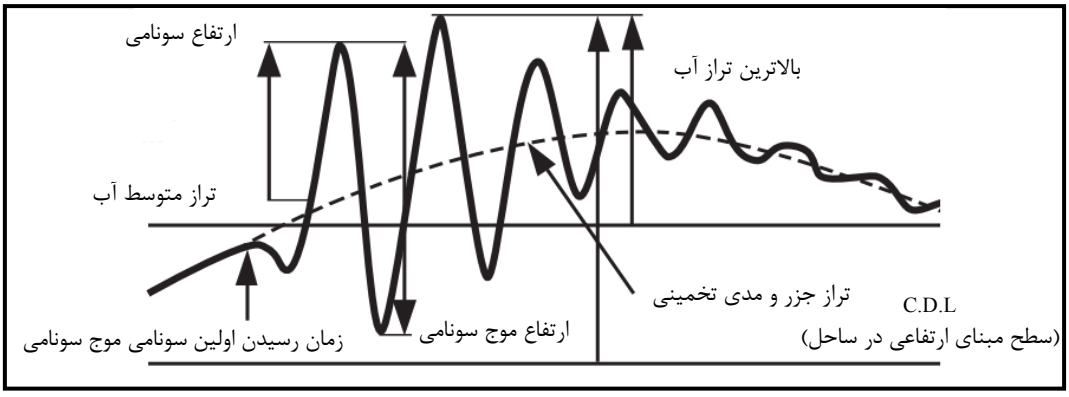
در این فصل به تعریف پارامترهای مرتبط با سونامی نظیر حرکت اولیه، تراز جزر و مدی تخمینی، ارتفاع سونامی، بالاترین تراز آب، ارتفاع موج سونامی، ارتفاع بالاروی و ارتفاع اثر سونامی، دوره تناوب سونامی و سرعت موج سونامی پرداخته و سایر عبارت‌ها و مفاهیم به کار رفته مطابق با ملاحظات دستورالعمل طراحی سازه‌های ساحلی می‌باشد.

۱-۲- سونامی

سونامی، مجموعه‌ای از یک سری موج است که غالبا زمانی که زمین‌لرزه باعث جابه‌جایی عمودی ناگهانی بستر دریا می‌شود، رخ می‌دهد و باعث ایجاد نوسان قائم در آب گردیده که این نوسان آب به سمت ساحل منتقل می‌شود. پدیده‌های ایجاد سونامی شامل: زمین‌لرزه، زمین‌لغزش‌های بزرگ نزدیک ساحل و زیردریا، فعال شدن آتش‌فشان‌های زیر دریا و سایر عوامل نظیر اصابت شهاب‌سنگ‌ها در دریا می‌باشد.

جابه‌جایی بستر دریا ناشی از زمین‌لرزه ممکن است در ده‌ها کیلومتر یا بیش‌تر امتداد یابد. حرکت بستر دریا در یک لایه گسترده، مستقیما به سطح آب منتقل می‌شود. این حرکت سطح دریا تبدیل به پروفیل اولیه سونامی با یک طول‌موج بسیار بزرگ نسبت به عمق آب شده و به عنوان یک موج بلند به اطراف انتشار می‌یابد.

تعاریف واژگان گوناگون مربوط به سونامی در شکل (۱-۱) نشان داده شده است.



شکل ۱-۱- توصیف واژگان مربوط به سونامی در یک سری زمانی ثبت شده نوسانات سطح آب

۱-۳- حرکت اولیه

لحظه‌ای که اولین موج سونامی به نقطه اندازه‌گیری سری زمانی سطح آب می‌رسد و تراز جزر و مد مشاهده شده برای اولین بار شروع به تغییر نسبت به تراز جزر و مدی تخمینی می‌کند، حرکت اولیه نامیده می‌شود. زمانی که اولین تراز سطح آب مشاهده شده به‌علت سونامی از تراز جزر و مدی تخمینی بالاتر باشد، چنین حرکت اولیه سطح آب را از نوع حرکت اولیه رانشی و زمانی که از تراز جزر و مدی تخمینی کم‌تر باشد، از نوع حرکت اولیه کششی می‌نامند.

۱-۴- تراز جزر و مدی تخمینی (تراز جزر و مد معمولی)

این تراز همان تراز تخمینی سطح آب، زمانی که سونامی وجود ندارد، می‌باشد. اصولا، تراز جزر و مدی تخمینی با منشاء نجومی با برازش سری زمانی ثبت شده نوسانات سطح آب به همراه فیلتر نمودن فرکانس‌های مرتبط با امواج سونامی و نوسانات با پریود نسبتا کوتاه‌تر موج مرده حاصل می‌گردد. تراز جزر و مدی تخمینی اساسا همان تراز جزر و مدی نجومی می‌باشد، اگرچه ممکن است انحراف این تراز نسبت به تراز جزر و مدی نجومی محاسبه شده از مولفه‌های جزر و مدی، به دلیل عواملی نظیر تغییرات فشار جوی، بادها و تغییرات جریان‌ها در نزدیکی ساحل باشد.

۱-۵- ارتفاع سونامی

مقدار مطلق اختلاف بین تاج یا قعر تراز جزر و مدی واقعی و تراز جزر و مدی تخمینی به عنوان تراز انحراف و حداکثر مقدار تراز انحراف در صورتی که تراز جزر و مد واقعی از تراز جزر و مد تخمینی بالاتر باشد، به عنوان حداکثر تراز انحراف یا ارتفاع سونامی تعریف می‌شوند. ضروری است که بین ارتفاع سونامی و ارتفاع موج سونامی که در تعاریف ارائه شده، تفاوت قائل شد.

۱-۶- بالاترین تراز آب

حداکثر تراز سطح آب نجومی اندازه‌گیری‌شده در زمان وقوع سونامی، بالاترین تراز آب نامیده می‌شود.

۱-۷- ارتفاع موج سونامی

سری زمانی سونامی معمولا نامنظم است. ارتفاع و دوره تناوب یک موج را می‌توان همانند امواج ناشی از باد با استفاده از روش قطع تراز صفر رو به بالا به دست آورد. حدفاصل نقطه‌ای که تراز سطح آب مشاهده شده و تراز کشند برآورده شده تا نقطه مشابه بعدی از جهت منفی به مثبت رو به بالا قطع می‌کند به عنوان تک‌موج در نظر گرفته می‌شود. اختلاف بین بالاترین و پایین‌ترین تراز آب در مرتفع‌ترین تک موج به عنوان ارتفاع موج سونامی تعریف شده و نیز مدت زمان دوام آن تک‌موج را دوره تناوب آن می‌نامند. بیشینه ارتفاع تک‌موج ثبت شده در یک دوره پیوسته ثبت سونامی به عنوان بالاترین ارتفاع موج سونامی در نظر گرفته می‌شود.

۱-۸- ارتفاع بالاروی و ارتفاع اثر سونامی

ارتفاع بالاروی سونامی بالاترین ترازی است که سونامی در خشکی یا سازه بالاروی داشته است. ارتفاع اثر سونامی غالبا بر مبنای بررسی اثرات برجای گذاشته سونامی در منطقه مورد نظر تعیین می‌شود که ارتفاع آن اثر به عنوان ارتفاع اثر سونامی نامگذاری می‌شود.

۱-۹- دوره تناوب سونامی

دوره تناوب غالب سونامی به عواملی نظیر: ابعاد گسل منشا سونامی، فاصله از کانون زمین‌لرزه و مشخصه‌های تشدید مربوط به محیط‌های آبی نیمه بسته بستگی دارد. از آنجاکه سونامی برخوردی به ساحل، عموما غیرمنظم بوده و سری موج منظم با دوره تناوب یکسان نمی‌باشد، بنابراین ممکن است دارای مولفه‌هایی با دوره تناوب برابر با دوره تناوب طبیعی در محیط آبی نیمه بسته باشد که باعث وقوع پدیده تشدید و افزایش ارتفاع موج آن مولفه‌ها می‌شود. به منظور صحت‌سنجی مطالعات سونامی، لازم است دوره تناوب تمامی سونامی‌ها اعم از سونامی‌های محتمل و یا ثبت شده در گذشته، با دوره تناوب یکسان با دوره تناوب طبیعی محیط‌های آبی نیمه بسته مورد مطالعه و مقایسه گردند.

۱-۱۰- سرعت موج سونامی

از آنجاکه موج سونامی یک موج بلند تلقی می‌شود، می‌توان سرعت موج آن را که تابعی از عمق آب بوده از رابطه (۱-۱) محاسبه نمود.

$$C = \sqrt{gh} \qquad (۱-۱)$$

که در این رابطه:

C: سرعت موج بر حسب متر بر ثانیه

g: شتاب جاذبه زمین برحسب متر بر مجذور ثانیه

h: عمق آب بر حسب متر

با توجه به آن‌که سرعت موج سونامی تنها بستگی به عمق آب دارد، از این‌رو در صورتی‌که زمان رسیدن سونامی و عمق آب در چندین نقطه مشخص باشد می‌توان، بطور معکوس، فاصله منشا تولید سونامی از نقطه مورد نظر را تعیین نمود.

فصل ۲

تحلیل سونامی

۲-۱- محدوده کاربرد

در این فصل به بررسی عواملی مشتمل بر تغییر شکل سونامی، سونامی بلند آبخیز، امواج کناره‌ای، سرعت سیال سونامی، سونامی‌ها در نگاشت‌های جزر و مدی، شبیه‌سازی‌های عدد سونامی و تحلیل خطر سونامی پرداخته می‌شود.

۲-۲- تغییر شکل سونامی

۲-۲-۱- خزش، انکسار و پراش امواج

در آب عمیق، مقیاس فضایی سونامی چندین ده کیلومتر یا بیش‌تر بوده درحالی‌که دامنه نوسان قائم موج آن می‌تواند تنها حدود چند متر باشد. امواج سونامی در آب عمیق پدیده قابل تشخیص از امواج مرتفع ناشی از باد نمی‌باشد، اما سونامی مانند امواج ناشی از باد به وسیله پدیده‌های خزش و انکسار موج تغییر شکل می‌دهد. فرایند خزش در مناطق نزدیک ساحل باعث افزایش ارتفاع سونامی شده که منتج به مشهودتر شدن ارتفاع آن در نزدیکی ساحل می‌شود. به علاوه، عموما سونامی تحت تاثیر ویژگی‌های توپوگرافی منطقه در امتداد ساحل قرار می‌گیرد به نحوی که در مقیاس ۲۰۰ تا ۳۰۰ متر از ساحل امکان بالاروی ۲۰ تا ۳۰ متری سونامی وجود دارد. برای مثال سونامی ناشی از زمین‌لرزه سال ۱۹۹۳ هوکایدو- اوکی (سونامی سال ۱۹۹۳ اوکوشیری) به میزان ۳۲ متر در ناحیه صخره‌ای V شکل جزیره اوکوشیری بالاروی داشته است. همچنین سونامی در نواحی دماغه‌ای شکل ساحل می‌تواند به‌علت انکسار ایجاد شده ناشی از تغییر اعماق بستر، متمرکز شود. موج سونامی به‌علت پراش ممکن است علاوه بر جهت مشاهده شده حرکت سونامی، به نواحی پشتی جزیره و یا دماغه نیز برسد. برای مثال، سونامی سال ۱۹۹۳ اوکوشیری از جهت غرب جغرافیایی به جزیره اوکوشیری نزدیک شده است ولی خرابی سونامی علاوه بر غرب جزیره در قسمت شرق جزیره نیز به‌وقوع پیوسته است.

۲-۲-۲- تغییر شکل سونامی درون محیط‌های آبی نیمه‌بسته

اگر سونامی داخل یک محیط آبی نیمه بسته نظیر خلیج و حوضچه بندر که عمق آب در آن کاسته می‌شود، انتشار یابد؛ پرتو امواج سونامی به سمت انتهای خلیج کم عرض‌تر شده و ارتفاع موج و سرعت سیال آن افزایش پیدا می‌کند. اگر نسبت ارتفاع موج به عمق آب کم باشد، برای محاسبه ارتفاع موج داخل محیط‌های آبی نیمه‌بسته مورد نظر می‌توان از قانون گرین که در رابطه (۲-۱) ارائه شده است، استفاده نمود.

$$\frac{H_2}{H_1}=\left(\frac{b_1}{b_2}\right)^{1/2}\left(\frac{h_1}{h_2}\right)^{1/4} \qquad (۱-۲)$$

که در این رابطه:

H_2: ارتفاع موج سونامی برای مقطعی با عرض B_2 و عمق آب h_2 برحسب متر

H_1: ارتفاع موج سونامی برای مقطعی با عرض B_1 و عمق آب h_1 برحسب متر

به هر حال، رابطه (۲-۱) زمانی صادق است که عرض محیط و عمق آب به‌تدریج تغییر کرده و هیچ موج بازتابی وجود نداشته باشد. همچنین، در این رابطه استهلاک انرژی ناشی از اصطکاک بستر لحاظ نشده است. لذا، از این رابطه نمی‌توان برای نواحی که شرایط آب کم‌عمق و متاثر از موج بازتابی است، استفاده نمود.

۲-۳- سونامی بلند آبخیز

یکی از ویژگی‌های قابل‌توجه سونامی ناشی از زمین‌لرزه سال ۱۹۸۳ دریای ژاپن (رخداده در امتداد ساحل شمالی آکیتای ژاپن با شیب ملایم بستر ۱ به ۲۰۰ و امتداد یافته تا ۳۰ کیلومتری از خط ساحلی)، حرکت این سونامی به سمت ساحل، با تغییر شکل چشمگیر به سونامی بلند آبخیز همراه با دوره تناوب کوتاه (در حدود ۵ تا ۱۰ ثانیه) بوده‌است. از سوی دیگر، هنگامی‌که این سونامی به بستر با شیب تند (حدود ۱ به ۵۰) ساحل غربی شبه‌جزیره اوگا برخورد نمود، به‌جای سونامی بلند آبخیز بیش‌تر به شکل امواج ایستا درآمد. برای سونامی که در حال نزدیک شدن به ساحل است، با فرض یکسان بودن ارتفاع سونامی، امکان بالاروی سونامی بلند آبخیز بیش‌تر از سونامی نوع موج ایستا می‌باشد. سونامی بلند آبخیز معمولا زمانی بوقوع می‌پیوندد که ارتفاع سونامی تقریبا ۶۰ درصد یا بیش‌تر از عمق و یا شیب بستر تقریبا ۱/۱۰۰ یا کم‌تر باشد.

۲-۴- امواج کناره‌ای

اگر انتشار سونامی از آب عمیق به سمت فلات قاره‌ای به‌صورت مایل باشد، انکسار موج می‌تواند باعث بازتاب سونامی از ساحل و انتشار آن در امتداد ساحل گردد که متعاقبا بخشی از انرژی سونامی می‌تواند در نزدیکی ساحل محبوس شود. به چنین موجی اصطلاحا موج کناره‌ای گفته می‌شود. برای مثال، از سونامی‌هایی که می‌توان آن را کناره‌ای تلقی نمود در امتداد ساحل از دماغه اریمو تا کوشیرو در جنوب شرق ساحل هوکایدو ناشی از زمین‌لرزه ۲۰۰۳ در دریای توکوچی در هوکایدو ژاپن می‌باشد. تداوم طولانی مدت سونامی با امواج کناره‌ای، احتمال هم‌زمانی این دسته از سونامی‌ها را با حداکثر تراز نجومی تقویت نموده که در نهایت سبب سیلاب‌گرفتگی بیش‌تر در نوار ساحلی خواهد شد.

