

بخش ۷

تجهيزات محافظة بندر

PMO

فصل ۱ - کلیات

۱-۱ - ملاحظات کلی

در طراحی سازه‌های محافظ مانند موج‌شکن، دستک، دیواره ساحلی، دستک هدایت‌کننده، آب‌گیر، حوضچه تنظیم تراز آب، پوشش سنگچین، خاکریز، آب‌شکن و دیواره تاج موج‌شکن، ملاحظات زیر باید مد نظر قرار گیرد:

(۱) ارتباط این سازه‌ها با کانال دسترسی، حوضچه‌ها، تاسیسات پهلوگیری و دیگر تاسیسات

(۲) تاثیرات این سازه‌ها بر روی نواحی مجاور، تاسیسات، توپوگرافی، جریان‌ها و محیط‌های دیگر بعد از ساخت

(۳) امکان توسعه آینده بندر

تفسیر

(۱) «سازه‌های محافظ» به موج‌شکن، دستک، دیواره ساحلی، دستک هدایت‌کننده، آب‌گیر، سد تسطیح تراز، پوشش سنگچین، خاکریز، آب‌شکن و دیواره تاج موج‌شکن‌ها و غیره اطلاق می‌گردد.

(۲) عملکرد سازه‌های محافظ در بنادر شامل تامین آرامش بندر، حفظ عمق آب، جلوگیری از فرسایش ساحل، کنترل بالا آمدن سطح آب پشت خاکریز هنگام برکشند (خیزاب) طوفان و سونامی می‌باشد. در سال‌های اخیر این ضرورت به وجود آمده است که سازه‌های محافظ جنبه‌های زیبایی‌شناختی را نیز رعایت نمایند، به‌گونه‌ای که مردم از تماس با طبیعت دریا و محیط بندر لذت ببرند. در بسیاری از موارد انتظار می‌رود که سازه‌های محافظ چندین مورد از عملکردهای بالا را برآورده نمایند. بنابراین در این موارد، هنگام طراحی سازه‌های محافظ باید به برآورده شدن این عملکردهای متفاوت توجه کافی شود.

(۳) هنگام ساخت سازه‌های محافظ برای بنادر، جانمایی و نوع سازه‌ای این تاسیسات باید بعد از توجه کافی به پیامدهای ساخت این سازه‌ها بر روی کانال دسترسی و حوضچه‌ها، تاسیسات پهلوگیری، توپوگرافی، جریان‌ها و دیگر محیط‌ها تعیین شود. پیامدهای ساخت سازه‌های محافظ بنادر شامل موارد زیر می‌باشد:

الف) ساخت سازه‌های محافظ در یک ساحل ماسه‌ای ممکن است باعث ایجاد تغییرات مورفولوژیک گسترده‌ای مانند فرسایش یا رسوب‌گذاری در محیط اطراف شود.

ب) ساخت موج‌شکن ممکن است به دلیل بازتاب امواج در محدوده خارجی سازه‌های محافظ باعث افزایش ارتفاع موج شود.

ج) در اثر ساخت یک سازه محافظ جدید و یا نوسانات ناشی از تغییر شکل حوضچه در درون لنگرگاه، ممکن است آرامش حوضچه داخل لنگرگاه به دلیل بازتاب مضاعف امواج بر هم زده شود.

د) اجرای سازه‌های محافظ ممکن است باعث ایجاد تغییراتی در جریانات جزر و مدی محیط اطراف و شرایط جریان در دهانه رودخانه‌ها و متعاقباً تغییر موضعی کیفیت آب گردد.

(۴) با توجه به این واقعیت که سازه محافظ ممکن است به عنوان محل سکونت برای موجودات دریایی از قبیل ماهیان، گیاهان دریایی و پلانکتون‌ها به کار رود، هنگام طراحی سازه‌ای و جانمایی یک سازه باید به تاثیرات بیولوژیک و اکولوژیک نیز توجه نمود.

(۵) هنگام جانمایی سازه محافظ در مجاورت مناطقی مانند پارک‌های طبیعی و یا تاسیسات فرهنگی، بهتر است که علاوه بر توجه به عملکرد خود سازه‌ها به ظاهر بیرونی آنها از جمله شکل و رنگ نیز توجه نموده و در مواردی که استفاده از زیبایی نمای آب به سایر عملکردهای سازه‌های محافظ اضافه می‌شود، باید آسودگی و ایمنی مردم هم مد نظر قرار گیرد.

۶) از آنجایی که خرابی و گسیختگی سازه‌های محافظ تاثیر زیادی بر ایمنی شناورهای درون بندر، تاسیسات پهلوگیری و پس کرانه دارد، باید یک بررسی کامل پیرامون ایمنی این سازه‌ها هنگام طراحی، اجرا و نگهداری صورت گیرد.

۱-۲- نگهداری

سازه‌های محافظ در بنادر باید بر اساس استانداردها و راهنماهای مناسب و با در نظر گرفتن شرایط طبیعی و ویژگی‌های اجرا در شرایط خوبی نگهداری شود تا عملکرد این سازه‌ها به طور کامل برآورده شود.

نکات فنی

به بخش ۱، فصل ۳- نگهداری مراجعه شود.



فصل ۲- موج شکن

۱-۲- کلیات

هنگام طراحی موج شکن موارد زیر باید بررسی شود:

- ۱) جانمایی موج شکن
- ۲) تاثیر اجرای موج شکن بر توپوگرافی اطراف
- ۳) همخوانی با محیط اطراف
- ۴) شرایط طراحی
- ۵) انواع سازه‌های موج شکن
- ۶) امکان استفاده چندگانه از موج شکن
- ۷) روش طراحی
- ۸) روش اجرا
- ۹) جنبه‌های اقتصادی

۲-۲- جانمایی موج شکن

جانمایی موج شکن باید به گونه‌ای انجام شود که شرایط مشخص شده در بخش ۶، بند ۲-۶- آرامش کانال ناوبری و بخش ۶، بند ۴-۴- آرامش حوضچه تامین گردد.

تفسیر

۱) موج شکن برای تامین آرامش در بندر، تسهیل بارگیری و تخلیه کالا، اطمینان از ایمنی کشتی‌ها هنگام ناوبری و لنگراندازی و حفاظت از تاسیسات بندری ساخته می‌شود که برای برآورده کردن این نیازها اقدامات زیر باید انجام شود.

الف) برای کاهش انرژی ورودی امواج به درون بندر، موج شکن‌ها باید به گونه‌ای قرار گیرند که ورودی بندر با جهت امواج با بیشترین فراوانی و نیز با جهت امواج با بیشترین ارتفاع همراستا نباشد.

ب) موج شکن‌ها باید به گونه‌ای جانمایی شوند که بندر را به طور موثری در برابر امواج با بیشترین فراوانی و نیز بزرگترین امواج محافظت نمایند.

ج) ورودی بندر باید دارای عرض کافی و موثر باشد تا به عنوان یک مانع بر سر راه ناوبری شناورها قرار نگیرد. همچنین جهت دهانه ورودی و کانال دسترسی باید به گونه‌ای باشد که ناوبری را تسهیل نماید.

د) دامنه جریان‌های جزر و مدی پیرامون ورودی بندر باید تا حد امکان کوچک باشد.

ه) تاثیر امواج بازتابیده شده، امواج دنباله ماخ (*Mach-stem*) و تمرکز امواج روی کانال دسترسی و حوضچه‌های مهاربندی باید به حداقل برسد.

و) موج شکن‌ها باید فضای آبی کافی مورد نظر را برای پهلوگیری، تخلیه و بارگیری و لنگراندازی کشتی تامین نمایند. برخی اهداف فوق با یکدیگر متناقض می‌باشند. برای مثال برای دستیابی به آرامش درون بندر، ورودی باریک بهترین گزینه است اما برای ناوبری مناسب نمی‌باشد. فراوان‌ترین امواج نیز لزوماً با بزرگترین امواج هم‌جهت نمی‌باشند. در این گونه موارد جانمایی موج شکن

باید پس از بررسی جامع همه عوامل از قبیل شرایط کارکرد شناورها، هزینه های اجرا و میزان دشواری فرآیند مراقبت از سازه صورت گیرد. برای روش های تخمین آرامش در بندر به **بخش ۲، بند ۴-۵- انتقال امواج و بخش ۲، بند ۴-۶-۳ عبور امواج** مراجعه شود. همچنین در ارتباط با جهت و عرض دهانه ورودی بندر به **بخش ۶، فصل ۲- کانال های ناوبری** و در رابطه با مساحت سطح آب در یک بندر به **بخش ۶، فصل ۴- حوضچه ها** مراجعه شود.

(۲) در مواردی که در رابطه با تغییر و بدتر شدن کیفیت آب نگرانی وجود دارد باید توجه کافی به قابلیت مبادله آب دریا با دریای آزاد مبذول گردد تا آب دریا درون بندر راکد نماند.

(۳) هنگام ساخت موج شکن باید به شرایط طبیعی و ساخت توجه و جنبه های اقتصادی بررسی شود. موارد زیر نیز باید مورد توجه قرار گیرد:

- الف) باید از هرگونه جانمایی که موجب تمرکز امواج می گردد اجتناب شود.
- ب) باید از زمین سست و ضعیف اجتناب کرده و موج شکن در مکانی قرار گیرد که کارهای اجرایی آسان انجام شود.
- ج) تا حد امکان باید از عارضه های توپوگرافیک از قبیل دماغه ها و جزایر به عنوان پناه موج استفاده شود.
- د) در سواحل ماسه ای، موج شکن ها باید طوری جانمایی شوند که رانه ساحلی در بندر به حداقل برسد.
- ه) باید به پیامدهای ساخت موج شکن روی نواحی مجاور، توجه کافی مبذول گردد.

در رابطه با تمرکز موج به **بخش ۲، بند ۴-۵- [۳] تغییرات امواج در گوشه های مقعر، نزدیک دماغه های موج شکن ها و اطراف موج شکن های جدا از ساحل** مراجعه شود. برای موج شکن هایی که روی سواحل ماسه ای ساخته می شود نیز به **بخش ۲، فصل ۱۰- رانه ساحلی و همچنین فصل ۵- تاسیسات جلوگیری از کم عمقی و رسوب گذاری** مراجعه شود. (۴) جانمایی موج شکن ها باید طوری انجام شود که به مانعی در برابر توسعه آینده بندر تبدیل نشود.

(۵) «عرض موثر دهانه ورودی بندر» به معنی عرض کانال در یک عمق مشخص و نه به معنی عرض سطح آب در دهانه ورودی می باشد. سرعت جریان جزر و مدی که ورودی بندر را قطع می کنند در حالت ایده آل باید در شرایط معمولی کمتر از ۲ تا ۳ گره دریایی (حدود ۱ تا ۱/۵ متر بر ثانیه) باشد.

(۶) در مناطقی که با نواحی کم عمق احاطه شده است غالباً ارتفاع موج به دلیل انکسار افزایش یافته و در برخی موارد نیروی موج به شدت بر موج شکن هایی که روی بستر دریا با شیب زیاد ساخته شده اند وارد می شود. ذکر این نکته ضروری است که وقتی یک موج شکن مستقیماً در پشت و یا روی یک پشته ساخته می شود، ممکن است نیازمند یک سازه خیلی بزرگ باشد.

(۷) در مورد موج شکن های مجزا باید توجه نمود که چنانچه طول موج شکن کمتر از چند برابر طول امواج تابشی باشد، توزیع ارتفاع امواج در پشت موج شکن به دلیل تاثیرات تفرق اطراف هر دو انتهای موج شکن تغییرات قابل توجهی کرده و لذا پایداری موج شکن هم از این پدیده تاثیر می پذیرد. در ارتباط با تفرق موج به **بخش ۲، بند ۴-۵-۳- تفرق موج و بخش ۲، بند ۴-۵- [۳] تغییرات امواج در گوشه های مقعر، نزدیک دماغه های موج شکن ها و اطراف موج شکن های جدا از ساحل** مراجعه شود.

(۸) میزان آرامش مورد نیاز درون بندر باید از دیدگاه عملیات جابجایی بار و محدودیت ارتفاع موج برای لنگراندازی ایمن، بررسی شود. در رابطه با میزان آرامش درون حوضچه ها به **بخش ۶، بند ۴-۴- آرامش حوضچه** مراجعه شود.

۲-۳- شرایط طراحی موج شکن

موارد زیر باید به عنوان شرایط طراحی موج شکن مد نظر قرار گیرد:

- (۱) آرامش درون بندر
- (۲) باد
- (۳) ترازهای جزر و مدی
- (۴) امواج
- (۵) عمق آب و شرایط ژئوتکنیکی بستر دریا
- (۶) عوامل دیگر

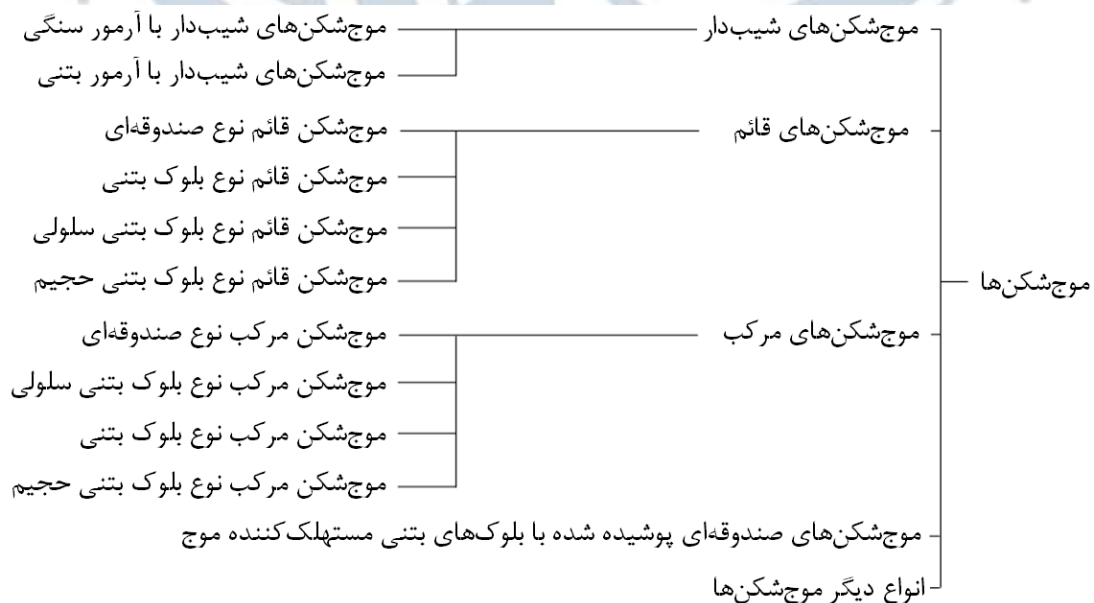
۲-۴- انتخاب انواع سازه‌های

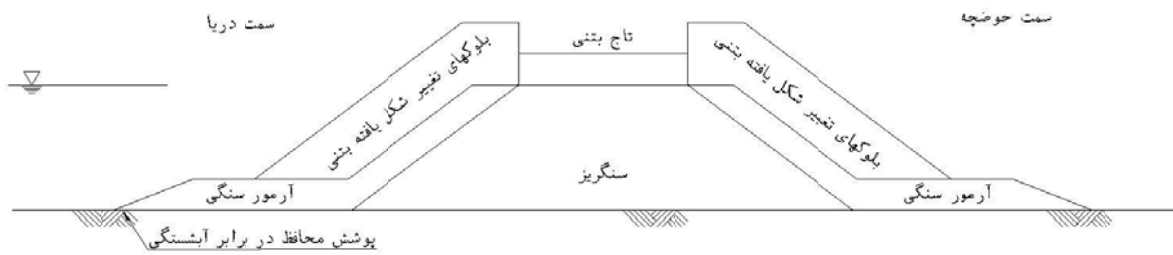
انتخاب نوع سازه‌های موج‌شکن باید پس از بررسی ویژگی‌های هر یک از انواع موج‌شکن صورت گرفته و تصمیم‌گیری درباره این موضوع پس از یک مطالعه جامع پیرامون موارد زیر انجام شود:

- (۱) جانمایی موج‌شکن
- (۲) شرایط محیطی
- (۳) شرایط بهره‌برداری
- (۴) شرایط اجرا
- (۵) جنبه‌های اقتصادی
- (۶) مدت زمان اجرا
- (۷) اهمیت موج‌شکن
- (۸) در دسترس بودن مصالح ساخت
- (۹) نگهداری

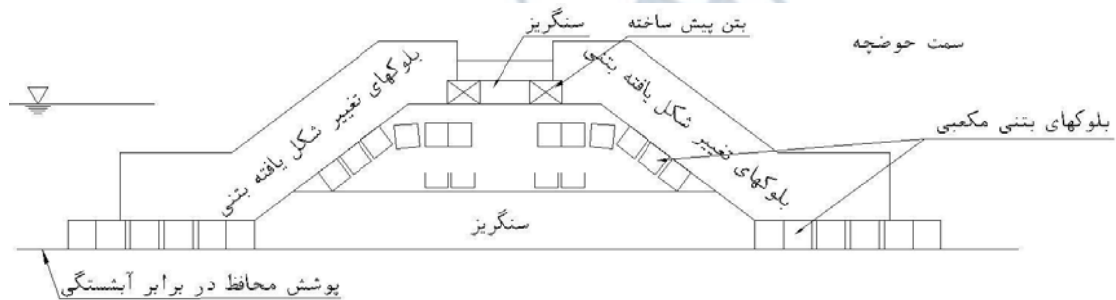
نکات فنی

(۱) موج‌شکن براساس نوع سازه‌های به انواع زیر تقسیم می‌شود: (به شکل ۲-۴-۱- الف تا ط مراجعه شود)

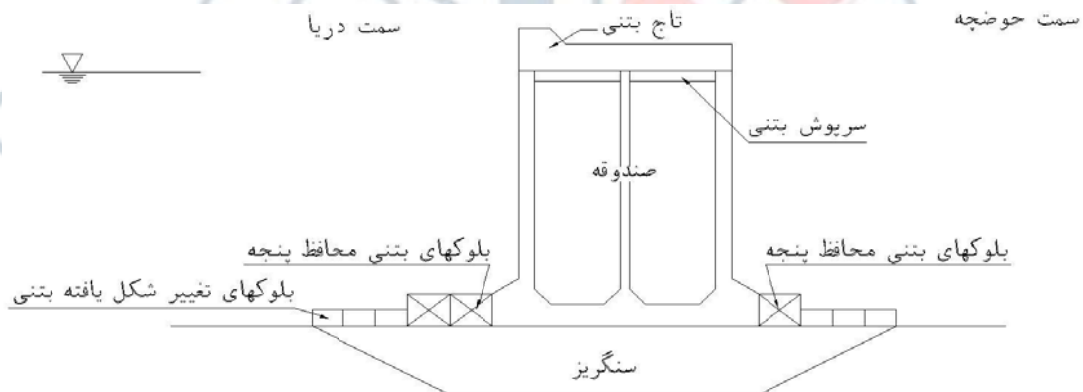




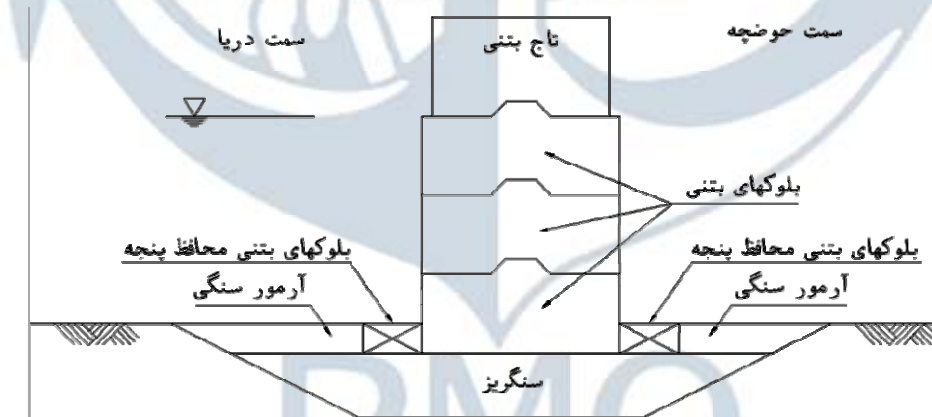
الف) موج شکن شیبدار نوع سنگریزه ای



ب) موج شکن شیبدار نوع بلوک بتنی

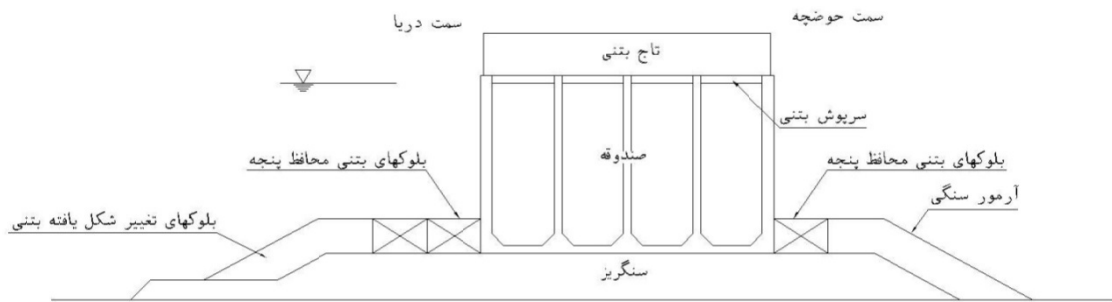


ج) موج شکن قائم نوع صندوقه ای

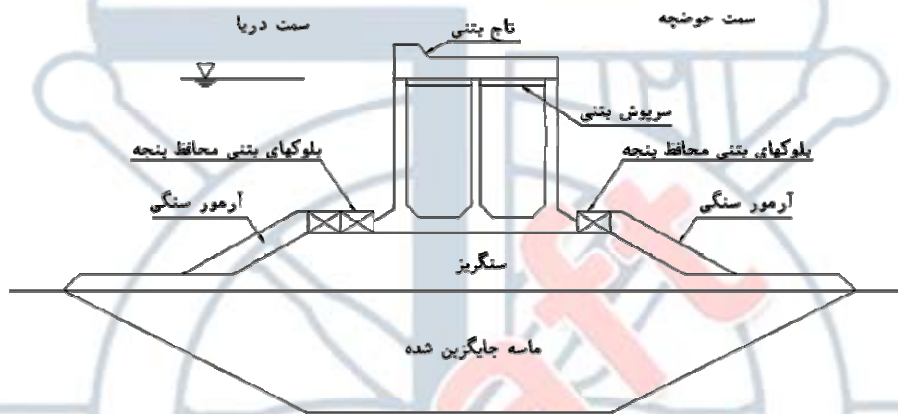


د) موج شکن قائم نوع بلوک بتنی

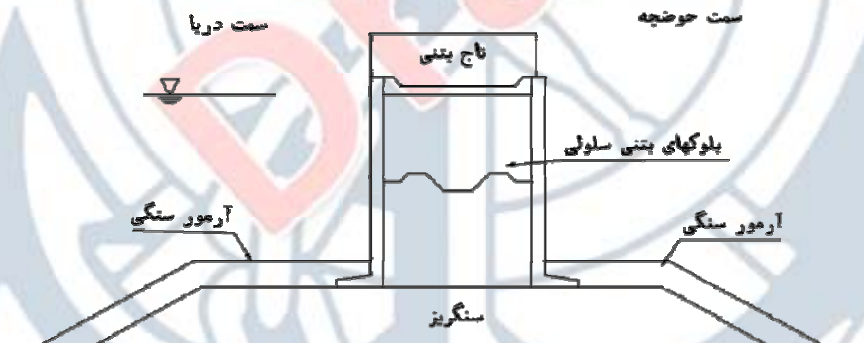
شکل ۲-۴-۱- انواع موج شکن ها



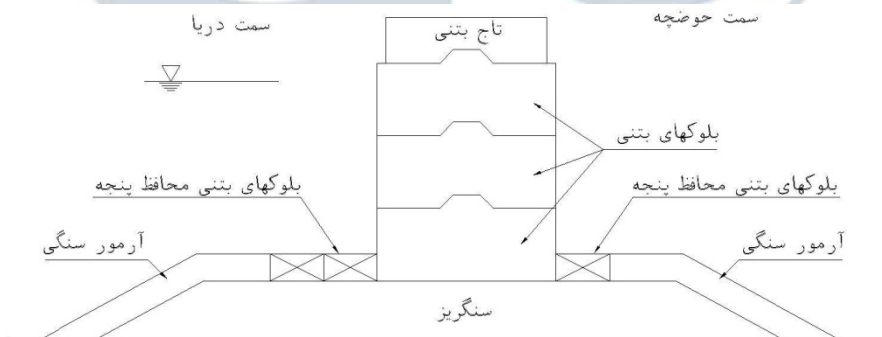
ه) موج شکن مرکب نوع صندوقه ای



و) موج شکن مرکب نوع صندوقه ای (در مورد بستر لای نرم)

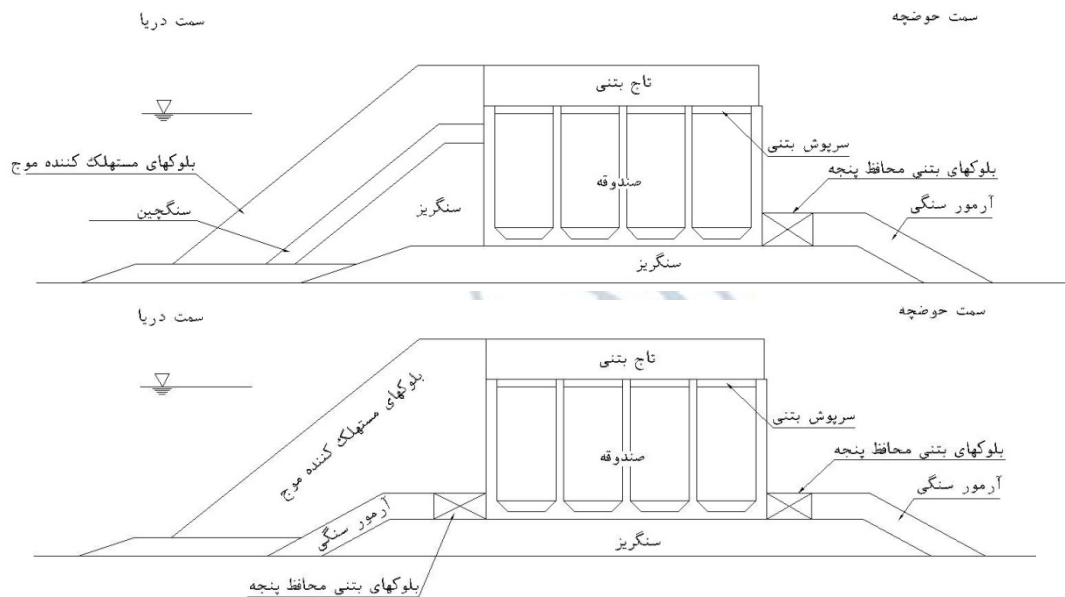


ز) موج شکن مرکب نوع بلوک بتنی سلولی



ح) موج شکن مرکب نوع بلوک بتنی

ادامه شکل ۲-۴-۱- انواع موج شکن ها



ط) موج شکن صندوقه ای پوشیده شده با بلوکهای بتنی مستهلک کننده موج

ادامه شکل ۲-۴-۱- انواع موج شکن ها

۲) برای موج شکن‌های غیر از انواع شیبدار، قائم و مرکب به فصل ۳- انواع دیگر موج شکن‌ها مراجعه شود.

