جمهوری اسلامی ایران

معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس‌جمهور

# راهنمای طراحی و اجرای سازه‌ای حفاظت سواحل

## نشریه شماره ۶۲۹


معاونت نظارت راهبردی

امور نظام فنی

nezamfanni.ir

وزارت نیرو

دفتر مهندسی و معیارهای فنی آب و آبفا

http://seso.moe.org.ir

۱۳۹۲


omoorepeyman.ir

**بسمه‌تعالی**

معاون برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور

| | | |
|---|---|---|
| **بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران** | **شماره:** | **۹۲/۳۳۰۶۴** |
| | **تاریخ:** | **۱۳۹۲/۰۴/۱۹** |

**موضوع : راهنمای طراحی و اجرای سازه‌ای حفاظت سواحل**

**به استناد ماده (۲۳) قانون برنامه و بودجه و مواد (۶) و (۷) آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی- مصوب سال ۱۳۵۲ و در چارچوب نظام فنی و اجرایی کشور (موضوع تصویب‌نامه شماره ۴۲۳۳۹/ت۳۳۴۹۷هـ مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیأت محترم وزیران)، به پیوست نشریه شماره ۶۲۹ امور نظام فنی، با عنوان «راهنمای طراحی و اجرای سازه‌ای حفاظت سواحل» از نوع گروه سوم ابلاغ می‌شود.**

**رعایت مفاد این ضابطه برای دستگاه‌های اجرایی، مشاوران، پیمانکاران و سایر عوامل ذینفع نظام فنی و اجرایی در صورت نداشتن ضوابط معتبر بهتر، از تاریخ ۱۳۹۲/۰۹/۰۱ اجباری است.**

**بهروز مرادی**

omoorepeyman.ir

ش ش: ۳۳۵۸۰

# اصلاح مدارک فنی

**خواننده گرامی:**

امور نظام فنی معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، با استفاده از نظر کارشناسان برجسته مبادرت به تهیه این نشریه نموده و آن را برای استفاده به جامعه مهندسی کشور عرضه نموده است. با وجود تلاش فراوان، این اثر مصون از ایرادهایی نظیر غلطهای مفهومی، فنی، ابهام، ایهام و اشکالات موضوعی نیست.

***از این‌رو، از شما خواننده گرامی صمیمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده هرگونه ایراد و اشکال فنی مراتب را به صورت زیر گزارش فرمایید:***

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

***۲- ایراد مورد نظر را به صورت خلاصه بیان دارید.***

***۳- در صورت امکان متن اصلاح شده را برای جایگزینی ارسال نمایید.***

***۴- نشانی خود را برای تماس احتمالی ذکر فرمایید.***

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

پیشاپیش از همکاری و دقت نظر جنابعالی قدردانی می‌شود.

***نشانی برای مکاتبه :*** تهران، میدان بهارستان، خیابان صفی علی‌شاه – مرکز تلفن ۳۳۲۷۱ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، امور نظام فنی

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

omoorepeyman.ir

**بسمه تعالی**

## پیشگفتار

سواحل هر کشور اهمیت ویژه‌ای از دیدگاه توسعه اقتصادی، ارتباطات ملی و بین‌المللی و حتی سیاسی دارد و یکی از موقعیت‌های تمرکز فعالیت می‌باشد. کشور ما نیز با داشتن بیش از ۵۸۰۰ کیلومتر خط ساحلی در شمال و جنوب و افزون بر این سواحل دریاچه‌های داخلی و تالاب‌ها، از امکانات ویژه‌ای برای توسعه فعالیت‌های بندری، تجاری، حمل و نقل و رشد اقتصادی برخوردار شده است. از گذشته دور روش‌های بسیار متنوعی برای حفاظت سواحل و مهار فرسایش به‌کار برده شده است. مصالح سنگی، بتن، چوب، فلز و مواد مصنوعی همچون ژئوتکستایل‌ها و ژئوممبران‌ها، از مواد متداول در حفاظت سواحل دریا و محیط‌های آبی می‌باشد. آگاهی از روش‌های گوناگون حفاظت از سواحل و توجه به عملکرد سازه‌های مختلف در حفاظت سواحل، در مراحل مطالعه، طراحی و اجرا، تاثیر مستقیمی بر بهینه‌سازی طرح مورد نظر و اقتصادی‌تر شدن آن خواهد داشت.

با توجه به اهمیت مبحث فوق‌الذکر، امور آب وزارت نیرو در قالب طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور، تهیه «راهنمای طراحی و اجرای سازه‌ای حفاظت سواحل» را با هماهنگی امور نظام فنی معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس‌جمهور در دستور کار قرارداد و پس از تهیه، آن را برای تایید و ابلاغ به عوامل ذینفع نظام فنی اجرایی کشور به این معاونت ارسال نمود که پس از بررسی، براساس ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه و آیین‌نامه استانداردهای اجرایی مصوب هیات محترم وزیران و طبق نظام فنی اجرایی کشور (مصوب ۴۲۳۳۹/ت ۳۳۴۹۷ مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیات محترم وزیران) تصویب و ابلاغ گردید.

بدین وسیله معاونت نظارت راهبردی از تلاش و جدیت رییس امور نظام فنی جناب آقای مهندس غلامحسین حمزه مصطفوی و کارشناسان محترم امور نظام فنی و نماینده مجری محترم طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور وزارت نیرو، جناب آقای مهندس محمد ابراهیم نیا و متخصصان همکار در امر تهیه و نهایی نمودن این نشریه، تشکر و قدردانی می‌نماید و از ایزد منان توفیق روزافزون همه‌ی این بزرگواران را آرزومند می‌باشد.

امید است متخصصان و کارشناسان با ابراز نظرات خود درخصوص این نشریه ما را در اصلاحات بعدی یاری فرمایند.

**معاون نظارت راهبردی**

**تابستان ۱۳۹۲**

omoorepeyman.ir

## تهیه و کنترل راهنمای طراحی و اجرای سازه‌ای حفاظت سواحل [نشریه شماره ۶۲۹]

**مجری:** شرکت مهندسین مشاور پویا طرح پارس

| | | |
|---|---|---|
| **مولف اصلی:** مجید جندقی علائی | شرکت مهندسین مشاور پویا طرح پارس | دکترای مهندسی عمران |

### اعضای گروه تهیه‌کننده:

| | | |
|---|---|---|
| مجید جندقی علائی | شرکت مهندسین مشاور پویا طرح پارس | دکترای مهندسی عمران |
| مجید زینلی | شرکت مهندسین مشاور پویا طرح پارس | فوق‌لیسانس مهندسی عمران |
| مرتضی کلاهدوزان | دانشگاه صنعتی امیر کبیر | دکترای مهندسی عمران |
| سید محمد لاجوردی | شرکت مهندسین مشاور پویا طرح پارس | لیسانس مهندسی عمران |
| محمد هادی معینی | شرکت مهندسین مشاور پویا طرح پارس | دکترای مهندسی عمران |
| مصطفی نظرعلی | شرکت مهندسین مشاور پویا طرح پارس | فوق‌لیسانس مهندسی عمران |

**اعضای گروه نظارت:**

| | | |
|---|---|---|
| عقیل حاج مومنی | شرکت مهندسین مشاور سازه پردازی ایران | فوق‌لیسانس مهندسی سازه‌های هیدرولیکی |
| نرگس دشتی | طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور- وزارت نیرو | لیسانس مهندسی آبیاری |
| حمیدرضا ربیعی‌فر | دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب | دکترای مهندسی عمران- آب |
| علی فاخر | دانشگاه تهران | دکترای عمران |

**اعضای گروه تایید کننده (کمیته تخصصی رودخانه و سواحل طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور):**

| | | |
|---|---|---|
| محمود افسوس | شرکت مهندسین مشاور سازه‌پردازی ایران | فوق‌لیسانس مهندسی هیدرولیک |
| محمدحسن چیتی | شرکت مهندسین مشاور ساز آب‌پردازان | فوق‌لیسانس مهندسی سازه‌های آبی |
| فریدون خزاعی | انجمن شرکت‌های ساختمانی | فوق‌لیسانس مهندسی راه و ساختمان |
| نرگس دشتی | طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور- وزارت نیرو | لیسانس مهندسی آبیاری |
| شکور سلطانی | شرکت مدیریت منابع آب | دکترای مهندسی آب |
| حسن سید سراجی | دانشگاه صنعت آب و برق شهید عباسپور | دکترای مکانیک سیالات |
| حسام فولادفر | موسسه تحقیقات آب | فوق‌لیسانس مهندسی هیدرولیک |
| سیدکمال‌الدین نوری | وزارت کشور | لیسانس مهندسی کشاورزی |
| جبار وطن‌فدا | وزارت نیرو | فوق‌لیسانس مهندسی سازه‌های هیدرولیکی |

**اعضای گروه هدایت و راهبردی پروژه:**

| | |
|---|---|
| فرزانه آقارمضانعلی | رییس گروه امور نظام فنی |
| ساناز سرافراز | کارشناس منابع آب امور نظام فنی |

omoorepeyman.ir

# فهرست مطالب


| عنوان | صفحه |
| --- | --- |
| مقدمه | ۱ |
| فصل اول- کلیات | ۳ |
| ۱-۱- تعاریف | ۵ |
| ۱-۲- انواع سواحل و طبقه‌بندی آنها | ۹ |
| ۱-۲-۱- انواع ساحل از دیدگاه شکل خط ساحلی | ۹ |
| ۱-۲-۲- انواع سواحل از دیدگاه نیمرخ ساحلی | ۱۱ |
| ۱-۳- شرایط سواحل ایران | ۱۴ |
| ۱-۳-۱- خلیج فارس | ۱۴ |
| ۱-۳-۲- خلیج عمان | ۲۵ |
| ۱-۳-۳- دریای مازندران | ۲۶ |
| ۱-۴- بررسی ویژگی‌های کلی ساحل مورد مطالعه | ۳۲ |
| ۱-۴-۱- تعیین محدوده پروژه و شرایط مرزی | ۳۳ |
| ۱-۴-۲- اطلاعات هواشناسی | ۳۴ |
| ۱-۴-۳- فرآیندهای هیدرودینامیکی | ۳۵ |
| ۱-۴-۴- تغییرپذیری فصلی اقلیم امواج و جریان | ۳۵ |
| ۱-۴-۵- توپوگرافی خشکی و توپوگرافی بستر | ۳۶ |
| ۱-۴-۶- زمین ریخت‌شناسی و مشخصات رسوبات ساحلی | ۳۶ |
| ۱-۴-۷- تعیین الگوی انتقال رسوبات و رانه ساحلی | ۳۷ |
| ۱-۴-۸- روند تغییرات خط ساحلی | ۳۹ |
| ۱-۴-۹- اثرهای جانبی پروژه | ۴۰ |
| ۱-۴-۱۰- ملاحظات زیست محیطی | ۴۰ |
| ۱-۴-۱۱- ملاحظات منطقه‌ای | ۴۱ |
| ۱-۴-۱۲- ملاحظات ژئوتکنیکی | ۴۱ |
| ۱-۴-۱۳- مصالح موجود و ملزومات مرتبط با آن | ۴۳ |
| ۱-۴-۱۴- دسترسی به ساختگاه مورد مطالعه | ۵۹ |
| ۱-۴-۱۵- پایش طرح حفاظت ساحل | ۶۰ |
| ۱-۵- انواع و عوامل فرسایش و تخریب سواحل | ۶۰ |
| ۱-۵-۱- عوامل طبیعی فرسایش و تخریب سواحل | ۶۰ |


omoorepeyman.ir

## فهرست مطالب


| عنوان | صفحه |
|---|---|
| ۱-۵-۲- عوامل انسانی فرسایش و تخریب سواحل | ۶۲ |
| ۱-۶- عوامل سیلابی شدن سواحل | ۶۶ |
| ۱-۶-۱- عوامل طبیعی سیلابی شدن سواحل | ۶۷ |
| ۱-۶-۲- عوامل انسانی سیلابی شدن سواحل | ۶۷ |
| ۱-۶-۳- ملاحظات طراحی سازه‌های حفاظت ساحل در رابطه با سیلابی شدن | ۶۹ |
| فصل دوم- مراحل و روند مطالعات طرح‌های حفاظت سواحل | ۷۱ |
| ۲-۱- مراحل و روند مطالعات طرح‌های حفاظت سواحل | ۷۳ |
| ۲-۱-۱- نیازهای عمومی طرح حفاظت سواحل | ۷۴ |
| ۲-۱-۲- ملاحظات فنی طرح | ۷۸ |
| ۲-۱-۳- ملاحظات اقتصادی طرح | ۸۶ |
| ۲-۱-۴- ملاحظات زیست محیطی طرح | ۹۱ |
| ۲-۱-۵- مسایل اجتماعی | ۹۷ |
| فصل سوم- روش‌های سازه‌ای حفاظت سواحل | ۹۹ |
| ۳-۱- شرایط اساسی موثر در انتخاب مقدماتی نوع اقدام حفاظتی | ۱۰۱ |
| ۳-۱-۱- راهکارهای کلی مقابله با پدیده فرسایش یا سیلابی شدن ساحل | ۱۰۱ |
| ۳-۲- تعریف و زمینه‌های کاربرد انواع سازه‌های حفاظت سواحل | ۱۰۳ |
| ۳-۲-۱- دیوارهای ساحلی | ۱۰۳ |
| ۳-۲-۲- پوشش محافظ | ۱۰۵ |
| ۳-۲-۳- دیوارهای حایل | ۱۰۷ |
| ۳-۲-۴- موج‌شکن‌ها | ۱۰۹ |
| ۳-۲-۵- آبشکن‌ها | ۱۱۴ |
| ۳-۲-۶- دستک‌ها | ۱۲۱ |
| ۳-۲-۷- بندها و خاکریزهای ساحلی | ۱۲۵ |
| ۳-۲-۸- ژئوسینتتیک‌ها | ۱۲۷ |
| ۳-۳- ملاحظات طراحی سازه‌های حفاظت سواحل | ۱۴۱ |
| ۳-۳-۱- دیوارهای دریایی | ۱۴۲ |
| ۳-۳-۲- پوشش محافظ | ۱۶۸ |
| ۳-۳-۳- دیوارهای حایل | ۱۷۰ |


omoorepeyman.ir

## فهرست مطالب


| عنوان | صفحه |
|---|---|
| ۳-۳-۴- موج‌شکن‌ها | ۱۷۲ |
| ۳-۳-۵- آبشکن‌ها | ۱۸۵ |
| ۳-۳-۶- دستک‌ها | ۱۹۰ |
| ۳-۳-۷- بندها و خاکریزهای ساحلی | ۱۹۳ |
| ۳-۴- معیارهای انتخاب سازه‌های حفاظت سواحل | ۲۱۶ |
| ۳-۴-۱- نوع مشکل و کاربری سازه‌های ساحلی | ۲۱۹ |
| ۳-۴-۲- داده‌های موجود | ۲۲۱ |
| ۳-۴-۳- مصالح و امکانات موجود محلی | ۲۲۱ |
| ۳-۴-۴- معیارهای فنی | ۲۲۲ |
| ۳-۴-۵- جنبه‌های اقتصادی طرح | ۲۲۴ |
| ۳-۴-۶- جنبه‌های زیست محیطی طرح | ۲۲۵ |
| ۳-۴-۷- مسایل حقوقی و اجتماعی | ۲۲۵ |
| ۳-۴-۸- جنبه‌های زیبایی‌شناختی | ۲۲۶ |
| فصل چهارم- مدل‌سازی ریاضی و فیزیکی سواحل و سازه‌های حفاظت سواحل | ۲۲۷ |
| ۴-۱- انواع مدل‌ها و روش‌های مدل‌سازی | ۲۲۹ |
| ۴-۱-۱- مدل‌های فیزیکی یا مقیاسی | ۲۲۹ |
| ۴-۱-۲- مدل‌های عددی | ۲۳۰ |
| ۴-۲- مدل‌های مقیاسی | ۲۳۰ |
| ۴-۲-۱- سازه‌های ساحلی | ۲۳۱ |
| ۴-۲-۲- سازه‌های هیدرولیکی رودخانه‌ها و آبراهه‌های داخل خشکی | ۲۳۵ |
| ۴-۳- مدل‌سازی عددی | ۲۳۷ |
| ۴-۳-۱- سازه‌های ساحلی | ۲۳۷ |
| ۴-۳-۲- سازه‌های هیدرولیکی رودخانه‌ها و آبراهه‌های داخل خشکی | ۲۳۹ |
| ۴-۴- انتخاب مدل مناسب | ۲۴۳ |
| ۴-۴-۱- واسنجی | ۲۴۴ |
| ۴-۴-۲- صحت‌سنجی | ۲۴۴ |
| فصل پنجم- روش‌های اجرای سازه‌های حفاظت سواحل | ۲۴۷ |
| ۵-۱- کلیات | ۲۴۹ |


omoorepeyman.ir

## فهرست مطالب


| عنوان | صفحه |
|---|---|
| ۵-۲- تدارک اجرایی پروژه | ۲۵۰ |
| ۵-۲-۱- ملاحظات اجرایی | ۲۵۰ |
| ۵-۲-۲- مسایل متفرقه | ۲۵۰ |
| ۵-۲-۳- آماده‌سازی ساختگاه پروژه | ۲۵۴ |
| ۵-۲-۴- امکانات موردنیاز برای بارگیری و تخلیه | ۲۵۶ |
| ۵-۳- تجهیزات و ماشین‌آلات اجرایی | ۲۵۷ |
| ۵-۳-۱- کلیات | ۲۵۷ |
| ۵-۳-۲- ماشین آلات اجرای از خشکی | ۲۵۸ |
| ۵-۳-۳- ماشین آلات اجرای از دریا | ۲۶۰ |
| ۵-۳-۴- شرایط کاری | ۲۶۲ |
| ۵-۳-۵- رواداری‌های مجاز | ۲۶۵ |
| ۵-۴- شیوه‌های حمل و نقل مصالح | ۲۶۷ |
| ۵-۴-۱- حمل و نقل جاده‌ای | ۲۶۷ |
| ۵-۴-۲- حمل و نقل ریلی | ۲۷۰ |
| ۵-۴-۳- حمل و نقل دریایی | ۲۷۰ |
| ۵-۵- روش‌های اجرای کارهای حفاظت بستر و کناره‌ها | ۲۷۲ |
| ۵-۵-۱- انواع روش‌های اجرایی و کارکردها | ۲۷۲ |
| ۵-۵-۲- انواع کارهای حفاظت بستر | ۲۷۳ |
| ۵-۵-۳- انواع کارهای حفاظت کناره‌ها | ۲۷۵ |
| ۵-۶- روش‌های اجرای موج‌شکن‌ها | ۲۷۸ |
| ۵-۶-۱- کلیات | ۲۷۸ |
| ۵-۶-۲- اجرای موج‌شکن‌ها از خشکی | ۲۷۹ |
| ۵-۶-۳- اجرای موج‌شکن‌ها از دریا | ۲۸۲ |
| ۵-۶-۴- اجرای موج‌شکن‌ها از خشکی و دریا به طور همزمان | ۲۸۴ |
| ۵-۶-۵- شیوه استقرار قطعات آرمور بتنی | ۲۸۴ |
| ۵-۷- روش‌های اجرای دیوارهای دریایی | ۲۸۶ |
| ۵-۷-۱- کلیات | ۲۸۶ |
| ۵-۷-۲- مراحل اجرای دیوارهای دریایی | ۲۸۷ |


omoorepeyman.ir

## فهرست مطالب


| عنوان | صفحه |
|---|---|
| ۵-۷-۳- بازیابی مصالح سنگریز اولیه | ۲۸۷ |
| ۵-۷-۴- وضعیت امواج هنگام اجرای دیوار ساحلی | ۲۸۷ |
| ۵-۸- روش‌های اجرای پی | ۲۸۸ |
| ۵-۸-۱- روش‌های اجرای سازه‌های حفاظت پی | ۲۸۹ |
| ۵-۸-۲- نکات اجرایی مرتبط با پوشش خطوط لوله و کابل‌ها | ۲۸۹ |
| ۵-۹- روش‌های اجرایی در سواحل رودخانه | ۲۸۹ |
| ۵-۹-۱- روش‌های اجرایی حفاظت کناره | ۲۹۰ |
| ۵-۹-۲- نکات اجرایی طرح‌های حفاظتی حاشیه رودخانه‌ها | ۲۹۱ |
| ۵-۱۰- کنترل کیفیت اجرای پروژه | ۲۹۱ |
| ۵-۱۰-۱- روش‌های استقرار سنگ‌های آرمور و قطعات بتنی | ۲۹۱ |
| ۵-۱۰-۲- کنترل تراکم چیدمان قطعات آرمور | ۲۹۳ |
| ۵-۱۰-۳- کنترل کیفیت مصالح | ۲۹۳ |
| ۵-۱۱- تکنیک‌های برداشت و اندازه‌گیری میدانی | ۲۹۵ |
| ۵-۱۱-۱- کنترل برداشت | ۲۹۵ |
| ۵-۱۱-۲- نقشه‌برداری‌های پیش از ساخت | ۲۹۶ |
| ۵-۱۱-۳- نکات مرتبط با راستای سازه در پلان | ۲۹۶ |
| ۵-۱۱-۴- تنظیم نیمرخ‌های اجرایی | ۲۹۶ |
| ۵-۱۱-۵- الگوی استقرار قطعات آرمور | ۲۹۷ |
| ۵-۱۱-۶- نکات اجرای زیر آب | ۲۹۷ |
| ۵-۱۱-۷- تکنیک‌های برداشت زیر و بالای آب | ۲۹۷ |
| فصل ششم- اصول نگهداری و بهره‌برداری از سازه‌های حفاظت ساحلی | ۳۰۱ |
| ۶-۱- راهکارهای مدیریت مفهومی در فرآیند نگهداری | ۳۰۳ |
| ۶-۱-۱- مدیریت طرح حفاظت ساحلی در طول عمر سازه | ۳۰۳ |
| ۶-۱-۲- تعیین خط مشی نگهداری | ۳۰۴ |
| ۶-۲- شیوه توسعه یک استراتژی مدیریتی در فرآیند نگهداری | ۳۰۶ |
| ۶-۲-۱- تعیین برنامه مدیریتی نگهداری | ۳۰۶ |
| ۶-۲-۲- بهینه‌سازی بازه زمانی نگهداری | ۳۰۸ |
| ۶-۳- پایش سازه‌های حفاظت ساحلی | ۳۱۰ |


omoorepeyman.ir

## فهرست مطالب


| عنوان | صفحه |
|---|---|
| ۶-۳-۱- مقدمه‌ای بر پایش | ۳۱۰ |
| ۶-۳-۲- ملاحظات برنامه پایش | ۳۱۴ |
| ۶-۳-۳- تعیین بازه‌های زمانی بین پایش‌ها | ۳۱۹ |
| ۶-۳-۴- برداشت مقاطع سازه در بالای تراز سطح آب | ۳۲۱ |
| ۶-۳-۵- برداشت‌های زیر آبی | ۳۲۵ |
| ۶-۴- شیوه ارزیابی وضعیت و عملکرد سازه حفاظت ساحلی | ۳۲۷ |
| ۶-۴-۱- ارزیابی داده‌های پایش | ۳۲۸ |
| ۶-۴-۲- ارزیابی عملکرد سازه حفاظت ساحلی | ۳۲۸ |
| ۶-۴-۳- ارزیابی وضعیت آرمور | ۳۳۰ |
| ۶-۴-۴- بررسی گزینه‌های مدیریتی پایش | ۳۳۳ |
| ۶-۵- نگهداری، ترمیم و علاج‌بخشی | ۳۳۴ |
| ۶-۵-۱- ملاحظات عمومی نگهداری | ۳۳۴ |
| ۶-۵-۲- تعمیر و علاج‌بخشی سازه‌های حفاظت ساحلی دارای آرمور سنگی | ۳۳۵ |
| ۶-۵-۳- شیوه‌های تعمیر | ۳۳۷ |
| ۶-۵-۴- علاج‌بخشی و مقاوم‌سازی اساسی | ۳۳۸ |
| پیوست ۱- واژه‌نامه فارسی به انگلیسی | ۳۴۱ |
| پیوست ۲- واژه‌نامه انگلیسی به فارسی | ۳۵۷ |
| منابع و مراجع | ۳۷۳ |


## فهرست شکل‌ها


| عنوان | صفحه |
|---|---|
| شکل ۱-۱- انواع کشند نجومی | ۶ |
| شکل ۱-۲- انواع سواحل از دیدگاه شکل خط ساحلی | ۱۰ |
| شکل ۱-۳- خلیج فارس و خلیج عمان | ۱۶ |
| شکل ۱-۴- حوضه آبگیر خلیج فارس و خلیج عمان | ۱۷ |
| شکل ۱-۵- وضعیت امواج در پنج نقطه انتخابی از خلیج فارس | ۱۸ |
| شکل ۱-۶- گلموج میانگین سالیانه نقطه ۲۳-۳۶ در خلیج فارس | ۱۹ |
| شکل ۱-۷- گلموج میانگین سالیانه نقطه ۲۷-۷ در خلیج فارس | ۱۹ |


omoorepeyman.ir

# فهرست شکل‌ها


| عنوان | صفحه |
|---|---|
| شکل ۱-۸- گلموج میانگین سالیانه نقطه ۳۰-۲۹ در خلیج فارس | ۲۰ |
| شکل ۱-۹- گلموج میانگین سالیانه نقطه ۴۰-۲۲ در خلیج فارس | ۲۰ |
| شکل ۱-۱۰- گلموج میانگین سالیانه نقطه ۴۶-۱۸ در خلیج فارس | ۲۰ |
| شکل ۱-۱۱- نقشه زمین‌شناسی ایران | ۲۲ |
| شکل ۱-۱۲- موقعیت منطقه حفاظت شده حرا | ۲۳ |
| شکل ۱-۱۳- درختچه‌های حرا در سواحل جزیره قشم | ۲۳ |
| شکل ۱-۱۴- درختچه‌های حرای ساحل جزیره قشم در زمان مد | ۲۴ |
| شکل ۱-۱۵- بستر نمکی که درختچه‌های حرای موجود در سواحل خلیج فارس روی آن می‌رویند | ۲۴ |
| شکل ۱-۱۶- دریای مازندران | ۲۷ |
| شکل ۱-۱۷- حوضه آبگیر دریای مازندران | ۲۷ |
| شکل ۱-۱۸- نمودار تغییرات سطح آب دریای مازندران | ۲۸ |
| شکل ۱-۱۹- وضعیت امواج در پنج نقطه انتخابی از دریای مازندران | ۲۹ |
| شکل ۱-۲۰- گلموج میانگین سالیانه نقطه ۴-۴۱ در دریای مازندران | ۳۰ |
| شکل ۱-۲۱- گلموج میانگین سالیانه نقطه ۲-۲۹ در دریای مازندران | ۳۰ |
| شکل ۱-۲۲- گلموج میانگین سالیانه نقطه ۲-۲۱ در دریای مازندران | ۳۰ |
| شکل ۱-۲۳- گلموج میانگین سالیانه نقطه ۵-۱۳ در دریای مازندران | ۳۱ |
| شکل ۱-۲۴- گلموج میانگین سالیانه نقطه ۱۱-۲ در دریای مازندران | ۳۱ |
| شکل ۱-۲۵- بیلان رسوبی یک ناحیه ساحلی | ۳۴ |
| شکل ۱-۲۶- نقشه پهنه‌بندی خطر لرزه‌ای ایران | ۴۲ |
| شکل ۱-۲۷- طرح کلی توسعه خط ساحلی و توسعه ریخت‌شناسی مربوط به پشته ماسه‌ای در دهانه یک بندر | ۶۳ |
| شکل ۱-۲۸- رابطه بین شکل خلیج کوچک هلالی شکل و تغذیه مواد رسوبی به آن | ۶۵ |
| شکل ۲-۱- مراحل برنامه‌ریزی و طراحی سازه‌های حفاظت ساحلی | ۷۴ |
| شکل ۲-۲- مولفه‌های سازه‌ای یک سازه سنگی معمولی | ۸۲ |
| شکل ۲-۳- ناحیه‌های مختلف بارگذاری مربوط به یک سازه ساحلی در معرض امواج | ۸۴ |
| شکل ۳-۱- نمونه‌هایی از سازه‌های دیوار ساحلی | ۱۰۴ |
| شکل ۳-۲- نمونه‌ای از یک دیوار ساحلی (ونکوور، کانادا) | ۱۰۵ |
| شکل ۳-۳- نمونه‌هایی از پوشش‌های محافظ | ۱۰۵ |
| شکل ۳-۴- نمونه‌ای از یک پوشش محافظ ساخته شده توسط قطعات بتنی (بندر شهید کلانتری، ایران) | ۱۰۶ |


omoorepeyman.ir

# فهرست شکل‌ها


| عنوان | صفحه |
|---|---|
| شکل ۳-۵- نمونه‌ای از یک نوع دیوار حایل ساخته شده توسط چوب (اسکاتلند) | ۱۰۸ |
| شکل ۳-۶- نمونه‌ای از به کارگیری موج‌شکن‌های جدا از ساحل | ۱۰۹ |
| شکل ۳-۷- نمونه‌ای از به کارگیری موج‌شکن‌های جدا از ساحل | ۱۰۹ |
| شکل ۳-۸- نمونه‌ای از به کارگیری موج‌شکن‌های مستغرق در یک ناحیه ساحلی | ۱۱۰ |
| شکل ۳-۹- نمونه‌ای از به کارگیری موج‌شکن شناور | ۱۱۳ |
| شکل ۳-۱۰- تصویر شماتیک خط ساحلی تنظیم شده توسط آبشکن‌های گروهی و منفرد | ۱۱۵ |
| شکل ۳-۱۱- نمونه‌ای از یک نیمرخ ساحلی و توزیع انتقال رسوبات کرانه‌ای متناظر با آن | ۱۱۶ |
| شکل ۳-۱۲- جابجایی خط ساحلی به ازای طول‌های مختلف آبشکن. بالا: خط ساحلی بدون سازه آبشکن، وسط: خط ساحلی دارای یک آبشکن طولانی، پایین: خط ساحلی دارای یک آبشکن کوتاه | ۱۱۷ |
| شکل ۳-۱۳- جابجایی خط ساحلی برای آبشکن‌های گروهی بلند و کوتاه با فواصل مختلف | ۱۱۸ |
| شکل ۳-۱۴- نمونه‌ای از آبشکن‌های گروهی توده سنگی که برای حفاظت یک ساحل به کار گرفته شده‌اند | ۱۲۰ |
| شکل ۳-۱۵- نمونه‌ای از آبشکن‌های گروهی چوبی کوچک که در یک ساحل ماسه‌ای اجرا شده‌اند | ۱۲۱ |
| شکل ۳-۱۶- نمونه‌ای از به کارگیری دستک‌های دوتایی در دهانه یک شاخاب کشندی | ۱۲۲ |
| شکل ۳-۱۷- نمونه‌ای از به کارگیری دستک‌های دوتایی در دهانه یک شاخاب کشندی | ۱۲۳ |
| شکل ۳-۱۸- نمایی از به کارگیری ترکیبی موج‌شکن جدا از ساحل و دستک | ۱۲۳ |
| شکل ۳-۱۹- نمونه‌ای به کارگیری ترکیبی دستک و سرریز | ۱۲۴ |
| شکل ۳-۲۰- تاثیر وجود دستک بر مسیر جریان‌های کشندی و الگوی انتقال رسوبات | ۱۲۴ |
| شکل ۳-۲۱- بند ماسه‌ای سنتی که در ساحلی با جلگه کشندی ساخته شده است | ۱۲۶ |
| شکل ۳-۲۲- بند حفاظت شده توسط پوشش محافظ در یک ساحل دارای تپه‌های ماسه‌ای طبیعی | ۱۲۶ |
| شکل ۳-۲۳- شیوه به کارگیری ژئوتکستایل در پوشش محافظ | ۱۲۸ |
| شکل ۳-۲۴- کاربرد ژئوتکستایل در راه‌سازی به عنوان جدا کننده مصالح | ۱۳۰ |
| شکل ۳-۲۵- نقش ژئوسنتتیک در بهسازی بستر راه؛ الف- دارای ژئوتکستایل جداساز، ب- فاقد ژئوتکستایل جداساز | ۱۳۰ |
| شکل ۳-۲۶- استفاده از ژئوسنتتیک برای روسازی راه | ۱۳۱ |
| شکل ۳-۲۷- نقش ژئوسنتتیک به عنوان فیلتر | ۱۳۲ |
| شکل ۳-۲۸- استفاده از ژئوگرید به عنوان تثبیت کننده بستر | ۱۳۳ |
| شکل ۳-۲۹- استفاده از ژئوسنتتیک به عنوان تثبیت شیروانی‌ها و پایدارکننده دیوارهای حایل | ۱۳۳ |
| شکل ۳-۳۰- استفاده از ژئوسنتتیک به عنوان سازه نگهبان ساحلی در برابر نیروهای امواج | ۱۳۴ |
| شکل ۳-۳۱- استفاده از ژئوسنتتیک برای جلوگیری از فرسایش سطحی خاک | ۱۳۵ |


omoorepeyman.ir

# فهرست شکل‌ها


| عنوان | صفحه |
|---|---|
| شکل ۳-۳۲- استفاده از ژئوسنتتیک به عنوان زهکش در سازه‌های خاکی | ۱۳۶ |
| شکل ۳-۳۳- استفاده از ژئوسنتتیک به عنوان زهکش در سازه‌های خاکی | ۱۳۶ |
| شکل ۳-۳۴- نمونه‌ای از کاربرد ژئوممبرین در آب‌بندی یک دریاچه مصنوعی | ۱۳۷ |
| شکل ۳-۳۵- شکل شماتیک مسیر عبور آب در خاک بنتونیت سدیم دار مورد استفاده در GCLها | ۱۳۹ |
| شکل ۳-۳۶- جزییات GCL ها به منظور استفاده در آب‌بندی | ۱۳۹ |
| شکل ۳-۳۷- نمونه‌ای از کاربرد GCL در یک پروژه آب‌بندی مخزن | ۱۴۰ |
| شکل ۳-۳۸- استفاده از مصالح ژئوسنتتیک در آب‌بندی بدنه سدهای خاکی | ۱۴۰ |
| شکل ۳-۳۹- ارتفاع موج‌شکن‌های طرح | ۱۴۷ |
| شکل ۳-۴۰- دیوار ساحلی با وجه منحنی | ۱۵۱ |
| شکل ۳-۴۱- طرح شماتیک دیوار ساحلی پلکانی | ۱۵۱ |
| شکل ۳-۴۲- طرح شماتیک ترکیب شکل‌های منحنی و پلکانی در دیوار ساحلی | ۱۵۲ |
| شکل ۳-۴۳- طرح شماتیک یک دیوار ساحلی سنگریزه‌ای | ۱۵۲ |
| شکل ۳-۴۴- انواع آرمور بتنی که در سازه‌های ساحلی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Burcharth, 1993) | ۱۵۳ |
| شکل ۳-۴۵- پارامتر تشابه شکست و انواع شکست موج | ۱۵۸ |
| شکل ۳-۴۶- محافظت پنجه پوشش سنگریز (طرح‌های I تا VI) | ۱۶۲ |
| شکل ۳-۴۷- محافظت پنجه دیوارهای دریایی و دیوارهای حایل | ۱۶۳ |
| شکل ۳-۴۸- کف‌بند پنجه برای دیوارهای حایل پرده سپری | ۱۶۴ |
| شکل ۳-۴۹- مقدار Ns طرح محافظ پنجه برای دیوارهای عمودی | ۱۶۵ |
| شکل ۳-۵۰- استفاده از فیلتر الیافی زیر پوشش محافظ و سنگ‌های محافظ پنجه | ۱۶۷ |
| شکل ۳-۵۱- مقطع تیپ پوشش محافظ | ۱۶۸ |
| شکل ۳-۵۲- طرح کلی انواع گزینه‌های پوشش محافظ | ۱۶۹ |
| شکل ۳-۵۳- طرح کلی انواع دیوارهای حایل | ۱۷۱ |
| شکل ۳-۵۴- تعریف پارامترهای هندسی و شیوه انباشت رسوب برای موج‌شکن جدا از ساحل | ۱۷۲ |
| شکل ۳-۵۵- انواع موج‌شکن‌های جدا از ساحل | ۱۷۴ |
| شکل ۳-۵۶- شیوه‌های گوناگون دستیابی به شکل‌های مختلف ساحل به کمک موج‌شکن‌های جدا از ساحل گروهی | ۱۷۶ |
| شکل ۳-۵۷- دسته‌بندی سواحل از دیدگاه شدت قرارگیری در معرض امواج و نمایش عوارض ریخت شناسی | ۱۷۸ |
| شکل ۳-۵۸- پلان و نیمرخ مربوط به موج‌شکن‌های مستغرق | ۱۸۰ |
| شکل ۳-۵۹- رابطه ضریب عبور موج و عرض تاج موج‌شکن به ازای Rc های مختلف | ۱۸۰ |


omoorepeyman.ir

## فهرست شکل‌ها


| عنوان | صفحه |
|---|---|
| شکل ۳-۶۰- اثر ابعاد و فواصل موج‌شکن بر روی عوارض ساحلی | ۱۸۱ |
| شکل ۳-۶۱- الگوی جریان آب اطراف موج‌شکن‌های مستغرق با فواصل و ابعاد مختلف | ۱۸۲ |
| شکل ۳-۶۲- رابطه بین ضریب انتقال موج Ht/Hi و نسبت L/W | ۱۸۴ |
| شکل ۳-۶۳- انواع شکل‌های ممکن برای پلان آبشکن‌ها | ۱۸۶ |
| شکل ۳-۶۴- مهم‌ترین قسمت‌های نیمرخ طولی یک آبشکن | ۱۸۷ |
| شکل ۳-۶۵- نسبت فاصله به طول بین آبشکن‌ها بر حسب زاویه پیشروی موج غالب | ۱۸۸ |
| شکل ۳-۶۶- انتقال تدریجی از آبشکن‌های گروهی به ساحل اولیه | ۱۸۸ |
| شکل ۳-۶۷- نمونه‌ای از دستک‌های همگرا | ۱۹۱ |
| شکل ۳-۶۸- نمونه‌ای از دستک‌های منحنی شکل | ۱۹۱ |
| شکل ۳-۶۹- رابطه فاصله بین بازوهای دستک و حجم آب کشندی | ۱۹۳ |
| شکل ۳-۷۰- نمودار خمیری | ۱۹۹ |
| شکل ۳-۷۱- نمونه‌هایی از همبستگی مشخصه‌های مقاومتی خاک‌های ریزدانه | ۲۰۰ |
| شکل ۳-۷۲- نمونه‌هایی از همبستگی مشخصه‌های تحکیمی خاک‌های ریزدانه (ادامه دارد) | ۲۰۱ |
| شکل ۳-۷۲- نمونه‌هایی از همبستگی مشخصه‌های تحکیمی خاک‌های ریزدانه (ادامه از صفحه پیش) | ۲۰۲ |
| شکل ۳-۷۳- مقایسه حدود اتربرگ و درصد رطوبت طبیعی | ۲۰۳ |
| شکل ۳-۷۴- نمونه‌هایی از همبستگی بین پارامترهای مختلف خاک‌های درشت دانه | ۲۰۵ |
| شکل ۳-۷۵- طرح کلی بند ساحلی و نواحی قرضه | ۲۰۶ |
| شکل ۳-۷۶- نمونه ای از طول نامناسب و مناسب سکو با توجه به شرایط موجود پی | ۲۰۹ |
| شکل ۳-۷۷- طرح کلی یک ترانشه پنجه تراوای معمولی در یک بند ساحلی | ۲۱۰ |
| شکل ۳-۷۸- طرح کلی یک ترانشه تراوای معمولی به همراه چاه فشارشکن | ۲۱۰ |
| شکل ۳-۷۹- طرح کلی یک ترانشه تراوای پنجه که زیر شیروانی سمت خشکی قرارگرفته است. | ۲۱۰ |
| شکل ۳-۸۰- جزییات ترانشه پنجه تراوا به همراه لوله جمع‌آوری کننده | ۲۱۱ |
| شکل ۳-۸۱- طرح کلی یک چاه فشارشکن معمولی | ۲۱۲ |
| شکل ۳-۸۲- تراوش از مقطع همگن یک بند ساحلی قرار گرفته بر پی ناتراوا | ۲۱۲ |
| شکل ۳-۸۳- بند ساحلی دارای پنجه تراوا | ۲۱۳ |
| شکل ۳-۸۴- ترکیب پنجه تراوا با ترانشه کم عمق | ۲۱۳ |
| شکل ۳-۸۵- لایه زهکشی افقی | ۲۱۴ |
| شکل ۳-۸۶- لایه زهکشی اریب در یک خاکریز همگن | ۲۱۴ |


omoorepeyman.ir

# فهرست شکل‌ها


| عنوان | صفحه |
|---|---|
| شکل ۳-۸۷- لایه زهکشی اریب در یک خاکریز ناحیه‌بندی شده | ۲۱۴ |
| شکل ۳-۸۸- انتخاب نوع سازه حفاظت ساحلی با توجه به مراحل برنامه‌ریزی و طراحی پروژه | ۲۱۸ |
| شکل ۵-۱- ملزومات انباشت مصالح | ۲۵۴ |
| شکل ۵-۲- رابطه بین وزن بیل مکانیکی با وزن سنگ قابل حمل و طول دسترسی بیشینه | ۲۶۰ |
| شکل ۵-۳- انواع بارج‌های خود تخلیه برای تخلیه مستقیم مصالح توده‌ای | ۲۶۰ |
| شکل ۵-۴- طرح شماتیک فرآیند کنترل تخلیه مصالح | ۲۶۵ |
| شکل ۵-۵- تریلی کفی که برای حمل قطعات بزرگ سنگ استفاده می‌شود | ۲۶۸ |
| شکل ۵-۶- تریلی کفی که برای انتقال آرمورهای بتنی استفاده می‌شود | ۲۶۸ |
| شکل ۵-۷- نمونه‌ای از کامیون‌ها که برای حمل و تخلیه مستقیم سنگ از معدن تا محل اجرا استفاده می‌شود. | ۲۶۹ |
| شکل ۵-۸- نمونه‌ای از کامیون‌های کمپرسی چند دیفرانسیلی که برای اجرای موج‌شکن به کار می‌روند | ۲۷۰ |
| شکل ۵-۹- نمونه‌ای از یک بارج تخت که ۲۰۰۰۰ تن مصالح سنگی را حمل می‌کند | ۲۷۲ |
| شکل ۵-۱۰- استفاده از تیر شناور برای انتقال مترس | ۲۷۵ |
| شکل ۵-۱۱- باز کردن حلقه مترس از روی یک پانتون | ۲۷۶ |
| شکل ۵-۱۲- استقرار لایه ژئوتکستایل از راه باز کردن حلقه آن به سمت پایین کناره | ۲۷۶ |
| شکل ۵-۱۳- پوشاندن ژئوتکستایل به کمک سنگ‌های آرمور در جهت بالای شیب | ۲۷۷ |
| شکل ۵-۱۴- مهار کردن بالای مترس بر روی شیب | ۲۷۷ |
| شکل ۵-۱۵- استقرار مترس فیلتری پیش‌ساخته توسط جرثقیل مجهز به قاب نگهدارنده | ۲۷۸ |
| شکل ۵-۱۶- مقطع نمونه یک موج‌شکن معمولی | ۲۷۹ |
| شکل ۵-۱۷- مراحل متداول اجرای موج‌شکن از خشکی (پلان، نمای از کنار و مقطع) | ۲۸۰ |
| شکل ۵-۱۸- فضای مورد نیاز روی تاج موج‌شکن (ابعاد بر حسب متر) | ۲۸۱ |
| شکل ۵-۱۹- وجود پارکینگ در طول مغزه برای دور زدن و عبور وسایل نقلیه از کنار یکدیگر | ۲۸۱ |
| شکل ۵-۲۰- مراحل متداول اجرای موج‌شکن از دریا (پلان، نمای از کنار و مقطع) | ۲۸۲ |
| شکل ۵-۲۱- مراحل متداول اجرای موج‌شکن به صورت همزمان از خشکی و دریا (پلان، نمای از کنار و مقطع) | ۲۸۵ |
| شکل ۵-۲۲- استفاده از قلاب بازشو برای استقرار آرمور | ۲۸۵ |
| شکل ۵-۲۳- مراحل اجرای یک دیوار سنگریزه‌ای: در طول ساحل موجود (ES) و در طول ساحل تغذیه شده | ۲۸۶ |
| شکل ۵-۲۴- اجرای دیوار ساحلی در شرایط دریایی ناآرام | ۲۸۸ |
| شکل ۵-۲۵- اجرای لایه آرمور سنگی برای حفاظت کناره | ۲۹۰ |
| شکل ۵-۲۶- تاثیر روش‌های برداشت بر ضخامت لایه برای یک آرمور دو لایه | ۲۹۸ |


omoorepeyman.ir

## فهرست شکل‌ها


| عنوان | صفحه |
|---|---|
| شکل ۶-۱- فرآیند مدیریت کاربردی | ۳۰۶ |
| شکل ۶-۲- منحنی کارکرد سازه با گذشت عمر سازه | ۳۰۹ |
| شکل ۶-۳- تعیین زمان دخالت در عملکرد سازه | ۳۰۹ |
| شکل ۶-۴- شیوه محاسبه میزان خرابی لایه آرمور سازه ساحلی | ۳۱۲ |
| شکل ۶-۵- ضریب تراوایی فرضی (P) | ۳۱۴ |
| شکل ۶-۶- پنج اصل مدیریت داده‌ها | ۳۱۹ |
| شکل ۶-۷- برداشت عکس‌های مقایسه‌ای از موج‌شکن توسط یک قایق | ۳۲۳ |
| شکل ۶-۸- خطوط دارای نشست مساوی (هم نشست) لایه آرمور سنگی در یک موج‌شکن | ۳۲۵ |


## فهرست جدول‌ها


| عنوان | صفحه |
|---|---|
| جدول ۱-۱- مشخصات کشندی در نقاط مختلف خلیج فارس | ۱۷ |
| جدول ۱-۲- مختصات نقاط استخراج داده‌های موج در خلیج فارس | ۱۹ |
| جدول ۱-۳- مشخصات موج در نقاط انتخابی در خلیج فارس | ۲۱ |
| جدول ۱-۴- مشخصات کشندی در نقاط مختلف خلیج عمان | ۲۵ |
| جدول ۱-۵- مختصات نقاط استخراج داده‌های موج در دریای مازندران | ۲۹ |
| جدول ۱-۶- مشخصات موج در نقاط انتخابی دریای مازندران | ۳۱ |
| جدول ۱-۷- داده‌های خاک موردنیاز برای ارزیابی حالت‌های خرابی پی | ۴۳ |
| جدول ۱-۸- پارامترهای مرتبط با چگالی خاک | ۴۵ |
| جدول ۱-۹- ضرایب تراوایی مربوط به انواع خاک (K) | ۴۷ |
| جدول ۱-۱۰- ویژگی‌های مهندسی انواع سنگ‌ها | ۴۸ |
| جدول ۱-۱۱- چک لیست ارزیابی مناسب بودن سنگ | ۵۰ |
| جدول ۱-۱۲- مقاومت فشاری بتن‌های متداول | ۵۱ |
| جدول ۱-۱۳- مقاومت فشاری بتن به ازای نسبت‌های آب به سیمان مختلف | ۵۱ |
| جدول ۱-۱۴- محدوده‌های مقاومت کششی و تسلیم برخی فلزات | ۵۳ |
| جدول ۱-۱۵- رابطه بین عمر سازه (L)، دوره بازگشت رویداد دوره‌ای مورد نظر (Td) و خطر قابل قبول عدم کارکرد مناسب سازه حفاظت ساحلی حین عمر سازه (R) بر حسب درصد. | ۷۰ |


omoorepeyman.ir

# فهرست جدول‌ها


| عنوان | صفحه |
|---|---|
| جدول ۲-۱- حالت‌های مختلف خرابی یک سازه سنگی و پارامترهای دخیل | ۸۰ |
| جدول ۲-۲- کارکردهای گوناگون مولفه‌های سازه‌ای یک سازه سنگی معمولی | ۸۳ |
| جدول ۲-۳- نمونه‌هایی از هزینه‌های ثابت و متغیر مرتبط با سازه‌های ساحلی | ۸۸ |
| جدول ۳-۱- طرح شماتیک انواع موج‌شکن‌های شناور | ۱۱۲ |
| جدول ۳-۲- روابط بین پارامترهای زمان تناوب موج | ۱۴۴ |
| جدول ۳-۳- ضرایب پیشنهادی برای محاسبه وزن قطعات آرمور (امواج درحال شکست) | ۱۵۳ |
| جدول ۳-۴- تخلخل و ضرایب لایه برای انواع قطعات آرمور | ۱۵۵ |
| جدول ۳-۵- $H/H_{D=0}$ برای سطح خسارت لایه پوششی برای انواع آرمور ($H/H_{D=0}$ برای سطح خسارت به درصد) | ۱۵۷ |
| جدول ۳-۶- ضرایب تصحیح بالاروی از شیب‌های زبر | ۱۵۹ |
| جدول ۳-۷- انواع سواحل با توجه راستای امواج برخوردی و وضعیت حفاظت سواحل | ۱۷۷ |
| جدول ۳-۸- عوامل لازم برای انجام بررسی‌های میدانی گسترده و مطالعات طراحی | ۱۹۵ |
| جدول ۳-۹- فازهای مختلف بررسی‌های میدانی | ۱۹۶ |
| جدول ۳-۱۰- آزمون‌های آزمایشگاهی مربوط به خاک‌های چسبنده ریزدانه | ۱۹۷ |
| جدول ۳-۱۱- آزمون‌های آزمایشگاهی مربوط به مصالح تراوا | ۱۹۸ |
| جدول ۳-۱۲- حداقل فاکتورهای ایمنی مورد نیاز برای پایداری شیروانی بند ساحلی | ۲۱۵ |
| جدول ۳-۱۳- زمینه‌های کاربرد اقدامات حفاظت ساحل | ۲۲۰ |
| جدول ۵-۱- ملاحظات اجرایی | ۲۵۱ |
| جدول ۵-۲- میزان تقریبی مصالحی که می‌توان در هر هکتار انباشت نمود | ۲۵۵ |
| جدول ۵-۳- مروری بر انواع ماشین آلات و محدوده قدرت، جرم، ظرفیت و عرض آنها | ۲۵۸ |
| جدول ۵-۴- روابط بین مشخصه‌های مختلف ماشین آلات | ۲۵۹ |
| جدول ۵-۵- خلاصه‌ای از شرایط موج محدود کننده انواع مختلف شناور | ۲۶۴ |
| جدول ۵-۶- رواداری عمودی کاربردی قابل دسترس با ماشین‌آلات اجرای از خشکی | ۲۶۶ |
| جدول ۵-۷- رواداری‌های عمودی در استقرار سنگ که در عمل می‌توان با تجهیزات اجرای از دریا به آنها دست یافت | ۲۶۶ |
| جدول ۶-۱- مراحل ده گانه مدیریت کاربردی در برنامه مدیریت سازه | ۳۰۷ |
| جدول ۶-۲- انواع دانه‌بندی سنگ‌های آرمور که در اروپا مورد استفاده قرار می‌گیرند | ۳۱۲ |
| جدول ۶-۳- اندازه‌گیری شرایط عمومی یک سازه سنگی | ۳۱۶ |
| جدول ۶-۴- اندازه‌گیری وضعیت سازه‌ای سازه‌های ساحلی دارای آرمور | ۳۱۶ |
| جدول ۶-۵- محدوده مودهای خرابی و شاخص‌های آسیب دیدگی | ۳۱۶ |


omoorepeyman.ir

# فهرست جدول‌ها


| عنوان | صفحه |
| --- | --- |
| جدول ۶-۶- سنجش شرایط یا بارگذاری محیطی | ۳۱۸ |
| جدول ۶-۷- برنامه زمانی بازه‌های انجام پایش | ۳۲۱ |
| جدول ۶-۸- خروجی‌های حاصل از مقایسه وضعیت سازه‌های سنگی در طول زمان | ۳۲۸ |
| جدول ۶-۹- نگهداری یک سازه ساحلی بر اساس کارآیی عملکرد آن | ۳۲۹ |
| جدول ۶-۱۰- طبقه‌بندی‌های سازه‌ای و عملکردی متداول | ۳۲۹ |
| جدول ۶-۱۱- راهنمای رتبه‌بندی آسیب‌های وارد بر لایه آرمور | ۳۳۲ |
| جدول ۶-۱۲- راهکارهای مختلف تعمیر سازه‌های توده سنگی | ۳۳۶ |


omoorepeyman.ir

## مقدمه

مناطق ساحلی هر کشور در زمره منابع ارزشمند ملی آن کشور بـه شـمار رفتـه و اهمیـت ویـژه‌ای از دیـدگاه توسـعه اقتصـادی، ارتباطات ملی و بین‌المللی و حتی سیاسی دارد. کشور ما نیز با داشتن حدود ۵۰۰۰ کیلومتر خط ساحلی در شمال و جنوب و افزون بـر این سواحل دریاچه‌های داخلی و تالاب‌ها، از امکانات ویژه‌ای برای توسعه فعالیت‌های بندری، تجاری، حمل و نقل و رشـد اقتصـادی برخوردار شده است. امروزه با توجه به افزایش سطح آب دریاها و لزوم حفاظت از سـواحل در برابـر فرسـایش، آگـاهی از روش‌هـای گوناگون حفاظت از سواحل و توجه به عملکرد سازه‌های مختلف در حفاظت سواحل، در مراحل مطالعه، طراحی و اجرا، تاثیر مستقیمی بر بهینه‌سازی طرح مورد نظر و اقتصادی‌تر شدن آن خواهد داشت.