۲-۵- سرعت سیال سونامی

ذرات آب در سونامی بر خلاف امواج ناشی از باد می‌توانند علاوه بر سطح آب در نزدیکی بستر نیز حرکت کنند. معمولا، توزیع حرکت آب دریا ناشی از سونامی از بستر دریا تا سطح آب به‌صورت یکنواخت می‌باشد. سرعت سیال سونامی را می‌توان از رابطه (۲-۲) به دست آورد. همان‌طور که از این رابطه استنباط می‌گردد، این سرعت در آب‌های کم‌عمق سریع‌تر می‌شود.

$$u = \frac{C\eta}{h} = \eta\sqrt{\frac{g}{h}} \qquad (۲-۲)$$

که در این رابطه:

u: سرعت سیال سونامی برحسب متر بر ثانیه

C: سرعت موج سونامی برحسب متر بر ثانیه

h: عمق آب برحسب متر

η: انحراف سطح آب ناشی از سونامی برحسب متر

g: شتاب جاذبه زمین برحسب متر بر مجذور ثانیه

۲-۶- سونامی‌ها در نگاشت‌های جزر و مدی

نگاشت‌های جزر و مدی به عنوان اندازه‌گیری‌های ثبت‌کننده سونامی، بسیار پرکاربرد هستند. شایان ذکر است که نگاشت‌های سونامی اندازه‌گیری شده در ایستگاه جزر و مدی داخل بندر ممکن است نشان‌دهنده مشخصات متمایز سونامی قبل از ورود به حوضچه بندر باشد؛ چرا که سونامی داخل حوضچه بندر از سازه‌هایی مانند موج‌شکن و غیره تاثیر پذیرفته است.

۲-۷- شبیه‌سازی‌های عددی سونامی

برای شبیه‌سازی‌های عددی سونامی باید از مدل‌های مناسب در این حوزه که بر مبنای معادلات تئوری‌هایی که قابلیت بازتولید سونامی مورد نظر را دارند، استفاده نمود. غالبا برای شبیه‌سازی سونامی در نزدیکی ساحل دو نوع تئوری موج استفاده می‌شود.

۲-۷-۱- تئوری‌های امواج بلند ناپراکنا

در این میان، تئوری امواج بلند خطی برای امواج با طول‌موج بلند نسبت به عمق آب و نیز نسبت ارتفاع موج به عمق آب کوچک می‌باشد و تئوری‌های امواج بلند غیرخطی برای امواج بلندی که نسبت ارتفاع موج به عمق آب کوچک نباشد استفاده می‌شود. مطابق تحقیقات شوتو، می‌توان تئوری موج بلند خطی را برای عمق آب ۲۰۰ متر و یا بیش‌تر نیز به کار برد.

۲-۷-۲- تئوری‌های امواج بلند پراکنا

سونامی‌های پراکنا نظیر موج سونامی مشاهده‌شده نزدیک ساحل ناشی از زمین‌لرزه نیهونکایی سال ۱۹۸۳، را می‌توان با تئوری امواج پراکنا غیرخطی بهتر توصیف نمود. تئوری امواج پراکنا غیرخطی شامل پارامترهایی است که پراکنش امواج (ترم‌های پراکنش) را در تئوری امواج‌بلند غیرخطی در نظر گرفته است. برای سونامی‌های دورآ که فاصله زیادی را از منشا سونامی پیموده تا به ساحل مورد نظر برسد، نظیر سونامی سال ۱۹۶۰ شیلی که از یک‌سوی اقیانوس آرام در ساحل شیلی به سمت دیگر اقیانوس در ساحل ژاپن انتقال پیدا کرد، امکان استفاده از تئوری‌های امواج پراکنا خطی که

در واقع اساس آن‌ها اضافه نمودن ترم‌های پراکنش به تئوری‌های امواج بلند خطی می‌باشد، وجود دارد. از آن‌جا که، سونامی مجموعه‌ای از امواج نامنظم با دوره‌های تناوب مختلف می‌باشد که طبعا مولفه موج با دوره تناوب طولانی‌تر، اندکی سرعت بیش‌تری دارد؛ بنابراین می‌توان از اختلاف سرعت در مولفه‌های مختلف زمانی که سونامی فواصل کوتاه را می‌پیماید، صرف‌نظر کرد ولی درحالی که سونامی فواصل طولانی را می‌پیماید، امکان صرف‌نظر در سرعت‌های مختلف وجود ندارد. همچنین محاسبه دقیق سونامی‌های دوراً عموما نیازمند لحاظ نمودن نیروی کوریولیس و استفاده از مختصات کروی در محاسبات می‌باشد.

در شبیه‌سازی‌های عددی سونامی یک سری زمانی به‌عنوان شرط مرزی برای منطقه محاسباتی و یک پروفیل اولیه سونامی در منشا تولید به‌عنوان شرط اولیه معرفی می‌گردد. پروفیل اولیه سونامی ممکن است با جابه‌جایی بستر دریا ناشی از زمین‌لرزه یکسان محاسبه شود. جابه‌جایی بستر دریا را می‌توان از مدل گسل لرزه‌ای با روش‌های تئوری الاستسیته اسمایلی و یا سایر روابط موجود محاسبه نمود. اخیرا، تنشگاه گسل نیز در برپایی پروفیل اولیه سونامی لحاظ شده است. برای محاسبه بالاروی سونامی در خشکی، روش مانو و ایوازاکی یا بهبود یافته این روش را می‌توان استفاده نمود. برای تخمین اثر کاهشی موج‌شکن‌ها و سایر سازه‌های ساحلی بر سونامی، باید اتلاف مومنتوم این تجهیزات لحاظ شود. اتلاف مومنتوم را می‌توان، که با سرعت متوسط جریان متناسب است، از اصطکاک بستر دریا، که با ضریب اصطکاک مانینگ و سایر روابط موجود محاسبه می‌گردد، همچنین باریک و عریض شدن دهانه ورودی بندر تخمین زد. اخیرا، امکان تخمین جریان در نزدیکی موج‌شکن‌های مستغرق و نیز تخمین نیروی موج سونامی وارده بر این نوع از موج‌شکن‌ها به وسیله مدل‌های عددی سه‌بعدی و غیره هیدرواستاتیک فراهم شده است. همچنین محاسبه مشخصات و اثرات سونامی با جزییات، شامل شبیه‌سازی مستقیم نیروی موج سونامی با استفاده از این مدل‌ها نیز میسر شده است.

۲-۸- تحلیل خطر سونامی

۲-۸-۱- کلیات

تحلیل خطر سونامی با هدف برآورد پارامترهای نماینده خطر سونامی در منطقه مورد مطالعه انجام می‌گیرد. خطر ناشی از سونامی به دو صورت «ارتفاع موج سونامی طرح» یا «ارتفاع بالاروی (آب گرفتگی)» سونامی تعریف و به دو روش تعینی و یا احتمالی برآورد می‌شود. قابل ذکر است که در این راهنما تنها تحلیل خطر سونامی ناشی از زمین‌لرزه‌ها تشریح شده است.

۲-۸-۲- تحلیل خطر تعینی

در تحلیل خطر تعینی، رخداد خاصی از سونامی بر اساس گسل منشا و دیگر پارامترها بر اساس قضاوت مهندسی انتخاب شده و با بهره‌گیری از یک یا چند رابطه انتخابی، مقدار پارامترهای زمین‌لرزه منشا سونامی برآورده می‌شود. فرآیند این تحلیل عبارت است از:

۱- تعیین منشاهای سونامی منطقه مورد مطالعه یا موثرترین منشا در ایجاد خطر؛

۲- تعیین پارامترهای (هندسه و موقعیت قرارگیری) گسل‌های منشا سونامی؛

۳- تعیین بزرگای زمین‌لرزه برای موثرترین گسل منشا در منطقه مورد مطالعه؛

۴- انجام شبیه‌سازی عددی بر مبنای بزرگا و پارامترهای گسل موثر منشا سونامی و عوامل محتمل تشدیدکننده سونامی از جمله گسل‌های شاخه‌ای و زمین‌لغزش زیرسطحی؛ و

۵- استخراج ارتفاع موج سونامی طرح و یا حداکثر بالاروی سونامی در خشکی.

با توجه به عدم قطعیت‌ها مختلفی که در پارامترهای تحلیل خطر سونامی وجود دارد، تعیین این رخداد به روش تعینی فرآیند ساده‌ای نیست و مستلزم قضاوت مهندسی است.

۲-۸-۳- تحلیل خطر احتمالی

در مقایسه با تحلیل خطر تعینی زمین‌لرزه، محاسبات تحلیل خطر احتمالی سونامی به علت ناکافی بودن داده‌ها نظیر حداکثر بزرگای گشتاوری، نوع گسیختگی و دوره بازگشت سونامی، در اغلب موارد با مشکل مواجه خواهد بود. بررسی خطر احتمالی سونامی برای مهندسین از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و درنتیجه لازم است تا مطالعات جامع‌تری در این راستا صورت گیرد. تولید نقشه‌های خطر سونامی با فرض بزرگای گشتاوری حداقل و حداکثر از دستاوردهای مطالعات تحلیل احتمالی خطر سونامی ناشی از فعالیت هر یک از منشاهای ممکن سونامی است.

در ادامه گام‌های تحلیل خطر احتمالی تشریح شده‌است.

۲-۸-۳-۱- جمع‌آوری داده‌های پایه و مطالعات لرزه‌خیزی

برای شبیه‌سازی عددی سونامی نیاز است که به عنوان داده ورودی و یا تعیین شرایط اولیه، بزرگای گشتاوری زمین‌لرزه منشا سونامی مشخص شود. از آنجا که شبیه‌سازی‌های عددی سونامی، اکثرا با فرض برابر بودن توزیع فضایی نوسانات اولیه سطح آب و تغییر شکل بستر دریا ناشی از گسیختگی گسل می‌باشد. از این رو ضروری است در مرحله جمع‌آوری داده‌های پایه و مطالعات لرزه‌خیزی، پارامترهای مرتبط با گسل‌های منطقه به شرح زیر تعیین شود:

- طول گسل
- عرض گسل
- مقدار لغزش

- زاویه شیب
- عمق بالایی صفحه گسل
- زاویه لغزش
- موقعیت‌های افقی نقطه مرجع
- زاویه راستا

بر مبنای پارامترهای ذکرشده در بالا و بر اساس روش‌های اشاره‌شده در راهنمای شماره ۶۲۶ سازمان برنامه و بودجه کشور با عنوان «راهنمای کاربردی انجام تحلیل خطر زلزله»، بزرگای گشتاوری زمین‌لرزه تعیین می‌شود.

۲-۸-۳-۲- رویکرد درخت منطق

رویکرد درخت منطق برای درنظر گرفتن عدم قطعیت‌ها در تحلیل خطر سونامی استفاده می‌شود. این عدم قطعیت‌ها را می‌توان به دو نوع کاتوره‌ای و شناختی طبقه‌بندی نمود. عدم قطعیت کاتوره‌ای ناشی از طبیعت تصادفی وقوع زمین‌لرزه و پیامدهای آن می‌باشد. تفاوت در ارتفاع‌های سونامی ناشی از زلزله‌هایی با ویژگی‌های منشا لرزه‌ای یکسان در این نوع عدم قطعیت قرار می‌گیرد. عدم قطعیت شناختی به علت نقص در اطلاعات و داده‌های گسل زمین می‌باشد. عدم قطعیت‌های که در پارامترهای مختلف مدل گسل درنظر گرفته می‌شود، از نوع شناختی می‌باشد.

رویکرد درخت منطق شامل شاخه‌هایی از ترکیب احتمالی پارامترهای گسل‌های منشا سونامی، توزیع بزرگا و فواصل وقوع زمین‌لرزه‌ها و ارتفاع سونامی به دست آمده بر مبنای شبیه‌سازی عددی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

درخت منطق بر مبنای اصول شاخه‌های متقابلا ناسازگار پایه‌گذاری شده است. این بدان معنی است که اگر یک شاخه درست باشد، شاخه‌های دیگر نادرست می‌باشد. هر مسیر درخت منطق، یک منحنی خطر سونامی تولید می‌کند.

۲-۸-۳-۳- روش تحلیل خطر

به طورکلی، منحنی‌های خطر سونامی باید بر مبنای نتایج رویکرد درخت منطق و ارتفاع سونامی به دست آمده از شبیه‌سازی عددی و روش‌های توصیه شده راهنمای شماره ۶۲۶ سازمان برنامه و بودجه کشور با عنوان «راهنمای کاربردی انجام تحلیل خطر زلزله» در منطقه مورد مطالعه تعیین شود.

با استفاده از رابطه ۲-۳، احتمال وقوع سونامی وابسته به ارتفاع موج سونامی قابل محاسبه است.

$$P_{tsu}\left(C_k, Z_i, h_{cr}, M, T\right)=\begin{cases} P_{eq}\left(Z_i, M, T\right) & h_{max}\left(C_k\right)\geq h_{cr} \\ 0 & h_{max}\left(C_k\right)\leq h_{cr} \end{cases} \qquad (۲-۳)$$

که در این رابطه:

$P_{tsu}\left(C_k, Z_i, h_{cr}, M, T\right)$: احتمال فراگذشت ارتفاع موج سونامی از یک سطح معین h_{cr} در K_{th} ساحل (C_k) به علت یک زمین‌لرزه به بزرگای M در یک منطقه با قابلیت ایجاد سونامی (Z_i) و در یک بازه زمانی T سال

h_{max}: حداکثر ارتفاع محاسبه شده موج سونامی در در K_{th} ساحل (C_k)

$P_{eq}\left(Z_i, M, T\right)$: احتمال وقوع زمین‌لرزه منشا سونامی با بزرگای M در یک منطقه با قابلیت ایجاد سونامی (Z_i) و در یک بازه زمانی T سال

در انتها با استفاده از رویکرد درخت منطق ضمن در نظر گرفتن عدم قطعیت‌ها مختلف از مدل‌های گوناگون با نسبت دادن یک وزن به هر یک از آن‌ها، احتمال کلی فراگذشت ارتفاع موج از هر میزان خاص به دست می‌آید. بر این اساس توزیع ارتفاع موج سونامی و ارتفاع بالاروی سونامی در خشکی بر اساس داده‌های توپوگرافی از مدل‌های به دست‌آمده قابل محاسبه می‌باشد.

فصل ۳

ضوابط طراحی و مقاوم‌سازی موج‌شکن‌ها در برابر سونامی

۳-۱- محدوده کاربرد

در این فصل، ضوابط طراحی موج‌شکن‌های توده‌سنگی و مرکب مقاوم در برابر بارهای ناشی از سونامی ارائه شده است. همچنین می‌توان از این ضوابط برای بهسازی موج‌شکن‌های موجود و یا طراحی موج‌شکن‌های جدید استفاده نمود.