۲-۵- تعیین مقطع عرضی

۲-۵-۱- موج شکن قائم

تراز تاج یک موج شکن باید حدوداً به مقدار $0/6$ برابر ارتفاع موج مشخصه طراحی و یا بیشتر، بالاتر از تراز میانگین مد ماهیانه قرار گیرد. در این مورد، ارتفاع مناسب تاج باید با در نظر گرفتن عواملی چون آرامش حوضچه و محافظت بندر و تاسیسات بندری پشت موج شکن تعیین گردد.

تفسیر

۱) برای طراحی بندری که باید در آن تاثیر برکشند (خیزاب) طوفان نیز مد نظر قرار گیرد، تراز مبنای دریا برای تعیین ارتفاع تاج موج شکن‌ها ترجیحاً برابر با کشند طوفان (بر اساس داده های پیشین) به علاوه تراز میانگین مد ماهیانه در نظر گرفته می‌شود.
 ۲) برای تعیین تراز تاج موج شکن‌هایی که برای مقاصد تفریحی و با رویکرد زیبایی‌شناختی آب به کار رفته و توسط عموم مردم هم استفاده خواهند شد، باید بررسی‌های جداگانه‌ای در مورد روگذری و پاشش موج از دیدگاه ایمنی عمومی نیز انجام شود.

نکات فنی

۱) تراز تاج یک موج شکن نباید پایین‌تر از $0/6$ برابر ارتفاع موج مشخصه طراحی، بالای تراز میانگین مد ماهیانه باشد.

۲) در بیشتر موج شکن‌های موجود تراز تاج به صورت زیر تعیین شده است:

الف) برای بنادر با کشتی‌های بزرگ که سطح آب پشت موج شکن خیلی وسیع بوده و در برخی مواقع روگذری موج مجاز شمرده می‌شود و نیازی نیز به بررسی تاثیر برکشند طوفان نمی‌باشد، تراز موج در ارتفاع $0.6H_{1/3}$ بالای تراز میانگین مد ماهیانه در نظر گرفته می‌شود.

(ب) در بنداری که مساحت آب پشت موج‌شکن کوچک بوده و برای کشتی‌های کوچک استفاده می‌شوند، تا حد امکان باید از روگذری موج اجتناب گردد. در این موارد تراز موج‌شکن در ارتفاع $1.25H_{1/3}$ بالای تراز میانگین مد ماهیانه در نظر گرفته می‌شود.

(۳) در مناطقی که امواج طوفانی بزرگ نزدیک به امواج طرح با تداوم و فرکانس بالا وجود دارد، فعالیت بندر با کشتی‌های بزرگ با مساحت آب وسیع پشت موج‌شکن نیز ممکن است تحت تاثیر روگذری امواج، محدود شود، حتی اگر تراز موج‌شکن $0.6H_{1/3}$ بالای تراز میانگین مد ماهیانه باشد. بنابراین در چنین بنداری ترجیحا تراز تاج بالاتر از $0.6H_{1/3}$ بالای تراز میانگین مد ماهیانه در نظر گرفته می‌شود.

(۴) در مواردی که ارتفاع موج مشخصه طراحی بیشتر از ۲ متر است ضخامت دال بتنی تاج باید بزرگتر و یا مساوی ۱ متر و اگر ارتفاع موج طرح کمتر از ۲ متر باشد این مقدار باید حداقل ۵۰ سانتی متر باشد تا از خرابی توسط امواج عبور کرده جلوگیری شود.

(۵) اگر تراز روی صندوقه پایین باشد اجرای عملیات استقرار صندوقه، پر کردن با ماسه و استقرار درپوش بتنی و دال بتنی تاج توسط جزر و مد محدود می‌گردد. لذا معمولا تراز روی صندوقه بالاتر از تراز میانگین مد ماهیانه در نظر گرفته می‌شود.

(۶) برای سهولت استقرار دال بتنی تاج، نباید تراز روی بالاترین بلوک‌ها در موج‌شکن قائم نوع بلوک بتنی و موج‌شکن نوع بلوک بتنی سلولی پایین‌تر از تراز میانگین آب (MSL) در نظر گرفته شود و حتی الامکان این تراز باید بالای تراز میانگین مد ماهیانه تعیین شود.

۲-۵-۲- موج‌شکن مرکب

تراز تاج قسمت قائم این موج‌شکن همانند موج‌شکن قائم (بند ۲-۵-۱) تعیین می‌شود. اما در مواردی که بستر دریا سست بوده و امکان نشست وجود داشته باشد، تراز تاج باید کمی بالاتر در نظر گرفته شده و یا طراحی موج‌شکن باید به گونه‌ای انجام شود که امکان بالا بردن سازه فوقانی پس از نشست به آسانی وجود داشته باشد.

تفسیر

(۱) ضخامت دال بتنی تاج، ارتفاع نصب قسمت قائم و تراز تاج در موج‌شکن‌های مرکب همانند موج‌شکن‌های قائم تعیین می‌گردد.

(۲) برای جلوگیری از اعمال نیروی ضربه‌ای امواج در حال شکست، باید تاحد امکان تراز روی پی سنگریزه‌ای پایین‌تر در نظر گرفته شود.

(۳) برای افزایش مقاومت لغزشی قسمت قائم، استفاده از یک پشته سنگریزه‌ای ممکن است موثر باشد. در این مورد باید قفل و بست سنگ‌ها با یکدیگر به خوبی تامین شود، در غیر این صورت موج‌های روگذشته موجب پخش شدن سنگ‌ها خواهد شد. در صورت لزوم باید سطح پشته سنگریزه‌ای با بلوک‌های بتنی بزرگ پوشیده شود.

(۴) اگر احتمال نشست خاک سست بستر و فرو رفتن بخش عمده‌ای از قسمت سنگریزه‌ای وجود داشته باشد باید از اقدامات پیشگیرانه‌ای همچون اصلاح خاک یا استفاده از مترس زیر قسمت سنگریزه برای پخش کردن وزن صندوقه، استفاده شود.

نکات فنی

(۱) پی سنگریزه‌ای برای پخش وزن قسمت قائم، جهت تامین تراز مناسب برای قرار گرفتن قسمت قائم و جلوگیری از آب‌شستگی توسط امواج به کار می‌رود که برای دستیابی به این اهداف، ضخامت قسمت سنگریزه باید حداقل ۱/۵ متر باشد.

(۲) عرض سکوی افقی در پی سنگریزه‌ای باید به گونه‌ای تعیین شود که درجه پایداری لازم در برابر گسیختگی لغزشی دایروی حاصل از بارهای مایل و خارج از مرکز روی موج‌شکن تامین گردد. در موقعیت‌هایی با امواج شدید، عرض سکوی افقی در سمت دریا معمولا ۵ متر یا بیشتر و در سمت بندر دو سوم سمت دریا در نظر گرفته می‌شود.

۳) میزان شیب پی سنگریزه‌ای باید بر اساس محاسبات پایداری تعیین گردد. در خیلی موارد بر اساس شرایط موج، شیب سمت دریا معمولاً ۱:۲ تا ۱:۳ و شیب سمت بندر بین ۱:۱/۵ تا ۱:۲ می‌باشد.

۲-۵-۳- موج‌شکن شیبدار

۱) تراز تاج باید همانند بند ۲-۵-۱- موج‌شکن قائم تعیین شود.

۲) عرض تاج باید بر اساس نتایج آزمایش‌های مناسب مدل هیدرولیکی تعیین گردد.

تفسیر

- ۱) به دلیل اینکه موج از میان موج‌شکن شیبدار نفوذ می‌کند، ارتفاع موج درون بندر در مقایسه با موج‌شکن قائم حتی با تراز تاج یکسان بیشتر است. در ارتباط با روگذری و انتقال موج به بخش ۲، بند ۴-۶- بالاروی، روگذری و انتقال موج مراجعه شود.
- ۲) چنانچه شدت روگذری امواج زیاد باشد به دلیل ناپایدار شدن قطعات آرمور روی موج‌شکن، عرض تاج باید به مقدار کافی زیاد باشد.
- ۳) برای موج‌شکنی که به خشکی متصل بوده و از خشکی اجرا می‌شود، عرض تاج باید نه تنها بر اساس محاسبات پایداری، بلکه با در نظر گرفتن ملاحظات اجرایی تعیین گردد.
- ۴) شیب کناره‌ها باید بر اساس محاسبات پایداری مناسب به دست آید.

۵) برای موج‌شکنی که روی زمین سست ساخته می‌شود تراز موج و روش اجرا باید مانند بند ۲-۵-۲- موج‌شکن مرکب تعیین شود.

نکات فنی

- ۱) چنانچه تاج موج‌شکن در ارتفاع $0.6 H_{1/3}$ بالای تراز میانگین مد ماهیانه قرار داشته باشد و با بلوک‌های بتنی پوشیده شود، عرض تاج باید حداقل به‌میزانی باشد که ۳ عدد بلوک بتنی یا بیشتر، در تاج قرار بگیرد، همانگونه که در شکل ۲-۵-۱ نشان داده شده است. از آنجا که پایداری بخش بالای موج‌شکن به شرایط امواج و ویژگی‌های قطعات آرمور بستگی دارد، بهتر است عرض تاج بر اساس آزمایش و مدل هیدرولیکی مناسب تعیین شود.



تعداد قطعات ذکر شده در بالا، تعداد بلوکهای قرار گرفته در لایه بالایی تاج می‌باشد

شکل ۲-۵-۱- عرض تاج موج‌شکن شیبدار

- ۲) موارد بسیاری وجود دارد که شیب کناره موج‌شکن شیبدار سنگریزه‌ای در سمت دریا حدود ۱:۲ و در سمت بندر حدود ۱:۱/۵ و برای موج‌شکن پوشیده‌شده با بلوک‌های بتنی مستهلک‌کننده موج بین ۱:۱/۳ تا ۱:۱/۵ می‌باشد. در مواردی که شیب کناره و یا وزن قطعات آرمور در سمت دریا در قسمت‌های بالا و پایین شیب متفاوت است، محلی که در آن شیب کناره و وزن قطعات تغییر می‌کند باید پایین‌تر از $1.5H_{1/3}$ زیر تراز طراحی قرار گیرد.

۲-۵-۴- موج شکن نوع صندوقه‌ای پوشیده شده با بلوک‌های بتنی مستهلک کننده موج

- ۱) تراز تاج قسمت قائم باید همانند بند ۲-۵-۱- موج شکن قائم تعیین شود.
- ۲) تراز تاج تمهیدات مستهلک کننده موج ترجیحا باید با تراز قسمت قائم یکسان باشد.
- ۳) ضخامت دال بتنی تاج و ارتفاع نصب صندوقه باید همانند توضیحات ارائه شده برای موج شکن قائم تعیین گردد و ضخامت پی سنگریزه‌ای نیز با مراجعه به موج شکن مرکب تعیین شود.

تفسیر

- ۱) برای موج شکن نوع صندوقه‌ای پوشیده شده با بلوک‌های مستهلک کننده موج، روگذری و انتقال موج کمتر از مقادیر به دست آمده برای موج شکن های قائم یا مرکب می‌باشد. در رابطه با روگذری و انتقال امواج به بخش ۲، بند ۴-۶- بالاروی، روگذری و انتقال موج مراجعه شود.
- ۲) عملکرد تمهیدات مستهلک کننده موج، عبارت از کاهش فشار، روگذری، انتقال و بازتاب موج می‌باشد و ارزیابی دقیق این کارکردها، باید ترجیحا بر اساس نتایج مدل هیدرولیکی آزمایشگاهی صورت گیرد.
- ۳) چنانچه تراز تاج قسمت مستهلک کننده موج پایین تر از تراز تاج قسمت قائم باشد، احتمال وارد شدن نیروی ضربه‌ای امواج در حال شکست به قسمت قائم وجود دارد. بر عکس، اگر تراز تاج قسمت مستهلک کننده بالاتر از قسمت قائم باشد، امکان ناپایداری بلوک‌های تاج وجود دارد.
- ۴) اگر وجه قائم قسمت قائم کاملا با بلوک‌های مستهلک کننده موج پوشیده نشده باشد، احتمال وارد شدن نیروی موج به وجه قائم وجود دارد.

نکات فنی

- به منظور دستیابی به تاثیر کافی در استهلاک موج، عرض تاج قسمت مستهلک کننده امواج باید مقداری برابر با دو بلوک بتنی مستهلک کننده موج یا بیشتر داشته باشد.

۲-۶- نیروهای خارجی برای محاسبات پایداری

۲-۶-۱- کلیات

- هنگام ارزیابی پایداری موج شکن، نیروهای خارجی همانند نیروی موج، فشار هیدرواستاتیکی، شناوری و وزن موج شکن باید مد نظر قرار گیرد.

تفسیر

- ۱) در صورت لزوم، علاوه بر موارد بالا باید فشار باد، نیروی زلزله، نیروی برخورد اشیای جانبی و فشار زمین نیز به عنوان نیروهای خارجی در نظر گرفته شود.
- ۲) نیروی فشار وارد شده از طرف بلوک‌های بتنی مستهلک کننده موج در حالت های معمولی در نظر گرفته نمی‌شود. برای مواردی که این نیرو را باید در نظر گرفت به بخش ۲، بند ۵-۲-۴- نیروی موج وارد بر دیواره قائم پوشیده شده از بلوک های بتنی مستهلک کننده موج مراجعه شود.

۲-۶-۲- نیروی های موج

(۱) محاسبه نیروی موج باید بر اساس توضیحات ارائه شده در بخش ۲، فصل ۵- نیروی موج انجام شود.
 (۲) برای انتخاب تراز جزر و مدی در محاسبه نیروی موج، باید تراز انتخاب شود که بیشترین ناپایداری را در سازه ایجاد نماید. این تراز بر اساس بخش ۲، فصل ۶- کشندها و ترازهای غیر عادی آب تعیین می شود.

۲-۶-۳- فشار هیدرواستاتیکی

اگر سطح آب ساکن سمت دریا با سطح آب سمت حوضچه در یک موج شکن متفاوت باشد فشار هیدرواستاتیکی ناشی از اختلاف تراز آب باید مد نظر قرار گیرد.

۲-۶-۴- غوطه‌وری

نیروی غوطه‌وری وارد بر قسمت قائم زیر سطح متوسط ایستایی باید در نظر گرفته شود. اگر سطح آب ساکن سمت دریا با سمت حوضچه متفاوت باشد، نیروی غوطه‌وری باید برای قسمت زیر سطحی که دو تراز آب در دو سمت موج شکن را به هم متصل می کند، محاسبه شود.

۲-۶-۵- بار مرده

بار مرده موج شکن را می توان با استفاده از چگالی مصالح استفاده شده در ساخت موج شکن تعیین نمود.

تفسیر

در ارتباط با چگالی مواد به بخش ۲، بند ۱۵-۲- بار مرده و سربار مراجعه شود.

۲-۶-۶- پایداری هنگام زلزله

از بررسی پایداری موج شکن هنگام زلزله به جز در موارد خاص می توان صرف نظر نمود.

تفسیر

(۱) برای موج شکنی که مقطع عرضی آن بر اساس پایداری لغزشی در برابر امواج تعیین شده است، می توان از محاسبات پایداری هنگام زلزله صرف نظر نمود.

(۲) در مواردی که به دلیل عمق زیاد آب و ارتفاع کم موج طرح، مقطع عرضی موج شکن لاغر باشد، باید پایداری در برابر واژگونی ناشی از فشار دینامیکی آب حین زلزله کنترل گردد. علاوه بر این، در مورد موج شکن محافظ در برابر سونامی، پایداری هنگام زلزله بسیار مهم می باشد، زیرا سونامی پس از وقوع زلزله به محل می رسد. لذا محاسبات پایداری در برابر لغزش و واژگونی ناشی از فشار دینامیکی آب هنگام زلزله ضروری می باشد. در ارتباط با فشار دینامیکی آب هنگام زلزله به بخش ۲، بند ۱۴-۴-۲- فشار دینامیکی آب در هنگام زلزله مراجعه شود.

۲-۷-۱- ارزیابی پایداری**۲-۷-۱-۱- ارزیابی پایداری قسمت قائم**

(۱) به طور کلی بررسی پایداری قسمت قائم موج شکن وزنی باید بر اساس فرآیند طراحی با استفاده از ضرایب اطمینان در برابر گسیختگی انجام شود.

۲) وقتی فرآیند طراحی براساس ضرایب اطمینان انجام شود باید پایداری موج شکن قائم، قسمت قائم موج شکن مرکب، سازه فوقانی موج شکن شیبدار و قسمت قائم موج شکن پوشیده شده با بلوک‌های مستهلک کننده موج، بر اساس موارد گفته شده در الف تا ج بررسی شود:

الف) پایداری در برابر لغزش بر اساس رابطه ۱-۷-۲ کنترل می‌گردد. در این مورد باید ضریب اطمینان مناسب متناظر با ویژگی‌های سازه به کار گرفته شود.

$$F_s \leq \frac{\mu(W_0 - U)}{P} \quad (1-7-2)$$

که در آن:

F_s : ضریب اصطکاک قسمت عمودی در برابر لغزش

μ : ضریب اصطکاک بین قسمت عمودی و پی سنگریزه‌ای (kN/m)

W_0 : وزن قسمت عمودی در آب ساکن (kN/m)

U : نیروی بالابرنده وارد بر قسمت قائم (kN/m)

P : نیروی افقی موج وارد بر قسمت قائم (kN/m)

ب) پایداری در برابر واژگونی با استفاده از رابطه ۲-۷-۲ کنترل می‌گردد. در این مورد باید از ضریب اطمینان مناسب متناظر با ویژگی‌های سازه استفاده شود.

$$F_s \leq \frac{W_0 t - M_U}{M_P} \quad (2-7-2)$$

در این رابطه W_0 همانند رابطه ۱-۷-۲ بوده و دیگر پارامترها به صورت زیر می‌باشد:

F_s : ضریب اطمینان قسمت قائم در برابر واژگونی

t : فاصله افقی بین مرکز ثقل و پاشنه قسمت قائم (m)

M_U : لنگر ناشی از نیروی بالابرنده حول پاشنه قسمت قائم ($kN.m/m$)

M_P : لنگر ناشی از نیروی افقی موج حول پاشنه قسمت قائم ($kN.m/m$)

ج) تحلیل پایداری در رابطه با ظرفیت باربری پی در زیر سازه مطابق بخش ۵، بند ۲-۵- ظرفیت باربری برای بارهای خارج از مرکز و مایل صورت می‌گیرد.

۳) در مواردی که طراحی بر اساس قابلیت اطمینان انجام می‌شود، تحلیل پایداری سازه باید با در نظر گرفتن مقادیر آستانه مناسب انجام شود. برای نمونه، مقدار آستانه مناسب را می‌توان طول لغزش سازه‌ای متناظر با نوع عملکرد تاسیسات و ویژگی‌های سازه در نظر گرفت.

تفسیر

۱) در ارتباط با محاسبه نیروی موج به بخش ۲، بند ۲-۵- نیروی موج وارد بر دیواره قائم مراجعه شود. همچنین انتخاب مقادیر مناسب برای ضریب اطمینان باید بر اساس موارد الف تا ج صورت گیرد.

الف) برای لغزش ناشی از نیروی موج باید ضریب اطمینان $1/2$ و یا بزرگتر انتخاب گردد. اگر پایداری موج شکن توسط مدل های فیزیکی تایید شده باشد می توان ضریب اطمینان را کمتر از $1/2$ انتخاب نمود. در هر حال ضریب اطمینان نباید کمتر از ۱ باشد.

ب) ضریب اطمینان در برابر واژگونی باید برای نیروی موج، بزرگتر از $1/2$ و برای زلزله، بزرگتر از $1/1$ باشد.

ج) ضریب اطمینان برای ظرفیت باربری در حالت نیروی موج باید بزرگتر از ۱ باشد.

۲) در برخی موارد برای افزایش اصطکاک، پوششی زیر قسمت قائم قرار داده می شود تا ضریب اصطکاک بین قسمت قائم و پی سنگریزه ای افزایش یابد. در ارتباط با پوشش افزایش دهنده اصطکاک به **بخش ۲، فصل ۱۶ - ضریب اصطکاک** مراجعه شود.

۳) در ارتباط با بررسی پایداری موج شکن می توان از روش طراحی بر اساس قابلیت اطمینان استفاده نمود که در آن پایداری موج شکن در برابر امواجی که در طول بهره برداری از موج شکن به آن برخورد می نماید به صورت احتمالاتی محاسبه می شود.

۴) برای بررسی ظرفیت باربری پی در محاسبه میزان نشست مورد انتظار می توان از روش طراحی بر اساس قابلیت اطمینان استفاده نمود.

نکات فنی

۱) به عنوان یک قانون کلی، در روش های طراحی بر اساس ضرایب اطمینان در برابر گسیختگی، موج شکن طوری طراحی می شود که لغزش نداشته باشد. به همین دلیل ضریب اطمینان در برابر لغزش برای موج طرح، با یک حاشیه $0/2$ یا بزرگتر همراه می باشد. با این وجود از دیدگاه عدم قطعیت آماری متغیرهای طراحی حتی برای موج شکن طرح شده با این روش، احتمال اینکه لغزش رخ ندهد، صفر نمی باشد. به همین دلیل حتی اگر ضرایب اطمینان یکسانی برای طرح استفاده شود، احتمال رخداد لغزش یا طول لغزش مد نظر، بر اساس شرایط طرح تغییر خواهد کرد.

در طراحی بر اساس قابلیت اطمینان می توان با استفاده از یکی از دو روش زیر پایداری لغزشی موج شکن را به صورت آماری ارزیابی نمود. روش نخست، رخداد لغزش را در طول عمر سازه محاسبه می کند و در روش دیگر با فرض مجاز بودن لغزش موج شکن تا یک حد آستانه مشخص که به عملکرد موج شکن آسیب نرساند، طول لغزش مورد انتظار محاسبه می شود. هنگام ارزیابی، احتمال رخداد لغزش یا طول لغزش مورد انتظار باید کمتر از مقادیر مجاز تعیین شده باشد. برای مقاطع عرضی که بر اساس روش قابلیت اطمینان طراحی می شود، ضریب اطمینان در برابر لغزش باید مساوی و یا بزرگتر از ۱ باشد. منظور از طول لغزش مورد انتظار معمولاً یک مقدار متوسط می باشد، بنابراین امکان اینکه برخی موج شکن ها در عمل بیشتر از این مقدار متوسط بلغزند، وجود دارد.

با استفاده از روش طراحی بر اساس قابلیت اطمینان و مجاز دانستن تغییر شکل موج شکن در برخی مواقع، موج شکن را می توان به صورت اقتصادی تر نسبت به استفاده از روش های مبتنی بر ضریب اطمینان در برابر گسیختگی طراحی نمود. موارد مختلفی باید هنگام طراحی بر اساس قابلیت اطمینان در نظر گرفته شود که در ادامه توضیح داده شده است.

الف) احتمال وقوع ارتفاع موج آب عمیق

ارتفاع موج آب عمیق با استفاده از تابع توزیع حدی ارتفاع های موج طوفانی در منطقه مورد نظر محاسبه شده و سپس با استفاده از توزیع نرمال، اثرات عدم قطعیت ناشی از تغییر پذیری نمونه داده های موج حدی روی ارتفاع موج محاسبه شده، در نظر گرفته می شود.

ب) احتمال وقوع تراز جزر و مدی

تغییرات جزر و مدی سطح آب با استفاده از چهار مولفه جزر و مدی محاسبه شده و توزیع تجمعی سطوح جزر و مدی در

طول عمر سازه به دست می‌آید. همچنین برکشندهای طوفان غیر معمول در صورت لزوم باید در نظر گرفته شود.

(ج) محاسبات تغییر شکل امواج

ارتفاع موج طرح در مقابل سازه با استفاده از ارتفاع موج آب عمیق به دست می‌آید (بخش ۲، بند ۴-۵- انتقال امواج).

باید تغییر آماری ارتفاع امواج در طراحی واقعی که به صورت توزیع نرمال نشان داده می‌شود، در نظر گرفته شود.

(د) محاسبه نیروی موج

نیروی موج با استفاده از توضیحات بخش ۲، فصل ۵- نیروی موج به دست می‌آید. تغییرات آماری نیروی امواج که با

توزیع نرمال نشان داده می‌شود باید در نظر گرفته شود.

(ه) بار مرده

تغییرات آماری بار مرده نیز که با توزیع نرمال نشان داده می‌شود باید در نظر گرفته شود.

(و) ضریب اصطکاک

ضریب اصطکاک با استفاده از توضیحات بخش ۲، فصل ۱۶- ضریب اصطکاک تعیین شده و تغییرات آماری آن با

فرض توزیع نرمال در نظر گرفته می‌شود. اگرچه این ضریب به موارد بسیاری همچون تعداد سال‌های گذشته پس از ساخت سازه و

یا رخداد گسیختگی لغزشی بستگی دارد، به دلیل عدم قطعیت‌های این تاثیرات، نیازی به در نظر گرفتن موارد ذکر شده نمی‌باشد.

(ز) تعیین لغزش

با فرض نمودن لغزش موج‌شکن هنگامی که ضریب اطمینان لغزشی کمتر از ۱ شود، محاسبه عددی یا شبیه‌سازی حرکت

قسمت قائم موج‌شکن انجام شده و تغییرات آماری تمامی موارد گفته شده در الف تا و هم در نظر گرفته می‌شود. سپس احتمال وقوع

لغزش تحت شرایط طوفان حدی و احتمال وقوع لغزش در طول عمر موج‌شکن محاسبه می‌شود. علاوه بر این، مدل لغزشی

Shimosako و همکاران برای محاسبه طول لغزش مورد انتظار استفاده می‌شود.

Shimosako و همکاران این محاسبات را با استفاده از شبیه‌سازی مونت کارلو انجام داده‌اند. برای مثال اگر روش طراحی بر اساس

قابلیت اطمینان با مقدار آستانه ۳۰ یا ۵۰ سانتی متر حد مجاز برای طول لغزش استفاده شود، در مقایسه با حالت استفاده از روش

طراحی مرسوم با ضریب اطمینان لغزشی ۱/۲، مقطع عرضی و عرض موج‌شکن معمولاً کوچکتر و اقتصادی‌تر به دست می‌آید. در

هر حال، میزان کاهش مقطع عرضی تا حد زیادی به شرایط طرح بستگی داشته و حتی امکان بزرگتر شدن مقطع عرضی هم وجود

دارد. به طور کلی در منطقه شکست که حد بالای ارتفاع موج با عمق آب تعیین می‌شود، استفاده از روش طراحی قابلیت اطمینان

منجر به صرفه اقتصادی بسیاری می‌گردد. در طراحی‌های عملی باید به تغییرات آماری موارد گفته شده در بالا توجه کافی شود. به

علاوه، باید مقادیر آستانه مناسب برای احتمال وقوع مجاز لغزش و طول لغزش مورد انتظار متناظر با اهمیت یا طول عمر موج‌شکن

انتخاب گردد.

(۲) در ارتباط با ظرفیت باربری پی، *Tsuchida* و همکاران نشست در طول عمر موج‌شکن ساخته شده روی پی با ظرفیت باربری

ناکافی را با استفاده از روش طراحی بر اساس قابلیت اطمینان برای موج‌شکن‌های طرح شده با روش ساده شده *Bishop* با ضریب

اطمینان ۱ محاسبه نموده‌اند که با استفاده از این روش امکان طراحی موج‌شکن بر اساس مفهوم نشست مورد انتظار وجود دارد.