**– هدف**

هدف از تدوین راهنمای طراحی و اجرای سازه‌ای حفاظت سواحل، ارائه مجموعه‌ای کامل و جامع از روش‌های متداول و مناسـب حفاظت از سواحل با توجه به شرایط سواحل ایران، به منظور استفاده متخصصان، پژوهش‌گران و مشاوران در پروژه‌هـای پژوهشـی و اجرایی می‌باشد. در تهیه این راهنما با بهره‌گیری از تجربیات و آخرین منابع و دستاوردهای مراکز علمی و تحقیقـاتی داخـل و خـارج کشور، مجموعه‌ای از مناسب‌ترین روش‌های سازه‌ای حفاظت سواحل همراه با اصول طراحی و ملاحظـات اجرایـی و بهـره‌بـرداری و نگهداری ارائه شده است.

در این راهنما تلاش بر آن بوده است تا خط مشی‌های کلی زیر رعایت شود:

- **مصالح موجود در داخل کشور:** در این راستا تلاش شده است بیش‌تر بـه روش‌هـای مبتنـی بـر اسـتفاده از مصـالحی همچون خاک و ماسه، سنگ، بتن، فلز و چوب، با تاکید ویژه بر خاک، ماسه و سنگ، پرداخته شود.
- **ماشین‌آلات اجرایی موجود در داخل کشور:** بدین منظور بیش‌تر به ارائه روش‌های اجرایی پرداختـه شـده اسـت کـه امکان انجام آنها تا حد زیادی توسط پیمانکاران داخلی فراهم باشـد و از ارائـه روش‌هـای اجرایـی بسـیار پیچیـده کـه از ماشین‌آلات با فن‌آوری پیشرفته[1] و انحصاری استفاده می‌کنند، اجتناب شده است.
- **شرایط حاکم بر سواحل دریاهای ایران:** این راهنما بر اساس شرایط طبیعی حاکم بر سواحل دریاهـای ایـران تنظـیم شده است. بنابراین به پدیده‌هایی که وقوع آن در محدوده آب‌های کشور بسـیار نـادر و غیرعـادی مـی‌باشـند، همچـون چرخندهای اقیانوسی[2] یا یخ‌زدگی‌های بلندمدت پرداخته نشده است.
- **معرفی مصالح و روش‌های اجرایی نوین:** اگرچه هنگام تنظیم راهنما تاکید بر مصالحی بوده است که به فراوانی در کشـور یافت می‌شوند، لکن تلاش شده است تا در راستای پیشرفت صنعت مهندسی سواحل و دریای کشور، به معرفی مصالح نـوینی همچون ژئوتکستایل‌ها، ژئوممبران‌ها و ژئوتیوب‌ها و روش‌های کاربرد آنها در پروژه‌های حفاظت سـواحل، نیـز پرداختـه شـود. هم‌چنین برخی از روش‌های اجرایی نوین که امکان انجام آنها به طور بالقوه موجود می‌باشد نیز ارائه شده‌اند.

1- High-Tech
2- Oceanic Cyclone

omoorepeyman.ir

- **استفاده از مراجع و منابع مناسب:** راهنمای کنونی بر اساس پرکاربردترین و به‌روزترین استانداردها، آیین‌نامه‌ها، راهنماها و دیگر منابع و مراجع ملی و بین‌المللی موجود تهیه شده است که فهرست آنها در انتهای راهنما ارائه شده است.

**- دامنه کاربرد**

راهنمای حاضر تلاش کرده است تا در چارچوب اشاره شده به ارائه توصیه‌ها و راهکارهایی کلی در طراحی و اجرای سازه‌های حفاظت ساحلی در شرایط مختلف بپردازد. با این حال، نظر به گستردگی سواحل ایران و گوناگونی شرایط حاکم بر آنها از دیدگاه اقلیمی، هیدرودینامیکی، ریخت‌شناسی و دیگر جنبه‌های تاثیرگذار اجتماعی و سیاسی، انتظار می‌رود جنبه‌های خاص هر پروژه به طور جداگانه و با دقت بیش‌تر مورد مطالعه قرار گیرد.

omoorepeyman.ir

# فصل ۱

# کلیات

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

## ۱-۱- تعاریف

اسامی برخی از مراجع معروف که به طور متناوب در این راهنما به آنها اشاره خواهد شد به طور اختصار به صورت زیر می‌باشند. فهرست دیگر منابع و مراجع در انتهای راهنما آورده شده است.

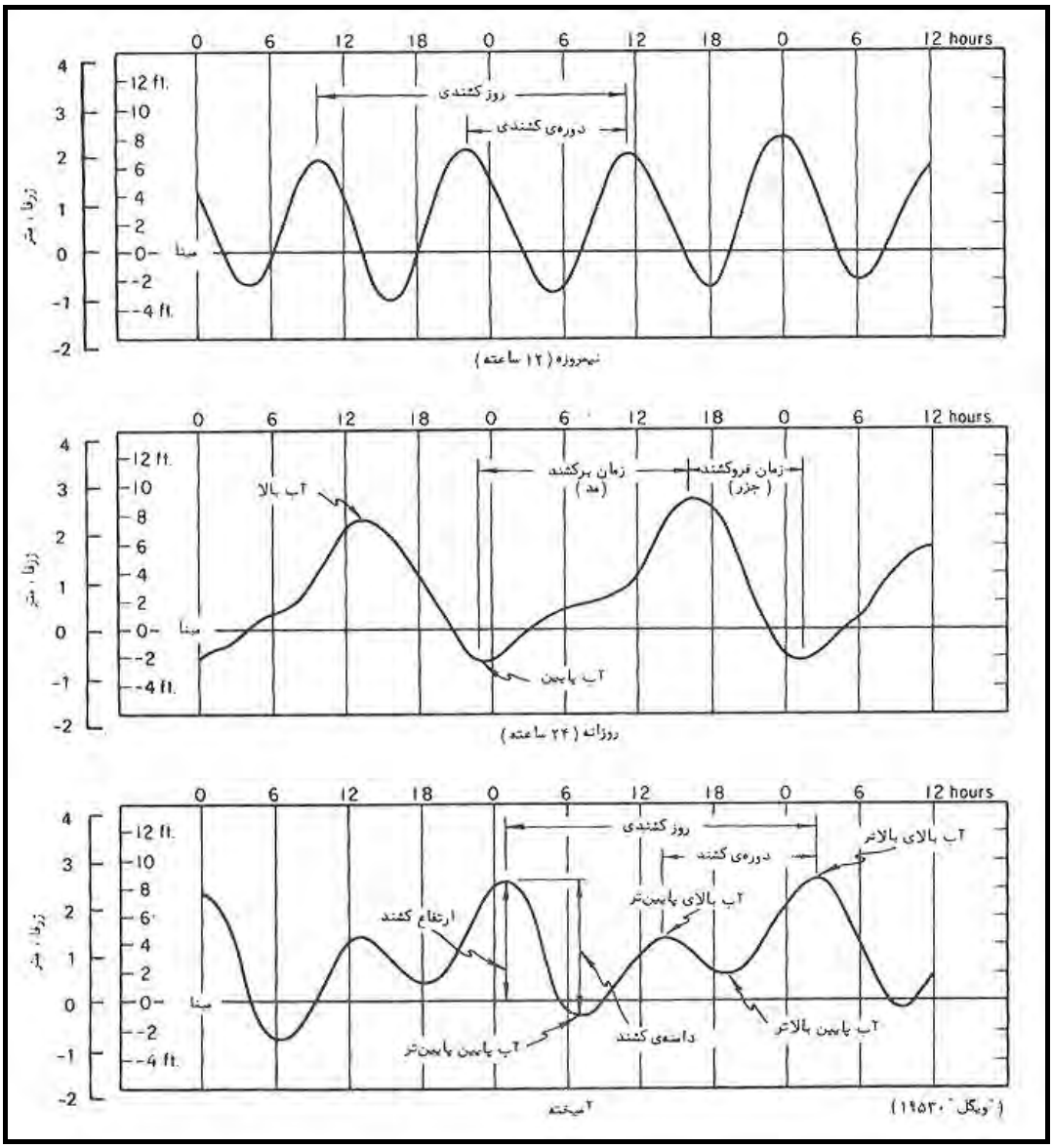
- **راهنما:**[1] منظور همین راهنما یا به بیان دیگر «راهنمای طراحی و اجرای سازه‌ای حفاظت سواحل» می‌باشد.
- **آیین‌نامه طراحی بنادر و سازه‌های دریایی ایران:** منظور یکی از نشریه‌های «آیین‌نامه طراحی بنادر و سازه‌های دریایی ایران» می‌باشد که در قالب ۱۱ نشریه توسط معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس‌جمهور در سال ۱۳۸۵ انتشار یافته است و بسته به مورد، به نام نشریه مورد نظر اشاره می‌شود.
- **راهنمای سنگ:** منظور ویرایش دوم «راهنمای سنگ: کاربرد سنگ در مهندسی آب» از سری گزارش‌های CIRIA می‌باشد که در سال ۲۰۰۷ انتشار یافته است.
- **راهنمای حفاظت ساحل آمریکا:** منظور «راهنمای حفاظت ساحل» از سری گزارش‌های مرکز پژوهش‌های مهندسی ساحل مربوط به انجمن مهندسان ارتش آمریکا می‌باشد که در سال ۱۹۸۴ انتشار یافته است.
- **راهنمای مهندسی ساحل آمریکا:** منظور «راهنمای مهندسی ساحل» از سری گزارش‌های مرکز پژوهش‌های مهندسی ساحل مربوط به انجمن مهندسان ارتش آمریکا می‌باشد که در سال ۲۰۰۶ انتشار یافته است.
- **استانداردهای فنی بنادر ژاپن:** منظور «استانداردهای فنی و راهنماهایی برای تاسیسات بنادر و لنگرگاه‌ها در ژاپن» می‌باشد که توسط موسسه توسعه نواحی ساحلی برون مرزی ژاپن در سال ۲۰۰۲ انتشار یافته است.

هم‌چنین تعاریف مربوط به برخی از اصطلاحات که در این راهنما به کار گرفته می‌شوند در زیر ارائه می‌شود. تعاریف کاربردی دیگر همچون انواع سواحل از دیدگاه شکل خط ساحلی و شکل نیمرخ ساحلی و دیگر اصطلاحات رایج در فرسایش و سیلابی شدن سواحل در ادامه و در همین فصل توضیح داده شده‌اند.

- **کشند:**[2] به تغییرات تراز آب ناشی از عوامل مختلف «کشند» گفته می‌شود. هر گاه عامل تغییرات از نوع نجومی‌باشد (به ویژه خورشید و ماه) به آن «کشند نجومی»[3] یا به اصطلاح «جزر و مد» گفته می‌شود. ولی هر گاه عامل تغییرات تراز آب عوامل هواشناسی باشد (همچون باد) به آن «کشند هواشناختی»[4] گفته می‌شود. بنابراین، به کارگیری واژه «جزر و مد» به جای واژه «کشند» در حالت کلی درست نمی‌باشد. در حالت کلی، کشند نجومی به سه شکل روزانه، نیم‌روزانه یا آمیخته می‌باشد. انواع کشند نجومی به همراه پارامترهای متداول در زمینه کشندها در شکل (۱-۱) نشان داده شده‌اند.
- **کشند روزانه:**[5] کشندی که در یک روز، یک آب بالا و یک آب پایین دارد (شکل ۱-۱).
- **کشند نیم‌روزانه:**[6] کشندی با دو آب بالا و دو آب پایین در یک روز کشندی، به همراه تغییر روزانه‌ی نسبتا کم (شکل ۱-۱).

1- Guideline
2- Tide
3- Astronomical Tide
4- Meteorological Tide
5- Diurnal Tide
6- Semidiurnal Tide

omoorepeyman.ir




**شکل ۱-۱- انواع کشند نجومی**

- **کشند آمیخته:**[1] نوعی کشند که در هر روز کشندی، دو آب بالا و دو آب پایین دارد که ارتفاعات دو آب بالا با همدیگر و دو آب پایین با یکدیگر اختلاف زیادی دارند و این اختلاف به یک موج روزانه می‌انجامد. در واقع همه‌ی کشندها از نوع آمیخته هستند و این اسم، محدوده‌ی قطعی ندارد ولی معمولا به کشندهایی گفته می‌شود که بین کشندهای به طور مشخص نیم‌روزانه و روزانه قرار دارند.
- **برکشند طوفان:**[2] به خیزی بالاتر از سطح طبیعی آب در ساحل باز گفته می‌شود که بر اثر تنش وارده از سوی باد بر سطح آب به وجود آمده باشد. این نوع بالا آمدن آب اگر از یک گردباد به وجود آید، افزون بر خیزهای ناشی از اثر باد، خیزهای ناشی از افت فشار جو را نیز در بر می‌گیرد.

1- Mixed Tide
2- Storm Surge

omoorepeyman.ir

- **شاخاب کشندی:**[1] یک شاخاب طبیعی که به وسیله‌ی جریان کشندی ایجاد می‌گردد و هنگام جزر در آن جریان به وجود می‌آید.
- **خور:**[2] بخشی از یک رودخانه که تحت تاثیر جزر و مد قرار می‌گیرد یا محدوده‌ای نزدیک دهانه‌ی یک رودخانه که در آن آب شیرین رودخانه با آب شور دریا مخلوط می‌شود. باید توجه نمود که بسیاری از مناطقی که در سواحل جنوبی ایران توسط افراد محلی با نام خور شناخته می‌شوند (مانند خور موسی) به دلیل نداشتن رودخانه با بده قابل توجه در انتهای شاخاب مورد نظر، در عمل خور نبوده و فقط یک شاخاب کشندی هستند.
- **خیزآب باد:**[3] به بالا آمدن تراز آب ساکن در سمت پایین‌دست پهنه‌های آبی کوچک به واسطه اثر تنش باد بر سطح آب گفته می‌شود. برای پهنه‌های آبی بزرگ معمولا از برکشند طوفان استفاده می‌شود.
- **خیزآب موج:**[4] به بالا آمدن سطح آب بالاتر از تراز برکشند معمولی[5] به واسطه انتقال جرم رو به ساحل آب توسط اثر موج به تنهایی گفته می‌شود.
- **بالاروی موج:**[6] به بالاروی قائم یک موج نسبت به تراز آب ساکن، بر روی یک ساحل یا سازه ساحلی گفته می‌شود.
- **ارتفاع موج شاخص:**[7] به میانگین ارتفاع یک سوم از بلندترین امواج یک گروه موج مشخص گفته می‌شود. باید توجه داشت که ترکیب امواج بلند به تعریف قلمرو امواج کوتاه بستگی دارد. در تحلیل آماری موج به ارتفاع میانگین یک سوم از بلندترین ارتفاعات تعداد مشخصی موج، ارتفاع موج شاخص می‌گویند. این تعداد با تقسیم زمان بر زمان تناوب موج شاخص تعیین می‌شود.
- **زمان تناوب موج شاخص:**[8] یک زمان تناوب اختیاری که معمولا به عنوان زمان تناوب یک سوم از بلندترین امواج یک گروه موج مشخص، انتخاب می‌شود. باید توجه داشت که ترکیب بلندترین امواج، به تعریف قلمرو امواج کوتاه بستگی دارد. در تحلیل آماری موج، این زمان تناوب به عنوان زمان تناوب میانگین امواج بزرگی که در بین امواج مورد مطالعه، دارای بیش‌ترین تکرار هستند، تعیین می‌شود.
- **تغذیه ساحل:**[9] فرآیند دوباره پرکردن یا ساختن ساحل می‌باشد. این کار ممکن است به گونه‌ای طبیعی به وسیله‌ی انتقال موازی ساحل یا به گونه‌ای مصنوعی به وسیله‌ی ته‌نشین کردن مواد لایروبی شده انجام شود.
- **دیوار ساحلی:** دیوار ساحلی سازه‌ای می‌باشد که ناحیه آبی دریا را از خشکی ساحل جدا می‌کند. دیوار ساحلی به منظور پیشگیری از فرسایش ساحلی و دیگر خسارت‌های ناشی از اثر موج و برکشند طوفان طراحی شده است. دیوارهای دریایی معمولا سازه‌های حجیمی می‌باشند زیرا برای مقاومت در برابر نیروی کامل امواج و برکشند طوفان طراحی شده‌اند. برای اطلاعات بیش‌تر به بخش‌های ۳-۲-۱ و ۳-۳-۱ مراجعه شود.

1- Tidal Inlet
2- Estuary
3- Wind Setup
4- Wave Setup
5- Normal Surge Elevation
6- Wave Runup
7- Significant Wave Height
8- Significant Wave Period
9- Beach Nourishment

omoorepeyman.ir

- **پوشش محافظ:**[1] منظور از پوشش محافظ رویه‌ای است که توسط قطعات یا دال‌های بتنی، سنگی و مانند این‌ها ساخته شده باشد. پوشش محافظ برای حفاظت یک سطح شیب‌دار ساحلی، پنجه یک صخره، تپه ماسه‌ای ساحلی، بند یا دیوار ساحلی در برابر اثر موج، برکشند طوفان و جریان‌ها ساخته می‌شود. برای اطلاعات بیش‌تر به بخش‌های ۳-۲-۲ و ۳-۳-۲ مراجعه شود.
- **دیوار حایل:**[2] یک دیوار حایل سازه‌ای است که از لغزش زمین‌های ساحلی و ریزش آنها به درون دریا پیشگیری می‌کند. هدف دوم دیوار حایل، محافظت ساحل در برابر اثر مخرب موج می‌باشد. دیوارهای حایل معمولا کوچک‌تر از دیوارهای دریایی می‌باشند زیرا هدف اصلی آنها نگه داشتن مصالح پشت دیواره در مناطقی با اثر موج محدود است و نه پیشگیری از فرسایش ساحلی. برای اطلاعات بیش‌تر به بخش‌های ۳-۲-۳ و ۳-۳-۳ مراجعه شود.
- **موج‌شکن‌های جدا از ساحل:**[3] سازه‌هایی هستند که به موازات ساحل و درون یا بیرون ناحیه شکست امواج ساخته می‌شوند. جنس این سازه‌ها عمدتا به صورت توده سنگی می‌باشد. دو هدف اصلی از احداث موج‌شکن‌های جدا از ساحل، حفاظت اسکله‌های پهلوگیری کشتی در برابر تاثیر امواج و حفاظت سواحل می‌باشد. برای اطلاعات بیش‌تر به بخش‌های ۳-۲-۴-۱ و ۳-۳-۴-۱ مراجعه شود.
- **موج‌شکن‌های مستغرق یا تاج کوتاه:**[4] سازه‌هایی عمدتا توده‌سنگی هستند که به صورت جدا از ساحل اجرا گردیده و تراز تاج آنها پایین‌تر از تراز سطح آب قرار دارد. هدف اصلی از اجرای این سازه ساحلی، کاهش نیروی هیدرولیکی امواج است به گونه‌ای که تعادل دینامیکی خط ساحلی حفظ گردد. برای اطلاعات بیش‌تر به بخش‌های ۳-۲-۴-۲ و ۳-۳-۴-۲ مراجعه شود.
- **آبشکن:**[5] آبشکن‌ها سازه‌هایی مستقیم می‌باشند که معمولا به طور قائم (و گاهی نیز اریب) بر خط ساحل اجرا می‌شوند. هدف این سازه‌ها مسدود ساختن بخشی از انتقال رانه ساحلی است به گونه‌ای که رسوبات در بالادست آنها به تله می‌افتند. آبشکن‌ها دارای شکل‌های ویژه‌ای همچون نمایان[6] (غیر غوطه‌ور)، شیب‌دار و غوطه‌ور می‌باشند. هم‌چنین آبشکن‌ها می‌توانند به صورت منفرد یا گروهی اجرا شوند. برای اطلاعات بیش‌تر به بخش‌های ۳-۲-۵ و ۳-۳-۵ مراجعه شود.
- **دستک:**[7] دستک‌ها سازه‌های متصل به ساحلی هستند که اغلب عمود بر خط ساحلی اجرا شده و از کم عمق شدن کانال توسط انباشت رسوبات کرانه‌ای جلوگیری می‌کنند و افزون بر این کار هدایت جریان‌های رودخانه‌ای و کشندی را نیز انجام می‌دهند. دستک‌هایی که در دهانه رودخانه یا خور اجرا می‌شوند، به عمیق ماندن و پایداری کانال نیز کمک می‌کنند. برای اطلاعات بیش‌تر به بخش‌های ۳-۲-۶ و ۳-۳-۶ مراجعه شود.

1- Revetment
2- Bulkhead
3- Detached Breakwater
4- Submerged or Low-Crested Breakwaters
5- Groin
6- Emerged
7- Jetty

omoorepeyman.ir

- **بند یا خاکریز ساحلی:**[1] یک بند یا خاکریز ساحلی، سازه‌ای می‌باشد که سواحل پست و نواحی پسکرانه را در برابر سیلابی شدن هنگام رخ دادن کشندها و برکشندهای طوفانی شدید محافظت می‌کند. یک بند ساحلی معمولا از ماسه به همراه یک لایه خاک دارای پوشش گیاهی تشکیل شده است. با این حال، اگر بند در مکانی قرار گرفته باشد که اثر امواج شدید باشد، ضرورت دارد روبروی بند توسط یک پوشش محافظ محافظت شود. در این حالت، سازه حفاظتی را می‌توان در زمره دیوارهای دریایی نیز طبقه‌بندی نمود. برای اطلاعات بیش‌تر به بخش‌های ۳-۲-۷ و ۳-۳-۷ مراجعه شود.
- **ژئوسنتتیک:**[2] ژئوسنتتیک‌ها مواد مصنوعی می‌باشند که از دیدگاه ساختاری از ملکول‌های زنجیره‌ای شکلی به نام پلیمر ساخته شده‌اند. معروف‌ترین انواع ژئوسنتتیک‌ها که در پروژه‌های حفاظت ساحلی مورد استفاده قرار می‌گیرند عبارتند از: ژئوتکستایل‌ها، ژئوممبران‌ها و ژئوتیوب‌ها. برای اطلاعات بیش‌تر به بخش ۳-۲-۸ مراجعه شود.

## ۱-۲- انواع سواحل و طبقه‌بندی آنها

شناخت نوع ساحل مورد مطالعه تاثیر چشمگیری بر درک خصوصیات هیدرودینامیکی منطقه و نیز انتخاب راهکار حفاظت ساحلی مناسب خواهد داشت. به همین دلیل ضرورت دارد هنگام انتخاب راهکار حفاظتی ساحلی مناسب، تحلیلی درباره ریخت‌شناسی ساحل مورد مطالعه انجام شود. در ادامه طبقه‌بندی انواع سواحل از دیدگاه شکل خط ساحلی و نیز نوع نیمرخ ساحلی ارائه شده است.

### ۱-۲-۱- انواع ساحل از دیدگاه شکل خط ساحلی

در این قسمت انواع ساحل از دیدگاه شکل خط ساحلی مطابق با طبقه‌بندی مرکز اقیانوس‌شناسی و هواشناسی دریایی آمریکا ارائه شده است. این سواحل به طور شماتیک در شکل (۱-۲) نشان داده شده‌اند.

#### ۱-۲-۱-۱- ساحل مانعی

ساحل مانعی[3] به ساحل طولانی و باریکی از ماسه و یا شن گفته می‌شود که به موازات خط ساحلی کشیده شده است و توسط کشند، مستغرق نمی‌شود. به جزیره‌ای که دارای چنین ساحلی به موازات خط ساحلی باشد، جزیره مانعی[4] گفته می‌شود.

#### ۱-۲-۱-۲- ساحل کاو

ساحل کاو[5] یا مقعر به ساحلی گفته می‌شود که دارای شکل درون رفته و مقعر باشد.

#### ۱-۲-۱-۳- ساحل کوژ

ساحل کوژ[6] یا محدب به ساحلی گفته می‌شود که دارای شکل برون زده یا محدب باشد.

1- Dike (Dyke) or Levee
2- Geosynthetic
3- Barrier Beach
4- Barrier Island
5- Concave Beach
6- Convex Beach

omoorepeyman.ir

### ۱-۲-۱-۴- ساحل درون رفته

ساحل درون رفته[1] یا ساحل انبانه‌ای به ساحل کوچکی گفته می‌شود که در راس تورفتگی‌های یک ساحل نامنظم با دماغه‌های ساحلی متعدد، قرار دارد.

**شکل ۱-۲- انواع سواحل از دیدگاه شکل خط ساحلی**

(۱) ساحل مانعی
(۲) ساحل کاو (مقعر)
(۳) ساحل کوژ (محدب)
(۴) ساحل درون رفته (انبانه‌ای)
(۵) ساحل مستقیم
(۶) ساحل زبانه‌ای
(۷) ساحل پشته‌ای ارتباطی
(۸) ساحل انتهای خلیج کوچک
(۹) ساحل کنار خلیج کوچک
(۱۰) ساحل پشته‌ای میان خلیجی
(۱۱) ساحل پشته‌ای راس خلیج کوچک
(۱۲) ساحل پشته‌ای دهانه خلیج کوچک

### ۱-۲-۱-۵- ساحل مستقیم

ساحل مستقیم[2] به ساحل طولانی و مستقیمی گفته می‌شود که دارای هیچ‌گونه درون رفتگی یا برون‌زدگی ویژه‌ای در سرتاسر طول خود نباشد.

### ۱-۲-۱-۶- ساحل زبانه‌ای

ساحل زبانه‌ای[3] به ساحل کشیده‌ای گفته می‌شود که از خط ساحلی شروع شده و به سمت دریا توسعه یافته است. این‌گونه سواحل دست کم حین کشند پایین، نمایان[4] هستند.

1- Pocket Beach
2- Straight Beach
3- Spit Beach
4- Exposed

omoorepeyman.ir

### ۱-۲-۱-۷- ساحل پشته‌ای ارتباطی

ساحل پشته‌ای ارتباطی[۱] به ساحلی گفته می‌شود که یک تخته سنگ بزرگ یا جزیره را به سرزمین اصلی یا یک جزیره بزرگ متصل می‌سازد.

### ۱-۲-۱-۸- ساحل انتهای خلیج کوچک[۲]

این نوع سواحل در انتهای بالایی خلیج‌های کوچک قرار دارند.

### ۱-۲-۱-۹- ساحل کنار خلیج کوچک[۳]

این نوع سواحل در کنار خلیج‌های کوچک قرار دارند.

### ۱-۲-۱-۱۰- ساحل پشته‌ای میان خلیجی

ساحل پشته‌ای میان خلیجی[۴] به بالا آمدگی ماسه‌ای یا مرجانی گفته می‌شود که به طور عمود از ساحل بیرون آمده و در داخل یک خلیج کوچک شکل گرفته است.

### ۱-۲-۱-۱۱- ساحل پشته‌ای راس خلیج کوچک

ساحل پشته‌ای راس خلیج کوچک[۵] به بالاآمدگی ماسه‌ای، شنی یا مرجانی گفته می‌شود که موازی با ساحل فراساحلی امتداد یافته و در انتهای بالایی یک خلیج کوچک قرار گرفته است.

### ۱-۲-۱-۱۲- ساحل پشته‌ای دهانه خلیج کوچک

ساحل پشته‌ای دهانه خلیج کوچک[۶] به بالاآمدگی ماسه‌ای، شنی یا مرجانی گفته می‌شود که در بازشدگی یک خلیج کوچک به وجود آمده باشد.

## ۱-۲-۲- انواع سواحل از دیدگاه نیمرخ ساحلی

در این قسمت انواع ساحل از دیدگاه نیمرخ ساحلی مطابق با طبقه‌بندی موسسه هیدرولیک دانمارک ارائه شده است. این طبقه‌بندی به نیمرخ‌هایی محدود شده است که دارای نهشته‌های رسوبی یا تشکیلات زمین‌شناختی نیمه‌سخت می‌باشند.

1- Tombolo Beach
2- Bayhead Beach
3- Bayside Beach
4- Mid Bay Bar Beach
5- Bayhead Bar Beach
6- Baymouth Bar Beach

omoorepeyman.ir

### ۱-۲-۲-۱- ساحل صخره‌ای یا تلماسه‌ای نمایان

- تعریف: ساحل صخره‌ای یا تلماسه‌ای نمایان[۱] به ساحل صخره‌ای یا ماسه‌ای عریضی گفته می‌شود که دارای «کرانه‌ی نزدیک»[۲] عریضی با چندین پشته ماسه‌ای[۳] باشد. این‌که ساحل صخره‌ای در نظر گرفته شود یا تلماسه‌ای، به غالب بودن هر کدام از این عارضه‌های ساحلی بستگی دارد.
- ویژگی‌های هیدرودینامیکی و رسوب: این نوع سواحل معمولا دارای اقلیم موج طوفانی با ارتفاع موج شاخص[۴] بزرگ‌تر از ۳ متر، رژیم کشندی متوسط تا کم، و برکشندهای طوفان[۵] متوسط تا بزرگ می‌باشند. در این نوع ساحل میزان انتقال رانه‌ای ناخالص[۶] زیاد بوده و بین ۵۰ هزار تا ۱ میلیون مترمکعب در سال نیز می‌رسد. در این حالت ناحیه رانه‌ای نسبتا عریض بوده و معمولا دارای عرضی بین ۳۰۰ تا ۱۰۰۰ متر می‌باشد.

### ۱-۲-۲-۲- ساحل صخره‌ای یا تلماسه‌ای نسبتا نمایان

- تعریف: ساحل تلماسه‌ای نسبتا نمایان به ساحلی با کرانه‌ی نزدیک باریک گفته می‌شود که در حالت عادی تنها دارای یک پشته ماسه‌ای می‌باشد. این نوع ساحل می‌تواند دربردارنده صخره‌ها یا تلماسه‌های کوچک باشد.
- ویژگی‌های هیدرودینامیکی و رسوب: این نوع سواحل معمولا دارای اقلیم موج طوفانی با ارتفاع موج شاخص ۱ تا ۳ متر، رژیم کشندی متوسط تا کم، و برکشندهای طوفان متوسط تا بزرگ می‌باشند. در این نوع ساحل میزان انتقال رانه‌ای ناخالص نسبتا کم و در حدود ۵۰-۱۰ هزار مترمکعب در سال می‌باشد. در این حالت ناحیه رانه‌ای نسبتا باریک بوده و معمولا دارای عرضی بین ۵۰ تا ۳۰۰ متر می‌باشد.

### ۱-۲-۲-۳- ساحل حفاظت شده باتلاقی

- تعریف: ساحل حفاظت شده باتلاقی به ساحلی باریک گفته می‌شود که دارای هیچ‌گونه ناحیه ماسه‌ای نمی‌باشد. در این نوع ساحل کرانه‌ی نزدیک باریک بوده و دارای هیچ‌گونه پشته ماسه‌ای نمی‌باشد. این نوع ساحل معمولا دارای پوشش گیاهی به شکل باتلاقی می‌باشد و به همین دلیل به آن ساحل نیزاری[۷] نیز گفته می‌شود.
- ویژگی‌های هیدرودینامیکی و رسوب: این نوع ساحل دارای اقلیم موج بسیار کوچک، رژیم کشندی متوسط تا کم، و تا حدی نیز رژیم برکشند طوفان بزرگ می‌باشد. در این نوع ساحل میزان انتقال رانه‌ای کم‌تر از ۵۰۰۰ مترمکعب در سال بوده و به سختی ناحیه رانه‌ای وجود خواهد داشت.

---

1- Exposed Littoral Dune or Cliff Coast

۲- Shore Face: کرانه‌ی نزدیک؛ منطقه‌ی باریکی از ساحل که بین خط جزر تا خط شکست موج قرار دارد و شن و ماسه‌های ساحلی قرار گرفته در آن با دگرگونی موج به گونه‌ی محسوسی جابجا می‌شوند (راهنمای مهندسی ساحل آمریکا).

3- Bar
4- Significant Wave Height (Hs)
5- Storm Surge
6- Gross Litoral Transport
7- Marshy Coast

omoorepeyman.ir

### ۱-۲-۲-۴- ساحل نوع جلگه کشندی

- تعریف: ساحل‌های از نوع جلگه کشندی[1] به نواحی خشک باتلاقی یا گل آلود ساحلی گفته می‌شوند که دارای کرانه‌ی نزدیک بسیار عریض و با شیب بسیار ملایم می‌باشند و با بالا و پایین رفتن آب در اثر کشند، پوشانده یا آشکار می‌شوند.
- ویژگی‌های هیدرودینامیکی و رسوب: این نوع سواحل در بیش‌تر اقلیم‌های موج وجود دارند ولی اغلب در شرایط نسبتا نمایان تا حفاظت شده مشاهده می‌شوند. در این حالت در اغلب موارد رژیم کشندی کم بوده، و رژیم برکشند طوفان بزرگ می‌باشد. فرآیندهای انتقال رسوب در جلگه‌های کشندی پیچیده می‌باشد زیرا به طور همزمان تحت تاثیر جریان‌های کشندی و امواج قرار دارند. به بیان دیگر به طور همزمان فرآیندهای انتقال رسوب موازی ساحل و عمود بر ساحل وجود دارد.

### ۱-۲-۲-۵- ساحل موسمی

- تعریف: ساحل موسمی[2] به ساحلی گفته می‌شود که تحت تاثیر اقلیم موج ناشی از بادهای موسمی قرار دارد به گونه‌ای که امواج نسبتا کوچک برای زمان‌های طولانی (چندین ماه) و به طور ماندگار ساحل را در معرض خود قرار می‌دهند.
- ویژگی‌های هیدرودینامیکی و رسوب: این نوع ساحل به طور معمول تحت تاثیر امواج متوسط با ارتفاع موج شاخصی در حد ۱ تا ۲ متر و امواج حدی کوچک‌تر از حدود ۳ متر می‌باشند. این شرایط ساحلی اغلب در محیط‌هایی رخ می‌دهد که توسط رسوبات ریزدانه و ماسه‌ای فراوان رودخانه‌ای تغذیه می‌شوند. وجود رسوبات فراوان و اقلیم موج نسبتا ثابت سبب توزیع بسیار منظم رسوبات می‌شود به گونه‌ای که یک ساحل ماسه‌ای باریک و یک کرانه‌ی نزدیک ماسه‌ای تا عمق آب ۴-۳ متری تشکیل می‌شود. در این حالت پهنای کرانه‌ی نزدیک اغلب در حدود ۳۰۰-۲ متر می‌باشد.

### ۱-۲-۲-۶- ساحل لجنی

- تعریف: ساحل لجنی[3] نوعی ساحل می‌باشد که کرانه‌ی نزدیک آن از جنس لجن بوده و دارای ماسه نمی‌باشد. گاهی زمان‌ها این نوع ساحل به شکل جلگه‌های کشندی لجنی می‌باشد که در معرض تغییرات کشندی بوده یا بخشی از آن توسط درختان کرنا پوشیده شده است. این پوشش گیاهی نقش ویژه‌ای در حفظ پایداری نیمرخ ساحلی دارد و بریدن آنها می‌تواند مشکلات شدیدی را از دید فرسایش و سیلابی شدن ساحل به‌وجود آورد.
- ویژگی‌های هیدرودینامیکی و رسوب: رژیم موج در این نوع ساحل معمولا کم تا متوسط و رژیم کشندی می‌تواند از هر نوعی باشد. این نوع ساحل در اقلیم‌های گرمی رخ می‌دهد که رودخانه‌ها رسوبات ریزدانه فراوانی را به ناحیه ساحلی می‌آورند.

### ۱-۲-۲-۷- ساحل مرجانی[4]

- تعریف: مرجان‌ها از نظر زیست‌شناسی نوعی از بی‌مهرگان دریایی می‌باشند که به طور تنها یا گروهی یافت می‌شوند و دارای پوست سختی از ترکیبات کلسیم می‌باشند. مرجان‌هایی که تشکیل آبسنگ‌های[5] بزرگ می‌دهند به آب‌های گرم و

1- Tidal Flat Coast
2- Monsoon Coast
3- Muddy Coast
4- Coral Coast
5- Reef

omoorepeyman.ir

کم ژرفا محدود می‌شوند، در حالی که مرجان‌های تنها و کوچک ممکن است در آب‌های سردتر تا ژرفای زیادی یافت شوند. مرجان‌ها در حالت عادی در مناطقی تشکیل می‌شوند که دارای بستر سخت و سنگی بوده و امکان چسبیدن آنها به بستر فراهم می‌باشد و هم‌چنین از رودخانه‌های رسوب آور دور می‌باشند. این ویژگی‌ها اغلب در جزایر کوچکی که در آنها هیچ‌گونه تغذیه رسوبی به ناحیه ساحل نزدیک وجود ندارد و نیز در اقلیم‌های خشک و بیابانی همانند دریای سرخ و خلیج فارس یافت می‌شوند.

- ویژگی‌های هیدرودینامیکی و رسوب: این نوع ساحل بیش‌تر به اقلیم‌های حاره‌ای و گرمی محدود می‌شود که دارای آب تمیز و فاقد مواد معلق می‌باشند. البته به مرور زمان سواحل مرجانی خود سبب ایجاد بقایای مرجانی[1] و ماسه مرجانی می‌شوند، به گونه‌ای که ساحل سخت اولیه با گذر زمان به ساحل ماسه‌ای تبدیل می‌شود که جلوی آن را آبسنگ‌های مرجانی گرفته‌اند. در این حالت آنها وارد دسته سواحل ماسه‌ای می‌شوند.

## ۱-۳- شرایط سواحل ایران

### ۱-۳-۱- خلیج فارس

#### ۱-۳-۱-۱- ویژگی‌های عمومی

خلیج فارس[2] که از سمت ایران به رشته کوه‌های زاگرس و از سمت جنوب به نواحی پست عربی محدود شده است دارای خط ساحلی به طول حدود ۱۰۰۰ کیلومتر (در سمت ایران)، مساحت ۲۳۹۰۰۰ کیلومتر مربع و حجمی در حدود ۷۸۰۰[3] تا ۸۷۳۰[4] کیلومترمکعب می‌باشد. عمق متوسط خلیج فارس حدود ۳۵ متر با حداکثر عمق حدود ۱۰۰ متر نزدیک تنگه هرمز است.

#### ۱-۳-۱-۲- شرایط اقلیمی و هواشناختی

خلیج فارس در حاشیه شمالی مناطق گرمسیری قرار گرفته است و دارای اقلیم خشک همراه با شرایط بیابانی است. بنابر گزارش‌های سازمان هواشناسی کشور میزان بارندگی متوسط سالانه در نواحی ساحلی خلیج فارس در بوشهر به میزان ۲۷۵ میلی‌متر و در آبادان به میزان ۱۹۰ میلی‌متر می‌باشد.

اغلب بادهای دریایی خلیج فارس در تمام مدت سال از سوی غرب تا شمال وزیده که ساکنان محلی آن را به نام باد «شمال» می‌شناسند. باد جنوب شرقی معمولا بین ۱ تا ۳ روز طول کشیده و سپس طی تقریبا یک ساعت به باد شمالی تبدیل می‌شود. تغییر جهت باد به سمت شمال غربی اغلب ناگهانی بوده و همراه با تندبادی است که ممکن است گاهی اوقات به حد طوفان دریایی برسد. مشاهده شده که تندبادهای شدید همراه با بالا رفتن درجه فشارسنج به‌وجود می‌آید و جهت باد که از جنوب شرقی با سرعت ۷ گره دریایی بوده بلافاصله به طوفانی از جهت شمال غربی به سرعت ۳۰ گره تبدیل می‌شود. بادهایی که از جهت جنوب یا شرق می‌وزند، به باد شرجی موسوم هستند که عموما گرم و مرطوب بوده و گاهی اوقات همراه با هوای ابری است. سرعت این باد بندرت بیش‌تر از

1- Coral Debris
2- Persian Gulf
3- Linden et al., 1990
4- Reynolds, 1993

omoorepeyman.ir

۲۴ گره می‌شود. معمولا قدرت آن از باد شمالی که پس از آن می‌وزد کم‌تر است. بادهایی که در ناحیه خلیج فارس می‌وزند بـه طـور کلی شامل موارد زیر می‌باشد:

**- بادهای ساحلی**

تقریبا در ۳۰ کیلومتری ساحل، بادها بتدریج تحت تاثیر عوامل ساحلی قرار می‌گیرند. به ویژه زمانی که گرادیان فشار شدید وجود نداشته باشد. اختلاف دمای زمین و دریا طی روز موجب وزش نسیم دریایی و در شب نسیم زمینی را ایجاد می‌کند. هنگامی کـه بـاد عمومی وجود داشته باشد، اثر این اختلاف طی روز به صورت جزیی از زمین و در شب جزیی از نسیم دریایی می‌گردد.

**- باد شمال (شمال غرب و غرب)**

معمولا از امتداد شمال و شمال غربی و با زاویه‌ای بین ۳۶۰-۲۷۰ درجه و تقریبا به موازات ساحل شمالی خلـیج فـارس و دریـای عمان به طرف جنوب و جنوب شرقی می‌وزد که معمولا بر اثر وزش و اثرها و ادامه بادهای مدیترانـه‌ای و اسـکاندیناوی اسـت و بـه عنوان بادهای غالب منطقه محسوب می‌شود.

**- باد شمال شرقی**

معمولا از شمال شرقی به جنوب غربی می‌وزند و تحت اثر شاخه فشار قوی آنتی سیکلون آسیایی تولید شده و از خصوصیات بارز این باد وزش متناوب آن در زمان‌های کوتاه است.

**- باد قوس**

این باد سمت شرق تا جنوب شرق سواحل شمالی خلیج فارس به ویژه دریای عمان را تحت تاثیر قرار می‌دهد و از تـاثیر بادهـای موسمی اقیانوس هند و امتداد آن به سمت سواحل ایران شکل می‌گیرد. با توجه به این‌که این بادها در سواحل شمالی خلیج فـارس و دریای عمان امواج بلندی را ایجاد می‌کنند، از نقطه نظر روانی برای افراد منطقه از بادهای بالا خطرناک‌تر ارزیابی شده است.

**- بادهای جنوبی**

این بادها جزو بادهای غالب منطقه محسوب نمی‌شوند. ولی با توجه به موقعیت ساحل منطقه، با وجود این‌که این بادهـا فقـط در زمان‌های خاصی از سال می‌وزند، اثر زیادی روی شکل‌گیری طوفان‌ها دارند که در ادامه اشاره کوتاهی به اسامی این بادها می‌شود:

- باد چیلم: این باد از سمت جنوب غربی به سمت ساحل ایران می‌وزد و موجب طوفان می‌شود.
- باد واکاهی: این باد از سمت جنوب شرقی و عمدتا در فصل زمستان وزیده و معمولا باعث طوفانی شدن دریا می‌شود.
- باد حیرون: از جنوب شرقی تا شرق می‌وزد و تلاطم حاصل از آن سواحل را کم‌تر تحت تاثیر قرار می‌دهد.

omoorepeyman.ir

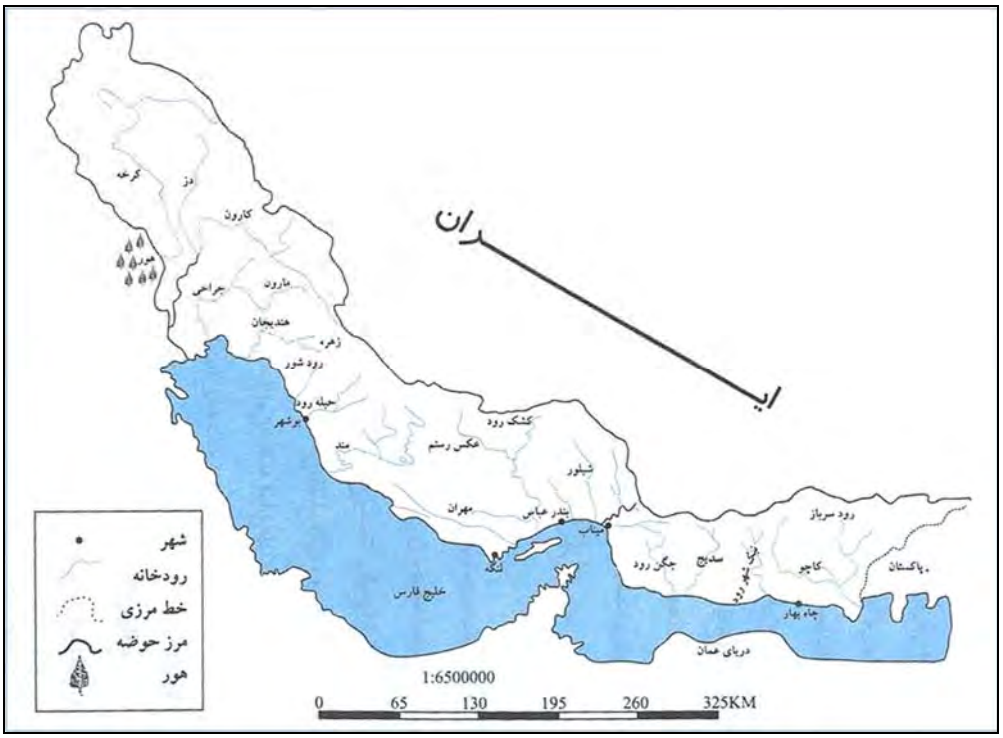
### ۱-۳-۱-۳- مشخصات حوضه آبگیر

حوضه آبگیر خلیج فارس و خلیج عمان در مجموع دارای مساحتی ۴۲۵۱۰۰ کیلومتر مربع می‌باشد (شکل ۱-۴). این حوضه آبگیر دارای ۲۹ رودخانه با مساحت حوضه آبگیر بیش از ۱۰۰۰ کیلومتر مربع و ۵۴ رودخانه و آبراهه با مساحت حوضه آبگیر کم‌تر از ۱۰۰۰ کیلومتر مربع می‌باشد.

رودخانه‌های مربوط به «دامنه‌های غربی و جنوب غربی زاگرس» بسیار پر آب بوده و در ارتفاعات آنها قسمت عمده بارندگی در فصول پاییز و زمستان به صورت برف می‌باشد. مهم‌ترین رودخانه‌های این زیرحوضه عبارتند از: سیروان، کرخه، کارون، دز، جراحی، زهره و هلیل‌رود. رودخانه‌های قرار گرفته در حوضه آبگیر «جنوب استان‌های فارس و هرمزگان» بیش‌تر ناشی از ریزش باران بوده و ذوب برف اثر چشمگیری در آنها ندارد. رودخانه‌های این زیرحوضه عبارتند از: مند، کل و میناب.

**شکل ۱-۳- خلیج فارس و خلیج عمان**

omoorepeyman.ir




**شکل ۱-۴- حوضه آبگیر خلیج فارس و خلیج عمان**

### ۱-۳-۱-۴- شرایط کشندی

مطابق جداول کشندی سازمان نقشه‌برداری کشور، در قسمت‌های مختلف خلیج فارس دامنه‌های کشندی متغیر می‌باشد. برای تعیین دقیق دامنه کشندی باید از اندازه‌گیری‌های سازمان نقشه‌برداری کشور یا شبیه‌سازی توسط مولفه‌های کشندی اصلی استفاده شود. نمونه‌ای از مشخصات کشندی در نقاط مختلف خلیج فارس که از این جداول به دست آمده است در جدول (۱-۱) نشان داده شده است. برای آشنایی با انواع کشند به بخش «۱-۱- تعریف» مراجعه شود.

**جدول ۱-۱- مشخصات کشندی در نقاط مختلف خلیج فارس**

| نام ایستگاه | متوسط ترازهای کشندی | | | | نوع |
|---|---|---|---|---|---|
| | Z0 = ML | MHHW | MLHW | MHLW | MLLW | روزانه |
| | | MHWS | MHWN | MLWN | MLWS | نیم‌روزانه |
| خرمشهر | ۰/۶۶ | ۱/۰۴ | ۰/۷۷ | ۰/۵۴ | ۰/۲۷ | روزانه |
| ماهشهر | ۳/۴۱ | ۵/۷۶ | ۴/۲۹ | ۲/۵۳ | ۱/۰۶ | نیم‌روزانه |
| دیلم | ۱/۸۲ | ۲/۸۴ | ۲/۰۷ | ۱/۵۷ | ۰/۸۰ | روزانه |
| جزیره خارک | ۱/۲۹ | ۱/۸۰ | ۱/۴۶ | ۱/۱۲ | ۰/۷۸ | روزانه |
| بوشهر | ۱/۲۱ | ۱/۸۷ | ۱/۳۱ | ۱/۱۱ | ۰/۵۵ | روزانه |
| جزیره کیش | ۱/۲۵ | ۱/۸۶ | ۱/۳۶ | ۱/۱۴ | ۰/۶۴ | روزانه |
| درگهان | ۲/۳ | ۳/۶۴ | ۳/۱۵ | ۱/۴۸ | ۰/۹۹ | نیم‌روزانه |
| بندرعباس | ۲/۲ | ۳/۶۴ | ۲/۷۸ | ۱/۶۱ | ۰/۷۵ | نیم‌روزانه |

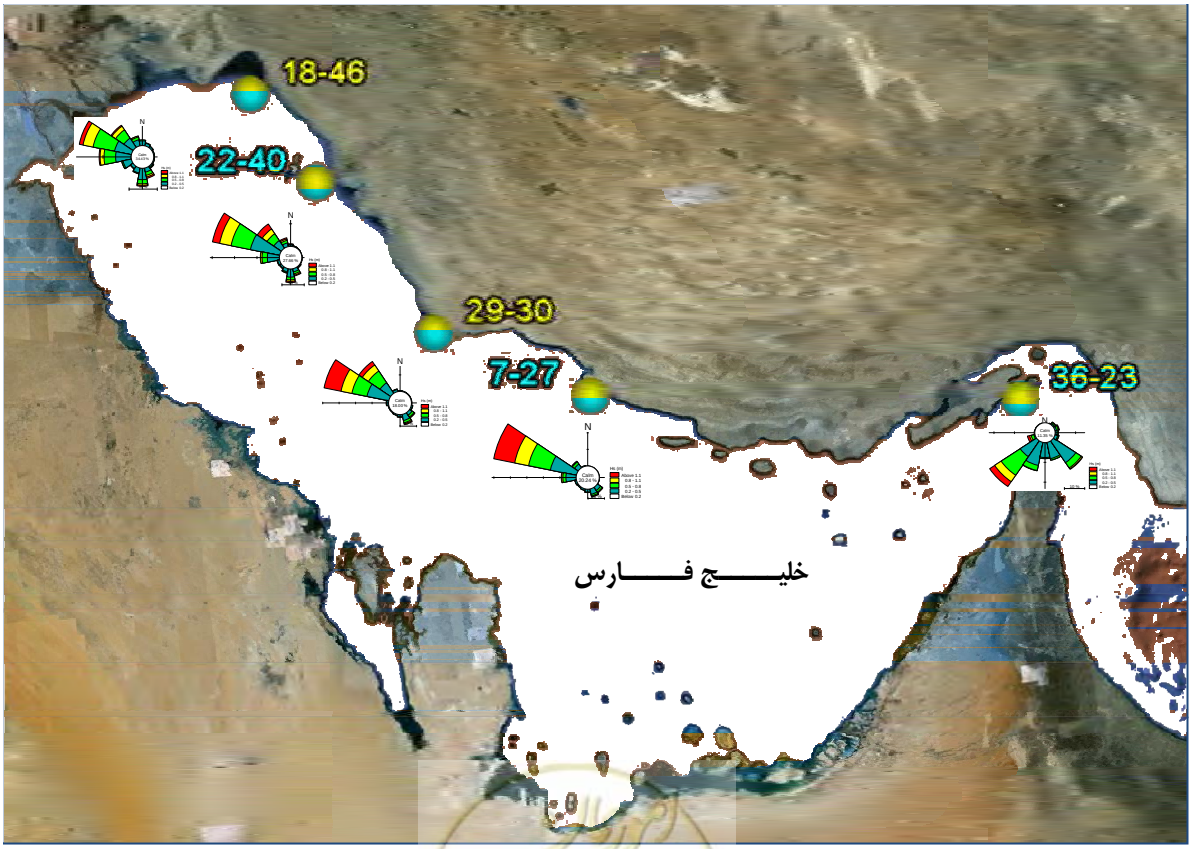
omoorepeyman.ir

مطابق اندازه‌گیری‌های هانتر (۱۹۸۲) یک جریان رو به غرب در طول سواحل ایران وجود دارد که دارای سرعتی در حدود ۱۰ سانتی‌متر در ثانیه می‌باشد. جریان ورودی از تنگه هرمز کاملا مشخص بوده و شدت آن در تابستان قوی‌تر (حدود ۲۰ سانتی‌متر در ثانیه) و در بهار و پاییز ضعیف‌تر است (حدود ۱۰ سانتی‌متر در ثانیه).