در این فصل، بند ۳-۲ به بیان مقدمه‌ای از طراحی اختصاص داده شده است. همچنین در بندهای ۳-۳ تا ۳-۴ گام‌های طراحی موج‌شکن‌های توده‌سنگی و مرکب در برابر سونامی ارائه شده است.

۳-۲- مقدمه

هدف از طراحی موج‌شکن مقاوم در برابر سونامی، حفظ کاربری موج‌شکن و ایجاد استحکام کافی و جلوگیری از مکانیزم‌های تخریب در برابر سونامی است. سازوکارهای خرابی‌های موج‌شکن‌های تحت اثر سونامی را می‌توان در موارد زیر خلاصه کرد:

۱- اختلاف فشار هیدرواستاتیکی در دو وجه موج‌شکن؛

۲- نیروی ضربه‌ای شکست موج سونامی در جلوی موج‌شکن؛

۳- نیروی درگ جریان سونامی؛ و

۴- آب‌شستگی ناشی از جریان سرریز سونامی.

طراح باید موج‌شکن را بر اساس روند تشریح شده زیر به نحوی طراحی نماید تا علاوه بر پایداری در برابر بارگذاری ناشی از سونامی بتواند در مقابل سازوکارهای تخریب ناشی از آن نیز مقاومت لازم را داشته باشد:

مرحله اول: ابتدا طراح باید بر اساس ضابطه شماره ۶۳۱ سازمان برنامه و بودجه کشور با عنوان «دستورالعمل طراحی سازه‌های ساحلی: شرایط طراحی» اقدام به تعیین اولیه مقطع موج‌شکن نموده و سپس بر اساس این دستورالعمل عملکرد آن را در برابر عوامل تخریبی نظیر نشست، واژگونی، زلزله و نیروهای لرزه‌ای کنترل نماید.

مرحله دوم: طراح در گام بعدی بر اساس موج سونامی طرح به دست آمده در فصل دوم باید مقطع اولیه به دست آمده از مرحله قبل را مطابق رویه بند ۳-۳-۱ بازطراحی کرده و عملکرد لازم آن را در برابر سونامی بر اساس بند ۳-۳-۲ مورد سنجش قرار دهد.

مرحله سوم: پس از انجام مرحله دوم، طراح باید اقدام به استخراج سازوکارهای تخریب و تعیین نقاط ضعف موج‌شکن در برابر موج سونامی طرح نماید.

مرحله چهارم: بر اساس سازوکار(های) تخریب استخراجی در منطقه مورد مطالعه، طراح باید بر اساس یکی از روش‌های ذکر شده در بند ۳-۴ و یا سایر روش‌های معتبر روز دنیا اقدام به ارائه طرح مقاوم‌سازی موج‌شکن نماید.

مرحله پنجم: در انتها با توجه به درجه اهمیت طرح و هزینه‌های اجرایی طراح باید اقدام به تصمیم‌گیری در خصوص مقطع نهایی و نیز در صورت لزوم به ارائه راهکار تقویتی احتمالی اقدام نماید.

۳-۳- بازطراحی و کنترل موج‌شکن بر مبنای سونامی طرح

۳-۳-۱- بازطراحی موج‌شکن توده سنگی و مرکب

موج‌شکن‌های توده‌سنگی و مرکب که در مرحله اول طراحی شده‌اند را باید مجددا بر اساس بارگذاری سونامی و زمین‌لرزه منشا آن بازطراحی نمود. در بندهای ۳-۳-۱-۱ و ۳-۳-۱-۲ به ترتیب بارگذاری سونامی خاص موج‌شکن توده‌سنگی و مرکب تشریح شده‌اند.

۳-۳-۱-۱- بازطراحی موج‌شکن توده سنگی

بازطراحی موج‌شکن توده سنگی در برابر بارگذاری سونامی باید طی گام‌های زیر صورت گیرد:

۱- بر مبنای بارگذاری جریان عبوری سونامی، وزن آرمور وجه ساحل موج‌شکن را باید از روابط بند ۳-۳-۱-۱-۱ محاسبه نمود.

۲- بر مبنای بارگذاری ارتفاع موج سونامی، وزن آرمور وجه دریا موج‌شکن را باید از روابط بند ۳-۳-۱-۱-۲ محاسبه نمود.

۳- برای کنترل پایداری پاشنه موج‌شکن به علت آنکه در بارگذاری سونامی شرایط آب کم‌عمق حکمفرما است، در صورتی که عمق قرارگیری پاشنه از دو برابر ارتفاع موج سونامی طرح کم‌تر باشد باید از روابط بند ۳-۳-۱-۱-۲ استفاده کرد و در غیر این صورت می‌توان از کنترل پاشنه صرف نظر نمود.

۴- کنترل‌های لازم برای ارزیابی عملکرد موج‌شکن توده‌سنگی مطابق بند ۳-۳-۲ کنترل گردد.

۳-۳-۱-۱-۱- بارگذاری ناشی از جریان عبوری سونامی طرح

بارگذاری جریان ناشی از سونامی را به لحاظ طبقه‌بندی می‌توان در دو محدوده زیر قرار داد:

۱- جریان عبوری از روی موج‌شکن؛ و

۲- جریان منفذی عبوری از میان بخش سنگی موج‌شکن.

جریان عبوری از روی موج‌شکن را می‌توان با روابط تقریبی، مدل‌سازی عددی و یا آزمایشگاهی به دست آورد. جریان عبوری از میان موج‌شکن به دلیل تخلخل زیاد به فرم جریان‌های لایه‌ای نبوده و آشفته می‌باشد. به دلیل پیچیدگی نسبی جریان‌های آشفته در سازه‌های متخلخل در حال حاضر تنها می‌توان با مدل عددی مقدار این جریان را به دست آورد. به دلیل دشواری‌های تعیین ساز و کار جریان عبوری از میان موج‌شکن و عدم قطعیت بالای نتایج در این حالت، در این راهنما تنها به بررسی پایداری قطعات آرمور مستقر در وجه سمت ساحل در برابر جریان عبوری از روی موج‌شکن پرداخته شده است.

طراح باید برای تخمین وزن قطعات آرمور در وجه ساحل ساحل موج‌شکن بر مبنای بارگذاری ناشی از جریان عبوری سونامی طرح از یکی از سه روش زیر استفاده نماید:

۳-۳-۱-۱-۲- روش اول

در این روش از روابط ۳-۱ تا ۳-۳ برای تخمین وزن قطعات آرمور در وجه ساحل موج‌شکن بر مبنای بارگذاری ناشی از جریان عبوری سونامی استفاده می‌شود.

$$\Delta = \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} \quad (۳-۱)$$

$$K(\alpha_{11}) = \frac{\sin(\phi - \alpha)}{\sin\phi} \quad (۳-۲)$$

$$u = K(\alpha_{11}) 1.2\sqrt{2\Delta g d_n} \quad (۳-۳)$$

که در این روابط:

Δ: چگالی نسبی

ρ_s: وزن مخصوص سنگ بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب

ρ_w: وزن مخصوص آب دریا بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب

$K(\alpha_{11})$: ضریب اصلاحی شیب آرمور

ϕ: زاویه تعادل آرمور برحسب رادیان

α: زاویه شیب لایه آرمور برحسب رادیان

u: سرعت جریان سونامی برحسب متر بر ثانیه

g: شتاب جاذبه روابط برحسب متر بر مجذور ثانیه

d_n: قطر اسمی آرمور برحسب متر

۳-۳-۱-۱-۳- روش دوم

در این روش از روابط ۳-۴ تا ۳-۶ برای تخمین وزن قطعات آرمور در وجه ساحل موج‌شکن بر مبنای بارگذاری ناشی از جریان عبوری سونامی استفاده می‌شود.

$$c = 18\log\frac{6h'}{d_n} \quad (۳-۴)$$

$$A = \frac{1}{\psi c^2} \quad (۳-۵)$$

$$\Delta d_n = \frac{A u_0^2}{K(\alpha_{11})^2} \quad (۳-۶)$$

که در این روابط:

c: مقدار شزی برحسب مجذور متر بر ثانیه

h': ارتفاع آب در روی تاج موج‌شکن برحسب متر

d_n: قطر اسمی آرمور برحسب متر

ψ: پارامتر شیلدز

Δ: چگالی نسبی

U_0: سرعت جریان در روی تاج موج‌شکن برحسب متر بر ثانیه

۳-۳-۱-۱-۴- روش سوم

در این روش از روابط ۳-۷ تا ۳-۸ برای تخمین وزن قطعات آرمور در وجه ساحل موج‌شکن بر مبنای بارگذاری ناشی از جریان عبوری سونامی استفاده می‌شود.

$$D = \frac{\text{تعداد آرمورهای جابه‌جا شده}}{\text{تعداد کل آرمورها}} \qquad (۳-۷)$$

$$W_{Stone} = \frac{\pi \rho_s u_d^6}{48 y^6 g^3 \left(\frac{\rho_s}{\rho_w} - 1\right)^3 (\cos\alpha - \sin\alpha)^3} \qquad (۳-۸)$$

که در این روابط:

D: نرخ تخریب آرمورها

W_{stone}: وزن قطعات سنگی مورد نیاز برحسب کیلوگرم

y: پارامتر متاثر از نوع تخریب قطعات سنگی

g: شتاب جاذبه زمین برحسب متر بر مجذور ثانیه

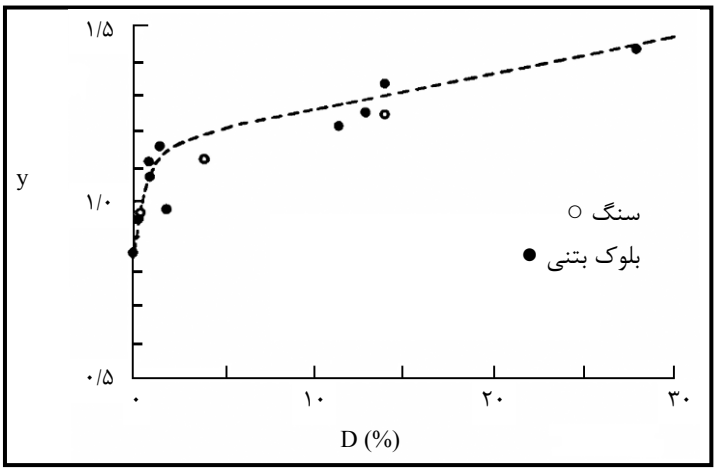
ρ_s: وزن مخصوص سنگ برحسب کیلوگرم بر متر مکعب

ρ_w: وزن مخصوص آب دریا برحسب کیلوگرم بر متر مکعب

α: زاویه شیب لایه آرمور برحسب رادیان

U_d: سرعت جریان وارده بر قطعات سنگی برحسب متر بر ثانیه

برای تعیین پارامتر متاثر از نرخ تخریب آرمورها باید از شکل (۳-۱) استفاده نمود.



شکل ۳-۱- تغییر پارامتر متاثر از نوع تخریب قطعات سنگی (y) بر اساس نرخ تخریب آرمورها (D)

۳-۳-۱-۱-۵- بارگذاری ناشی از ارتفاع موج سونامی

وزن آرمور به دست آمده ناشی از بارگذاری ارتفاع موج سونامی طرح با دوره بازگشت ۵۰-۶۰ تا ۱۵۰-۱۶۰ سال بر طبق رابطه ۳-۹ ارائه می‌شود.

$$W = \frac{\rho_{Armour} H_{Tsunami}^3}{K_\Delta (\Delta - 1)^3 \cos\alpha} \qquad (۹-۳)$$

در این حالت انتظار می‌رود که آرمور دچار عدم خرابی یا خرابی محدود شود (S=2). این بدان معنا است که موج‌شکن نه‌تنها در برابر موج اولیه سونامی بلکه در برابر امواج بعدی سونامی نیز مقاوم باشد و نیز ضروری است که تغییرشکل موج‌شکن در این حالت قابل توجه نباشد.

وزن آرمور به دست آمده ناشی از بارگذاری ارتفاع موج سونامی طرح با دوره بازگشت ۱۵۰-۱۶۰ تا هزار سال بر طبق رابطه ۳-۱۰ ارائه می‌شود.

$$W = 0.25 \frac{\rho_{Armour} H_{Tsunami}^3}{K_\Delta (\Delta - 1)^3 \cos\alpha} \qquad (۱۰-۳)$$

در این حالت انتظار می‌رود که آرمور دچار خرابی ناشی از یک یا چند سازوکار تخریب شود (S=4).

که در این روابط:

W : وزن قطعات آرمور برحسب کیلوگرم

ρ_{Armour}: وزن مخصوص قطعات آرمور برحسب کیلوگرم بر متر مکعب

$H_{D_{Tsunami}}$: ارتفاع موج سونامی طرح برحسب متر

K_Δ: ضریب پایداری آرمور

Δ: چگالی نسبی

α: زاویه شیب لایه آرمور برحسب رادیان

مهندس طراح علاوه بر روابط ارائه شده، لازم است آخرین یافته‌های منتشر شده در روابط کنترل پایداری موج‌شکن توده سنگی در برابر هر دو نوع بارگذاری مورد بحث را نیز مطالعه و تطبیق نماید.

۳-۳-۱-۲- بازطراحی موج‌شکن مرکب

بازطراحی موج‌شکن مرکب در برابر بارگذاری سونامی باید طی گام‌های زیر صورت گیرد:

۱- در صورتی که موج سونامی طرح از نوع بلند آبخیز باشد، نیروی موج سونامی طرح را باید طبق بند ۳-۳-۱-۲-۱ محاسبه کرد.

۲- در صورتی که موج سونامی طرح از نوع بلند آبخیز نباشد و سرریز آب به سمت حوضچه رخ ندهد، برای نیروی موج سونامی طرحی باید از ضوابط بند ۳-۳-۱-۲-۲ استفاده شود.

۳- در صورتی که موج سونامی طرح از نوع موج نوسانی وحشی نباشد و سرریز آب به سمت حوضچه رخ دهد، محاسبه نیروی موج سونامی طرح باید بر مبنای بند ۳-۳-۱-۲-۳ انجام شود.

۴- نیروهای زمین‌لرزه وارد بر اجزا سازه‌ای موج شکن قائم را باید طبق ضابطه شماره ۶۳۱ سازمان برنامه و بودجه کشور با عنوان «دستورالعمل طراحی سازه‌های ساحلی: شرایط طراحی» فصل دوازدهم بخش دوم تعیین شود.

۵- طراحی سازه‌ای مطابق آیین‌نامه بتن ایران با در نظر گرفتن ملاحظات شرایط محیطی انجام می‌شود.

۶- عملکرد موج‌شکن مرکب در برابر سونامی باید بر مبنای روش‌های ارائه شده در بند ۳-۳-۲ کنترل گردد.

۳-۳-۱-۲-۱- روابط اصلاح شده تانی‌موتو

در حالتی که نیروی موج سونامی طرح از نوع بلند آبخیز باشد، باید از روابط بندهای زیر استفاده شود. این روابط برای دو حالت مختلف تراز سطح آب یکسان و مختلف در طرفین موج‌شکن مرکب ارائه شده است.

طراح باید نیروی موج سونامی در حالت تراز یکسان آب در طرفین موج‌شکن از بند ۳-۳-۱-۲-۱-۱ و برای حالت دیگر از بند ۳-۳-۱-۲-۱-۲ تعیین کند.