(۳) وقتی سمت حوضچه قسمت قائم با پشته‌ای از سنگ یا بلوک بتنی پوشیده می‌شود باید به موارد زیر توجه ویژه مبذول گردد:

الف) امکان ایجاد مانع در برابر لنگر اندازی، مهاربندی و ناوبری شناورها در حوضچه بررسی شود.
 ب) ضریب اطمینان در برابر لغزش و واژگونی ناشی از نیروی امواج وارد بر قسمت قائم باید بزرگتر و یا مساوی ۱ بدون در نظر گرفته پشته‌های موج‌شکن باشد. ضریب اطمینان کوچک ممکن است باعث حرکت قسمت قائم، افزایش فشار پاشنه و لغزش یا واژگونی قسمت قائم به طرف دریا هنگام حسیض موج گردد.
 ج) برای جلوگیری از آسیب پشته سنگریزه‌ای در اثر امواج روگذر شده، قطعات محافظ مناسب باید استفاده شود.
 د) ارتفاع پشته سنگریزه‌ای h ، باید ترجیحاً بزرگتر یا مساوی یک سوم ارتفاع قسمت قائم و عرض آن b باید بزرگتر یا مساوی ارتفاع آن h باشد.
 هـ) هنگام اجرای بلوک بتنی در پشت قسمت قائم، باید به گونه‌ای عمل نمود که بین بلوک‌های بتنی و قسمت قائم، فضای خالی ایجاد نشود.

۴) در مواقعی که سمت حوضچه قسمت قائم با پشته‌سنگی یا بلوک‌بتنی پوشیده می‌شود مقاومت لغزشی باید طبق رابطه زیر برآورد گردد:

$$\frac{\mu_1 W_1 + R}{P} \geq 1.2 \quad (3-7-2)$$

که در آن:

P : نیروی افقی موج وارد بر قسمت قائم (kN/m)

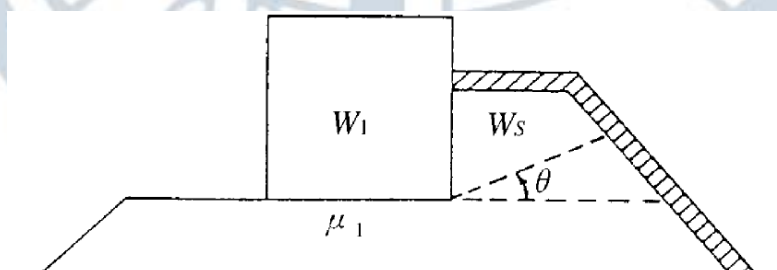
W_1 : وزن موثر قسمت قائم در آب ساکن پس از کم کردن نیروی بالابرنده (kN/m)

μ_1 : ضریب اصطکاک بین قسمت قائم و پی سنگریزه‌ای

R : نیروی مقاوم لغزشی ناشی از پشته سنگی یا بلوک‌های بتنی (kN/m)

نیروی مقاوم لغزشی R را می‌توان به صورت زیر محاسبه نمود:

الف) نیروی مقاوم لغزشی پشته سنگریزه‌ای (به شکل ۲-۷-۱-۱- مراجعه شود)



شکل ۲-۷-۱-۱- نیروی مقاوم لغزشی سنگریز

$$R = W_s \tan(\theta + \phi) \quad (4-7-2)$$

که در آن:

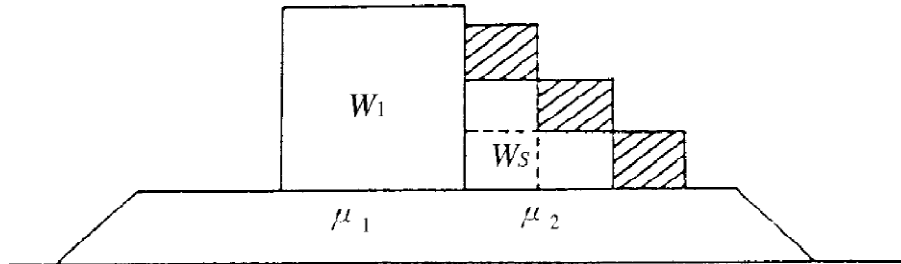
W_s : وزن کلی سنگ‌های بالای سطح لغزش در آب ساکن، به جز وزن سنگ‌های بالاترین لایه (kN/m)

θ : زاویه سطح لغزش (درجه)

$\phi = \tan^{-1} \mu_2$ (μ_2 ضریب اصطکاک بین سنگ‌های پشته سنگریزه‌ای می‌باشد، $\mu_2 = 0.8^\circ$) (درجه)

رابطه ۲-۷-۴ از تعادل نیروهای وارد بر قسمت سنگریزه‌ای به دست آمده و نیروی مقاوم لغزشی به صورت کمترین مقدار R با تغییر θ به صورت سعی و خطا محاسبه می‌شود.

(ب) نیروی مقاوم لغزشی بلوک‌های بتنی (به شکل ۲-۷-۲ مراجعه شود)



شکل ۲-۷-۲- نیروی مقاوم لغزشی بلوک‌های بتنی

$$R = \mu_2 W_s \quad (۵-۷-۲)$$

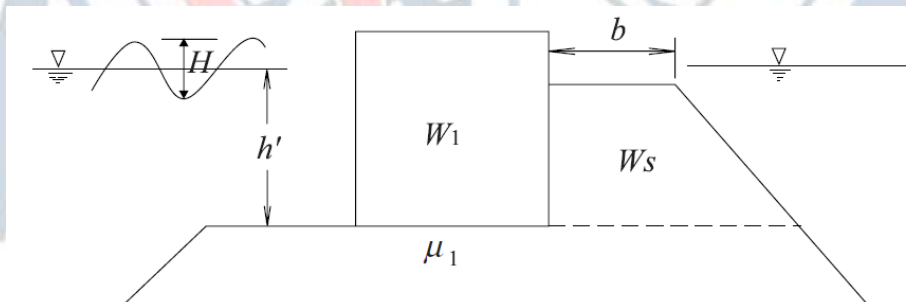
که در آن:

W_s : وزن کل بلوک‌های بتنی در آب ساکن، به جز وزن بلوک‌های بالاترین لایه (kN/m)

μ_2 : ضریب اصطکاک بین بلوک‌های بتنی و پی سنگریزه‌ای

(ج) *Takeda* و همکاران با استفاده از آزمایش‌های خود نشان داده‌اند که نیروی مقاوم R تابعی از نسبت ارتفاع موج به

عمق آب (رابطه ۲-۷-۶) در موج‌شکن می‌باشد (به شکل ۲-۷-۳ مراجعه شود).



شکل ۲-۷-۳- نیروی مقاوم لغزشی یک جسم مسلح شده

$$R = \alpha W_s \quad (۶-۷-۲)$$

$\alpha = 0.9 + 0.2(H/h' - 0.5)$ در مورد پشته سنگریزه‌ای:

$\alpha = 0.4 + 0.2(H/h' - 0.5)$ در مورد پشته بلوک‌های بتنی:

که در آن:

W_s : وزن قطعات سنگی یا بلوک‌های بتنی در آب ساکن (kN/m)

α : ضریب مقاوم

H : ارتفاع موج (m)

h' : عمق آب روی پی سنگریزه‌ای (m)

با این حال، هنگامی که $H/h' \leq 0.5$ ، این مقدار (H/h') باید برابر با ۰/۵ در نظر گرفته شود.

۲-۷-۲- محاسبه پایداری قسمت شیبدار

سنگریز موج‌شکن‌های مرکب و شیبدار باید در برابر گسیختگی لغزشی و نیز پایداری قطعات آرمور بررسی گردد.

(۱) گسیختگی لغزشی

باید گسیختگی لغزشی ناشی از بارهای مایل و خارج از مرکز روی موج‌شکن مرکب بررسی شود.

(۲) جرم مورد نیاز و ضخامت لایه قطعات آرمور (حفاظ)

لایه آرمور باید علاوه بر داشتن جرم پایدار کافی در برابر نیروی موج برای هر قطعه، ضخامت کافی نیز داشته باشد تا از شسته شدن لایه زیرین جلوگیری گردد.

تفسیر

(۱) در ارتباط با گسیختگی لغزشی ناشی از بارهای مایل و خارج از مرکز، به بخش ۵، بند ۲-۵- ظرفیت باربری برای بارهای خارج از مرکز و مایل مراجعه شود.

(۲) جرم لازم قطعات آرمور برای موج‌شکن شیبدار و موج‌شکن صندوق‌های پوشیده شده با بلوک مستهلک کننده موج، باید بر اساس توضیحات بخش ۲، بند ۵-۳-۱- قطعات آرمور روی سطح شیبدار محاسبه شود. هنگامی که قطعات آرمور به صورت یکنواخت و نه تصادفی چیده می‌شود، جرم مورد نیاز را می‌توان بر اساس قضاوت مهندسی تعیین نمود. در مواردی که قطعات آرمور به صورت تصادفی قرار می‌گیرد ضخامت لایه آرمور باید شامل دو قطعه سنگ باشد.

(۳) جرم مورد نیاز قطعات آرمور در پی سنگریزه‌ای موج‌شکن مرکب باید بر اساس مطالب بخش ۲، بند ۵-۳-۲- قطعات آرمور روی پشته پی موج‌شکن مرکب محاسبه شود.

نکات فنی

(۱) به‌عنوان یک اصل کلی، جرم مورد نیاز سنگ یا بلوک زیر لایه آرمور باید تقریباً $\frac{1}{3}$ جرم قطعات آرمور و یا بیشتر باشد. در مورد موج‌شکن

شیبدار این مقدار ترجیحاً باید $\frac{1}{20}$ تا $\frac{1}{15}$ باشد. جرم سنگ‌های زیر لایه فیلتر نیز باید حدود $\frac{1}{3}$ قطعات لایه فیلتر و یا بزرگتر باشد.

(۲) در مواردی که وجه شیب با آسفالت ماسه‌ای پوشیده می‌شود، باید محاسبات پایداری دقیق با بررسی پروژه‌های قبلی ساخته شده و نتایج تحقیقاتی صورت گیرد.

۲-۷-۳- ارزیابی پایداری کل مقطع

پایداری موج‌شکن وزنی در برابر گسیختگی لغزشی دایروی باید همانند توضیحات ارائه شده در بخش ۵، بند ۶-۲- تحلیل شیب بررسی شده و نشست موج‌شکن با توجه به ویژگی‌های زمین و سازه کنترل گردیده تا از پایداری مقطع کلی موج‌شکن اطمینان حاصل شود.

تفسیر

(۱) در ارتباط با گسیختگی لغزشی دایروی به بخش ۵، بند ۶-۲-۱- تحلیل شیب با بکارگیری روش صفحه لغزش

دایرویی و برای نشست به بخش ۵، فصل ۵- نشست پی و برای روش‌های اصلاح خاک به بخش ۵، فصل ۷- روش‌های بهسازی خاک مراجعه شود.

(۲) تراز جزر و مدی که برای محاسبه پایداری کل مقطع استفاده می‌شود، باید ترازى باشد که کمترین ضریب اطمینان را ایجاد نماید. برای تعیین تراز آب به **بخش ۲، بند ۶-۱- تراز آب طراحی** مراجعه شود.

۲-۷-۴- ارزیابی پایداری پوزه و گوشه موج‌شکن

(۱) بهتر است که جرم قطعات سنگی یا بلوکی آرمور در پوزه موج‌شکن بزرگتر از قطعات قسمت بدنه آن در نظر گرفته شود.
(۲) در بستر سست، لغزش در جهت موازی محور طولی موج‌شکن نیز باید بررسی گردد. در این موارد مقاومت اصطکاکی جانبی باید در نظر گرفته شود.

(۳) اگر فانوس یا چراغ دریایی روی پوزه موج‌شکن ساخته شود، ارزیابی پایداری باید با در نظر گرفتن نیروی زلزله، نیروی موج و فشار باد روی بدنه فانوس انجام شود.

(۴) باید به پدیده افزایش ارتفاع موج در گوشه‌های مقعر موج‌شکن توجه لازم مبذول گردد.

تفسیر

(۱) به دلیل عدم قطعیت‌های موجود در بررسی پوزه موج‌شکن مرکب یا قائم در مقایسه با پایداری بدنه آن به دلیل آب‌شستگی پی سنگریزه‌ای یا نیروهای خارجی وارد بر قطعات آرمور، جرم قطعات آرمور در پوزه موج‌شکن باید در مقایسه با بدنه، ترجیحاً بزرگتر باشد. در ارتباط با محاسبه جرم قطعات آرمور به **بخش ۲، بند ۵-۳-۲- قطعات آرمور روی پشته پی موج‌شکن مرکب** مراجعه شود. به طور کلی قطعات آرمور در پوزه موج‌شکن شیبدار یا موج‌شکن صندوقه‌ای پوشیده شده با بلوک مستهلک کننده موج باید ترجیحاً دارای جرمی ۱/۵ برابر بزرگتر از قطعات آرمور بدنه بوده و به شکل خاکریز دایروی چیده شود. در ارتباط با محاسبه جرم قطعات آرمور در موج‌شکن شیبدار و موج‌شکن صندوقه‌ای پوشیده شده با بلوک‌های مستهلک کننده موج به **بخش ۲، بند ۵-۳-۱- قطعات آرمور روی سطح شیبدار** مراجعه شود.

(۲) برای بررسی لغزش در امتداد محور موج‌شکن به **بخش ۵، بند ۶-۲-۱- تحلیل شیب با بکارگیری روش صفحه لغزش دایروی** مراجعه شود.

(۳) پوزه موج‌شکن که روی آن فانوس دریایی ساخته می‌شود باید به گونه‌ای طراحی شود که پایداری کافی در برابر بارهای اضافی ناشی از فانوس دریایی را داشته باشد. علاوه بر این، پیش‌بینی تاسیسات کمکی لازم برای حفظ کارکردهای فانوس دریایی باید مد نظر قرار گیرد. در رابطه با باد و فشار باد بر روی یک فانوس دریایی به **بخش ۲، بند ۳-۳- فشار باد** مراجعه شود.

(۴) به دلیل اینکه مواردی از تخریب در ابتدای موج‌شکن‌هایی که با روش‌های ساده سازه‌ای ساخته شده بودند، مشاهده شده است، در این زمینه باید توجه لازم صورت گیرد.

(۵) ارتفاع موج در اطراف گوشه مقعر در راستای موج‌شکن قائم و یا مرکب ممکن است به دلیل برهم نهی امواج بازتابیده شده از دو بال موج‌شکن به علاوه تمرکز موج در خود گوشه مقعر، افزایش پیدا کند. به دلیل اینکه موارد بسیاری از تخریب ایجاد شده در اثر این گونه افزایش ارتفاع موج گزارش شده است، باید در این زمینه هنگام جانمایی موج‌شکن و ارزیابی پایداری مطابق توضیحات ارائه شده

در بخش ۲، بند ۴-۵-۴ [۳] تغییرات امواج در گوشه های مقعر، نزدیک دماغه های موج شکن ها و اطراف موج شکن های جدا از ساحل و نیز بخش ۲، بند ۵-۲-۵- تاثیر راستای موج شکن بر نیروی موج بررسی های لازم صورت گیرد.

۲-۸- جزئیات سازه

۲-۸-۱- موج شکن قائم

(۱) ضخامت دیواره بتنی موج شکن صندوقه ای و موج شکن بلوکی بتنی سلولی باید به دقت با توجه به شرایط امواج و نحوه اجرا و شرایط آن تعیین شود.

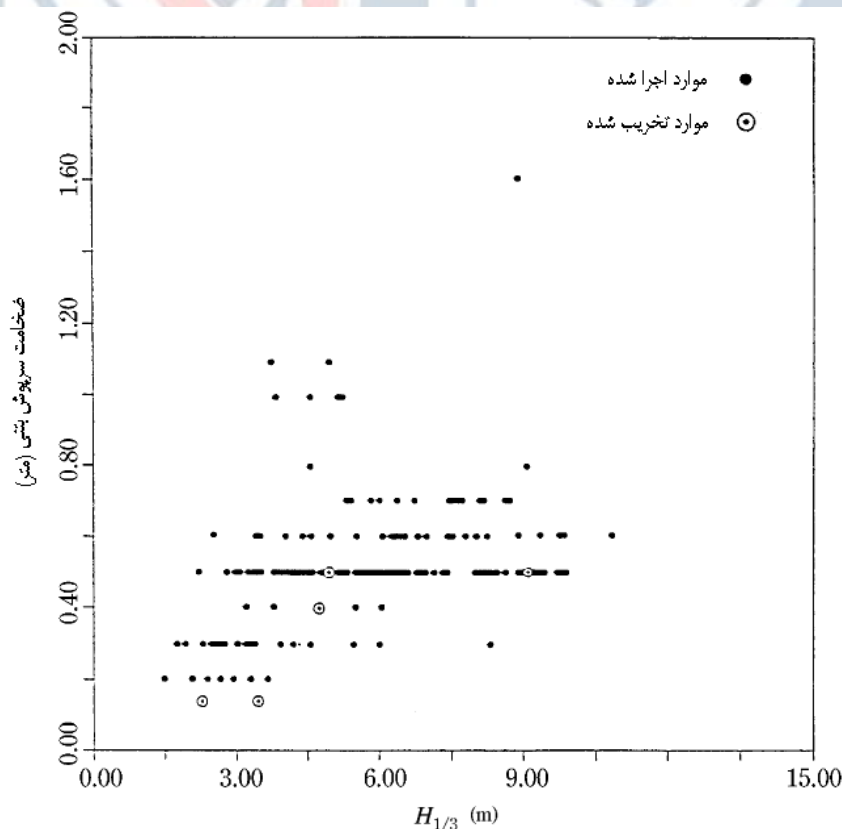
(۲) بتن تاج باید به گونه ای ریخته شود که با جسم اصلی موج شکن به صورت یک جسم صلب عمل نماید. همچنین در صورت استفاده از صندوقه، درزهای طولی باید در فواصل مناسب یا در محل اتصال صندوقه ها تعبیه شود.

(۳) بلوک های موج شکن نوع بلوک بتنی باید تا حد امکان بزرگ باشد و به ویژه پایین ترین لایه باید ترجیحا از یک بلوک بتنی بدون ترکیب چند بلوک ساخته شود.

(۴) برای افزایش پایداری در موج شکن نوع بلوک بتنی سلولی، در بلوک پایین ترین لایه از پاشنه استفاده می شود.

نکات فنی

(۱) ضخامت دیواره بتنی موج شکن معمولا باید بزرگتر یا مساوی ۳۰ سانتی متر و در شرایط سخت دریایی باید بزرگتر یا مساوی ۵۰ سانتی متر باشد. همچنین نمونه هایی از ضخامت ۱ متر یا بزرگتر در شرایط موج شدید و زمانی که بتن ریزی تاج دیواره بتنی برای مدتی طولانی رها می شود، وجود دارد (به شکل ۲-۸-۱ مراجعه شود).



شکل ۲-۸-۱- نمونه‌هایی از ضخامت دیواره بتنی

۲) باید در بتن تاج موج‌شکن یک‌پارچه که به صورت درجا ریخته می‌شود، درزهای طولی با فواصل ۱۰ تا ۲۰ متر تعبیه گردد.

۲-۸-۲- موج‌شکن مرکب

در صورتی که شالوده سنگریز به قدر کافی عمیق نبوده یا امواج کوچک نباشد و قطعات سنگ سنگریز به قدر کافی برای پایداری بزرگ نباشد، بهتر است که برای پیشگیری از آب‌شستگی پنجه سنگریز از بلوک‌های محافظ پنجه استفاده شود. بلوک‌های محافظ پنجه باید در تماس با بخش قائم سنگریز باشند.

تفسیر

۱) شالوده سنگریز موج‌شکن مرکب نقش بسیار مهمی در حصول اطمینان از پایداری بخش قائم دارد و بویژه در صورتی که سنگریزه زیر بخش قائم دچار آب‌شستگی شود، بخش قائم خم‌شده یا به راحتی دچار خرابی لغزشی می‌شود و سپس در بدترین حالت سازه قائم خراب می‌شود. بنابراین ضرورت دارد سنگریز زیر بخش قائم توسط بلوک‌های محافظ پنجه محافظت شود و از صدمات مربوط به آب‌شستگی ناشی از اثر امواج و جریان‌ها پیشگیری به عمل آید.

۲) پیش‌بینی حفره‌های قائم در بلوک‌های محافظ پنجه سبب کاهش فشار بالابرنده وارد بر بلوک‌ها شده و پایداری آنها را به شکل چشمگیری در برابر امواج افزایش می‌دهد.

نکات فنی

۱) توصیه می‌شود برای محافظت بخش قائم در سمت دریا از دو یا چند ردیف از بلوک‌های محافظ پنجه و در سمت حوضچه بندر از یک یا چند ردیف از بلوک‌های محافظ پنجه استفاده شود.

۲) به کارگیری حفره‌های بزرگ در بلوک‌های محافظ پنجه سبب کاهش اثر پیشگیری از آب‌شستگی و فرار مصالح ریزدانه می‌شود و بنابراین نسبت بازشدگی بهینه ۱۰٪ می‌باشد.

۳) مناسب‌ترین روش برای تعیین ضخامت موردنیاز بلوک‌های محافظ پنجه به کارگیری رابطه ۲-۸-۱ می‌باشد:

$$t/H_{1/3} = d_f (h'/h)^{-0.787} \quad (2-8-1)$$

که در آن:

t : ضخامت موردنیاز بلوک‌های محافظ پنجه (m)

d_f : ۱/۸ برای بدنه موج‌شکن، ۰/۲۱ برای پوزه موج‌شکن

h : عمق آب ساخت موج‌شکن (از کف سنگریز تا سطح آب) (m)

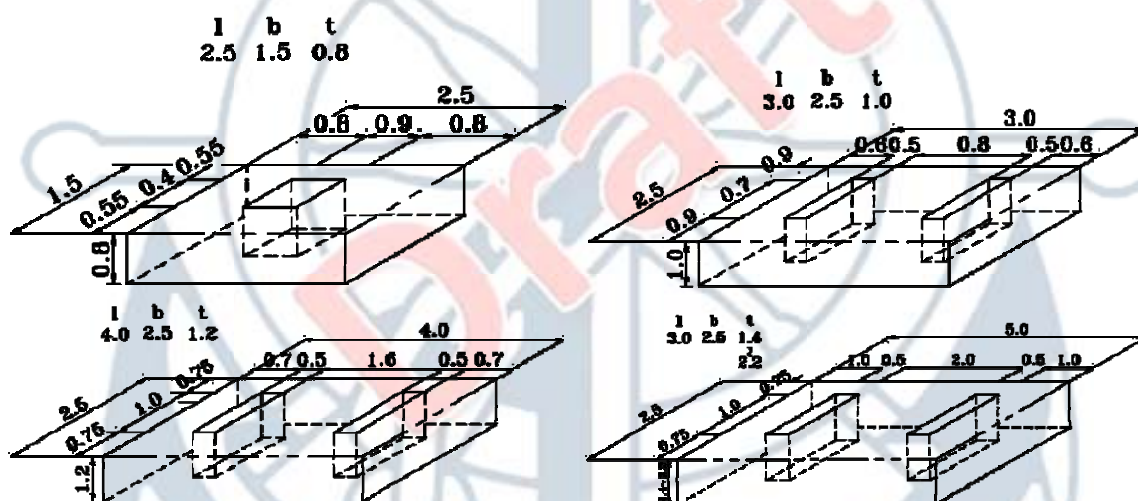
h' : عمق آب روی پی سنگریزه‌ای (شامل بلوک‌های آرمور و بلوک‌های محافظ پنجه نمی‌شود) (m)

محدوده کاربرد باید در بازه $h'/h = 0.4 \sim 1.0$ قرار داشته باشد.

برای محاسبه ابعاد بلوک محافظ پنجه می‌توان ضخامت مورد نیاز را از رابطه ۲-۸-۱ و ابعاد فهرست شده در جدول ۲-۸-۱ به دست آورد. نمونه‌هایی از ابعاد و شکل‌های مختلف بلوک در شکل ۲-۸-۲ نشان داده شده‌اند.

جدول ۲-۸-۱- ضخامت مورد نیاز و ابعاد بلوک‌های محافظ پنجه

جرم (t/unit)		ابعاد $l(m) \times b(m) \times t(m)$	ضخامت مورد نیاز $t(m)$
بلوک بدون بازشدگی	بلوک دارای بازشدگی		
۶/۹۰	۶/۳۳	۲/۵×۱/۵×۰/۸	۰/۸ یا کمتر
۱۷/۲۵	۱۵/۶۴	۳/۰×۲/۵×۱/۰	۱/۰ یا کمتر
۲۷/۶۰	۲۴/۸۴	۴/۰×۲/۵×۱/۲	۱/۲ یا کمتر
۴۰/۲۵	۳۷/۰۳	۵/۰×۲/۵×۱/۴	۱/۴ یا کمتر
۴۶/۰۰	۴۲/۳۲	۵/۰×۲/۵×۱/۶	۱/۶ یا کمتر
۵۱/۷۵	۴۷/۶۱	۵/۰×۲/۵×۱/۸	۱/۸ یا کمتر
۵۷/۵۰	۵۲/۹۰	۵/۰×۲/۵×۲/۰	۲/۰ یا کمتر
۶۳/۲۵	۵۸/۱۹	۵/۰×۲/۵×۲/۲	۲/۲ یا کمتر



شکل ۲-۸-۲- شکل‌ها و ابعاد مختلف بلوک‌های محافظ پنجه

۴) طراحی بلوک محافظ پنجه سمت حوضچه بندر باید با در نظر گرفتن اثر امواج داخل بندر، امواج حین اجرا و امواج روگذری انجام شود. تاکنون تعداد مواردی که با خرابی بلوک محافظ پنجه درون یک بندر همراه شده باشد، بسیار کم بوده و می‌توان وزن بلوک محافظ پنجه سمت درون بندر را سبک‌تر از وزن بلوک سمت دریا انتخاب کرد. در طرح‌های گذشته موارد بسیاری وجود دارد که وزن بلوک سمت حوضچه نصف وزن بلوک پنجه سمت دریا بوده است. با این حال، وزن بلوک مورد استفاده نباید کمتر از وزن مورد نیاز برای امواج داخل بندر یا امواج حین اجرا باشد و به ویژه، وزن مورد نیاز باید با در نظر داشتن این نکته تعیین شود که ممکن است انتهای فراساحلی موج‌شکن در حال اجرا، در طول فصل تعطیلی کار هر سال، به طور موقت، به عنوان پوزه موج‌شکن باقی بماند.

۵) در مواردی که احتمال آب‌شستگی یا مکیده‌شدن خرده‌سنگ‌ها وجود داشته باشد، باید از اقدامات پیشگیرانه مناسب استفاده شود. روش‌های به‌کار رفته برای پیشگیری از آب‌شستگی پنجه قسمت شیب‌دار موج‌شکن عبارت از تدارک یک سکوی افقی توده‌سنگی در انتهای شیب و قراردادی بلوک‌های بتنی، تمهیدات به‌صورت مترس، روکش آسفالتی، و کرباس‌های رزینی مرکب می‌باشد. به منظور پیشگیری از نشست پشته سنگریزه‌ای به‌علت آب‌شستگی باید از تمهیدات به‌صورت مترس و دیگر روش‌ها همچون گستردن

صفحات کرباس استفاده شود.

۲-۸-۳- موج‌شکن شیبدار

(۱) باید در شالوده موج‌شکن شیبدار اقدامات محافظتی در برابر آب‌شستگی در پنجه قسمت شیبدار موج‌شکن و مکیده شدن ماسه زیر موج‌شکن با گستردگی مورد نیاز به کار گرفته شود.