### ۱-۳-۱-۵- شرایط امواج

یکی از شاخص‌ترین منابعی که در زمینه امواج شبیه‌سازی شده در دریاهای ایران وجود دارد، نتایج پروژه شبیه‌سازی امواج دریاهای ایران (ISWM) است. این پروژه توسط مرکز ملی اقیانوس‌شناسی و به سفارش سازمان بنادر و دریانوردی انجام شده است. در این پروژه با استفاده از اطلاعات باد حاصل از مدل هواشناسی اروپا (ECMWF)[1] و توسط مدل طیفی عددی نسل سوم MIKE 21 SW سری زمانی ۱۱ ساله امواج تولید شده است. اطلاعات باد استفاده شده در این پروژه دارای درشتنمایی مکانی ۰/۵ درجه و گام زمانی ۶ ساعت بوده اند.

برای بررسی شرایط امواج در خلیج فارس داده‌های موج مربوط به پروژه مدل‌سازی امواج ایران در پنج نقطه انتخابی با نام‌های ۲۳-۳۶، ۲۷-۷، ۳۰-۲۹، ۴۰-۲۲ و ۴۶-۱۸ در نزدیکی سواحل ایران تهیه شده‌اند که موقعیت و وضعیت کلی امواج مربوط به آنها در شکل (۱-۵) نشان داده شده‌اند. مختصات مربوط به این نقاط در جدول (۱-۲) نشان داده شده است. هم‌چنین گلموج‌های مربوط به این نقاط با وضوح بیش‌تر در شکل‌های (۱-۶) تا (۱-۱۰) ارائه شده است.




**شکل ۱-۵- وضعیت امواج در پنج نقطه انتخابی از خلیج فارس**

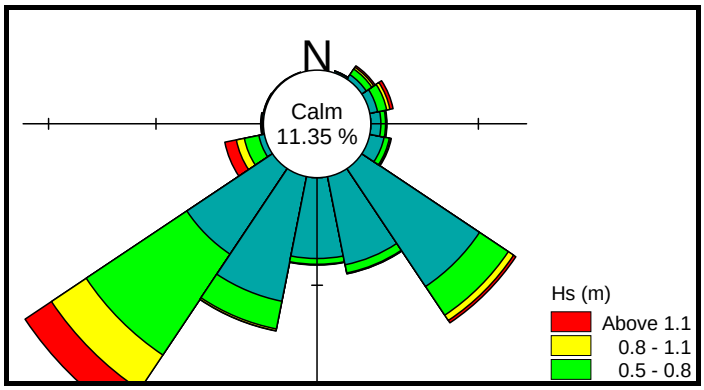
1- Europian Center of Median Range Weather Forecasts

omoorepeyman.ir

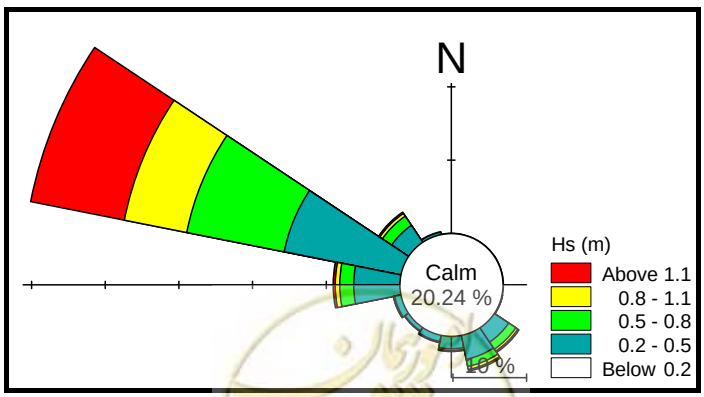
جدول ۱-۲- مختصات نقاط استخراج داده‌های موج در خلیج فارس

| نام نقطه | طول جغرافیایی | عرض جغرافیایی |
|---|---|---|
| ۲۳-۳۶ | ۵۴ | ۳۷ |
| ۲۷-۷ | ۵۲/۵ | ۳۶/۷۵ |
| ۳۰-۲۹ | ۵۱/۵ | ۳۶/۷۵ |
| ۴۰-۲۲ | ۵۰/۵ | ۳۷/۱۲۵ |
| ۴۶-۱۸ | ۴۹/۱۲۵ | ۳۷/۸۷۵ |

مقایسه گلموج نقاط انتخابی بیانگر آن است که به جز گلموج ۲۳-۳۶ که در تنگه هرمز قرار گرفته است، در دیگر نقاط انتخابی در خلیج فارس دو رژیم کلی امواج وجود دارد. این دو رژیم شامل امواج جهت شمال غربی (در برخی نقاط همراه با جهت غرب) و امواج جهت جنوب شرقی (گاهی جنوب) می‌باشند. نیروی به‌وجود آورنده امواج غربی و شمال غربی باد شمال می‌باشد که از بادهای غالب خلیج فارس است. جهت امواج افزون بر نیروی به‌وجود آورنده، تابع هندسه منطقه و جهت خط ساحلی نیز می‌باشد. امواج جنوب شرقی نیز ناشی از باد قوس بوده که یکی دیگر از بادهای غالب منطقه خلیج فارس می‌باشد. در تنگه هرمز امواج بیش‌تر تابعی از هندسه منطقه و طول موجگاه هستند. در این منطقه دو دسته موج از جهات جنوب شرقی و جنوب غربی وجود دارند که در جهت بلندترین موجگاه‌ها رخ می‌دهند. مقایسه گلموج‌ها نشان می‌دهد در خلیج فارس مناطق شمال غربی دارای درصد آرامش بیش‌تری نسبت به مناطق جنوب شرقی (در طول سواحل ایران) می‌باشند.

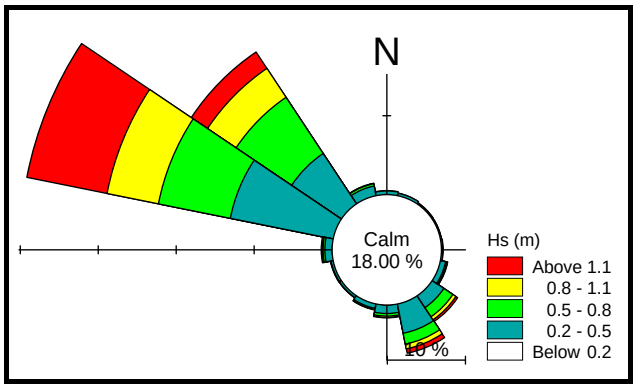



شکل ۱-۶- گلموج میانگین سالیانه نقطه ۲۳-۳۶ در خلیج فارس

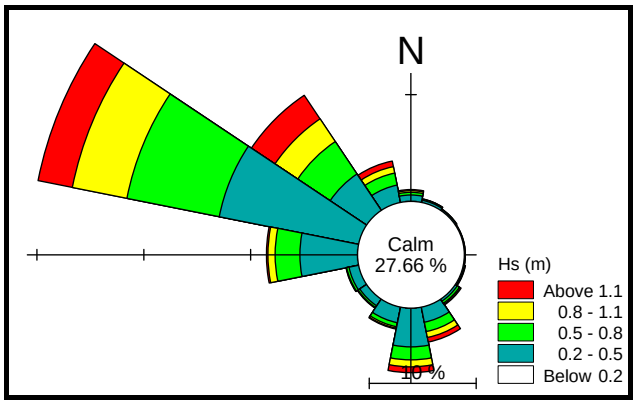



شکل ۱-۷- گلموج میانگین سالیانه نقطه ۲۷-۷ در خلیج فارس

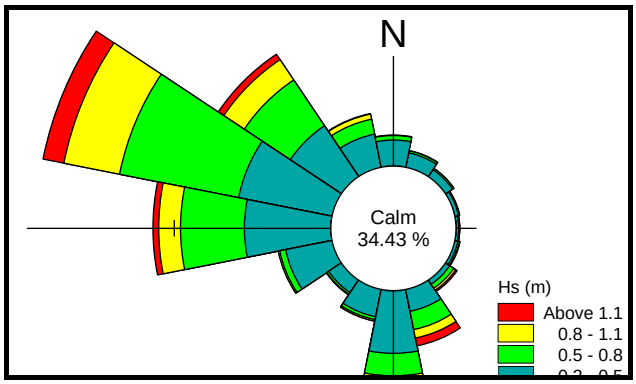
omoorepeyman.ir




**شکل ۱-۸- گلموج میانگین سالیانه نقطه ۳۰-۲۹ در خلیج فارس**




**شکل ۱-۹- گلموج میانگین سالیانه نقطه ۴۰-۲۲ در خلیج فارس**




**شکل ۱-۱۰- گلموج میانگین سالیانه نقطه ۴۶-۱۸ در خلیج فارس**

جدول (۱-۳) مشخصات موج در نقاط انتخابی خلیج فارس را نشان می‌دهد. چنان‌که مشاهده می‌شود بیشینه ارتفاع امواج در منطقه تنگه هرمز بیش‌تر از دیگر نقاط انتخابی در خلیج فارس می‌باشد. به جز نقطه ۲۷-۷ در همه نقاط درصد امواج کوچک‌تر از ۲ متر، بیش‌تر از ۹۹ درصد است. این مقدار در نقطه ۲۷-۷ حدود ۹۸ درصد می‌باشد. این موضوع بیانگر است که در خلیج فارس درصد وقوع امواج بزرگ‌تر از ۲ متر کم‌تر از ۲ درصد است. امواج بزرگ‌تر از ۲/۵ متر نیز کم‌تر از ۰/۵ درصد مواقع سال رخ می‌دهند (۹۹/۵ درصد مواقع سال ارتفاع امواج کم‌تر از ۲/۵ متر است).

omoorepeyman.ir

جدول ۱-۳- مشخصات موج در نقاط انتخابی در خلیج فارس

| نام نقطه | بیشینه ارتفاع موج (متر) | درصد امواج کوچک‌تر از ۲ متر | درصد امواج کوچک‌تر از ۲/۵ متر |
|---|---|---|---|
| ۳۶-۲۳ | ۴ | ۹۹/۴ | ۹۹/۸۱ |
| ۷-۲۷ | ۳/۸ | ۹۸/۲ | ۹۹/۵۸ |
| ۲۹-۳۰ | ۳/۲ | ۹۹/۲۹ | ۹۹/۹۶ |
| ۲۲-۴۰ | ۲/۶ | ۹۹/۸۴ | ۹۹/۹۹ |
| ۱۸-۴۶ | ۲/۸ | ۹۹/۹۰ | ۹۹/۹۹ |

### ۱-۳-۱-۶- ویژگی‌های زمین‌شناختی و رسوب‌شناختی

خلیج فارس در حقیقت نوعی خور دره غرقابی[1] است. سواحل خلیج فارس معمولا پست، صاف، گسترده و شنی می‌باشند. شن‌های ساحلی ممکن است که در اثر به هم چسبیدن تشکیل سنگ‌های ساحلی را بدهند. هنگام زمستان، اغلب یک پشته شنی که روی آن تپه‌های شنی قرار دارد، باعث ایجاد و تشکیل مرداب‌های سیلابی در کنار ساحل می‌شود که با فرا رسیدن تابستان، خشک شده و توسط بلورهای نمکی یا ژیپس پوشیده می‌شود.

در شمال غربی و قسمت انتهایی خلیج فارس، پهنه دلتایی گسترده دجله، فرات و کارون همراه با باتلاق‌ها، پشته‌های شنی و پیشروی‌ها وجود دارند که تحت تاثیر دامنه کشندی قرار دارند. سواحل شرقی‌تر خلیج فارس منطقه رسوب‌گذاری وسیع خشکی است که دارای حالت مسطح و کفه‌ای بوده و تا بوشهر امتداد دارد که پس از آن به سواحل سنگی و صخره‌ای ختم می‌شود. پس از آن، یک فرو رفتگی بزرگ در قسمت تنگه هرمز به همراه دو جزیره بزرگ قشم و هرمز وجود دارد. در این قسمت‌ها سواحل سنگی و پهنه‌های دلتایی به صورت متناوب مشاهده می‌شوند.

نقشه زمین شناسی ایران در شکل (۱-۱۱) نشان داده شده است. در این نقشه می‌توان جنس سازندهای عمده سواحل ایران را مشاهده نمود. برای اطلاعات تکمیلی‌تر می‌توان به «اطلس ملی ایران، اطلس زمین‌شناسی، انتشارات سازمان نقشه‌برداری کشور» مراجعه نمود.

### ۱-۳-۱-۷- مناطق حفاظت شده

یکی از مکان‌های مهمی که در برنامه حفاظت بیولوژیکی یونسکو[2] به عنوان منطقه حفاظت شده ثبت شده است، ناحیه حرا می‌باشد. حرا نام نوعی درخت نمک دوست می‌باشد که معمولا در مناطق کشندی لجنی می‌روید. گونه‌ی حرای ابن‌سینا[3] در نقاط مختلف خلیج فارس غالب می‌باشد. این ناحیه در قسمت شمال غربی جزیره قشم قرار دارد (شکل ۱-۱۲). درختان حرا در سواحل استان بوشهر شامل خلیج نایبند و حوالی خورهای بردستان و برد خون نیز قابل مشاهده می‌باشند. در بوشهر، درختان حرا ایجاد مناطق پرورشگاهی برای آبزیان نموده‌اند که از آنجا برای تغذیه، تولید مثل، رشد و گذراندن ایام لاروی استفاده می‌کنند.

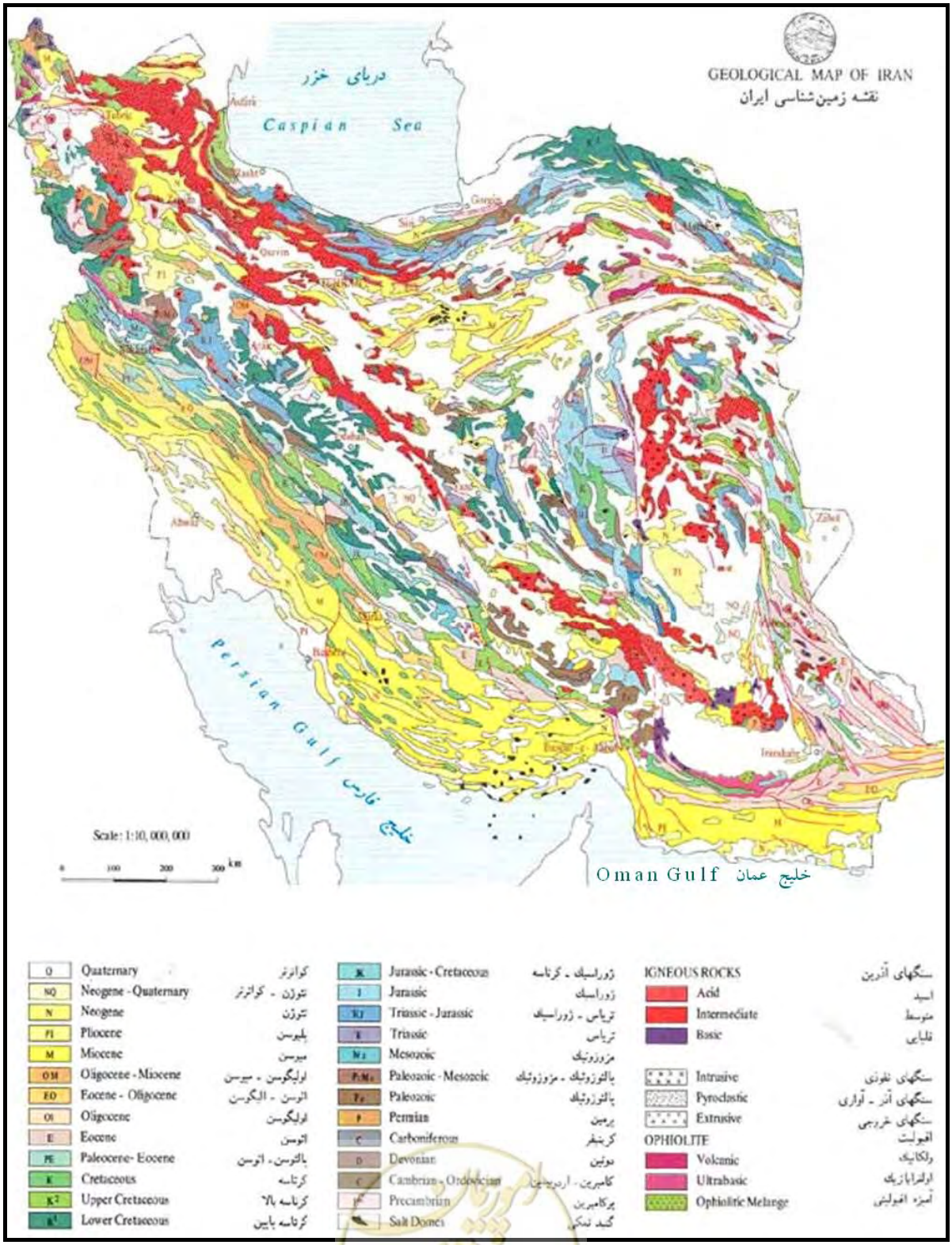
نمونه‌هایی از درختان حرا که در سواحل خلیج فارس وجود دارند در شکل‌های (۱-۱۳) و (۱-۱۴) نشان داده شده‌اند. در شکل (۱-۱۵) بستری که این درختان روی آن می‌رویند نشان داده شده است. در این شکل می‌توان به روشنی تجمع لایه‌ای از نمک روی بستر را مشاهده نمود.

افزون بر این، طی کنوانسیون رامسر، چهار مکان در خلیج فارس به عنوان تالاب بین‌المللی شناخته شده و هم‌چنین نیزارهای شادگان، خورالامیه، تنگه خوران، دلتاهای رود شور و رود گز نیز از مناطق حفاظت شده می‌باشند.

1- Flooded-Valley Estuary
2- International MAB UNESCO Biosphere Reserve Programme
3- Avicennia Marina

omoorepeyman.ir

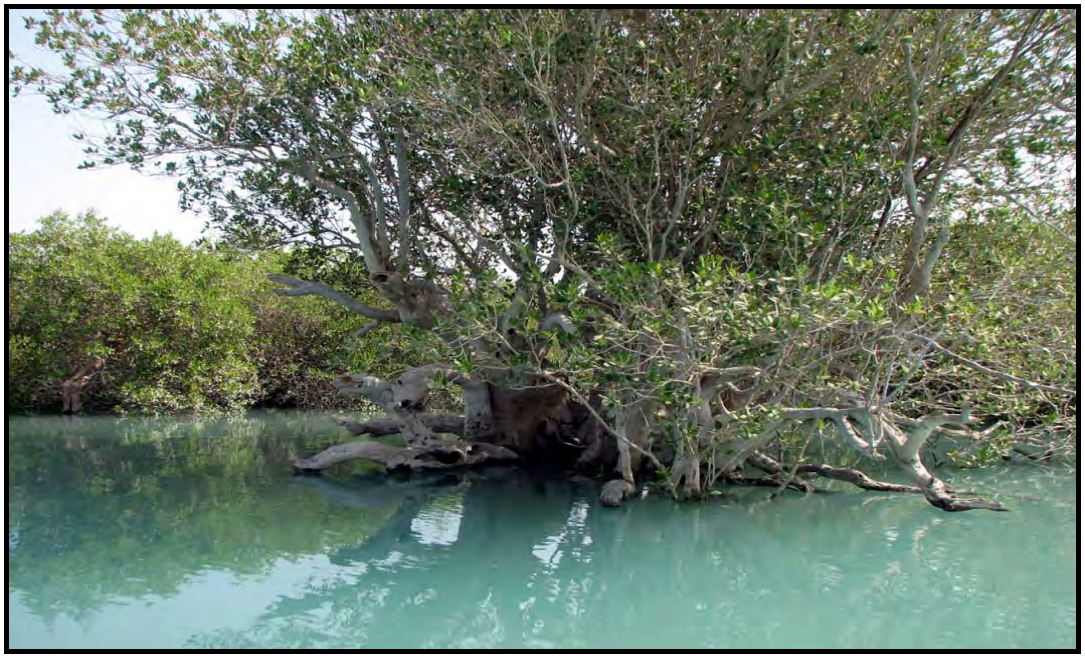
برای کسب اطلاعات بیش‌تر در این زمینه می‌توان به کتاب «جنگل‌های مانگرو در ایران، جلد دوم، نوشته شهلا صفیاری، انتشارات موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع» مراجعه نمود.




**شکل ۱-۱۱- نقشه زمین‌شناسی ایران**

omoorepeyman.ir

**شکل ۱-۱۲- موقعیت منطقه حفاظت شده حرا**



**شکل ۱-۱۳- درختچه‌های حرا در سواحل جزیره قشم**

omoorepeyman.ir

**شکل ۱-۱۴- درختچه‌های حرای ساحل جزیره قشم در زمان مد**

**شکل ۱-۱۵- بستر نمکی که درختچه‌های حرای موجود در سواحل خلیج فارس روی آن می‌رویند**

امور پیمان
omoorepeyman.ir

## ۱-۳-۲- خلیج عمان

### ۱-۳-۲-۱- ویژگی‌های عمومی

خلیج عمان[1] که در واقع قسمتی از اقیانوس هند می‌باشد از سمت شمال به ایران و از سمت جنوب به کشور عمان محدود شده و از سمت شرق به آب‌های دریای عرب و اقیانوس هند متصل می‌شود. عمق خلیج عمان در محور مرکزی خود بیش از ۲۵۰۰ متر و در تنگه هرمز حدود ۱۰۰ متر می‌باشد.

### ۱-۳-۲-۲- شرایط اقلیمی و هواشناختی

شرایط اقلیمی و هواشناختی خلیج عمان تا حد زیادی مشابه خلیج فارس و از نوع اقلیم خشک همراه با شرایط بیابانی می‌باشد با این تفاوت که میزان بارندگی آن نسبتا کم‌تر بوده (برای نمونه در سواحل قطر در حدود ۴۸ میلی‌متر در سال می‌باشد) و الگوی باد در آن کاملا متاثر از چرخندهای دریای عرب بوده و به صورت وزش بادهای موسمی جنوب غربی در خلال تابستان، و بادهای شمال غربی در خلال ماه‌های فصل زمستان می‌باشد. یک نسیم قوی دریایی نیز به موازات تمامی ساحل، به ویژه در طول شبه جزیره عربی می‌وزد.

### ۱-۳-۲-۳- مشخصات حوضه آبگیر

حوضه آبگیر خلیج عمان در شکل (۱-۴) نشان داده شده است. پیش‌تر گفته شد که حوضه آبگیر خلیج فارس و خلیج عمان در مجموع دارای مساحتی برابر ۴۲۵۱۰۰ کیلومتر مربع می‌باشد. رودخانه‌های موجود در زیر حوضه «سواحل خلیج عمان» بیش‌تر حالت سیلابی دارند، زیرا رژیم بارندگی آنها کاملا نامنظم بوده و افزون بر تغییرات فصلی، تغییرات سالانه چشمگیری دارند. در این مناطق بارندگی سالانه معمولا در چند نوبت و با شدت زیاد اتفاق می‌افتد که موجب جریان یافتن سیلاب‌هایی در رودخانه‌ها و آبراهه‌هایی می‌شود که مدت جریان آنها در حالت عادی خیلی کم می‌باشد. مهم‌ترین رودخانه‌های این منطقه عبارتند از: سرباز، کاجو و کهیرا.

### ۱-۳-۲-۴- شرایط کشندی

مطابق جداول کشندی سازمان نقشه‌برداری دامنه کشندها در دریای عمان در حدود ۲ متر می‌باشد، ولی برای تعیین دقیق دامنه کشندی باید از اندازه‌گیری‌های سازمان نقشه‌برداری کشور یا شبیه‌سازی توسط مولفه‌های کشندی اصلی استفاده نمود. نمونه‌ای از مشخصات کشندی در نقاط مختلف خلیج عمان که از این جداول به دست آمده است در جدول (۱-۴) نشان داده شده است.

**جدول ۱-۴- مشخصات کشندی در نقاط مختلف خلیج عمان**

| نام ایستگاه | متوسط ترازهای کشندی | | | | نوع |
|---|---|---|---|---|---|
| | Z0 = ML | MHHW | MLHW | MHLW | MLLW | روزانه |
| | | MHWS | MHWN | MLWN | MLWS | نیم‌روزانه |
| جاسک | ۱/۶۸ | ۲/۶۴ | ۲/۰۵ | ۱/۳۲ | ۰/۷۲ | روزانه |
| چابهار | ۱/۷۱ | ۲/۶۰ | ۲/۰۸ | ۱/۲۴ | ۰/۷۳ | روزانه |
| کنارک | ۱/۷۶ | ۲/۸۱ | ۲/۱۱ | ۱/۴۱ | ۰/۷۱ | روزانه |

1- Gulf of Oman

omoorepeyman.ir

### ۱-۳-۲-۵- ویژگی‌های زمین‌شناختی و رسوب‌شناختی

سواحل باز و اقیانوسی کشور عمان شامل گستره‌های شنی و سنگی همراه با ناهمواری‌های صخره‌ای است. سواحل سنگی از ویژگی‌های مهم خلیج عمان است. ساحل جنوبی این خلیج (سواحل کشور عمان) از دماغه‌های سنگی همراه با تناوبی از پرتگاه‌های سنگی و سواحلی با شن ریز که تحت تاثیر امواج اقیانوس هند قرار دارند، تشکیل شده است. در ساحل شمالی خلیج عمان در منطقه چابهار ایران بسترهای جلبکی گسترده‌ای وجود دارد. نقشه زمین شناسی ایران در شکل (۱-۱۱) نشان داده شده است.

## ۱-۳-۳- دریای مازندران

### ۱-۳-۳-۱- ویژگی‌های عمومی

دریای مازندران[1] بزرگ‌ترین دریاچه جهان و با مساحتی در حدود ۴۲۴۰۰۰ کیلومتر مربع[2] بین ۵ کشور ایران، روسیه، آذربایجان، ترکمنستان و قزاقستان محدود شده است (شکل ۱-۱۶). حجم این دریا در حدود ۷۸۶۰ کیلومترمکعب می‌باشد. عمق متوسط این دریا ۱۸۰ متر و بیش‌ترین عمق آن ۱۰۲۵ متر می‌باشد.

### ۱-۳-۳-۲- شرایط اقلیمی و هواشناختی

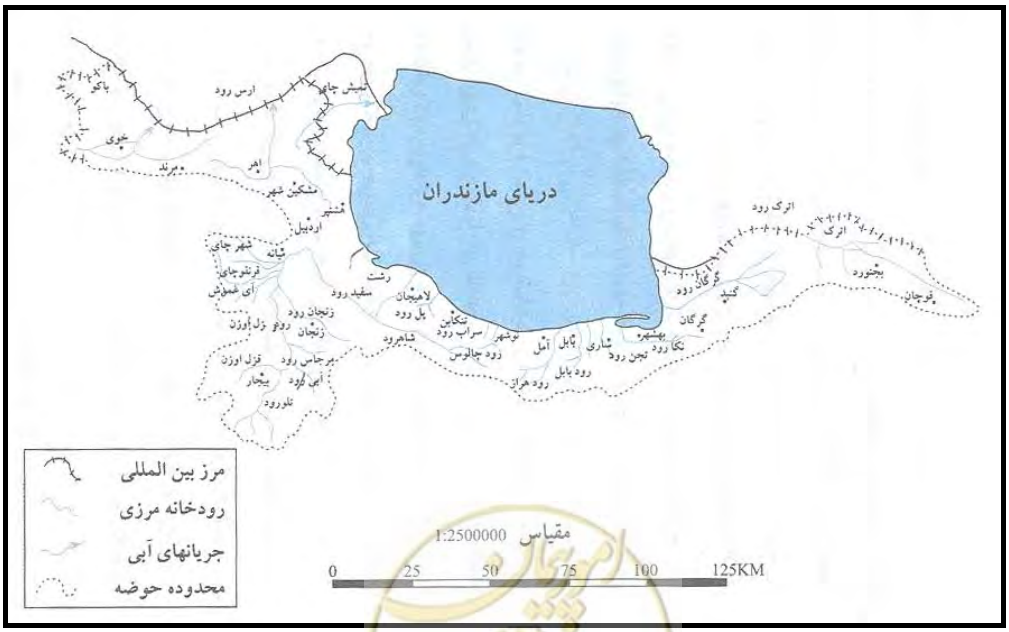
سواحل جنوبی دریای مازندران (شامل استان‌های گیلان، مازندران و گلستان) دارای اقلیم معتدل می‌باشند. در این نواحی به دلیل کمی فاصله کوهستان با دریا، رطوبت تجمع می‌یابد که پیامد آن بارش‌های زیاد و دمای معتدل است. مطابق داده‌های سازمان هواشناسی کشور میانگین بارندگی سالانه در نوار ساحلی استان برابر با ۹۷۷ میلی‌متر است. بیش‌ترین بارندگی‌ها در پاییز و کم‌ترین آنها در بهار رخ می‌دهد و توزیع مکانی آنها از غرب به شرق با کاهش روبرو می‌شود.

1- Caspian Sea

۲- مطابق آمار گیتاشناسی ۱۳۷۵

omoorepeyman.ir

**شکل ۱-۱۶- دریای مازندران**




**شکل ۱-۱۷- حوضه آبگیر دریای مازندران**

omoorepeyman.ir

### ۱-۳-۳-۳- مشخصات حوضه آبگیر

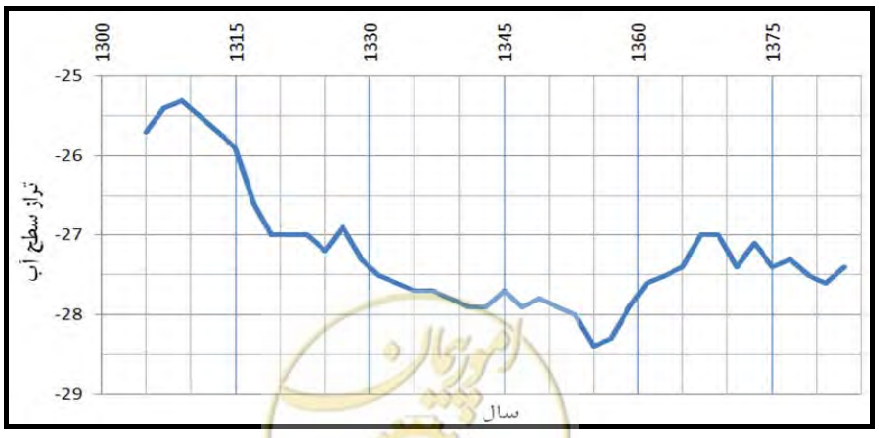
حوضه آبگیر دریای مازندران دارای مساحتی در حدود ۱۷۴۲۰۰ کیلومتر مربع می‌باشد (شکل ۱-۱۷). این حوضه آبگیر دارای ۱۳ رودخانه با مساحت حوضه آبگیر بیش از ۱۰۰۰ کیلومتر مربع می‌باشد که مهم‌ترین آنها ارس و سفیدرود می‌باشند. افزون بر این، ۴۲ رودخانه و آبراهه نیز با مساحت حوضه آبگیر کم‌تر از ۱۰۰۰ کیلومتر مربع در حوضه آبگیر دریای مازندران وجود دارد.

رودخانه‌های حوضه آبگیر دریای مازندران را می‌توان به سه گروه تقسیم نمود:

- گروه اول رودخانه‌هایی با سطح حوضه آبگیر گسترده و کوهستانی که قسمت عمده ریزش‌های جوی آنها (بیش از ۵۰ درصد جریان آب) به صورت برف می‌باشد. این رودخانه‌ها در اثر ذوب برف‌ها در فصل بهار پرآب می‌گردند و در تابستان دارای کم‌ترین جریان می‌باشند. رودخانه‌های ارس، سفیدرود، هراز و اترک در این گروه قرار دارند.
- گروه دوم رودخانه‌هایی می‌باشند که قسمتی از حوضه آبگیر آنها در نواحی مرتفع کوهستانی و قسمتی دیگر در نواحی کم ارتفاع مشرف به دریای مازندران قرار دارد. رژیم این رودخانه‌ها تحت تاثیر باران و نیز ذوب برف قسمت‌های مرتفع قرار داشته و از توزیع فصلی یکنواخت‌تری نسبت به گروه پیشین برخوردار می‌باشند. رودخانه‌هایی همچون گرگانرود، نکا، تجن، بابل، تالار، پل رود و شفارود در این گروه قرار می‌گیرند.
- گروه سوم رودخانه‌هایی می‌باشند که قسمت عمده حوضه آبگیر آنها جنگلی بوده و آبدهی آنها عموما از ریزش باران ناشی می‌شود. این رودخانه‌ها بیش‌تر حالت سیلابی دارند ولی به دلیل توزیع نسبتا یکنواخت بارندگی در فصل‌های مختلف سال، آبدهی فصلی آنها تقریبا متعادل می‌باشد. تمام رودخانه‌های کوچک حوضه همچون حریق، چوبر، لاویج و سیاهرود در این رشته قرار دارند.

### ۱-۳-۳-۴- نوسانات تراز سطح آب

دریای مازندران به آب‌های آزاد دسترسی ندارد و تنها راه خروج آب از آن تبخیر می‌باشد. این موضوع سبب شده است که تراز سطح آب دریای مازندران تا حد چشمگیری به آبدهی ورودی رودخانه ولگا بستگی داشته باشد که تامین کننده ۸۰ درصد آب‌های سطحی و زیرزمینی این دریا می‌باشد. در سالیان اخیر سطح آب دریای مازندران دچار نوسانات چشمگیری شده است که چگونگی آن طی سال‌های ۱۳۰۵ تا ۱۳۸۳ در شکل (۱-۱۸) نشان داده شده است.




**شکل ۱-۱۸- نمودار تغییرات سطح آب دریای مازندران**

omoorepeyman.ir

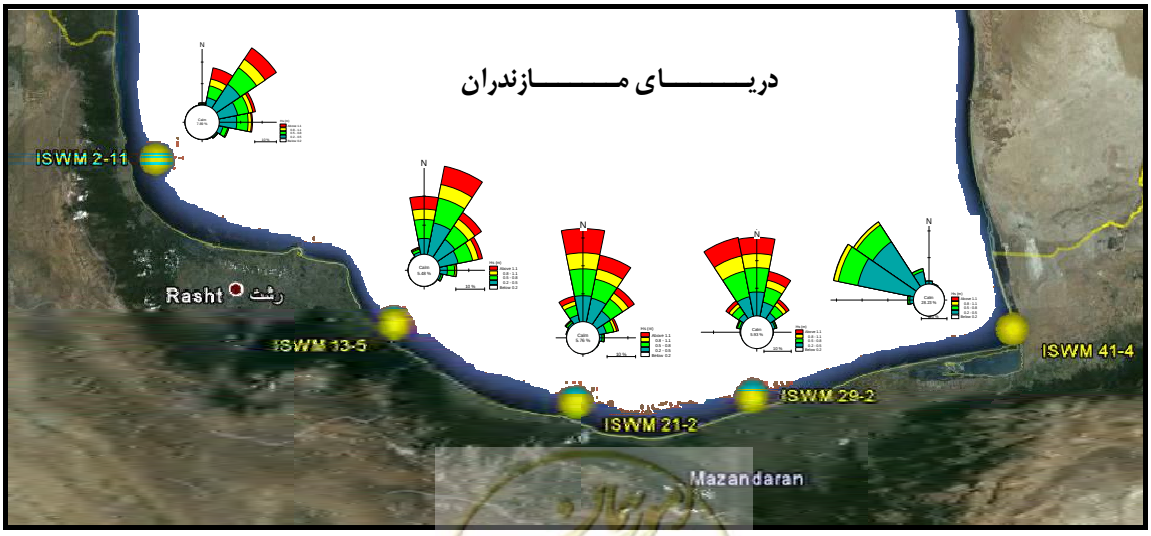
### ۱-۳-۳-۵- شرایط امواج

برای بررسی شرایط امواج در دریای مازندران از داده‌های شبیه‌سازی موج مربوط به پروژه شبیه‌سازی امواج دریاهای ایران (ISWM) استفاده شده است. در این راستا، داده‌های موج مربوط به پنج نقطه انتخابی با نام‌های ۴-۴۱ ، ۲-۲۹ ، ۲-۲۱ ، ۵-۱۳ و ۲-۱۱ در نزدیکی سواحل ایران تهیه شده‌اند که موقعیت و وضعیت کلی امواج مربوط به آنها در شکل (۱-۱۹) نشان داده شده‌اند. مختصات مربوط به این نقاط در جدول (۱-۵) نشان داده شده است. هم‌چنین گلموج‌های مربوط به این نقاط با وضوح بیش‌تر در شکل‌های (۱-۲۰) تا (۱-۲۴) ارائه شده است.

مقایسه گلموج نقاط انتخاب شده نشان می‌دهد که در هر منطقه مرتفع‌ترین امواج از جهت طولانی‌ترین موجگاه رخ می‌دهند. بیش‌ترین و مرتفع‌ترین امواج در نقطه ۲-۲۹ از جهات شمال و شمال-شمال غرب و در نقطه ۲-۲۱ از جهات شمال و شمال-شمال شرق به سمت ساحل نزدیک می‌شوند. در این زمینه، راستای خط ساحلی و خطوط هم‌تراز توپوگرافی بستر نیز تاثیرگذار است. با حرکت به سمت غرب دریای مازندران جهت امواج بلند غالب به سمت شمال شرق (جهت موجگاه‌های طولانی) متمایل می‌شود. چنان‌که مشاهده می‌شود در نقاط ۵-۱۳ و ۲-۱۱ جهت امواج غالب شمال - شمال شرق و شمال شرق می‌باشد. نکته‌ای که باید به آن اشاره شود، ارتفاع کم امواج در نقطه ۴-۴۱ است. علت این پدیده عمق کم آب در این نقطه می‌باشد. در حالت کلی امواج این ناحیه در قسمت‌های عمیق‌تر مشابه نقطه ۲-۱۱ می‌باشد با این تفاوت که راستای پیشروی امواج قرینه حالت ۲-۱۱ هستند.

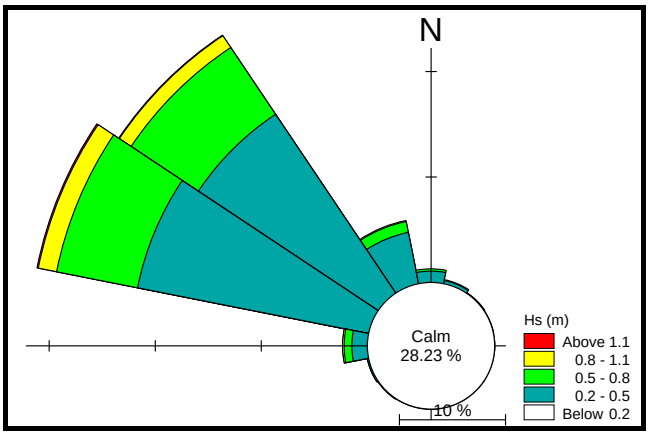
**جدول ۱-۵- مختصات نقاط استخراج داده‌های موج در دریای مازندران**

| نام نقطه | طول جغرافیایی | عرض جغرافیایی |
|---|---|---|
| ۴-۴۱ | ۵۴ | ۳۷ |
| ۲-۲۹ | ۵۲/۵ | ۳۶/۷۵ |
| ۲-۲۱ | ۵۱/۵ | ۳۶/۷۵ |
| ۵-۱۳ | ۵۰/۵ | ۳۷/۱۲۵ |
| ۲-۱۱ | ۴۹/۱۲۵ | ۳۷/۸۷۵ |

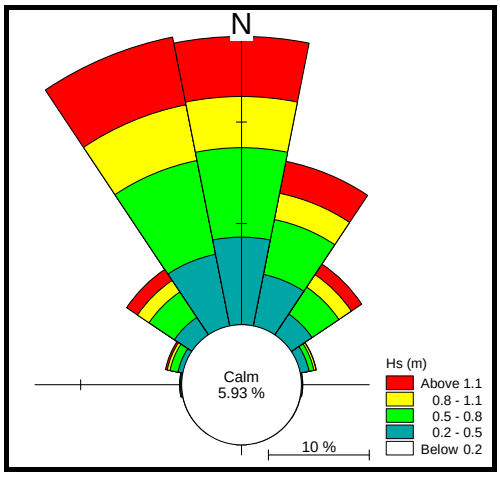



**شکل ۱-۱۹- وضعیت امواج در پنج نقطه انتخابی از دریای مازندران**

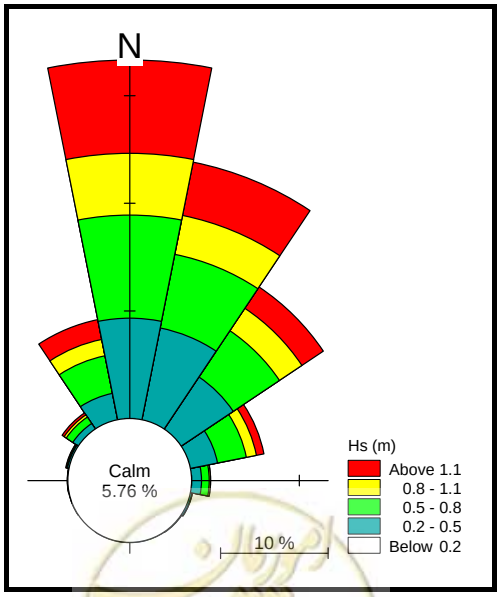
omoorepeyman.ir




**شکل ۱-۲۰- گلموج میانگین سالیانه نقطه ۴-۴۱ در دریای مازندران**

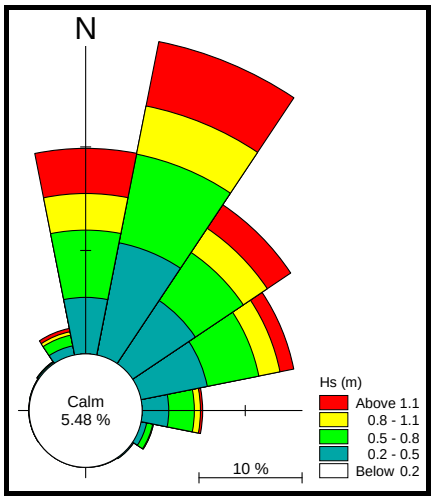



**شکل ۱-۲۱- گلموج میانگین سالیانه نقطه ۲-۲۹ در دریای مازندران**

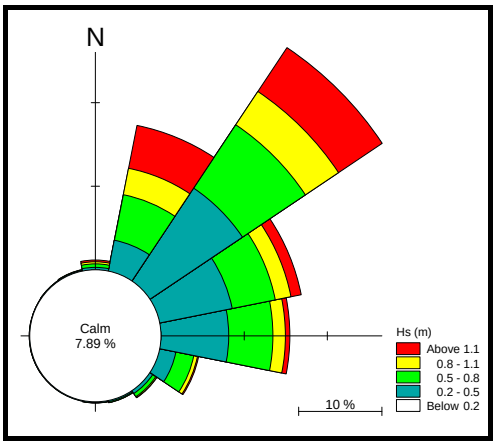



**شکل ۱-۲۲- گلموج میانگین سالیانه نقطه ۲-۲۱ در دریای مازندران**

omoorepeyman.ir




**شکل ۱-۲۳- گلموج میانگین سالیانه نقطه ۵-۱۳ در دریای مازندران**




**شکل ۱-۲۴- گلموج میانگین سالیانه نقطه ۱۱-۲ در دریای مازندران**

جدول (۱-۶) مشخصات موج در نقاط انتخابی دریای مازندران را نشان می‌دهد. چنان‌که از کم بودن ارتفاع امواج در نقطه ۴-۴۱ که به دلیل استخراج نتایج در نقطه‌ای با عمق کم بوده است، صرف نظر شود آنگاه می‌توان گفت در تمامی نقاط دریای مازندران شرایط هیدرودینامیکی امواج حاکم تقریبا یکسان است. مطابق جدول (۶-۱) بیشینه ارتقاع امواج در آب عمیق بین ۵ تا ۶ متر متغیر بوده و درصد امواج کوچک‌تر از ۲ متر نیز حدود ۹۷ درصد می‌باشد. این بدین معنی است که امواج بزرگ‌تر از ۲ متر به طور میانگین در ۳ درصد مواقع سال رخ می‌دهند. امواج بزرگ‌تر از ۲/۵ متر به طور میانگین کم‌تر از ۱/۵ درصد مواقع سال رخ می‌دهند (۹۸/۵ درصد مواقع سال ارتفاع امواج کم‌تر از ۲/۵ متر است).

**جدول ۱-۶- مشخصات موج در نقاط انتخابی دریای مازندران**

| ایستگاه | بیشینه ارتفاع موج (متر) | درصد امواج کوچک‌تر از ۲ متر | درصد امواج کوچک‌تر از ۲/۵ متر |
|---|---|---|---|
| ۴-۴۱ | ۱/۳۸ | ۱۰۰ | ۱۰۰ |
| ۲-۲۹ | ۶/۱۴ | ۹۶/۹۵ | ۹۸/۷۴ |
| ۲-۲۱ | ۶/۳۳ | ۹۶/۳۸ | ۹۸/۳۵ |
| ۵-۱۳ | ۵/۷۷ | ۹۷/۳۱ | ۹۸/۸۴ |
| ۱۱-۲ | ۵/۰۷ | ۹۷/۲۹ | ۹۸/۸۳ |

omoorepeyman.ir

## ۱-۴- بررسی ویژگی‌های کلی ساحل مورد مطالعه

پیش از آن‌که مهندس طراح اقدام به انتخاب یک راهکار حفاظت ساحل و طراحی آن مطابق با روش‌های ارائه شده در «فصل ۳، روش‌های سازه‌ای حفاظت سواحل» بپردازد، ضرورت دارد با ویژگی‌های کلی ساحل مورد مطالعه آشنایی دقیق داشته باشد. عدم درک و تحلیل دقیق هر یک از ویژگی‌های ساحل انتخابی می‌تواند به ناکارآمدی و خسارت‌های زیاد در طرح حفاظت ساحل بیانجامد.

بسیاری از خسارت‌ها و خرابی‌ها در پروژه‌های ساحلی ریشه در تحلیل نادرست و ناکافی شرایط ساختگاه پروژه داشته‌اند. تحلیل ویژگی‌های ساختگاه شامل شناسایی تمام مولفه‌های کمی و کیفی می‌باشد که به طور مستقیم یا غیرمستقیم در یکی از فرآیندهای امکان‌سنجی مفهومی، طراحی، تحلیل اقتصادی، جنبه‌های زیبایی‌شناختی، اجرای سازه‌ای، و پایش[1] و نگهداری پروژه تاثیرگذار هستند. محیط ساحلی پروژه از دیدگاه زمانی و مکانی همواره در حال تغییر می‌باشد و بنابراین ممکن است طرحی که در یک زمان و مکان ویژه از دید کارکرد، اقتصادی و زیست‌محیطی مناسب است، در زمان و مکان دیگر نامناسب باشد. هم‌چنین ضرورت دارد ویژگی‌های فیزیکی، بیولوژیکی، اجتماعی و فرهنگی منطقه بررسی شوند تا بتوان طرحی قابل قبول و سازگار با شرایط موجود و آتی ناحیه ساحلی مورد مطالعه ارائه نمود.

در این بخش تلاش شده است تا به ارائه و توضیح ۱۵ مورد از اساسی‌ترین مولفه‌های ساختگاه ساحلی که هنگام طراحی یک سازه حفاظت ساحلی باید به آنها توجه نمود، پرداخته شود. بدیهی است هر کدام از مولفه‌های اشاره شده خود دارای جنبه‌ها و ملاحظات بسیار گوناگونی می‌باشند که در این‌جا با توجه به نوع مخاطب این راهنما، امکان اشاره به همه آنها وجود نداشته است. بنابراین در هر مورد که مهندس طراح با آن آشنایی کافی ندارد باید به منابع و مراجع ویژه آن مراجعه کند.

اساسی‌ترین مولفه‌هایی که باید هنگام تحلیل ویژگی‌های ساختگاه ساحلی مدنظر داشت عبارتند از:

- تعیین محدوده پروژه و شرایط مرزی
- اطلاعات هواشناسی
- فرآیندهای هیدرودینامیکی (ارتفاع امواج، ترازهای جزرومدی، سرعت جریان)
- تغییرپذیری فصلی اقلیم امواج و جریان
- توپوگرافی و بسیمتری
- زمین ریخت‌شناسی و مشخصات رسوبات ساحلی
- تعیین الگوی انتقال رسوبات ساحلی
- روند تغییرات خط ساحلی
- اثرهای جانبی احتمالی پروژه
- ملاحظات زیست محیطی (کیفیت آب، تخلیه مصالح و غیره)
- ملاحظات منطقه‌ای (قوانین، لرزه‌خیزی، سونامی، یخ‌زدگی و غیره)
- ملاحظات ژئوتکنیکی
- مصالح موجود (منابع ماسه، سنگ و غیره) و ملزومات مرتبط با آن (مقاومت، دوام و غیره)

1- Monitoring

omoorepeyman.ir

- دسترسی به ساختگاه مورد مطالعه
- پایش طرح حفاظت ساحل

در ادامه در مورد هر کدام از این مولفه‌ها توضیحاتی ارائه شده است.