۳-۳-۱-۲-۱-۱- تراز یکسان سطح آب در طرفین موج‌شکن مرکب

بر مبنای روابط اصلاح شده تانی‌موتو، در حالتی که تراز سطح آب در طرفین موج‌شکن مرکب یکسان باشد، نیروی موج سونامی طرح از روابط زیر محاسبه می‌شود. در شکل (۳-۲)، توزیع نیروی موج در این حالت ارائه شده است.

$$a_I = {H_{D_{Tsunami}}}/{2} \qquad (۱۱-۳)$$

$$\eta^* = 3a_I \qquad (۱۲-۳)$$

$$p_1 = 3\rho_w g a_I \qquad (۱۳-۳)$$

$$p_u = p_1 \quad (۱۴-۳)$$

که در این روابط:

a_I: دامنه موج سونامی طرح برحسب متر

$H_{D_{Tsunami}}$: ارتفاع موج سونامی طرح برحسب متر

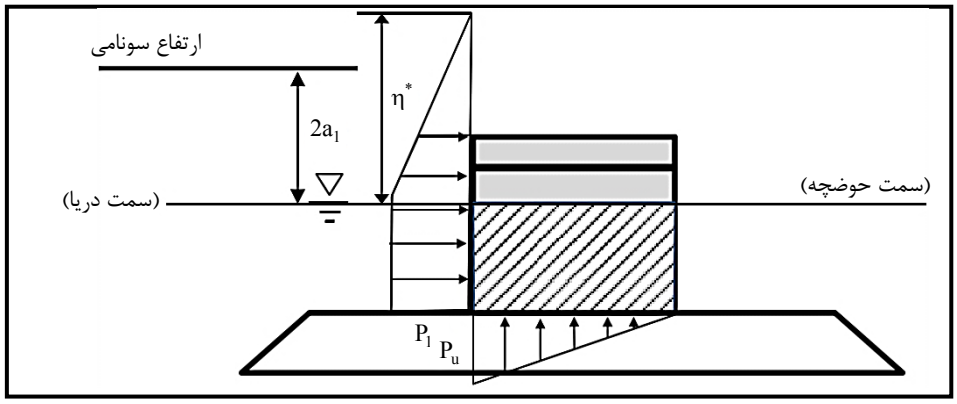
η^*: تراز اعمال فشار موج سونامی طرح برحسب متر

P_1: فشار موج سونامی طرح در جلو دیوار قائم موج‌شکن مرکب برحسب کیلو نیوتن بر متر مربع

ρ_w: وزن مخصوص آب برحسب کیلوگرم بر متر مکعب

g: شتاب جاذبه زمین برحسب متر بر مجذور ثانیه

P_u: فشار بالابرنده موج سونامی طرح برحسب کیلونیوتن بر مترمربع



شکل ۳-۲- توزیع نیروی موج سونامی طرح در حالت تراز یکسان سطح آب در طرفین موج‌شکن مرکب بر مبنای روابط اصلاح شده تانی‌موتو

۳-۳-۱-۲-۱-۲- تراز متفاوت سطح آب در طرفین موج‌شکن مرکب

بر مبنای روابط اصلاح شده تانی‌موتو، در حالتی که تراز سطح آب در طرفین موج‌شکن مرکب متفاوت باشد، نیروی موج از روابط این بند تعیین می‌شود. در شکل (۳-۳)، توزیع نیروی موج در این حالت ارائه شده است.

$$\eta^* = 3a_I \quad (۱۵-۳)$$

$$p_1 = 3\rho_w g a_I \quad (۱۶-۳)$$

$$p_2 = \rho_w g \eta_B \quad (۱۷-۳)$$

$$p_u = p_1 \quad (۱۸-۳)$$

$$p_L = p_2 \quad (۱۹-۳)$$

که در این روابط:

η^*: تراز اعمال فشار موج سونامی طرح برحسب متر

a_I: دامنه موج سونامی طرح برحسب متر

P_1: فشار موج سونامی طرح در جلو دیوار قائم برحسب کیلو نیوتن بر متر مربع

ρ_w: وزن مخصوص آب برحسب کیلوگرم بر متر مکعب

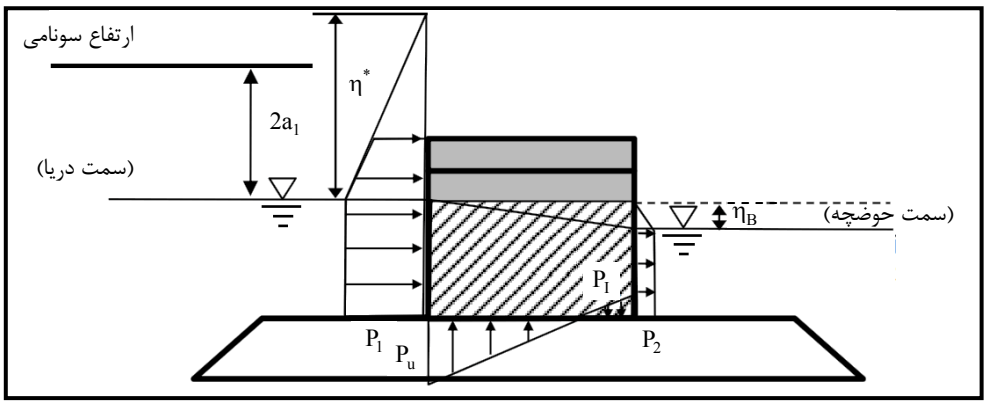
g: شتاب جاذبه زمین برحسب متر بر مجذور ثانیه

P_2: فشار منفی موج در پشت وجه قائم موج‌شکن مرکب برحسب کیلونیوتن بر مترمربع

η_B: اختلاف تراز سطح آب طرفین موج‌شکن مرکب برحسب متر

P_u: فشار بالابرنده موج سونامی طرح برحسب کیلونیوتن بر مترمربع

P_L: فشار بالابرنده منفی موج سونامی طرح برحسب کیلونیوتن بر مترمربع



شکل ۳-۳- توزیع نیروی موج سونامی طرح در حالت تراز متفاوت سطح آب در طرفین موج‌شکن مرکب بر مبنای روابط اصلاح شده تانی‌موتو

۳-۳-۱-۲-۲- روابط تانی‌موتو

در حالتی که نیروی موج سونامی طرح بلند آبخیز نباشد و سرریز آب به سمت حوضچه رخ ندهد، نیروی موج باید از روابط بندهای زیر به دست آید. این روابط برای دو حالت مختلف تراز سطح آب یکسان و مختلف در طرفین موج‌شکن مرکب ارائه شده‌است.

۳-۳-۱-۲-۱- تراز یکسان سطح آب در طرفین موج‌شکن مرکب

بر مبنای روابط تانی‌موتو، در صورتی که تراز سطح آب در طرفین موج‌شکن مرکب یکسان باشد، نیروی موج سونامی طرح از روابط زیر محاسبه می‌شود. در شکل (۳-۴)، توزیع نیروی موج در این حالت ارائه شده است.

$$\eta^* = 3a_I \qquad (۲۰-۳)$$

$$h_c/H_D = 0.6 : \lambda = \begin{cases} 1 \\ 1.27 - 1.8a_I/h \end{cases} \qquad (۲۱-۳)$$

که در این روابط:

η^*: تراز اعمال فشار موج سونامی طرح برحسب متر

a_I: دامنه موج سونامی طرح برحسب متر

λ: فشار موج سونامی طرح در جلو وجه قائم موج‌شکن مرکب برحسب کیلونیوتن بر مترمربع

h_c: اختلاف تراز تاج موج شکن مرکب و تراز سطح آب برحسب متر

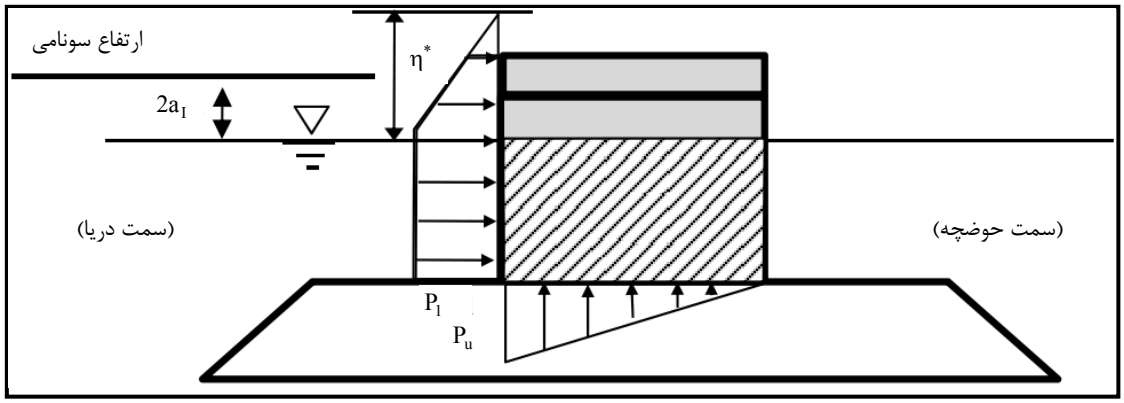
$H_{D_{Tsunami}}$: ارتفاع موج سونامی طرح برحسب متر

h: اختلاف تراز سطح آب دریا با عمق قرارگیری موج‌شکن مرکب برحسب متر

ρ_w: وزن مخصوص آب برحسب کیلونیوتن بر متر مربع

g: شتاب جاذبه زمین برحسب متر بر مجذور ثانیه

P_u: فشار بالابرنده موج سونامی طرح برحسب کیلونیوتن بر مترمربع



شکل ۳-۴- توزیع نیروی موج سونامی طرح در حالت تراز یکسان سطح آب در طرفین موج‌شکن مرکب بر مبنای روابط تانی‌موتو

۳-۳-۱-۲-۲-۲- تراز متفاوت سطح آب در طرفین موج‌شکن مرکب

بر مبنای روابط تانی‌موتو، در صورتی که تراز سطح آب در طرفین موج‌شکن متفاوت باشد؛ نیروی موج سونامی طرح از این بند محاسبه می‌شود. در شکل (۳-۵)، توزیع نیروی موج در این حالت ارائه شده است.

$$\eta^* = 3a_I \qquad (۲۵-۳)$$

$$p_1 = 2.2\rho_w g a_I \qquad (۲۶-۳)$$

$$p_2 = \rho_w g \eta_B \qquad (۲۷-۳)$$

$$p_u = p_1 \qquad (۲۸-۳)$$

$$p_L = p_2 \qquad (۲۹-۳)$$

که در این روابط:

η^*: تراز اعمال فشار موج سونامی طرح برحسب متر

a_I: دامنه موج سونامی طرح برحسب متر

P_1: فشار موج سونامی طرح در جلو قائم موج‌شکن مرکب برحسب کیلو نیوتن بر متر مربع

ρ_w: وزن مخصوص آب برحسب کیلوگرم بر متر مکعب

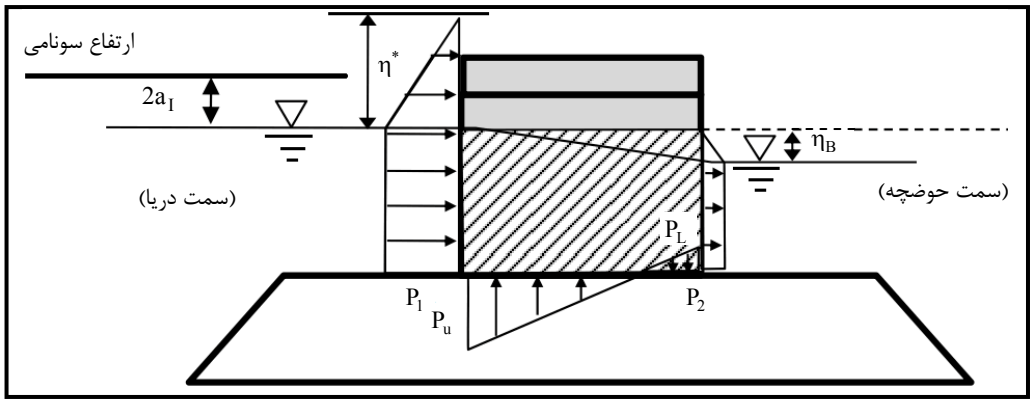
g: شتاب جاذبه زمین برحسب متر بر مجذور ثانیه

P_2: فشار منفی موج در پشت وجه قائم موج‌شکن مرکب برحسب کیلونیوتن بر مترمربع

η_B: اختلاف تراز سطح آب طرفین موج‌شکن مرکب برحسب متر

P_u: فشار بالابرنده موج سونامی طرح برحسب کیلونیوتن بر مترمربع

P_L: فشار بالابرنده منفی موج سونامی طرح برحسب کیلونیوتن بر مترمربع



شکل ۳-۵- توزیع نیروی موج سونامی طرح در حالت تراز متفاوت سطح آب در طرفین موج‌شکن مرکب بر مبنای روابط تانی‌موتو

۳-۳-۱-۲-۱-۳- نیروی موج سونامی طرح بر اساس اختلاف فشار هیدرواستاتیک

در حالتی که بلند آبخیز نباشد و سرریزی آب رخ دهد، باید از روابط زیر برای محاسبه نیروی موج سونامی طرح استفاده نمود. در شکل (۳-۶)، توزیع نیروی موج در این حالت ارائه شده است.

$$p_1 = 1.05\rho_w g(\eta_f + h') \qquad (۳۰-۳)$$

$$p_2^* = \frac{\eta_f - h_c}{\eta_f + h'} P1 \qquad (۳۱-۳)$$

$$p_2^{**} = 0.9\rho_w g(\eta_r + h') \qquad (۳۲-۳)$$

که در این روابط:

P_1: فشار موج سونامی طرح در جلو وجه قائم موج‌شکن مرکب برحسب کیلونیوتن بر متر مربع

ρ_w: وزن مخصوص آب برحسب کیلوگرم بر متر مکعب

g: شتاب جاذبه زمین برحسب متر بر مجذور ثانیه

η_f: اختلاف تراز سطح آب در جلوی موج‌شکن مرکب و تراز سطح آب در زمان سرریزی برحسب متر

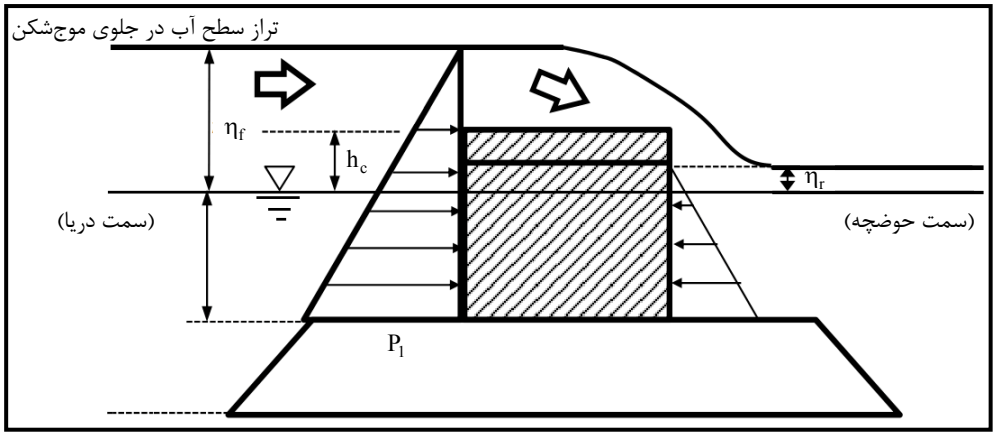
h': اختلاف تراز زیرسازه و تراز سطح آب برحسب متر