(۲) در حالت کلی، هنگام قرار دادن عرشه روی موج‌شکن شیبدار از نوع سنگریزه‌ای یا بلوک بتنی، کف عرشه باید توسط سنگ یا بلوک بتنی کوچک پر شود.

(۳) در مکان‌هایی که تحت تاثیر رانه ساحلی قرار دارد، باید اقدامات پیشگیرانه‌ای در برابر گذر ماسه از میان موج‌شکن به عمل آید، زیرا ممکن است رسوبات معلق حمل شده توسط امواج سبب کم‌عمقی حوضچه بندر شود.

۲-۸-۴- موج‌شکن صندوقه‌ای پوشیده شده توسط بلوک بتنی مستهلک کننده موج

باید در نزدیکی پنجه بلوک‌های بتنی مستهلک کننده موج تا جایی که نیاز باشد اقدامات پیشگیرانه در برابر آب‌شستگی و مکش ماسه به عمل آید.

۲-۹- طراحی جزئیات بخش قائم موج‌شکن

طراحی اجزای مختلف صندوقه، بلوک بتنی سلولی، و بلوک بتنی L -شکل، باید مطابق بخش ۴- قطعات بتنی پیش ساخته صورت گیرد.

۲-۱۰- موج‌شکن تاسیسات جابجایی الوار

۲-۱۰-۱- موج‌شکن مربوط به حوضچه‌های ذخیره الوار و حوضچه‌های مرتب سازی الوار

(۱) هنگام ساخت موج‌شکن برای تاسیسات جابجایی الوار، تراز تاج باید به قدر کافی بالا باشد تا از جابجایی و بیرون افتادن الوار در ترازهای بالای آب‌دریا پیشگیری شود و در عین حال، به گونه‌ای باشد که با سازه موج‌شکن و کاربری حوضچه سازگاری داشته باشد.

(۲) هنگام ساخت موج‌شکن برای تجهیزات جابجایی الوار، موج‌شکن باید مطابق دستورالعمل‌های این فصل و فصل ۳- انواع دیگر موج‌شکن‌ها طراحی شود و باید در برابر نیروی ضربه‌ای الوار دارای پایداری سازه‌ای لازم باشد.

۲-۱۰-۲- حصار پیشگیری از جابه‌جا شدن الوار

(۱) ارتفاع تاج و فاصله بین شمع‌های حصار پیشگیری از جابه‌جا شدن باید به گونه‌ای طراحی شود که بتواند از جابه‌جا شدن و بیرون افتادن الوار پیشگیری کند، و نیز باید یک دیواره نگهبان با گستردگی لازم ایجاد شود.

(۲) سازه‌های مربوط به حصار پیشگیری از جابه‌جا شدن و شمع‌های مهاربندی باید به گونه‌ای باشد که در برابر نیروی ضربه‌ای و نیروی کششی الوار از پایداری کافی برخوردار باشد.

۲-۱۱- موج‌شکن محافظ در برابر برکشند طوفان

(۱) هنگام ساخت موج‌شکنی که دارای کارکرد اصلی حفاظت در برابر برکشند طوفان می‌باشد، راستا و تراز تاج موج‌شکن را باید به طور مناسب و با در نظر داشتن کارایی موج‌شکن در کاهش برکشند طوفان و دیگر موارد مشابه تعیین کرد.

(۲) هنگام ساخت موج‌شکن محافظ در برابر برکشند طوفان، باید پایداری سازه‌ای آن در برابر مشخصه‌های فیزیکی گوناگون برکشند

طوفان و همچنین نیروهای خارجی معمول همچون نیروی امواج حفظ شود.

نکات فنی

(۱) ارتفاع تاج موج‌شکن محافظ در برابر برکشند (خیزاب) طوفان باید در تراز لازم برای محافظت در برابر مجموع تراز آب کشند طوفان و ارتفاع موج طراحی، تعیین شود.

(۲) پایداری کل مقطع موج‌شکن باید با فرض رخ دادن همزمان تراز کشند طوفان طراحی و حداکثر امواج طراحی، مورد بررسی قرار گیرد. همچنین افزایش تراز آب سمت حوضچه در اثر ورود آب در اثر برکشند (خیزاب) طوفان باید مد نظر قرار گیرد. هنگام زلزله، نیروی اینرسی و فشار دینامیکی آب وارد بر موج‌شکن باید به عنوان نیروهای خارجی در نظر گرفته شود.

(۳) شایان ذکر است هنگامی که شالوده یک موج‌شکن محافظ در برابر برکشند طوفان دارای تراوایی زیادی باشد، آب از میان شالوده جریان یافته و عملکرد کاهش برکشند طوفان تقلیل می‌یابد که در اینگونه موارد باید یک غشای نائراوا با گستردگی لازم، در شالوده ایجاد شود.

(۴) در برخی موارد، به علت تفاوت تراز کشندی بین بیرون و درون موج‌شکن، آب از میان شالوده سنگریز موج‌شکن جریان یافته و سبب آب‌شستگی زمین شالوده می‌شود. در چنین مواردی، ضرورت دارد اقدامات پیشگیرانه‌ای نظیر گستردن لایه‌هایی از سنگ‌فرش یا مترس، در نظر گرفته شود. در ارتباط با نفوذ آب در سنگریزه‌ها به **بخش ۲، بند ۶-۶- تراز آب زیرزمینی و تراوش، نکات فنی بند ۲-۵** مراجعه شود.

۲-۱۲- موج‌شکن محافظ در برابر سونامی

(۱) هنگام ساخت موج‌شکنی که کارکرد اصلی آن محافظت در برابر سونامی می‌باشد، باید راستا و تراز تاج موج‌شکن را به‌طور مناسب و با توجه به کارایی موج‌شکن در کاهش ارتفاع سونامی و موارد مشابه دیگر، تعیین نمود.

(۲) هنگام ساخت موج‌شکن محافظ در برابر سونامی، باید پایداری در برابر حمله سونامی با در نظر داشتن مشخصه‌های فیزیکی گوناگون سونامی و همچنین پایداری سازه‌ای موج‌شکن در برابر نیروهای خارجی معمول همچون نیروی موج حفظ شود.

تفسیر

(۱) تمام مواردی که برای موج‌شکن محافظ در برابر برکشند طوفان از جمله کارایی کاهش ارتفاع سونامی و سرعت جریان در دهانه بندر مطرح شده است باید در مورد موج‌شکن محافظ در برابر سونامی نیز مورد بررسی قرار گیرد. تراز تاج موج‌شکن محافظ در برابر سونامی باید بالاتر از ارتفاع دیواره تاج موردنیاز برای مقابله با روگذری مجاز ناشی از موج طرح یا روگذری سونامی مجاز در *HWL*، در نظر گرفته شود. در مورد سونامی به **بخش ۲، بند ۶-۴- سونامی** مراجعه شود.

(۲) فشار هیدرواستاتیکی ناشی از تفاوت تراز آب بین بیرون و درون موج‌شکن و همچنین نیروی موج سونامی، به عنوان نیروی خارجی وارد بر موج‌شکن عمل می‌کند. به علاوه باید به این واقعیت نیز توجه نمود که تراز آب پشت موج‌شکن به دلیل تفاوت جریان ورودی و جریان خروجی سونامی، همواره با تراز آب ساکن یکسان نمی‌باشد. از آنجا که عدم قطعیت‌های بسیاری در برآورد نیروی موج ناشی از سونامی وجود دارد، مقدار نیروی موج را باید از روش‌های مناسبی همچون آزمایش مدل هیدرولیکی به دست آورد.

(۳) مطالعه آزمایشگاهی انجام شده توسط *Tanimoto* و همکاران بیانگر آن است که وقتی یک سونامی در یک دهانه بندری باریک وارد می‌شود، سرعت جریان افزایش یافته و گردابه‌های قوی تولید می‌شود که تاثیر چشمگیری بر ناپایداری مصالح سنگچین بخش

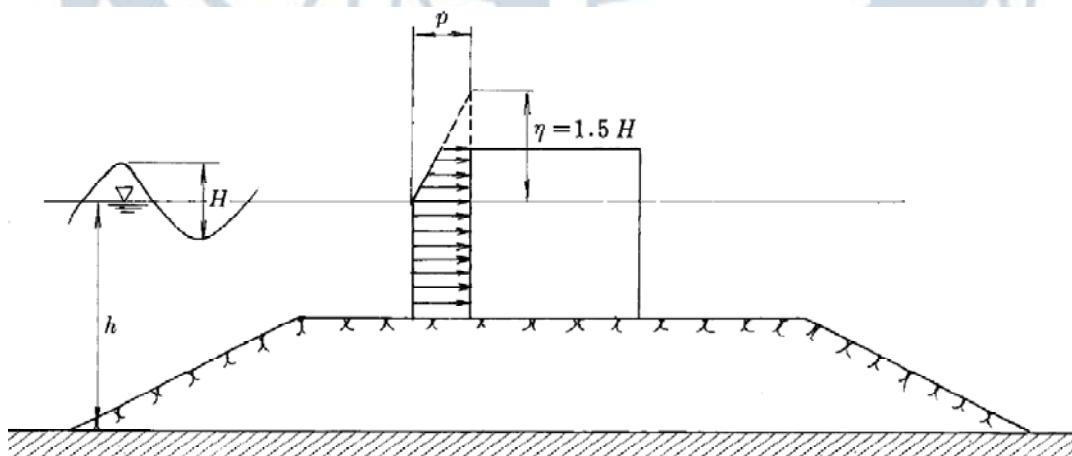
مستغرق موج‌شکن می‌گذارند. سونامی همچنین سبب اعمال نیروهای کششی قوی بر روی بستر می‌شود که به باور برخی از پژوهشگران حتی از نیروهای متناظری که توسط برکشند طوفان ایجاد می‌شود نیز بزرگتر می‌باشد. بنابراین، باید به تقویت پایداری مقطعی از موج‌شکن که در دهانه بندر قرار گرفته و نیز اقدامات پیشگیرانه در برابر آب‌شستگی در زمین شالوده، توجه ویژه شود.

۴) از آنجا که موج‌شکن محافظ در برابر سونامی اغلب در مکان‌های دارای آب عمیق ساخته می‌شود، قسمت قائم موج‌شکن به اجبار مرتفع شده و پایداری آن در برابر زمین‌لرزه کاهش می‌یابد. بنابراین، مقاومت در برابر زلزله باید با محاسبه پاسخ لرزه‌ای با توجه به رفتار غیر خطی مصالح سنگریز، مورد بررسی قرار گیرد. علاوه بر این، از آنجا که به طور کلی نیروهای لرزه‌ای بزرگتر به بخش مرتفع‌تر سازه وارد می‌شود، روند طراحی شامل تغییر دادن ضریب لرزه‌ای متناسب با ارتفاع از کف سازه می‌باشد. همچنین، بهتر است پایداری سطح شیبدار سنگریز حین یک زمین‌لرزه مورد بررسی قرار گیرد.

۵) از آنجا که ضخامت سنگریز با افزایش عمیق آب، افزایش می‌یابد، ضرورت دارد که به پایداری سنگریز در برابر نیروی امواج و انتقال موج روی سطح شیبدار توده سنگی توجه شود. همچنین برای آنکه نشست‌های بزرگ ناشی از وزن خود سنگریز جبران شود، ضرورت دارد تا قدری کرانه مازاد برای آن در نظر گرفته شود.

نکات فنی

تغییر در نیروی موج در اثر سونامی در ناحیه انتقالی برای محدوده امواج با پریود کوچک تا امواج با پریود بزرگ برای سه نوع ارتفاع مختلف سنگریز توسط مدل‌های آزمایشگاهی اندازه‌گیری شده است. نتایج نشان داده است که اگر پریود موج به شکل چشمگیری بزرگ شود، می‌توان تاثیر ارتفاع سنگریز را نادیده گرفت و نیروی موج به مقدار محاسبه شده توسط رابطه فشار موج *Goda* و با قراردادی $\alpha_2 = 0$ میل می‌کند (به بخش ۲، بند ۲-۲-۵-۲- نیروهای امواج ایستا و امواج در حال شکست مراجعه شود). با استفاده از این اطلاعات، نیروی موج مربوط به امواج با پریود بزرگ در نمونه موردی موج‌شکن ورودی لنگرگاه *Kamaishi* مطابق بخش ۲، بند ۲-۶-۴- سونامی تعیین شد. در شکل ۲-۱۲-۱ فشار p توسط رابطه $1.1\rho_0gH$ محاسبه شده است که در آن ρ_0 چگالی آب، g شتاب گرانش، و H ارتفاع موج سونامی می‌باشد.



شکل ۲-۱۲-۱- نیروی موج امواج با پریود بزرگ

فصل ۳- انواع دیگر موج شکن ها

۳-۱- انتخاب نوع سازه‌ای

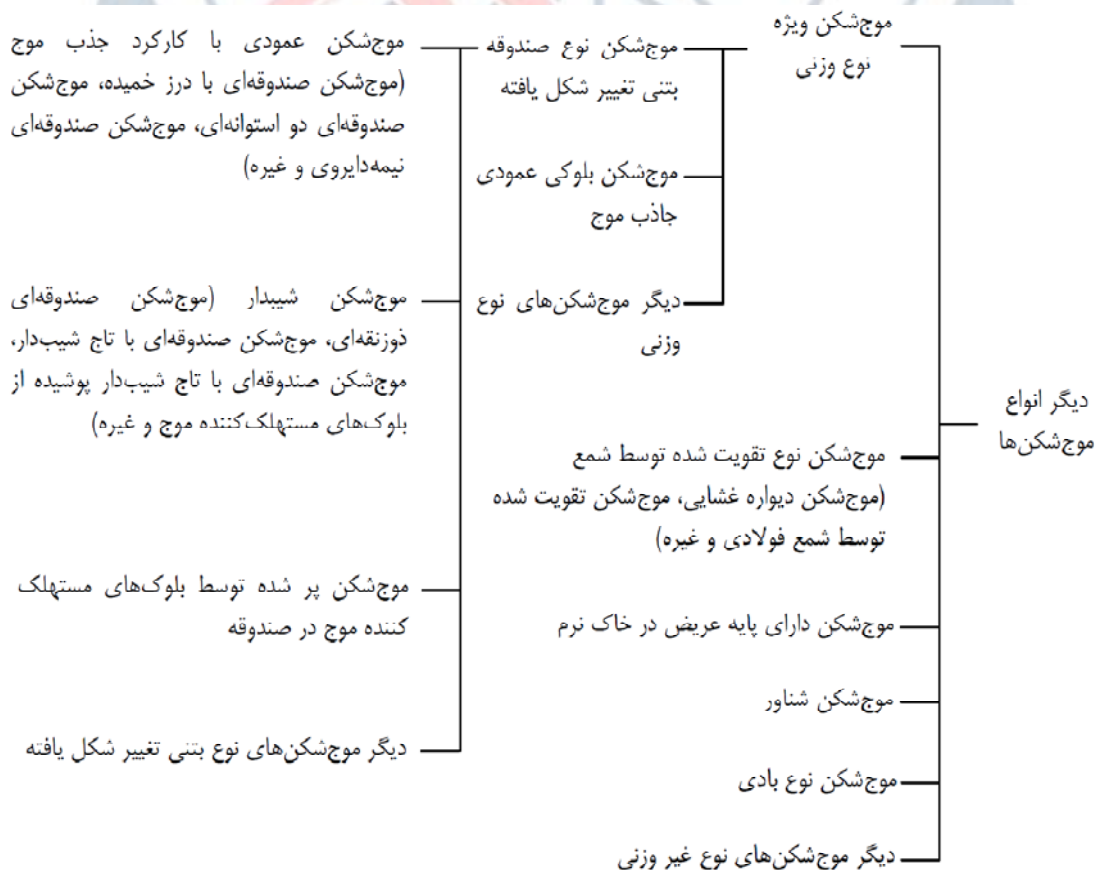
هنگام کاربرد موج شکن متفاوت از انواع اشاره شده در **فصل ۲- موج شکن ها**، مناسبترین نوع سازه‌ای آن را می‌توان بر اساس شرایط طراحی (شرایط موج، قابلیت جابجایی آب، نیاز به کاهش بازتاب موج، میزان آرامش مورد نیاز درون بندر، شرایط زمین و غیره) انتخاب کرده و بر اساس مناسب‌ترین روش طراحی یا نتایج آزمایش مدل هیدرولیکی طراحی نمود.

تفسیر

علاوه بر سرفصل‌های ارائه شده در **فصل ۲- موج شکن ها**، انواع متعدد دیگری از موج شکن‌ها از دیدگاه کارکرد، شکل و مصالح وجود دارند که بسیاری از این انواع پاسخگوی نیازهای کارکردی همچون کاهش بازتاب موج یا قابلیت جابجایی آب، شرایط طراحی ویژه محل پروژه (سایت) همچون زمین، عمق آب و امواج، و کاربردهای ویژه نظیر استفاده موقت می‌باشد. در این راستا، نوع مناسب موج شکن که بتواند کارکردهای مورد انتظار را برآورده کند، باید با بررسی دقیق و گسترده مشخصه‌های مختص آن نوع موج شکن انتخاب شود.

نکات فنی

(۱) این فصل به بررسی موج شکن های ویژه‌ای می پردازد که دارای سازه هایی متفاوت از موج شکن های بحث شده در **فصل ۲- موج شکن ها** می‌باشد. می‌توان آنها را به صورت زیر طبقه‌بندی کرد:



الف) موج‌شکن ویژه نوع وزنی، سازه‌ای است که به واسطه وزن خود در برابر نیروی موج مقاومت می‌کند و می‌توان توانایی آن در مستهلک‌سازی موج یا پایداری آن در برابر اثر موج را از طریق بهبود قسمت‌های قائم موج‌شکن مرکب رایج افزایش داد. این نوع موج‌شکن به دو نوع تراوا که امکان جابجایی آب را فراهم می‌کند و ناتراوا دسته‌بندی می‌شود که نوع دوم متداول‌تر است. موج‌شکنی متفاوت از نوع وزنی که معمولاً تراوا است، دارای سازه‌هایی می‌باشد که توسط نیروهایی به غیر از وزن خود در برابر اثر موج مقاومت می‌کند، از جمله نیروی مقاومتی شمع، چسبندگی سطحی زمین رسی، یا کشش طناب مهاربندی.

ب) موج‌شکن‌های ویژه نوع وزنی را می‌توان به طور کلی به دو دسته موج‌شکن صندوقه‌ای بتنی تغییر شکل یافته که در آن از صندوقه‌هایی با اشکال ویژه استفاده می‌شود، و موج‌شکن بلوکی قائم جاذب موج متشکل از بلوک بتنی دارای محافظه‌های قائم با اشکال ویژه تقسیم‌بندی کرد. موج‌شکن صندوقه‌ای بتنی تغییر شکل یافته نیز خود به انواع موج‌شکن صندوقه‌ای جاذب موج، موج‌شکن صندوقه‌ای شیبدار و موج‌شکن پر شده توسط بلوک مستهلک کننده موج در صندوقه طبقه‌بندی می‌شود. انواع مختلفی از سازه‌ها در بلوک قائم جاذب موج وجود دارد و معمولاً در مکان‌های دارای امواج کوچک مانند بنادر به کار می‌رود.

ج) اگرچه موج‌شکن صندوقه‌ای جاذب موج عموماً در مکان‌های با امواج نسبتاً کوچک به کار می‌رود، موج‌شکن صندوقه‌ای دو استوانه‌ای با دیواره مشبک را می‌توان در آب عمیق و نواحی دریایی با امواج شدید به کار گرفت.

د) موج‌شکن نوع غیر وزنی در شرایط ویژه‌ای همچون زمین سست دارای مزیت‌هایی می‌باشد، اما در عین حال کاربرد آنها از دیدگاه عملکرد و پایداری در برابر موج دارای محدودیت‌هایی بوده و از این رو بیشتر در مکان‌های با ارتفاع موج نسبتاً کوچک مانند درون خلیج‌های کوچک یا درون بنادر به کار می‌رود.

ه) موج‌شکن نوع تقویت‌شده توسط شمع، دارای سازه‌هایی می‌باشند که توسط مقاومت شمع در برابر نیروی امواج مقاومت می‌کند، و شامل انواع دیواره غشایی یا تقویت‌شده توسط شمع‌های فولادی می‌باشد.

و) موج‌شکن با پایه عریض روی زمین سست دارای سازه‌هایی می‌باشد که در اثر چسبندگی بین کف سازه و سطح زمین رسی در برابر نیروی افقی موج مقاومت می‌کند و در صورت نیاز، میزان مقاومت سازه توسط شمع‌کوبی افزایش داده می‌شود. این سازه‌ها به گونه‌ای توسعه داده شده‌اند که موج‌شکن بر روی زمین رسی سست اجرا شود و در این شرایط به علت عدم نیاز به عملیات مربوط به بهبود پایداری خاک، بسیار اقتصادی می‌باشند.

ز) موج‌شکن شناور سازه‌ای است که توسط کابل‌های مهاربندی در یک موقعیت ثابت نگه داشته می‌شود تا به عنوان یک موج‌شکن عمل کند. اگرچه، شکل‌های گوناگونی برای جسم شناور امکان‌پذیر است، ولی بیشتر از نوع پانتونی استفاده می‌شود. این سازه باید به گونه مناسبی مهاربندی شود تا از حرکت آزادانه آن هنگام شرایط آب و هوایی طوفانی و ایجاد صدمات و حوادث ثانوی پیشگیری شود.

ح) موج‌شکن بادی از طریق تخلیه حباب هوا از خطوط لوله هوای زیر آب، امواج را مستهلک می‌کند. اگرچه این نوع موج‌شکن دارای مزیت‌هایی همچون مسدود نکردن مسیر تردد شناورها می‌باشد، فقط در مورد امواج با پیوند کم کارایی دارد.

۲) از آنجا که بسیاری از موج‌شکن‌های گفته شده در بالا، دارای محدودیت‌های ویژه‌ای از دیدگاه شرایط کاربرد موج‌شکن دارند، بررسی‌های دقیق و انتخاب نوع مناسب متناظر با شرایط محل ساخت پروژه، ضرورت دارد.

۳) از آنجا که بسیاری از موج‌شکن‌های شرح داده شده در بالا، دارای شکلی متفاوت نسبت به انواع رایج می‌باشند، مشخصه‌های هیدرولیکی آنها همچون نیروی موج، انتقال موج، بازتاب موج و قابلیت جابجایی آب، همچنان به درستی مطالعه نشده است. بنابراین،

طراحی باید براساس آزمایش مدل هیدرولیکی صورت گیرد.

۳-۲- موج شکن ویژه وزنی

۳-۲-۱- کلیات

طراحی موج شکن ویژه وزنی باید با مراجعه به **فصل ۲- موج شکن ها** صورت گرفته و ابعاد سازه‌ای آن باید با در نظر گرفتن شکل و عملکرد مورد انتظار، به گونه مناسب تعیین شود.

نکات فنی

(۱) تعیین شرایط مرزی

تعیین شرایط مرزی باید بر اساس بند ۲-۳- **شرایط طراحی موج شکن** صورت گیرد. با این حال، در مورد موج شکن جاذب موج، ممکن است امواج هدفی که باید مستهلک شوند، مستقل از موج طرحی که برای آزمون‌های پایداری و محاسبات اعضای سازه‌ای به کار می‌رود، بر اساس شرایط موج و برای مقاصد مورد نظر، تعیین شود.

(۲) تعیین ابعاد سازه‌ای مرتبط با کارکردها

برای موج شکن قائم جاذب موج، باید ابعاد سازه‌ای مرتبط با کارکرد جذب موج بررسی و به صورت مناسب تعیین شود. به علاوه، برای موج شکنی که از در آن صندوقه بتنی تغییر شکل یافته استفاده می‌شود، ابعاد مورد نیاز تحت تاثیر مشخصه‌های متناظر مربوط به شکل موج شکن بوده و باید به گونه مناسب تعیین شود. از آنجاکه ضریب انتقال موج به طور خاص به شکل موج شکن بستگی دارد، ارتفاع تاج و نیز ابعاد بازشدگی‌های دیواره‌های صندوقه برای جابجایی آب باید با در نظر گرفتن مشخصه‌های انتقال موج سازه مورد نظر، تعیین شود.

(۳) طراحی کلی مقطع عرضی

طراحی کلی مقطع عرضی به استثنای ابعاد سازه‌ای مرتبط با کارکرد موج شکن، باید طبق بند ۲-۵- **تعیین مقطع عرضی** صورت گیرد.

(۴) محاسبه نیروهای خارجی

محاسبه نیروهای خارجی باید طبق بند ۲-۶- **نیروهای خارجی برای محاسبات پایداری** صورت گیرد. از آنجا که نیروی موج تا حد زیادی به شکل سازه‌ای وابسته می‌باشد، باید روش محاسباتی مناسبی برای سازه مورد نظر به کار رود و یا از آزمایش مدل هیدرولیکی متناظر با شرایط سازه استفاده شود. در مورد موج شکن با ساختار پیچیده، علاوه بر نیروی کل موج که برای محاسبات پایداری کل مقطع به کار می‌رود، ضرورت دارد یک بررسی کلی مطابق با فشار موج موضعی وارد بر اعضای سازه‌ای انجام شود.

(۵) بررسی پایداری

بررسی پایداری باید طبق بند ۲-۷- **ارزیابی پایداری** صورت گیرد.

(۶) محاسبه اعضای سازه‌ای

محاسبه اعضای سازه‌ای باید طبق **بخش ۴، فصل ۴- صندوقه‌های قائم جاذب موج** صورت گیرد.

۳-۲-۲- موج شکن بلوکی قائم جاذب موج

[۱] کلیات

موج شکن بلوکی قائم جاذب موج را می‌توان با بررسی کلی کارکرد جذب موج، انتخاب بلوک بتنی مناسب، و در صورت نیاز انجام

آزمایش مدل هیدرولیکی طراحی کرد.

تفسیر

(۱) موج‌شکن بلوکی قائم جاذب موج، موج‌شکنی مرکب یا قائم از نوع بلوکی می‌باشد که توسط محفظه‌های بلوکی قائم ویژه (بلوک‌های قائم جاذب موج) ساخته می‌شود. تاکنون شکل‌های گوناگونی از بلوک بتنی به عنوان بلوک قائم جاذب موج ساخته شده است اما کارکردهای جذب موج هر نوع باید به طور دقیق بررسی شده و نوع مناسب بلوک انتخاب شود.

(۲) ضریب بازتاب موج بلوک قائم جاذب موج تا حد زیادی به پرپود موج بستگی دارد. هنگام تعیین ضریب بازتاب، بهترین کار در نظر گرفتن تاثیر پرپود موج بر اساس آزمایش مدل هیدرولیکی متناظر با شرایط طراحی می‌باشد. همچنین تخمین آن با مراجعه به داده‌های آزمایش‌های پیشین، مورد قبول می‌باشد.

(۳) به استثنای بلوک با مقیاس بزرگ که به عنوان یک سازه بلوکی منفرد به کار می‌رود، موج‌شکن بلوکی قائم جاذب موج عموماً درون خلیج‌های کوچک یا درون بنادر با ارتفاع امواج نسبتاً کم به کار می‌روند.

[۲] تراز تاج

تراز تاج موج‌شکن بلوکی قائم جاذب موج را می‌توان با مراجعه به بند ۲-۵-۱ - موج‌شکن قائم و با در نظر داشتن تراز تاج مربوط به دیواره تاج که برای برآورده ساختن کارکرد جلوگیری از روگذری موج به کار رود و نیز ارتفاع متناظر با قسمت جاذب موج تعیین کرد. کارایی جذب موج را می‌توان هنگام تصمیم‌گیری در مورد تراز تاج قسمت جاذب موج، در نظر گرفت.