## ۱-۴-۱- تعیین محدوده پروژه و شرایط مرزی

هنگام تعیین محدوده پروژه و شرایط مرزی آن باید موارد زیر به ترتیب بررسی شوند:

- **تعیین محدوده پروژه:** منظور از تعیین محدوده پروژه نه تنها محدوده فیزیکی اشغال شده توسط سازه‌ها و تاسیسات جانبی طرح، بلکه هم‌چنین ناحیه‌ای است که پروژه از راه فرآیندهای انتقال رانه رسوبی بر آنها تاثیر می‌گذارد.
- **تعیین شرایط مرزی پروژه:** شرایط مرزی پروژه بر اساس نوع مالکیت، سازه‌های مجاور و قوانین منطقه‌ای و فرامنطقه‌ای تعیین می‌شوند. گاهی نیز تحلیل‌های انجام شده نشان می‌دهند اجرای پروژه حفاظت ساحلی تا محدوده ویژه‌ای اقتصادی یا از دید فنی و زیست‌محیطی امکان‌پذیر است و بدین ترتیب شرایط مرزی پروژه تعیین می‌شوند.
- **شناسایی اثرهای بالقوه پروژه بر سواحل پیرامونی:** ضرورت دارد مهندس طراح به تعیین اثرهای بالقوه اجرای پروژه بر سواحل پیرامونی بپردازد که اساسا از تغییر در حرکت رانه‌های ساحلی ناشی می‌شود. در این زمینه ضرورت دارد سه اصل زیر مد نظر قرار داشته باشند:[۱]
  - تمام لایروبی‌های اجرایی و نگهداری که برای یک پروژه ساحلی انجام می‌شوند باید به ساحل پایین‌دست (با توجه به جهت حرکت انتقال رسوبات خالص کرانه‌ای) تخلیه شوند. اگر قرار باشد رسوبات لایروبی شده به مکان دیگری تخلیه شوند باید ماسه‌ای با همان کیفیت و کمیت از مکان دیگری به ساحل پایین‌دست تخلیه شود.
  - باید مطابق یک برنامه زمانی سالانه، ماسه به میزان کافی به ساحل پایین‌دست تخلیه شود تا فرسایش آن ساحل را جبران نماید.
  - عدم وجود قوانین و مقرراتی در مورد لزوم جبران اثرهای پروژه بر سواحل پیرامون در یک منطقه ساحلی ویژه، سبب صلب مسوولیت از مهندس طراح برای نادیده گرفتن اثرهای جانبی پروژه نمی‌شود.
- **تعیین بیلان رسوبی محدوده کل پروژه:** برای آن‌که بتوان اثرهای جانبی پروژه را بررسی نمود ضرورت دارد تا بیلان رسوبی محدوده کل پروژه تعیین شود. بدین منظور باید یک سلول رانه‌ای[۲] در نظر گرفته شود که تمام محدوده پروژه را در برگرفته و مرزهای بالادست و پایین دست آن معمولا به موانع طبیعی همچون دماغه‌های ساحلی یا سازه‌های ساحلی دیگر محدود می‌شود.

مولفه‌های اصلی بیلان رسوبی در یک ناحیه ساحلی در شکل (۱-۲۵) نشان داده شده است. همان‌گونه که در این شکل مشخص شده است از چپ به راست نیمرخ ساحلی به چهار بخش تپه ساحلی[۳]،ساحل، پشته ماسه‌ای[۴] و ماسه آب عمیق تقسیم شد است. بسته

---

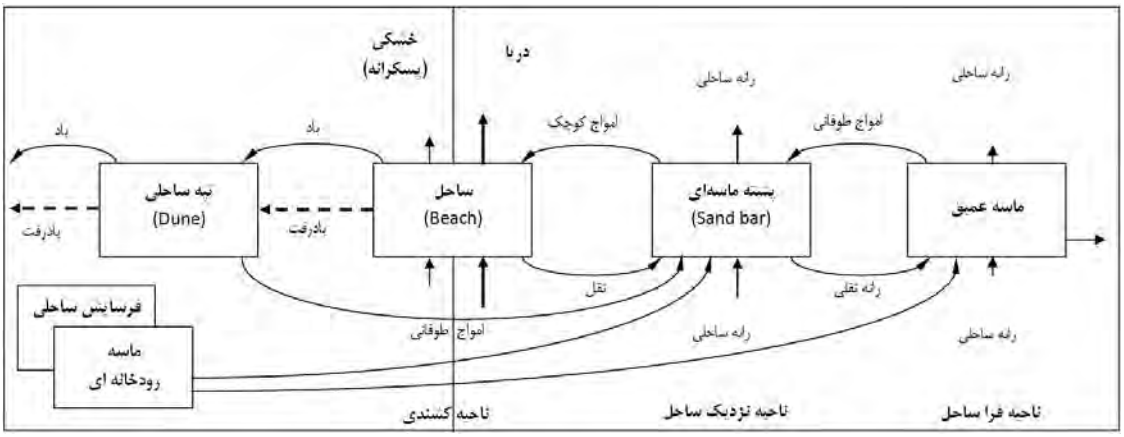
۱- دو اصل اول از قوانین ساحلی مربوط به ایالت فلوریدا (۱۹۸۷) استخراج شده‌اند و اصل سوم مطابق با دستورالعمل‌های راهنمای مهندسی ساحل آمریکا (۲۰۰۶) می‌باشد.

2- Littoral Cell
3- Dune
4- Sand Bar

omoorepeyman.ir

به دقت مطالعات پهنای هر کدام از این بخش‌ها متغیر است می‌تواند کل پهنای ساحل یا بخشی از آن را در بر گیرد. هر کدام از این زیر بخش‌ها یک سلول رانه‌ای را تشکیل می‌دهند که رسوبات به واسطه اثر امواج و جریان‌ها بین آنها جابجا می‌شوند.

هنگام تهیه بیلان رسوبی ناحیه ساحلی مورد مطالعه باید اطلاعات منابع رسوبی، مشخصه‌های دانه‌های رسوبی (دانه‌بندی، وزن مخصوص، جنس و غیره)، راستای حرکت انتقال رسوبات در زیر سلول رانه‌ای، نرخ ورود و خروج رسوبات به زیر سلول رانه‌ای تعیین شوند. برای آن‌که بتوان تاثیر اجرای پروژه بر زیر رانه ساحلی را تعیین نمود، ضرورت دارد درک کاملی از شرایط مرزی، اهمیت هر کدام از منابع رسوبی، حجم‌ها و جهت رانه ساحلی و فرآیندهای انتقال رسوب وجود داشته باشد.




**شکل ۱-۲۵- بیلان رسوبی یک ناحیه ساحلی**

- تعیین نوع روش حفاظتی مورد نیاز: پس از تهیه بیلان رسوبی ناحیه مورد مطالعه می‌توان نوع روش حفاظتی موردنیاز برای مقابله با فرسایش ساحل پایین‌دست را تعیین نمود. پیش از این کار ضرورت دارد سه پارامتر تعیین شود:
  - طول فرسایش در ساحل پایین‌دست
  - نیمرخ ناحیه ساحلی مورد فرسایش
  - نرخ گسترش فرسایش و توزیع زمانی آن در ساحل پایین‌دست

## ۱-۴-۲- اطلاعات هواشناسی

مهم‌ترین اطلاعات هواشناسی که باید هنگام تحلیل ویژگی‌های ساختگاه ساحلی مدنظر داشت عبارتند از:

- انواع سامانه‌های باد
- مشخصات باد (سرعت، جهت، تداوم و غیره)
- بارش
- تغییرات دما
- رطوبت
- تبخیر

omoorepeyman.ir

### ۱-۴-۳- فرآیندهای هیدرودینامیکی

فرآیندهای هیدرودینامیکی اساسی که برای پروژه‌های ساحلی تعیین می‌شوند عبارتند از: اقلیم موج، ترازهای کشندی و جریان‌های ساحلی. هر کدام از این فرآیندها خود دارای مشخصه‌های گوناگونی می‌باشند که بسته به نوع و اهمیت هر پروژه تعدادی یا همه آنها باید با استفاده از اندازه‌گیری یا شبیه‌سازی عددی ارزیابی و تعیین شوند:

- مشخصه‌های موج:
  - ارتفاع، جهت، زمان تناوب و طول موج
  - سرعت فاز و سرعت ذرات آب
  - ارتفاع شکست موج
- مشخصه‌های تراز آب:
  - ترازهای کشندی
  - برکشند طوفان
  - خیزآب باد
  - خیزآب موج
  - بالاروی موج
  - نوسان آزاد
- مشخصه‌های جریان:
  - جریان‌های ناشی از کشند
  - جریان‌های ناشی از موج
  - جریان ناشی از باد
  - جریان‌های رودخانه‌ای

### ۱-۴-۴- تغییرپذیری فصلی اقلیم امواج و جریان

شناسایی تغییرپذیری فصلی امواج و جریان‌ها در ساحل مورد مطالعه برای تفسیر مناسب داده‌های تاریخی و پیش‌بینی پاسخ پروژه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این تغییرپذیری بر مقدار و جهت انتقال رانه ساحلی و هم‌چنین شکل نیمرخ ساحلی تاثیر می‌گذارد. ممکن است در برخی از سواحل فرسایش و رسوب‌گذاری پدیده‌های فصلی باشند، به گونه‌ای که امواج ناشی از طوفان‌های زمستانی سبب فرسایش ساحل و امواج دورآی تابستانی سبب رسوب‌گذاری و بازسازی دوباره آن شوند. بنابراین داده‌های ناکافی که مربوط به یک فصل ویژه باشند می‌توانند به نتیجه‌گیری‌های نادرستی بیانجامند. برای نمونه بیش‌تر سواحل اقیانوسی دوره‌های زمانی را تجربه می‌کنند که در آنها یکی از انواع موج طوفانی یا دورآ غالب می‌باشند، اگرچه در برخی زمان‌ها این دو نوع موج به طور همزمان نیز رخ می‌دهند.

omoorepeyman.ir

### ۱-۴-۵- توپوگرافی خشکی و توپوگرافی بستر

تعیین توپوگرافی خشکی و توپوگرافی بستر ناحیه مورد مطالعه دارای سه گام اساسی زیر می‌باشد:

- **تعیین دقت داده‌های موردنیاز:** گستردگی مکانی، زمانی و دقت داده‌های مورد نیاز برای هر پروژه به هدف و نوع طرح بستگی دارد. برای مواردی همچون محاسبه برداشت‌ها یا خاکریزی‌های ساحلی، بیلان رسوبی و تغییرات خط ساحلی معمولا به برداشت‌های جدید و با جزییات کامل نیاز می‌باشد. در زمینه پروژه‌های ساحلی اغلب برداشت‌های توپوگرافی با بازه خطوط تراز ۰/۳ متر در ساختگاه کفایت می‌کند. با دورتر شدن از محل ساختگاه پروژه دقت لازم برای داده‌های توپوگرافی تا حد زیادی کاهش می‌یابد و در آب‌های ژرف دقتی به اندازه ۳ برابر این مقدار (حدود ۱ متر) نیز کفایت می‌کند.
- **بررسی منابع داده‌ای موجود و در صورت لزوم انجام اندازه‌گیری میدانی:** معمولا برای ساختگاه پروژه نیاز به برداشت‌های جدید و با دقت مورد نظر می‌باشد. در صورتی که پیش‌تر، پروژه دیگری در محل انجام شده باشد، می‌توان از اطلاعات آنها استفاده نمود و صرفه‌جویی زیادی در زمان و هزینه انجام داد. در مورد برداشت‌های فراساحلی با توجه به پایین‌تر بودن اهمیت دقت داده‌ها می‌توان از اطلاعات سازمان‌های مرتبط که به جمع‌آوری و برداشت داده‌ها در پهنه‌های آبی کشور می‌پردازند پرداخت. برای نمونه توپوگرافی نواحی خشکی ساحلی و توپوگرافی بستر مربوط به دریاهای ایران با دقت‌های مناسب در سازمان نقشه‌برداری کشور موجود می‌باشند.
- **بررسی صحت داده‌ها:** تمام نقشه‌های مورد استفاده باید از مراجع معتبر تهیه شده و دارای جهت شمال، مقیاس و مرجع مناسب باشند. در مورد نقشه‌های محلی این مرجع مناسب ممکن است یک یا چندین بنچ مارک از پیش تعیین شده و در مورد نقشه‌های بزرگ‌تر معمولا نسبت به مختصات شناخته شده‌ای همچون سامانه‌ی مختصات جهانی (UTM)[1] یا عرض و طول جغرافیایی باشد. هنگام مقایسه نقشه‌های مختلف مربوط به یک مکان یکسان باید اطمینان حاصل نمود که اختلاف‌های موجود ناشی از خطای اندازه‌گیری نباشد و به طور اشتباه به عنوان تغییرات عامل مورد نظر طی زمان در نظر گرفته نشود. هم‌چنین باید اطمینان حاصل شود که نقشه‌ها اصل هستند یا در صورت تهیه رونوشت از نقشه اصلی، مقیاس‌ها تغییر نکرده باشند. به ویژه در مورد نقشه‌هایی که مقیاس آنها به صورت «۱cm نقشه ≡ ۱km زمین» است کوچک‌تر یا بزرگ‌تر بودن نقشه رونوشت گاهی ممکن است خطای فاجعه‌آمیزی را در طراحی‌ها ایجاد کند.

### ۱-۴-۶- زمین ریخت‌شناسی و مشخصات رسوبات ساحلی

مهم‌ترین جنبه‌های که باید هنگام بررسی زمین ریخت‌شناسی و مشخصات رسوبات برای یک پروژه حفاظت ساحلی مورد بررسی قرار گیرند عبارتند از:

- نوع ساحل مورد مطالعه و عارضه‌های اصلی آن
- منابع و چاهک‌های[2] رسوبی ناحیه ساحلی
- مشخصه‌های رسوبات غالب
- لایه‌بندی رسوبات در عمق

1- Universal Transverse Mercator (UTM)
2- Source and Sink

omoorepeyman.ir

### ۱-۴-۷- تعیین الگوی انتقال رسوبات و رانه ساحلی

انتقال رانه ساحلی به حرکت رسوبات در ناحیه رانه به واسطه امواج و جریان‌ها گفته می‌شود. این انتقال رسوب به دو صورت موازی ساحل[1] و عمود بر ساحل[2] رخ می‌دهد. ناحیه رانه ساحلی از خط ساحلی آغاز شده و تا دورترین جایی که امواج می‌شکنند امتداد می‌یابد. مهم‌ترین مواردی که هنگام تعیین الگوی انتقال رانه ساحلی باید تعیین نمود عبارتند از:

- انتقال رسوبات موازی ساحل
- انتقال رسوبات عمود بر ساحل
- تغییرپذیری فصلی در نیمرخ ساحلی (در همین فصل به «۱-۴-۴- تغییرپذیری فصلی اقلیم امواج و جریان» مراجعه شود)
- تغییرپذیری بلندمدت در نیمرخ ساحلی (این پدیده ممکن است به واسطه عواملی همچون فرونشست ساحل یا بالا آمدن تراز آب دریاهای آزاد رخ دهد. در این زمینه می‌توان در همین فصل به «۱-۵-۱-۹- بالا آمدن تراز دریا و ۱-۵-۱-۱۰- فرونشست ساحل» مراجعه نمود)
- تعیین نواحی که دارای نرخ فرسایش شدیدتری می‌باشند.

تعیین صحیح الگوی انتقال رسوبات ساحلی در محدوده پروژه‌های ساحلی نقش زیادی در موفقیت‌آمیز بودن آنها خواهد داشت. در حالت کلی انتقال رسوبات در ناحیه شکست موج[3] به صورت برداری است که دارای دو مولفه موازی ساحل و عمود بر ساحل می‌باشد. بسته به شرایط هیدرودینامیکی هر ساحل ممکن است در زمان‌ها و مکان‌های مختلف یکی از دو شکل انتقال رسوبات (موازی یا عمود بر ساحل) غالب باشند. در ادامه در زمینه این دو نوع شکل انتقال رسوب توضیحات بیش‌تری داده شده است.

#### ۱-۴-۷-۱- انتقال رسوبات عمود بر ساحل

انتقال رسوب عمود بر ساحل شامل انتقال رسوب به سمت فراساحل و انتقال رسوب به سمت ساحل می‌باشد. انتقال رسوب به سمت فراساحل در مواقع طوفانی رخ می‌دهد و مقیاس زمانی آن نسبت به انتقال رسوب به سمت ساحل کوچک‌تر است. انتقال رسوب به سمت فراساحل نسبت به حرکت رسوبات به سمت ساحل از اهمیت بیش‌تری برخوردار می‌باشد زیرا ممکن است باعث فرسایش زمین‌های ساحلی و خسارت به سازه‌ها گردد. انتقال رسوب عمود بر ساحل به عوامل بسیاری بستگی دارد که از مهم‌ترین آنها می‌توان به چگونگی پاسخ ساحل و تپه‌های ساحلی به طوفان‌ها و نیز تفاوت نیمرخ ساحلی موجود با نیمرخ ساحلی متناظر با رژیم موج اشاره نمود. نیمرخ ساحلی نسبت به شرایط محیطی موجود (امواج و تراز آب) از خود واکنش داده و چنانچه این شرایط محیطی ثابت و پایدار باشند، نیمرخ ساحلی نسبتا ثابت باقی می‌ماند (نیمرخ تعادلی).

معمولا تغییرات نیمرخ ساحلی یک دوره آرامش- طوفانی دارد. امواج بلند و تیز که معمولا در فصل پاییز و زمستان (و گاهی بهار) رخ می‌دهند موجب انتقال مواد رسوبی از ساحل به سمت دریا (فراساحل) می‌شوند. این پدیده باعث فرسایش منطقه نزدیک ساحل شده و یک یا چند پشته ماسه‌ای نزدیک محل شکست امواج تشکیل می‌شود. امواج کوچک‌تر (با تیزی کم‌تر) که در تابستان (دوره آرامش) رخ می‌دهند، مواد رسوبی را به سمت ساحل باز می‌گردانند. در این دوره ارتفاع پشته‌های رسوبی کم شده و عرض ساحل

1- Longshore
2- Cross-Shore
3- Surf Zone

omoorepeyman.ir

افزایش می‌یابد. تغییرات محل رسوبات و موقعیت خط ساحلی در اثر تغییرات دوره‌ای آرامش- طوفانی می‌تواند چشمگیر باشد اما تغییرات خالص در طول چندین سال ممکن است ناچیز باشد. اگر نیمرخ میانگین ساحلی در جهت عمود بر ساحل تغییر نکند، به اصطلاح ساحل در تعادل دینامیکی قرار دارد.

اگر در شرایط محیطی موجود نیمرخ ساحلی به نیمرخ تعادلی نزدیک باشد، حرکت رسوبات در جهت عمود بر ساحل کم است. چنانچه شرایط محیطی تغییر کند، انتظار می‌رود میزان انتقال رسوب عمود بر ساحل زیاد شود تا با شرایط جدید به تعادل برسد. بنابراین نرخ انتقال رسوب عمود بر ساحل متناسب با اختلاف بین نیمرخ ساحلی موجود و نیمرخ تعادلی ناشی از شرایط جدید است. بنابراین، انتقال رسوب عمود بر ساحل بلافاصله پس از تغییر شرایط محیطی زیاد بوده و سپس به تدریج کم‌تر می‌شود. به همین ترتیب تغییرات خط ساحلی به سرعت شروع شده و سپس سرعت آن کم می‌شود. نمونه‌ای از انتقال رسوب عمود بر ساحل، نیمرخ‌های تابستانه و زمستانه است که با تغییر شرایط آب و هوایی در تابستان و زمستان رخ می‌دهد.

به صورت سر انگشتی و تقریبی می‌توان از معیار زیر برای تعیین چگونگی انتقال رسوب عمود بر ساحل استفاده نمود:

- اگر $H / w_f T = 1$ انتقال رسوب عمود بر ساحل وجود ندارد (نیمرخ تعادلی)
- اگر $H / w_f T > 1$ حرکت رسوبات به سمت فراساحل و تشکیل پشته رسوبی (فرسایش نیمرخ ساحلی)
- اگر $H / w_f T < 1$ حرکت رسوبات به سمت ساحل و تشکیل برم ساحلی (رسوب‌گذاری در نیمرخ ساحلی)

که در این روابط:

$w_f$: سرعت سقوط متناظر با قطر متوسط ذرات رسوبی ($D_{50}$) بر حسب متر در ثانیه

H: ارتفاع موج بر حسب متر

T: زمان تناوب موج بر حسب ثانیه

اگر رسوب‌هایی که به سمت فراساحل حرکت کرده‌اند، بازنگردند، ساحل دچار فرسایش شده و نیمرخ ساحلی به سمت ساحل حرکت می‌کند.

### ۱-۴-۷-۲- انتقال رسوبات موازی ساحل

نوع دیگری از انتقال رسوب که ممکن است در یک ناحیه ساحلی رخ دهد، انتقال رسوب در جهت موازی ساحل یا انتقال رسوب کرانه‌ای است. وقتی امواج به طور اریب به ساحل نزدیک می‌شوند، انتقال کرانه‌ای رسوبات صورت می‌گیرد. عامل انتقال کرانه‌ای رسوبات جریان‌های موازی ساحل می‌باشند. مهم‌ترین عامل ایجاد کننده این جریان‌ها، شار مومنتوم ناشی از امواج در حال شکست (تنش‌های تشعشعی)[1] است که باعث ایجاد جریان‌های موازی ساحل و عمود بر ساحل می‌شود. جریان‌های کرانه‌ای ناشی از موج، به موازات ساحل بوده و در ناحیه شکست موج دارای بیش‌ترین مقدار می‌باشند که با حرکت به سمت دریا به سرعت از مقدار آنها کاسته می‌شود. به طور میانگین مقدار جریان‌های موازی ساحل حدود ۰/۳ متر بر ثانیه می‌باشد اما مقادیر بیش از ۱ متر بر ثانیه هم ممکن است هنگام طوفان رخ دهد. توزیع این جریان‌ها در عمق تقریبا ثابت است.

تعیین نرخ و چگونگی انتقال کرانه‌ای رسوبات از مهم‌ترین جنبه‌های طراحی ساحلی می‌باشد. تخمین دقیق فرآیند معلق شدن رسوبات و ارائه یک رابطه کلی برای سرعت‌های کرانه‌ای امواج و نیز مقدار مصالح انتقال داده شده به دلیل عوامل مختلف تاثیرگذار

1- Radiational Stress

omoorepeyman.ir

بر این پدیده، بسیار مشکل می‌باشد. با این حال در مراجع مختلف روابطی برای محاسبه انتقال رسوب کرانه‌ای ارائه شده است. حتی اگر این روابط به خوبی واسنجی شده باشد، به دلیل این‌که پارامترهای دخیل در انتقال رسوب از جایی به جای دیگر متفاوت هستند، نمی‌توان با اطمینان از آنها استفاده نمود و بنابراین باید از مدل‌های عددی نیز استفاده کرد. برای استفاده از مدل‌های عددی باید اندازه‌گیری‌های دقیق از موج، جریان، پارامترهای رسوب و ساحل موجود باشد. حتی نرخ انتقال رسوب محاسبه شده با مدل‌های عددی نیز دارای عدم قطعیت زیادی است. به دلیل مشکل بودن برآورد نرخ انتقال رسوب، محاسبات به صورت حجم‌های توده‌ای[1] انجام می‌شود. در محاسبات توده‌ای انتقال رسوب، نرخ کلی انتقال رسوب کرانه‌ای به پارامترهای ساده قابل اندازه‌گیری ساحل و امواج مرتبط می‌شود. نمونه‌ای از روابط تجربی انتقال رسوب روابط CERC (۱۹۸۴) و Kamphuis (۱۹۹۱) می‌باشد. در این‌جا برای نمونه رابطه Kamphuis (۱۹۹۱) برای تخمین نرخ پتانسیل انتقال رسوبات کرانه‌ای ارائه می‌شود:

$$Q_s = 6.4\times10^4 H_{sb}^2 T_p^{1.5} m_b^{0.75} D_{50}^{-0.25} \sin^{0.6}(2\alpha_b) \qquad (۱-۱)$$

که در این رابطه:

$Q_s$: نرخ پتانسیل انتقال رسوبات کرانه‌ای بر حسب مترمکعب در سال

$H_{sb}$: ارتفاع موج شاخص در حال شکست بر حسب متر

$T_p$: زمان تناوب قله طیف بر حسب ثانیه

$m_b$: شیب ساحل

$D_{50}$: قطر متوسط ذرات رسوب بر حسب متر

$\alpha_b$: زاویه تاج امواج با خطوط هم‌تراز بستر در منطقه شکست بر حسب رادیان

نکته مهمی که هنگام به کارگیری روابط تجربی همچون CERC (۱۹۸۴) و Kamphuis (۱۹۹۱) باید بدان توجه نمود آن است که این روابط نرخ «پتانسیل» انتقال رسوبات کرانه‌ای را به دست می‌دهند و نه نرخ «واقعی» انتقال رسوبات کرانه‌ای. به بیان دیگر این روابط بر این فرض استوارند که مقدار رسوبات موجود در نیمرخ ساحلی نامحدود بوده و نیمرخ ماسه‌ای تا فراساحل امتداد می‌یابد. این در حالی است که این فرضیات در بسیاری نقاط برقرار نیستند.

بنابراین ضروری است که بین نرخ پتانسیل انتقال رسوب کرانه‌ای که از روابط بالا به دست می‌آید و نرخ واقعی انتقال رسوب تمایز قائل شد. نرخ واقعی انتقال رسوب با در نظر گرفتن تمام پارامترهای موثر بر انتقال رسوبات ساحلی همچون جریان‌های ورودی، خروجی، منابع و چاهک‌های رسوبی و غیره محاسبه می‌شود. نمونه‌هایی از منابع رسوبی، آورد رسوبی رودخانه‌ها و فرسایش تپه‌های ساحلی می‌باشند. چاهک‌های رسوبی شامل مواردی همچون حرکت رسوبات به سمت فراساحل، کاهش حجم رسوبات ساحلی در اثر وزش باد، و کاهش حجم رسوبات در اثر فعالیت‌های انسانی همانند ساخت و سازها و لایروبی می‌باشند.

### ۱-۴-۸- روند تغییرات خط ساحلی

مهم‌ترین جنبه‌هایی که هنگام بررسی روند تغییرات خط ساحلی باید در نظر گرفت شامل احتمال وجود فرآیندهای دوره‌ای در تغییرات خط ساحلی، و هم‌چنین تاثیر بالا آمدن آب دریاها و فرونشست ساحل بر تغییرات خط ساحلی می‌باشد. دو مورد اخیر در

1- Bulk Volume

omoorepeyman.ir

همین فصل در بخش‌های «۱-۵-۱-۹- بالا آمدن تراز دریا و ۱-۵-۱-۱۰- فرونشست ساحل» توضیح داده شده‌اند. معمولا برای بررسی روند تغییرات خط ساحلی از مقایسه تصاویر هوایی مربوط به زمان‌های مختلف استفاده می‌شود. وجود داده‌های تکمیلی همچون هیدروگرافی‌های بستر، تغییرات ترازهای کشندی و نرخ انتقال رسوبات متناظر با دوره‌های زمانی این تصاویر هوایی و واردسازی آنها در نرم‌افزارهایی همچون Arcview GIS می‌تواند تحلیل‌های دقیق‌تری در این زمینه به دست دهد. هم‌چنین به کارگیری بسته‌های نرم‌افزاری شبیه‌سازی خط ساحلی که به درستی واسنجی شده باشند می‌توانند اطلاعات سودمندی ارائه کنند.

### ۱-۴-۹- اثرهای جانبی پروژه

مهم‌ترین مواردی که هنگام بررسی اثرهای جانبی پروژه باید مدنظر قرار گیرند عبارتند از:

- اثرهای وارد بر ورود و خروج آب در شاخاب‌های کشندی
- اثرهای وارد بر بالادست و پایین‌دست پروژه و نیاز به تامین ماسه برای نواحی فرسایش یابنده
- تغییر در اقلیم موج
- اثرهای وارد بر آبزیان محدوده پروژه
- اثرهای وارد بر زیستگاه‌های طبیعی همچون جنگل حرا یا آبسنگ‌های مرجانی

### ۱-۴-۱۰- ملاحظات زیست محیطی

اصلی‌ترین ملاحظات زیست‌محیطی که هنگام طراحی و اجرای پروژه ساحلی باید مدنظر قرار گیرد عبارتند از:

- برداشت اطلاعات زیست‌محیطی از محدوده پروژه به منظور تعیین شرایط موجود
- تعیین راهکارهایی به منظور کاهش اثرهای زیست‌محیطی پروژه
- تعیین اثرهای پروژه بر کیفیت آب
- تعیین راهکار مناسب دفع پساب و بررسی اثرهای فیزیکی و شیمیایی کوتاه مدت و بلندمدت پساب دفع شده

در زمره مهم‌ترین روش‌هایی که برای کاهش اثرهای زیست‌محیطی پروژه وجود دارد می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- **دوری جستن:** تنظیم زمان فعالیت‌های اجرای پروژه به گونه‌ای که از دوره‌های زمانی مهاجرت ماهیان، تخم‌ریزی آبزیان، تخم‌گذاری لاک‌پشت‌ها یا پرندگان دریایی دوری جسته شود.
- **به حداقل رساندن:** پروژه به گونه‌ای اجرا شود که به جای آبسنگ‌های قدیمی و بالغ، آبسنگ‌های جدیدتر مورد تهدید و تخریب قرار گیرند که امکان بازیابی آنها در مدت زمان کم‌تری موجود است. به کارگیری مصالحی با رویه زبر و خشن بر روی سازه تا امکان رشد مرجان‌ها و دیگر گونه‌ها فراهم باشد.
- **اصلاح:** بازسازی دوباره سکوهای ساحلی تخریب شده و هم‌چنین بازیابی جریان به تالاب‌های اولیه.
- **جبران:** به کارگیری مصالح لایروبی شده برای ایجاد زیستگاه‌های ساحلی، ایجاد جزایر فراساحلی، افزایش یا ایجاد تالاب‌های جدید. ایجاد آبسنگ‌های مصنوعی.

omoorepeyman.ir

### ۱-۴-۱۱- ملاحظات منطقه‌ای

در زمره مهم‌ترین ملاحظات منطقه‌ای می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- قوانین و مقررات بین‌المللی، ملی و منطقه‌ای
- فعالیت‌های لرزه‌ای منطقه و بارگذاری‌های بالقوه ناشی از آن (شکل ۱-۲۶)
- بررسی تاریخچه رخداد سونامی و اثرهای بالقوه آن
- بررسی احتمال یخزدگی و اثرهای بالقوه آن با توجه به داده‌های بلندمدت دمای ناحیه

### ۱-۴-۱۲- ملاحظات ژئوتکنیکی

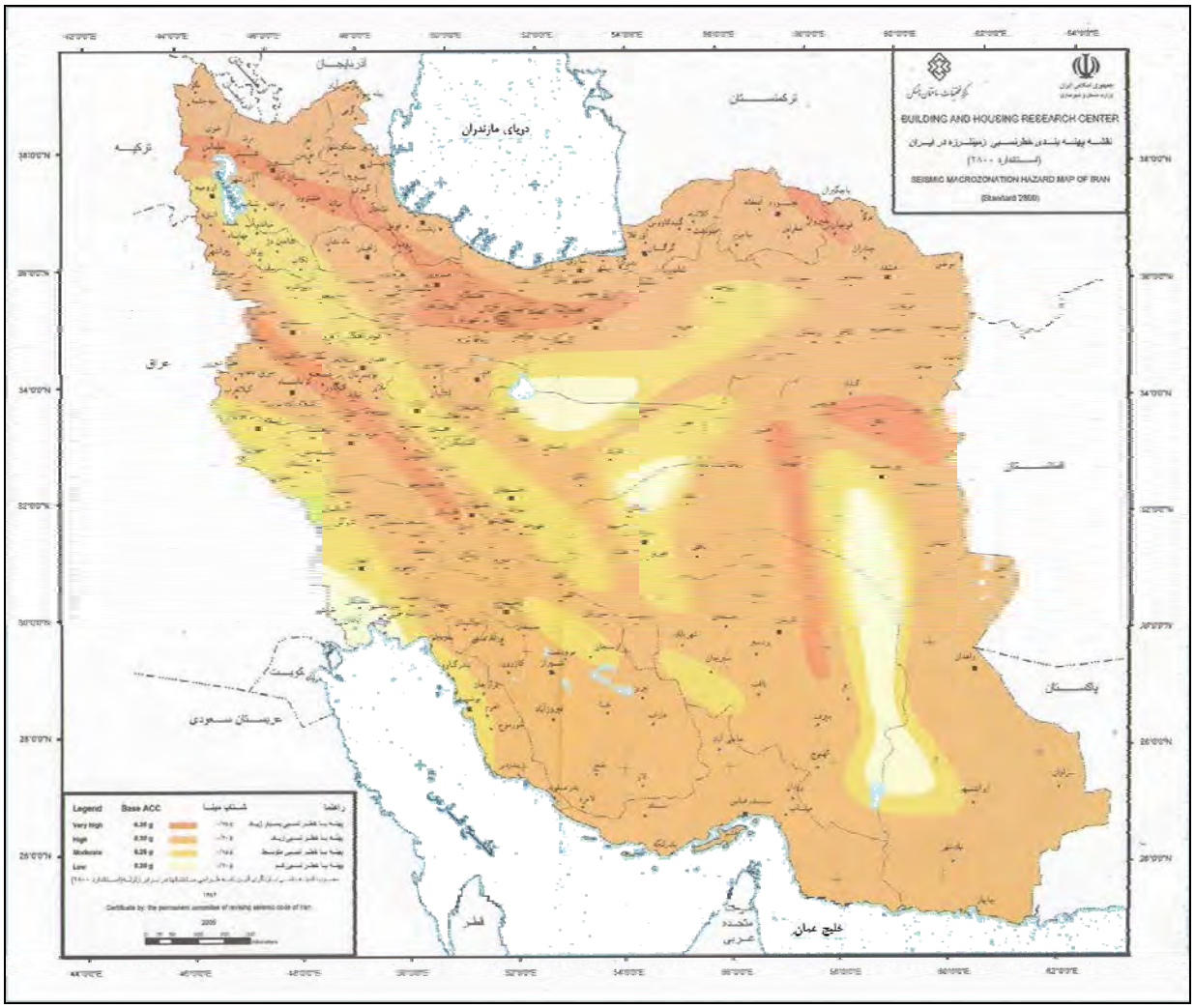
بررسی‌های ژئوتکنیکی پروژه‌های ساحلی دارای سه مرحله اصلی می‌باشند: شناسایی کلی ساختگاه، شناسایی اولیه، و شناسایی برای طراحی دقیق. این‌که در مرحله آخر چه اطلاعاتی باید برداشت و جمع‌آوری شود به یافته‌های مراحل شناسایی قبلی بستگی دارد. در ادامه اهداف و پارامترهایی که باید در هر کدام از این سه مرحله اندازه‌گیری شوند ارائه شده است.

**- مرحله شناسایی کلی ساختگاه**

در این مرحله با استفاده از داده‌های زمین‌شناختی موجود، ماهیت ساختگاه پیشنهادی پروژه به طور دفتری (غیر صحرایی) تعیین می‌شود. منابع اطلاعاتی این مرحله عبارتند از: نقشه‌های توپوگرافی و لرزه‌خیزی، عکس‌های هوایی، نقشه‌های آب زیرزمینی، مطالعات ژئوتکنیکی انجام شده در ساختگاه پروژه و مکان‌های مجاور آن، مشاهدات محلی و گزارش‌های رسانه‌های ملی، داده‌های ثبت شده حرکات زمین، توصیفات ژئوتکنیکی و زمین‌شناختی منتشر شده، و داده‌های تاریخی پروژه‌های ساحلی پیشین در نزدیکی ساختگاه مورد نظر می‌باشند.

هدف از مرحله شناسایی کلی ساختگاه، به دست آوردن درکی کلی از تاریخچه، تشکیل و لایه‌بندی زمین‌شناختی؛ رژیم آب زیرزمینی؛ و احتمالا لرزه‌خیزی ساختگاه می‌باشد.

omoorepeyman.ir




**شکل ۱-۲۶- نقشه پهنه‌بندی خطر لرزه‌ای ایران**

**- مرحله شناسایی اولیه**

اهداف این مرحله عبارتند از:

- شناسایی مسایل و مشکلات بالقوه ژئوتکنیکی
- جمع‌آوری اطلاعات ژئوتکنیکی کافی در ساختگاه‌های پیشنهادی برای انتخاب ساختگاه نهایی
- تعیین پارامترهای ژئوتکنیکی کافی برای طراحی اولیه پروژه

پارامترهایی که در این مرحله باید اندازه‌گیری شوند عبارتند از:

- ترکیبات، ضخامت و عمق تقریبی لایه‌های مختلف خاک
- عمق سنگ بستر
- تغییرات تراز آب زیرزمینی
- مقدار تقریبی پارامترهای اساسی خاک
- منابع قرضه احتمالی برای تامین مصالح اجرایی پروژه

omoorepeyman.ir

**- مرحله شناسایی برای طراحی دقیق**

هدف از این مرحله جمع‌آوری و تحلیل داده‌های ویژه خاک (فراتر از داده‌های جمع‌آوری شده در مرحله شناسایی اولیه) به منظور طراحی نهایی پی پروژه می‌باشد. آنچه در این‌جا اهمیت اساسی دارد مشخص ساختن پارامترهایی می‌باشد که باید اندازه‌گیری شوند. تصمیم‌گیری درباره پارامترهایی که باید تعیین شوند به حالت‌های خرابی پی بستگی دارد. در جدول (۱-۷) فهرستی از حالت‌های خرابی اصلی پی و تشخیص پارامترهایی که در ارزیابی هر حالت سودمند می‌باشند ارائه شده است.

برای به دست آوردن اطلاعات بیش‌تر در زمینه ملاحظات ژئوتکنیکی می‌توان به «آیین‌نامه طراحی بنادر و سازه‌های دریایی ایران، نشریه شماره ۳-۳۰۰، مکانیک خاک و پی» مراجعه نمود.

**جدول ۱-۷- داده‌های خاک موردنیاز برای ارزیابی حالت‌های خرابی پی**

| نام پارامتر | ناپایداری بزرگ-مقیاس | | | نشست‌های خرابی بزرگ-مقیاس | فرسایش فیلتر کوچک-مقیاس |
|---|---|---|---|---|---|
| | خرابی لغزشی | روانگرایی | خرابی دینامیکی | | |
| نیمرخ خاک | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ |
| اندازه دانه و طبقه‌بندی | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ |
| فشار پیزومتریک | ۱ | ۱ | ۱ | ۲ | ۱ |
| تراوایی | ۲ | ۲ | ۲ | ۱ | ۱ |
| چگالی خشک و تر | ۱ | ۲ | ۲ | ۱ | ۲ |
| چگالی نسبی، پوکی | – | ۱ | ۲ | – | – |
| مقاومت برشی زهکشی شده | ۱ | ۲ | ۲ | – | ۳ |
| مقاومت برشی زهکشی نشده | ۱ | – | – | – | ۳ |
| تراکم‌پذیری | ۲ | – | – | ۱ | – |
| نرخ تحکیم | ۱ | – | – | ۱ | – |
| مدول کشسانی | ۲ | ۲ | ۱ | ۱ | – |
| تنش درجا | ۲ | ۱ | ۱ | ۱ | – |
| تاریخچه تنش | – | ۱ | ۲ | ۱ | – |
| منحنی تنش و کرنش | ۲ | ۱ | ۱ | ۲ | – |

۱- بسیار مهم

۲- مهم

۳- اهمیت کم

## ۱-۴-۱۳- مصالح موجود و ملزومات مرتبط با آن

یکی از اساسی‌ترین مولفه‌هایی که باید هنگام تحلیل ویژگی‌های ساختگاه ساحلی مدنظر داشت، نوع مصالح در دسترس و نیز ویژگی‌های آنها می‌باشد. این موضوع در تعیین نوع راهکار حفاظت ساحلی مورد استفاده و نوع روش اجرایی که به کار خواهد رفت، و هم‌چنین هزینه پایانی طرح حفاظت ساحل نقش تعیین کننده‌ای خواهد داشت. به همین دلیل در این قسمت انواع مصالح مورد استفاده در پروژه‌های ساحلی و ویژگی‌های مهندسی آنها و هم‌چنین معیارهای انتخاب مصالح به طور نسبتا مفصل ارائه می‌شود.

### ۱-۴-۱۳-۱- انواع مصالح و ویژگی‌های مهندسی آنها

متداول‌ترین مصالحی که در پروژه‌های دریایی مورد استفاده قرار می‌گیرند عبارتند از:

omoorepeyman.ir

- **خاک و ماسه:** پروژه‌های ساحلی معمولا دارای حجم زیادی می‌باشند و نیازمند حجم چشمگیری از مصالح اجرایی می‌باشند. در نتیجه هر جا که امکان آن وجود داشته باشد از خاک و ماسه به عنوان فیلتر یا حتی برای تامین پایداری سازه استفاده می‌شود. مهم‌ترین مصارف این نوع مصالح در مواردی همچون موج‌شکن‌های توده سنگی[۱]، صندوقه‌ها[۲]، دیوارهای حایل[۳] و دیوارهای دریایی قائم[۴]، بند[۵]، بازیابی ساحل[۶]، احیای زمین[۷] و سنگدانه بتن می‌باشد.

مهم‌ترین ویژگی‌های مهندسی خاک‌ها عبارتند از: چگالی[۸]، مقاومت برشی، تراکم‌پذیری[۹] و تراوایی.[۱۰] این ویژگی‌ها برای تخمین پایداری شیروانی، ظرفیت باربری، نشست و نرخ فرسایش مورد استفاده قرار می‌گیرند. در ادامه توضیح کوتاهی درباره روش‌های تعیین این ویژگی‌های مهندسی خاک آورده شده است:

**• چگالی خاک**

در علم مکانیک خاک، به نسبت جرم ماده به فضای کلی که اشغال کرده است (شامل دانه‌های خاک و خلل و فرج بین آنها) «چگالی» گفته می‌شود. در جدول (۱-۸) تعدادی از پارامترهای مرتبط با چگالی که عموما توسط مهندسان ژئوتکنیک مورد استفاده قرار می‌گیرد ارائه شده است.

برای محاسبه چگالی نسبی ( $D_r$ ) یک خاک درجا[۱۱] و غیرچسبنده از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$D_r = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} \times 100\% \qquad (۲-۱)$$

که در این رابطه:

e: نسبت تخلخل خاک

$e_{max}$: نسبت تخلخل خاک در سست‌ترین حالت

$e_{min}$: نسبت تخلخل خاک در متراکم‌ترین حالت

چگالی نسبی معیاری از تراکم مصالح دانه‌ای در پروژه‌های ساحلی همچون پشتریز ماسه‌ای[۱۲] یا مغزه بندهای ساحلی به دست می‌دهد. تخمین عملی چگالی نسبی باید با توجه به «ASTM D-4254 1994» صورت گیرد.

1- Rubble-mound Breakwater
2- Caisson
3- Bulkhead
4- Vertical-Front Seawall
5- Dike
6- Beach Restoration
7- Land Reclamation
8- Density
9- Compressibility
10- Permeability
11- In Situ
12- Sand Backfill

omoorepeyman.ir

**جدول ۱-۸- پارامترهای مرتبط با چگالی خاک**

| نام پارامتر | علامت | معادله |
|---|---|---|
| • **پارامترهای اساسی** | | |
| وزن دانه‌ها | $W_S$ | |
| وزن آب | $W_W$ | |
| حجم دانه‌ها | $V_S$ | |
| حجم خلل و فرج | $V_V$ | |
| حجم کل | V | $V_S + V_V$ |
| وزن واحد آب | $\gamma_W$ | |
| • **پارامترهای مشتق شده** | | |
| وزن واحد خاک خشک | $\gamma_d$ | $\frac{W_S}{V}$ |
| وزن واحد خاک مرطوب | $\Gamma$ | $\frac{W_S + W_W}{V}$ |
| وزن واحد خاک اشباع | $\gamma_{sat}$ | $\frac{W_S + V_V\gamma_W}{V}$ |
| وزن واحد خاک غوطه‌ور | $\gamma_{sub}$ | $\frac{W_S - V_S\gamma_W}{V}$ |
| گرانش ویژه | G | $\frac{\gamma_S}{\gamma_W}$ |
| نسبت تخلخل | E | $\frac{n}{100-n}$ یا $\frac{V_V}{V_S}$ |
| پوکی | N | $\frac{e}{1+e}\times100\%$ یا $\frac{V_V}{V}\times100\%$ |

* گرانش ویژه بین ۲/۵ تا ۲/۸ می‌باشد و معمولا در محاسبات از پیش‌فرض ۲/۶۵ برای ماسه و ۲/۷۰ برای رس استفاده می‌شود.

** نسبت تخلخل بین ۰/۱۵ برای خاک‌های خوب تراکم شده تا ۴/۰ برای خاک‌های بسیار سست دارای میزان بالای مواد آلی می‌باشد. دانه‌های کروی شکل یکنواختی که کاملا متراکم شده باشند دارای نسبت تخلخل دست کم ۰/۳۵ می‌باشند.

تراکم نسبی ($R_C$)[1] که بیانگر چگالی نسبی خاک‌های متراکم شده می‌باشد، به صورت زیر تعیین می‌شود:

$$R_C = \frac{\gamma_d}{\gamma_{dmax}} \times 100\% \qquad (۳-۱)$$

که در این رابطه:

$\gamma_d$: وزن واحد خاک خشک ($N/m^3$)

$\gamma_{dmax}$: وزن واحد خاک مرطوب هنگامی که تا چگالی بیشینه‌اش متراکم شده باشد ($N/m^3$)

تراکم نسبی معمولا برای توصیف خاک‌های چسبنده‌ای استفاده می‌شود که مورد تراکم‌سازی قرار گرفته‌اند.

### • مقاومت برشی

در طراحی مقدماتی، مقدار مقاومت برشی خاک را می‌توان با استفاده از راهکارهای آزمایشگاهی یا میدانی (درجا) ارائه شده در «EM 1110-2-1906»[2] یا استانداردهای ASTM تعیین نمود. آزمون‌های متداولی که در این زمینه مورد استفاده قرار می‌گیرند

1- Relative Compaction
2- Department of the Army 1986

omoorepeyman.ir

عبارتند از: آزمون سه محوری تحکیم نیافته-زهکشی نشده[1]، آزمون سه محوری تحکیم یافته-زهکشی نشده و آزمون سه محوری تحکیم یافته-زهکشی شده.

- **تراکم‌پذیری**

تراکم‌پذیری معیاری از نشست خاک طی زمان به ازای بارهای وارده یا تغییر در تراز آب زیرزمینی ارائه می‌دهد. تراکم‌پذیری مصالح غیرچسبنده بر اساس چگالی نسبی خاک تعیین می‌شود و تخمین‌های مربوط به نشست خاک به طور مستقیم به دست می‌آیند. فرآیند تحکیم خاک‌های چسبنده پیچیده‌تر بوده و در سه مرحله رخ می‌دهد که عبارتند از نشست آنی،[2] تحکیم اولیه[3] و تحکیم ثانویه.[4]

- **تراوایی**

تراوایی پارامتری می‌باشد که با سرعت جریان لایه‌ای آب تحت اثر گرانش از میان خاک مرتبط می‌باشد. مشکلات ژئوتکنیکی پروژه‌های ساحلی که با تراوایی خاک مرتبط می‌باشند شامل مواردی همچون تراوش از میان ماسه‌های ساحلی، تحکیم پشت‌ریزها و خاک‌هایی که به طور هیدرولیکی ریخته شده‌اند، و نشست پی‌ها می‌باشد. تراوایی خاک با استفاده از رابطه تجربی دارسی محاسبه می‌شود که برای محدوده خاک‌های رسی و لای تا ماسه‌های درشت قابل استفاده است. معادله دارسی برای جریان پایدار از میان یک خاک یکنواخت به صورت زیر بیان می‌شود:

$$Q = KA\frac{\Delta h}{L} \qquad (۴-۱)$$

که در این رابطه:

$Q$: بده جریان $(m^3/s)$

$A$: سطح مقطع جریان $(m^2)$

$L$: طول مسیر جریان $(m)$

$\Delta h$: اختلاف تراز (هد) در طول مسیر جریان $(m)$

خاطرنشان می‌شود در مورد خاک‌های غیر یکنواخت نمی‌توان از رابطه بالا استفاده نمود. بهترین راه تعیین تراوایی خاک استفاده از آزمون‌های پمپاژ میدانی می‌باشد. ضرایب با دقت کم‌تر را می‌توان از راه آزمون‌های آزمایشگاهی مطابق «EM 1110-2-1906» یا استانداردهای ASTM به دست آورد. سومین راهکار که نسبت به دو روش گفته شده نادقیق‌تر است، استفاده از معادلات تجربی می‌باشد که تراوایی را بر حسب ویژگی‌های خاک به دست می‌آورند. در جدول (۱-۹) ضرایب تراوایی مربوط به خاک‌های معمولی ارائه شده است. باید توجه شود که این ضرایب فقط در طراحی اولیه قابل استفاده می‌باشند.

1- Unconsolidated-Undrained Triaxial Test
2- Immediate Settlement
3- Primary Consolidation
4- Secondary Compression

omoorepeyman.ir

**جدول ۱-۹- ضرایب تراوایی مربوط به انواع خاک (K)**

| نوع خاک | محدوده اندازه دانه (cm) | | اندازه موثر (mm) | ضریب تراوایی (cm/s) |
|---|---|---|---|---|
| | $D_{min}$ | $D_{max}$ | $D_{10}$ | K |
| ماسه درشت و یکنواخت | ۰/۰۵ | ۰/۲ | ۰/۶ | ۰/۴ |
| ماسه متوسط و یکنواخت | ۰/۰۲۵ | ۰/۰۵ | ۰/۳ | ۰/۱ |
| شن و ماسه خوب دانه‌بندی شده و تمیز | ۰/۰۰۰۵ | ۱/۰ | ۰/۱ | ۰/۰۱ |
| ماسه ریز و یکنواخت | ۰/۰۰۵ | ۰/۰۲۵ | ۰/۰۶ | $۴۰\times۱۰^{-۴}$ |
| شن و ماسه لای‌دار و خوب دانه‌بندی شده | ۰/۰۰۱ | ۰/۵ | ۰/۰۲ | $۴\times۱۰^{-۴}$ |
| ماسه لای‌دار | ۰/۰۰۰۵ | ۰/۲ | ۰/۰۱ | $۱\times۱۰^{-۴}$ |
| لای یکنواخت | ۰/۰۰۰۵ | ۰/۰۰۵ | ۰/۰۰۶ | $۰/۵\times۱۰^{-۴}$ |
| رس ماسه‌دار | ۰/۰۰۰۱ | ۰/۱۰ | ۰/۰۰۲ | $۰/۰۵\times۱۰^{-۴}$ |
| رس لای‌دار | ۰/۰۰۰۱ | ۰/۰۰۵ | ۰/۰۰۱۵ | $۰/۰۱\times۱۰^{-۴}$ |
| رس (۳۰ تا ۵۰ درصد اندازه‌های رس) | ۰/۰۰۰۰۵ | ۰/۰۰۵ | ۰/۰۰۰۸ | $۰/۰۰۱\times۱۰^{-۴}$ |

- **سنگ:** در کنار ماسه و خاک، سنگ یکی از پرمصرف‌ترین مصالحی است که برای ساخت انواع موج‌شکن‌ها، دستک‌ها، آبشکن‌ها، پوشش‌های محافظ و دیوارهای دریایی در سرتاسر دنیا مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در زمره مهم‌ترین ویژگی‌های مهندسی سنگ می‌توان به نوع، وزن مخصوص، توزیع و اندازه سنگ، شکل، دوام، مقاومت، پوکی و جذب آب، و مقاومت در برابر سایش اشاره نمود.

**• نوع**

در حالت کلی، سنگ‌های طبیعی به سه دسته تقسیم می‌شوند: سنگ‌های آذرین،[1] سنگ‌های رسوبی و سنگ‌های دگرگونی[2] ویژگی‌های مهندسی انواع سنگ‌ها در جدول (۱-۱۰) ارائه شده است.

**• وزن مخصوص**

در بیش‌تر پروژه‌های دریایی که از سنگ استفاده می‌شود ضرورت دارد که سنگ در برابر نیروهای امواج و جریان‌ها در جای خود پایدار بماند. در سازه‌هایی که قطعات لایه آرمور توسط بتن یا آسفالت به یکدیگر پیوند نخورده باشد از سنگ‌هایی با وزن مخصوص نسبتا زیاد برای فراهم ساختن پایداری استفاده می‌شود. البته بخشی از پایداری نیز به واسطه قفل و بست شدگی مکانیکی و اصطکاکی بین قطعات سنگ به دست می‌آید. در مورد لایه‌های فیلتر و مغزه اهمیت وزن مخصوص کاهش می‌یابد. قطعات سنگ لایه آرمور معمولا به صورت وزنی خریداری می‌شوند حال آن‌که سنگ‌های لایه‌های ثانویه و مغزه به صورت حجمی مشخص و تهیه می‌شوند. در ستون دوم جدول (۱-۱۰) وزن مخصوص انواع سنگ ارائه شده است.