P_2: فشار منفی موج در پشت وجه قائم موج‌شکن مرکب برحسب کیلونیوتن بر مترمربع

h_c: اختلاف تراز تاج موج‌شکن مرکب و تراز سطح آب برحسب متر

P_2^{**}: فشار منفی موج سونامی طرح در پشت دیوار قائم در حالت سرریزی از روی موج‌شکن مرکب برحسب کیلونیوتن بر مترمربع

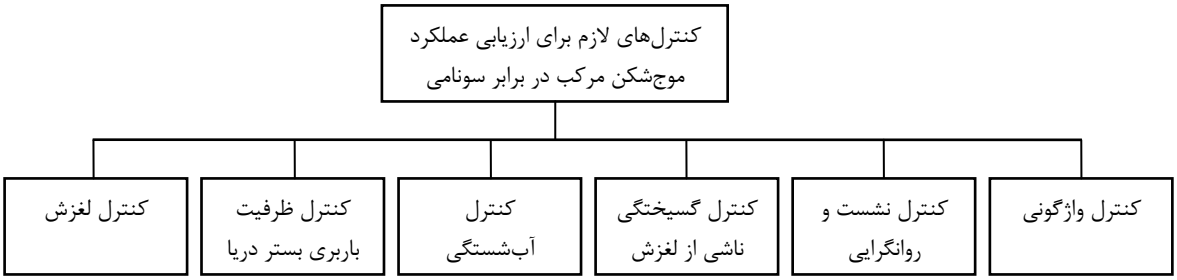
η_r: تراز سطح آب در طرفین موج‌شکن مرکب برحسب متر



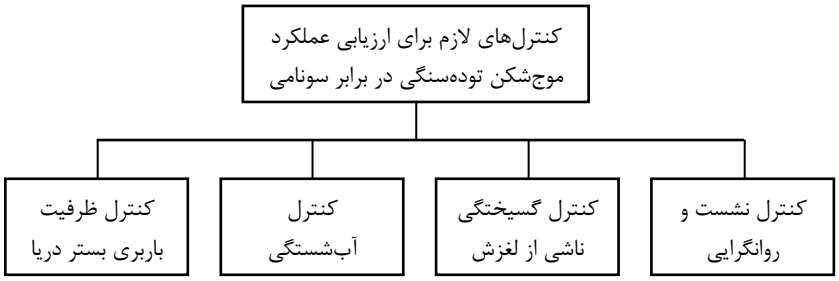
شکل ۳-۶- توزیع نیروی موج سونامی طرح در حالت سریزی موج سونامی از روی موج‌شکن مرکب

۳-۳-۲- کنترل عملکرد موج‌شکن در برابر سونامی

ارزیابی عملکرد موج‌شکن‌های توده‌سنگی و مرکب باید طبق کنترل‌های ذکر شده در شکل‌های (۳-۷) و (۳-۸) انجام شود.



شکل ۳-۷- کنترل‌های لازم برای ارزیابی عملکرد موج‌شکن مرکب در برابر سونامی



شکل ۳-۸- کنترل‌های لازم برای ارزیابی عملکرد موج‌شکن توده‌سنگی در برابر سونامی

۳-۳-۲-۱- کنترل لغزش

در بررسی پایداری موج‌شکن مرکب در مقابل لغزش باید از رابطه ۳-۳۳ استفاده نمود:

$$\frac{f_d\left(W_d - P_{B_d} - P_{U_d}\right) + Rd}{\gamma_a P_{H_d}} \geq 1.2 \qquad (۳۳-۳)$$

که در این رابطه:

f: ضریب اصطکاک بین بدنه قائم موج‌شکن مرکب و زیر سازه

w: وزن بدنه قائم موج‌شکن مرکب برحسب کیلونیوتن بر متر

P_B: وزن غوطه‌وری قائم موج‌شکن مرکب برحسب کیلونیوتن بر متر

P_u: نیروی بالابرنده موج سونامی طرح برحسب کیلونیوتن بر متر

R_d: نیروی مقاوم بخش تقویت‌شده وجه سمت بندر موج‌شکن مرکب برحسب کیلونیوتن بر متر (رجوع به بند ۳-۴-۱ شود)

γ_a: ضریب تاثیر تحلیل سازه‌ای

P_H: نیروی افقی موج سونامی طرح برحسب کیلونیوتن بر متر

مقادیر طراحی در رابطه بالا را می‌توان از فرمول‌های زیر محاسبه نمود. اندیس‌های k و d به ترتیب معرف مقدار اسمی و طراحی پارامتر مربوطه بوده و علامت γ بیانگر ضریب تاثیر مرتبط با این اندیس‌ها می‌باشد که در جدول ۳-۱ ارائه شده است:

$$f_d = \gamma_f f_k \qquad (۳۴-۳)$$

$$P_{U_d} = \gamma_{P_U} P_{U_k} \qquad (۳۵-۳)$$

$$P_{H_d} = \gamma_{P_H} P_{H_k} \qquad (۳۶-۳)$$

که در این روابط:

f: ضریب اصطکاک بین بدنه قائم موج‌شکن مرکب و زیر سازه

γ_f: ضریب تاثیر ضریب اصطکاک بین بدنه قائم موج‌شکن مرکب و زیرسازه

P_U: نیروی بالای برنده موج سونامی طرح برحسب کیلونیوتن بر متر

γ_{P_U}: ضریب تاثیر نیروی بالابرنده موج سونامی طرح

P_H: نیروی افقی موج سونامی طرح برحسب کیلونیوتن بر متر

γ_{P_H}: ضریب تاثیر نیروی افقی موج سونامی طرح

مقدار وزن بدنه قائم موج‌شکن مرکب را باید براساس مصالح تشکیل‌دهنده آن از جمله اوزان بتن مسلح، غیرمسلح و ماسه‌پرکننده محاسبه نمود.

$$W_d = \Sigma \gamma_k W_k = \gamma_{W_{RC}} W_{RC} + \gamma_{W_{NC}} W_{NC} + \gamma_{W_{sand}} W_{sand} \qquad (۳۷-۳)$$

که در این روابط:

W: وزن بدنه قائم موج‌شکن مرکب برحسب کیلونیوتن بر متر

W_{RC}: وزن بتن مسلح بدنه قائم موج‌شکن مرکب برحسب کیلونیوتن بر متر

$\gamma_{W_{RC}}$: ضریب تاثیر وزن بتن مسلح بدنه قائم موج‌شکن مرکب

W_{NC}: وزن بتن غیرمسلح بدنه قائم موج‌شکن مرکب برحسب کیلونیوتن بر متر

$\gamma_{W_{NC}}$: ضریب تاثیر وزن بتن غیرمسلح بدنه قائم موج‌شکن مرکب

W_{sand}: وزن ماسه استفاده شده در پر کردن بدنه قائم موج‌شکن مرکب برحسب کیلونیوتن بر متر

$\gamma_{W_{sand}}$: ضریب تاثیر وزن ماسه استفاده شده در پر کردن بدنه قائم موج‌شکن مرکب

همچنین در محاسبه وزن غوطه‌وری بدنه قائم موج‌شکن مرکب باید از رابطه ۳-۳۸ و ۳-۳۹ استفاده شود:

$$r_{WL} = H.H.W.L / H.W.L \quad (۳۸-۳)$$

$$P_{B_d} = P_w g\left\{\left(\gamma_{w_L} WL_k + h\right)B_c + 2B_f h_f\right\} \quad (۳۹-۳)$$

که در این رابطه:

H.H.W.L: تراز نجومی بالاتر از مد بالاتر برحسب متر

H.W.L: مد بالاتر برحسب متر

P_B :وزن غوطه‌وری موج‌شکن مرکب برحسب کیلونیوتن بر متر

P_w: وزن مخصوص آب برحسب کیلوگرم بر متر مکعب

g: شتاب جاذبه زمین برحسب متر بر مجذور ثانیه

WL :تراز آب طراحی برحسب متر

γ_{w_L}: ضریب تاثیر تراز آب طراحی

h :ارتفاع بدنه قائم موج‌شکن مرکب قرار گرفته در آب برحسب متر

B_c: عرض بدنه قائم موج‌شکن مرکب برحسب متر

h_f : ارتفاع پنجه برحسب متر

B_f: عرض پنجه برحسب متر

۳-۳-۲-۲- کنترل ظرفیت باربری بستر دریا

برای کنترل ظرفیت باربری بستر دریا در زمان وقوع سونامی، طراح باید به روابط ارائه شده در ضابطه شماره ۶۳۴ سازمان برنامه و بودجه کشور با عنوان «دستورالعمل طراحی سازه‌های ساحلی» و نیز شبیه‌سازی‌های عددی خاص این موضوع، با در نظر گرفتن ضرایب تاثیر خاص این کنترل که در جدول (۳-۱) ارائه شده است، رجوع نماید.

جدول ۳-۱- ضرایب تاثیر در تایید عملکرد برای سونامی

		پارامتر مرتبط	γ
لغزش و واژگونی	γ_f	ضریب اصطکاک	۱
	γ_{P_U} , γ_{P_H}	نیروی سونامی	۱
	γ_{wl}	$r_{wl} = 1.5$	۱
		$r_{wl} = 2.5 - 2.0$	۱
		H.H.W.L	۱

ادامه جدول ۳-۱- ضرایب تاثیر در تایید عملکرد برای سونامی

		پارامتر مرتبط	γ
	$\gamma_{w_{RC}}$	وزن بتن مسلح	۱
	$\gamma_{w_{NC}}$	وزن بتن غیرمسلح	۱
	$\gamma_{w_{Sand}}$	وزن ماسه پرکننده	۱
	γ_a	تحلیل سازه‌ای	۱/۲
ظرفیت باربری پی سازه	$\gamma_{P_H}^*$	نیروی سونامی	۱
	γ_q	سربار هر قطعه در واحد طول	۱
	$\gamma_{w'}$	وزن هر قطعه در واحد طول	۱
	$\gamma_{\tan\phi'}$	مقاومت خاک: زاویه مقاومت برشی	۱
	$\gamma_{c'}$	مقاومت خاک: چسبندگی	۱
	γ_a	تحلیل سازه‌ای	۱

۳-۳-۲-۳- کنترل واژگونی

در بررسی پایداری موج‌شکن مرکب در برابر واژگونی از رابطه ۳-۴۰ استفاده می‌شود. انـدیس‌هـای K و d بـه ترتیـب معرف مقدار اسمی و طراحی پارامتر مربوطه بوده و علامت γ بیانگر ضریب تاثیر مرتبط با این اندیس‌ها می‌باشـد کـه در جدول (۳-۱) ارائه شده است.

$$\frac{a_1 W_d - a_2 P_{B_d} - a_3 P_{U_d}}{a_4 P_{H_d}} \geq 1.2 \qquad (۴۰-۳)$$

که در این رابطه:

a_1: طول بازوی وزن بدنه قائم موج‌شکن مرکب برحسب متر

W: وزن بدنه قائم موج‌شکن مرکب برحسب کیلونیوتن بر متر

a_2: طول بازوی وزن غوطه‌وری موج‌شکن مرکب برحسب متر

P_B: وزن غوطه‌وری موج‌شکن مرکب برحسب کیلونیوتن بر متر

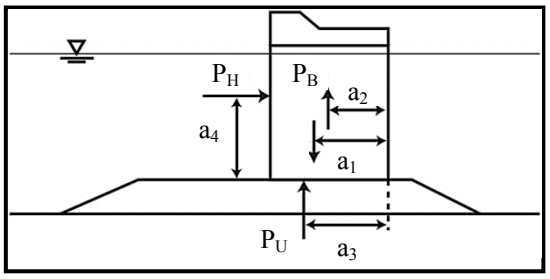
a_3: طول بازوی نیروی بالابرنده موج سونامی طرح برحسب متر

P_U: نیروی بالابرنده موج سونامی طرح برحسب کیلونیوتن بر متر

a_4: طول بازوی نیروی افقی موج سونامی طرح برحسب متر

P_H: نیروی افقی موج سونامی طرح برحسب کیلونیوتن بر متر

پارامترهای استفاده شده در رابطه بالا در شکل (۳-۹) نمایش داده شده است.



شکل ۳-۹- پارامترهای موثر در کنترل واژگونی

۳-۳-۲-۴- کنترل گسیختگی ناشی از لغزش بستر

برای کنترل گسیختگی ناشی از لغزش باید از ضابطه شماره ۶۳۴ سازمان برنامه و بودجه کشور با عنوان «دستورالعمل طراحی سازه‌های ساحلی: پی‌ها» و مدل‌سازی‌های عددی خاص این موضوع استفاده شود.

۳-۳-۲-۵- کنترل نشست و روانگرایی

برای بررسی نشست موج‌شکن و ارزیابی پتانسیل روانگرایی خاک در زمان وقوع سونامی باید به نشریات شماره ۶۳۴ با عنوان «دستورالعمل طراحی سازه‌های ساحلی: پی‌ها» و شماره ۵۲۵ با عنوان «راهنمای ارزیابی پتانسیل روانگرایی خاک، پیامدها و روش‌های کاهش مخاطرات آن» سازمان برنامه و بودجه کشور رجوع شود.

۳-۳-۲-۶- کنترل آب‌شستگی

برای بررسی آب‌شستگی ناشی از جریان سرریزی سونامی که یکی از علل‌های مهم تخریب موج‌شکن‌ها تحت اثر سونامی می‌باشد، باید از فصل پنجم ضابطه شماره ۵۴۹ سازمان برنامه و بودجه کشور با عنوان «راهنمای روش‌های محاسبه آبشستگی موضعی» استفاده شود.

۳-۴- راهکارهای مختلف برای مقاوم سازی موج‌شکن

پس از طراحی، بازطراحی و کنترل عملکرد موج‌شکن مرکب و توده‌سنگی با توجه به مقطع نهایی به دست‌آمده و نیز درجه اهمیت طرح و هزینه‌های اجرایی، طراح می‌تواند بر حسب نیاز اقدام به استفاده از راهکارهای اشاره‌شده در این بخش نماید.

۳-۴-۱- تقویت وجه سمت بندر موج‌شکن مرکب

با استفاده از قطعات سنگی و یا بلوک‌های بتنی می‌توان وجه سمت بندر موج‌شکن مرکب را تقویت نمود به‌نحوی‌که پایداری آن در برابر واژگونی و لغزش ناشی از سونامی تامین گردد. به طور کلی، ارتفاع بخش تقویت شده باید ۱/۳ ارتفاع بدنه قائم موج‌شکن مرکب (و یا بیش‌تر)، و عرض بخش تقویت شده باید حداقل برابر ارتفاع بخش تقویت شده باشد.