تفسیر

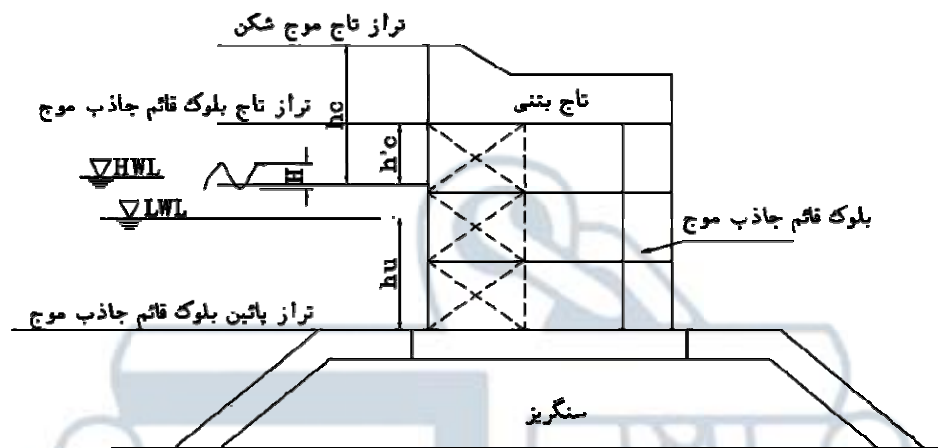
میزان روگذری و امواج انتقال یافته در یک موج‌شکن جاذب موج بلوکی در مقایسه با موج‌شکن مرکب، کوچک بوده، اما بزرگتر از مقادیر متناظر در یک موج‌شکن صندوقه‌ای که به‌طور کامل توسط بلوک‌های مستهلک‌کننده موج پوشانده شده است، می‌باشد. بنابراین، تراز تاج باید پس از توجه کافی به شرایط کاربرد در نواحی پشت موج‌شکن، تعیین شود. علاوه بر این، هنگام تعیین تراز تاج، حداقل ضخامت اجرایی دیواره بتنی تاج باید در نظر گرفته شود.

نکات فنی

(۱) کارایی جذب موج یک موج‌شکن بلوکی قائم جاذب موج به ترازهای مربوط به تاج و کف بلوک‌های قائم جاذب موج بستگی دارد.
(۲) ارتفاع تاج h'_c باید دست کم $0/5$ برابر بزرگتر از ارتفاع موج مشخصه هدف، بالاتر از تراز میانگین مد ماهیانه در نظر گرفته شود.
تراز کف h_u ترجیحاً باید به اندازه دو برابر ارتفاع موج مشخصه هدف یا بیشتر، پایین‌تر از تراز میانگین جزر ماهیانه (شکل ۳-۲-۱) باشد. توجه شود که ارتفاع موج مشخصه هدف ممکن است با ارتفاع موج مشخصه طراحی یکی نباشد.

[۳] نیروی موج

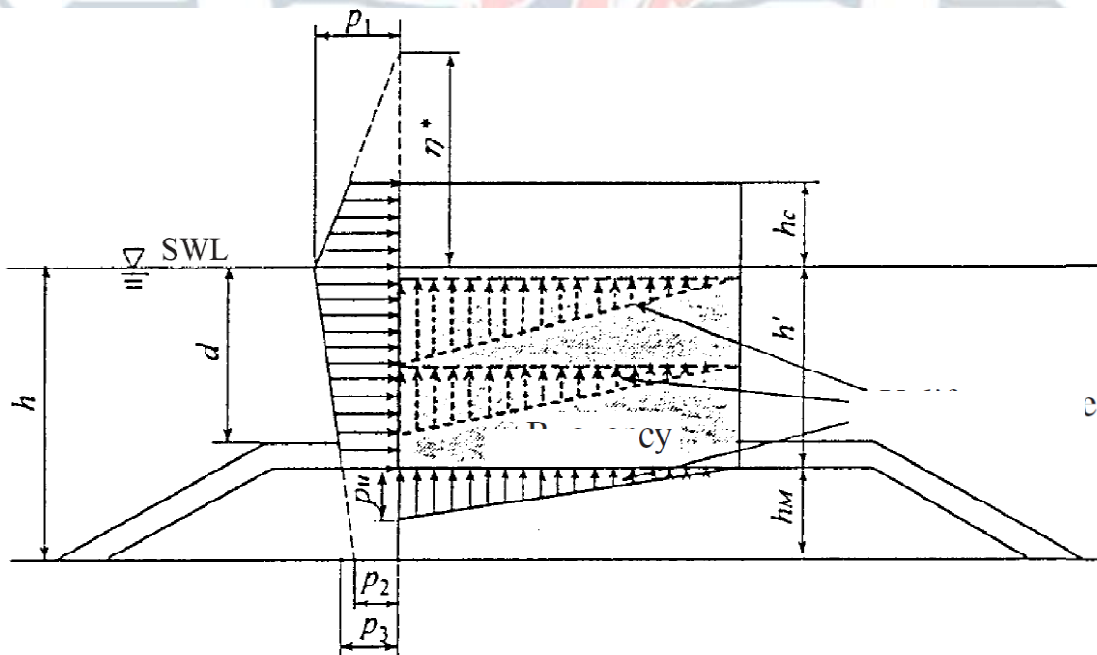
نیروی موج وارد بر یک موج‌شکن بلوکی قائم جاذب موج را می‌توان طبق بخش ۲، بند ۵-۲-۸ - نیروی موج وارد بر صندوقه قائم جاذب موج محاسبه کرد.



شکل ۳-۲-۱- ارتفاع دیواره تاج یک موج شکن قائم جاذب موج

نکات فنی

(۱) نیروی موج وارد بر یک موج شکن بلوکی قائم جاذب موج باید مطابق شکل ۳-۲-۲ باشد و حالت غوطه‌وری برای حجم جابجا شده زیر تراز آب ساکن در نظر گرفته شود. هنگام احتساب پایداری قسمت بالای هر لایه از بلوک‌ها یا دیواره بتنی تاج، فشار بالابرنده وارد بر هر لایه یا دیواره تاج، به صورت توزیع مثلثی فرض می‌شود، به گونه‌ای که مقدار آن در پنجه عقبی برابر با صفر و در جایی که فشار بالابرنده محاسبه می‌شود، برابر با فشار موج در جلوی دیواره می‌باشد.



شکل ۳-۲-۲- توزیع فشار موج به کار رفته برای بررسی پایداری

(۲) کارایی کاهش نیروی موج برای امواج پیشروی کننده مایل نباید بدون انجام مدل آزمایشگاهی در نظر گرفته شود.

۳-۲-۳- موج شکن صندوقه‌ای جاذب موج

[۱] کلیات

نوع مناسب سازه برای یک موج شکن صندوقه‌ای جاذب موج بر اساس بررسی دقیق کارکرد جذب موج انتخاب شده و سپس در

صورت ضرورت، طراحی سازه با انجام آزمایش مدل هیدرولیکی صورت می‌گیرد.

تفسیر

یک موج‌شکن صندوقه‌ای جاذب موج برتری‌های زیر را در مقایسه با موج‌شکن قائم رایج دارد.

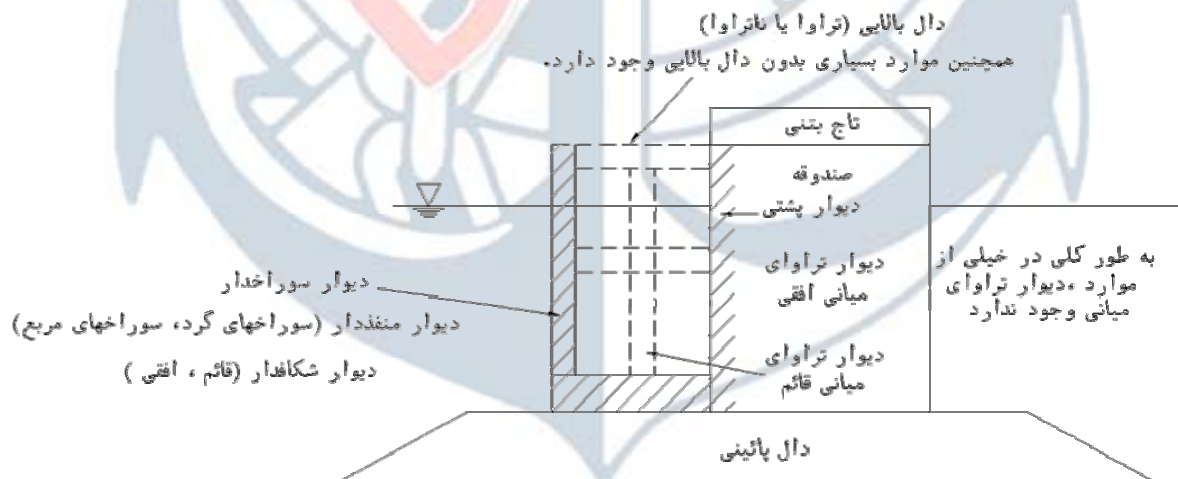
(۱) بازتاب موج را کاهش می‌دهد.

(۲) روگذری و انتقال موج را کاهش می‌دهد.

(۳) نیروهای موج را کاهش می‌دهد. به ویژه، وقتی پشته سنگریزه ای نسبتاً مرتفع باشد، نیروی موجی که به یک موج‌شکن صندوقه‌ای جاذب موج وارد می‌شود چندان افزایش نمی‌یابد، حال آنکه در مورد یک موج‌شکن صندوقه‌ای رایج با همان ارتفاع سازه سنگریزه، نیروی موج شکنای ضربه‌ای بزرگی تولید می‌شود. از بین دیگر برتری‌ها می‌توان به مواردی همچون اثرات هوازایی توسط تولید حباب‌های هوایی و کارکرد مضاعف اتاقک‌های موج به عنوان زیستگاه آبزیان کوچک اشاره کرد.

نکات فنی

«صندوقه جاذب موج» صندوقه‌ای است که در قسمت جلویی دارای یک دیواره تراوا و یک اتاقک موج بوده و می‌تواند موج را توسط این سازه‌ها مستهلک کند. در شکل ۳-۲-۳ طرح کلی مولفه‌های سازه‌ای یک صندوقه جاذب موج نشان داده شده است. بسته به شکل و ترکیب اجزای مختلف، سازه‌های گوناگونی همچون صندوقه با درزهای قائم، صندوقه با درزهای افقی، صندوقه با درزهای خمیده یا صندوقه متخلخل امکان‌پذیر می‌باشد. هنگام انتخاب یک صندوقه جاذب موج از میان انواع سازه‌های گوناگون، ضرورت دارد نوع سازه‌ای مناسب پس از در نظر گرفتن شرایط طراحی، شرایط کاربرد، و هزینه‌ها، پس از بررسی کلی مشخصه‌های آن همچون کارکرد جذب موج و پایداری در برابر امواج، انتخاب شود.



شکل ۳-۲-۳- مولفه‌های سازه‌ای صندوقه جاذب موج

[۲] تعیین امواج هدفی که باید جذب شوند

امواج هدف را می‌توان با در نظر گرفتن جذب موج مورد نظر و شرایط موج محلی به طور جداگانه از امواج طراحی که برای بررسی پایداری سازه‌ای و محاسبات اعضای سازه‌ای به کار می‌رود، تعیین کرد.

[۳] تعیین ابعاد قسمت جذب موج

سازه و ابعاد قسمت جذب موج شامل دیواره مشبک و اتاقک موج را می‌توان با بررسی مشخصات جذب موج سازه مورد نظر و تغییرات جزر و مدی به گونه‌ای به دست آورد که ضریب بازتاب موج برای امواج هدف جذب شونده، کمتر از مقدار هدف شود.

نکات فنی

در مورد مشخصه‌های بازتابی صندوقه دارای درزهای قائم بدون دال بالایی به مراجع مربوط مراجعه شود.

[۴] نیروی موج برای بررسی پایداری سازه‌ای

نیروی موج به کار رفته برای بررسی پایداری را می‌توان طبق بخش ۲، بند ۵-۲-۸- نیروی موج وارد بر صندوقه قائم جذب موج به دست آورد.

[۵] نیروی موج برای طراحی اعضای سازه‌ای

برای محاسبات طراحی اعضای سازه‌ای باید شدیدترین نیروی موج وارد بر هر عضو به کار رود.

تفسیر

در مورد نیروی موج وارد بر اعضای صندوقه جذب موج به بخش ۲، بند ۵-۲-۸- نیروی موج وارد بر صندوقه قائم جذب موج و بخش ۴، بند ۴-۲- نیروی خارجی وارد بر اعضا مراجعه شود.

۳-۲-۴- موج شکن صندوقه‌ای با تاج شیبدار

[۱] کلیات

سازه مناسب برای موج شکن صندوقه‌ای با تاج شیبدار را می‌توان پس از بررسی کلی مشخصه‌های انتقال موج آن انتخاب و ترجیحا با انجام آزمایش مدل هیدرولیکی طراحی کرد.

تفسیر

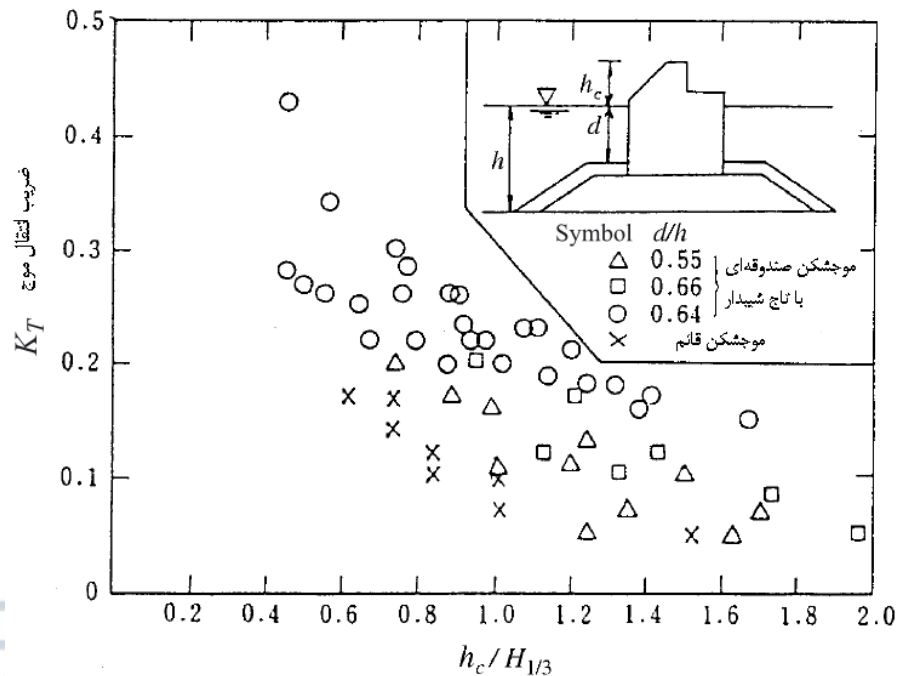
موج شکن صندوقه‌ای با تاج شیبدار، موج شکنی است که نیروی افقی موج را کوچکتر کرده و همچنین از نیروی قائم موج وارد بر قسمت تاج شیبدار برای افزایش پایداری صندوقه استفاده می‌کند. از آنجا که در این حالت انتقال موج بزرگتر از مقدار نظیر آن برای یک موج شکن قائم معمولی می‌باشد، تراز تاج را باید با دقت بیشتر و پس از در نظر گرفتن آرامش موردنیاز در حوضچه بندر تعیین کرد.

نکات فنی

(۱) با بیشتر شدن شیب سطح شیبدار یک موج شکن صندوقه‌ای با تاج شیبدار، انتقال موج مستهلک می‌شود اما فشار موج افزایش یافته و بنابراین، مزیت کاهش فشار موج کمتر می‌شود. بر اساس آزمایش‌های انجام شده برای شیب‌های مختلف سطح شیبدار که نشان داده است ضریب انتقال موج نسبت به تغییر شیب سطح شیبدار تغییرات چشمگیری ندارد، توصیه می‌شود به منظور سهولت اجرایی و کارایی کاهش ضریب فشار موج، شیب سطح شیبدار به اندازه ۴۵ درجه در نظر گرفته شود. دیگر جزئیات سازه‌ای باید طبق بند ۲-۸- جزئیات سازه‌ها به دست آید.

(۲) همانگونه که در شکل ۳-۲-۴ نشان داده شده است، ارتفاع موج انتقال یافته از روی موج شکن صندوقه‌ای با تاج شیبدار تقریبا معادل دو برابر ارتفاع موج انتقال یافته از روی موج شکن قائم با همان تراز تاج می‌باشد. وقتی تراز تاج برابر با ارتفاع موج مشخصه

طراحی $H_{1/3}$ بالای تراز آب طراحی در نظر گرفته شود، این امکان وجود دارد که ارتفاع موج انتقال داده شده را تا تراز ی برابر با همان که در حالت یک موج‌شکن قائم دارای تراز تاجی به اندازه $0/6$ برابر ارتفاع موج مشخصه طراحی وجود دارد، کاهش داد.



شکل ۳-۲-۴- ضریب انتقال موج و ارتفاع دیواره تاج

۳) در حالت عادی، سطح شیبدار یک موج‌شکن صندوقه‌ای با تاج شیبدار به گونه‌ای در نظر گرفته می‌شود که در تراز آب ساکن شروع شود. با این حال، با در نظر گرفتن یک شکل نیمه مستغرق که در آن پنجه انتهایی سطح شیبدار پایین‌تر از تراز آب ساکن قرار دارد، استهلاک بیشتر نیروی موج امکان‌پذیر می‌شود.

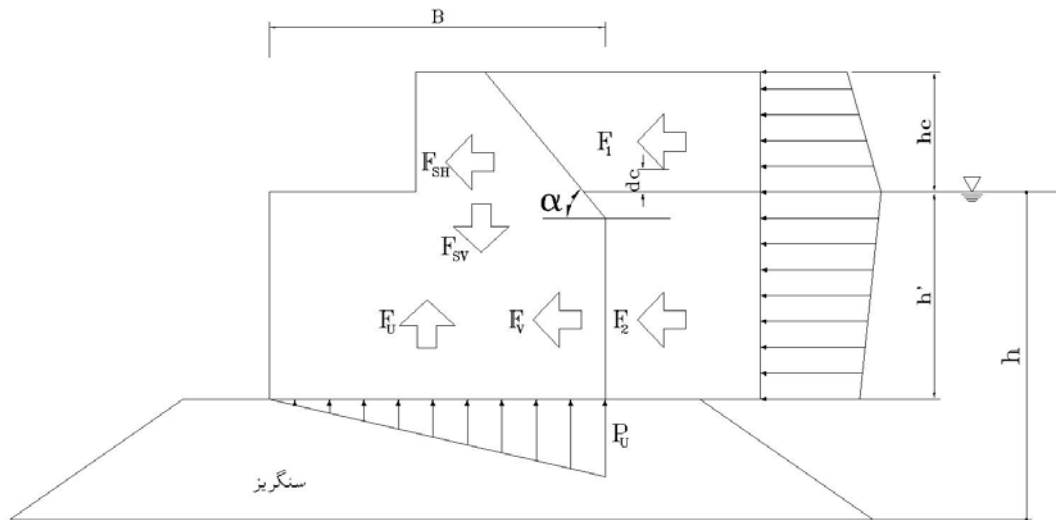
۴) با قراردادن یک سازه سنگچین متشکل از بلوک‌های مستهلک‌کننده موج در مقابل بخش قائم یک موج‌شکن صندوقه‌ای با تاج شیبدار، نه تنها امواج بازتاب شده کاهش بیشتری خواهد یافت بلکه کل سازه پایدارتر از یک موج‌شکن صندوقه‌ای با تاج شیبدار معمولی خواهد شد. با این حال، بسته به تراز تاج بلوک‌های بتنی مستهلک‌کننده موج، ممکن است نیروی موج شکنای ضربه‌ای تولید شود. علاوه بر این، باید توجه ویژه‌ای به پایداری بلوک‌های بتنی داشت، زیرا بلوک‌های مستهلک‌کننده موج که در پیرامون و زیر تراز آب ساکن نصب شده است در معرض جریان رو به پایین قوی از قسمت شیبدار قرار دارد.

[۲] نیروی موج

نیروی موج طراحی را می‌توان با انجام آزمایش مدل هیدرولیکی یا یک روش محاسباتی مناسب تعیین کرد.

نکات فنی

۱) به عنوان یک اصل کلی، نیروی موج وارد بر یک موج‌شکن صندوقه‌ای با تاج شیبدار باید طبق نتایج آزمایش‌های مدل هیدرولیکی به دست آید. اما در صورت عدم امکان این موضوع، می‌توان از روابط زیر استفاده نمود (به شکل ۳-۲-۵ مراجعه شود):



شکل ۳-۲-۵- نیروی موج وارد بر موج شکن صندوقه‌ای با تاج شیبدار

$$F_X = F_{SH} + F_V = \lambda'_{SL} F_1 \sin^2 \alpha + \lambda_V F_2 \quad (۱-۲-۳)$$

$$F_Z = -F_{SV} + F_U = \lambda'_{SL} F_1 \sin \alpha \cos \alpha + 0.5 P_U B \quad (۲-۲-۳)$$

$$\lambda'_{SL} = \min[\max\{1.0, -23(H/L)/\tan^2 \alpha + 0.46/\tan^2 \alpha + 1/\sin^2 \alpha\}, 1/\sin^2 \alpha] \quad (۳-۲-۳)$$

$$\lambda_L = \min[1.0, \max\{1.1, 1.1 + 11d_c/L\} - 5.0(H/L)] \quad (۴-۲-۳)$$

که در آنها:

F_X : کل نیروی موج افقی وارد بر موج شکن صندوقه‌ای با تاج شیبدار (kN/m)

F_Z : کل نیروی موج قائم وارد بر موج شکن صندوقه‌ای با تاج شیبدار (kN/m)

F_{SH} : مولفه افقی نیروی موج وارد بر قسمت شیبدار یک موج شکن صندوقه‌ای شیبدار (kN/m)

F_{SV} : مولفه قائم نیروی موج وارد بر قسمت شیبدار یک موج شکن صندوقه‌ای شیبدار؛ محوری که رو به پایین امتداد داده

شده است به عنوان مثبت در نظر گرفته شده است (kN/m)

F_V : نیروی موج وارد بر قسمت قائم یک موج شکن صندوقه‌ای با تاج شیبدار (kN/m)

F_U : نیروی بالابرنده وارد بر قسمت قائم یک موج شکن صندوقه‌ای با تاج شیبدار (kN/m)

F_1 : مولفه افقی نیروی موج وارد بر دیواره قائم متناظر با قسمت شیبدار یک موج شکن صندوقه‌ای با تاج شیبدار که طبق

رابطه فشار موج Goda به دست آمده است (kN/m)

F_2 : مولفه افقی نیروی موج وارد بر دیواره قائم متناظر با قسمت قائم یک موج شکن صندوقه‌ای با تاج شیبدار که طبق

رابطه فشار موج Goda به دست آمده است (kN/m)

λ'_{SL} : ضریب اصلاحی نیروی موج وارد بر قسمت شیبدار

λ_V : ضریب اصلاحی نیروی موج وارد بر قسمت قائم

α : شیب قسمت شیبدار (درجه)

P_U : فشار بالابرنده در پنجه روبرویی یک صندوقه معمولی که توسط رابطه فشار موج Goda به دست آمده است (kN/m^2)

B : عرض صندوقه موج‌شکن صندوقه‌ای با تاج شیب‌دار (m)

H : ارتفاع موج (m)

L : طول موج (m)

d_c : فاصله بین تراز آب ساکن تا تراز کف قسمت شیب‌دار (وقتی که تراز کف بالای تراز آب ساکن قرار داشته باشد، d_c مثبت

در نظر گرفته می‌شود) (m)

ضریب λ'_{SL} در شرایط مختلف به صورت زیر تعیین می‌شود:

الف) وقتی H/L نسبتاً کوچک باشد:

$$\lambda'_{SL} = \sin^{-2} \alpha \Rightarrow F_{SH} = F_I, F_{SV} = F_I \tan^{-1} \alpha$$

ب) وقتی H/L بزرگ باشد:

$$\lambda'_{SL} = 1.0 \Rightarrow F_{SH} = F_I \sin^2 \alpha, F_{SV} = F_I \sin \alpha \cos \alpha$$

ج) وقتی H/L بین دو حالت بالا باشد، λ'_{SL} با افزایش H/L کوچکتر می‌شود.

در مورد λ_V ، وقتی H/L نسبتاً کوچک باشد، $\lambda_V = 1.0$ ، و با بزرگتر شدن H/L ، λ_V کاهش می‌یابد.

لازم به ذکر است که این روش محاسبه نیروی موج، برای آن نواحی از دریای باز کاربرد دارد که در آن عمق آب نسبتاً زیاد و پریود موج طراحی بزرگ باشد. پیش از ارائه این روش محاسباتی، نیروی موج با فرض $\lambda'_{SL} = \lambda_V = 1.0$ به عنوان یک روش ساده به کار گرفته می‌شد که این روش مقداری را به دست می‌دهد که تا حدی دارای ضریب ایمنی بیشتر می‌باشد، مگر زمانی که H/L نسبتاً کوچک باشد.

۳-۳- موج‌شکن‌های نوع غیر وزنی

در مورد موج‌شکن‌هایی که شکل سازه‌ای آنها متفاوت از موج‌شکن نوع وزنی می‌باشد، محاسبات مربوط به پایداری باید به گونه مناسب و با توجه به فصل ۲- موج‌شکن‌ها و بند ۳-۲- موج‌شکن ویژه وزنی و همچنین دیگر بخش‌های مربوط به پایداری سازه‌ای صورت گیرد. با این حال، هنگام کاربرد شکل‌های سازه‌ای منحصربه‌فرد، پایداری سازه را باید طبق آزمایش مدل هیدرولیکی مناسب یا راهکارهای تحلیلی مناسب متناظر با مشخصه‌های سازه‌ها به دست آورد.