1- Igneous Rock
2- Metamorphic Rock

omoorepeyman.ir

**جدول ۱-۱۰- ویژگی‌های مهندسی انواع سنگ‌ها**

| نام گروه سنگ | وزن مخصوص ($kN/m^3$) | مقاومت فشاری محصور نشده (MPa) | جذب آب (٪) | پوکی (٪) |
|---|---|---|---|---|
| **سنگ‌های آذرین** | | | | |
| گرانیت | ۲۴/۵–۲۷/۵ | ۱۶۰–۲۶۰ | ۰/۲–۲/۰ | ۰/۴–۲/۴ |
| دیوریت | ۲۵/۵–۳۰/۴ | ۱۶۰–۲۶۰ | – | ۰/۳–۲/۷ |
| گابرو | ۲۷/۵–۳۱/۴ | ۱۸۰–۲۸۰ | ۰/۲–۲/۵ | ۰/۳–۲/۷ |
| ریولیت | ۲۲/۶–۲۷/۵ | ۱۰۰–۲۶۰ | ۰/۲–۵/۰ | ۰/۴–۶/۰ |
| آندزیت | ۲۳/۵–۲۹/۴ | ۱۶۰–۲۶۰ | ۰/۲–۱۰ | ۰/۱–۱۰ |
| بازالت | ۲۴/۵–۳۰/۴ | ۱۶۰–۲۸۰ | ۰/۱–۱/۰ | ۰/۱–۱/۰ |
| **سنگ‌های رسوبی** | | | | |
| کوآرتزیت | ۲۵/۵–۲۷/۵ | ۲۲۰–۲۶۰ | ۰/۱–۰/۵ | ۰/۱–۰/۵ |
| ماسه سنگ | ۲۲/۶–۲۷/۵ | ۱۵–۲۲۰ | ۱/۰–۱۵ | ۵–۲۰ |
| لای سنگ | ۲۲/۶–۲۷/۵ | ۶۰–۱۰۰ | ۱/۰–۱۰ | ۵–۱۰ |
| شیل | ۲۲/۶–۲۶/۵ | ۱۵–۶۰ | ۱/۰–۱۰ | ۵–۳۰ |
| سنگ آهک | ۲۲/۶–۲۶/۵ | ۳۰–۱۲۰ | ۰/۲–۵/۰ | ۰/۵–۲۰ |
| سنگ گچ | ۱۴/۷–۲۲/۶ | ۵–۳۰ | ۲/۰–۳۰ | ۲۰–۳۰ |
| **سنگ‌های دگرگون** | | | | |
| فیلیت | ۲۲/۶–۲۶/۵ | ۶۰–۹۰ | ۰/۵–۶/۰ | ۵–۱۰ |
| شیست | ۲۶/۵–۳۱/۴ | ۷۰–۱۲۰ | ۰/۴–۵/۰ | ۵–۱۰ |
| گنیس | ۲۵/۵–۲۷/۵ | ۱۵۰–۲۶۰ | ۰/۵–۱/۵ | ۰/۵–۱/۵ |
| ماربل | ۲۶/۵–۲۷/۵ | ۱۳۰–۲۴۰ | ۰/۵–۲/۰ | ۰/۵–۲/۰ |
| سلیت | ۲۶/۵–۲۷/۵ | ۷۰–۱۲۰ | ۰/۵–۵/۰ | ۰/۵–۵/۰ |

- **توزیع و اندازه سنگ**

اندازه تقریبی یک سنگ نسبتا گرد را برابر با قطر کره‌ای در نظر می‌گیرند که حجمش با حجم سنگ یکی باشد. بنابراین اندازه تقریبی سنگ ($D_s$) بر حسب متر به صورت زیر به دست می‌آید:

$$D_s = 1.24\left(\frac{W_s}{\gamma_s}\right)^{1/3} \qquad (۵-۱)$$

که در این رابطه:

$W_s$: وزن سنگ ($kg$)

$\gamma_s$: وزن مخصوص سنگ ($kg/m^3$)

خروجی معدن سنگ را می‌توان بر اساس قطر متوسط سنگ و توزیع آنها طبقه‌بندی نمود. طبقه‌بندی کلی سنگ‌ها بر اساس اندازه و دانه‌بندی شامل مواردی همچون سنگ‌های آرمور، سنگ‌های لایه‌های زیرین، سنگریزه، سنگریز نامنظم[1] و سنگ‌های لایه فیلتر و بستر می‌باشد.

1- Riprap

omoorepeyman.ir

**• شکل**

شکل سنگ نقش مهمی در پایداری لایه آرمور دارد. سنگ‌های زاویه‌دار دارای ویژگی قفل و بست بیش‌تری بوده و هنگام قرارگیری تصادفی، فضای خالی بیش‌تری بین آنها به‌وجود می‌آید. ویژگی نخست سبب می‌شود آنها در شیب‌های نسبتا زیاد هم پایدار باقی بمانند و ویژگی دوم سبب می‌شود به گونه موثرتری انرژی موج را مستهلک کنند. در مقابل سنگ‌های نسبتا گرد را نمی‌توان در شیب‌های زیاد قرار داد و به سمت پنجه شیب حرکت خواهند کرد و عملیات استقرار آنها نیز در مقایسه با سنگ‌های زاویه دار مشکل‌تر می‌باشد.

**• دوام**

دوام سنگ معیاری کیفی است که بیانگر توانایی سنگ در حفظ ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی حین بهره‌برداری از پروژه می‌باشد. دوام سنگ به عواملی همچون ویژگی‌های سنگ اولیه‌ای که سنگ‌ها از آن به دست آمده‌اند (بافت، ساختار، ترکیبات آلی و غیره)، روش استخراج (انفجار یا برش زنی)، روش جابجایی و حمل، شرایط محیطی که سنگ در معرض آن می‌باشد و بارگذاری‌های وارد بر سنگ بستگی دارد. عموما سنگ‌های متراکم، ریزبافت و سخت دارای بیش‌ترین دوام می‌باشند.

انواع سنگ به ترتیب از بادوام‌ترین به کم دوام‌ترین عبارتند از: گرانیت، کوآرتزیت، بازالت، سنگ آهک و دولومیت، ریولیت و داسیت، آندزیت، ماسه سنگ، برسیا و کونگلومرا.

**• مقاومت**

سنگ‌های به کار رفته در پروژه‌های ساحلی معمولا بر اساس وزن مخصوص، شکل و دوامشان انتخاب می‌شوند و به ندرت ملزومات مقاومت فشاری یا کششی در نظر گرفته می‌شود. در حالت کلی، سنگ‌ها باید دارای مقاومت فشاری کافی برای تحمل بار لایه‌های بالاتر یا روسازه‌ها باشند. مقاومت فشاری انواع سنگ در ستون سوم جدول (۱-۱۰) ارائه شده است.

**• پوکی و جذب آب**

منظور از «پوکی سنگ»[1] همان حجم حفرات موجود در حجم واحد سنگ می‌باشد. این اصطلاح را نباید با «پوکی توده‌ای»[2] یک لایه آرمور اشتباه گرفت که با حجم فضای خالی بین سنگ‌ها مرتبط می‌باشد. «جذب آب» جرم آب جذب شده در جرم واحد سنگ خشک در فشار جو می‌باشد و کم‌تر از جذبی می‌باشد که هنگام اشباع شدن حفرات سنگ‌ها رخ می‌دهد. مقادیر جذب آب و پوکی انواع سنگ در ستون‌های چهارم و پنجم جدول (۱-۱۰) ارائه شده است.

جذب آب سنگ به تنهایی یکی از شاخص‌های مهم دوام سنگ می‌باشد به ویژه در مورد سنگ‌هایی که در معرض تنش‌های دوره‌ای ناشی از یخزدن و ذوب‌شدن دوره‌ای می‌باشند. برای آن‌که سنگ‌های لایه آرمور دچار هوازدگی یا ترک خوردگی و شکست ناشی از یخزدن و ذوب‌شدن دوره‌ای نشوند بهتر است دارای مشخصه جذب آب کم‌تر از ۳ درصد باشند.

omoorepeyman.ir

1- Stone Porosity
2- Bulk Porosity

**• مقاومت در برابر سایش**

مقاومت در برابر سایش ویژگی مهمی برای مصالحی می‌باشد که به صورت توده‌ای حمل می‌شوند همچون مصالح مغزه، سنگریز نامنظم و سنگ فیلتر. سنگ‌های ضعیف‌تر حین بارگیری و قراردهی به قطعات کوچک‌تر می‌شکنند که سبب تغییر در دانه‌بندی مصالح می‌شود. لایه‌های آرمور دینامیکی که تحت اثر موج تغییر شکل می‌دهند باید با استفاده از مصالح مقاوم در برابر سایش اجرا شده باشند. مقاومت سنگ در برابر سایش به میزان ترک‌ها، شکاف‌ها و درزهای موجود در سنگ بستگی دارد. برخی از ترک‌ها ممکن است ناشی از حفاری انفجاری در معدن سنگ و برخی دیگر نیز به دلیل جابجایی و انباشت چندباره سنگ‌ها باشد.

با توجه به ویژگی‌های مهندسی سنگ (نوع، وزن مخصوص، توزیع و اندازه سنگ، شکل، دوام و غیره) که در بالا به آنها اشاره شد، در جدول (۱-۱۱) چک لیستی ارائه شده است که مطابق آن می‌توان از مناسب بودن سنگ اطمینان نسبی حاصل نمود.

**جدول ۱-۱۱- چک لیست ارزیابی مناسب بودن سنگ[۱]**

| نام آزمون | معیار تخمینی برای مناسب بودن سنگ |
|---|---|
| پتروگرافی | دارای کریستال قفل و بستی و تمیز با کمی حفرات، بدون ترکیبات آلی رس و بدون مواد آلی قابل حل |
| گرانش ویژه توده‌ای[۲] (اشباع، سطح خشک) | بزرگ‌تر از ۲/۶۰ |
| جذب آب | کم‌تر از ۱/۲ درصد** |
| مقاومت در برابر $MgSO_4$ | کم‌تر از ۲ درصد تلفات در پنج دوره* |
| مقاومت در برابر Glycol | عدم خوردگی مگر تراشه‌های خوردگی بسیار کوچک سطحی |
| سایش | کم‌تر از ۲۵ درصد تلفات در ۱۰۰۰ دوره** |
| یخزدن- ذوب شدن | عدم تاثیرپذیری چشمگیر در ۲۰ دوره |
| تر شدن- خشک شدن | بدون ترک خوردگی پیشرونده چشمگیر در ۳۵ دوره |
| مشاهده میدانی | تشخیص بر اساس رنگ، اندازه، و دیگر مشخصه‌های بصری |
| شاخص میدانی[۳] | تشخیص بر اساس خراش، حلقه و دیگر مشخصه‌های فیزیکی |
| آزمون افت میدانی[۴] | عدم شکست یا ترک خوردگی سنگ |
| قراردهی میدانی[۵] | عدم تلفات یا ترک خوردگی در ۱۲ ماه نمایان بودن سنگ |

* این معیارها کلی بوده و فقط برای قضاوت مقدماتی قابل استفاده می‌باشند

** سنگدانه‌های درشت

- **بتن و آسفالت:** بتن سیمانی و بتن قیری که در این راهنما به اختصار به ترتیب «بتن» و «آسفالت» نامیده می‌شوند در زمره سازگارترین مصالحی می‌باشند که در پروژه‌های ساحلی به کار می‌روند. بتن به گونه گسترده‌ای در انواع پروژه‌های ساحلی همچون دیوارهای دریایی، پوشش‌های محافظ، دیوارهای حایل، دستک‌ها، موج‌شکن‌ها، آبشکن‌ها، صندوقه‌ها، قطعات آرمور، شمع‌ها و سازه‌های شناور مورد استفاده قرار می‌گیرد. آسفالت نیز گاهی در سازه‌هایی همچون بندها، دستک‌ها، موج‌شکن‌ها، پوشش‌های محافظ، راه‌های دسترسی و حفاظت شیروانی‌ها به کار گرفته می‌شود.

۱- مجموعه کاملی از آزمون‌های میدانی و آزمایشگاهی مربوط به سنگ در آیین نامه طراحی بنادر و سازه‌های دریایی ایران، نشریه ۳-۳۰۰ آورده شده است.

2- Bulk Specific Gravity

3- Field Index

4- Field Drop Test

5- Field Set-Aside

omoorepeyman.ir

کاربرد پنج نوع سیمان پرتلند در پروژه‌های ساحلی متداول می‌باشد. مشخصه‌های عمومی این سیمان‌ها مطابق ASTM C-150 1994 عبارتست از:

- نوع I: این نوع سیمان در بتن سازه‌ای معمولی و برای اجرای جاده‌ها و پی‌هایی که در معرض شرایط انجماد، ذوب‌شدگی یا دریا قرار ندارند مورد استفاده قرار می‌گیرند.
- نوع II: سیمان با مقاومت متوسط در برابر سولفات که در محیط‌های دریایی بالاتر از درجه انجماد به کار می‌رود. این سیمان دارای دوامی به اندازه سیمان نوع V نمی‌باشد.
- نوع III: این سیمان دارای مقاومت بالایی در زمان عمل‌آوری[1] بتن می‌باشد. پس از ۷ روز، مقاومت بتن نوع III به اندازه مقاومت بتن ۲۸ روزه نوع I می‌رسد. بتن نوع III را نباید در کارهای دریایی مورد استفاده قرار داد.
- نوع IV: این نوع سیمان دارای گرمای هیدراسیون کمی می‌باشد و بیش‌تر در سازه‌هایی به کار می‌رود که تولید گرما در آنها نامطلوب می‌باشد.
- نوع V: این نوع سیمان بیش‌ترین مقاومت را در برابر سولفات‌ها دارا می‌باشد و می‌تواند در تمام محیط‌های دریایی مورد استفاده قرار گیرد.

مقاومت‌های فشاری این ۵ نوع بتن در جدول (۱-۱۲) آورده شده است. این داده‌ها را تنها می‌توان برای طراحی مقدماتی مورد استفاده قرار داد، زیرا مقاومت عملی بتن بسته به شرایط عمل‌آوری، مصالح و نسبت‌های اختلاط مصالح تا حد زیادی تغییر می‌کند.

هنگامی که داده‌های میدانی یا آزمایشگاهی مقاومت وجود نداشته باشد باید از نسبت‌های آب به سیمان بیشینه مجاز مطابق با جدول (۱-۱۳) استفاده شود (ACI، ۱۹۸۶).

**جدول ۱-۱۲- مقاومت فشاری بتن‌های متداول**

| نوع بتن (ASTM) | مقاومت فشاری (MPa) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | ۷ روز | ۲۸ روز | ۳ ماه | ۱ سال | ۵ سال |
| I | ۲۰/۷ | ۲۹/۶ | ۳۵/۲ | ۳۷/۹ | ۳۹/۳ |
| II | ۱۷/۹ | ۲۹/۰ | ۳۵/۸ | ۴۰/۷ | ۴۴/۱ |
| III | ۲۶/۲ | ۳۲/۴ | ۳۵/۲ | ۳۷/۲ | ۳۷/۹ |
| IV | ۱۰/۳ | ۲۴/۱ | ۳۵/۸ | ۴۱/۴ | ۴۴/۸ |
| V | ۱۷/۲ | ۲۸/۳ | ۳۶/۵ | ۴۲/۱ | ۴۶/۲ |

**جدول ۱-۱۳- مقاومت فشاری بتن به ازای نسبت‌های آب به سیمان مختلف**

| مقاومت فشاری (پس از ۲۸ روز) (MPa) | نسبت آب به سیمان (وزنی) | |
|---|---|---|
| | بتن هوازایی نشده | بتن هوازایی شده |
| ۴۱/۴ | ۰/۴۱ | - |
| ۳۴/۵ | ۰/۴۸ | ۰/۴۰ |
| ۲۷/۶ | ۰/۵۷ | ۰/۴۸ |
| ۲۰/۷ | ۰/۶۸ | ۰/۵۹ |
| ۱۳/۸ | ۰/۸۲ | ۰/۷۴ |

1- Curing

omoorepeyman.ir

مدول کشسانی[1] بتن ( $E_c$ ) که در محاسبات تنش‌های فشاری ناشی از خمش به کار می‌رود را می‌توان با استفاده از رابطه زیر تخمین زد (ACI، ۱۹۸۶):

$$E_c = 1392(w_c)^{3/2}(f_c)^{1/2} \qquad (۶-۱)$$

که در این رابطه:

$w_c$: وزن مخصوص بتن (باید در محدوده $kN/m^3$ ۲۴-۱۴ باشد) ( $kN/m^3$ )

$f_c$: مقاومت فشاری بتن ( $kPa$ )

$E_c$: مدول کشسانی ( $kPa$ )

مدول کشسانی مربوط به فولاد آرماتوربندی پیش‌تنیده نشده عموما برابر با GPa ۲۰۰ در نظر گرفته می‌شود. برای به دست آوردن اطلاعات بیش‌تر در مورد ویژگی‌ها و طرح انواع بتن می‌توان به «آیین‌نامه بتن ایران»، «آیین‌نامه بتن آمریکا (ACI)» و استانداردهای ASTM مراجعه نمود.

- **فلزات:** در قسمت‌های زیادی از پروژه‌های ساحلی از فلزات استفاده می‌شود. ملزومات اجرایی همچون مقاومت، در دسترس بودن، آسانی اجرا، دوام و سازگاری را می‌توان اغلب در فلزاتی همچون فولاد، آلومینیوم، مس یا دیگر آلیاژهای فلزی یافت. در این بین، فولاد به عنوان متداول‌ترین فلز مورد استفاده شناخته می‌شود. ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی فولاد به خوبی در آیین‌نامه‌های ASTM (A36-93a، A252-93، A328-93، A573-93، A690-93 و A709-93a) ارائه شده‌اند. در جدول (۱-۱۴) مقاومت‌های تسلیم و مقاومت‌های کششی مجاز توصیه شده برای برخی انواع فولاد، آلومینیوم و دیگر فلزها ارائه شده است.
- **چوب:** کاربرد چوب در پروژه‌های ساحلی در سازه‌هایی همچون دیوارهای دریایی، پوشش‌های محافظ، دیوارهای حایل، اسکله‌ها[2]، بارانداز‌ها[3]، توربندهای ساحلی[4] و سکوهای شناور[5] می‌باشد. چوب هم‌چنین در سازه‌های موقتی همچون قالب‌بندی‌ها، بادبندی[6] و مسدودسازی به کار گرفته می‌شود. برای بررسی ویژگی‌های چوب می‌توان از «ASTM D-245 1994» و «ASTM D-2555 1994» استفاده نمود. هم‌چنین می‌توان به «راهنمای اجرای الوار»[7] مراجعه نمود.
- **ژئوسنتتیک‌ها:** ژئوسنتتیک‌ها مواد مصنوعی می‌باشند که در دسته پلاستیک‌ها قرار گرفته و از دیدگاه ساختاری از ملکول‌های زنجیره‌ای شکلی به نام پلیمر ساخته شده‌اند. در زمره مهم‌ترین کاربردهای ژئوسنتتیک‌ها می‌توان به مواردی همچون فیلتر، جداسازی لایه‌های مختلف خاک، تقویت و مقاوم نمودن کرانه‌های خاکی، کنترل فرسایش کرانه‌ها، تسهیل فرآیند زهکشی و پیشگیری از نفوذ مواد آلاینده اشاره نمود. زمینه‌های کاربرد این مواد در طرح‌های حفاظت ساحل به طور مفصل در «بند ۳-۲- روش‌های سازه‌ای حفاظت سواحل، ۳-۳- روش‌های طراحی سازه‌ای حفاظت سواحل» مورد بررسی قرار گرفته است.

1- Modulus of Elasticity
2- Pier
3- Wharf
4- Gabion
5- Floating Platform
6- Bracing
7- Timber Construction Manual, AITC, 1985

omoorepeyman.ir

**جدول ۱-۱۴- محدوده‌های مقاومت کششی و تسلیم برخی فلزات**

| نام یا کد ASTM | درجه | حداقل تنش تسلیم (MPa) | مقاومت کششی (MPa) |
|---|---|---|---|
| **فولاد** | | | |
| A۳۶ | | ۲۵۰ | ۴۰۰–۵۵۰ |
| A۲۵۲ | ۱ | ۲۰۵ | ۳۴۵ |
| | ۲ | ۲۴۰ | ۴۱۴ |
| | ۳ | ۳۱۰ | ۴۵۵ |
| A۳۲۸ | | ۲۷۰ | ۴۸۵ |
| A۵۷۳ | ۵۸ | ۲۲۰ | ۴۰۰–۴۹۰ |
| | ۶۵ | ۲۴۰ | ۴۵۰–۵۳۰ |
| | ۷۰ | ۲۹۰ | ۴۸۵–۶۲۰ |
| A۶۹۰ | | ۳۴۵ | ۴۸۵ |
| A۷۰۹ | ۳۶ | ۲۵۰ | ۴۰۰–۵۵۰ |
| | ۵۰ | ۳۴۵ | ۴۵۰ |
| | ۵۰W | ۳۴۵ | ۴۸۵ |
| | ۷۰W | ۴۸۵ | ۶۲۰–۷۶۰ |
| | ۱۰۰–۱۰۰W | ۶۲۰–۶۹۰ | ۶۹۰–۸۹۵ |
| **آلیاژهای آلومینیوم** | | | |
| B۲۰۹ | ۳۰۰۴–۰ | ۵۵ | ۱۴۵–۱۹۳ |
| | ۵۰۵۲–۰ | ۶۵/۵ | ۱۷۲–۲۱۴ |
| | ۵۰۸۳–۰ | ۱۲۴ | ۲۷۶–۳۵۲ |
| | ۵۰۸۶–۰ | ۹۷ | ۲۴۱–۳۰۴ |
| | ۶۰۶۱–۰ | ۸۳ | ۱۳۸ |
| B۲۴۱ | ۶۰۶۳–۰ | ۱۲۴ | ۱۳۱ |
| **آلیاژهای مس** | | | |
| مس، B۱۵۲، B۱۲۴، B۱۳۳ | بادوام شده[1] | ۶۹ | ۲۲۱ |
| | سردکشی شده[2] | ۲۷۶ | ۳۱۰ |
| برنج زرد | بادوام شده | ۱۲۴ | ۳۳۱ |
| B۳۶، B۱۳۴، B۱۳۵ | سردکشی شده | ۳۷۹ | ۴۸۳ |
| برنج دریانوردی | بادوام شده | ۱۵۲ | ۳۸۶ |
| B۲۱ | سردکشی شده | ۲۷۶ | ۴۴۸ |
| برنز آلومینیوم‌دار | بادوام شده | ۱۷۲ | ۴۸۳ |
| B۱۶۹، B۱۲۴، B۱۵۰ | سخت | ۴۴۸ | ۷۲۴ |
| **آلیاژهای نیکل** | | | |
| نیکل ریخته‌گری | ریخته شده | ۱۷۲ | ۳۹۳ |
| نیکل A | بادوام شده | ۱۳۸ | ۴۸۳ |
| B۱۶۰، B۱۶۱، B۱۶۲ | سردکشی شده | ۴۸۳ | ۶۵۵ |
| مونل K | بادوام شده | ۳۱۰ | ۶۹۰ |
| | فنری | ۹۶۵ | ۱۰۳۴ |

1- Annealed
2- Cold-Drawn

omoorepeyman.ir

### ۱-۴-۱۳-۲- معیارهای انتخاب مصالح

مهم‌ترین معیارهایی که هنگام انتخاب مصالح گفته شده در بالا (ماسه و خاک، سنگ، بتن و آسفالت، فلزات، چوب و ژئوسنتتیک‌ها) باید در نظر گرفت عبارتند از: ویژگی‌های فیزیکی مصالح (گرانش ویژه، مقاومت، انعطاف‌پذیری، همخوانی[1]، و مقاومت در برابر بارهای چرخه‌ای، ضربه‌ای و زمین‌لرزه‌ای)، دوام،[2] سازگاری،[3] هزینه، در دسترس بودن، ملزومات جابجایی و حمل، ملزومات نگهداری و اثرهای زیست‌محیطی.

در این زمینه تجارب مهندس طراح در مورد کارآیی مصالح مختلف در پروژه‌های ساحلی مشابه که پیش‌تر اجرا شده‌اند، به عنوان عامل مهمی مطرح می‌باشد. با این حال، برای به دست آوردن اطلاعات بیش‌تر در رابطه با جنبه‌های اجرایی مصالح مختلف در کارهای دریایی می‌توان به «راهنمای مهندسی ساحل آمریکا، بخش ۶، فصل ۴- مصالح و جنبه‌های اجرایی» مراجعه نمود. در ادامه معیارهای گفته شده در بالا برای متداول‌ترین مصالحی که در کارهای دریایی مورد استفاده قرار می‌گیرند، مورد بررسی قرار گرفته‌اند:

**- گرانش ویژه**

گرانش ویژه یکی از خصیصه‌های اساسی و مهم برای تمام مصالح مورد استفاده در پروژه‌های ساحلی می‌باشد. مصالحی که قرار است برای پروژه‌های حفاظت ساحلی مورد استفاده قرار گیرد باید دارای وزن کافی باشد تا بتواند در برابر بارگذاری‌های مختلف پایدار بماند. بنابراین مصالحی که دارای گرانش ویژه بالایی هستند همچون سنگ و بتن برای پروژه‌های ساحلی مناسب می‌باشند.

اگر قرار باشد از خاک و ماسه برای احیای ساحل استفاده شود آنگاه بهترین کارآیی زمانی ایجاد می‌شود که مصالح مورد استفاده دارای گرانش ویژه‌ای برابر یا بیش‌تر از گرانش ویژه مصالح ساحل طبیعی باشند.

**- مقاومت**

- **خاک و ماسه:** بسته به نوع سازه حفاظت ساحلی، ممکن است نیاز باشد که مصالح مورد استفاده در برابر تنش‌های کششی، فشاری و خمشی و نیز بارگذاری‌های ضربه‌ای و برشی مقاومت کنند. در مورد خاک و ماسه در حالت کلی نمی‌توان انتظار داشت که در برابر بارگذاری کششی مقاومت چشمگیری از خود نشان دهند. برای افزایش مقاومت کششی خاک و ماسه می‌توان از ژئوسنتتیک‌ها استفاده نمود.
- **بتن:** در مورد سازه‌های بتنی در صورتی که از آرماتورهای تقویتی با پیش‌تنیدگی[4] کافی استفاده شده باشد انتظار می‌رود عضو سازه ای مورد نظر بتواند تنش‌های کششی را نیز تحمل کند.
- **فولاد:** فولاد و بیش‌تر فلزات دیگر می‌توانند ضربه و هم‌چنین تنش‌های کششی، فشاری و پیچشی زیادی را تحمل کنند. اغلب فلزات هنگامی که تحت اثر لنگرهای خمشی قرار می‌گیرند دچار تغییر شکل‌های چشمگیری می‌شوند که این موضوع باید در طراحی‌ها مدنظر قرار گیرد. هم‌چنین با عوض شدن دمای محیط، فلزات دچار انبساط و انقباض می‌شوند که می‌تواند تنش‌های مازادی را به سازه اعمال نماید.

1- Compatibility
2- Durability
3- Adaptability
4- Prestressing

omoorepeyman.ir

- **چوب:** چوب می‌تواند مقاومت کششی و فشاری خوبی را از خود نشان دهد اما باید توجه داشت که چوب همسانگرد[1] نبوده و مقاومت آن بسته به راستای بارگذاری‌ها نسبت به راستای بافت چوب تغییر می‌کند.
- **ژئوسنتتیک‌ها:** ژئوسنتتیک‌ها می‌توانند در برابر فشار، کشش، برش و پیچش، بسته به نوع ژئوسنتتیک مورد نظر، مقاومت کنند. مشخصه‌های مقاومتی برخی از انواع ژئوسنتتیک‌ها با گذر زمان به واسطه تابش فرابنفش یا دیگر عوامل محیطی کاهش می‌یابد که باید در طراحی مدنظر قرار گیرد. هم‌چنین این مواد ممکن است تحت بارهای ثابت دچار تغییر شکل آهسته و همیشگی شوند.

**- انعطاف‌پذیری**

انعطاف‌پذیری به ویژگی از مصالح گفته می‌شود که امکان خم شدن را بدون شکستن فراهم می‌کند. مصالحی که دارای انعطاف‌پذیری خوبی باشند می‌توانند در جذب بارگذاری‌های چرخه‌ای و ضربه‌ای موثر باشند اما این کار در نهایت به خرابی خستگی، تغییر شکل خمیری[2] و ایجاد ترک می‌انجامد. در این‌جا باید به این نکته توجه داشت که ممکن است مصالح به طور منفرد صلب بوده و دارای انعطاف‌پذیری کمی‌باشند اما کل سازه انعطاف‌پذیر باشد. برای نمونه سنگ‌های لایه آرمور دارای انعطاف‌پذیری کمی می‌باشند اما کل لایه آرمور به واسطه قابلیت جابجایی سنگ‌ها و نشست آن، یک سازه انعطاف‌پذیر در نظر گرفته می‌شود. از این دید، اگرچه ذرات منفرد خاک و ماسه نیز ممکن است صلب باشند ولی عموما سازه‌هایی که از خاک و ماسه ساخته شده‌اند انعطاف‌پذیر می‌باشند.

**- همخوانی**

مصالح مورد استفاده باید از دیدگاه ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی با یکدیگر همخوانی داشته باشند. برای نمونه برای آن‌که بتن و آسفالت دارای مقاومت کافی باشند باید مواد تشکیل دهنده آنها با یکدیگر همخوان باشند. به کارگیری مولفه‌های سازه‌ای با انعطاف‌پذیری‌های مختلف و ضرایب انبساط گوناگون می‌تواند تنش‌های مازادی را در سازه ایجاد کند یا به خرابی برخی از اعضای سازه‌ای بیانجامد. تماس بین فلزات مختلف در محیط‌های دریایی می‌تواند سبب خوردگی سریع فلز شود. هم‌چنین تماس با مواد شیمیایی می‌تواند فلز را دچار خوردگی کند.

**- مقاومت در برابر بارهای چرخه‌ای، ضربه‌ای و زمین‌لرزه‌ای**

در حالت کلی انتظار می‌رود بخش‌هایی از سازه ساحلی بتواند این‌گونه نیروها را جذب کند بدون آن‌که از حد تسلیم کشسانی[3] مصالح فراتر رود. سازه‌هایی که از مصالح خاک و ماسه یا سنگ تشکیل شده‌اند می‌توانند با آزادسازی تنش‌ها از راه نشست جزیی، جابجایی قطعات سنگی لایه‌ها یا خرابی موضعی در برابر این‌گونه بارگذاری‌ها مقاومت کنند.

1- Isotropic
2- Plactic Deformation
3- Elastic Yield Limit

omoorepeyman.ir

**- دوام**

انتخاب دوام مورد نظر برای مصالح به ملاحظاتی همچون عمر پروژه، هزینه‌های اولیه و هزینه‌های نگهداری بستگی دارد. برای نمونه اگر عمر پروژه کوچک‌تر در نظر گرفته شود می‌توان از مصالحی با دوام کم‌تر که ارزان‌ترند استفاده نمود.

- **خاک و ماسه:** در حالت کلی، خاک یک ماده بادوام در نظر گرفته می‌شود مگر آن‌که تغییرات در میزان آب ترکیبی یا ویژگی‌های شیمیایی آن سبب کاهش اندازه دانه‌ها شده و آن را وارد محدوده لای و رس کند. ماسه کوآرتز بسیار بادوام می‌باشد اما در صورتی که آب اسیدی باشد آنگاه ترکیبات ماسه‌ای که دارای میزان کربنات زیادی باشند ممکن است در برابر واکنش‌های شیمیایی آسیب‌پذیر شوند. هم‌چنین مواد کربناته به سختی کوآرتز نبوده و احتمال سایش[1] آنها بیش‌تر است.
- **سنگ:** سنگ‌های آذرین بادوام‌ترین سنگ‌ها در نظر گرفته می‌شوند. سنگ‌های رسوبی معمولا لایه‌بندی شده[2] بوده و تحت اثر عواملی همچون تنش برشی، ضربه، خوردگی شیمیایی یا تغییرات در میزان آب، دچار خرابی می‌شوند.
- **بتن:** بتن ماده‌ای بادوام بوده و به شرط آن‌که بارگذاری‌ها در حد مجاز باشند و بتن در معرض مواد شیمیایی خورنده قرار نداشته باشد آنگاه در سرتاسر عمر پروژه به کارکرد خود ادامه می‌دهد. ترک‌های بتن ممکن است به کنده شدن سطح بتن انجامیده و سبب نمایان شدن آرماتورهای فولادی و پیامد آن زنگ زدن آنها شود. جابجایی خشن قطعات آرمور بتنی حین چیدن آنها می‌تواند به ترک خوردن قسمت‌های باریک‌تر بیانجامد.
- **فولاد:** فولاد استاندارد بسیار بادوام می‌باشد به شرط آن‌که در برابر خوردگی و زنگ‌زدگی محافظت شود. برای محافظت فولاد در برابر محیط‌های خورنده ساحلی باید از پوشش ضد – زنگ یا آندهای محافظ[3] استفاده شود. فولاد ضدزنگ دارای دوام بیش‌تری می‌باشد اما گران‌تر است.
- **چوب:** دوام چوب کم‌تر از بتن می‌باشد. چوب ماده‌ای آلی می‌باشد که می‌تواند مورد هجوم گیاهان و آبزیان دریایی قرار گیرد. در پروژه‌های ساحلی، چوب خشک به عنوان کم مقاوم‌ترین ماده در برابر آتش در نظر گرفته می‌شود.
- **ژئوسنتتیک‌ها:** ژئوتکستایل‌ها عموما در برابر مواد شیمیایی و اثرهای بیولوژیکی، مقاوم می‌باشند اما اگر در معرض تابش فرابنفش قرار گیرند دچار پوسیدگی می‌شوند. برخی از مواد ژئوسنتتیک نیز نسبت به آتش آسیب‌پذیر می‌باشند و هنگام شعله‌ور شدن می‌توانند گازهای سمی ایجاد کنند. به همین دلیل و نیز دیگر ملزومات کارکردی و اجرایی، معمولا ژئوتکستایل‌ها را با خاک می‌پوشانند.

**- سازگاری**

- **خاک و ماسه:** سازه‌هایی که از خاک و ماسه ساخته شده‌اند دارای سازگاری بالایی با انواع شرایط آب و هوایی و دماهای مختلف می‌باشند بدون آن‌که دچار پیامدهای نامطلوب چشمگیری شوند. سازه‌های خاکی می‌توانند در اندازه‌ها و شکل‌های گوناگون ساخته شده و خود را با شرایط تغییرات تراز پی سازه و شیب سازه سازگار کنند بدون آن‌که کارکرد آنها دچار مشکل شود یا پایداری سازه‌ای آنها از بین برود.

1- Abrasion
2- Stratified
3- Sacrificial Anode

omoorepeyman.ir

- **بتن:** بتن ماده بسیار سازگاری می‌باشد اما کاربرد آن اغلب به مواردی محدود می‌شود که امکان اجـرای آنهـا بـا مصـالح ارزان‌تری همچون خاک و سنگ وجود نداشته باشد.
- **فولاد:** فولاد به عنوان ماده‌ای بسیار سازگار برای سازه‌های پیچیده شناخته می‌شود. اما هزینه بالای فولاد معمـولا آن را به کارهایی همچون شمع‌کوبی، شمع‌های سپری و تیرها محدود می‌کند.
- **چوب:** معمولا چوب برای سازه‌های کوچک‌تر، سازگاری خوبی از خود نشان می‌دهـد و حـین اجـرا امکـان انبـارکردن و جابجایی آنها به راحتی فراهم می‌باشد.
- **ژئوسنتتیک‌ها:** مصالح ژئوسنتتیک معمولا بسته به ویژگی‌های هیدرولیکی و مقاومتی‌شـان دارای کارکردهـای ویـژه‌ای همچون فیلتر یا جداکننده می‌باشند. ژئوتیوب‌ها دارای قابلیت نگهداری مواد ریزدانه می‌باشند.

**- هزینه**

هنگام ارزیابی هزینه مصالح، باید هزینه‌های حمل و نقل مصالح از محل تولید تا ساختگاه پروژه محاسبه شود. ارزیـابی اقتصـادی ممکن است نشان دهد که استفاده از مصالح محلی گران‌تر، مقرون به صرفه‌تر از حمل و نقل طولانی مصالح ارزان‌تر باشد.

هم‌چنین هنگام انتخاب مصالح باید هزینه‌های نگهداری در نظر گرفته شوند. برای نمونه استفاده از مصالح محلی با کیفیت پایین که ارزان‌ترند ممکن است هزینه‌های اولیه پروژه را کاهش دهد اما هزینه‌های نگهداری و تعمیر آنها را افزایش دهد.

**- در دسترس بودن**

در دسترس بودن مصالح مناسب برای اجرای پروژه‌های ساحلی و نگهداری آتی آنها در زمره ملاحظات مهم طراحی می‌باشد. فقـدان منابع محلی مناسب می‌تواند گزینه‌های طراحی را محدود کند یا هزینه‌ها و زمان اجرای پروژه را به گونه چشمگیری افزایش دهد.

نرخ تهیه مصالح از معدن باید با نرخ استفاده آنها در اجرای پروژه ساحلی همخوان باشد. در این راستا، اگر نـرخ تهیـه مصـالح بـه نسب میزان تقاضا برای مصرف آنها کم‌تر است برای آن‌که از وقفه‌های کاری در اجرای پروژه پیشگیری شود بایـد تمهیـداتی بـرای انباشت مصالح در پسکرانه ساختگاه اندیشیده شود تا هنگام اجرا کمبود مصالح از این راه جبران شود.

**- ملزومات جابجایی و حمل**

بخش عمده‌ای از هزینه‌های پروژه صرف جابجایی مصالح اجرایی می‌شود. این فرآیند شامل مواردی همچون جابجایی مصالح به ساختگاه، انباشت مصالح در پسکرانه ساختگاه، ترکیب نمودن مصالح برای دستیابی به دانه‌بندی مناسب، و قراردهی مصالح در محـل اجرای پروژه می‌باشد.

پروژه‌هایی که در نقاط دورافتاده قرار دارند باید دسترسی به ساختگاه و در دسترس بودن تجهیزات مربوط بـه جابجـایی و حمـل مصالح را در نظر بگیرند. در مقابل، پروژه‌هایی که در مناطق شهری قرار دارند باید به اثرهای گذر ماشین‌آلات بـزرگ از خیابـان‌هـا و فضای کاری لازم برای مانور و گردش در ساختگاه و نیز برای انباشت مصالح توجه داشته باشند.

برای به دست آوردن اطلاعات بیش‌تر در زمینه شیوه‌های جابجایی و حمل مصالح برای پروژه‌های حفاظت سـاحل مـی‌تـوان بـه فصل ۵، بند ۵-۳- شیوه‌های حمل و نقل مصالح مراجعه نمود.

omoorepeyman.ir

**- ملزومات نگهداری**

ملزومات نگهداری پروژه در ارتباط با مصالح مورد استفاده به این بستگی دارد که با گذر زمان آنها تا چه میزان به واسطه فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی دچار زوال و نابودی تدریجی می‌شوند.

- **خاک و ماسه:** ضرورتی ندارد خاک و ماسه در برابر زوال ناشی از عوامل فیزیکی و شیمیایی محافظت شوند، اما ضرورت دارد از فرسایش آبی و بادی این مصالح پیشگیری شود. بنابراین تنها هزینه‌ای که وجود خواهد داشت مربوط به بازیابی مناطق فرسایش یافته می‌باشد که به فاصله محل تامین مصالح بستگی دارد.
- **سنگ:** در مورد سازه‌های سنگی مهم‌ترین جنبه‌های نگهداری به شکسته شدن سنگ‌های لایه آرمور به واسطه اثر موج و یا جابجا شدن قطعات سنگی و حرکت آنها به سمت پنجه مربوط می‌شود.
- **بتن و آسفالت:** در مورد بتن مهم‌ترین جنبه‌های نگهداری به پیشگیری از زوال تدریجی آن و مرمت بخش‌های ترک خورده، شکسته یا کنده شده می‌باشد. برای پیشگیری از ضربه خوردن بتن‌های نمایان می‌توان از پوشش‌های محافظ استفاده نمود. هم‌چنین برای پیشگیری از نفوذ آب از میان ترک‌ها و پیامد آن خوردگی آرماتورهای بتن باید ترک‌های مورد نظر ترمیم و آب‌بندی شوند. قطعات آرمور بتنی شکسته شده باید با قطعات جدید جایگزین شوند. برای آن‌که هزینه‌های آتی مربوط به جایگزینی قطعات آرمور بتنی فرسوده کاهش چشمگیری یابد، می‌توان همان ابتدا و حین اجرای پروژه تعداد معقولی از قطعات آرمور بتنی مازاد در نظر گرفته و آنها را در محل مناسبی انباشت نمود تا هنگام نیاز امکان جایگزینی قطعات شکسته شده به راحتی فراهم باشد. جنبه‌های نگهداری سازه‌های آسفالتی بیش‌تر به ترمیم و جایگزینی نواحی خراب شده می‌باشد. معمولا جاده‌های آسفالتی به واسطه نشست لایه‌های زیرین و تغییرات دمایی محیط دچار ترک‌خوردگی می‌شوند که برای پیشگیری از وارد آمدن صدمات به ماشین‌آلات گذرنده باید نسبت به ترمیم ترک‌ها اقدام نمود.
- **فولاد:** در حالت کلی فولادهای معمولی در معرض خوردگی قرار دارند مگر آن‌که از نوع ضدزنگ باشند. به همین دلیل جنبه‌های نگهداری سازه‌های فولادی بیش‌تر به رنگ زدن قسمت‌های نمایان شده و جایگزینی اعضای سازه‌ای خورده شده مربوط می‌شود. اعضای سازه‌ای فولادی که به واسطه ضربات ماشین‌آلات یا دلایل دیگر آسیب عمده دیده‌اند باید در کم‌ترین زمان ممکن جایگزین شوند زیرا ممکن است یکپارچگی کل سازه از بین برود و در نتیجه تحت بارهایی بسیار کم‌تر از بار طراحی دچار تخریب فاجعه‌آمیز شود.
- **چوب:** نگهداری چوب شامل پوشش دادن چوب توسط رنگ‌آمیزی آن یا جایگزین نمودن قسمت‌های خراب شده است. برای پیشگیری از نفوذ عوامل خارجی به چوب معمولا از پوشش اپوکسی با ضخامت ۰/۵ میلی‌متر استفاده می‌شود.
- **ژئوسنتتیک‌ها:** بسته به نوع ژئوسنتتیک به کار رفته و نوع کاربری آن، ملزومات نگهداری آنها تفاوت‌های زیادی دارد. در مورد برخی از انواع ژئوتکستایل‌ها در صورتی که بدون پوشش محافظ باشند در برابر تابش فرابنفش آفتاب، خراب خواهند شد که برای پیشگیری از این امر باید قسمت‌های نمایان شده پوشانده شوند. معمولا ژئوتکستایل‌هایی که توسط ماسه پر می‌شوند در برابر نور آفتاب مقاوم می‌باشند اما ممکن است توسط عوامل محیطی دیگر پاره شوند که در این صورت باید به سرعت ترمیم شوند. در حالت کلی، ژئوسنتتیک‌ها در برابر همه مواد شیمیایی طبیعی که در نواحی ساحلی یافت می‌شود مقاوم می‌باشند.

omoorepeyman.ir

برای به دست آوردن اطلاعات بیش‌تر در زمینه ملزومات و جنبه‌های نگهداری می‌توان به فصل ۶- اصول نگهداری و بهره‌برداری از سازه‌های حفاظت ساحلی مراجعه نمود.

**- اثرهای زیست‌محیطی**

موفقیت بلندمدت پروژه ساحلی به توانایی مصالح اجرایی انتخاب شده در مقاومت در برابر عوامل و اثرهای محیطی و هم‌چنین اثرگذاری ناچیز مصالح مورد استفاده بر محیط زیست پیرامون ساختگاه می‌باشد. در زمره عواملی که مصالح باید در برابر آنها مقاومت کنند می‌توان به مواردی همچون انواع بارگذاری‌های محیطی، مواد شیمیایی خورنده، آبزیان دریایی، سایش، آتش، دوره‌های تر-خشک شدن، دوره‌های یخ زدن-ذوب شدن اشاره نمود. در مورد اثرهای مصالح بر محیط زیست پیرامونی ساختگاه، نباید اجرای پروژه سبب وارد نمودن مواد شیمیایی مضر برای گیاهان و گونه‌های مختلف آبزیان دریایی شود. معمولا ژئوسنتتیک‌ها واکنش شیمیایی با محیط دریایی نمی‌دهند و دوستدار محیط زیست می‌باشند.

برای به دست آوردن اطلاعات بیش‌تر در زمینه اثرهای زیست محیطی پروژه می‌توان در همین فصل به بخش ۱-۳-۱۰- ملاحظات زیست محیطی و برای ارزیابی اثرهای زیست محیطی طرح حفاظت سواحل در فازهای مختلف پروژه (طراحی، تایید، اجرا، بهره‌برداری، برچینی) می‌توان به فصل ۲، بند ۲-۴- بررسی ملاحظات زیست محیطی طرح مراجعه نمود.

## ۱-۴-۱۴- دسترسی به ساختگاه مورد مطالعه

در زمینه دسترسی به ساختگاه پروژه حفاظت ساحلی باید جنبه‌های زیر مدنظر قرار داشته باشند:

- دسترسی به ساختگاه باید پیش، هنگام و پس از اجرای پروژه فراهم باشد.
- نوع دسترسی به ساختگاه (زمینی، آبی، یا هر دو) و نیز نوع مالکیت زمین‌هایی که قرار است مسیرهای دسترسی از آنها بگذرند (عمومی یا خصوصی) می‌تواند بر روی نوع روش اجرای پروژه و هزینه‌های تمام شده نقش چشمگیری داشته باشد. در زمینه روش‌های اجرای از راه خشکی و دریا می‌توان به «فصل ۵، بند ۵-۲- تجهیزات و ماشین‌آلات اجرایی و ۵-۵- روش‌های اجرای موج‌شکن‌ها» مراجعه نمود.
- راه‌های دسترسی باید به گونه‌ای طراحی شوند که امکان جابجایی راحت و ایمن ماشین‌آلات، مصالح و کارکنان پروژه را فراهم کنند. بدین منظور باید دارای عرض کافی و شیب مناسب باشند. شیب راه‌های دسترسی نباید از ۱۰ درصد بیش‌تر باشد (EM 385-1-1). هم‌چنین کابل‌ها و خطوط مهاربندی و دیگر موانع باید علامت‌گذاری شوند تا به سادگی توسط کارکنان و رانندگان ماشین‌آلات قابل مشاهده باشند. در صورت تراکم زیاد ماشین‌آلات و راه‌های دسترسی باید یک طرح کنترل ترافیک تهیه شود.
- راه‌های دسترسی و هم‌چنین تسهیلات مرتبط با آنها (خرید یا کرایه زمین، علایم و غیره) ممکن است موقتی یا همیشگی باشند.
- راه‌های دسترسی باید با در نظر داشتن جنبه‌های زیست‌محیطی همچون حفظ جنبه‌های زیبایی‌شناختی منطقه، پیشگیری از فرسایش و رسوب‌گذاری، پیشگیری از آلودگی هوا، کنترل لرزش زمین، دفع زباله‌های ساختمانی، پیشگیری از آلودگی صوتی، حفظ آثار باستانی، حفظ گونه‌های آبزی و حیات وحش، طراحی و اجرا شوند.

omoorepeyman.ir

### ۱-۴-۱۵- پایش طرح حفاظت ساحل

جمع‌آوری اطلاعات (پایش) از پروژه‌های ساحلی به طراحی مناسب پروژه کمک کرده و به بهبود روش‌های طراحی، روش‌های اجرا، بهره‌برداری و نگهداری خواهد انجامید. پایش طرح حفاظت ساحل پیش، حین و پس از اجرای پروژه انجام می‌شود. در مورد پایش طرح حفاظت سواحل به طور تفصیلی در فصل ۶، بند ۶-۳- پایش سازه‌های حفاظت ساحلی توضیح داده شده است.

## ۱-۵- انواع و عوامل فرسایش و تخریب سواحل

در این قسمت مهم‌ترین عوامل طبیعی و انسانی فرسایش و تخریب سواحل ارائه شده‌اند. عوامل فرسایش و تخریب سواحل اغلب به واسطه ساخت و سازهای ساحلی و دستکاری‌های بشر ایجاد می‌شوند. به همین دلیل نیز بیش‌تر به عوامل انسانی فرسایش در سواحل پرداخته شده است.

### ۱-۵-۱- عوامل طبیعی فرسایش و تخریب سواحل

#### ۱-۵-۱-۱- افزایش نرخ خالص انتقال رسوبات

یکی از مهم‌ترین عوامل افزایش نرخ خالص انتقال رسوبات، گرادیان‌های موج در یک خط ساحلی غیر مستقیم یا در شرایط ویژه توپوگرافی بستر می‌باشد.

#### ۱-۵-۱-۲- انتقال رسوبات به درون خشکی از راه بادرفت و روشویی جریان

وزش باد می‌تواند سبب انتقال رسوبات ساحلی به درون خشکی و فرسایش ساحل شود. فرسایش ناشی از روشویی جریان[1] زمانی رخ می‌دهد که امواج از روی یک جزیره مانعی عبور کنند و سبب برداشته شدن و انتقال رسوبات روی ساحل به سمت خشکی شوند.

#### ۱-۵-۱-۳- انتقال رسوبات به فراساحل هنگام شرایط موج حدی و برکشند طوفان

امواج بزرگ سبب انتقال پشته‌های رسوبی به سمت دریا می‌شوند. هم‌چنین حین برکشندهای طوفان شدید، رسوبات به سمت فراساحل برده می‌شوند که علت آن عدم تعادل موجود در قسمت‌های مختلف برکشند طوفان می‌باشد.

#### ۱-۵-۱-۴- ریزش ماسه به درون تنگه‌ها و دره‌های ساحلی

در صورتی که در کنار یک ناحیه ساحلی دارای انتقال رسوبات کرانه‌ای، تنگه‌ها و دره‌های ژرف وجود داشته باشد، آنگاه ممکن است ماسه‌ها به درون این تنگه‌ها بریزند.

1- Overwash

omoorepeyman.ir

### ۱-۵-۱-۵- برداشته شدن ماسه و انتقال آن به نوک یک دماغه ساحلی

این نوع فرسایش سبب انباشته شدن رسوبات در انتهای دماغه ساحلی و پیشروی آن به سمت دریا (گاه تا چندین کیلومتر) می‌شود یا آن‌که سبب ایجاد پشته‌های رسوبی در ناحیه‌های انباشت رسوب می‌شود. ولی باید توجه داشت که این انباشت رسوبات در دماغه ساحلی با فرسایش شدید در ساحل پیرامونی همراه بوده است.

### ۱-۵-۱-۶- برداشته شدن مواد از برآمدگی‌های ساحلی

این پدیده به طور معمول در دماغه‌های ساحلی یخرفتی یا ماسه‌سنگی و نیز در انتهای دلتاهایی رخ می‌دهد که به واسطه جابجایی طبیعی مسیر رودخانه، رسوب کافی به آنها نرسیده است. البته فرسایش دلتا می‌تواند عامل انسانی هم داشته باشد که در همین فصل در بخش ۱-۷-۲- عوامل انسانی فرسایش و تخریب سواحل به آن پرداخته شده است. این نوع فرسایش هم‌چنین در طول مقاطع نیمه سخت خطوط ساحلی کاو (مقعر) رخ می‌دهد که تغذیه ماسه‌ای کمی از رودخانه‌ها دریافت می‌کنند یا اصلا دریافت نمی‌کنند. در حالت طبیعی چنین خطوط ساحلی در حال فرسایش بوده و در نهایت به یک خط ساحلی مستقیم تبدیل خواهند شد.

### ۱-۵-۱-۷- فرسایش خطوط ساحلی قرار گرفته بین دو برآمدگی ساحلی نیمه سخت

شکل خطوط ساحلی قرار گرفته بین برآمدگی‌های ساحلی نیمه سخت به حضور و ریخت‌شناسی این برآمدگی‌ها و نیز اقلیم موج بستگی دارد. در نتیجه فرسایش برآمدگی‌های نیمه سخت که معمولا از جنس یخرفت یا ماسه‌سنگ می‌باشند، می‌تواند به فرسایش خطوط ساحلی بین آنها بیانجامد. این پدیده در نهایت به مستقیم شدن خط ساحلی خواهد انجامید.