نیروی مقاوم طراحی بخش تقویت شده از رابطه ۳-۴۱ محاسبه می‌شود.

$$R_d = \gamma_r R_k \qquad (۴۱-۳)$$

مقدار اسمی این نیرو (R_k) به یکی از دو روش زیر باید محاسبه شود.

در صورتی‌که مصالح بخش تقویت شده از سنگ باشد، نیروی مقاوم اسمی بخش تقویت شده از رابطه ۳-۴۲ به دست می‌آید.

$$R_k = W_s \tan(\theta + \varnothing) \qquad (۴۲-۳)$$

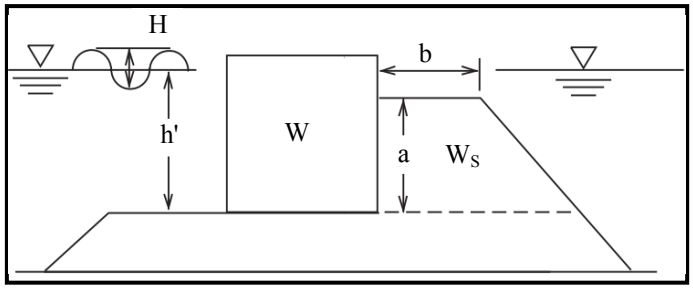
که در این رابطه:

W_s: وزن قطعه تقویتی بالای صفحه لغزش برحسب کیلونیوتن بر متر

θ: زاویه سطح لغزش برحسب درجه

$\varnothing$: ضریب اصطکاک بین قطعات سنگ برابر $f_1 = 0.8) \tan^{-1} f_1$ برحسب درجه

نیروی مقاوم را می‌توان بر مبنای بر مبنای مطالعات تجربی بر اساس این فرض که این نیرو تابعی از ارتفاع موج و عمق قرارگیری موج‌شکن می‌باشد، از رابطه ۳-۴۳ تعیین نمود (به شکل ۳-۱۰ رجوع شود).



شکل ۳-۱۰- سطح مقاوم در برابر لغزش بخش تقویت شده

$$R_k = \gamma W_s \qquad (H/h' \le 0.5) \qquad (۴۳-۳)$$

که در این رابطه:

W_s: وزن قطعه تقویت شده برحسب کیلونیوتن بر متر

γ: ضریب اصطکاک سنگ: $0.9 + 0.2\ (H/h' - 0.5)$

بتن: $0.4 + 0.2\ (H/h' - 0.5)$

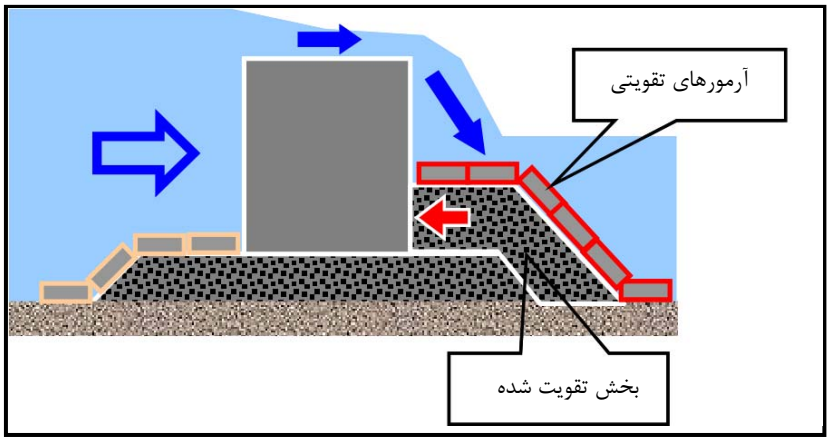
H: ارتفاع موج سونامی برحسب متر

h': عمق استقرار بدنه قائم موج‌شکن مرکب

در صورتی‌که جنس بخش تقویت شده از آرمورهای بتنی باشد، ضروری است هیچ فاصله‌ای بین آن‌ها و بدنه قائم موج‌شکن مرکب در زمان نصب آن‌ها وجود نداشته باشد.

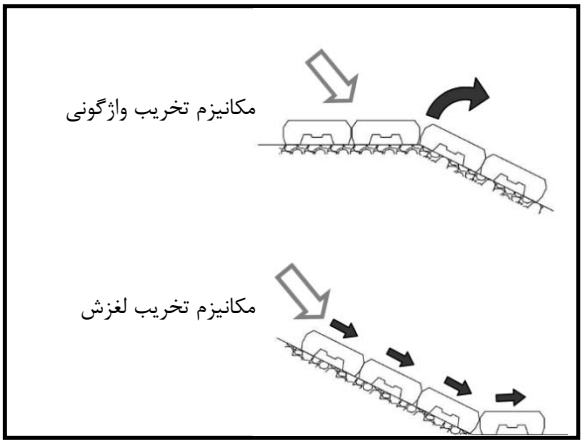
در صورت تقویت موج‌شکن مرکب به این روش طراح باید کنترل ظرفیت باربری بستر و گسیختگی ناشی از لغزش بستر دریا را مجددا بر مبنای بندهای ۳-۳-۲-۲ و ۳-۳-۲-۴ ارزیابی نماید. همچنین علاوه بر به‌کارگیری روش‌های مبتنی بر روابط تجربی، توصیه می‌گردد شبیه سازی‌های عددی برای این دو کنترل انجام شود.

در صورتی که جنس بخش تقویت شده از مصالح سنگی باشد، باید آرمورهایی همانند شکل (۳-۱۱) بر روی این بخش برای جلوگیری از آب‌شستگی آن مستقر نمود.



شکل ۳-۱۱- شکل شماتیک بخش تقویتی و بلوک‌های مستقر روی آن

اصولا، سازوکارهای تخریب آرمورهای تقویتی بستگی به نوع آن‌ها دارد (شکل ۳-۱۲). آرمورهای تخت مانند: X-block و Permex دارای دو نوع سازوکار تخریب ناشی از واژگونی در نقطه سرریز جریان سونامی و تخریب ناشی از لغزش بر روی سطوح شیبدار بخش تقویت شده می‌باشند. در حالی که، آرمورهای مستهلک‌کننده موج نظیر Tetrapod دارای تنها یک سازوکار تخریب ناشی از جابه‌جایی منفرد هر قطعه در نقطه سرریز جریان سونامی می‌باشند.



شکل ۳-۱۲- مکانیزم‌های تخریب آرمورهای مستقر بر روی بخش تقویت شده

به دلیل آب‌شستگی و نمایان شدن لایه زیرین جهت تاخیر در تخریب این آرمورها، توصیه می‌گردد حداقل ۲ لایه آرمور بر روی بخش تقویت شده مستقر شود.

برای کنترل پایداری قطعات آرمور استفاده شده در بخش تقویت شده موج‌شکن مرکب باید از روابط شماره ۳-۴۴ و شماره ۳-۴۵ استفاده شود.

$$\frac{h_1}{(S_r - 1)\, D_n} = N_{S1} = f\left(\frac{B}{L}, \frac{d_2}{D_1}\right) \quad \text{حالت واژگونی} \qquad (۴۴-۳)$$

$$\frac{h_1}{(S_r-1)\,S} = N_{S2} = f\left(\frac{d_2}{d_1}\right) \quad \text{حالت لغزش} \qquad \text{برای} \quad \frac{B}{L} \le 1.1 \tag{۴۵-۳}$$

که در این روابط:

h_1: عمق جریان سرریزی برحسب متر

S_r: چگالی نسبی

S: طول شیب بخش زیر سازه سنگی وجه سمت بندر برحسب متر

N_{S1} و N_{S2}: اعداد پایداری

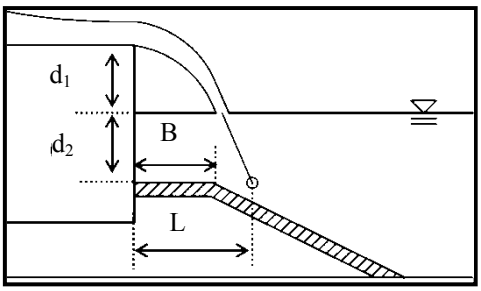
B: عرض بخش زیرسازهسنگی وجه سمت بندر برحسب متر

L :طول سرریز جریان سونامی (فاصله لبه بدنه قائم موج‌شکن مرکب تا نقطه فرود سرریز بر روی آرمورهای تقویتی) برحسب متر

d_1: ارتفاع تاج موج‌شکن مرکب از روی تراز سطح آب برحسب متر

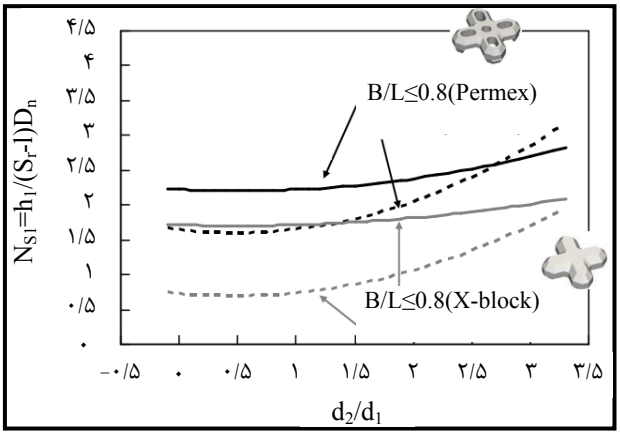
d_2: عمق استقرار آرمورهای بتنی تقویتی برحسب متر

شکل (۳-۱۳) برای درک بهتر پارامترهای استفاده شده در روابط شماره ۳-۴۴ و شماره ۳-۴۵ ارائه شده است.

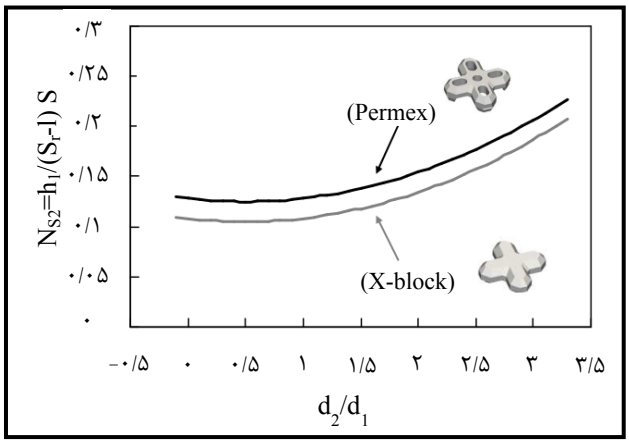


شکل ۳-۱۳- پارامترهای استفاده شده در تحلیل پایداری آرمورهای تقویتی

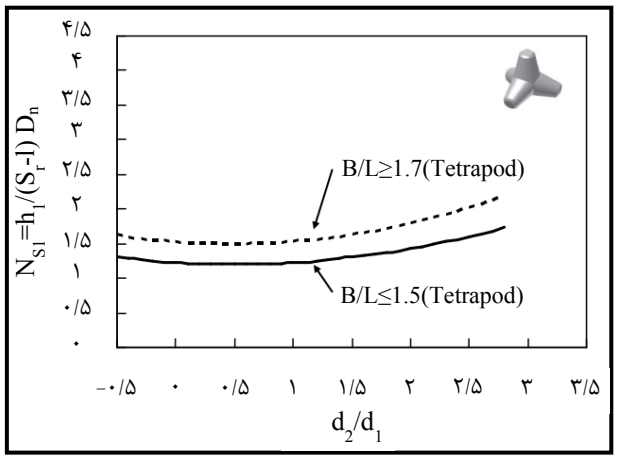
اعداد پایداری (N_{S1} و N_{S2}) بر مبنای مطالعات آزمایشگاهی برای آرمورهای Permex، X-Block و Tetrapod به ترتیب در شکل‌های (۳-۱۴) تا (۳-۱۶) ارائه شده اند.



شکل ۳-۱۴- نمودار N_{S1} برحسب $\frac{d_2}{d_1}$ برای آرمورهای بتنی Permex و X-block



شکل ۳-۱۵- نمودار N_{S2} برحسب $\frac{d_2}{d_1}$ برای آرمورهای بتنی Permex و X-block



شکل ۳-۱۶- نمودار N_{S1} برحسب $\frac{d_2}{d_1}$ برای آرمور بتنی Tetrapod

طراح باید برای سایر آرمورهای پرکاربرد به مطالعات انجام‌شده در این زمینه، خاص آرمور انتخابی رجوع نماید. برای استفاده از روابط بالا، ضروری است نقطه سرریزی جریان سونامی تعیین شود. این نقطه را می‌توان به صورت تقریبی با استفاده از ارتفاع جریان در سمت دریا موج‌شکن مرکب (h_1) از روابط ۳-۴۶ تا ۳-۵۱ به دست آورد (پارامترهای استفاده شده در این روابط در شکل (۳-۱۷) ارائه شده است).

$$h_2 = 0.45\, h_1 \qquad (۴۶-۳)$$

$$L_0 = u_2\sqrt{\frac{2(d_1 + h_2/2)}{g}} \qquad (۴۷-۳)$$

$$u_{0x} = u_2 \qquad u_{02} = \sqrt{2g(d_1 + h_2/2)} \qquad (۴۸-۳)$$

$$L = L_0 + \frac{u_{0x}}{u_{0z}}\, d2 \qquad (۴۹-۳)$$

$$u_2 = \frac{q}{h_2} \qquad (۵۰-۳)$$

$$q = 0.35\, h_1\sqrt{2g h_1} \qquad (۵۱-۳)$$

که در این روابط:

q: دبی سرریز در طول موج‌شکن مرکب برحسب متر مکعب بر ثانیه

h_1: ارتفاع جریان در سمت دریا موج‌شکن مرکب ثانیه برحسب متر

h_2 :ارتفاع جریان ثانیه در روی موج‌شکن مرکب برحسب متر

u_1: سرعت جریان سونامی برحسب متر بر ثانیه

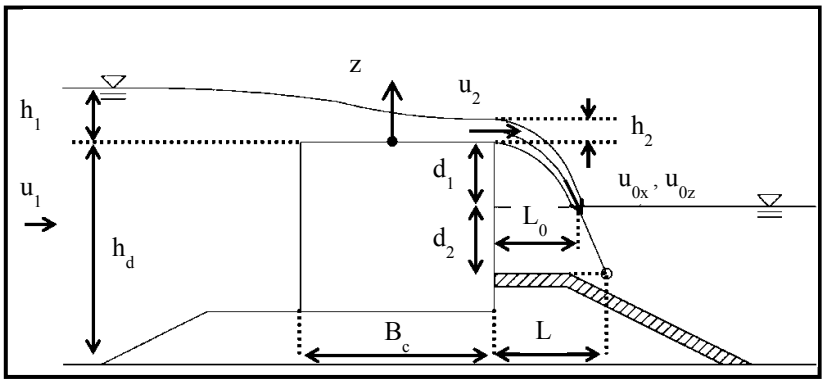
u_2: سرعت جریان سونامی در روی موج‌شکن مرکب برحسب متر بر ثانیه

d_1: ارتفاع تاج موج‌شکن مرکب از روی تراز سطح آب برحسب متر

u_{0x}: سرعت جریان سرریزی شده در جهت x برحسب متر بر ثانیه

u_{0z}: سرعت جریان سرریزی شده در جهت Z برحسب ثانیه

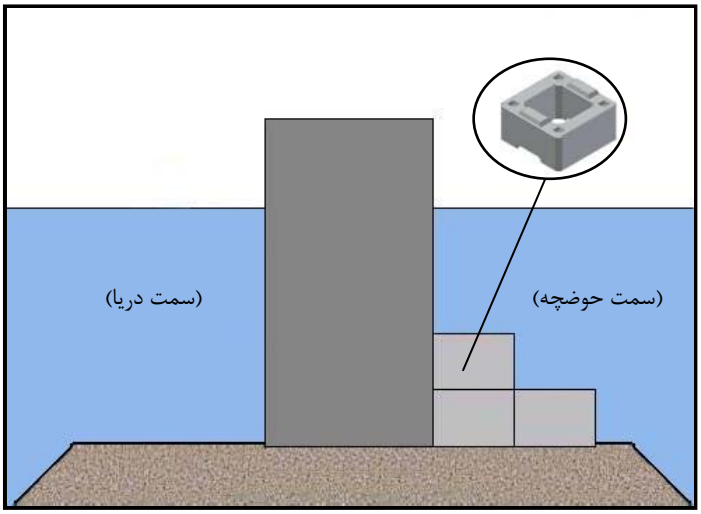
L_0: طول اولیه سرریز جریان سونامی (فاصله لبه بدنه قائم موج‌شکن مرکب تا نقطه فرود سرریز بر روی آرمورهای تقویتی) برحسب متر



شکل ۳-۱۷- پارامترهای استفاده شده در تعیین نقطه سرریز جریان سونامی

۳-۴-۲- بلوک‌های SPF

برای تقویت موج‌شکن مرکب در برابر لغزش می‌توان از بلوک‌های SPF استفاده نمود. با ریختن مصالح سنگی در داخل حفره‌های این بلوک‌ها، اصطکاک لازم جهت پایداری در برابر لغزش ناشی از نیروهای موج تامین می‌شود (به شکل ۳-۱۸رجوع شود).