۳-۳-۱- موج‌شکن دیواره غشایی

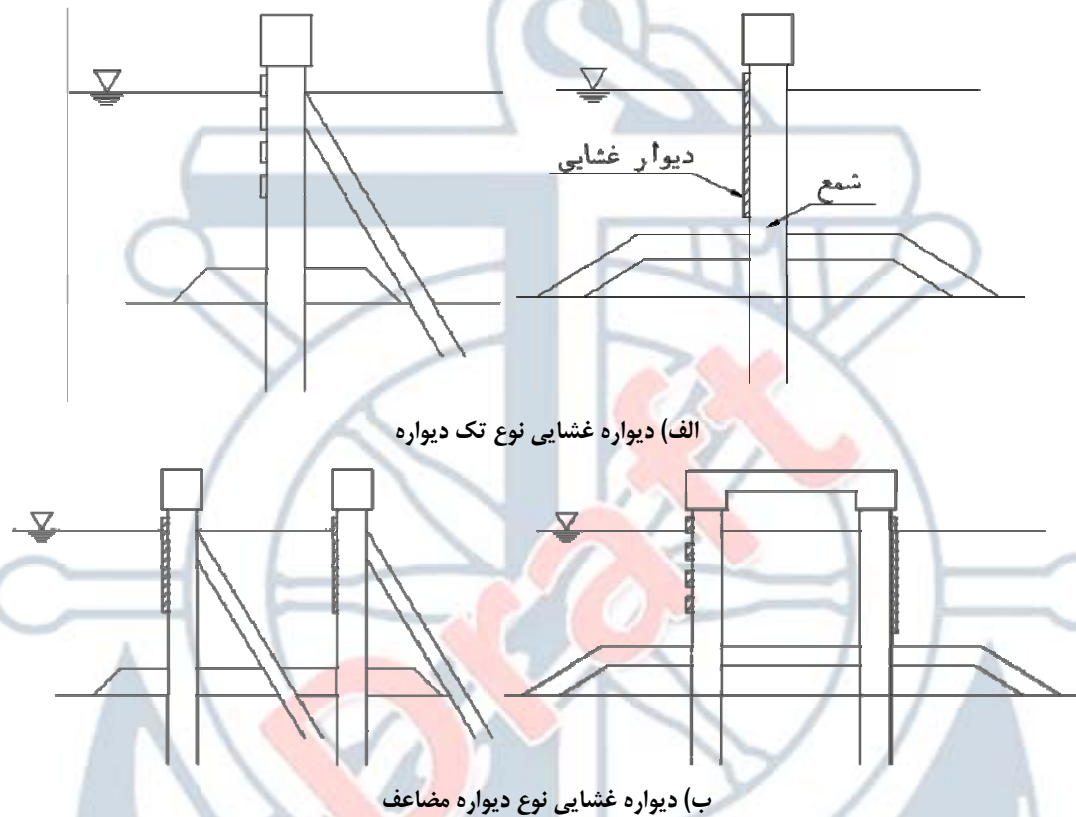
[۱] کلیات

برای یک موج‌شکن دیواره غشایی، سازه مناسب را می‌توان با بررسی ضرایب انتقال و بازتاب موج انتخاب کرد و در صورت ضرورت، می‌توان ترجیحاً آن را توسط آزمایش مدل هیدرولیکی طراحی نمود.

تفسیر

یک موج‌شکن دیواره غشایی، نوعی سازه تراوای حمایت شده توسط شمع می‌باشد که در خلیج‌های کوچک با ارتفاع موج نسبتاً کم یا در مواردی که خاک بستر دریا سست و ضعیف باشد، ساخته می‌شود. به طور کلی، این نوع موج‌شکن بسته به اینکه پیکره‌بندی پانل دیواره غشایی بتنی به شکل تک‌ردیف باشد یا دو ردیف، به دو دسته نوع تک دیواره و نوع دیواره مضاعف تقسیم‌بندی می‌شود (شکل ۳-۱-۳). این دو نوع به نوبه خود، بسته به نوع شمع‌های حمایت کننده یا پانل‌های دیواره‌ای یا شکل درزهای موجود در پانل‌های

دیواره غشایی، به انواع گوناگون طبقه بندی می‌شوند. علاوه بر این، موج‌شکنی که بدون پانل دیواره غشایی باشد و توسط شمع‌های فولادی در برابر امواج مقاومت کند، موج‌شکن حمایت‌شده توسط شمع فولادی نامیده می‌شود. مفاهیم طراحی موج‌شکن‌های دیواره غشایی را می‌توان برای موج‌شکن‌های حمایت‌شده توسط شمع فولادی نیز به کار برد.



الف) دیواره غشایی نوع تک دیواره

ب) دیواره غشایی نوع دیواره مضاعف

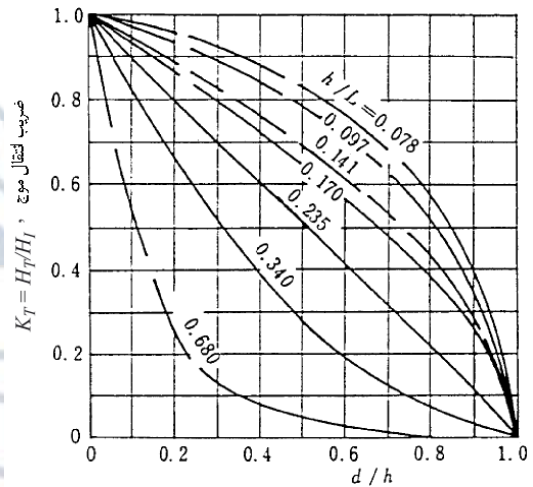
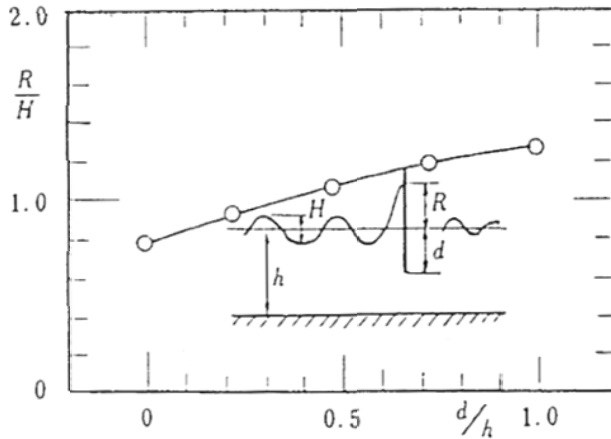
شکل ۳-۳-۱- طبقه‌بندی موج‌شکن‌های دیواره غشایی

نکات فنی

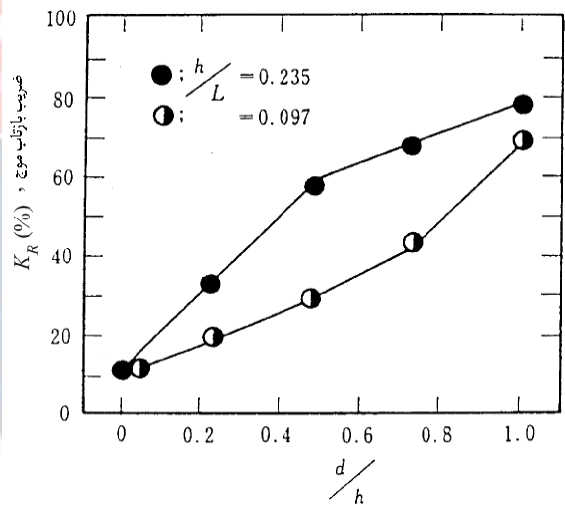
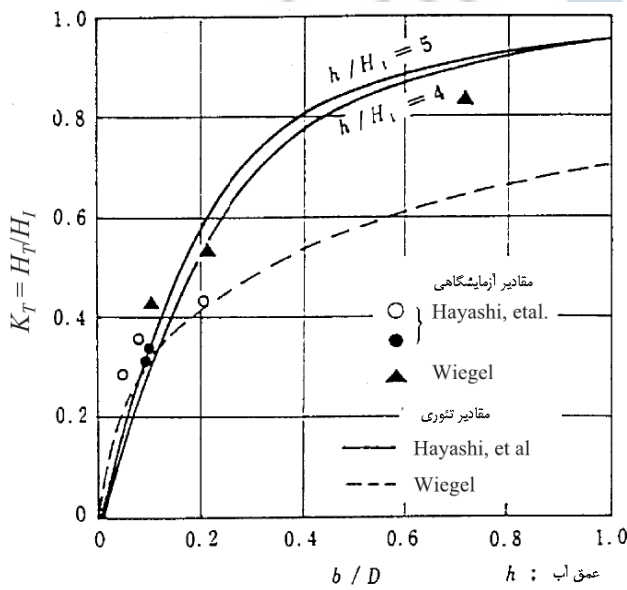
(۱) به منظور مطالعه موج‌شکن‌های دیواره غشایی، *Morihira* و همکاران آزمایش‌های مدل هیدرولیکی را با تمرکز بر روی نوع تک دیواره صلب انجام داده‌اند. بر اساس نتایج این مطالعه، وقتی که ضریب انتقال موج از پیش معلوم باشد، عمق کف دیواره غشایی را می‌توان از روی شکل ۳-۳-۲ و ارتفاع تاج آن را از شکل ۳-۳-۳ به دست آورد. تراز تاج دیواره غشایی در شکل ۳-۳-۳ با انجام اصلاحاتی بر روی داده‌های آزمایشگاهی و انتخاب $R/H=1/25$ برای $d/h=1/10$ به دست آمده است و از آن نمی‌توان تراز تاج دیواره‌ای را به دست آورد که از روگذری به طور کامل جلوگیری کند. در شکل‌ها، d عمق کف دیواره غشایی، h عمق آب، L طول موج، R ارتفاع تاج دیواره غشایی، و H ارتفاع موج است. رابطه بین ضریب بازتاب موج و عمق نسبی دیواره غشایی برای نوع تک دیواره در شکل ۳-۳-۴ نشان داده شده است.

(۲) با انتخاب گزینه موج‌شکن حمایت‌شده توسط شمع، این امکان وجود خواهد داشت که شمع‌های فولادی را با فواصل ویژه‌ای کوئید و در نتیجه یک موج‌شکن از نوع تراوا به وجود آورد. براساس مطالعه *Hayashi* و همکاران، رابطه بین ضریب انتقال موج K_T و نسبت فاصله شمع‌ها به قطر شمع b/D در شکل ۳-۳-۵ نشان داده شده است. هرچه فاصله بین شمع‌ها بیشتر شود، لنگر ایجاد شده توسط نیروی موج کاهش خواهد یافت، اما این اثر تنها تا $b/D=0.1$ مشاهده شده است. برای این نوع موج‌شکن‌ها باید توجه ویژه‌ای

به آب‌شستگی زمین بین شمع‌ها شود.



شکل ۳-۳-۲- رابطه بین ضریب انتقال موج و d/h (نوع تک‌دیواره) شکل ۳-۳-۳- منحنی محاسبه ارتفاع تاج دیواره‌غشایی (نوع تک‌دیواره)



شکل ۳-۳-۴- رابطه بین ضریب بازتاب موج و d/h (نوع تک‌دیواره) شکل ۳-۳-۵- رابطه بین ضریب انتقال موج و نسبت فاصله شمع‌ها به قطر شمع

[۲] نیروی موج

نیروی موج وارد بر یک موج‌شکن دیواره غشایی از نوع تک‌دیواره با نوع دیواره مضاعف تفاوت داشته و همچنین به مواردی همچون شکل و اندازه درزهای پانل غشاء بستگی دارد. با در نظر گرفتن این عوامل تاثیرگذار، نیروی موج را می‌توان بر مبنای آزمایش‌های مدل هیدرولیکی یا از یک روش محاسباتی مناسب به دست آورد.

[۳] طراحی شمع

محاسبه شدت تنش در شمع‌های یک موج‌شکن دیواره غشایی را می‌توان طبق بخش ۸، بند ۹-۵- طراحی شمع انجام داد. عمق نفوذ شمع برای موج‌شکن دیواره غشایی را می‌توان طبق بخش ۵، فصل ۴- ظرفیت باربری شمع‌ها به دست آورد.

۳-۳-۲- موج شکن شناور

[۱] کلیات

سازه مناسب برای یک موج شکن شناور را می‌توان با در نظر داشتن مشخصه‌های انتقال موج و پایداری انتخاب کرده و سپس در صورت نیاز با استفاده از آزمایش مدل هیدرولیکی طراحی نمود.

تفسیر

(۱) موج شکن شناور از قرار دادن چندین قطعه شناور بر روی آب ایجاد شده و از انتشار موج جلوگیری می‌کند. از مزایای این موج شکن می‌توان به عدم تداخل با جریان‌های ساحلی یا رانه ساحلی و عدم وابستگی آن‌ها به شرایط زمین یا بازه جزر و مدی و نیز سیار بودن آن اشاره کرد. با این حال، این گونه موج شکن‌ها دارای نقاط ضعفی نیز می‌باشند که در این زمینه می‌توان به مواردی همچون اجازه انتقال امواج نسبتاً بزرگ، وابستگی زیاد کارایی ایجاد ناحیه امن به مشخصه‌های موج، قابلیت کاربرد آن فقط برای امواج کوچک به دلیل مقاومت محدود آن در برابر نیروی امواج، و ناشناخته بودن مکانیزم مقاومت سیستم مهاربندی آنها در برابر بارهای ناگهانی نوسانی، اشاره کرد. به علاوه، این مشکل نیز وجود دارد که در صورت پاره شدن طناب‌های مهاربندی، ممکن است صدمات ثانویه‌ای به دلیل حرکت و برخورد قطعات شناور ایجاد شود.

(۲) جانمایی و شکل موج شکن شناور باید به گونه‌ای تعیین شود که آرامش موردنیاز فراهم گردد. هنگام تعیین این عوامل، می‌توان ترجیحاً از آزمایش مدل هیدرولیکی استفاده کرده و ضریب انتقال موج را اندازه گرفت. در مورد راهکارهای تحلیلی، روش محاسبه تقریبی حرکات قطعه شناور مستطیلی دوبعدی توسط *Ito* و همکاران و نظریه *Ijima* برای اجسام با شناوری آزاد قابل کاربرد می‌باشند.

نکات فنی

طراحی موج شکن شناور را می‌توان به بهترین وجه با روند مورد اشاره در نمودار نشان داده شده در شکل ۳-۳-۶ انجام داد.

[۲] انتخاب شرایط طراحی

هنگام طراحی موج شکن شناور، عوامل زیر باید در نظر گرفته شوند:

(۱) عوامل مربوط به کارکرد موج شکن شناور

الف) امواجی که باید کنترل شود (ارتفاع، پریود و جهت)

ب) تراز جزر و مدی و عمق آب

ج) میزان آرامش موردنیاز

(۲) عوامل مربوط به پایداری موج شکن شناور

الف) موج طراحی (ارتفاع، پریود و جهت)

ب) تراز جزر و مدی و عمق آب

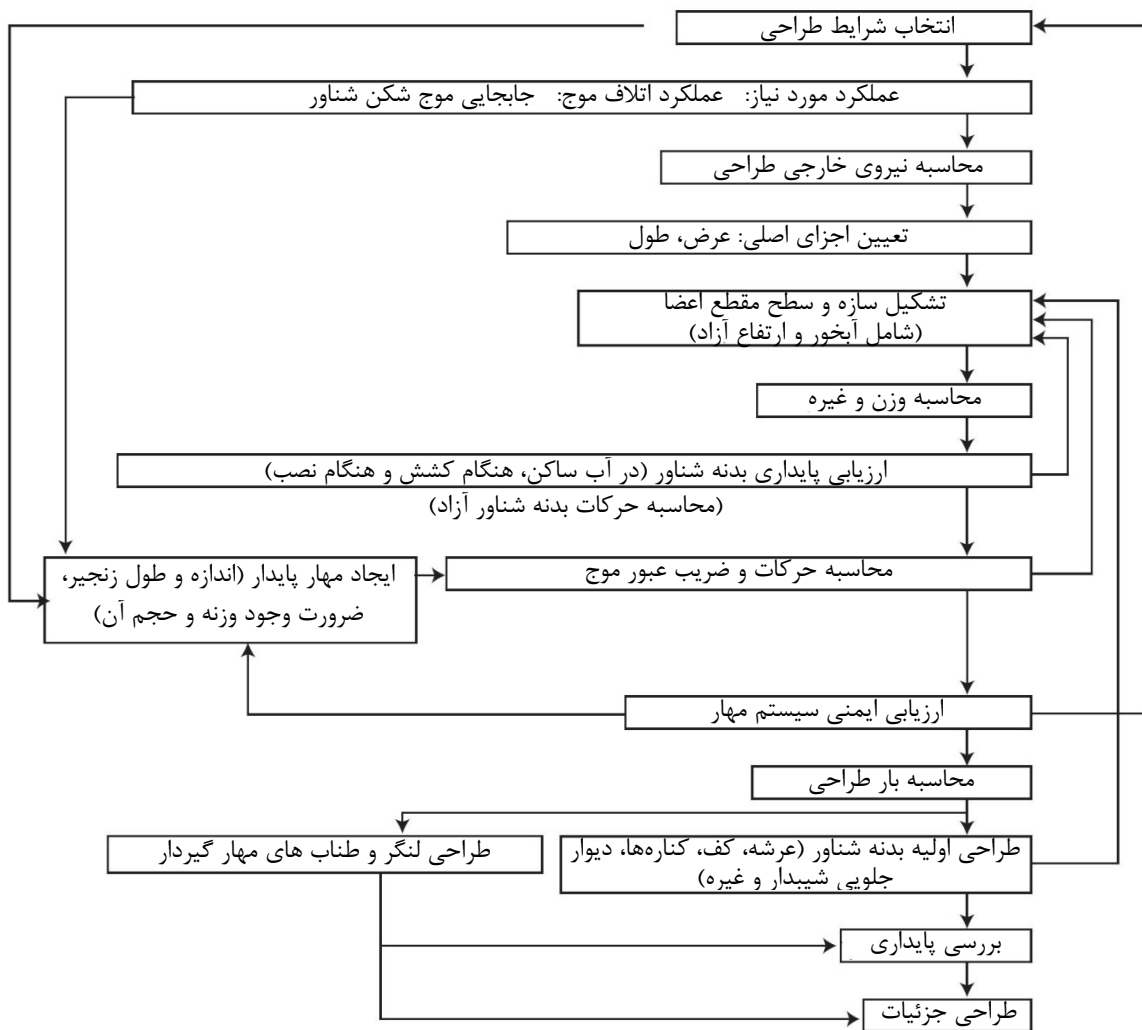
ج) جریان (سرعت و جهت جریان)

د) باد (سرعت، جهت باد)

هـ) شرایط زمین

و) دامنه مجاز حرکت

(ز) دیگر موارد (برخورد شناورها و غیره)



شکل ۳-۳-۶- مراحل طراحی موج‌شکن‌های شناور

(۳) نیروهای خارجی طراحی

نیروهای خارجی به کار رفته در طراحی را می‌توان طبق بخش ۲، فصل ۸- نیروهای خارجی وارد بر جسم شناور و حرکات آن به دست آورد.

[۳] طراحی سیستم مهاربندی

برای مسائل مرتبط با طراحی مهاربندی و بررسی ایمنی سیستم مهاربندی می‌توان به بخش ۲، بند ۸-۳- حرکات جسم شناور و نیروی مهاربندی مراجعه کرد.

تفسیر

(۱) مسائل مرتبط با طراحی مهاربندی را می‌توان به دو مرحله تقسیم‌بندی کرد:

(الف) مرحله اول: در این مرحله نیروهای کششی که به طناب‌های مهاربندی وارد خواهد شد و لنگرهای وزنی از راه

تحلیل‌های دینامیکی و استاتیکی و با در نظر گرفتن شرایط مهاربندی گوناگون همچون روش مهاربندی و طول طناب یا زنجیر به دست خواهد آمد.

(ب) مرحله دوم: در این مرحله طراحی جزییات طناب‌های مهاربندی و لنگرهای وزنی انجام شده و پایداری سازه بر اساس نیروهای کششی و دیگر یافته‌های مرحله اول، مورد تایید قرار می‌گیرد.

(۲) انتخاب یک سیستم مهاربندی باید با در نظر گرفتن مسائلی همچون نیروهایی که به سیستم وارد خواهد شد، عمق آب، دامنه جزر و مدی، شرایط بستر دریا، امواج، شرایط خاک و طول طناب‌های مهاربندی، انجام شود.

(۳) لنگر مهاربندی باید به گونه‌ای طراحی شود که مقاومت‌های افقی و قائم آن به ترتیب از نیروهای افقی و قائم وارد بر آن بزرگتر باشد.

(۴) تحلیل دینامیکی طناب‌های مهاربندی عبارت از تعیین جابجایی و کشش نوسانی ناشی از حرکات جسم شناور بوده و شامل دو دسته راهکار زیر می‌باشد:

الف) روش‌های تحلیل این عوامل بر اساس مشخصه‌های مهاربندی استاتیکی

ب) روش‌های تحلیل این عوامل بر اساس ویژگی‌های پاسخ دینامیکی طناب‌های مهاربندی

(۵) نیروهای وارد بر لنگر مهاربندی در **بخش ۸، بند ۱۲-۴-۳- طراحی لنگر مهاری** توضیح داده شده است.

[۴] طراحی سازه جسم شناور

جسم شناور باید مقاومت کافی برای ایمنی سازه به عنوان یک مجموعه و همچنین برای هر عضو سازه‌ای آن را دارا باشد.

تفسیر

(۱) هنگام انتخاب کیفیت مصالح اعضای سازه‌ای موج‌شکن شناور، ضروری است مشخصه‌های مصالح و هزینه‌ها به طور دقیق مورد بررسی قرار گیرند.

(۲) بارهایی که باید از دیدگاه مقاومت سازه‌ای موج‌شکن شناور در نظر گرفته شوند، به دو نوع بار استاتیکی و بار دینامیکی به شرح زیر تقسیم می‌شود:

بار استاتیکی ————— بار مرده (شامل وزن مصالح به کار رفته برای ساخت موج‌شکن)

فشار هیدرواستاتیکی

بار دینامیکی ————— بار موج (بار وارده به صورت فشار خارجی که نیروی مقطعی ایجاد می‌کند)

بار باد

بار جریان‌های جزر و مدی و جریان‌های اقیانوسی

بار مهاربندی

دیگر بارها (بار ناشی از کشیدگی، بار وارده هنگام عملیات نصب، نیروی ناشی از وارد

آمدن ضربه و غیره)

در مورد موج‌شکن شناور، بارهایی که در حالت عادی از دیدگاه تحلیل مقاومتی در نظر گرفته می‌شود، به صورت زیر می‌باشد:

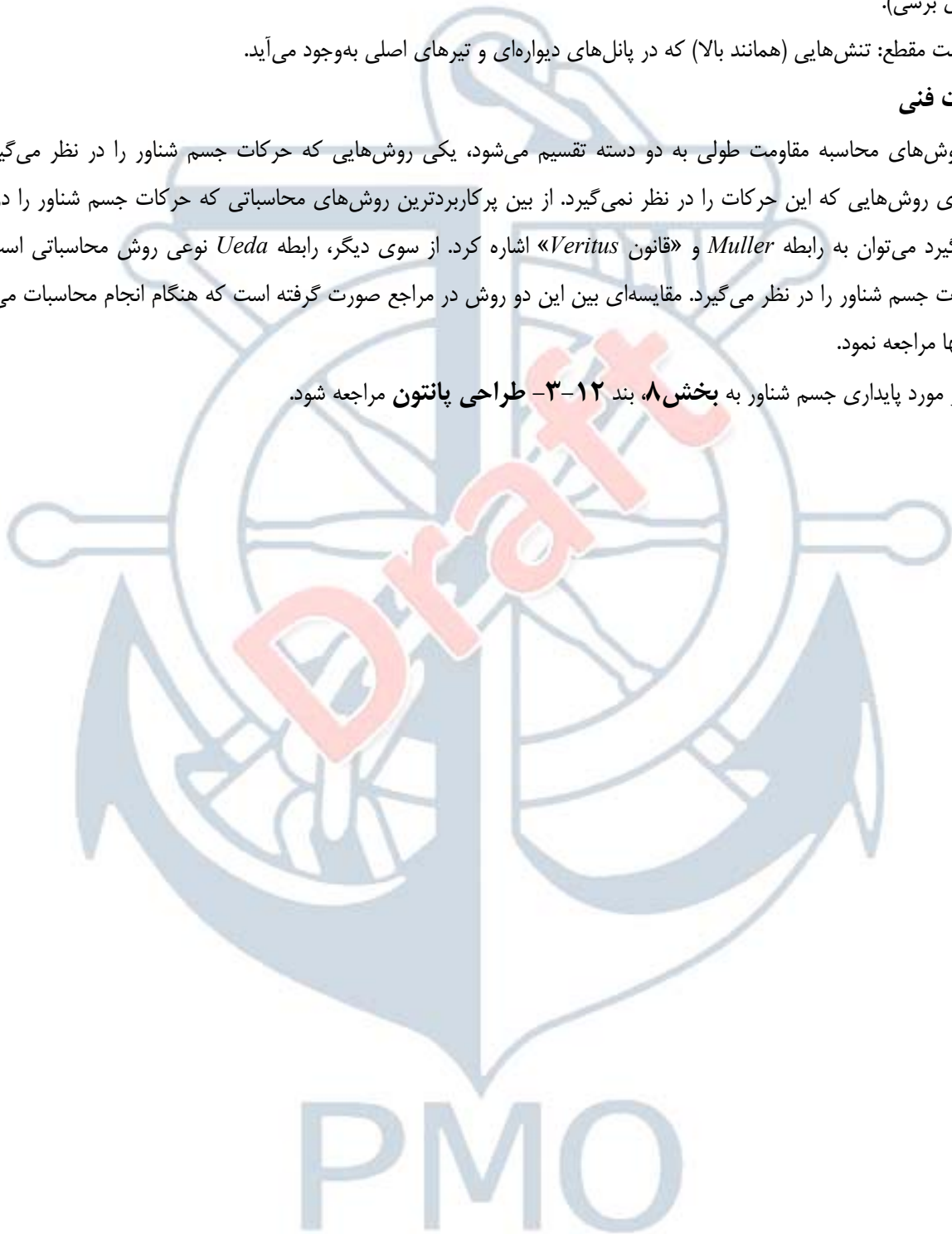
مقاومت طولی: تنش‌های به‌وجود آمده در آب ساکن یا زیر اثر امواج (لنگر خمشی طولی، نیروی برشی، لنگر پیچشی).
مقاومت جانبی: نیروهای برشی که هنگام قرارگیری در معرض امواج در راستای عمود بر محور طولی به‌وجود می‌آید (لنگر خمشی، نیروی برشی).

مقاومت مقطع: تنش‌هایی (همانند بالا) که در پانل‌های دیواره‌ای و تیرهای اصلی به‌وجود می‌آید.

نکات فنی

۱) روش‌های محاسبه مقاومت طولی به دو دسته تقسیم می‌شود، یکی روش‌هایی که حرکات جسم شناور را در نظر می‌گیرد، و دیگری روش‌هایی که این حرکات را در نظر نمی‌گیرد. از بین پرکاربردترین روش‌های محاسباتی که حرکات جسم شناور را در نظر نمی‌گیرد می‌توان به رابطه *Muller* و «قانون *Veritus*» اشاره کرد. از سوی دیگر، رابطه *Ueda* نوعی روش محاسباتی است که حرکات جسم شناور را در نظر می‌گیرد. مقایسه‌ای بین این دو روش در مراجع صورت گرفته است که هنگام انجام محاسبات می‌توان به آنها مراجعه نمود.

۲) در مورد پایداری جسم شناور به بخش ۸، بند ۱۲-۳- طراحی پانتون مراجعه شود.



فصل ۴- حوضچه‌های تنظیم تراز آب

۴-۱- انتخاب موقعیت

برای آن که عملیات حوضچه تنظیم تراز آب در هنگام ورود و خروج شناورها، ایمن و روان انجام شود، موقعیت آن باید به‌طور مناسب و در پاسخ به شرایط طبیعی سایت و ابعاد اصلی و تعداد شناورهای پذیرش شونده، انتخاب شود.

تفسیر

(۱) از آنجا که ممکن است ورود و خروج شناورها در اثر عواملی همچون باد، موج، جریان جزر و مدی و رانه ساحلی دچار مشکل شود، بهتر است که ناحیه‌ای با آب نسبتاً ساکن و آرام برای موقعیت حوضچه تنظیم تراز آب در نظر گرفته شود. در مواردی که شرایط آب آرام نباشد، باید با اجرای موج‌شکن، دستک هدایت‌کننده و یا دستک راهنما، ناحیه آب آرامی در مجاورت حوضچه تنظیم تراز آب ایجاد شود.

(۲) همچنین اندازه و تعداد شناورهایی که از راه حوضچه تنظیم تراز آب تردد خواهد کرد، عامل تعیین‌کننده‌ای در انتخاب موقعیت می‌باشد. به همین علت موقعیت سایت حوضچه تنظیم تراز آب باید به گونه‌ای باشد که بتوان ناحیه آبی وسیعی را برای لنگراندازی و حوضچه چرخش شناور فراهم آورد.