### ۱-۵-۱-۸- فرسایش پایین‌دست عارضه‌های انباشت رسوبی

در سواحلی که موج با زاویای بسیار مایل به سمت خط ساحلی پیشروی می‌کند این تمایل طبیعی وجود خواهد داشت که پشته‌های رسوبی به موازات ساحل ایجاد شود. این پشته‌های رسوبی پس از انباشته شدن توسط امواج به نواحی فراساحلی منتقل خواهند شد. انباشته شدن این رسوبات به معنای کاهش تغذیه رسوبی در ساحل پایین‌دست و در نتیجه فرسایش آن خواهد بود.

### ۱-۵-۱-۹- بالا آمدن تراز دریا

طی سده اخیر مطابق داده‌های ثبت شده سطح آب دریاهای آزاد در حدود ۰/۱ تا ۰/۲۵ متر بالا آمده است. طبق گزارش‌های کمیته بین‌المللی تغییر اقلیم (IPCC)[1] پیش‌بینی می‌شود تراز آب دریاهای آزاد در نیمه و پایان سده کنونی به ترتیب به میزان ۰/۲ و ۰/۵ متر بالا بیاید. بالا آمدن سطح آب سبب پیشروی خط ساحلی به سمت خشکی خواهد شد. برای نمونه بالا آمدن دریا به میزان ۰/۵ متر در ساحلی با شیب متوسط ۱/۱۰۰ به معنای پیشروی خط ساحلی به میزان ۵۰ متر می‌باشد.

1- International Panel on Climate Change (IPCC)

omoorepeyman.ir

### ۱-۵-۱-۱۰- فرونشست ساحل

فرونشست[1] به پایین رفتن سطح زمین‌های ساحلی گفته می‌شود که بر خلاف بالا آمدن تراز آب دریاها، پدیده‌ای منطقه‌ای می‌باشد نه جهانی. پدیده فرونشست دلایل طبیعی و انسانی گوناگونی دارد. در زمره دلایل طبیعی فرونشست می‌توان به مواردی همچون نشست رسوبات نرم، فعالیت‌های زمین‌لرزه‌ای و فرآیندهای پیوند بین مواد رسوبی ساحل اشاره کرد. در زمره عوامل انسانی پدیده فرونشست می‌توان مواردی همچون زهکشی آب‌های زیرزمینی، نفت یا گاز در ناحیه ساحلی را نام برد.

### ۱-۵-۱-۱۱- تغییرات طبیعی در میزان آورد رسوب رودخانه‌ها به ساحل

خشکسالی در حوضه آبگیر رودخانه‌های بزرگ سبب کاهش تغذیه رسوبی ساحل برای دوره‌های زمانی طولانی می‌شود که نتیجه آن فرسایش ساحل می‌باشد.

## ۱-۵-۲- عوامل انسانی فرسایش و تخریب سواحل

در بخش پیش عوامل طبیعی فرسایش ساحل ارائه شدند. اگر چه بسیاری از عوامل فرسایش ساحل از نوع طبیعی می‌باشند با این حال اغلب مشکلاتی که برای سواحل ایجاد می‌شود ناشی از دستکاری بشر در فرآیندهای انتقال رسوبات ساحلی و یا کاهش در تغذیه ماسه به خطوط ساحلی می‌باشد. در حالت کلی می‌توان این‌گونه بیان کرد که هر نوع ساخت و ساز در طول سواحل دریاها و رودخانه‌ها به فرسایش در سواحل پیرامونی می‌انجامد و باید برای آن چاره‌ای اندیشیده شود.

در زمینه اثرهای جانبی پروژه می‌توان در همین فصل به بند ۱-۴-۱- تعیین محدوده پروژه و شرایط مرزی و بند ۱-۴-۹- بررسی اثرهای جانبی بالقوه پروژه مراجعه نمود. در ادامه انواع عوامل انسانی فرسایش و تخریب سواحل ارائه شده‌اند.

### ۱-۵-۲-۱- تداخل انتقال رانه ساحلی با سازه‌های پیشروی کرده به درون دریا

مهم‌ترین دلیل فرسایش ساحل، سازه‌های حفاظت ساحلی می‌باشند که به درون دریا پیشروی کرده‌اند و به آنها سازه‌های حفاظتی فعال[2] نیز گفته می‌شود. این سازه‌ها با فرآیند انتقال رانه ساحلی دچار تداخل می‌شوند. در زمره مهم‌ترین اثرهایی که این‌گونه سازه‌ها دارند می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- تله‌اندازی رسوب در بالادست سازه: این پدیده سبب کمبود رسوب و فرسایش در سواحل پیرامونی می‌شود.
- انتقال رسوبات به آب‌های ژرف
- تله‌اندازی ماسه در کانال‌های ورودی و دهانه بنادر

طرح کلی توسعه خط ساحلی و توسعه ریخت‌شناسی مربوط به یک بندر ساحلی که دارای امواج مهاجم مایل می‌باشد در شکل (۱-۲۷) نشان داده شده است. همان‌گونه که دیده می‌شود قرارگیری یک سازه پیشروی کرده به درون دریا سبب فرسایش در سمت پایین‌دست سازه خواهد شد.

1- Subsidence
2- Active Protection Structures

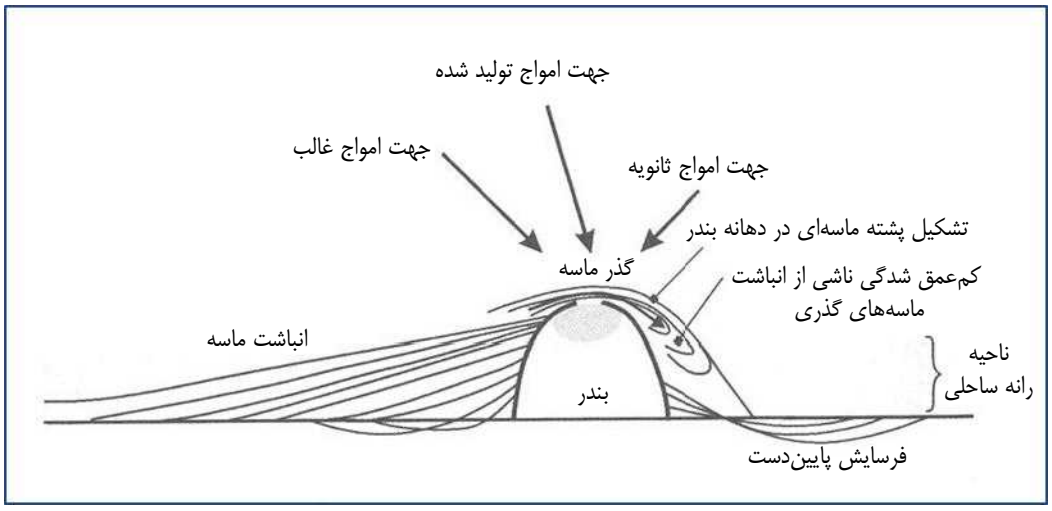
omoorepeyman.ir

سازه‌هایی که ممکن است سبب این نوع فرسایش شوند عبارتند از:

- آبشکن‌ها[1] و دیگر سازه‌های عمود بر ساحل
- بنادر و لنگرگاه‌ها
- دستک‌های[2] قرار گرفته در شاخاب‌های کشندی (جذر و مدی) و دهانه رودخانه‌ها
- موج‌شکن‌های جدا از ساحل[3]

الگوهای انباشت رسوب و فرسایش در پیرامون سازه‌های ساحلی بیش‌تر به موارد زیر بستگی دارد:

- نوع خط ساحلی یا به بیان دقیق‌تر اقلیم موج و راستای خط ساحلی
- میزان پیشروی سازه به درون دریا نسبت به عرض ناحیه شکست موج[4]
- جزییات و شکل دقیق سازه ساحلی مورد نظر




**شکل ۱-۲۷- طرح کلی توسعه خط ساحلی و توسعه ریخت‌شناسی مربوط به پشته ماسه‌ای در دهانه یک بندر**

### ۱-۵-۲-۲- سازه‌های حفاظتی که به درون دریا پیشروی نکرده‌اند

دیگر سازه‌های حفاظتی که به درون دریا پیشروی نکرده‌اند یا به بیان دیگر سازه‌های حفاظتی غیرفعال،[5] نیز سبب فرسایش سواحل پیرامونی می‌شوند. نمونه این سازه‌ها، دیواره‌های ساحلی و پوشش‌های محافظ می‌باشند که در طول ساحل امتداد می‌یابند.

در حالت عادی، یک رویه در حال فرسایش ساحلی در تامین بخشی از مصالح رانه ساحلی نقش دارد و اگر فرسایش در ناحیه ساحلی مورد نظر با استفاده از اجرای پوشش محافظ یا دیواره ساحلی متوقف گردد آنگاه تغذیه ماسه از این بخش ساحل به دیگر نواحی ساحلی پیرامونی قطع شده و در نتیجه سبب تشدید فرسایش در آنها می‌شود. سازه‌های حفاظتی فعال نیز می‌توانند از این راه سبب فرسایش ساحل پایین‌دست شوند.

1- Groin
2- Jetty
3- Detached Breakwater
4- Surf-Zone
5- Passive Protection Structures

omoorepeyman.ir

### ۱-۵-۲-۳- فرسایش خلیج‌های کوچک هلالی شکل به واسطه فعالیت‌های انسانی

هر گاه در دو طرف یک ناحیه ساحلی دو دماغه ساحلی سنگی وجود داشته باشد و رژیم انتقال رسوبات نیز کرانه‌ای و به موازات ساحل باشد، آنگاه در اغلب موارد، ریخت خط ساحلی از نوع خلیج‌های کوچک هلالی- شکل[1] یا خلیج‌های مارپیچی[2] خواهد بود. با توجه به شکل (۱-۲۸) در حالت کلی شکل و پایداری این خلیج‌های کوچک به دو عامل اساسی زیر بستگی دارد:

- اقلیم موج که معمولا پایدار در نظر گرفته می‌شود.
- نرخ تغذیه ماسه به خلیج کوچک از خلیج کوچک بالادست ($Q_B$) و رودخانه در صورت وجود ($Q_R$)
- بنابراین نرخ انتقال رسوبات به ساحل مستقیم پایین‌دست مجموع این دو یعنی $Q_{S1} = Q_R + Q_B$ خواهد شد. راستای این بخش مستقیم ساحلی به اقلیم موج منطقه و نرخ انتقال رسوبات کل $Q_{S1}$ بستگی خواهد داشت و با توجه به رابطه بین زاویه پیشروی موج ($\alpha_1$) و نرخ انتقال رسوبات کل تعیین خواهد شد.

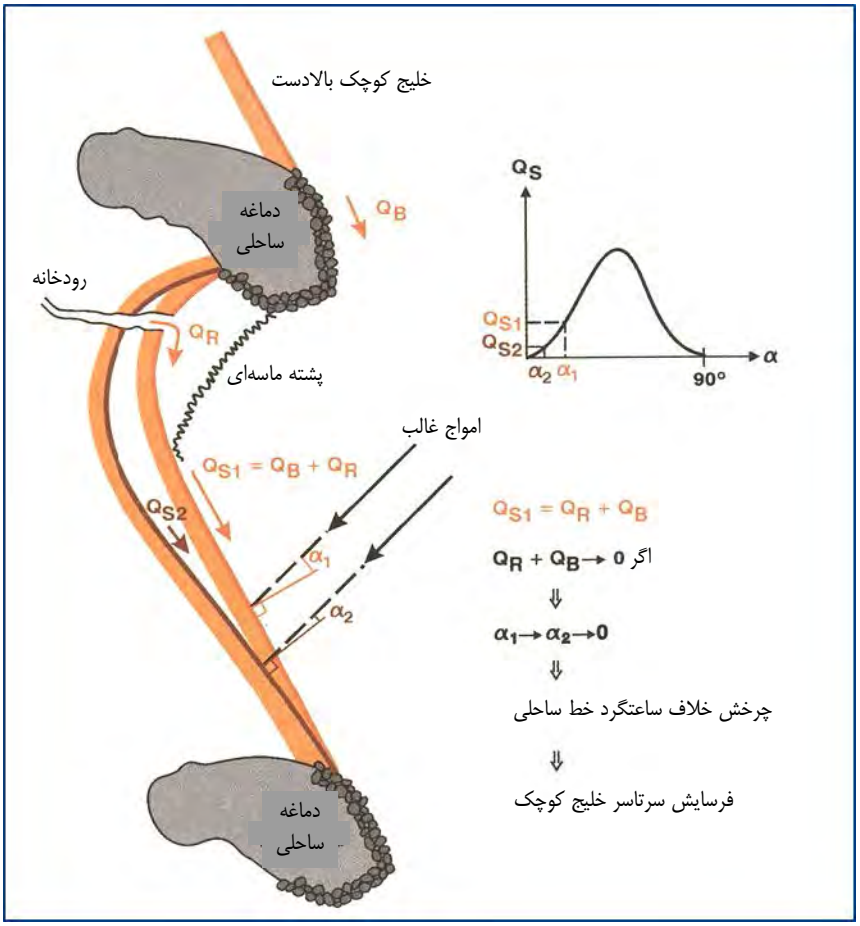
بدون در نظر گرفتن تغییرات فصلی در اقلیم موج، تا زمانی که نرخ انتقال رسوبات کل ($Q_{S1} = Q_R + Q_B$) تغییر نکند، شکل خلیج‌های هلالی- شکل پایدار باقی خواهد ماند. با این حال اگر تغذیه مواد رسوبی تغییر کند – معمولا به واسطه ایجاد اصلاحات و دخالت در خلیج کوچک بالادست یا اقدامات اصلاحی در رودخانه- آنگاه شکل سرتاسر خلیج کوچک به گونه‌ای تغییر خواهد کرد تا با نرخ انتقال رسوب جدید به سازگاری برسد. برای نمونه همان‌گونه که در شکل (۱-۲۵) نشان داده شده است، اگر $Q_2 < Q_1$ آنگاه در سرتاسر خلیج کوچک فرسایش رخ خواهد داد.

این بدان معناست که ساخت و ساز یا هر نوع دستکاری دیگر در یک خلیج کوچک می‌تواند به تدریج به فرسایش در خلیج هلالی- شکل پایین‌دست آن بیانجامد، و اگرچه خلیج کوچک مورد نظر ممکن است پایدار به نظر برسد ولی در واقع نسبت به تغییرات در تغذیه ماسه به آن بسیار حساس باشد.

برای به دست آوردن اطلاعات کامل‌تر درباره شیوه فرسایش و حفاظت این نوع سواحل می‌توان به کتاب «پایدارسازی ساحل، فصل ۴»[3] مراجعه نمود.

1- Crescent-Shaped Bays
2- Spiral-Shaped Bays
3- Coastal Stabilization, R.Silvester and J.R.C.Hsu, Advanced Series on Ocean Engineering, Vol. 14, World Scientific, 1999

omoorepeyman.ir




**شکل ۱-۲۸- رابطه بین شکل خلیج کوچک هلالی شکل و تغذیه مواد رسوبی به آن**

### ۱-۵-۲-۴- ایجاد تغییر در آورد رسوبی رودخانه‌ها

کاهش آورد رسوبی رودخانه‌ها به ساحل به دلیل دستکاری و اصلاحات در رودخانه‌ها یکی از دلایل مهم فرسایش ساحلی می‌باشد. این دستکاری‌ها می‌تواند شامل مواردی همچون اجرای سد برای مقاصد آبیاری و تولید نیروی برقابی، ژرف نمودن کانال‌های کشتیرانی و برداشت ماسه از بستر رودخانه باشد که همگی به کاهش آورد رسوبی رودخانه خواهد انجامید. نمونه بارز این پدیده اجرای سد آسوان[1] بر روی رود نیل می‌باشد که سبب فرسایش ساحل با نرخ ۱۲۹ متر در سال شده است.

### ۱-۵-۲-۵- امواج دنباله‌ای قایق‌های تندرو

قایق‌های تندرو می‌توانند امواج دنباله‌ای[2] را ایجاد کنند که اندازه بیشینه آنها تا ۱ متر هم برسد. ماهیت امواج دنباله‌ای قایق‌ها با امواج معمولی که در مسیرها و کانال‌های قایقرانی یا کشتیرانی ایجاد می‌شود، تفاوت دارد. امواج دنباله‌ای می‌توانند از راه‌های زیر بر شرایط ساحلی تاثیر بگذارند:

- ایجاد امواجی بزرگ‌تر از آنچه توسط امواج معمولی در نواحی ساحلی حفاظت شده ایجاد می‌شود.

1- Aswan Dam
2- Wake Wave

omoorepeyman.ir

- ایجاد تغییر در فرآیندهای ریخت‌شناسی ساحلی منطقه مورد نظر که می‌تواند به فرسایش و هم‌چنین شکل‌گیری یک سکوی ساحلی[1] بزرگ بیانجامد.
- شکستن نابهنگام و غیرمنتظره امواج که می‌تواند برای شناورهای کوچک یا شناگران ساحلی مخاطره ایجاد کند.

برای به دست آوردن اطلاعات کامل‌تر درباره امواج دنباله‌ای قایق‌های مختلف می‌توان به کتاب «طراحی لنگرگاه قایق‌های تفریحی و شناورهای کوچک، فصل ۷»[2] مراجعه نمود.

### ۱-۵-۲-۶- انجام لایروبی‌های نگهداری و حفاری

برداشت ماسه و شن در طول سواحل و ناحیه شکست موج می‌تواند سبب فرسایش ساحل شود. در رابطه با عملیات لایروبی نگهداری در شاخاب‌های کشندی[3]، لنگرگاه‌ها و کانال‌های کشتیرانی، اغلب ماسه برداشته شده از بیلان انتقال رسوبات کرانه‌ای حذف می‌شود. علت این امر آن است که در اغلب موارد، به جز در مواردی که منع قانونی وجود داشته باشد، مواد لایروبی شده به آب‌های عمیق تخلیه می‌شود.

بنابراین هنگام جانمایی بندر باید به گونه‌ای عمل نمود که رسوب‌گذاری به حداقل رسیده و نیز امکان گذر ماسه‌ها از ساحل بالادست بندر به ساحل پایین‌دست فراهم باشد.

حفاری در سواحل مرجانی و دیگر عملیاتی که به تخریب پوشش محافظ آبسنگ‌های مرجانی بیانجامد، برای نمونه ماهیگیری با استفاده از مواد منفجره یا آلاینده، نیز می‌تواند به فرسایش ساحل بیانجامد. این‌گونه اقدامات سبب از بین رفتن نقش محافظتی آبسنگ‌ها شده و فرآیند تشکیل ماسه کربناتی را متوقف می‌سازد.

## ۱-۶- عوامل سیلابی شدن سواحل

سیلابی شدن[4] سواحل پدیده‌ای می‌باشد که در سواحل پست رخ می‌دهد و در حالت کلی ضرر آن از فرسایش ساحل نیز بیش‌تر است. سیلابی شدن از این دید فاجعه‌آمیز است که به سرعت رخ می‌دهد و اغلب نواحی وسیعی را زیر پوشش آب می‌برد. در این‌جا با توجه به هدف راهنما، تنها به سیلابی‌شدن سواحل باز پرداخته شده است، ولی سیلابی شدن خورها و نواحی دلتایی به واسطه سیلاب رودخانه‌ها نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است که در صورت نیاز می‌توان به منابع و مراجع مرتبط با مهندسی رودخانه مراجعه نمود.

اصولا آنچه سبب فرسایش ساحل می‌شود اغلب سبب سیلابی شدن ساحل نیز می‌شود اما سیلابی شدن تنها در نواحی ساحلی رخ می‌دهد که تراز پسکرانه آنها نسبت به ترازهای آب حدی، کم باشد. ترازهای آب حدی که می‌توانند سبب سیلابی شدن پسکرانه سواحل شوند به دو دسته تقسیم می‌شوند:

- **رویدادهای دوره‌ای:**[5] اثر ترکیبی کشند، برکشند طوفان و امواج. سونامی‌ها نیز می‌توانند سبب سیلابی شدن ساحل شوند.
- **روندهای بلندمدت:** افزایش جهانی تراز آب دریاها و فرونشست ساحل نیز می‌توانند خطر سیلابی شدن را افزایش دهند.

1- Beach Berm
2- Marinas and Small Craft Harbors, B.O.Tobiasson and R.C.Kollmeyer, Van Nostrand Renhold, New York, 1991
3- Tidal Inlet
4- Flooding
5- Recurring Events

omoorepeyman.ir

## ۱-۶-۱- عوامل طبیعی سیلابی شدن سواحل

### ۱-۶-۱-۱- رویدادهای دوره‌ای

در زمره رویدادهای دوره‌ای که ممکن است به طور طبیعی سبب سیلابی شدن سواحل شوند، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- **کشندهای حدی:** می‌توان با استفاده از تمام مولفه‌های کشندی، بالاترین کشندهای نجومی (جزر و مد) را برای یک ناحیه ساحلی به دست آورد. باید اشاره نمود که برای این کار نباید تنها از چهار مولفه اصلی کشندی (جزر و مدی) استفاده نمود.
- **تغییرات فصلی:** برای کسب اطلاعات بیش‌تر در مورد تغییرات فصلی می‌توان در همین فصل به بند ۱-۴-۴- تغییرپذیری فصلی اقلیم امواج و جریان مراجعه نمود.
- **برکشند طوفان:** برکشندهای طوفان ناشی از چرخندها،[1] تندبادها[2] و تیفون‌ها[3] می‌توانند سبب سیلابی شدن ساحل شوند. در این زمینه مناطقی بیش‌تر در برابر برکشندهای طوفان خطرپذیرند که وسیع و کم ژرفا باشند همانند دریای شمال (بین آلمان و انگلیس) و کولاب‌های ساحلی وسیع.
- **سونامی:** موج ناشی از زمین‌لرزه‌های اقیانوسی که به سونامی مشهور است می‌تواند سبب سیلابی شدن و تخریب بسیار شدید نواحی ساحلی شود.

### ۱-۶-۱-۲- روندهای بلندمدت

در زمره رویدادهایی با روند بلندمدت که ممکن است به طور طبیعی سبب سیلابی شدن سواحل شوند، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- **فرونشست طبیعی در نواحی ساحلی:** این مورد به ویژه اغلب در نواحی دلتایی رخ می‌دهد که در آن نهشته‌های رسوبی ریزدانه‌تر توسط ماسه‌های درشت‌دانه‌تر کنونی پوشانده می‌شوند. هم‌چنین فعالیت‌های زمین‌لرزه‌ای و انواع مختلف برقراری پیوند بین رسوبات ساحلی می‌توانند سبب فرونشست ساحل شوند.
- **بالا آمدن تراز آب دریاهای آزاد:** این پدیده هم دلایل طبیعی دارد و هم دلایل انسانی، و فرآیندی جهانی می‌باشد که باید هنگام طراحی سازه‌های حفاظتی و برنامه‌ریزی کاربری زمین‌های ساحلی در نواحی پست به آن توجه ویژه‌ای شود.

## ۱-۶-۲- عوامل انسانی سیلابی شدن سواحل

### ۱-۶-۲-۱- رویدادهای دوره‌ای

دستکاری و فعالیت‌های انسانی در سواحلی که مستعد سیلابی شدن به واسطه رویدادهای دوره‌ای طبیعی می‌باشند می‌تواند خطر سیلابی شدن آنها را افزایش دهد. نمونه‌هایی از این عوامل انسانی عبارتند از:

- **اقدامات تنظیمی در شاخاب کشندی:**[4] اقدامات تنظیمی که در شاخاب‌های کشندی انجام می‌شود می‌تواند ترازهای سیلابی درون کولاب را تغییر دهد.

1- Cyclone
2- Hurricane
3- Typhoon
4- Tidal Inlet

omoorepeyman.ir

- **احداث خاکریزهای ساحلی در کولاب‌ها:** احداث خاکریزهای ساحلی[1] در امتداد یک کولاب می‌تواند ترازهای سیلابی را در آن تغییر دهد.
- **احداث دیواره‌های ساحلی:** احداث دیواره‌های ساحلی[2] می‌تواند ظرفیت ذخیره‌ای یک ناحیه ویژه را کاهش دهد که به افزایش ترازهای سیلابی می‌انجامد.
- **حذف پوشش گیاهی:** بریدن و حذف گسترده پوشش گیاهی پسکرانه نواحی ساحلی می‌تواند شرایط سیلابی شدن را تغییر دهد.

### ۱-۶-۲-۲- روندهای بلند مدت

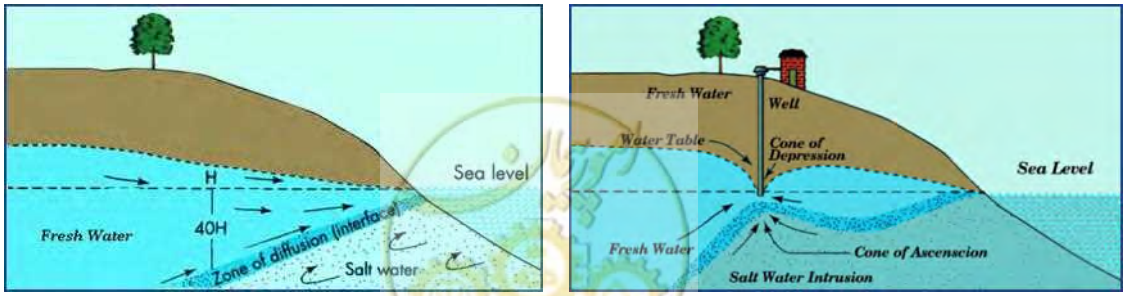
فعالیت‌های انسانی می‌توانند بر روندهای بلندمدت افزایش تراز آب دریاها و فرونشست سواحل تاثیر بگذارند و این موضوع سبب افزایش خطر سیلابی شدن نواحی ساحلی می‌شود که مستعد سیلابی شدن توسط رویدادهای دوره‌ای می‌باشند. در ادامه نمونه‌هایی از این فعالیت‌های انسانی آورده شده‌اند:

- **فرونشست ساحل:** پدیده فرونشست می‌تواند به واسطه استخراج آب زیرزمینی، نفت یا گاز در نواحی ساحلی رخ دهد. زمان رخ دادن پدیده فرونشست ممکن است با زمان استخراج موارد گفته شده بسیار تفاوت داشته باشد. نمونه مشهور این پدیده شهر ونیز می‌باشد که استخراج زیاد آب زیرزمینی در ناحیه صنعتی شهر سبب فرونشست چشمگیر سرتاسر شهر شد. وقتی در سال ۱۹۶۹ این فرونشست شناسایی شد عملیات استخراج آب زیرزمینی نیز متوقف گردید. در سال ۱۹۸۰ مجموع بالاآمدگی تراز آب دریا و فرونشست شهر به میزان تقریبی ۰/۲۳ متر رسید که تقریبا نیمی از آن به دلیل استخراج آب زیرزمینی بود. نتیجه آن شد که هم اکنون شهر ونیز از سیلابی شدن‌های فراوان، رنج زیادی می‌برد.[3]

---

1- Coastal Embankment
2- Coastal Dike

۳- البته اشاره به این موضوع نیز اهمیت دارد که استخراج آب زیرزمینی در نواحی ساحلی جدای از آنکه به فرونشست ساحل می‌انجامد بلکه سبب عقب‌نشینی آبخوان زیرزمینی و نفوذ آب شور دریا به زمین‌های ساحلی نیز می‌شود. متاسفانه این پدیده سبب شور شدن آب بسیاری از چاه‌های آب شیرین در نواحی ساحلی ایران همچون جزیره کیش شده است. دو شکل زیر که برگرفته از مقاله‌ای با عنوان «بررسی نفوذ آب شور به منابع آب شیرین» نوشته اکبر شهرباف (۱۳۸۷) در سایت مرکز ملی اقیانوس شناسی می‌باشد به خوبی نظریه حاکم بر این پدیده را در مناطق ساحلی نشان داده است. همان‌گونه که در شکل سمت چپ دیده می‌شود در حالت طبیعی آب شیرین آبخوان زیرزمینی و آب شور دریا به حالت تعادل رسیده‌اند ولی در شکل سمت راست دیده می‌شود که برداشت بی‌رویه از آبخوان زیرزمینی سبب پیشروی و نفوذ آب شور دریا شده است. مهم‌ترین دلایل نفوذ آب شور به آبخوان‌های ساحلی برداشت بی‌رویه از آب زیرزمینی و نیز کاهش بارش، بالا رفتن تبخیر سطحی به دلیل افزایش دمای کره زمین و نیز بالا آمدن سطح آب دریاها می‌باشد. بر اساس اطلاعات موجود به ازای هر ۱ سانتی‌متر برداشت اضافی از عمق یک آبخوان زیرزمینی ارتفاع آب شور ۴۰ سانتی متر بالا می‌آید و افزون بر این بستر و شکل حوضه آبگیر نیز تغییر خواهد کرد.




omoorepeyman.ir

- **افزایش تراز آب دریاها:** این پدیده دارای دلایل طبیعی و انسانی می‌باشد که تفکیک آنها از یکدیگر کار دشواری می‌باشد. افزایش تراز آب دریاهای آزاد پدیده‌ای جهانی می‌باشد که باید هنگام طراحی سازه‌های حفاظت ساحلی و برنامه‌های کاربری زمین در نواحی ساحلی پست مورد توجه قرار گیرد. بسیاری از پژوهش‌گران بر این باورند که اثر گازهای گلخانه‌ای[1] سبب گرم‌تر شدن کره زمین و ذوب یخ‌های قطبی و پیامد آن بالا آمدن تراز آب دریاها می‌باشد. پیش‌تر گفته شد که طبق گزارش‌های کمیته بین‌المللی تغییر اقلیم (IPCC) پیش‌بینی می‌شود تراز آب دریاهای آزاد در نیمه و پایان سده کنونی به ترتیب به میزان ۰/۲ و ۰/۵ متر بالا بیاید.

## ۱-۶-۳- ملاحظات طراحی سازه‌های حفاظت ساحل در رابطه با سیلابی شدن

بسیاری از نواحی پست ساحلی که به طور طبیعی و منظم، سیلابی می‌شوند کاربری‌هایی همچون کشاورزی، زیرساختی و مسکونی دارند. از آنجایی که این نواحی به طور منظم سیلابی می‌شوند نیازمند اقدامات حفاظت ساحل می‌باشند. در ادامه یک فلسفه طراحی کلی برای سازه‌های حفاظت ساحلی ارائه شده است.

در روش طراحی سازه‌های حفاظت ساحلی سه پارامتر اصلی زیر مورد استفاده قرار می‌گیرند:

- میزان خطر قابل قبول (R)[2] که سازه حفاظت ساحلی حین عمر در نظر گرفته شده برای سازه (L)[3] از کارکرد مناسب خارج شود.
- عمر سازه حفاظت ساحلی (L).
- دوره بازگشت طراحی ($T_d$) که برای تراز سیل طرح در نظر گرفته می‌شود.

اگر ناحیه‌ای که مستعد سیلابی‌شدن است دارای وسعت کم یا متوسط باشد و اگر ناحیه مورد نظر تنها برای کاربری‌های گسترده همچون کشاورزی مورد استفاده قرار گیرد آنگاه می‌توان خطر سیلابی شدن نسبتا بالایی (برای نمونه R = ٪۶۵) را در نظر گرفت. همان‌گونه که در جدول (۱-۱۵) دیده می‌شود، در این حالت اگر عمر سازه حفاظت ساحلی ۵۰ سال در نظر گرفته شود آنگاه با در نظر گرفتن خطر سیلابی شدن ٪۶۵ باید از دوره بازگشت ۵۰ سال برای رویداد دوره‌ای مورد نظر (کشند، برکشند طوفان، سونامی و غیره) استفاده شود. در جدول (۱-۱۵) رابطه بین عمر سازه (L)، دوره بازگشت رویداد دوره‌ای مورد نظر ($T_d$) و خطر قابل قبول عدم کارکرد مناسب سازه حفاظت ساحلی حین عمر سازه (R) ارائه شده است.

با این حال، اگر ناحیه‌ای که مستعد سیلابی‌شدن است دارای وسعت زیاد باشد و دارای کاربری‌های متراکم و متمرکز همچون زیرساختی و مسکونی باشد، آنگاه باید از خطر سیلابی شدن بسیار پایینی (برای نمونه R = ٪۱) استفاده شود. در این حالت اگر عمر سازه ۱۰۰ سال در نظر گرفته شود باید از دوره بازگشت طرحی در حدود ۱۰۰۰۰ سال برای رویداد دوره‌ای استفاده شود. جزییات بیش‌تر مربوط به طراحی سازه‌های حفاظت ساحلی در فصل ۳- روش‌های سازه‌ای حفاظت سواحل ارائه شده است.

1- Greenhouse Effect
2- Acceptable Risk
3- Lifetime

omoorepeyman.ir

**جدول ۱-۱۵- رابطه بین عمر سازه (L)، دوره بازگشت رویداد دوره‌ای مورد نظر (Td) و خطر قابل قبول عدم کارکرد مناسب سازه حفاظت ساحلی حین عمر سازه (R) بر حسب درصد.**

| عمر سازه (L) (سال) | دوره بازگشت رویداد دوره‌ای مورد نظر ($T_d$) (سال) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ۱ | ۵ | ۱۰ | ۳۰ | ۵۰ | ۱۰۰ | ۵۰۰ | ۱۰۰۰ | ۱۰۰۰۰ |
| ۱ | ۱۰۰ | ۲۰ | ۱۰ | ۳ | ۲ | ۱ | ۰ | ۰ | ۰ |
| ۵ | ۱۰۰ | ۶۷ | ۴۱ | ۱۶ | ۱۰ | ۵ | ۱ | ۰ | ۰ |
| ۱۰ | ۱۰۰ | ۸۹ | ۶۵ | ۲۹ | ۱۸ | ۱۰ | ۲ | ۱ | ۰ |
| ۳۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۹۶ | ۶۴ | ۴۵ | ۲۶ | ۶ | ۳ | ۰ |
| ۵۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۹۹ | ۸۲ | ۶۴ | ۳۹ | ۱۰ | ۵ | ۰ |
| ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۹۷ | ۸۷ | ۶۳ | ۱۸ | ۱۰ | ۱ |
| ۲۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۹۸ | ۸۷ | ۳۳ | ۱۸ | ۲ |
| ۵۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۹۹ | ۶۳ | ۳۹ | ۵ |

omoorepeyman.ir

# فصل ۲

# مراحل و روند مطالعات طرح‌های حفاظت سواحل

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

## ۲-۱- مراحل و روند مطالعات طرح‌های حفاظت سواحل

هدف از این فصل بررسی پرسش‌های عمومی می‌باشد که یک طراح باید هنگام طراحی یک پروژه حفاظت ساحلی به آنها پاسخ دهد، برای نمونه:

- سازه مورد نظر باید به چه کارکردهایی دست یابد؟
- طراح چه چیزهایی را باید بداند؟
- مشکلات احتمالی و یا محدودیت‌ها چه می‌باشند؟
- طراح چگونه باید با مشکل‌ها روبرو شود و چه راه‌حل‌هایی را ارائه دهد؟

عموما هر پروژه پیش از آن‌که به مرحله طراحی مفهومی برسد، از مدت‌ها پیش آغاز شده است. نیاز به کارهای ویژه در هر پروژه توسط مطالعات امکان‌سنجی تعیین می‌شود که باید در آنها مواردی همچون توجیه اقتصادی و اثرهای فیزیکی، اجتماعی و زیست‌محیطی در نظر گرفته شود. این مطالعات که ممکن است بسیار گسترده باشند، تعیین کننده امکان‌پذیری و قابل قبول بودن پروژه می‌باشند. پس از امکان سنجی پروژه، انجام آن از راه یک چرخه چهار مرحله‌ای صورت می‌گیرد که طی آن ابتدا نیازهای پروژه تعیین می‌شود، سپس یک برنامه کاری برای دستیابی به نیازهای مورد نظر ایجاد می‌گردد، در ادامه راهکارهای مورد نظر به کار گرفته شده و در نهایت مورد ارزیابی، مرور و بهبود قرار می‌گیرند.

در این راستا، هنگام برنامه‌ریزی و طراحی مطالعات طرح‌های حفاظت سواحل باید ملاحظات زیر را مدنظر داشت:

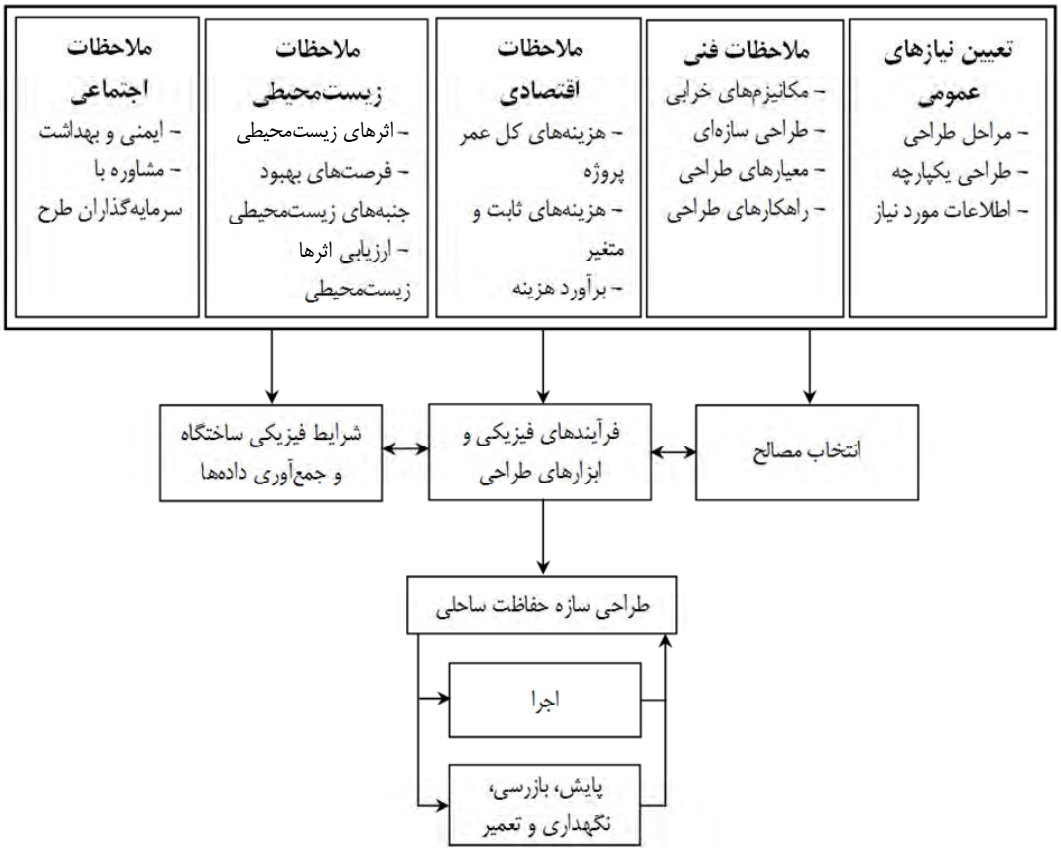
- تعیین نیازهای عمومی پروژه
- ملاحظات فنی
- ملاحظات اقتصادی
- ملاحظات زیست محیطی
- ملاحظات اجتماعی

البته این ملاحظات منحصر به طرح‌های حفاظت ساحل نبوده و باید برای دیگر پروژه‌های ساحلی نیز در نظر گرفته شوند.

پس از بررسی این ملاحظات و نیز در نظر داشتن مواردی همچون مصالح انتخابی، فرآیندهای فیزیکی و ابزارهای طراحی، شرایط فیزیکی ساختگاه پروژه و داده‌های جمع‌آوری شده، می‌توان به طراحی سازه‌های حفاظت ساحلی پرداخته و روش اجرایی مناسب و هم‌چنین روش پایش و نگهداری آنها را تعیین نمود. این مراحل در شکل (۲-۱) نشان داده شده‌اند. این مراحل باید در سرتاسر عمر پروژه و طی یک فرآیند تکراری مورد بررسی قرار گیرند تا این‌که حین مراحل بعدی پروژه فراموش نشوند.

تمام جنبه‌های مربوط به ملاحظات گفته شده در ردیف اول شکل (۲-۱) (همچون ملاحظات فنی، اقتصادی و غیره) در همین فصل توضیح داده می‌شوند. مواردی که در ردیف دوم نشان داده شده‌اند (همچون انتخاب مصالح و غیره) در فصل ۱، بند ۱-۴- بررسی و تحلیل ویژگی‌های کلی ساحل مورد مطالعه ارائه شده‌اند. ردیف‌های بعدی شکل (۲-۱) یعنی طراحی سازه حفاظت ساحلی، اجرای سازه و پایش آن به ترتیب در فصل‌های ۳، ۵ و ۶ ارائه شده‌اند.

omoorepeyman.ir




**شکل ۲-۱- مراحل برنامه‌ریزی و طراحی سازه‌های حفاظت ساحلی**

## ۲-۱-۱- نیازهای عمومی طرح حفاظت سواحل

در هر پروژه ساحلی باید هدفی برآورده شود. این هدف برای نمونه می‌تواند حفاظت یک لنگرگاه یا یک ساحل در حال فرسایش باشد. از سوی دیگر همواره محدودیت‌هایی در هر پروژه وجود دارند. این محدودیت‌ها ممکن است شامل جنبه‌های اقتصادی، اجتماعی یا فنی طرح باشند. در واقع، طراح پروژه باید با در نظر داشتن اهداف و محدودیت‌های پروژه، راهکارهای مهندسی را برای برآورده ساختن اهداف پروژه ارائه کند.

حین عمر یک پروژه ساحلی، طراحی قسمت‌های مختلف پروژه باید در چندین مرحله مورد بررسی قرار گیرند. این مراحل عبارتند از:

- تعریف پروژه
- طراحی مفهومی
- طراحی مقدماتی یا طراحی کلی
- طراحی دقیق و با جزییات
- اجرای طرح شامل نقشه‌های اجرایی و تدارک کارهای اجرایی
- بهره‌برداری از طرح شامل پایش[1]، نگهداری، و در صورت نیاز، تعمیر و بهبود دادن
- برچیدن پروژه (در صورت نیاز)

1- Monitoring

omoorepeyman.ir

به طور معمول، برآورده ساختن نیازهای پروژه، حل مشکلات و ارائه راهکارها در سه مقیاس مختلف انجام می‌شود:

- **مقیاس بزرگ**[1]: در این مقیاس به کل پروژه به عنوان یک «**سامانه**» نگاه می‌شود که برای نمونه یک سازه حفاظت ساحلی یا مجموعه‌ای از سازه‌ها (مانند آبشکن‌های گروهی) می‌باشند.
- **مقیاس متوسط**[2]: در این مقیاس بر روی «**مولفه‌های سامانه**» تمرکز می‌شود که ممکن است شامل مولفه‌های درونی سازه همچون لایه آرمور یا پنجه، و یا پی سازه شود.
- **مقیاس کوچک**[3]: در این مقیاس به «**اجزای منفرد**» پرداخته می‌شود که می‌تواند شامل مواردی همچون سنگ‌های آرمور، قطعات بتنی و شمع‌های سپری[4] باشد.

معمولا چهار مرحله در فرآیند طراحی وجود دارد که طی آنها به تدریج دقت و جزییات طراحی بیش‌تر می‌شود:

- مرحله اول: در این مرحله، «**اهداف**» پروژه به روشنی در نقشه‌ها مشخص می‌شود.
- مرحله دوم: در این مرحله، با توجه به «**کارکرد**»های مورد انتظار پروژه (برای نمونه محافظت در برابر امواج ۳ متری، یا جریان‌هایی با سرعت ۲ متر در ثانیه) که کمی و اندازه‌گیری شده‌اند، به تدقیق نقشه‌ها پرداخته می‌شود.
- مرحله سوم: در این مرحله، «**شکل**» کلی سازه‌ها بر روی نقشه‌ها مشخص می‌شود برای نمونه این‌که از یک موج‌شکن با مقطع ذوزنقه‌ای یا آبشکن‌های گروهی یا دیواره ساحلی استفاده شود.
- مرحله چهارم: در این مرحله «**جزییات**» سازه‌ها و شیوه اجرای آنها در طراحی مدنظر قرار می‌گیرد، برای نمونه نوع مصالح مورد استفاده، ابعاد و رواداری‌های مجاز مشخص می‌شود.

برای آن‌که سازه‌های حفاظت ساحلی بتوانند اهداف پروژه و کارکرد مورد انتظار آن را فراهم کنند باید طراحی‌ها در قالب یک سامانه‌ی یک‌پارچه انجام شوند که تاثیر تمام عوامل محدود کننده در نظر گرفته شده باشد. این عوامل که از آنها با نیازهای عمومی پروژه‌های حفاظت ساحلی یاد می‌شود، به طور کلی به صورت زیر طبقه‌بندی می‌شوند:

- ملاحظات فنی (شامل شرایط فیزیکی، مهندسی، اجرا و نگهداری سازه)
- ملاحظات اقتصادی (شامل هزینه‌های کلی و نگهداری، و منافع طرح)
- ملاحظات زیست محیطی (اثرها بر روی محیط زیست طبیعی)
- ملاحظات اجتماعی (اثرها بر روی محیط زیست انسانی شامل نیروی کار، سرمایه‌گذاران، امور همگانی)

در ادامه، این ملاحظات به طور کلی توضیح داده شده‌اند. توضیحات دقیق‌تر در همین فصل در بندهای «۲-۱-۲- ملاحظات فنی طرح، ۲-۱-۳- ملاحظات اقتصادی طرح، ۲-۱-۴- ملاحظات زیست محیطی طرح و ۲-۵- مسایل اجتماعی» و نیز در «فصل ۳، بند ۳-۴- معیارهای انتخاب سازه‌های حفاظت سواحل» ارائه شده است.

1- Macro-Scale
2- Meso-Scale
3- Micro-Scale
4- Sheet Pile

omoorepeyman.ir

### ۲-۱-۱-۱- ملاحظات فنی طرح

**- اهداف و کارکرد طرح**

برای تعیین اهداف و کارکرد طرح باید موارد زیر در نظر گرفته شوند:

- دستیابی به اهداف کارکردی پروژه (برای نمونه، محدود ساختن روگذری[1]، کاهش فعالیت امواج درون یک لنگرگاه، پیشگیری از فرسایش کناره‌های رودخانه)
- پایداری سازه‌ای قابل قبول و خطر خرابی (ضرایب ایمنی و انتخاب شرایط طراحی)
- تغییرات زمانی احتمال قابل قبول برای خرابی سازه
- سازگاری (برای نمونه، تغییر کاربری سازه با گذشت زمان)
- نیازهای ایمنی و بهداشت هنگام بهره‌برداری

**- شرایط فیزیکی**

برای تعیین شرایط فیزیکی پروژه باید موارد زیر مورد توجه قرار گیرند:

- شرایط ژئوتکنیکی زمین
- شرایط توپوگرافی خشکی و توپوگرافی بستر[2]
- نیروهای هیدرولیکی ناشی از امواج، جریان‌ها، ترازهای آب، جریان‌ها و یخ
- تغییرات ریخت‌شناسی[3]
- بار رسوبی و انتقال آن
- عدم اطمینان‌های موجود در شرایط فیزیکی (محدودیت‌های اطمینان)

**- داده‌های فنی موردنیاز**

به منظور تعیین داده‌های فنی موردنیاز پروژه باید موارد زیر مورد بررسی قرار گیرند:

- ویژگی‌های مصالح (برای نمونه دانه‌بندی سنگ‌های آرمور)، کیفیت، دوام[4] و در دسترس بودن
- دقت اطلاعات طراحی، پارامترها و روش‌های تحلیلی
- روش طراحی انتخاب شده برای سازه
- ماهیت خرابی (پیشرونده یا مقطعی، کامل یا جزیی)

برای به دست آوردن اطلاعات بیش‌تر در زمینه جنبه‌های فنی مربوط به سازه‌های حفاظت ساحل می‌توان به بند ۲-۱-۲- ملاحظات فنی طرح و بند ۳-۴-۴- معیارهای فنی مراجعه نمود.

1- Overtopping
2- Bathymetry
3- Morphology
4- Durability

omoorepeyman.ir

**- نیازها و شاخص‌های اجرایی**

برای تعیین نیازها و شاخص‌های اجرایی باید به موارد زیر توجه شود:

- امکان‌پذیری اجرای سازه
- تجربه و امکانات پیمانکار اجرای پروژه
- مباحث بهداشت و ایمنی
- شرایط حین اجرا (برای نمونه اندازه و فراوانی سیل یا طوفان)
- ویژگی‌ها و کیفیت مصالح اجرایی
- در دسترسی بودن مصالح جایگزین[1] (مصالحی به غیر از سنگ و خاک)
- موجود بودن فضای کافی برای انبار کردن مصالح و انجام عملیات اجرایی در ساختگاه پروژه

برای به دست آوردن اطلاعات بیش‌تر در زمینه تعیین نیازها و شاخص‌های اجرایی سازه‌های حفاظت ساحلی می‌توان به فصل ۵- روش‌های اجرای سازه‌های حفاظت سواحل مراجعه نمود.

**- شرایط نگهداری**

هنگام تعیین شرایط نگهداری باید موارد زیر در نظر گرفته شوند:

- مشخصه‌های مربوط به پاسخ سازه[2]
- فراوانی و نوع اصلاحات سازه‌ای
- دسترسی به منابع مناسب برای تعمیر (مصالح، کارگاه، افراد کارشناس)
- هزینه نگهداری
- دسترسی به کارگاه اجرایی

برای به دست آوردن اطلاعات بیش‌تر در زمینه شرایط نگهداری سازه‌های حفاظت ساحل به فصل ۶- اصول نگهداری و بهره‌برداری از سازه‌های حفاظت ساحلی مراجعه شود.

### ۲-۱-۱-۲- جنبه‌های اقتصادی

هنگام بررسی جنبه‌های اقتصادی پروژه باید به موارد زیر توجه شود:

- یافتن جایگزین‌های مناسب
- سود نسبت به هزینه (ایجاد تعادل بین دستیابی کامل یا جزیی به کارکردهای موردانتظار به ازای هزینه بیش‌تر یا کم‌تر)
- ریسک کارکردی قابل قبول
- قیود هزینه کل
- هزینه‌های احتمالی نگهداری

1- Alternative Materials
2- Structure Response

omoorepeyman.ir

برای به دست آوردن اطلاعات بیش‌تر در زمینه جنبه‌های اقتصادی مربوط به سازه‌های حفاظت ساحل می‌توان بـه بنـد ۲-۱-۳- ملاحظات اقتصادی طرح و ۳-۴-۵- جنبه‌های اقتصادی طرح مراجعه نمود.

### ۲-۱-۱-۳- جنبه‌های زیست محیطی

هنگام بررسی جنبه‌های زیست محیطی باید موارد زیر مورد توجه قرار گیرند:

- آماده‌سازی ملزومات زیست محیطی
- محافظت از منابع طبیعی (آب، سنگ و غیره)
- اثرهای زیست محیطی احتمالی ناشی از ساخت و ساز ساحلی
- خطر آسیب رساندن به زیبایی محیط زیست
- مزایای احتمالی زیست محیطی اجرای طرح
- اثرهای رسوب‌شناختی و ریخت‌شناختی
- قابل پذیرش بودن ظاهر فیزیکی پروژه

برای به دست آوردن اطلاعات بیش‌تر در زمینه جنبه‌های زیست محیطی مربوط به سازه‌های حفاظت ساحل می‌توان بـه بنـد ۲-۱-۴- ملاحظات زیست محیطی طرح و بند ۳-۴-۶- جنبه‌های زیست محیطی طرح مراجعه نمود.

### ۲-۱-۱-۴- مسایل حقوقی و اجتماعی

هنگام بررسی مسایل حقوقی و اجتماعی باید به موارد زیر توجه شود:

- ایمنی و بهداشت
- اجرا و بهره‌برداری
- مشارکت سرمایه‌گذاران طرح

برای به دست آوردن اطلاعات بیش‌تر در زمینه مسایل حقوقی و اجتماعی مربوط به سازه‌های حفاظت ساحل می‌توان به بنـد ۲-۱-۵- بررسی مسایل اجتماعی و بند ۳-۴-۷- مسایل حقوقی و اجتماعی مراجعه نمود.