شکل ۳-۱۸- شکل شماتیک بلوک‌های SPF جهت پایداری در برابر لغزش

در صورتی که طراح جهت تقویت موج‌شکن مرکب از این بلوک‌ها استفاده کند، نیروی مقاوم آن جهت کنترل پایداری در برابر لغزش را باید از روابط ۳-۵۲ تا ۳-۵۴ محاسبه نماید.

$$M_s = V_{hole} \times \varphi \times \rho_s \qquad (۵۲-۳)$$

$$W_{w-SPF} = W_c + W_s = M_C \times \frac{\rho_C - \rho_w}{\rho_C} \times g + M_s \times \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_s} \qquad (۵۳-۳)$$

$$R_d = W_{w-SPF} \times \mu \qquad (۵۴-۳)$$

که در این روابط:

M_s: جرم سنگ درون حفره بلوک‌ها برحسب کیلوگرم

V_{hole}: حجم حفره بلوک‌ها برحسب مترمکعب

φ: تخلخل سنگ‌های دورن حفره بلوک‌ها

ρ_s: وزن مخصوص سنگ‌های درون حفره بلوک‌ها برحسب کیلوگرم بر مترمکعب

W_{w-SPF}: وزن بلوک‌ها زیر آب برحسب کیلونیوتن بر متر

W_c: وزن بتن زیر آب برحسب کیلونیوتن بر متر

W_s: وزن سنگ زیر آب برحسب کیلونیوتن بر متر

ρ_C: وزن مخصوص بتن برحسب کیلوگرم بر مترمکعب

g: شتاب جاذبه زمین برحسب متر بر مجذور ثانیه

R_d: نیروی مقاوم بلوک‌های SPF برحسب کیلونیوتن بر متر

μ: ضریب اصطکاک

ضریب اصطکاک در روابط بالا را باید از جدول (۳-۲) تعیین نمود.

جدول ۳-۲- ضریب اصطکاک بین مصالح مختلف

بتن- بتن	۰/۵
بتن- سنگ کف	۰/۵
بتن زیر آب- سنگ کف	۰/۷-۰/۸
بتن- توده سنگ	۰/۶
توده سنگ- توده سنگ	۰/۸

۳-۴-۳- بهسازی بستر دریا

طراح باید برای بهسازی بستر دریا از روش‌های ارائه‌شده در ضابطه ۶۳۴ سازمان برنامه و بودجه کشور با عنوان «دستورالعمل طراحی سازه‌های ساحلی: پی‌ها» و یا سایر روش‌های معتبر استفاده نماید.

فصل ۴

راهکارهای کاهش اثر سونامی بر سواحل و مستحدثات ساحلی

۴-۱- محدوده کاربرد

در این فصل به معرفی راهکارهای سازه‌ای و غیرسازه‌ای کاهش اثر سونامی بر سواحل و مستحدثات ساحلی پرداخته می‌شود.

۴-۲- راهکارهای سازه‌ای

هرگونه ساخت و ساز برای کاهش اثرات احتمالی مخاطرات سونامی و یا هر روش مهندسی که منجر به مقاومت سازه‌های ساحلی در برابر این خطر شود را در دسته راهکارهای سازه‌ای کاهش اثر سونامی بر سواحل و مستحدثات ساحلی می‌توان قرار داد.

۴-۲-۱- موج‌شکن‌های توده‌سنگی و مرکب

موج‌شکن‌های توده‌سنگی و مرکب، همان‌طور که در فصل پیش طراحی آن‌ها در برابر بارگذاری سونامی به تفصیل تشریح شد، یکی از انواع راهکارهای سازه‌ای می‌باشند.

۴-۲-۲- مانع فراساحلی سونامی

این مانع برای جلوگیری از ورود امواج سونامی به یک منطقه محافظت‌شده خاص، طراحی و اجرا می‌گردند. در انتخاب این روش، مشکل تملک زمین و اراضی مطرح نمی‌باشد، لیکن لازم است موارد زیر در مکان‌یابی این روش در نظر گرفته شود.

- قرار نگرفتن این نوع سازه‌ها در مرز آبی سایر کشورها؛
- قرار نگرفتن در مسیرهای ناوبری مهم بین المللی؛ و
- قرار نگرفتن در مناطق خاص مانند مناطق خاص حفاظت شده دریایی.

همچنین به دلیل اثر این مانع در تغییر رژیم جریان‌های عمود و موازی ساحل و نیز کاهش نوسانات جزر و مدی باید مدل‌سازی‌های خاص این مهم در طراحی نیز در نظر گرفته شود.

۴-۲-۳- مانع ساحلی سونامی

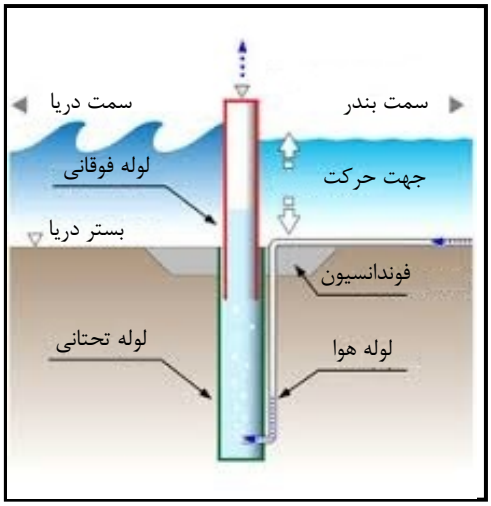
مانع ساحلی سونامی که در خط ساحلی احداث می‌شود، نوع دیگری از راهکارهای سازه‌ای می‌باشد. به دلیل آنکه در ساحل نیروی موج سونامی بیش‌تر از منطقه فراساحلی می‌باشد، طراح باید پیش‌بینی‌های لازم جهت پاسخ مناسب سازه‌ای این مانع را در نظر بگیرد. همچنین باید در نظر داشت که انتخاب این راهکار بر روی طرح‌های توسعه ساحل در آینده اثر خواهد گذاشت.

۴-۲-۴- مانع خشکی سونامی

مانع خشکی سونامی که می‌تواند در پس‌کرانه احداث شود، از انواع دیگر راهکارهای سازه‌ای می‌باشد. طراح در انتخاب این نوع مانع باید در نظر داشته باشد که سونامی در خشکی، ارتفاع کم‌تری داشته ولی میزان بالاروی و سرعت جریان آن بیش‌تر می‌باشد.

۴-۲-۵- موج‌شکن تلسکوپی قائم

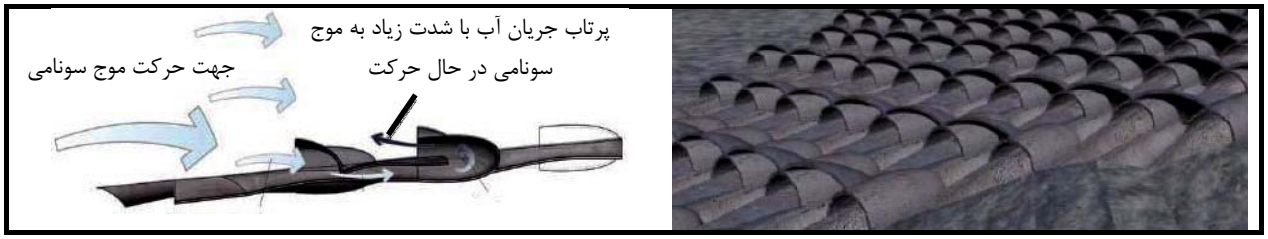
این موج‌شکن با قابلیت تنظیم ارتفاع به صورت ردیفی در یک خط و در کنارهم در داخل بستر دریا احداث می‌شوند. اپراتور این سازه باید پس از دریافت اخطار وقوع سونامی و یا مشاهده آن، اقدام به بالا آوردن موج‌شکن نموده و از این طریق جلوی نفوذ امواج سونامی را به مناطق کم عمق ساحلی بگیرد. در شکل (۴-۱)، سازوکار این نوع خاص از موج‌شکن‌ها ارائه شده است.



شکل ۴-۱- موج‌شکن تلسکوپی قائم

۴-۲-۶- سامانه ضد سونامی برگرفته گرفته از لوله هوا

این راهکار از پوسته‌های بیل مانندی تشکیل‌شده که توسط لوله‌هایی با یکدیگر ارتباط دارند (شکل ۴-۲). طراحی این پوسته‌ها به گونه‌ای است که انرژی موج سونامی ورودی را جمع‌آوری و سپس برای کاهش اثر موج سونامی به سوی آن باز می‌گرداند. در این روش، موج اولیه توسط لوله‌های ارتباطی، آب را از اولین پوسته به پوسته پشت سری منتقل نموده و جریان آب بعد از چرخش در پوسته در جهت خلاف حرکت اصابت سونامی از پوسته خارج می‌شود.



شکل ۴-۲- سامانه‌های ضد سونامی برگرفته گرفته از لوله هوا

۴-۲-۷- دیوارهای متحرک

این دیوارها برای جلوگیری از برگشت جریان بازگشتی سونامی به سمت دریا و اجتناب از اندرکنش جریان- موج سونامی تعبیه و طراحی می‌گردند.

۴-۳- راهکارهای غیرسازه‌ای

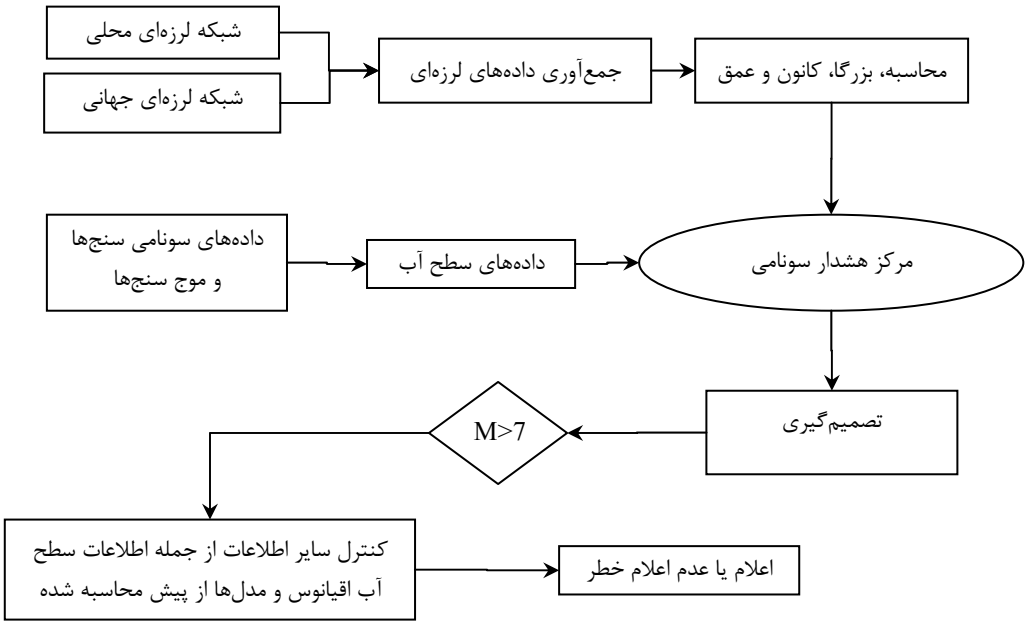
هر نوع اقدام در راستای اجتناب از اثرات احتمالی مخاطرات سونامی که در برگیرنده ساخت و ساز نباشد نظیر سامانه هشدار سریع، درخت‌های ساحلی و جاده‌های اضطراری و سایر اقدامات نظیر محدودیت‌های قانونی، افزایش آگاهی عمومی، مانور و آموزش نیز در این راهکار قرار می‌گیرد.

۴-۳-۱- سامانه هشدار سریع

جهت حفاظت در نواحی ساحلی و نیز کنترل و کاهش خسارات وارده، توسعه سیستم‌های هشدار سونامی برای خطوط ساحلی که در معرض خطر سونامی هستند، ضروری می‌باشد. سیستم هشدار سونامی، سیستمی است که بعد از وقوع زمین لرزه‌های زیر دریایی از طریق تحلیل داده‌های لرزه‌ای و موج‌سنجی معین می‌کند که زمین لرزه مذکور توانایی ایجاد امواج سونامی را دارد یا خیر. در صورتی که خطر سونامی وجود داشته باشد، این سیستم از طریق صدور اعلام خطر در نواحی در معرض خطر اطلاعات مورد نیاز را ارایه می‌دهد.

اولین گام در اعلام خطر سونامی، دریافت و تحلیل داده‌های لرزه‌ای و تعیین بزرگا، کانون و عمق زمین‌لرزه می‌باشد. با در دست داشتن این سه پارامتر اصلی برای هر زمین‌لرزه، می‌توان میزان بالاآمدگی کف اقیانوس را محاسبه نمود. میزان بالاآمدگی کف اقیانوس مهم‌ترین پارامتر در ارزیابی خطر سونامی می‌باشد. در گام بعد، پس از تعیین پارامترهای اصلی زمین لرزه ضروری است که مشخصات امواج سونامی تخمین زده شود. مهم‌ترین مشخصات سونامی عبارتند از میزان ارتفاع امواج سونامی در مرز ساحلی و نیز زمان رسیدن این امواج به نواحی ساحلی. این امر از طریق مدل‌سازی عددی فازهای انتشار و بالاروی امواج سونامی صورت می‌گیرد. از آن جایی که معمولا پس از وقوع زمین لرزه فاصله زمانی بسیار کمی جهت صدور اعلام خطر سونامی محتمل وجود دارد، لذا نمی‌توان مدل‌سازی انتشار و بالاروی سونامی را پس از وقوع زمین لرزه انجام داد. برای این منظور، معمولا از قبل با توجه به سناریوهای مختلف و متعدد برای فاز تولید زمین لرزه محتمل، در هر مورد مشخصات سونامی و نواحی در معرض خطر تخمین زده شده و از مجموع این اطلاعات یک پایگاه داده در مرکز سیستم هشدار سونامی ایجاد می‌گردد.