(۳) علاوه بر موارد بالا، موقعیت حوضچه تنظیم تراز آب باید با توجه به شرایط کاربری زمین یا شرایط تردد وسائط نقلیه در خشکی انتخاب شود.

۴-۲- اندازه و جانمایی حوضچه تنظیم تراز آب

(۱) جانمایی حوضچه تنظیم تراز آب باید با شرایط طبیعی سایت، ابعاد اصلی و تعداد شناورهای سرویس‌دهی شونده سازگاری داشته باشد، به گونه‌ای که عملیات ورود و خروج شناورها به آرامی و با ایمنی کامل صورت پذیرد.

(۲) ابعاد محفظه حوضچه تنظیم تراز آب باید به شکلی مناسب و بر اساس روابط زیر تعیین شود. هنگام استفاده از این روابط، باید مقادیر مناسبی برای عمق آزاد و همچنین رواداری‌های طول و عرض با توجه به حرکات شناور در حوضچه تنظیم تراز آب در نظر گرفته شود.

الف) عمق آب موثر = آبخور شناور سرویس‌دهی شونده + فاصله آزاد زیر کشتی

ب) عرض موثر = عرض شناور × تعداد شناورها در راستای عرضی + رواداری عرض

ج) طول موثر = طول شناور × تعداد شناورها در یک خط طولی + رواداری طول

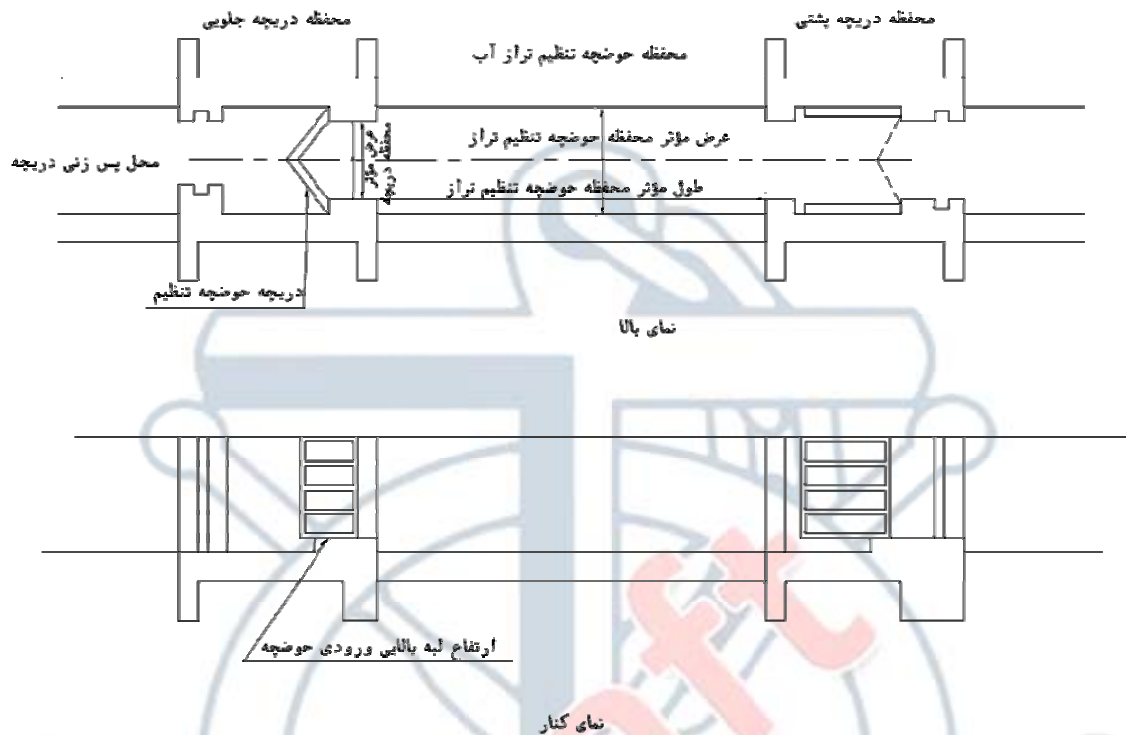
نکات فنی

(۱) اسامی قسمت‌های مختلف یک حوضچه تنظیم تراز آب در شکل ۴-۲-۱ نشان داده شده است.
(۲) در حالت کلی، فاصله‌گذاری‌های آزاد ابعاد مختلف برای حوضچه‌های تنظیم تراز آب به اندازه شناور طرح بستگی دارد. با این حال، Fukuda مقادیر زیر را برای حوضچه‌های تنظیم تراز آبی که به شناورهای کوچک سرویس‌دهی می‌کند، ارائه کرده است:

رواداری عمق آب موثر: ۰/۲ تا ۱/۰ متر

رواداری عرض موثر: ۰/۲ تا ۱/۲ متر

رواداری طول موثر: ۳ تا ۱۰ متر



شکل ۴-۲-۱- اسامی قسمت‌های مختلف حوضچه تنظیم تراز آب

۴-۳- انتخاب نوع سازه‌ای

۴-۳-۱- دریاچه

دریاچه‌های مربوط به حوضچه‌های تنظیم تراز آب دارای ساختاری می‌باشد که برای اندازه حوضچه تنظیم، زمان عملیات، اختلاف تراز آب و نیروهای خارجی همچون موج، ایمن باشد. دریاچه‌ها باید شرایط لازم زیر را برآورده کنند:

- ۱) سازه اصلی دریاچه، تکیه‌گاه‌های دریاچه و مقاطع ثابت پیرامونی باید در برابر بارهایی که در شرایط معمولی وارد می‌شود و نیز حین زلزله کاملاً ایمن بوده و این بارها باید به‌طور کامل توسط شالوده سازه تحمل شود.
- ۲) دریاچه‌ها باید آب‌بند باشد.
- ۳) دریاچه‌ها باید عملکردی روان و مطمئن داشته باشد.
- ۴) اجزای مکانیکی و دیگر قسمت‌های متحرک باید به راحتی قابل بازرسی باشد.

نکات فنی

دریاچه‌های به‌کاررفته برای حوضچه‌های تنظیم تراز آب باید در برابر خوردگی و فرسایش اعضای سازه‌ای مقاوم باشد.

۴-۳-۲- محفظه حوضچه تنظیم تراز آب

محفظه حوضچه تنظیم تراز آب باید دارای ساختاری همخوان و سازگار با شرایط شالوده، اختلاف تراز بین درون و بیرون محفظه حوضچه تنظیم، ابعاد و تعداد شناورهای سرویس‌دهی شونده، و مقدار آب پمپ شده به محفظه دریاچه و تخلیه شده از محفظه حوضچه تنظیم باشد.

۴-۴- نیروهای خارجی و بارهای وارد بر حوضچه تنظیم تراز آب

محفظه‌های دریچه و محفظه حوضچه تنظیم باید دارای ساختاری مقاوم در برابر نیروی عکس‌العمل شالوده، بار مرده دیوارهای جانبی و دال کف، وزن دریچه و نیروی ضربه‌ای شناورها باشد.

نکات فنی

هنگام طراحی محفظه‌های دریچه و محفظه‌های حوضچه تنظیم تراز آب، باید بار مرده تاسیسات جانبی همچون اتاق عملیات و اتاقک تجهیزات مکانیکی را نیز به حساب آورد.

۴-۵- سیستم پمپاژ و تخلیه

سیستم پمپاژ و تخلیه برای تنظیم تراز آب محفظه حوضچه تنظیم باید به گونه‌ای باشد که عملکرد آن سبب حرکت دادن شناورهای درون محفظه حوضچه نشود. همچنین این سیستم باید توانایی پمپاژ و تخلیه سریع آب را در محفظه حوضچه تنظیم داشته باشد.

۴-۶- تاسیسات جانبی

حوضچه‌های تنظیم تراز آب باید بسته به ضرورت دارای تاسیسات جانبی زیر باشد:

- (۱) تاسیسات اورژانسی
- (۲) تاسیسات روشنایی
- (۳) تاسیسات تامین برق
- (۴) تاسیسات کنترلی و ابزار دقیق
- (۵) تاسیسات نگهداری

فصل ۵- تاسیسات پیشگیری از کم عمقی و رسوب‌گذاری

۵-۱- کلیات

هرگاه در بندر یا کانال ناوبری انتظار کم عمقی وجود داشته باشد، وضعیت و نرخ آنرا می‌توان از بررسی دقیق و جزئی پدیده‌هایی که سبب کم عمقی می‌شود، به دست آورد. پس از در نظر گرفتن اثرات مختلف ناشی از کارهای پیشگیری از کم عمقی و هزینه‌های اجرایی و بهره‌برداری آنها، باید اقدامات پیشگیرانه مناسبی به کار برده شود.

تفسیر

کم عمقی به پدیده کم شدن عمق حوضچه‌ها و کانال گفته می‌شود که علت آن ورود و پر شدن قسمت‌های داخلی بندر همچون کانال ناوبری و ناحیه لنگراندازی توسط رسوبات ناشی از ماسه‌های بادرفتی، آورد رسوبی رودخانه‌ها و رانه ساحلی می‌باشد. پدیده فرونشست و ته‌نشینی رسوبات که با کم شدن عمق آب همراه است، سبب مختل شدن کارکردهای مختلف بندر می‌شود. همچنین این امکان نیز وجود دارد که بدون آنکه حجم خالص رسوبات بستر کم یا زیاد شود، ایجاد امواج ماسه‌ای و یا گسیختگی شانه‌های شیب‌دار یک کانال ناوبری لایروبی شده، عمق کانال ناوبری به‌طور موضعی کمتر از عمق موردنیاز شود. رسوب‌گذاری به پدیده کم عمقی ناشی از ته‌نشینی لای یا دیگر رسوبات ریزدانه گفته می‌شود. کم عمقی به دلایل زیر رخ می‌دهد:

- (الف) ورود و ته‌نشینی رانه ساحلی (ناشی از امواج و/یا جریان‌ها)
- (ب) فرونشست و ته‌نشینی آورد رسوبی رودخانه‌ها
- (ج) ته‌نشینی و رسوب‌گذاری ماسه‌های بادرفتی
- (د) حرکت رسوبات در ناحیه مورد نظر یا تغییر در مکان رسوب‌گذاری
- (هـ) حرکت رسوبات ناشی از ایجاد امواج در درون یک لنگرگاه، از راه گسیختگی شانه‌های خاکی شیب در کانال ناوبری، و همچنین از راه تشکیل موج ماسه‌ای و غیره.

۵-۲- دستک

۵-۲-۱- جانمایی دستک

(۱) موقعیت دستک را باید با در نظر گرفتن مشخصه‌های انتقال رسوبات به گونه‌ای تعیین کرد که بتوان به وسیله آن رانه ساحلی را مطابق با عملکرد مورد انتظار، کنترل نمود.

(۲) در حالت کلی، دستک در سمت بالادست، به طور عمود بر ساحل در ناحیه شکست موج قرار می‌گیرد. در ناحیه فراساحل، دستک به گونه‌ای قرار داده می‌شود که انتقال رسوبات به سمت بالادست دهانه بندر منحرف شود.

(۳) در حالتی که دستک در سمت پایین دست بندر قرار داشته و نقش آن جلوگیری از ورود رسوبات انتقال داده شده از سمت پایین دست بندر باشد، باید دارای جانمایی عمود بر خط ساحلی بوده و نیز دارای طول کافی سازگار با راستا و شیوه شکل‌گیری امواج تابشی باشد. وقتی که قرار باشد دستک، نقش یک موج‌شکن را ایفا نماید، جانمایی آن باید به گونه‌ای باشد که کارکردهای یک موج‌شکن را به خوبی برآورده کند.

(۴) در صورتی که در مکانی همچون مجاورت یک کانال ناوبری درون یک لنگرگاه نیاز به دستک باشد، انتخاب موقعیت آن باید با

توجه به شرایط طبیعی صورت گیرد.

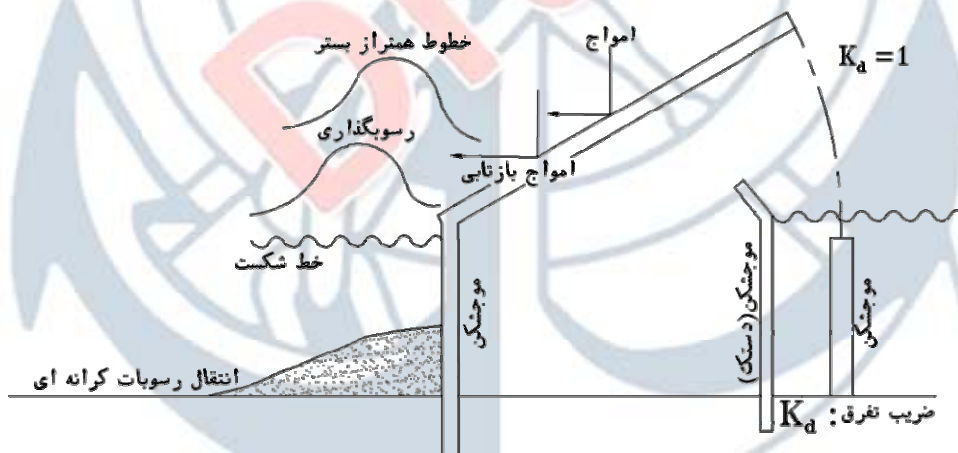
تفسیر

اگر موج‌شکن‌های یک بندر در ساحل ماسه‌ای قرار داشته باشد دارای هر دو کارکرد دستک و موج‌شکن بوده و این دو کارکرد تفکیک‌ناپذیر می‌باشند. در این بخش، کارکرد عمومی‌تر آنها مدنظر قرار گرفته و به آنها موج‌شکن گفته می‌شود، مگر زمانی که عملکرد آنها به عنوان یک دستک غالب‌تر باشد.

نکات فنی

(۱) جانمایی موج‌شکن‌های بالادست

موج‌شکن بالادست باید در راستای عمود بر خط ساحل در ناحیه شکست موج امتداد داده شود، به گونه‌ای که سبب به تله انداختن و رسوب‌گذاری رانه ساحلی در بالادست موج‌شکن شود (به شکل ۵-۲-۱ مراجعه شود). وقتی میزان پیشروی کم باشد یا به طور اریب نسبت به خط ساحلی رو به سمت پایین‌دست باشد، کارایی تله‌اندازی رسوبات در سمت بالادست کاهش یافته و ماسه می‌تواند به راحتی در طول موج‌شکن به سوی دهانه حرکت کند. وقتی این قسمت با زاویه اریب نسبت به خط ساحل رو به پایین‌دست باشد، به راحتی سبب آب‌شستگی موضعی در سمت بالادست می‌شود. در ناحیه عمیق‌تر از خط شکست موج، موج‌شکن باید به طور اریب اجرا شود به گونه‌ای که همزمان سبب توقف امواج و نیز پراکنده ساختن انتقال رانه ساحلی به سمت بالادست دهانه بندر به کمک امواج بازتابی یا امواج دنباله ماخ (*Mach-stem*) شود (به شکل ۵-۲-۱ مراجعه شود).

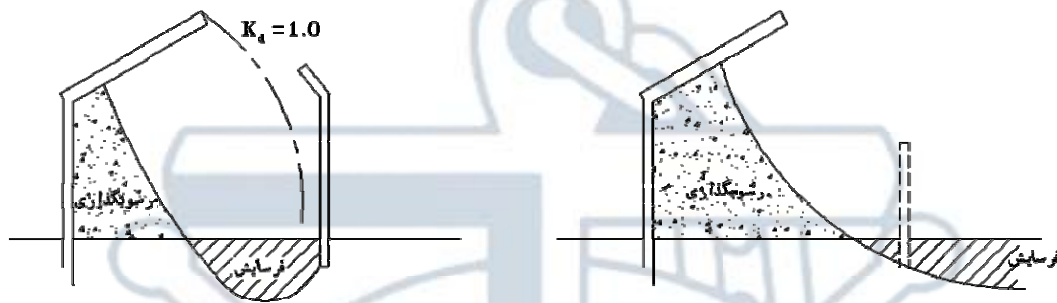


شکل ۵-۲-۱- جانمایی مفهومی موج‌شکن (دستک)

(۲) مکان موج‌شکن پایین‌دست و زمان اجرا

هنگامی که موج‌شکن بالادست امتداد داده شده و خط امتداد موج‌شکن پایین‌دست را قطع کند، در سمت پایین‌دست موج‌شکن پایین‌دست رسوب‌گذاری شروع خواهد شد. در این حالت، پشته رسوبی از طرف ساحل به سمت دهانه بندر پیشروی خواهد نمود، و در نواحی پایین‌دست با فاصله زیاد از بندر پدیده فرسایش ساحل رخ خواهد داد. از سوی دیگر، همانگونه که در شکل ۵-۲-۲-الف نشان داده شده است، در صورتی که ساخت موج‌شکن پایین‌دست حین اجرای موج‌شکن بالادست شروع شود و بخش اریب موج‌شکن بالادست هنوز به قدر کافی امتداد داده نشده باشد، ممکن است فرسایش چشمگیری در وجه داخلی (سمت حوضچه بندر) موج‌شکن

پایین دست رخ دهد. به عکس، همانگونه که در شکل ۵-۲-۲-ب نشان داده شده، اگر اجرای موج‌شکن پایین دست با تاخیر روبرو شود، ممکن است سبب رسوب‌گذاری در بندر و فرسایش در ساحل پایین دست شود. بنابراین، باید توجه زیادی به سرعت اجرای هر دو موج‌شکن بالادست و پایین دست، و نیز حفظ تعادل مناسب بین میزان اجرای موج‌شکن‌ها شود.



(ب) حالت اجرای کند موج‌شکن پایین دست

(الف) حالت اجرای سریع موج‌شکن پایین دست

شکل ۵-۲-۲- زمان اجرای موج‌شکن پایین دست

۳) طول موج‌شکن و عمق آب در انتهای آن از آنجا که انتقال رسوبات موازی ساحل عمدتاً در ناحیه شکست موج رخ می‌دهد، موج‌شکن‌ها را باید به سمت فراساحل و بیرون از ناحیه شکست موج امتداد داد. در لنگرگاه‌های کوچک که عمق آب در انتهای موج‌شکن حین طوفان در محدوده ناحیه شکست موج باقی می‌ماند، به سختی می‌توان از ورود رانه ساحلی به درون بندر به طور کامل پیشگیری نمود. در برخی بنادر بزرگ، رویه معمول آن است که عمق آب در انتهای بالادست موج‌شکن تقریباً برابر با حداکثر عمق کانال ناوبری در نظر گرفته می‌شود، که گاهی از ۲۰ متر هم فراتر می‌رود.

۵-۲-۲- جزئیات دستک

یک دستک باید دارای ارتفاع پوشش تاج کافی باشد تا نسبت به کارکرد کنترل رسوب آن از دیدگاه ورود رسوبات معلق به درون حوضچه لنگرگاه از راه روگذری موج، اطمینان حاصل شود. همچنین دستک باید هنگام وارد آمدن نیروهای خارجی و بارهای وارده بر آن، پایداری سازه‌ای خود را حفظ کند.

نکات فنی

۱) اشکال سازه‌ای دستک

در حالت کلی، از آنجا که یکی از کارکردهای ضروری دستک، توقف کامل انتقال رسوبات می‌باشد، باید دارای سازه‌ای ناتراوا باشد. اگر دستک با استفاده از توده سنگی یا بلوک بتنی ساخته شود، باید هسته آن با شن یا سنگ کوچک دارای حداکثر وزن ۱۰۰ تا ۲۰۰ کیلوگرم پر شود. همچنین مواردی وجود دارد که سمت داخل حوضچه توسط مصالح ناتراوا همچون ماسه با بتونه قیری پوشانده می‌شود. در موارد زیر، بهتر است که از ساختار نوع جاذب موج استفاده شود:

(الف) هنگامی که آب‌شستگی ناشی از جریان از اهمیت زیادی برخوردار باشد.

(ب) هنگامی که احتمال کم‌عمقی ناشی از امواج بازتابی یا ایجاد مانع برای تردد شناور وجود داشته باشد.

۲) ارتفاع پوشش تاج دستک

اگرچه بهتر است به منظور جلوگیری از ورود جریان رسوبات معلق، دستک‌ها اجازه روگذری امواج را ندهند، مواردی نیز وجود دارد که

به دلیل محدودیت سازه‌ای یا هزینه اجرایی، اجازه روگذری داده می‌شود. ارتفاع دیواره تاج را باید با در نظر گرفتن موارد زیر تعیین کرد:

الف) قسمت پیرامون خط ساحلی

نباید اجازه داد بالاروی موج از روی تاج دستک بگذرد. از آنجا که ممکن است ماسه منتقل شده توسط بالاروی موج در صورت کوتاه بودن پوشش تاج از روی آن عبور کنند، بخش متصل شده به ساحل باید دارای پوشش تاجی با ارتفاع کافی باشد. بهتر است پس از اجرای دستک و بررسی کارکرد آن، در صورت نیاز ارتفاع پوشش تاج افزایش داده شده و دستک به سمت خشکی امتداد داده شود.

ب) قسمتی که بین خط ساحلی و خط شکست موج قرار دارد

در این حالت بهتر است ارتفاع پوشش تاج به اندازه $0.6H_{1/3}$ بالاتر از تراز میانگین مد ماهیانه در نظر گرفته شود، که در آن $H_{1/3}$ ارتفاع موج مشخصه پیرامون انتهای دستک می‌باشد.

ج) قسمتی که بیرون از خط شکست موج قرار گرفته است

در این حالت بهتر است ارتفاع نهایی پوشش تاج با افزودن مقداری ارتفاع آزاد به تراز میانگین مد ماهیانه در نظر گرفته شود. در ناحیه عمیق‌تر از ناحیه شکست موج، رسوبات معلق در نزدیکی بستر دریا متمرکز شده و جریان آب روگذری تقریباً دارای هیچگونه بار رسوبی نمی‌باشد، و به همین دلیل می‌توان اجازه داد که روگذری رخ دهد.

۵-۳- گروه آب شکن

نکات فنی

طول، فاصله، و ساختار گروه آب شکن که به منظور جلوگیری از کم‌عمقی در پایین دست لنگرگاه اجرا می‌شود را باید با استفاده از تجربیات گذشته یا مراجعه به راهنماهای معتبر موجود به دست آورد.

۵-۴- دستک هدایت کننده

۵-۴-۱- جانمایی دستک هدایت کننده

برای آنکه دستک هدایت کننده کارکرد مورد انتظار را برآورده کند، باید به طور مناسب و با در نظر گرفتن مشخصه‌های انتقال رسوبات موازی ساحل در محل و نیروهای کششی رودخانه در طول دوره‌های پر آبی و خشکسالی، جانمایی شود.

نکات فنی

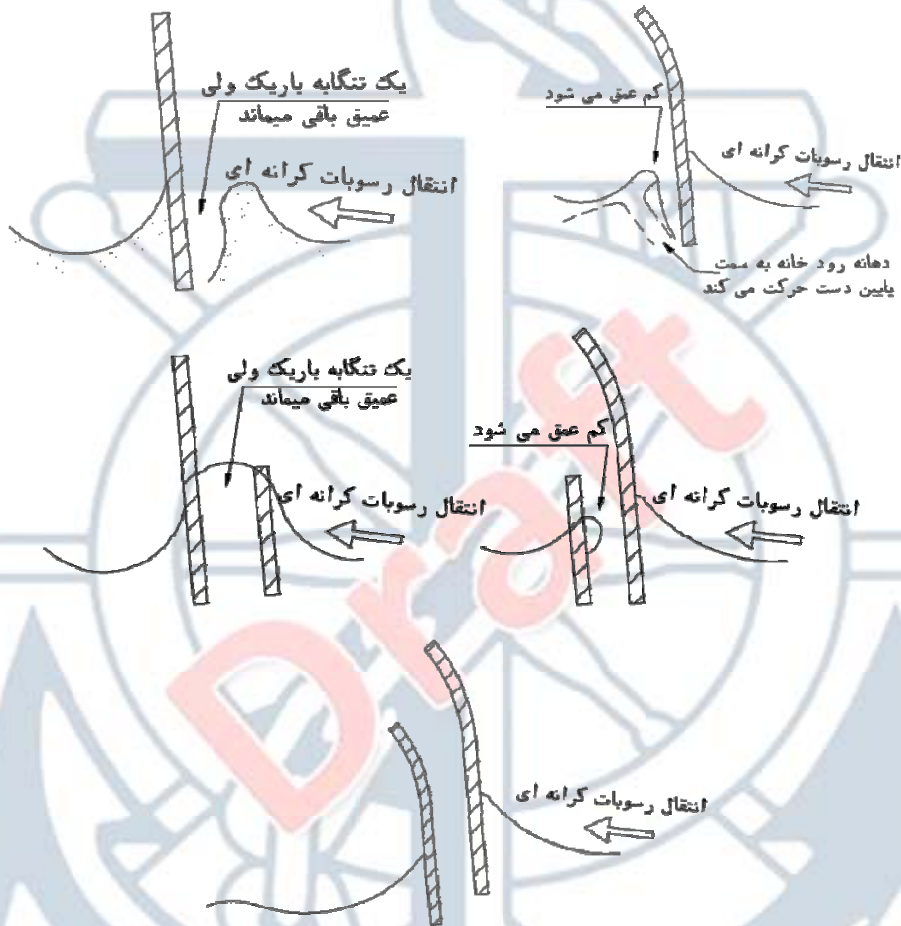
(۱) کارکردهای چند گانه دستک هدایت کننده دهانه رودخانه

دستک هدایت کننده دهانه رودخانه باید مشابه آب شکن دارای کارکرد جلوگیری از انتقال رسوبات موازی ساحل باشد. علاوه بر کارکرد مذکور، این دستک هدایت کننده باید مسیر آبی رودخانه را با هدایت جریان رودخانه، پایدار ساخته و با افزایش نیروی کششی جریان رودخانه، عمق آب را در تراز مناسب نگه دارد، و هم‌زمان توانایی تخلیه جریان در دوره‌های پر آبی را دارا بوده و سبب به تاخیر افتادن رهاسازی آن به دریا نشود.

(۲) جانمایی دستک هدایت کننده

نمونه‌هایی از جانمایی دستک هدایت کننده نسبت به راستای انتقال رسوبات موازی ساحل در شکل ۵-۴-۱ نشان داده شده است. مناسبترین حالت برای حفظ عمق آب در دهانه رودخانه، امتداد دادن دو دستک هدایت کننده به موازات یکدیگر است، زیرا یک

دستک هدایت کننده به تنهایی موثر نخواهد بود. در حالتی که قرار است دو دستک هدایت کننده با طول‌های مختلف ایجاد شود، بهتر است که دستک هدایت کننده پایین دست طولانی‌تر باشد. همچنین خم کردن دستک هدایت کننده بالادست به سمت پایین دست، سبب جلوگیری از ورود رسوبات به دهانه مسیر آبی شده و امکان عبور روان رسوبات انتقال یافته کرانه‌ای به سمت پایین دست را فراهم می‌کند. برای مشاهده نمونه‌های عملی بهسازی دهانه رودخانه به مراجع مراجعه شود.



شکل ۵-۴-۱- انواع گوناگون جانمایی دستک هدایت کننده

۵-۴-۲- عمق آب در انتهای دستک هدایت کننده

- ۱) عمق آب در انتهای دستک هدایت کننده باید مساوی با عمق آب کانال نوابری در نزدیکی دستک هدایت کننده و یا بیشتر از آن باشد.
- ۲) انتهای دستک باید در ناحیه فراساحلی خط شکست موج قرار داشته باشد.