## ۲-۱-۲- ملاحظات فنی طرح

این بخش به توصیف مولفه‌های سازه‌ای مختلف سازه‌های ساحلی و شیوه طراحـی و سـاخت مناسـب و مـوثر آنهـا مـی‌پـردازد. اطلاعات ارائه شده در این بخش برای هر نوع سازه سنگی ساحلی قابل کاربرد می‌باشد. برای به دست آوردن اطلاعـات دقیـق‌تـر در مورد جزییات طراحی سازه‌های گوناگون حفاظت ساحل و جنبه‌های فنی ویژه هر کدام از آنها باید به فصـل ۳- روش‌هـای سـازه‌ای حفاظت سواحل مراجعه شود.

پیش از طراحی هر نوع سازه ساحلی باید درک جامعی از پاسخ‌های هیدرولیکی و سازه‌ای اجزای مختلـف یـک سـازه سـنگی بـه عوامل محیطی همچون موج، جریان و باد داشت. عدم آگاهی از این موارد می‌تواند به کارکرد ضعیف سازه مورد نظر و یـا خرابـی آن

omoorepeyman.ir

منجر شود. در جدول (۲-۱) حالت‌های مختلف خرابی یک سازه سنگی و پارامترهای دخیل در آنها آورده شده است. در زیر درباره هر کدام از مکانیزم‌های خرابی توضیحات بیش‌تری ارائه شده است:

**- روگذری**

ترکیبی از امواج و ترازهای آب یا ترازهای حدی آب به تنهایی می‌تواند منجر به روگذری آب از تاج از یک سازه شود. حجم‌های کوچک روگذری آب ممکن است قابل قبول باشد، اما حجم‌های بزرگ‌تر آب ممکن است به سازه و رویه عقبی خسارت وارد آورده، یا آن‌که سبب سیلابی شدن زمین‌های پس‌کرانه‌ای شود. میزان روگذری قابل قبول به زبری تاج سازه هنگام عبور آب، و پایداری آن در برابر جریان‌های با سرعت بالایی که از روی تاج می‌گذرند، بستگی دارد.

**- نشست**

در اثر اعمال وزن سازه به خاک زیرین، ممکن است این خاک به طور ناگهانی یا طی زمان (در مورد لایه متراکم با تراوایی کم) متراکم و فشرده شود. پیامد این پدیده ممکن است واژگونی حفرات زیر زمینی در خاک زیرین سازه باشد. افزون بر این، خود سازه نیز ممکن است حین اجرا یا در فازهای اولیه بهره‌برداری آن دچار تراکم شود. میزان این نشست‌ها در مورد یک سازه توده سنگی[1] می‌تواند به ۱۰-۵ درصد ارتفاع سازه برسد.

فرآیند بالا منجر به افت تراز تاج سازه شده و کارآیی سازه را در زمینه محدود ساختن روگذری حین ترازهای آب بالا و یا حمله موج کاهش می‌دهد. نشست‌های جزیی سبب ایجاد سطوح ناهموار می‌شوند که ممکن است برخی از سنگ‌ها را بیش‌تر مستعد جابجایی کند. نشست‌های جزیی هم‌چنین می‌تواند منجر به خالی شدن[2] زیر تکیه‌گاه سازه‌های تاج شود. با این حال، در مورد سازه‌های غوطه‌ور، نشست می‌تواند پایداری لایه آرمور را بهبود دهد که علت آن خارج شدن سازه از ناحیه بارگذاری هیدرولیکی بیشینه می‌باشد.

**- ناپایداری رویه شیب‌دار**

فقدان یا کم بودن زبری بین قطعات یک سازه سنگی می‌تواند به گسیختگی لغزشی بیانجامد. هرگاه زاویه رویه شیب‌دار سازه به زاویه قرار[3] نزدیک شود، تغییرات کوچکی در بارگذاری نیز می‌تواند به ناپایداری رویه شیب‌دار منجر شود. فرسایش پیش‌کرانه[4] نیز در صورتی که آبستگی سبب تخریب یا خالی شدن زیر پنجه رویه شیب‌دار شود، می‌تواند به ناپایداری رویه شیب‌دار بیانجامد.

ناپایداری هم‌چنین ممکن است به واسطه اثر موج یا تغییرات سریع در تراز آب ایجاد شود. روگذری می‌تواند در ناپایداری رویه شیب‌دار پشتی سازه (نسبت به جهت برخورد امواج) نقش داده باشد که علت آن افزایش بار هیدرولیکی در تاج می‌باشد.

---

1- Rubble Mound
2- Undermining
3- Angle of Repose
۴- Foreshore: بخشی از ساحل که بین حد بالای موج شویی در هنگام مد و آب پایین عادی قرار دارد و معمولا هنگام جزر و مد، توسط امواج پیموده می‌شود (راهنمای مهندسی ساحل آمریکا).

omoorepeyman.ir

**- لغزش[1] سازه**

پایداری یک سطح شیب‌دار سنگی به عواملی همچون زاویه شیب، وزن مخصوص، فشارهای منفذی ناشی از اختلاف ترازهای آب و اثر موج، قفل و بست شدگی[2] و زبری داخلی بستگی دارد. در زمره دیگر موارد با اهمیت، می‌توان به شتاب‌های افقی حین زمین‌لرزه‌ها یا بارگذاری‌های ناگهانی موج اشاره نمود. هم‌چنین احتمال رخ دادن لغزش بین لایه‌هایی با مصالح مختلف، برای نمونه بین لایه آرمور و لایه زیرین آن یا جایی که از مواد دیگری همچون ژئوتکستایل‌ها و ژئوممبران‌ها استفاده می‌شود، بیش‌تر است، زیرا در این ناحیه زبری موضعی کاهش می‌یابد.

خاک زیرین سازه نقش مهمی در حمایت سازه دارد و می‌تواند سبب ایجاد فشارهای منفذی مازاد در سازه و پی شود. آبگونگی[3] در لایه‌های ریزدانه زیر سازه‌های سنگی می‌تواند مشکلات زیادی را در زمینه پایداری پنجه و حمایت رویه شیب‌دار ایجاد کند. هم‌چنین هنگام محاسبه پایداری رویه شیب‌دار باید فشارهای آب منفذی مازاد در نظر گرفته شوند. برای نمونه این اتفاق در شرایط جزر و مدی معمول می‌باشد که تراز آب با سرعتی بیش‌تر از تراز آب زیر زمینی افت می‌کند.

سازه‌های تاج که معمولا از نوع دیواره‌های بتنی می‌باشند، ممکن است تحت اثر بارگذاری امواج دچار لغزش شوند، بنابراین وجود اصطکاک کافی بین این سازه‌ها و سنگ زیرین آنها از اهمیت بسیار زیادی برخوردار می‌باشد.

**جدول ۲-۱- حالت‌های مختلف خرابی یک سازه سنگی و پارامترهای دخیل**

| نوع خرابی | پارامترهای بارگذاری اصلی | مشخصه‌های سامانه | پاسخ سازه |
|---|---|---|---|
| **روگذری** | امواج – ارتفاع، زمان تناوب و ترازهای آب | تراز تاج؛ زبری سطح شیب‌دار و مشخصه‌های استهلاک انرژی مربوط به تاج و رویه بیرون از حوضچه | خسارت تاج و سطح شیب‌دار درون حوضچه؛ ورود ناخواسته آب به طرف عقب |
| **نشست، چرخش**[4] | وزن – چگالی ویژه مصالح؛ درجه اشباع؛ فشار آب منفذی؛ زمان | تراکم‌پذیری خاک؛ تراوایی خاک؛ ضخامت‌های لایه | پایین آوردن تاج؛ تغییر شکل‌های افقی؛ افزایش روگذری؛ افزایش بارگذاری در سازه |
| **ناپایداری رویه شیب‌دار** | ترازهای آب – اختلاف ترازهای آب؛ امواج – وزن مصالح اجرایی؛ فشارهای منفذی؛ زاویه شیب | زاویه اصطکاک داخلی مصالح | خرابی چرخشی رویه شیب‌دار |
| **لغزش سازه** | وزن سازه یا مصالح؛ فشار آب منفذی؛ زاویه شیب | زاویه اصطکاک (بین لایه‌ها)؛ چسبندگی و تراوایی خاک، مغزه و لایه (های) پوششی | لغزش بخش عمده‌ای از سازه؛ واژگونی |
| **جابجایی پوشش سنگی** | امواج – ارتفاع، زمان تناوب و زاویه برخورد؛ جریان‌ها – آشفتگی، سرعت‌ها؛ یخ – ضخامت لایه و میزان اصطکاک | تراکم و اندازه سنگ‌ها؛ تراوایی لایه پوششی | لغزش؛ برخاستن؛ چرخش؛ تلفات قطعات آرمور که منجر به فرسایش رویه جلویی و ناپایداری موضعی می‌شود |
| **جابجایی لایه‌های زیرین** | تغییرات تراز آب – امواج، حرکت‌های آب به واسطه کشتی‌ها، دیگر افت تراز آب‌ها؛ گرادیان‌های هیدرولیکی؛ سرعت‌های جریان درونی | ضخامت و تراوایی لایه؛ اندازه دانه‌ها | نرخ انتقال مصالح درونی؛ ناپایداری موضعی یا تغییر شکل |
| **جوشش** | گرادیان‌های هیدرولیکی – سرعت‌های جریان درونی | طول مسیر جریان؛ مقاومت هیدرولیکی؛ اندازه دانه | نرخ انتقال مصالح درونی |
| **فرسایش پیش کرانه** | امواج – ارتفاع و زمان تناوب؛ زمین‌لرزه‌ها – شتاب، بسامد؛ تعداد چرخه‌های بارگذاری؛ فشارهای آب منفذی؛ دامنه تنش برشی (نسبی) | اندازه دانه رسوبی، شیب سازه؛ تراوایی سازه | آبشستگی بستر دریا در جلوی سازه |
| **آبگونگی** | امواج – ارتفاع و زمان تناوب؛ جریان‌ها – سرعت‌ها، آشفتگی | تراوایی؛ تراکم؛ ضخامت لایه‌ها؛ زاویه‌های اصطکاک | تغییر شکل جدی سازه؛ واژگونی |

1- Sliding
2- Interlocking
3- Liquefaction
4- Tilting

omoorepeyman.ir

**- جابجایی پوشش سنگی**

امواج و جریان‌ها تعیین کننده نیروهای برآ[1] و پسای[2] وارد بر سنگ‌های پوشش سنگی می‌باشند. نیروهای درونی نیز توسط مشخصه‌های سنگ تعیین می‌شوند. وزن سنگ و نیروهای ناشی از زبری و چفت و بست شدگی سنگ‌ها، عوامل پایدار سازنده سازه‌های سنگی می‌باشند.

از بین رفتن تعادل بین تمامی این عوامل می‌تواند به جابجایی قطعات سنگی موجود در پوشش سنگی بیانجامد. جابجایی قطعات سنگی عمدتا در رویه بیرونی (رو به دریا یا رودخانه) رخ می‌دهد اما در برخی موارد در صورتی که روگذری شدید باشد این اتفاق می‌تواند در رویه داخلی موج‌شکن‌ها یا پشت آبشکن‌ها[3] (نسبت به جهت اعمال جریان‌ها و امواج) نیز رخ دهد. این‌گونه پاسخ‌ها ممکن است به دلایل مختلف هنگام طراحی مجاز تشخیص داده شوند، ولی باید توجه نمود که میزان این پاسخ‌ها نباید آنقدر بزرگ باشد که سبب آغاز دیگر شکل‌های خرابی همچون تخریب لایه فیلتر شود.

با گذر زمان ممکن است مصالح سازه در معرض زوال قرار گیرند. این موضوع در مورد سنگ‌ها می‌تواند به شکل گردشدگی و کاهش قفل و بست بروز کند. با گذر زمان هم‌چنین ممکن است سنگ‌ها تحت اثر امواج بشکنند و جابجا شوند. این موضوع به سست شدن لایه پوششی و کاهش وزن مخصوص قطعات آن می‌انجامد که آن را مستعد تخریب می‌سازد.

در برخی شرایط، به ویژه زمانی که دانه‌بندی پوشش مورد نظر بیش‌تر از قطعات کوچک‌تر تشکیل شده باشد همانند پوشش سنگریز،[4] آنگاه در صورتی که راستای قرارگیری سازه در جهت اثر امواج باشد ممکن است سنگ‌های پوششی در راستای موازی ساحل جابجا شوند.

**- جابجایی لایه‌های زیرین**

ممکن است به دلیل اختلاف در تراز آب یا فشارهای آب منفذی مازاد، یک جریان درونی در سازه سنگی ایجاد شود. هر گاه گرادیان هیدرولیکی این‌گونه جریان‌ها و سرعت‌های متناظر با آن به یک حد بحرانی برسد، دانه‌های کوچک‌تر از لایه‌های درونی‌تر شسته شده و از میان مصالح درشت‌تر لایه‌های بالاتر به بیرون انتقال می‌یابند. اغلب این دانه‌های ریزتر به آسانی از میان لایه پوششی می‌گذرند و منجر به تلفات مصالح در لایه‌های زیرین همچون فیلتر یا مغزه می‌شوند که می‌تواند در نهایت منجر به نشست‌های موضعی شود.

**- جوشش[5]**

جوشش به تشکیل کانال‌های باز پایدار در بدنه یک توده دانه‌ای گفته می‌شود که به واسطه جابجایی و مهاجرت ذرات دانه‌ای به خارج از توده مورد نظر ایجاد شده‌اند. این کانال‌ها ممکن است به یکدیگر متصل شوند و بنابراین امکان فرسایش داخلی پیشرونده[6] را فراهم سازند که در نهایت می‌تواند منجر به واژگونی سازه شود.

1- Lift Force
2- Drag Force
3- Groyn (Groin)
4- Riprap
5- Piping
6- Progressive Erosion

omoorepeyman.ir

پدیده جوشش به ویژه در مکان‌هایی همانند مرز بین دو محیط که یکی تراوا و دیگری دارای تراوایی کم‌تر می‌باشد، یا جایی که مصالح دانه‌ای متراکم و سست در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند، رخ می‌دهد.

**- فرسایش پیش کرانه**

امواج و جریان‌ها می‌توانند سبب جابجایی رسوبات شوند. اندرکنش امواج و جریان‌ها با سازه (در قالب پدیده‌هایی همچون بازتاب موج، پایین افتادن موج و ایجاد آشفتگی) می‌تواند سبب آبستگی مصالح بستر یا ساحل جلوی پنجه سازه‌های ساحلی شود که احتمال خالی شدن زیر آنها را افزایش می‌دهد.

**- آبگونگی**

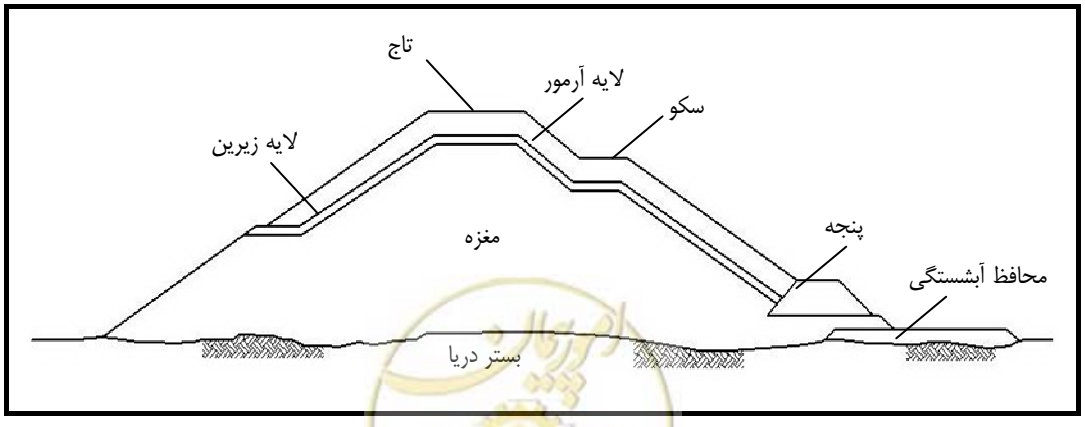
آبگونگی یا روانگرایی به شرایطی گفته می‌شود که در آن میزان فشارهای آب منفذی مازاد در مصالح دانه‌ای ریز تا حدی افزایش یافته باشد که ارتباط تماسی بین دانه‌ها از بین رفته است. در چنین شرایطی محیط متخلخل مورد نظر مقاومت برشی خود را از دست می‌دهد و در صورتی که تحت بارگذاری برشی قرار گیرد دچار گسیختگی لغزشی می‌شود.

### ۲-۱-۲-۱- مولفه‌های سازه‌ای

هر سازه دارای اجزا یا مولفه‌های گوناگونی می‌باشد که هر کدام دارای نقش ویژه‌ای در کارکرد کلی سازه مورد نظر دارند. مهم‌ترین جنبه‌های یک سازه سنگی عموما عبارتند از پایداری لایه پوششی، پی ایمن برای به حداقل رساندن نشست، حفاظت پنجه در برابر آبشستگی، و یک تاج مناسب برای محافظت در برابر روگذری. نکته‌ای که باید به آن توجه شود آنست که هر مولفه سازه‌ای دارای کارکرد ویژه‌ای در ارتباط با کل سازه می‌باشد و همه سازه‌ها برای آن‌که به طور مناسب به کارکرد خود ادامه دهند لزوما به همه مولفه‌ها نیاز ندارند.

در حالت کلی، کارکردهای مولفه‌های سازه‌ای به دو دسته اصلی تقسیم‌بندی می‌شوند: کارکردهایی که با هدف اصلی سازه مرتبط می‌باشند (برای نمونه حفاظت ساحل، محافظت در برابر امواج و غیره) و کارکردهایی که به حفظ یکپارچگی سازه‌ای کل سازه مورد نظر مربوط می‌شوند.

در شکل (۲-۲) مولفه‌های مختلف یک سازه سنگی معمولی نشان داده شده‌اند. هم‌چنین فهرستی از کارکردهای اصلی هر کدام از مولفه‌های سازه‌ای این سازه سنگی در جدول (۲-۲) ارائه شده است.




**شکل ۲-۲- مولفه‌های سازه‌ای یک سازه سنگی معمولی**

omoorepeyman.ir

**جدول ۲-۲- کارکردهای گوناگون مولفه‌های سازه‌ای یک سازه سنگی معمولی**

| نام پارامتر | کارکرد |
|---|---|
| **محافظ آبشستگی**[1] | • از فرسایش و زیرشویی پنجه پیشگیری می‌کند |
| **مغزه** | • عبور و انتقال موج را مستهلک می‌سازد<br>• تکیه‌گاه لایه آرمور و لایه‌های زیرین آن می‌باشد.<br>• پایداری ژئوتکنیکی ایجاد می‌کند |
| **سکو**[2] | • بالاروی، روگذری و اثر موج را مستهلک می‌کند<br>• پایداری ژئوتکنیکی بیش‌تری ایجاد می‌کند |
| **پنجه** | • پاشنه لایه آرمور را پایدار می‌سازد |
| **لایه زیرین (فیلتر)** | • به عنوان یک فیلتر عمل می‌کند<br>• از فرسایش خاک زیرین مغزه پیشگیری می‌کند<br>• امکان زهکشی را فراهم می‌کند<br>• به عنوان یک لایه تسطیحی و تنظیم تراز می‌باشد که سطح مناسبی را برای قراردهی لایه آرمور فراهم می‌کند<br>• آرمور را از مصالح کوچک‌تر جدا می‌کند و گرادیان هیدرولیکی به سمت خاک زیرین مغزه را کاهش می‌دهد |
| **لایه آرمور** | • فرسایش لایه فیلتر و مغزه به واسطه اثر موج را کاهش می‌دهد<br>• انرژی موج را مستهلک می‌کند |
| **تاج** | • روگذری موج را کاهش می‌دهد<br>• امکان دسترسی برای نگهداری سازه را فراهم می‌کند |
| **دیواره تاج**[3] | • روگذری موج را کاهش می‌دهد<br>• امکان دسترسی برای نگهداری سازه را فراهم می‌کند<br>• برای تاسیساتی همچون خطوط لوله و کابل‌ها به عنوان محافظ عمل می‌کند |
| **پوزه**[4] | • سازه را به گونه پایداری به انتها می‌رساند<br>• سبب پراش[5] امواج می‌شود |

### ۲-۱-۲-۲- بارگذاری سازه‌ای

هنگام طراحی سازه باید در نظر داشت که در شرایط محیطی مختلف چه نوع بارگذاری به اجزای سازه مورد نظر وارد می‌شود. برای نمونه، طراحی پنجه یا محافظ آبشستگی باید با در نظر داشتن ترکیبی از شرایط موج و ترازهای مختلف آب انجام شود به گونه‌ای بحرانی‌ترین شرایط ترکیبی مشخص شوند. حال آن‌که در مورد طراحی تاج سازه فقط باید جنبه روگذری موج مدنظر باشد، بنابراین به جای در نظر گرفتن محدوده‌های تراز آب مختلف فقط بالاترین تراز آب و بزرگ‌ترین موجی که در آن تراز به سازه برخورد می‌کند مهم می‌باشد.

در شکل (۲-۳) ناحیه‌های مختلف بارگذاری مربوط به یک سازه ساحلی که در یک منطقه کشندی قرار گرفته است نشان داده شده‌اند. چهار ناحیه مهم بارگذاری عبارتند از:

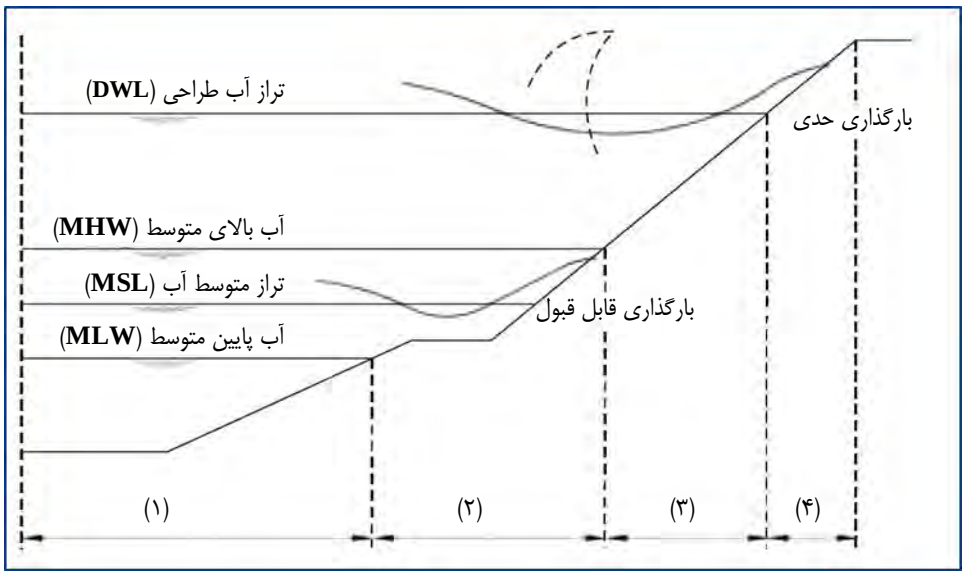
- **ناحیه ۱:** این ناحیه به طور همیشگی غوطه‌ور بوده و پایین‌تر از تراز آب پایین متوسط (MLW)[6] قرار دارد.

1- Scour Protection
2- Berm
3- Crown Wall
4- Head
5- Diffraction
6- Mean Low Water (MLW)

omoorepeyman.ir

- **ناحیه ۲:** این ناحیه بین آب پایین متوسط (MLW) و آب بالای متوسط (MHW)[1] قرار داشته و به طور مداوم در معرض اثر امواج معمولی و با شدت کم می‌باشد.
- **ناحیه ۳:** این ناحیه بین MHW و تراز آب طراحی (تراز آب حدی)[2] قرار داشته که می‌تواند در معرض هجوم امواج شدید قرار گیرد.
- **ناحیه ۴:** این ناحیه بالاتر از تراز آب طراحی قرار دارد و فقط بالاروی و روگذری موج را تجربه می‌کند.

مولفه‌های گوناگون سازه حفاظت ساحلی باید به گونه‌ای طراحی شوند که هنگام قرارگیری در این چهار ناحیه مختلف بارگذاری، دچار حالت‌های خرابی اشاره شده در جدول (۲-۱) نشوند.




**شکل ۲-۳- ناحیه‌های مختلف بارگذاری مربوط به یک سازه ساحلی در معرض امواج**

### ۲-۱-۲-۳- تحلیل مولفه‌های سازه‌ای

در حالت کلی، هنگام طراحی یک سازه ساحلی سنگی باید دست کم موارد زیر طراحی و مورد تحلیل قرار گیرند: لایه‌های زیرین و فیلترها، مغزه، پنجه، پی، لایه آرمور و تراز تاج.

تحلیل‌هایی که معمولا برای یک سازه قرار گرفته در **محیط دریایی** و در معرض امواج، جریان‌ها و ترازهای آب کشندی انجام می‌شود شامل موارد زیر می‌باشد:

- بالاروی و روگذری امواج به منظور تعیین ارتفاع و نیمرخ سازه
- پایداری آرمور، به منظور تعیین اندازه مصالح و روش قراردهی آنها بر روی رویه‌های شیب‌دار، پنجه و تاج
- محاسبات معیارهای فیلتر برای طراحی لایه‌های زیرین و غیره
- جریان‌ها و بازتاب امواج به منظور تعیین پتانسیل آبشستگی (گاهی نیز برای اثر آن بر کشتیرانی)
- انتقال موج برای تایید تراز تاج در نظر گرفته شده

1- Mean High Water (MHW)
2- Extreme Water Level

omoorepeyman.ir

- پتانسیل آبشستگی برای طراحی پنجه
- پایداری ژئوتکنیکی مرتبط با فشارهای آب منفذی شامل نشست، جوشش و غیره.
- پایداری شیروانی و پایداری پی
- سیلابی شدن و یکپارچگی رویه پشتی موج‌شکن (نسبت به جهت برخورد موج)
- اثرهای حفره‌زایی[1] ناشی از پروانه قایق‌ها و کشتی‌ها

### ۲-۱-۲-۴- فرآیند طراحی

پس از تعیین کارکردهای موردانتظار پروژه حفاظت ساحلی باید به طراحی مفهومی، مقدماتی و دقیق پروژه پرداخته شود. در مرحله طراحی مفهومی راهکارهای حفاظت ساحلی به طور کلی و از نظر امکان‌پذیری به طور کلی مورد بررسی قرار می‌گیرند. در مرحله طراحی مقدماتی معمولا گزینه‌های مختلفی از سازه‌های حفاظت ساحلی در نظر گرفته شده و بهترین گزینه با توجه به ملاحظات مختلفی که در این فصل توضیح داده شده‌اند (خلاصه‌ای از این ملاحظات در بند ۲-۱-۱- نیازهای عمومی طرح حفاظت سواحل» ارائه شده است) انتخاب می‌شود. سپس جزییات طراحی این گزینه برتر در مرحله طراحی دقیق انجام می‌شود. در مرحله طراحی دقیق، مولفه‌های مختلف سازه به گونه‌ای طراحی می‌شوند که بیش‌ترین کارآیی ممکن و کم‌ترین هزینه‌ها را داشته باشند. ابزارهای هیدرولیکی و ژئوتکنیکی که در مرحله طراحی دقیقی برای کنترل و تنظیم کارکرد هیدرولیکی و سازه‌ای به کار می‌روند باید ترکیبی از راهکارهای نظری و تجربی را شامل شوند. هم‌چنین باید برای بررسی شرایط ساختگاه پروژه از مدل‌سازی عددی یا فیزیکی (در صورت لزوم و برای پروژه‌های بزرگ مقیاس) استفاده شود.

هنگام استفاده از روش‌های تجربی باید توجه داشت که آنها همواره تمام شرایط ساختگاه مورد مطالعه را مورد پوشش قرار نمی‌دهند. در این مورد، مدل‌سازی فیزیکی می‌تواند راهکار مناسبی برای اندازه‌گیری و تعیین دقیق‌تر پایداری یا کارکرد سازه حفاظت ساحلی بوده و نه تنها در بهینه‌سازی طراحی دقیق کمک کند بلکه سبب صرفه‌جویی در هزینه‌های پروژه شود.

انواع روش‌های مدل‌سازی در پروژه‌های ساحلی در فصل ۴- مدل‌سازی ریاضی و فیزیکی سواحل و سازه‌های حفاظت سواحل، ارائه شده است.

در نهایت، باید راهکارهای اجرایی مناسب برای پروژه مورد بررسی قرار گیرند که بدین منظور بهتر است با پیمانکارهای بالقوه نیز مشورت شود. انواع روش‌های اجرای پروژه‌های ساحلی در فصل ۵- روش‌های اجرای سازه‌های حفاظت سواحل، ارائه شده است.

### ۲-۱-۲-۵- معیارهای طراحی فنی

هنگام طراحی پروژه بهتر است کارکردهای مورد انتظار پروژه به طور کمی تعیین شوند و به عنوان معیارهای طراحی مورد استفاده قرار گیرند. در این زمینه باید پیش از آغاز فرآیند طراحی، میزان خسارت قابل قبول تعیین شود. این معیارها باید با روش‌های طراحی به کار رفته مرتبط باشند. برای نمونه، بیشینه روگذری مجاز باید با یک دوره بازگشت برای وقوع رویداد مورد نظر (موج) متناظر شود.

omoorepeyman.ir

1- Cavitation

رابطه بین عمر سازه (L)، دوره بازگشت رویداد دوره‌ای مورد نظر ($T_d$) و خطر قابل قبول عدم کارکرد مناسب سازه حفاظت ساحلی حین عمر سازه (R) بر حسب درصد در جدول (۱-۹) در فصل ۱، بند ۱-۶-۳- ملاحظات طراحی سازه‌های حفاظت ساحل در رابطه با سیلابی شدن آورده شده است.

هنگام تعیین دوره بازگشت‌های متناظر با عمرهای مختلف سازه باید به این نکته توجه داشت که در نظر گرفتن دوره بازگشت‌های بزرگ‌تر در طراحی سازه لزوما به معنای زیاد شدن هزینه‌های طرح نمی‌باشد چون هزینه‌های نگهداری پروژه در شرایطی با دوره بازگشت کوچک‌تر را کاهش می‌دهد.

هنگام طراحی سازه حفاظت ساحلی، رویدادهای با دوره بازگشت ۰/۱، ۱، ۱۰، ۱۰۰ و ۱۰۰۰ سال به ترتیب مکرر، محتمل، اتفاقی، دور از انتظار و نامحتمل در نظر گرفته می‌شوند. دوره بازگشت سازه‌های حفاظت ساحلی معمولا در بین ۳۰ تا ۱۰۰ سال در نظر گرفته می‌شود.

### ۲-۱-۲-۶- رویکردهای طراحی

سه رویکرد کلی که در طراحی سازه‌های ساحلی وجود دارد عبارتست از:

- **قطعی:**[1] در این رویکرد از مقادیر منفرد و مشخص ورودی برای تمام متغیرهای ورودی استفاده می‌شود که در نتیجه یک مقدار خروجی منفرد به دست می‌دهد و هیچ‌گونه عدم قطعیتی در آن وجود نخواهد داشت.
- **قطعی همراه با تحلیل حساسیت:** روش بالا برای محدوده‌ای از مقادیر ورودی تکرار می‌شود تا این‌که حساسیت نتایج به پارامترهای ورودی مورد ارزیابی قرار گیرد.
- **احتمالاتی:** در این رویکرد طراحی مقادیر ورودی بر اساس یک توزیع احتمالاتی توصیف می‌شوند و نتیجه نیز به صورت یک توزیع احتمالاتی خواهد بود.

روش قطعی از دیرباز دارای بیش‌ترین کاربرد بوده است و معمولا برای اطمینان از طرح انتخابی از تحلیل حساسیت نیز استفاده می‌شود. در روش سوم امکان در نظر گرفتن عدم قطعیت در پارامترهای طراحی همچون فرسوده شدن سازه، تغییر در احتمال خرابی و مقادیر پیش‌بینی شده به خوبی فراهم می‌باشد.

### ۲-۱-۳- ملاحظات اقتصادی طرح

این بخش به توصیف ملاحظات اقتصادی سازه‌های حفاظت ساحلی می‌پردازد. اطلاعات ارائه شده در این بخش برای هر نوع سازه سنگی ساحلی قابل کاربرد می‌باشد. برای به دست آوردن اطلاعات بیش‌تر در مورد ملاحظات اقتصادی سازه‌های حفاظت ساحلی می‌توان به فصل ۳، بند ۳-۴-۵- جنبه‌های اقتصادی طرح، مراجعه نمود.

در هر پروژه حفاظت ساحلی ضرورت دارد که درک دقیقی از هزینه‌های پروژه حین عمر سازه وجود داشته باشد. در ادامه انواع ملزومات و روش‌های مختلف تعیین هزینه پروژه‌های ساحلی ارائه شده است.

omoorepeyman.ir

1- Deterministic

### ۲-۱-۳-۱- هزینه اقتصادی طرح در طول عمر سازه

هدف از مطالعات اقتصادی در هر پروژه ساحلی به حداقل رساندن هزینه کل طرح در محدوده ملزومات کارکردی و شرایط مرزی می‌باشد که شامل مواردی همچون اجرای پروژه، جابجایی احتمالی، نگهداری و نیز بهره‌برداری سازه می‌شود. تعیین هزینه کل پروژه در طول عمر سازه این امکان را به تصمیم‌گیران و سرمایه‌گذاران طرح می‌دهد که برای نمونه تشخیص دهند که آیا مناسب‌تر است هزینه کل اولیه بالاتری برای یک سازه اختصاص داده شود یا آن‌که هزینه اولیه کم‌تری با هزینه‌های بالاتر نگهداری حین فاز بهره‌برداری پروژه به کار رود.

هزینه اقتصادی طرح در طول عمر پروژه معمولا بر اساس «هزینه کنونی» بیان می‌شود به گونه‌ای که پس از اعمال نرخ تورم و نیز بهره، هزینه‌ها و سودهای آتی پروژه بر اساس قیمت کنونی گزارش می‌شوند. در این راستا برای تعیین هزینه کل پروژه هنگام عمر سازه از فرمول زیر استفاده می‌شود:

$$\text{هزینه کل کنونی پروژه} = \sum_{t=1}^{N}\left(\frac{C_t}{(1+r)^t}\right) \qquad (۱-۲)$$

که در این رابطه:

$N$: عمر طرح (سال)

$t$: زمان (سال)

$C_t$: هزینه مصرفی در سال tام (ریال، یا هر واحد ارزی دیگر)

$r$: نرخ بهره[1] منهای نرخ تورم[2] (-)

### ۲-۱-۳-۲- مولفه‌های موثر در هزینه

**- رده‌بندی هزینه‌ها**

در حالت کلی، هزینه‌های یک سازه سنگی در چهار دسته زیر قابل طبقه‌بندی می‌باشد:

- هزینه‌های تهیه و حمل مصالح
- هزینه‌های اجرا
- هزینه‌های نگهداری و ترمیم
- هزینه‌های برچیدن

جزییات مربوط به هر کدام از موارد بالا به ترتیب در زیر در بندهای ۲-۱-۳-۴ تا ۲-۱-۳-۶ ارائه شده است. افزون بر این باید هزینه‌های مطالعاتی که به طراحی دقیق و تهیه اسناد مناقصه منجر می‌شود را نیز در نظر گرفت. معمولا هزینه‌های مطالعاتی از ۱۰-۵ درصد هزینه کل پروژه بیش‌تر نمی‌شوند. سرمایه‌گذاری مازاد در مرحله طراحی می‌تواند هزینه‌های نهایی را تا حد چشمگیری کاهش دهد. برای نمونه، هزینه مطالعات دقیق مدل‌سازی عددی یا فیزیکی موج اغلب با هزینه بخش نسبتا کوچکی از موج‌شکن اجرا شده برابر است.

1- Interest
2- Inflation

omoorepeyman.ir

**- هزینه‌های ثابت و متغیر**

هزینه‌های پروژه را می‌توان به دو بخش هزینه‌های ثابت و متغیر تقسیم‌بندی نمود. هزینه‌های متغیر با زمان صرف شده یا حجم مصالح جابجا شده مرتبط می‌باشند. نمونه‌های هزینه‌های ثابت و متغیر در جدول (۲-۳) ارائه شده است. جزییات دقیق‌تر مربوط به هزینه‌های ثابت و متغیر اجرایی در بند ۲-۱-۳-۴- هزینه‌های اجرایی توضیح داده شده است.

**جدول ۲-۳- نمونه‌هایی از هزینه‌های ثابت و متغیر مرتبط با سازه‌های ساحلی**

| |
|---|
| **هزینه‌های ثابت** |
| • بازگشایی و بستن معدن قرضه انتخابی برای تهیه مصالح<br>• آماده‌سازی و برچیدن کارگاه<br>• آماده‌سازی و حذف راه‌های دسترسی<br>• انجام آزمون‌های شناسایی ویژگی‌های عمومی مصالح و مشخصه‌های ساختگاه پروژه |
| **هزینه‌های متغیر (مرتبط با زمان)** |
| • نگهداری حین بهره‌برداری از معدن قرضه<br>• نگهداری کارگاه<br>• وقفه‌های زمانی کارگاه (برای نمونه هنگامی که شرایط هیدرولیکی یا آب و هوایی نامناسب است)<br>• نگهداری راه‌های دسترسی<br>• بازرسی‌های طراح از معدن قرضه<br>• نظارت و مدیریت<br>• نگهداری تجهیزات پایش و برداشت اطلاعات (برای نمونه بویه‌های موج) |
| **هزینه‌های متغیر (مرتبط با کمیت)** |
| • بررسی ساختگاه شامل ژئوتکنیک، اندازه‌گیری موج و غیره<br>• حفاری<br>• کارهای فرعی حفاری (برای نمونه تسطیح شیب‌ها و غیره)<br>• پرسازی و تخلیه مصالح (برای نمونه قراردهی توده‌ای یا منفرد سنگ آرمور)<br>• کارهای فرعی تخلیه مصالح (برای نمونه تسطیح شیب‌ها، قراردهی ژئوتکستایل‌ها و غیره)<br>• انجام آزمون (برای تایید مقبولیت و مناسب بودن مصالح در فازهای مختلف اجرایی) |

در حالت کلی، برآورد هزینه باید بر موارد زیر تمرکز داشته باشد:

- اقلامی که بیش‌ترین نقش را در هزینه کل دارند.
- مولفه‌هایی که دارای عدم قطعیت زیادی هستند یا تاثیر عمده‌ای بر پروژه دارند.

برای نمونه ممکن است در یک پروژه مولفه‌های مرتبط با زمان از اهمیت زیادی برخودار باشند یا به بیان دیگر اجرای سریع‌تر سازه با هزینه‌های زیادتر تولید و جابجایی مصالح، مقرون بر صرفه‌تر از تاخیرهای بلند مدت باشد.

**- برآورد هزینه طرح**

برآورد هزینه طرح با توجه به فازهای مختلف پروژه صورت می‌گیرد. در حالت کلی، با نزدیک‌تر شدن به فازهای پایانی پروژه، دقت برآوردها نیز باید دقیق‌تر شوند.

در فاز طراحی پروژه معمولا دقت برآورد هزینه‌ها به صورت زیر می‌باشد:

omoorepeyman.ir

- **تعریف پروژه:** در این مرحله فقط «تخمین کلی» از هزینه‌ها صورت می‌گیرد. مبنای این تخمین هزینه، داده‌های تاریخی و مراجعه به پروژه‌های مشابه می‌باشد و هزینه‌های نگهداری در طول عمر پروژه را نیز شامل می‌شوند. دقت تخمین کلی تقریبا ۴۰٪ ± می‌باشد. برای نمونه در این مرحله قیمت موج‌شکن اجرا شده مشابه و هزینه‌های بازرسی و نگهداری آن مدنظر قرار می‌گیرد و با توجه به تعداد موج‌شکن‌هایی که قرار است ساخته شود، تخمین کلی به دست می‌آید.
- **طراحی مفهومی:** در این مرحله «تخمین» کلی برای طراحی، و بر اساس نرخ‌های استاندارد یا نرخ‌های واحد تقریبی و هم‌چنین هزینه‌های حین عمر پروژه، به دست می‌آید. دقت تخمین انجام شده در این مرحله از پروژه در حدود ۴۰-۲۰٪ ± می‌باشد. برای نمونه در این مرحله طول سازه موج‌شکن محاسبه شده و در قیمت واحد طول اجرای موج‌شکن مشابه ضرب می‌شود تا تخمینی از هزینه اجرای موج‌شکن به دست آید.
- **طراحی مقدماتی یا طراحی کلی:** در این مرحله «محاسبات تخمینی» برای برآورد هزینه صورت می‌گیرد. مبنای تعیین هزینه در این مرحله، نرخ‌های واحد و مقدار تقریبی مصالح به کار رونده و هزینه‌های مهندسی مشاور (طراح)، پیمانکار و هم‌چنین هزینه‌های نگهداری و پایش می‌باشد. دقت محاسبات تخمینی انجام شده دقت برآوردها در این مرحله از پروژه در حدود ۲۰-۱۰٪ ± می‌باشد. برای نمونه در این مرحله حجم سنگ‌های لایه آرمور محاسبه می‌شود و در قیمت هر مترمکعب از سنگ آرمور در پروژه‌های مشابه ضرب می‌شود و با هزینه‌های نگهداری جمع می‌شود.
- **طراحی دقیق و با جزییات:** در این مرحله «برآورد مهندسی» در زمینه هزینه طرح مورد نظر انجام می‌شود که مبنای آن کمیت‌ها و نرخ‌های واحد بوده و هزینه‌های مشاور، پیمانکار و، نگهداری و پایش نیز به آن افزوده می‌شود. دقت برآوردها در این مرحله از پروژه در حدود ۱۰-۵٪ ± می‌باشد. برای نمونه در این مرحله حجم سنگ‌های لایه آرمور محاسبه می‌شود و در قیمت هر مترمکعب سنگ آرمور مورد استفاده ضرب می‌شود و با هزینه‌های کارهای فرعی پروژه، تدارک کارهای اجرایی، محدودیت‌ها و هزینه‌های هنگام عمر پروژه همچون نگهداری و پایش جمع می‌شود.

### ۲-۱-۳-۳- هزینه‌های تهیه و حمل مصالح

تهیه و حمل سنگ‌های آرمور و مصالح مغزه، بخش چشمگیری از هزینه پروژه‌های ساحلی را شامل می‌شوند. در ادامه نکات مربوط به تهیه و حمل مصالح ارائه شده است.

**- نکات مربوط به تهیه مصالح**

یکی از اولین ملاحظاتی که باید برای یک پروژه ساحلی در نظر گرفته شود وجود مصالح سنگی با اندازه، کمیت، کیفیت و دوام کافی می‌باشد. در هر معدن قرضه محدودیت‌هایی در ارتباط با اندازه بیشینه سنگ تولیدی وجود دارد. اگر قرار باشد از یک معدن قرضه محلی استفاده شود باید اندازه، کیفیت و کمیت سنگ‌های موجود در طراحی‌ها مشخص باشد. اغلب به دلیل عواملی همچون هزینه حمل و نقل و جنبه‌های زیست محیطی، معادن قرضه محلی که دارای سنگ‌هایی با اندازه کوچک‌تر و کیفیت پایین‌تر هستند به معادن دورتر که دارای سنگ‌هایی با اندازه و کیفیت مناسب‌ترند، ترجیح داده می‌شوند. در این زمینه باید هزینه‌های نگهداری آتی مربوط به استفاده از سنگ‌های با دوام کم‌تر در هزینه کل پروژه لحاظ شده و پس از مقایسه هزینه‌های کل نسبت به استفاده یا عدم استفاده از معدن قرضه محلی تصمیم‌گیری شود. در فصل ۱، ۱-۴-۱۳-۲- معیارهای انتخاب مصالح، اطلاعات بیش‌تری درباره انتخاب مصالح مناسب آورده شده است.

omoorepeyman.ir

**- نکات مربوط به حمل مصالح**

نوع روش حمل و نقل مصالح، از راه آب یا زمین، به ساختگاه پروژه می‌تواند نقش تعیین کننده‌ای در انتخاب منبع تامین مصالح داشته باشد. عواملی که بر انتخاب روش حمل و نقل تاثیر می‌گذارند عبارتند از: روش اجرای سازه، دسترسی به ساختگاه، قیود و محدودیت‌های زیست محیطی و هزینه حمل و نقل.

### ۲-۱-۳-۴- هزینه‌های اجرا

بزرگ‌ترین بخش هزینه کل یک پروژه ساحلی معمولا به اجرای آن مربوط می‌شود. بسته به نوع پروژه، نوع قرارداد و ماشین‌آلات به کار رفته، این هزینه‌ها به سه دسته تقسیم می‌شوند:

- **هزینه‌های ثابت:** این هزینه‌ها شامل موارد زیر می‌باشند: تدارک و برچیدن دفاتر و کارگاه؛ تدارک و برچیدن کارهای موقتی و راه‌های دسترسی در ساختگاه پروژه؛ بیمه، آزمایش‌ها، بازگشایی و برچیدن معادن قرضه، تهیه قالب‌ها؛ توری‌ها یا موانع موقتی دیگر برای جداسازی محوطه کارگاهی از مکان‌های عمومی و مسکونی برای مقاصد ایمنی و بهداشت؛ حفاظت شخصی مربوط به بهره‌برداران، نواحی بازدید عمومی و تابلوهای اعلانات؛ مهاربندی‌ها، لنگراندازی‌ها و دستک‌های موقت و غیره؛ و پاکسازی نهایی ساختگاه.
- **هزینه‌های مرتبط با زمان:** در این زمینه می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: کارگاه، ماشین‌آلات، استخدام دفتری و نظارت ساختگاه؛ کنترل عمومی در مکان‌هایی که رفت و آمد عمومی با کارهای اجرایی تداخل پیدا می‌کند، به روزرسانی اطلاعات تابلوهای اعلانات و نگهداری هر کدام از اقلام گفته شده در بالا.
- **هزینه‌های با قابلیت اندازه‌گیری دوباره:** این‌ها هزینه‌هایی می‌باشند که با کمیت کار انجام شده مرتبط می‌باشند، برای نمونه میزان مصالح به کار رفته (با در نظر گرفتن مصالح پرت) و نیروی کاری عملی و کارگاه موردنیاز برای تولید، جابجایی، تدارک و قراردهی این میزان از مصالح.

### ۲-۱-۳-۵- هزینه‌های نگهداری و ترمیم

افزون بر هزینه تهیه و حمل مصالح و نیز هزینه اجرای پروژه، هزینه‌های دیگری نیز در طول بهره‌برداری پروژه وجود دارد که شامل موارد زیر می‌باشند:

- پایش و بازرسی سازه و محیط پیرامونی آن (برای نمونه ترازهای ساحلی)
- ارزیابی شرایط و کارکرد سازه
- ترمیم
- بازسازی یا جایگزینی

روش‌های مربوط به پایش، نگهداری و ترمیم سازه‌های حفاظت ساحلی به طور مفصل در فصل ۶- اصول نگهداری و بهره‌برداری از سازه‌های حفاظت ساحلی، ارائه شده است.

omoorepeyman.ir

### ۲-۱-۳-۶- هزینه‌های برچیدن

در برخی شرایط ممکن است نیاز باشد که سازه در آینده برچیده و برداشته شود. هزینه‌های این کار می‌تواند شامل موارد زیر باشد:

- تجهیزات
- جابجایی و حمل مصالح از ساختگاه پروژه
- انبارسازی یا استفاده دوباره
- دفع مواد آلاینده

این هزینه‌ها باید در فاز طراحی پروژه مورد شناسایی قرار گیرند و ممکن است بر انتخاب گزینه طرح حفاظت ساحلی تاثیر بگذارند.

## ۲-۱-۴- ملاحظات زیست محیطی طرح

در صورتی که جنبه‌های زیست محیطی پروژه‌های ساحلی که توسط خاک و سنگ اجرا می‌شوند به طور مناسب مطالعه نشوند، می‌توانند به طور بالقوه صدمات جدی به محیط وارد کنند. در این قسمت جنبه‌های زیست محیطی که در هر کدام از فازهای برنامه‌ریزی، طراحی یا اجرای سازه‌های سنگی ساحلی مطرح هستند، ارائه می‌شوند. این جنبه‌های زیست محیطی نه تنها در ساختگاه پروژه، بلکه در محل تهیه مصالح، محل انبارسازی و انباشت مصالح و نیز راه‌های حمل و نقل آنها مطرح می‌باشند. جنبه‌های ارزیابی زیست محیطی پروژه‌ها بسیار زیاد می‌باشد و در این‌جا فقط ملاحظات زیست محیطی پروژه‌هایی از مهندسی آب در نظر گرفته شده‌اند که توسط سنگ اجرا می‌شوند.

### ۲-۱-۴-۱- ارزیابی اثرهای زیست محیطی در طول عمر پروژه

مهم‌ترین جنبه‌های زیست محیطی که در طول عمر پروژه‌های ساحلی باید ارزیابی شوند عبارتند از:

- مولفه‌های فیزیکی
  - تغییر اقلیم
  - شرایط آب و هوایی و یخ زدگی
  - تغییرات در امواج و جریان‌ها به واسطه‌ی ساخت سازه ساحلی
  - داده‌های فیزیکی موردنیاز برای طراحی (توپوگرافی بستر، امواج و غیره)
  - تغییر در شرایط طراحی حین عمر پروژه
  - تداخل با زهکشی آب‌های سطحی
  - تغییرات زمین ریخت‌شناسی
  - پایداری منابع تغذیه رسوبی
  - آبشستگی و نیاز به انجام اقدامات حفاظتی
- مولفه‌های اکولوژیکی و بیولوژیکی
  - اثر مستقیم بر زیستگاه‌های حفاظت شده به واسطه قرارگیری در زیر سازه

omoorepeyman.ir

- صدمات غیرمستقیم به زیستگاه‌ها به واسطه فرسایش، آبشستگی یا فرونشست ساحل در نواحی پیرامون سازه ساحلی
- تداخل با فعالیت‌های تغذیه و آشیانه‌سازی پرندگان مهاجر
- تغییر در زیستگاه به واسطه ساخت سازه‌های سنگی
- اثر فعالیت‌های اجرایی یا راه‌های دسترسی و بهره‌برداری پروژه بر زیستگاه‌ها

– کیفیت هوا، آب و خاک

- انتشار خاک و سنگ هنگام انتقال مصالح، اجرا و نگهداری
- رها شدن ناخواسته و تصادفی آلاینده‌ها هنگام انتقال مصالح، اجرا و نگهداری
- احتمال گسترش و انتشار آلودگی موجود
- تغییر در کیفیت آب و هوا به دلیل معلق شدن ذرات ریز حین عملیات اجرای سازه ساحلی

– امنیت انسان‌ها و جنبه‌های میراث فرهنگی و باستانی

- آلودگی تصویری (رنگ، شکل سنگ‌های آرمور و نوع چیدمان)
- سر و صدا و لرزش‌ها
- بوی ناشی از جمع‌آوری پسماندهای ساختمانی یا مواد آلی
- اثر بر سواحل پیرامونی پروژه به واسطه ریزش خرده سنگ‌های پروژه در حال اجرا
- اصلاح و دستکاری نمای ساحل
- اثر بر نمای قابل مشاهده توسط خانه‌ها و ساختمان‌های پیرامون پروژه
- تاثیر بر آثار باستانی
- مسایل دیگر: نور، جنبه‌های تاریخی، فرهنگی، فسیل‌شناسی

– جنبه‌های اقتصادی و اجتماعی

- تغییر در نیروی کار محلی حین اجرا و بهره‌برداری
- مهاجرت انسان‌ها به جامعه کوچک‌تر هنگام اجرای پروژه
- اثرها بر تجارت محلی
- اثرها بر کاربری‌های تفریحی (برای نمونه از بین رفتن نواحی امن برای بازی کودکان در ساحل)
- اثرها بر دسترسی عابرین و وسایل نقلیه به ساحل
- اثرها بر فعالیت‌های ماهیگیری
- اثر بر خطر سیلابی شدن زمین‌های مجاور پروژه
- آسیب‌پذیری سازه در برابر اقدامات خرابه‌کارانه افراد قانون‌گریز
- ایمنی و سلامت عمومی
- اثرها بر کشتیرانی

omoorepeyman.ir

- توسعه پایدار[1]

– مخاطره‌های طبیعی و صنعتی

- سلامت و ایمنی کارگران
- ایمنی سازه‌های سنگی
- وجود کابل‌ها یا خطوط لوله
- نیاز به جلب رضایت کارکنان در مواردی که کارها باید در مکان‌های صنعتی مخاطره‌آمیز انجام شوند

### ۲-۱-۴-۱-۱- فاز مفهومی و طراحی پروژه

مهم‌ترین جنبه‌هایی که در این فاز باید مورد توجه قرار گیرند عبارتند از:

– تغییرات محلی امواج، کشندها و جریان‌ها و پیامد آنها تغییر در الگوهای آبشستگی و رسوب‌گذاری
– تدارک زیستگاه‌های جایگزین در خطوط ساحلی، خورها یا رودخانه‌ها
– شناسایی اقدامات لازم برای پایش فرآیندهای زیست محیطی
– جنبه‌های زیبایی‌شناختی (شکل و نوع سنگ آرمور و شیوه قراردهی)
– اثر بر آثار باستانی
– ایمنی سازه سنگی

### ۲-۱-۴-۱-۲- فاز تایید پروژه

در این مرحله بخش مهمی از تصمیمات بر اساس «ارزیابی اثرهای زیست محیطی» (EIA)[2] صورت می‌گیرد که در بند «۲-۴-۳- ارزیابی اثرهای زیست محیطی» توضیح داده شده است. در ارزیابی اثرهای زیست محیطی، مباحثی همچون اثرها بر زیستگاه‌های حفاظت شده و کاهش زیستگاه‌های دریایی مورد بررسی قرار می‌گیرند.