ساختار سیستم هشدار سونامی پیشنهادی برای سواحل سونامی خیز جنوب ایران به شرح شکل (۴-۳) ارائه می‌گردد.



شکل ۴-۳- ساختار سامانه هشدار سونامی پیشنهادی برای سواحل سونامی خیز جنوب ایران

۴-۳-۲- درخت‌های ساحلی

اثر درختان ساحلی در کاهش سونامی، اولین بار در سونامی ۲۰۰۴ اقیانوس هند مورد توجه قرار گرفت. برای شناخت عملکرد این روش در برابر سونامی باید مورفولوژی درخت (پاسخ دینامیکی و تنش‌های داخلی المان‌های درخت) بررسی شود.

۴-۳-۳- جاده‌های کمربندی اضطراری

جاده‌های کمربندی اضطراری را می‌توان جهت خروج سریع‌تر مردم از منطقه در معرض خطر سونامی از میان جاده‌های کمربندی موجود منطقه انتخاب نمود. ترکیب این روش با یک سامانه اطلاع‌رسانی هشدار سریع خطر وقوع سونامی در کاهش تلفات موثر واقع خواهدشد.

پیوست ۱

واژه‌نامه فارسی به انگلیسی

الف

ارتفاع اثر سونامی	Tsunami trace height
ارتفاع بالاروی سونامی	Tsunami run-up height
ارتفاع سونامی	Tsunami height
ارتفاع موج سونامی	Tsunami wave height
اصطکاک بستر	Bottom friction
اصول شاخه‌های متقابلا ناسازگار	Principle of mutually exclusive branching
انکسار موج	Wave refraction

ب

بالاترین تراز آب	Highest water level
بزرگای گشتاوری	Moment magnitude

پ

پراش موج	Wave diffraction
پراکنش موج	Wave dispersion
پروفیل اولیه سونامی	Tsunami initial profile

ت

تراز انحراف	Deviation level
تراز جزر و مد تخمینی	Estimated tidal level
تراز مبنا	Chart datum level
تراز متوسط آب	Mean sea level
تشدید	Resonance
تغییر شکل سونامی	Tsunami transformation
تفرق موج	Wave diffraction
تک موج	Individual wave
تنشگاه گسل	Fault asperity
توزیع فضایی	Spatial distribution

تئوری موج بلند خطی	Linear long wave theory
تئوری موج بلند غیرخطی	Non-linear long wave theory
تئوری موج بلند ناپراکنا	Dispersive long wave theory
تئوری موج بلند ناپراکنا	Non-dispersive long wave theory

ج

جاده‌های کمربندی	Emergency Ring road

ح

حرکت اولیه	Initial movement
حرکت اولیه رانشی	Pushing initial motion
حرکت اولیه کششی	Drawing initial motion

خ

خزش موج	Wave shoaling

د

دوره تناوب سونامی	Tsunami period
دیوار متحرک	Movable wall

ر

راهکار سازه‌ای	Structural measurements
راهکارهای غیرسازه‌ای	Non-structural measurements
روانگرایی	Liquefaction
روش قطع تراز صفر رو به بالا	Zero-up crossing method
رویکرد درخت منطق	Logic-tree approach

ز

زاویه راستا	Strike direction
زاویه شیب	Dip angle
زاویه لغزش	Strike direction

س

سرعت سیال سونامی	Tsunami fluid velocity
سرعت موج سونامی	Tsunami wave celerity
سونامی بلند آبخیز	Bore type tsunami
سونامی دوراَ	Tele tsunami
سونامی فاصله دار	Distant tsunami

ط

طول گسل	Fault length

ظ

ظرفیت باربری بستر دریا	Sea bed bearing capacity

ع

عدم قطعیت شناختی	Epistemic uncertainty
عدم قطعیت کاتوره‌ای	Aleatory uncertainty
عرض گسل	Fault width
عمق بالایی صفحه گسل	Depth of Upper Edge of the Fault Plane

ف

فلات قاره	Continental shelf

ق

قانون گرین	Green law

گ

گسیختگی ناشی از لغزش	Circular slip failure

ل

لغزش	Sliding

م

مانع خشکی سونامی	Inland tsunami barrier
مانع ساحلی سونامی	Coastal tsunami barrier
مانع فراساحلی سونامی	Offshore tsunami barrier
محیط آبی نیمه بسته	Bay
مقدار لغزش	Slip amount
منحنی خطر سونامی	Tsunami hazard curve
موج ایستا	Standing wave
موج بازتابی	Reflected wave
موج بلند	Long wave
موج شکن تلسکوپی قائم	Vertical telescopic breakwater
موج شکن توده سنگی	Rubblemound breakwater
موج شکن مرکب	Composite breakwater
موج کناره ای	Edge wave
موج مرده	Seiche
موج نوسانی وحشی	Undular bore wave
موقعیت‌های افقی نقطه مرجع	Horizontal Positions of Reference Point

ن

نشست	Settlement
نگاشت های جزر و مدی	Tide records
نیروی افقی موج	Horizontal wave force
نیروی بالابرنده موج	Uplift wave force
نیروی درگ	Drag force
نیروی قائم موج	Vertical wave force
نیروی کوریولیس	Coriolis force

و

واژگونی	Overturning

پیوست ۱

واژه‌نامه انگلیسی به فارسی

A

Aleatory uncertainty	عدم قطعیت کاتوره‌ای

B

Bay	محیط آبی نیمه بسته
Bore type tsunami	سونامی بلند آبخیز
Bottom friction	اصطکاک بستر

C

Chart datum level	تراز مبنا
Circular slip failure	گسیختگی ناشی از لغزش
Coastal tsunami barrier	مانع ساحلی سونامی
Composite breakwater	موج شکن مرکب
Continental shelf	فلات قاره
Coriolis force	نیروی کوریولیس

D

Depth of Upper Edge of the Fault Plane	عمق بالایی صفحه گسل
Deviation level	تراز انحراف
Dip angle	زاویه شیب
Dispersive long wave theory	تئوری موج بلند ناپراکنا
Distant tsunami	سونامی فاصله‌دار
Drag force	نیروی درگ
Drawing initial motion	حرکت اولیه کششی
Depth of Upper Edge of the Fault Plane	عمق بالایی صفحه گسل

E

Edge wave	موج کناره‌ای
Emergency Ring road	جاده های کمربندی
Epistemic uncertainty	عدم قطعیت شناختی
Estimated tidal level	تراز جزر و مد تخمینی

F

Fault asperity	تنشگاه گسل
Fault length	طول گسل
Fault width	عرض گسل

G

Green law	قانون گرین

H

Highest water level	بالاترین تراز آب
Horizontal Positions of Reference Point	موقعیت‌های افقی نقطه مرجع
Horizontal wave force	نیروی افقی موج

I

Individual wave	تک موج
Initial movement	حرکت اولیه
Inland tsunami barrier	مانع خشکی سونامی

L

Linear long wave theory	تئوری موج بلند خطی
Liquefaction	روانگرایی
Logic-tree approach	رویکرد درخت منطق
Long wave	موج بلند

M

Mean sea level	تراز متوسط آب
Moment magnitude	بزرگای گشتاوری
Movable wall	دیوار متحرک

N

Non-dispersive long wave theory	تئوری موج بلند ناپراکنا
Non-linear long wave theory	تئوری موج بلند غیرخطی
Non-structural measurements	راهکارهای غیرسازه‌ای

O

Offshore tsunami barrier	مانع فراساحلی سونامی
Overturning	واژگونی

P

Principle of mutually exclusive branching	اصول شاخه‌های متقابلا ناسازگار
Pushing initial motion	حرکت اولیه رانشی

R

Reflected wave	موج بازتابی
Resonance	تشدید
Rubblemound breakwater	موج‌شکن توده سنگی

S

Scouring	آب شستگی
Sea bed bearing capacity	ظرفیت باربری بستر دریا
Seiche	موج مرده
Settlement	نشست
Sliding	لغزش
Slip amount	مقدار لغزش
Spatial distribution	توزیع فضایی
Standing wave	موج ایستا
Strike direction	زاویه راستا
Strike direction	زاویه لغزش
Structural measurements	راهکار سازه‌ای

T

Tele tsunami	سونامی دوراَ
Tide records	نگاشت های جزر و مدی
Tsunami fluid velocity	سرعت سیال سونامی
Tsunami hazard curve	منحنی خطر سونامی
Tsunami height	ارتفاع سونامی

Tsunami initial profile	پروفیل اولیه سونامی
Tsunami period	دوره تناوب سونامی
Tsunami run-up height	ارتفاع بالاروی سونامی
Tsunami trace height	ارتفاع اثر سونامی
Tsunami transformation	تغییر شکل سونامی
Tsunami wave celerity	سرعت موج سونامی
Tsunami wave height	ارتفاع موج سونامی

U

Uplift wave force	نیروی بالابرنده موج
Undular bore wave	موج نوسانی وحشی

V

Vertical telescopic breakwater	موج شکن تلسکوپی قائم
Vertical wave force	نیروی قائم موج

W

Wave diffraction	پراش (تفرق) موج
Wave dispersion	پراکنش موج
Wave refraction	انکسار موج
Wave shoaling	خزش موج

Z

Zero-up crossing method	روش قطع تراز صفر رو به بالا

منابع و مراجع

1- Japan Society of Civil Engineers (2006), "Tsunami Assessment Method for Nuclear Power Plants in Japan".

2- The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan (2009), "Technical Standards and Commnetaries for Port and Harbour Facilities in Japan".

3- Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Ports and Harbours Bureau (2013), "Tsunami-Resistant Design Guideline for Breakwaters".

4- Annaka, T., Satake, K., Sakakiyama, T., Yanagisawa, K., & Shuto, N. (2007), "Logic-tree approach for probabilistic Tsunami Hazard Analysis and its Applications to the Japanese coasts", Pure and Applied Geophysics, 164, 577-592.

5- Banijamali, B., Alviri, A., Rastgoftar, E., & Soltanpour, M. (2017), "A case-study of rubble-mound breakwaters stability against makran subduction zone tsunamis", International Conference on Coastal Engineering.

6- Mitsui, J., Matsumoto, A., Hanzawa, M., & Nadaoka, K. (2014), "Stability of armor units covering rubble mound of composite", International Conference on Coastal Engineering.

خواننده گرامی

امور نظام فنی و اجرایی سازمان برنامه و بودجه کشور، با گذشت بیش از چهل سال فعالیت تحقیقاتی و مطالعاتی خود، افزون بر هفتصد عنوان نشریه تخصصی - فنی، در قالب آیین‌نامه، ضابطه، معیار، دستورالعمل، مشخصات فنی عمومی و مقاله، به‌صورت تالیف و ترجمه، تهیه و ابلاغ کرده است. ضابطه حاضر در راستای موارد یاد شده تهیه شده، تا در راه نیل به توسعه و گسترش علوم در کشور و بهبود فعالیت‌های عمرانی به کار برده شود. فهرست نشریات منتشر شده در سال‌های اخیر در تارنمای **nezamfanni.ir** قابل دستیابی می‌باشد.

Guideline for Design of Rubble-Mound and Composite Breakwaters Against Tsunami Bulletin [752]

Implementation:

Dr. Babak Banijamali

Authors & Contributors Committee:

Mr. Morteza Banijamali	Darya-Bandar Consulting Engineers	MSc in Port Planning & Marine Structural Engineering
Dr. Babak Banijamali	Darya-Bandar Consulting Engineers	PhD in Civil Engineering
Mr. Amirhamed Alviri	Darya-Bandar Consulting Engineers	MSc in Marine Structural Engineering
Dr. Mahmood Reza Akbarpour Jannat	Iranian National Institute for Oceanography and Atmospheric Science	PhD in Marine Structural Engineering

Supervisory and Confirmation Committee:

Mr. Mohammadreza Allahyar	Ports & Maritime Organization	MSc in Civil Engineering
Mr. Mohamadhossein Nemati	Ports & Maritime Organization	MSc in Civil Engineering
Mr. Hamidreza Khashee	Plan and Budget Organization	MSc in Seismic Engineering
Dr. Mohammad Mokhtari	International Institute of Seismology and Earthquake Engineering	PhD in Geophysics
Mr. Yaser Dehghan	Ports & Maritime Organization	MSc in Physical Oceanography

Steering Committee:

Mr. Alireza Toutounchi	Plan and Budget Organization
Ms. Farzaneh Agharamezanali	Plan and Budget Organization

Abstract

Guidelines for design of rubble-mound and composite breakwaters against tsunami presents strive for a set of comprehensive methods for design and strengthening of various types of breakwaters against tsunami action which may be used by Iranian experts, researchers and consultants in pertinent projects.

This compendium compiled is based on international experiments and publications in peer reviewed journals & conferences. It defines the design tsunami based on probabilistic and deterministic approaches, while presenting the design of rubble-mound and vertical composite breakwaters suggesting different strengthening alternatives.

The Iranian Standard No. 631, titled: "Coastal Structures Design Manual- Design Conditions" presented by Vice Presidency for Strategic Planning and Supervision will be substituted and appended by this guideline which is an updated and completed manuscript for Part 4, Chapter 6 of the Standard No. 631. It deserves mention that in addition to considering the outlines of relevant parts of Standard No. 631, the more thorough definitions and concepts related to tsunamis with emphasis on different solutions for strengthening of rubble-mound and vertical composite breakwaters have been incorporated in this guideline.

Islamic Republic of Iran
Plan and Budget Organization

Guideline for Design of Rubble-Mound and Composite Breakwaters Against Tsunami

No . 752

Office of Deputy for Technical, Infrastructure and Production Affairs
Department of Technical and Executive Affairs
nezamfanni.ir

Ministry of Roads and Urban Development
Ports and Maritime Organization
http://coastseng.pmo.ir

2018

shaghool.ir

این ضابطه

با عنوان «راهنمای طراحی موج‌شکن‌های تـوده‌سـنگی و مرکـب در برابـر سـونامی» در راسـتای ارائـه مجموعـه‌ای کامـل و جـامع از روش‌های متداول و مناسـب طراحـی و تقویـت این دسته از موج‌شکن‌هـا در برابـر سـونامی بـه منظـور اسـتفاده متخصصـان، پژوهشـگران و مشاوران در پروژه‌های مـرتبط در چهـار فصـل تدوین شده که شامل: تعاریف، تحلیل سـونامی، ضوابط طراحی و مقاوم‌سازی مـوج‌شـکن‌هـا در برابر سونامی، راهکارهای کاهش اثر سونامی بـر سواحل و مستحدثات ساحلی می‌باشد.

shaghool.ir