۵-۴-۳- ساختار دستک هدایت کننده

در حالت کلی، دستک هدایت کننده باید دارای سازه ای ناتراوا بوده و به گونه‌ای ساخته شود که پایداری سازه‌ای آن با در نظر گرفتن مواردی همچون اثر آب‌شستگی ناشی از موج و جریان رودخانه‌ای وارد، حفظ شود.

تفسیر

از آنجا که دستک هدایت کننده طولانی‌تر از آب شکن بوده و در معرض اثر موج شدید قرار دارد، ضروری است آب‌شستگی انتها و کناره‌های دستک مد نظر قرار گیرد.

علاوه بر این، این مورد نیز باید در نظر گرفته شود که کناره داخلی (سمت رودخانه) دستک در معرض آب‌شستگی ناشی از جریان رودخانه خواهد بود.

۵-۵- تاسیسات تله‌اندازی انتقال رسوب ساحلی و آورد رسوب رودخانه

نکات فنی

هنگام پیشگیری از کم‌عمقی ناشی از رانه‌ساحلی از طریق لایروبی، باید تاسیسات مناسبی برای تله‌اندازی رسوب در مکان مناسبی ساخته شود که از ورود و ته‌نشینی رسوبات در کانال یا حوضچه جلوگیری به‌عمل آورد. این تاسیسات همچنین باید قادر به کاهش اثر موج در پیرامون خود بوده و کارایی لایروبی را افزایش دهد. نوع و جانمایی این تاسیسات تله‌اندازی رسوب را باید با در نظر گرفتن توانایی آن در تله‌اندازی رسوب، شرایط لایروبی و هزینه‌های اجرایی و بهره‌برداری که با پژوهش و بررسی کافی به‌دست آمده است، تعیین کرد. (۱) تاسیسات تله‌اندازی رسوب

یکی از روش‌های رایج تله‌اندازی رسوب، تدارک ناحیه‌ای با آب‌آرام برای فرونشست و ته‌نشینی رسوبات از طریق اجرای یک موج‌شکن جدا از ساحل یا کاهش جزئی ارتفاع دیواره تاج موج‌شکن بالادست می‌باشد. همچنین راهکارهای دیگری برای تله‌اندازی رسوب شامل لایروبی جامی وجود دارد که یکی از موارد کاربرد آن در کانال نوابری گذرنده از میان یک پشته ماسه‌ای بزرگ واقع بر بستر دریا در یک تنگه است که پس از لایروبی به تدریج طی فرآیند طبیعی دوباره بازیابی می‌شود. لایروبی جامی در بستر رودخانه نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد که در آن کم‌عمقی به‌واسطه آورد رسوبی رودخانه رخ داده است.

(۲) محل دقیق تاسیسات تله‌اندازی رسوب

دو روش برای جانمایی تاسیسات وجود دارد. روش نخست، قراردادن آن در ناحیه‌ای می‌باشد که در آن رسوب‌گذاری تحت شرایط طبیعی به راحتی رخ می‌دهد، مطابق مواردی که در شکل ۵-۵-۱ الف تا ج مشاهده می‌شود. روش دیگر ایجاد وضعیتی مصنوعی است که به نشست رسوبات در ناحیه دارای انتقال رسوب شدید منجر می‌شود، مطابق مواردی که در شکل ۵-۵-۱ د تا و نشان داده شده است. برای شناسایی جانمایی ویژه تله‌اندازی رسوب که بیشترین کارایی را داشته باشد، ضرورت دارد درک صحیحی از شرایط و مکانیزم انتقال رسوب وجود داشته باشد. علاوه بر کارایی تله‌اندازی رسوب، عامل انتخاب مکان تاسیسات از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، به گونه‌ای که در مکان مورد نظر باید شرایط برای انجام عملیات لایروبی رسوبات انباشته شده مناسب باشد. برای نمونه باید عمق کافی برای تردد لایروب موجود باشد و ناحیه لایروبی باید به قدر کافی آرام باشد تا کارهای لایروبی به آسانی انجام شود.

۵-۶- اقدامات پیشگیرانه در برابر ماسه بادرقتی

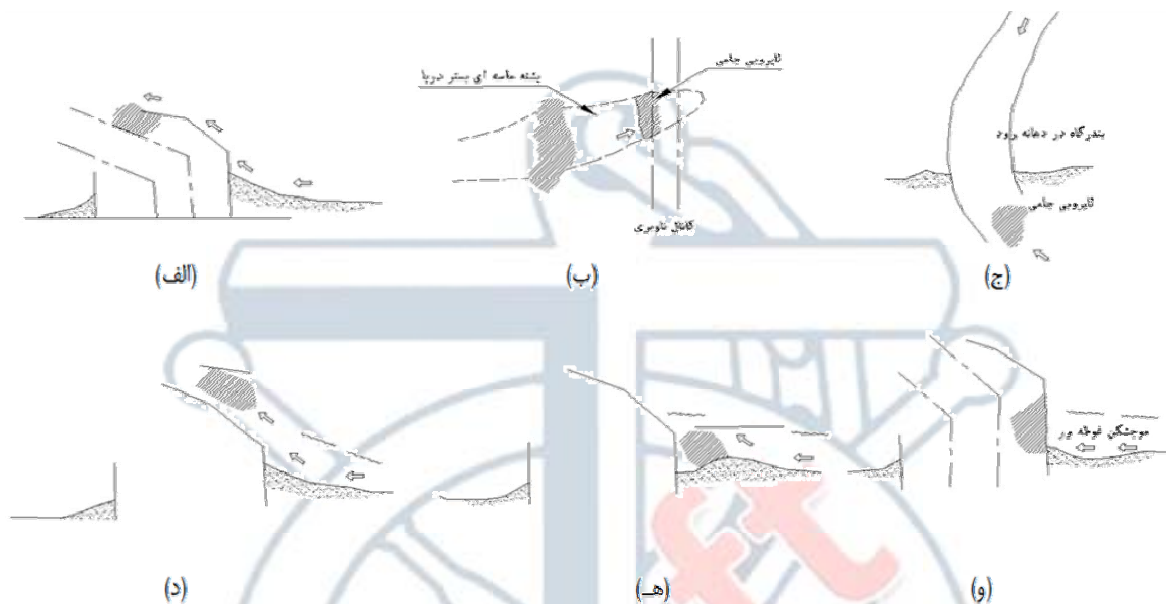
۵-۶-۱- کلیات

در مواردی که ماسه بادرقتی موجب ایجاد مشکل در زمینه کم‌عمقی لنگرگاه و کانال نوابری می‌شود و یا هنگامی که لازم است از ناحیه‌ای در برابر ماسه بادرقتی محافظت شود، می‌توان در صورت ضرورت از اقدامات پیشگیرانه در برابر ماسه بادرقتی استفاده کرد.

تفسیر

ماسه بادرقتی به ماسه‌ای گفته می‌شود که توسط باد انتقال یافته و وارد لنگرگاه و کانال نوابری می‌شود و پس از ته‌نشینی و رسوب‌گذاری سبب کم‌عمقی در ناحیه مورد نظر می‌شود. در برخی موارد، ماسه بادرقتی روی سطح جاده جمع و به سمت نواحی مسکونی پراکنده شده که سبب مختل شدن زندگی روزمره مردم می‌گردد. موارد بسیاری وجود دارد که حفر روباز تپه‌های ماسه‌ای یا استحصال زمین

سبب ایجاد مشکل در زمینه ماسه بادرفتی می‌شود که باید اقدامات پیشگیرانه مناسبی را در این باره در نظر گرفت.



شکل ۵-۱- موقیعت‌های گوناگون تاسیسات تله‌اندازی رسوب

۵-۶-۲- انتخاب اقدامات پیشگیرانه

انتخاب مناسب اقدامات پیشگیرانه در برابر ماسه بادرفتی باید با داشتن درک جامعی از مشخصه‌های هر راهکار و با در نظر گرفتن شرایط کنونی و پیش‌بینی شرایط آتی ماسه بادرفتی، صورت گیرد.

نکات فنی

معمولاً روش‌های پیشگیرانه زیر در برابر ماسه بادرفتی به کار می‌روند:

(۱) حصارهای ماسه و بادشکن

یکی از روش‌های متداول که به عنوان یک روش حفاظت ماسه به کار می‌رود شامل نصب حصارهای ماسه به ارتفاع تقریبی ۱ متر در ردیف‌های چند گانه برای تله‌اندازی ماسه بادرفتی می‌باشد که انتظار می‌رود سبب ایجاد یک تپه ساحلی مصنوعی شود. در سال‌های اخیر، موارد متعددی مشاهده شده است که از بادشکن مرتفع برای حفاظت نواحی انبار مصالح ریزدانه یا در نزدیکی نواحی استحصال شده استفاده می‌شود.

(۲) حصارهای کوتاه چند گانه

در این روش برای کاهش حرکت ماسه‌های سطحی، حصارهای کوتاه چند گانه نصب می‌شود که سبب افزایش زبری سطح زمین و کاهش نیروی برشی باد می‌گردد.

(۳) کارهای پوششی

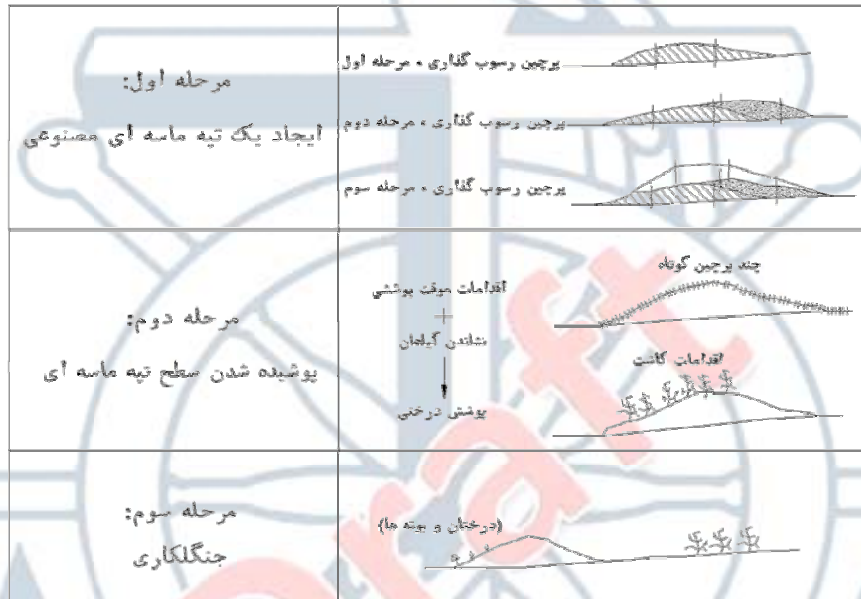
در این روش سطح ماسه‌ای توسط مصالح مصنوعی پوشانده شده و در نتیجه جابجایی ماسه را محدود می‌سازد.

(۴) کارهای پوشش گیاهی

در این روش سطح ماسه‌ای با کاشت گیاه پوشانده می‌شود. این روش به عنوان یکی از کارهای پوششی در نظر گرفته می‌شود.

۵) جنگل کاری

در این روش در پایین دست مکان انباشت ماسه بادرفتی درخت کاری شده که از انتقال ماسه بادرفتی پیشگیری می کند. اقدامات پیشگیرانه در برابر ماسه بادرفتی که به عنوان کنترل فرسایش ساحلی بکار می روند و هدف آنها پایدارسازی شکل سواحل ماسه ای می باشد را باید به صورت ترکیبی از روش های گوناگون به کار گرفت. این مراحل و روش ها به طور کلی در شکل ۵-۶-۱ نشان داده شده است.



شکل ۵-۶-۱- گام های مختلف عملیات ایجاد تپه ساحلی مصنوعی

فصل ۶- پوشش سنگچین

۶-۱- اصول طراحی

هنگام طراحی پوشش سنگچین باید موارد زیر بازرسی شود:

- ۱) ارتفاع دیواره تاج کافی که قادر به حفاظت زمین اصلاح شده در برابر موج و برکشند (خیزاب) طوفان بوده و همزمان کاربری زمین موردنظر را با مشکل روبرو نسازد.
- ۲) سازه‌ای که در برابر نیروهای خارجی همچون نیروهای موج و فشار خاک مقاومت کند.
- ۳) سازه‌ای که از نشت از میان محل خاک‌ریزی شده پیشگیری کند.
- ۴) اثرات بر نواحی آب پیرامونی، شامل پیشگیری از جریان یافتن آب‌لجنی حین کارهای استحصال‌زمین درنظر گرفته شود.
- ۵) در مورد دیواره ساحلی با رویکرد زیبایی‌شناختی، سازه‌ای ایمن و راحت برای کاربران ایجاد شود.

نکات فنی

- در نواحی پارک و فضای سبز، بهتر است پوشش سنگچین به گونه‌ای طراحی شود که جنبه زیبایی محیط دریا در نظر گرفته شود.
- ۱) مقاطع دیواره ساحلی باید به گونه‌ای با رویکرد زیبایی‌شناختی طراحی شود که از افتادن کاربران به درون دریا پیشگیری کند. علاوه بر این، باید تاسیسات جانبی همچون نرده محافظ که از افتادن کاربران پیشگیری کند، به گونه مناسب نصب شود.
 - ۲) در مورد تاسیساتی که در معرض امواج مرتفع بوده و انتظار روگذری موج از آن و پاشیده شدن به مکان قدم‌زنی کاربران ساحلی می‌رود، باید اقدامات مناسبی همچون نصب علامت هشدار برای آگاه‌سازی کاربران از خطر انجام شود.
 - ۳) عرض و شیب پیاده‌رو در طول پوشش سنگچین باید به گونه‌ای طراحی شود که رفت و آمد ایمنی را برای سالمندان و یا معلولان دارای صندلی چرخدار فراهم کند.

۶-۲- شرایط طراحی

معمولا شرایط طراحی زیر در نظر گرفته می‌شود:

- ۱) موج، تراز جزر و مدی، جریان جزر و مدی، عمق آب
- ۲) شرایط خاک زیرین
- ۳) زلزله و نیروی لرزه‌ای
- ۴) فشار دینامیکی آب حین زلزله
- ۵) ویژگی‌های خاک مورد استفاده برای خاک‌ریزی
- ۶) شرایط کاربرد خاک استحصال شده و پوشش‌های سنگچین
- ۷) میزان روگذری مجاز موج
- ۸) شرایط نواحی آب پیرامونی
- ۹) روش اجرا (به ویژه روش خاتمه)
- ۱۰) روش استحصال زمین

نکات فنی

۱) هنگام تعیین ارتفاع دیواره تاج و سازه پوشش سنگچین، نرخ روگذری مجاز، عاملی بحرانی می‌باشد که آن را باید با در نظر گرفتن شرایط پشت پوشش سنگچین به گونه مناسب تعیین کرد. برای کسب اطلاعات بیشتر به بخش ۲، بند ۴-۶-۲- روگذری موج مراجعه شود.

۲) در مورد شرایط خاک خاک‌ریزی به بخش ۲، فصل ۱۱- خاک بستر مراجعه شود.

۳) در مورد زلزله و نیروی لرزه ای به بخش ۲، فصل ۱۲- زلزله و نیروهای لرزه ای مراجعه شود.

۴) در مورد فشار دینامیکی آب حین یک زلزله به بخش ۲، فصل ۱۴- فشار زمین و فشار آب مراجعه شود.

۵) درحالی‌که یک ناحیه آبی وسیع با پوشش سنگچین محصور شده باشد، اندازه بازشدگی با پیشروی اجرای پوشش سنگچین کوچکتر شده و جریان بسیار سریعی در نقاط بسته شدن ایجاد می‌شود که ناشی از اختلاف تراز آب بین درون و بیرون پوشش سنگچین می‌باشد. بنابراین، باید توجه ویژه‌ای به سازه پوشش سنگچین در نقطه بسته شدن کرد که دارای پایداری کافی در برابر سرعت جریان محاسبه شده باشد.

۶) مشابه تراز آب داخل ناحیه محصور استحصال شده، دو نوع تراز آب باید در نظر گرفته شود که عبارتند از تراز آب داخل ناحیه استحصال شده و تراز آب باقیمانده پس از خاک‌ریزی. کاربرد تراز آب داخل ناحیه استحصال شده در محاسبه جریان تراوش یا در طراحی یک تصفیه‌خانه پساب می‌باشد. تراز آب باقیمانده به تراز آبی گفته می‌شود که بلافاصله پشت پوشش سنگچین قرار داشته و برای محاسبه پایداری پوشش سنگچین به کار می‌رود. اما هنگامی که تراز آب باقیمانده برای محاسبه گسیختگی لغزش دایروی به کار رود، در صورتی که تراز آب نزدیک پوشش سنگچین بیشتر از تراز آب باقیمانده باشد، ممکن است محاسبات به تخمین دست‌پایین خطر گسیختگی لغزش دایروی بیانجامد. در چنین مواردی، باید پایداری پوشش سنگچین را با استفاده از تراز آب درون ناحیه استحصال شده به دست آورد.

الف) تراز آب درون ناحیه استحصال شده

تراز آب درون ناحیه استحصال شده را باید با در نظر گرفتن پایداری پوشش سنگچین، در دو مقطع زمانی حین اجرا و پس از اتمام پروژه و تاثیر آن بر آب پیرامونی، تعیین کرد.

ب) تراز آب باقیمانده

۱) برای پوشش سنگچین با کاربری استحصال زمین، اغلب از سازه‌های با تراوایی کم استفاده می‌شود تا از ایجاد آلودگی در اثر تراوش از میان پوشش سنگچین پیشگیری شود. به همین علت، عموماً تراز آب باقیمانده پشت سنگچین بالاتر از تراز آب پشت اسکله دیواره‌ای یا پوشش سنگچین معمولی در نظر گرفته می‌شود.

۲) بر اساس نمونه‌های پیشین طراحی پوشش سنگچین استحصال نوع وزنی، تعداد مواردی که در آنها کاهش تراوایی با افزایش ضخامت مصالح پوشش فراهم می‌شود، بیشتر از مواردی است که سازه پوشش سنگچین از ماده‌ای با تراوایی کم ساخته شده باشد. به همین علت، در پوشش سنگچین نوع نخست، می‌توان تراز آب باقیمانده مورد استفاده در طراحی را معادل تراز آب پشت پوشش سنگچین نوع وزنی در نظر گرفت، زیرا رفتار تراز آب بلافاصله پشت این سازه پوشش سنگچین استحصال مشابه پوشش سنگچین نوع وزنی می‌باشد.

(۳) برای پوشش سنگچین استحصال با استفاده از دیوار سپری، نمونه‌هایی وجود دارد که در آنها برای افزایش آب‌بندی، مصالح‌دوغاب به‌درون درز دیوار سپری ریخته‌شده یا از یک سازه دیوار سپری مضاعف استفاده‌شده است. در چنین مواردی، تراز آب باقیمانده مورد استفاده در طراحی را باید با در نظر گرفتن تراوایی پوشش سنگچین و همچنین راهکارهای اجرایی، به‌طور دقیق تعیین نمود. (۷) در مواردی که پوشش سنگچین استحصال در مجاورت یک ناحیه زمین موجود ساخته می‌شود، اجرای پوشش سنگچین ممکن است سبب بالا آمدن تراز آب زیرزمینی یا از بین رفتن کیفیت آب زیرزمینی شود. هنگام مطالعه برنامه جانمایی استحصال زمین و سازه پوشش سنگچین باید به این جنبه‌ها توجه کافی شود و بهتر است شرایط آب زیرزمینی در ناحیه زمین مورد نظر را از پیش مورد بررسی قرار گیرد. علاوه بر این، در مواردی که احتمال از بین رفتن کیفیت آب زیرزمینی در اثر اجرای پوشش استحصال وجود دارد، باید اقدامات پیشگیرانه‌ای همچون اجرای یک دیواره آب‌بند برای جدا کردن آب زیرزمینی زمین مورد نظر از ناحیه استحصال شده به عمل آید. (۸) برای برآورد نرخ تراوش جریان از میان پوشش سنگچین استحصال به درون دریا باید تحلیل تراوش صورت گیرد و در تحلیل تراوش باید از قانون داریسی استفاده شود.

الف) تراوایی سازه دیوار سپری فولادی

تراوایی سازه دیوار سپری فولادی را نمی‌توان از قانون داریسی به دست آورد. با این حال، می‌توان این قانون را با تعیین یک عرض معادل مناسب و ضریب تراوایی معادل برای عرض مورد نظر، مورد استفاده قرار داد. علاوه بر این، از آنجا که نمی‌توان از بازسازی دقیق شرایط درزهای سازه اصلی توسط آزمون آزمایشگاهی با مقیاس مناسب اطمینان حاصل کرد، استفاده از مقادیر اندازه‌گیری شده در محل برتری دارد.

(۱) در مورد تراوایی سازه نوع دیوار سپری فولادی می‌توان از نتایج تحلیل‌های مربوط به اندازه‌گیری‌های در محل تراز آب باقیمانده چند پروژه که به شکل زیر می‌باشد استفاده نمود. در این تحلیل فرض شده است که دیواره سپری زیر بستر دریا ناتراوا بوده و بخشی از دیواره که بالای بستر دریا قرار دارد معادل لایه تراوایی به ضخامت ۱ متر، که قانون داریسی برای آن قابل کاربرد است، می‌باشد. نتایج به دست آمده برای ضریب تراوایی (ضریب معادل تراوایی) در محدوده 3×10^{-5} تا 1×10^{-5} بوده و نتایج تحلیل‌های مشابهی که برای دو نمونه دیواره اسکله نوع شمع لوله فولادی (با قطر تقریبی ۸۰ cm) به کار رفته، مقدار 6×10^{-5} cm/s را حاصل کرده است. لازم به ذکر است که ضریب تراوایی مصالح پشت‌ریز که در برداشت‌های پیشین به دست آمده بود، در محدوده 10^{-3} تا 10^{-2} قرار داشت.

(۲) تراوایی درز دیوار سپری دارای مشخصه‌های زیر می‌باشد:

در مواردی که از مصالح پشت‌ریز استفاده نمی‌شود، درز دیوار سپری دارای ماهیتی مشابه یک روزنه باریک با کاهش مقطع ناگهانی می‌باشد، و می‌توان آن را با رابطه ۶-۲-۱ با ثابت $n=0/5$ بیان کرد:

$$q = K \cdot h^n \quad (1-2-6)$$

که در آن:

q : نرخ جریان در واحد طول درز ($cm^3/s/cm$)

h : تفاوت تراز آب بین جلو و عقب دیوار سپری (cm)

K و n : ثابت

در مواردی که از مصالح پشت‌ریز استفاده می‌شود، ویژگی‌های مصالح پشت‌ریز تاثیر چشمگیری بر میزان تراوش از میان درز دارد. در

مجاورت مصالح پشت‌ریز زیر درز دیوار سپری، نقاطی وجود دارد که نمی‌توان در آنها از قانون داری استفاده کرد و تلاش شده تا تراوایی را به عنوان یک درز مرکب برآورد نمود که متشکل از ضخامت ویژه‌ای برای پشت‌ریز و درز دیوار سپری باشد. این طرز فکر برای تحلیل تراوش کارایی دارد. پس از انجام آزمایش‌هایی با لحاظ تاثیر اختلاف در درجه نیروی کششی درز و همچنین شرایط با یا بدون خاک‌ریزی توسط ماسه، *Shoji* و همکاران به‌ارائه یک رابطه تجربی پرداختند و نتایج آزمون نشان داده که درحالتی که پشت‌ریزی وجود داشته باشد و درزها توسط ماسه پر شده باشد، می‌توان برای ثابت n مقدار تقریبی $1/0$ را در نظر گرفت و بدین ترتیب مقدار K که بیانگر نتیجه آزمایش بود به دست آمد.

(۳) در مواردی که از یک روش آب‌بندی در درز دیوار سپری استفاده شده باشد، میزان کاهش تراوایی بسته به نوع ماده آب‌بندی و روش کاربرد آن متفاوت خواهد بود و باید بر اساس نتایج آزمایش‌های مورد اطمینانی که شرایط اجرایی میدانی را در نظر گرفته باشد، در مورد آن داوری نمود. برخی نمونه‌های آزمایش میدانی نشان داده که نرخ تراوش تا میزان 20% تا 40% در مقایسه با حالتی که ماده آب‌بند وجود نداشته، کاهش یافته است.

(ب) تراوایی زمین شالوده

(۱) تراوایی در زمین طبیعی

در مورد تراوایی زمین طبیعی، ضریب تراوایی لایه خاکی که در بردارنده زمین طبیعی باشد را باید با مراجعه به **بخش ۲**، بند **۱۱-۲-۳- ضریب نفوذپذیری خاک** محاسبه نمود.

(۲) تراوایی مقطع بهسازی شده خاک

در مواردی که اجرای یک پوشش سنگچین استحصال با اصلاح خاک همراه باشد، ضرورت دارد تا علاوه بر ارزیابی تراوایی زمین، تغییر ایجاد شده در تراوایی در اثر اصلاح خاک نیز بررسی شود.

(۳) در صورتی که شالوده از سنگ ساخته شده باشد، ملاحظات و بررسی‌های دقیقی از تراوایی موردنیاز است، زیرا ممکن است شالوده سنگی دارای ترک و گسل‌هایی باشد که بر نرخ تراوش تاثیرگذار است.

۶-۳- پایداری سازه‌ای

محاسبه پایداری پوشش سنگچین باید مطابق **بخش ۸، فصل ۴- اسکله دیواری وزنی** و دیگر مطالب مربوط به پایداری سازه‌های پوشش سنگچین انجام شود.

۶-۴- تعیین مقطع عرضی

پوشش سنگچین باید دارای ارتفاع دیواره تاج مناسبی باشند که تاثیر عواملی همچون نرخ روگذری و ترازهای جزر و مدی حین برکشند طوفان در آن بررسی شده باشد به گونه‌ای که ناحیه ساحلی پشت پوشش سنگچین کاملاً ایمن بوده و کاربری پوشش سنگچین و زمین پشت آن با مشکل روبرو نشود.

تفسیر

ارتفاع دیواره تاج پوشش سنگچین باید به اندازه‌ای باشد که علاوه بر داشتن ارتفاع آزاد در برابر موج طرح در تراز کشند طوفان طرح، با در نظر داشتن نرخ روگذری مجاز تعیین شده باشد (به **بخش ۲**، بند **۴-۶-۲- روگذری موج** مراجعه شود).

نکات فنی

در مواردی که برای استحصال زمین از لایروب پمپی استفاده می‌شود، رسوب نرم معلق پشت پوشش سنگچین انباشته می‌شود و در برخی مواقع فشار خاکی بیشتر از فشار مورد انتظار به پوشش سنگچین وارد شده و یا فشار هیدرواستاتیکی پشت پوشش سنگچین ممکن است تا تراز تاج نیز برسد. این موارد باید هنگام محاسبه پایداری مورد توجه قرار گیرد.

۶-۵- جزئیات

- ۱) بسته به شرایط موج، باید عملیات پیشگیری از آب‌شستگی و عملیات پوشش رو و یا پشت پوشش سنگچین انجام شود.
- ۲) با توجه به ماهیت مصالح استحصال شده، سازه پوشش سنگچین و تراز آب باقیمانده و غیره، باید راهکار حفاظتی مناسبی در برابر تراوش به کار گرفته شود.
- ۳) در صورت ضرورت باید تاسیسات خدماتی همچون پلکان، توسعه داده شود.