### ۲-۱-۴-۱-۳- فاز اجرای پروژه

هنگام به کارگیری سنگ برای اجرای سازه ساحلی، باید جنبه‌های زیست محیطی زیر در فاز اجرای پروژه مدنظر قرار می‌گیرند:

– تهیه سنگ آرمور

- سر و صدا و لرزش ناشی از انفجار در معدن سنگ، شکستن و منظم کردن سنگ‌ها
- حذف یا صدمه دیدن زیستگاه‌ها
- برداشته شدن یا صدمه دیدن لایه خاک فوقانی
- انتشار ذرات گرد و غبار به هوا و آب
- بر هم زدن مسیر آب‌های سطحی و جریان‌های زیر زمینی
- بر هم خوردن الگوی رفت و آمد و تردد ماشین‌آلات

1- Sustainability of Development
2- Environmental Impact Assessment (EIA)

omoorepeyman.ir

- انتشار دی اکسید کربن به واسطه سوزاندن سوخت‌های فسیلی
- مصرف انرژی حین سنگ‌شکنی، دانه‌بندی، مته‌زنی و حمل و نقل
- ایجاد پسماندهای جامد
- آلودگی تصویری

– حمل سنگ آرمور

- انتقال زمان حمل و نقل‌های نزدیک به مناطق مسکونی تا حد امکان به ساعت‌های روشن روز، و انجام دیگر حمل و نقل‌ها در زمان شب.
- قرار دادن موانع صوتی موقتی بین مناطق مسکونی و ناحیه کاری
- در نواحی ساحلی که گردشگری مهم می‌باشد، برنامه زمان‌بندی حمل و نقل به گونه‌ای تنظیم شود که خارج از ماه‌های اوج رفت و آمد گردشگران باشد.

– قراردهی سنگ آرمور

- آلودگی صوتی (رنگ، نوع و شیوه چیدمان)
- اثرها بر محیط زیست فیزیکی (برای نمونه ساحل یا بستر رودخانه)، زیستگاه‌ها، بر هم خوردن تعادل رسوبی به واسطه حفاری پی (این موضوع در مورد سازه‌های سنگی کم‌تر از سازه‌های بتنی می‌باشد)
- آلودگی تصویری و صدمه به زیستگاه‌ها به واسطه انباشت و ذخیره کردن سنگ‌ها
- مصرف انرژی توسط ماشین‌آلات
- اثرها بر حیات وحش و پرندگان محلی (محدود ساختن مناطق آشیانه‌سازی، تخم‌گذاری و یافتن غذا)

### ۲-۱-۴-۱-۴- فاز بهره‌برداری پروژه

مهم‌ترین جنبه‌های زیست محیطی در فاز بهره‌برداری عبارتند از:

– افزایش یا کاهش گستردگی اکولوژیکی و زیستگاهی به واسطه حضور سازه سنگی
– اثرهای زیست محیطی ناشی از تردد ماشین آلات برای جابجایی یا جایگزینی قطعات آرمور جابجا شده یا شکسته شده.
– آلودگی تصویری
– ایجاد بوی تعفن به واسطه تله افتادن جلبک‌ها و آبزیان در میان حفرات سازه سنگی
– ایمنی سازه ساحلی
– نیاز به پایش اکولوژیکی

### ۲-۱-۴-۱-۵- فاز برچیدن پروژه

مهم‌ترین جنبه‌های زیست محیطی در فاز برچینی پروژه عبارتند از:

– تخریب زیستگاه‌های احتمالی بر روی سازه‌های سنگی
– بازگشت الگوی انتقال رسوبات ساحلی به وضعیت پیشین و بازسازی زیستگاه‌های ساحلی طبیعی

omoorepeyman.ir

- انتشار ناخواسته سنگ و دیگر بقایای ساختمانی به محیط هنگام برچینی سازه یا عدم امکان برداشتن سازه سنگی به طور کامل
- اصلاح منظره ساحلی و جنبه‌های زیبایی‌شناختی

### ۲-۱-۴-۲- بهبود جنبه‌های زیست محیطی

قرارگیری سازه سبب از بین رفتن اجتناب‌ناپذیر زیستگاه میکروارگانسیم‌هایی می‌شود که در زنجیره غذایی ماهیان تجاری قرار دارند. به همین دلیل هنگام طراحی سازه ساحلی باید به گونه‌ای عمل نمود که دانه‌بندی و شیوه قرارگیری سنگ‌ها امکان توسعه زیستگاه‌های ساحلی را فراهم کند. در این زمینه باید توجه نمود که گیاهان مورد نظر باید هنگام خشک شدن (تراز آب پایین) توانایی بقا داشته باشند و هنگام بالا آمدن آب نیز بتوانند در شرایط کمبود نور کافی خورشید به حیات خود ادامه دهند.

مهم‌ترین ملاحظات مربوط به بهبود اکولوژیکی سازه‌های سنگی ساحلی عبارتند از:

- **مکان:** هنگام طراحی سازه ساحلی به ظاهر زیستگاه سنگی توجه شود. در مورد سازه‌های دریایی که زیر تراز کشند پایین قرار دارند، امکان توسعه و افزایش زیستگاه‌های ماهیگیری با عمق افزایش می‌یابد.
- **تنوع گونه‌های زیستی:** زیستگاه سنگی باید به گونه‌ای ایجاد شود که امکان توسعه جامعه بیولوژیکی متنوع‌تری فراهم شود.
- **به کارگیری مصالح ترکیبی:** هیچ لزومی ندارد که از یک نوع سنگ برای ساخت سازه استفاده شود.
- **مشاوره با کاربران و ساکنان:** هنگام بهبود جنبه‌های اکولوژیکی می‌توان با گروه‌های حفظ محیط زیست یا سازمان‌های محیط زیست محلی و ملی، اکولوژیست‌های محلی و سازمان‌های ماهیگیری مشاوره نمود.
- **همخوانی:** سازه ساحلی باید به گونه‌ای اجرا شود که با معماری و منظره ساحلی منطقه مورد مطالعه همخوانی داشته باشد و آلودگی تصویری ایجاد نکند.
- **واقع گرایی:** نباید انتظار داشت تمام خواسته‌ها توسط پروژه کنونی برآورده شود و باید یک دیدگاه بلندمدت مدنظر قرار داشته باشد.
- **پایش فرآیندهای اکولوژیستی:** برای بهبود جنبه‌های اکولوژیستی در بلند مدت باید فرآیندهای اکولوژیستی مورد پایش قرار گیرند. این کار ممکن است نیازمند برداشت‌ها و اندازه‌گیری‌های پیشرفته باشد.

### ۲-۱-۴-۳- ارزیابی اثرهای زیست محیطی (EIA)

**- مقررات بین‌المللی**

هر پروژه باید ملزومات قانونی زیادی را رعایت کند. پیش از انجام بسیاری از پروژه‌ها، انجام «ارزیابی اثرهای زیست محیطی» ضروری می‌باشد. این ارزیابی در واقع ابزاری برای بررسی اثرهای اجرا و بهره‌برداری پروژه می‌باشد. در این ارزیابی باید تمامی قوانین زیست محیطی ملی و بین‌المللی مرتبط با پروژه رعایت شوند.

مهم‌ترین قوانین زیست محیطی بین‌المللی در رابطه با ارزیابی اثرهای زیست محیطی که به منظور حفاظت حیات وحش و طبیعت وضع شده‌اند، عبارتند از:

- کنوانسیون رامسر درباره تالاب‌های با اهمیت بین‌المللی (۱۹۷۱)
- کنوانسیون استکهلم درباره حفاظت میراث فرهنگی و طبیعی جهانی (۱۹۷۲)

omoorepeyman.ir

- منشور جهانی طبیعت (۱۹۸۲)
- کنوانسیون بن (Bonn) درباره حفاظت گونه‌های مهاجر حیوانات وحشی (۱۹۷۹)
- کنوانسیون ریو (Rio) درباره اعلامیه تنوع بیولوژیکی (۱۹۹۲)
- کنوانسیون اسپو (Espo) (۱۹۹۱)

مهم‌ترین قوانین زیست محیطی بین‌المللی در رابطه با ارزیابی اثرهای زیست محیطی که به منظور پیشگیری از آلودگی آب‌های دریایی وضع شده‌اند عبارتند از:

- کنوانسیون مارپل (Marpol) (۷۸-۱۹۷۳)
- کنوانسیون لندن (۱۹۷۲)
- کنوانسیون اسپار (Ospar) (۱۹۹۲)
- کنوانسیون بارسلونا (۱۹۷۶)، بازنگری شده (۱۹۸۵)
- اعلامیه برمن (Berman) (۲۰۰۳)

**- اظهارنامه زیست محیطی (ES)**

نتایج یک ارزیابی اثرهای زیست محیطی معمولا در قالب یک «اظهارنامه زیست محیطی»[1] ارائه می‌شوند. این ارزیابی که ممکن است بخش الزامی فاز برنامه‌ریزی پروژه باشد، شامل بخش‌های اصلی زیر می‌باشد:

- توصیف کامل پروژه پیشنهادی
- توصیفی از شرایط زیست محیطی کنونی منطقه‌ای که ممکن است تحت تاثیر پروژه پیشنهادی قرار گیرد.
- توصیف مختصری از دیگر موارد در نظر گرفته شده (شامل گزینه عدم امکان انجام پروژه) و دلایل رد آنها
- اظهارنامه‌ای از اثرهای زیست محیطی پیش‌بینی شده پروژه پیشنهادی
- در صورت برعکس شدن اثرهای پیش‌بینی شده در مرحله پیش، ارائه اقداماتی که باید برای مقابله با اثرهای مربوط به کار گرفته شود.
- توصیفی از روش‌های تحلیلی به کار رفته

**- فرآیند ارزیابی اثرهای زیست محیطی**

مهم‌ترین فازهای یک ارزیابی اثرهای زیست محیطی عبارتند از:

- تکمیل اطلاعات مربوط به اثرهای زیست محیطی پروژه در قالب یک اظهارنامه زیست محیطی که طی چهار گام زیر انجام می‌شود:
  - تعیین هدف، به منظور شناسایی اولویت‌ها برای ارزیابی دقیق‌تر
  - برداشت اطلاعات، برای تعیین شرایط زیست محیطی کنونی
  - ارزیابی اثرهای محتمل (سودمند یا مضر) مربوط به پروژه مورد مطالعه

1- Environmental Statement (ES)

omoorepeyman.ir

- بررسی اقدامات مقابله‌ای، برای کاهش اثرهای مضر و بهبود اثرهای سودمند پیش‌بینی شده
- انتشار و ارائه اظهارنامه زیست محیطی به مجامع عمومی به منظور بررسی بازخوردهای اجتماعی پروژه و اظهارنامه زیست محیطی
- تعیین میزان مقبولیت پروژه از طرف مقامات محلی، با توجه به اظهارنامه زیست محیطی، اقدامات پیشنهادی برای مقابله با اثرهای احتمالی پروژه و هرگونه بازخوردهای دریافت شده از محافل عمومی و مشاوران.

**- پایش زیست محیطی**

پس از انجام ارزیابی اثرهای زیست محیطی برای پروژه ممکن است مشخص شود که باید فرآیندهای زیست‌محیطی محدوده مورد پایش قرار گیرند. اهداف پایش زیست محیطی عبارتند از:

- **پیش از اجرای پروژه:** تهیه اطلاعات ورودی برای واسنجی مدل‌های عددی و مطالعات اولیه.
- **حین و پس از اجرای پروژه:** ارزیابی اثرهای زیست محیطی و میزان کارآیی اقدامات مقابله‌ای پیش‌بینی شده و هم‌چنین تعیین اقدامات ترمیمی یا هشدار درباره اثرهای غیر منتظره.

## ۲-۱-۵- مسایل اجتماعی

تمام ساخت و سازهای ساحلی به نوعی با منافع اجتماعی در ارتباط می‌باشند. مهم‌ترین جنبه‌های اجتماعی که هنگام مطالعه یک طرح ساحلی باید در نظر گرفته شوند عبارتند از: جنبه‌های ایمنی و بهداشت، اثرهای اجتماعی ساخت و ساز و بهره‌برداری پروژه، و مشاوره با سرمایه‌گذاران و سرمایه‌گذاران طرح. این جنبه‌ها در ادامه توضیح داده شده‌اند. برای کسب اطلاعات بیش‌تر در این زمینه می‌توان به بخش ۳-۴-۷- مسایل حقوقی و اجتماعی، مراجعه نمود.

### ۲-۱-۵-۱- ایمنی و بهداشت

کار در محیط‌های آبی اغلب با مخاطراتی همراه می‌باشد که به ماهیت محیط آن باز می‌گردد. این مخاطرات بیش‌تر به واسطه تغییرات ناگهانی و شدید در بادها، امواج، جریان‌ها و ترازهای آب ایجاد می‌شوند. سیلابی شدن رودخانه‌ها و تغییرات شدید فصلی در جریان آنها نیز می‌تواند مخاطراتی را در کارهای ساخت و ساز ساحلی ایجاد کند. مخاطرات مربوط به سازه‌های ساحلی، تجهیزات و جان انسان‌ها باید حین فازهای برنامه‌ریزی، طراحی و اجرای طرح ساحلی مورد نظر مورد بررسی قرار گیرند.

طراح باید به گونه‌ای برنامه‌ریزی و طراحی کند که هنگام اجرای سازه ساحلی، کارها با ایمنی لازم انجام شود. در این زمینه بیش‌تر مخاطرات به تغییرات شرایط زمین (در بستر رودخانه یا دریا)، راه‌های دسترسی به ساختگاه پروژه و فضای کاری مربوط می‌شود.

بررسی حفاظت کاربران طرح‌های ساحلی از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. سازه‌های سنگی که دارای دسترسی عمومی می‌باشند اغلب می‌توانند برای کاربران مخاطره ایجاد کنند. برای نمونه، ممکن است کودکان در درون فضای خالی سنگ‌های لایه آرمور به دام بیفتند یا به واسطه جابجایی سنگ‌های ناپایدار لایه آرمور دچار جراحت شوند. این‌گونه مباحث باید در فازهای اولیه پروژه مدنظر قرار گیرند. برای نمونه، سنگ‌های لایه آرمور باید دارای شکل مناسب باشند (تیز و گوشه‌دار، نه صاف و گرد) تا این‌که قفل و بست کافی بین سنگ‌ها ایجاد شود.

omoorepeyman.ir

نصب علایم هشدار دهنده می‌تواند کاربران را از مخاطرات ایمنی سازه مورد نظر آگاه سازد و از آسیب‌های احتمالی پیشگیری کند.

### ۲-۱-۵-۲- اثرهای اجتماعی فرآیند اجرا و بهره‌برداری از طرح

کارهای اجرایی ممکن است با فعالیت‌های اجتماعی تداخل پیدا کرده و ایجاد مزاحمت کنند. برای شناسایی فرصت‌ها و محدودیت‌های اجرایی باید هنگام فاز برنامه‌ریزی پروژه، پس از پرس و جو از مقامات و مسوولین محلی و هم‌چنین ساکنان محلی، شرایط اجتماعی ناحیه مورد مطالعه شناسایی و مورد بررسی قرار گیرند. در صورت امکان باید محدودیت‌ها را هنگام فاز طراحی برطرف نمود.

نکاتی که در این زمینه وجود دارد عبارتند از:

- جذب نیروی کار محلی
- دسترسی بین کارگاه و ساختگاه پروژه
- زمان‌های وقفه کاری
- روش‌های اجرایی تعیین شده
- دسترسی عمومی بر روی و پیرامون سازه‌های ساحلی
- رعایت جنبه‌های زیبایی شناختی همچون امکان دسترسی آسان به ساحل و جنبه‌های معماری

### ۲-۱-۵-۳- مشاوره با سرمایه‌گذاران و کارفرمایان طرح

در صورتی که از همان ابتدا با سرمایه‌گذاران و کارفرمایان طرح جلسات توجیهی و مشورتی گذاشته شود می‌توان طراحی بسیار قابل قبول‌تری ارائه کرده و از مشکلات آتی پیشگیری نمود. ممکن است بین مسایلی که برای طراح به عنوان یک مشکل مطرح است با آنچه برای کارفرما یا سرمایه‌گذار طرح به عنوان مشکل نگریسته می‌شود، تفاوت چشمگیری وجود داشته باشد.

آشنا ساختن کارفرمایان و سرمایه‌گذاران طرح با دلایل فنی برخی تصمیم‌گیری‌ها می‌تواند فرآیند پروژه را بسیار اقتصادی‌تر کند. برای نمونه، در صورت قانع نمودن کارفرما با دلایل فنی مناسب می‌توان از روش‌های اجرایی بهره جست که دارای کارآیی مناسب‌تری هستند، هرچند در ابتدا با وقفه کاری کوتاه مدتی مواجه باشند. هم‌چنین استفاده از نیروی کار و مصالح محلی می‌تواند سبب صرفه‌جویی زیادی در هزینه‌های پروژه شده و همزمان منافع زیادی نیز برای افراد منطقه مورد مطالعه به همراه داشته باشد.

omoorepeyman.ir

# فصل ۳

# روش‌های سازه‌ای حفاظت سواحل

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

## ۳-۱- شرایط اساسی موثر در انتخاب مقدماتی نوع اقدام حفاظتی

یک ساحل را می‌توان از راه‌های مختلفی در برابر نیروهای فرساینده امواج، جریان‌ها و برکشند توفان محافظت کرد. در صورتی که نیاز باشد زمین‌های پسکرانه در برابر سیلابی شدن محافظت شوند، تعداد و تنوع این روش‌ها بیش‌تر نیز خواهند شد.

انتخاب نوع اقدام حفاظتی موردنیاز برای یک ساحل ویژه به سه شرط اساسی زیر بستگی دارد:

- **نوع مشکل** (فرسایش ساحل، فرونشست ساحل، یا سیلابی شدن پسکرانه)
- **شرایط ریخت‌شناسی** ( نوع خط ساحلی و نوع نیمرخ ساحلی)
- **نوع کاربری ساحل** (زیرساخت مسکونی، تفریحی، کشاورزی)

پس از مطالعه سه شرط اساسی بالا برای ساحل مورد نظر می‌توان سازه مناسب را با توجه به کاربری هر سازه و دیگر شرایطی که در ادامه توضیح داده خواهند شد انتخاب نمود. برای نمونه در مواردی که زمین‌های پسکرانه با پدیده سیلابی شدن مواجه می‌شوند معمولا به سازه‌های مرتفع‌تر که در امتداد ساحل اجرا شده باشند (همچون دیوار ساحلی) نیاز است حال آن‌که در مورد مشکل فرسایش ساحل می‌توان از روش‌هایی همچون آبشکن‌ها یا پوشش‌های محافظ (یا حتی روش‌های بیولوژیکی) استفاده نمود. یا برای نمونه در زمینه نوع کاربری ساحل، اگر زمین‌های ساحلی از اهمیت و ارزش مالی زیادی برخوردار باشند معمولا استفاده از روش‌های حفاظتی پرهزینه‌تر و با ریسک کم‌تر توجیه پیدا می‌کنند. حال آن‌که در مورد ساحل‌هایی که دارای کاربری تفریحی می‌باشند معمولا رویکردهای زیبایی‌شناختی و امکان مشاهده و دسترسی به دریا تاثیر ویژه‌ای در انتخاب نوع سازه خواهند داشت.

### ۳-۱-۱- راهکارهای کلی مقابله با پدیده فرسایش یا سیلابی شدن ساحل

پس از تعیین مشکل، شرایط ریخت‌شناسی و نوع کاربری ساحل باید یک راهکار و خط‌مشی کلی برای حفاظت ساحل انتخاب شود. مطابق راهنمای مهندسی ساحل آمریکا شش راهکار سیستماتیک زیر برای مقابله با پدیده فرسایش یا سیلابی شدن ساحل وجود دارد که عبارتند از: آرمورچینی، پایداری‌سازی ساحل، تغذیه ساحل، سازگاری و عقب‌نشینی، اقدامات ترکیبی و فن‌آوری‌های نوین و در نهایت عدم مقابله با مشکل موجود. این راهکارها به طور خلاصه در ادامه توضیح داده شده‌اند.

#### ۳-۱-۱-۱- آرمورچینی[1]

دیوارهای دریایی، پوشش‌های محافظ، دیوارهای حایل و بندهای ساحلی در زمره روش‌های سنتی آرمورچینی خط ساحلی می‌باشند. راهکارهای آرمورچینی زمانی توجیه اقتصادی دارند که سیلابی شدن و اثر امواج در زمین‌های پست ساحلی سبب به خطر افتادن سرمایه‌های اساسی و با ارزش بالا می‌شود. با گذشت زمان باید انتظار داشت که نیمرخ ساحلی جلوی این سازه‌ها همچنان به فرسایش ادامه دهند. در این زمینه، اگر ساحل از نوع تفریحی است باید تغذیه ساحل دوره‌ای در نظر گرفته شود.

#### ۳-۱-۱-۲- پایدارسازی ساحل

موج‌شکن‌های جدا از ساحل و آبشکن‌ها در زمره روش‌هایی هستند که نرخ فرسایش ساحل را کاهش می‌دهند. این سازه‌ها بیش‌تر در مواردی به کار می‌روند که به دلیل حذف یک منبع رسوبی، مشکل فرسایش شدید و بلندمدت وجود دارد. برای پیشگیری

1- Armoring

omoorepeyman.ir

از اثرهای جانبی این سازه‌ها معمولا آنها را به صورت ترکیبی با تغذیه ساحل به کار می‌برند. هدف اصلی این نوع سازه‌ها بیش‌تر از آن‌که تله‌اندازی رسوبات کرانه‌ای باشد، پیشگیری از تلفات و فرسایش بیش‌تر در ساحل مورد نظر است. علت این کار آن است که تله‌اندازی رسوبات مربوط به رانه ساحلی به تشدید فرسایش در سواحل پیرامونی می‌انجامد و برای پیشگیری از این پدیده ضرورت دارد مصالح اضافی به این سواحل تغذیه شود.

### ۳-۱-۱-۳- تغذیه ساحل[1]

برای جبران فرسایش می‌توان در ناحیه آبی ساحل مورد نظر از یک مکان دیگر مصالح اضافی تخلیه کرد. هم‌چنین برای پیشگیری از سیلابی شدن پسکرانه می‌توان با تخلیه مصالح اضافی از یک مکان دیگر به بازسازی تپه‌های ساحلی پرداخت. با توجه به این‌که این راهنما به ارائه روش‌های سازه‌ای حفاظت ساحل می‌پردازد، روش تغذیه ساحل به طور مستقل بررسی نخواهد شد. برای آشنایی با این روش می‌توان به بخش V-۴، راهنمای مهندسی ساحل آمریکا، مراجعه کرد.

### ۳-۱-۱-۴- سازگاری و عقب‌نشینی

در زمره روش‌های «سازگاری»[2] می‌توان به مرتفع نمودن سازه‌های ساحلی، مقاوم ساختن آنها در برابر سیلابی شدن، تهیه طرح‌های پهنه‌بندی سیلاب و تدارک سامانه‌های هشدار سیل اشاره نمود. «عقب‌نشینی»[3] به معنای تخلیه و ترک همیشگی زیرساخت‌های ساحلی و ساختمان‌هایی می‌باشد که در معرض فرسایش یا سیلابی شدن شدید قرار داشته و اقدامات حفاظتی برای آنها توجیه اقتصادی نداشته باشد. هنگام بررسی هزینه‌ها و قیود این راهکار باید اثرهای زیست‌محیطی وارد بر مکان جدیدی که عقب‌نشینی به آنجا انجام می‌شود نیز مدنظر قرار داشته باشد.

### ۳-۱-۱-۵- اقدامات ترکیبی و فن‌آوری‌های نوین

در بسیاری از مناطق، استفاده از راهکار سازه‌های مرتفع شده به همراه یک سازه پایدار کننده خط ساحلی و نیز تغذیه ساحل برای حفاظت سواحل مورد نظر به کار رفته است. هم‌چنین فن‌آوری‌های غیرسنتی همچون به کارگیری کیسه‌های ژئوتکستایل و ایجاد تالاب‌های ساحلی به عنوان روش‌های نوین حفاظت ساحل پا به عرصه وجود گذاشته‌اند. شیوه به کارگیری و طراحی ژئوسنتتیک‌ها در بخش‌های ۳-۲- انواع سازه‌های حفاظت ساحل، ۳-۲-۸- ژئوسنتتیک‌ها و ۳-۳- ملاحظات طراحی سازه‌های حفاظت ساحل، ۳-۸- ژئوسنتتیک‌ها ارائه شده است.

### ۳-۱-۱-۶- عدم مقابله

در پایان، پس از بررسی دیگر راهکارهای حفاظت ساحل، باید گزینه کنار آمدن و عدم مقابله با خسارت‌های ناشی از فرسایش یا سیلابی شدن ساحل و هزینه‌های سالانه آن نیز بررسی شود. به عبارت دیگر گاهی ممکن است هزینه‌های خسارت‌های وارد شده بسیار کم‌تر از هزینه مقابله با آنها باشد.

---

1- Beach Nourishment
2- Adaptation
3- Retreat

omoorepeyman.ir

## ۳-۲- تعریف و زمینه‌های کاربرد انواع سازه‌های حفاظت سواحل

در این قسمت تعریف، شیوه به کارگیری، مشخصه‌های کارکردی و زمینه‌های کاربرد انواع روش‌های متداول سازه‌ای حفاظت سواحل ارائه می‌شوند. ملاحظات طراحی مربوط به این روش‌ها در بخش ۳-۳- ملاحظات طراحی سازه‌های حفاظت ساحلی، ارائه شده‌اند. خاطرنشان می‌شود راهنمای حاضر به طرح روش‌های غیرسازه‌ای همچون روش‌های بیولوژیکی یا تغذیه ساحل نمی‌پردازد، هر چند در بیش‌تر موارد این روش‌ها از دیدگاه زیست محیطی، هزینه‌های اقتصادی و رویکردهای زیبایی‌شناختی بر روش‌های سازه‌ای برتری داده می‌شوند.

در زمره سازه‌هایی که در امتداد ساحل ساخته می‌شوند و به درون ناحیه شکست موج پیشروی نمی‌کنند به روش‌هایی همچون دیوارهای دریایی، پوشش محافظ، دیوارهای حایل و بندها یا خاکریزهای ساحلی پرداخته شده است. در زمره سازه‌هایی که درون ناحیه شکست موج قرار می‌گیرند به روش‌هایی همچون موج‌شکن‌ها، آبشکن‌ها و دستک‌ها پرداخته شده است. هم‌چنین اگرچه ژئوسنتتیک‌ها خود به طور مستقل به عنوان سازه حفاظت ساحلی شناخته نمی‌شوند و معمولا به صورت ترکیبی با دیگر سازه‌ها به کار گرفته می‌شوند، به دلیل اهمیت آنها و رویکردهای طراحی و کاربرد نوین آنها، در بخش مستقلی توضیح داده شده‌اند.

### ۳-۲-۱- دیوارهای ساحلی[1]

#### ۳-۲-۱-۱- تعریف

دیوار ساحلی سازه‌ای می‌باشد که ناحیه آبی دریا را از خشکی ساحل جدا می‌کند. دیوار ساحلی به منظور پیشگیری از فرسایش ساحلی و دیگر خسارت‌های ناشی از اثر موج و برکشند طوفان طراحی شده است. دیوارهای دریایی معمولا سازه‌های حجیمی می‌باشند زیرا برای مقاومت در برابر نیروی کامل امواج و برکشند طوفان طراحی شده‌اند.

#### ۳-۲-۱-۲- شیوه به کارگیری

دیوارهای دریایی در موقعیت خط ساحلی و در پنجه صخره‌ها یا تپه‌های ماسه‌ای ساحلی ساخته می‌شوند. در حالت کلی، دیوار ساحلی یک سازه بتنی شیب‌دار می‌باشد که ممکن است دارای رویه هموار، پلکانی یا خمیده باشد. دیوار ساحلی هم‌چنین ممکن است به صورت یک سازه توده سنگی، فلزی یا چوبی ساخته شود. ویژگی عمومی این سازه آن است که برای مقاومت در برابر اثر موج و برکشند شدید طراحی می‌شود. پنجه دیوارهای دریایی انعطاف ناپذیر[2] اغلب توسط یک پوشش محافظ محافظت می‌شود. یک دیوار ساحلی توده سنگی شباهت بسیار زیادی به یک پوشش محافظ اجرا شده توسط توده‌های سنگی دارد. با این حال، پوشش محافظ اغلب به عنوان یک سازه مکمل برای دیوارهای دریایی یا به عنوان یک سازه منفرد و خود اکتفا در نواحی ساحلی آرام‌تر به کار گرفته می‌شود. افزون بر این، گاهی به یک بند مقاوم‌سازی شده برای پایداری در برابر اثر موج نیز دیوار ساحلی گفته می‌شود. نمونه‌هایی از انواع سازه‌های دیوار ساحلی در شکل (۳-۱) نشان داده شده است.

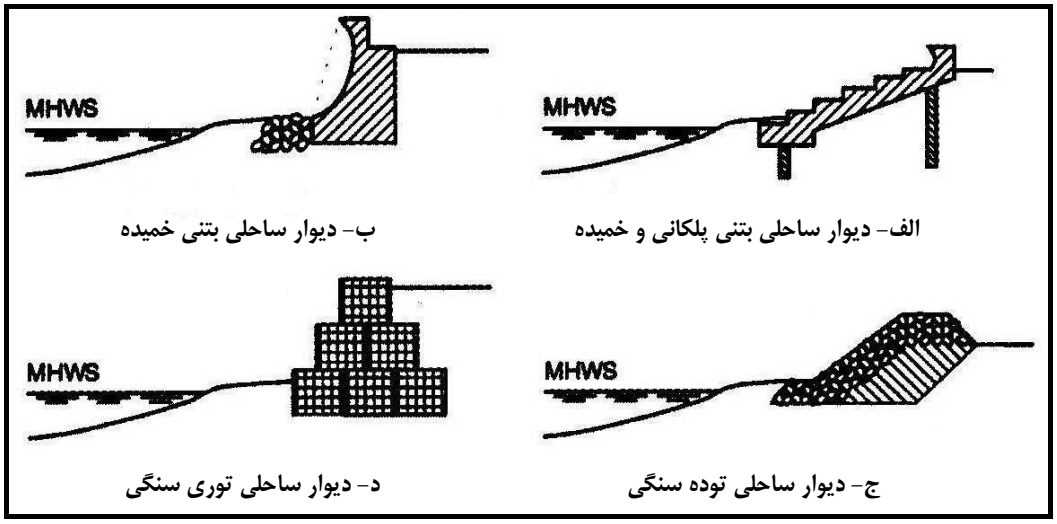
omoorepeyman.ir

1- Sea Wall
2- Non-Flexible

### ۳-۲-۱-۳- مشخصه‌های کارکردی

دیوارهای دریایی قائمی که عمدتا در گذشته مورد استفاده قرار می‌گرفتند، دارای این کارکرد نامطلوب بودند که بخشی از انرژی موج را بازتاب می‌کردند. به همین دلیل نرخ فرسایش در جلوی دیوار ساحلی افزایش می یافت. با این حال تمام انواع دیوارهای دریایی با فرسایش نیمرخ ساحلی همراه می‌باشند که علت آن به کارگیری آنها در نواحی در معرض فرسایش است. دیوار ساحلی محل خط ساحلی را ثابت می‌کند ولی نمی‌تواند از فرسایش پیشرونده نیمرخ ساحلی پیشگیری کند و حتی میزان فرسایش آن را سرعت نیز می‌بخشد. این‌که ساحل روبروی یک دیوار ساحلی دچار فرسایش شود تا حدی قابل قبول می‌باشد و اغلب ضرورت دارد پس از چند سال پنجه دیوار ساحلی توسط یک پوشش محافظ مقاوم‌سازی و محافظت شود.

دیوار ساحلی سبب کاهش تغذیه رسوبات از محدوده حفاظت شده ساحل به رانه ساحلی می‌شود و بر بیلان رسوبی خطوط ساحلی پیرامونی اثر منفی می‌گذارد. به بیان دیگر، حضور دیوار ساحلی می‌تواند با فرسایش خطوط ساحلی پیرامونی همراه باشد.




**شکل ۳-۱- نمونه‌هایی از سازه‌های دیوار ساحلی**

### ۳-۲-۱-۴- زمینه های کاربرد

دیوار ساحلی سازه غیر فعالی[1] (به بند ۱-۲-۲ مراجعه شود) است که ساحل را در برابر فرسایش و سیلابی شدن محافظت می‌کند. دیوارهای دریایی اغلب در سواحل شهری به کار گرفته می‌شوند که در معرض فرسایش قرار داشته و به دلیل ارزش بالای ساحل، به حفاظت مناسب نیاز دارند. پسکرانه این نوع دیوارهای دریایی معمولا به صورت تفرجگاه و پیاده‌روهای عمومی می‌باشد. نمونه‌ای از یک دیوار ساحلی در شکل (۳-۲) نشان داده شده است. دیوارهای دریایی در طول سواحل غیر مسکونی نیز به کار می‌روند که نیازمند حفاظت فوری هستند. دیوارهای دریایی بیش‌تر در سواحلی به کار می‌روند که در معرض هجوم شدید امواج قرار دارند، ولی در سواحل آرام‌تر نیز کاربرد دارند.

omoorepeyman.ir

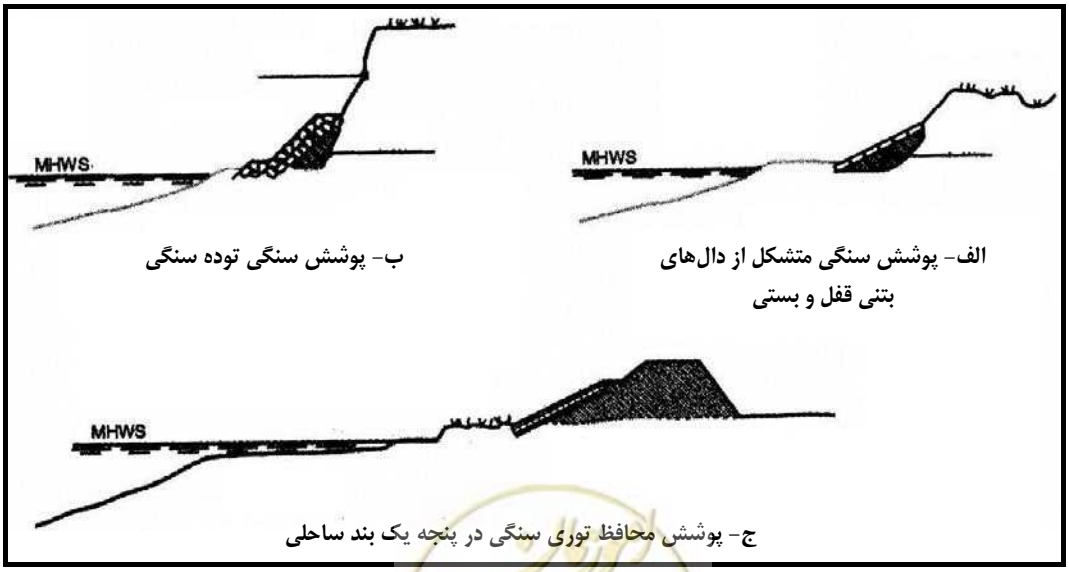
1- Passive

**شکل ۳-۲- نمونه‌ای از یک دیوار ساحلی (ونکوور، کانادا)**

## ۳-۲-۲- پوشش محافظ[1]

### ۳-۲-۲-۱- تعریف

منظور از پوشش محافظ رویه‌ای است که توسط قطعات یا دال‌های بتنی، سنگی و مانند این‌ها ساخته شده باشد. پوشش محافظ برای حفاظت یک سطح شیب‌دار ساحلی، پنجه یک صخره، تپه ماسه‌ای ساحلی، بند یا دیوار ساحلی در برابر اثر موج، برکشند طوفان و جریان‌ها ساخته می‌شود. این تعریف تا حد زیادی شبیه تعریف یک دیوار ساحلی می‌باشد. با این حال یک پوشش محافظ، ساحل را در برابر سیلابی شدن محافظت نمی‌کند، تفاوت اصلی پوشش محافظ و دیوار ساحلی در آن است که پوشش محافظ معمولا برای محافظت ساحل‌های با فرسایش کم به کار برده می‌شود. افزون بر این، یک پوشش محافظ اغلب به عنوان مکملی برای دیگر انواع روش‌های حفاظت ساحل همچون دیوارهای دریایی و بندهای ساحلی مورد استفاده قرار می‌گیرد. نمونه‌هایی از پوشش‌های محافظ در شکل (۳-۳) نشان داده شده است.




**الف- پوشش سنگی متشکل از دال‌های بتنی قفل و بستی**

**ب- پوشش سنگی توده سنگی**

**ج- پوشش محافظ توری سنگی در پنجه یک بند ساحلی**

**شکل ۳-۳- نمونه‌هایی از پوشش‌های محافظ**

1- Revetment

omoorepeyman.ir

### ۳-۲-۲-۲- شیوه به کارگیری

پوشش‌های محافظ می‌توانند به دو صورت نمایان یا مدفون باشند.

**- پوشش‌های محافظ نمایان**

پوشش‌های محافظ همواره به صورت یک سازه شیب‌دار ساخته می‌شوند و اغلب برای آن‌که تراوا[1] باشند توسط قطعات بتنی یا سنگی اجرا می‌گردند. این کار سبب بهبود ویژگی جذب انرژی موج سازه شده و از سوی دیگر بازتاب و بالاروی موج را کاهش می‌دهد. با این حال، پوشش‌های محافظ هم‌چنین ممکن است توسط انواع مختلف دال‌های بتنی ساخته شده باشند که برخی از آنها تراوا و به صورت قفل و بستی می‌باشند. از این راه کارکرد آنها از دیدگاه جذب انرژی موج و مقاومت سازه‌ای افزایش می‌یابد. نمونه‌ای از یک پوشش محافظ اجرا شده توسط قطعات بتنی در شکل (۳-۴) نشان داده شده است.

نوع دیگر پوشش‌های محافظ به صورت توری سنگی می‌باشند. با این حال، این نوع پوشش محافظ تنها در مکان‌هایی توصیه می‌شوند که از دید فعالیت امواج نسبتا محافظت شده باشند.

پوشش‌های محافظ هم‌چنین ممکن است از بسته‌های پیش‌ساخته ژئوتیوب یا ژئوتکستایلی تشکیل شده باشند که توسط ماسه پر شده‌اند. چنین سازه‌هایی باید در برابر تابش اشعه فرابنفش خورشید محافظت شوند تا دچار فرسودگی و پوسیدگی نشوند. پوشش‌های محافظ ساخته شده توسط ژئوتکستایل در برابر ضربات مکانیکی آسیب‌پذیر بوده و از دیدگاه زیبایی شناختی با طبیعت همخوانی ندارند.

**- پوشش‌های محافظ مدفون**

یک پوشش محافظ مدفون می‌تواند به عنوان یک راهکار حفاظتی متوسط به کار گرفته شود. این نوع پوشش محافظ معمولا ابتدا بر روی یک تپه ماسه‌ای ساحلی مقاوم شده اجرا می‌شود و سپس مدفون می‌گردد تا ساحل ظاهر مناسبی پیدا کند.

**شکل ۳-۴- نمونه‌ای از یک پوشش محافظ ساخته شده توسط قطعات بتنی (بندر شهید کلانتری، ایران)**

omoorepeyman.ir

1- Permeable

### ۳-۲-۲-۳- مشخصه‌های کارکردی

تمام انواع پوشش‌های محافظ با فرسایش نیمرخ ساحلی همراه می‌باشند زیرا در مکان‌هایی به کار می‌روند که در معرض فرسایش قرار دارند. در واقع پوشش‌های محافظ موقعیت خط ساحلی را ثابت نگه می‌دارند اما نمی‌توانند از فرسایش پیشرونده نیمرخ ساحلی پیشگیری کنند. با این حال، از آنجا که یک پوشش محافظ اغلب به صورت سازه‌ای تراوا و شیب‌دار ساخته می‌شود، به عکس دیوارهای دریایی سبب تسریع فرآیند فرسایش در جلوی سازه نمی‌شود. در مقابل پوشش‌های محافظ توده سنگی اغلب در پنجه دیوارهای دریایی به کار گرفته می‌شوند که نیمرخ ساحل روبرویی آنها دچار فرسایش زیادی شده است. این کار سبب حفاظت پنجه دیوار ساحلی و هم‌چنین کاهش بازتابش موج می‌شود.

یک پوشش محافظ، همانند یک دیوار ساحلی، سبب کاهش تغذیه رسوبات از محدوده حفاظت شده ساحل به رانه ساحلی می‌شود و بر بیلان رسوبی خطوط ساحلی پیرامونی اثر منفی می‌گذارد. به بیان دیگر، حضور پوشش محافظ می‌تواند با فرسایش خطوط ساحلی پیرامونی همراه باشد.

### ۳-۲-۲-۴- زمینه‌های کاربرد

پوشش محافظ سازه غیر فعالی می‌باشد که ساحل را در برابر فرسایش ناشی از اثر موج، برکشند طوفان و جریان‌ها محافظت می‌کند. تفاوت اصلی بین کارکرد یک دیوار ساحلی و یک پوشش محافظ در این است که یک دیوار ساحلی پسکرانه را در برابر فرسایش و سیلابی شدن محافظت می‌کند، در حالی که یک پوشش محافظ تنها در برابر فرسایش محافظت می‌کند. بنابراین یک پوشش محافظ نوعی سازه حفاظت ساحل غیر فعال است که در مکان‌های در معرض فرسایش به تنهایی به کار برده می‌شود و در مکان‌هایی که در معرض فرسایش و سیلابی شدن قرار دارند به صورت ترکیبی با دیوارهای دریایی یا بندهای ساحلی مورد استفاده قرار می‌گیرند. پوشش‌های محافظ تقریبا در همه نوع ساحل کاربرد دارند.

یک پوشش محافظ توده سنگی و سازه‌های مشابه دارای رویه تراوا و با شیب نسبتا تند می‌باشند؛ در این زمینه معمولا از شیب ۱ به ۲ استفاده می‌شود. این شیب نه برای مقاصد تفریحی مناسب است و نه برای مقاصد به آب‌اندازی از آبگیری قایق‌های کوچک ماهیگیری. به همین دلیل، این نوع سازه نباید در ساحل‌هایی به کار برده شود که دارای کاربری تفریحی یا ماهیگیری هستند. برای چنین مکان‌هایی باید تا حد امکان از دیگر روش‌های حفاظت ساحل استفاده شود ولی اگر قرار باشد از پوشش محافظ استفاده شود، توصیه می‌شود از شیب‌های ملایم‌تری استفاده شود.

## ۳-۲-۳- دیوارهای حایل[1]

### ۳-۲-۳-۱- تعریف

یک دیوار حایل سازه‌ای است که از لغزش زمین‌های ساحلی و ریزش آنها به درون دریا پیشگیری می‌کند. هدف دوم دیوار حایل، محافظت ساحل در برابر اثر مخرب موج می‌باشد. دیوارهای حایل معمولا کوچک‌تر از دیوارهای دریایی می‌باشند زیرا هدف اصلی

1- Bulkhead

omoorepeyman.ir

آنها نگه داشتن مصالح پشت دیواره در مناطقی با اثر موج محدود است و نه پیشگیری از فرسایش ساحلی. البته یک دیوار حایل باید برای مقاومت در برابر فرسایش ناشی از اقلیم امواج کوچک تا متوسط نیز طراحی شود.

دیوار حایل را در واقع نمی‌توان به عنوان یک سازه حفاظت ساحلی طبقه بندی نمود زیرا کارکرد اصلی آن نگه داشتن مصالح در طول محیط پیرامونی نواحی تغذیه شده و حوضچه بنادر است.

### ۳-۲-۳-۲- شیوه به کارگیری

دیوارهای حایل معمولا به شکل یک دیوار قائم از جنس بتن، سنگ، فولاد یا چوب ساخته می‌شوند. دیواره‌های بتنی، فولادی یا چوبی مورد نظر ممکن است شمع‌کوبی شده و حمایت شده باشند، حال آن‌که دیواره‌های بتنی و سنگی می‌توانند هم‌چنین به صورت وزنی ساخته شوند. هم‌چنین می‌توان از توری سنگ‌ها برای ساخت دیوار حایل استفاده نمود. نمونه‌ای از یک نوع دیوار حایل که توسط چوب ساخته شده در شکل (۳-۵) مشاهده می‌شود. همان‌گونه که دیده می‌شود برای افزایش پایداری ساحل پسکرانه از پوشش گیاهی استفاده شده است.

### ۳-۲-۳-۳- مشخصه‌های کارکردی

کارکرد یک دیوار حایل نگهداری یا پیشگیری از لغزش زمین‌های پسکرانه به درون دریا است. محل استفاده از دیوارهای حایل محیط‌های دریایی با اقلیم موج آرام می‌باشد.

**شکل ۳-۵- نمونه‌ای از یک نوع دیوار حایل ساخته شده توسط چوب (اسکاتلند)**

### ۳-۲-۳-۴- زمینه‌های کاربرد

دیوارهای حایل در محل جداشدگی خشکی و دریا در حوضچه بندرگاه‌های تفریحی و نیز در طول سواحل حفاظت شده در برابر امواج، دارای بهترین کارآیی می‌باشند. آنها هم‌چنین در طول سواحل طبیعی و نواحی تغذیه شده‌ای به کار برده می‌شوند که جداشدگی محدوده خشکی و دریا باید به طور دقیق مشخص شده باشد.

omoorepeyman.ir

## ۳-۲-۴- موج‌شکن‌ها[1]

### ۳-۲-۴-۱- موج‌شکن‌های جدا از ساحل

موج‌شکن‌های جدا از ساحل،[2] سازه‌هایی هستند که به موازات ساحل و درون یا بیرون ناحیه شکست امواج ساخته می‌شوند. جنس این سازه‌ها عمدتا به صورت توده سنگی می‌باشد. دو هدف اصلی از احداث موج‌شکن‌های جدا از ساحل، حفاظت اسکله‌های پهلوگیری کشتی در برابر تاثیر امواج و حفاظت سواحل می‌باشد. در شکل‌های (۳-۶) و (۳-۷) نمونه‌هایی از این سازه که به منظور حفاظت و تغذیه ساحل به کار رفته‌اند نمایش داده شده است.

برای آشنایی با ملاحظات طراحی موج‌شکن‌های جدا از ساحل می‌توان به بخش ۳-۳-۴-۱- موج‌شکن‌های جدا از ساحل مراجعه نمود.

**شکل ۳-۶- نمونه‌ای از به کارگیری موج‌شکن‌های جدا از ساحل**

**شکل ۳-۷- نمونه‌ای از به کارگیری موج‌شکن‌های جدا از ساحل**

1- Breakwater
2- Detached Breakwater

omoorepeyman.ir

### ۳-۲-۴-۲- موج‌شکن‌های مستغرق یا تاج کوتاه[1]

موج‌شکن‌های مستغرق سازه‌هایی عمدتا توده‌سنگی هستند که به صورت جدا از ساحل اجرا گردیده و تراز تاج آنها پایین‌تر از تراز سطح آب قرار دارد. هدف اصلی از اجرای این سازه ساحلی، کاهش نیروی هیدرولیکی امواج است به گونه‌ای که تعادل دینامیکی خط ساحلی حفظ گردد. برای دستیابی به این هدف، به بخشی از امواج اجازه گذر از روی سازه موج‌شکن داده می‌شود. از موج‌شکن‌های مستغرق به عنوان مانعی برای عبور رسوبات در جهت عمود بر ساحل نیز استفاده می‌شود. نمونه‌ای از به کارگیری موج‌شکن‌های مستغرق در شکل (۳-۸) نشان داده شده است.

شیوه کارکرد موج‌شکن‌های مستغرق یا تاج کوتاه بدین صورت است که این سازه‌ها باعث شکست امواج می‌گردند به گونه‌ای که موج گذرا از آنها دارای ارتفاع کم‌تری خواهد بود. البته مقدار کاهش ارتفاع موج ناشی از برخورد با موج‌شکن‌های مستغرق کم‌تر از موج‌شکن‌های نمایان می‌باشد. هم‌چنین ظرفیت انتقال رسوب در پشت این نوع موج‌شکن کاهش یافته و در این زمینه کارکردی مشابه موج‌شکن‌های نمایان با طول کوتاه‌تر دارند.

لازم به ذکر است که امواج با ارتفاع کوتاه از روی این نوع موج‌شکن‌ها می‌گذرند ولی امواج بلندتر در برخورد با این سازه‌ها دچار شکست شده و انرژی آنها مستهلک می‌گردد.

**شکل ۳-۸- نمونه‌ای از به کارگیری موج‌شکن‌های مستغرق در یک ناحیه ساحلی**

مزیت‌های استفاده از موج شکن های مستغرق یا تاج کوتاه عبارتند از:

- آثار منفی ساخت این نوع موج‌شکن از دیدگاه زیبایی‌شناختی بسیار کم‌تر از موج‌شکن‌های نمایان می‌باشد.
- هزینه ساخت موج‌شکن مستغرق کم‌تر از موج‌شکن‌های نمایان است.

1- Submerged or Low-Crested Breakwaters

omoorepeyman.ir

- اثر این سازه بر الگوی انتقال و انباشت رسوبات ملایم‌تر است.
- روگذری امواج باعث ایجاد چرخه مناسب آب در پشت موج‌شکن می‌گردد.
- موج‌شکن‌های مستغرق بسیار مشابه آبسنگ‌ها[1] بوده و سبب جذب ماهی‌ها به طرف خود می‌شوند که از این دید مورد پذیرش ماهیگیران هستند.

البته این نوع موج‌شکن‌ها دارای معایبی نیز هستند که عبارتند از:

- سازه‌های مستغرق از دیدگاه ناوبری برای قایق‌های کوچک خطرناک هستند.
- روگذری امواج باعث ایجاد جریان‌های موضعی خطرناک (برای شناگران) در پشت موج‌شکن‌ها می‌شود.
- موج‌شکن مستغرق یا تاج کوتاه تنها می‌تواند تا حدی امواج را مستهلک کند و در نتیجه حفاظت کامل و جامعی برای ساحل به‌وجود نمی‌آورد.
- کارآیی یک سازه مستغرق از دید استهلاک امواج و انتقال رسوب و در نتیجه حفاظت ساحل بسیار وابسته به فاصله آزاد بالای آن تا تراز سطح آب دارد. در صورتی که دامنه کشندی یا برکشند ناشی از طوفان زیاد باشد، ممکن است ارتفاع این نوع موج‌شکن از تراز سطح آب بالاتر در نظر گرفته شود. البته بدین‌ترتیب یکی از مشخصه‌های مطلوب موج‌شکن تاج کوتاه که عدم داشتن دید از ساحل است، برآورده نمی‌شود.
- از آنجایی که کارکرد مناسب سازه مستغرق یا تاج کوتاه به تراز سطح آب، شرایط امواج و هم‌چنین نوع سازه مورد استفاده برای آن بستگی دارد، طراحی این نوع موج‌شکن بسیار دشوار است.

### ۳-۲-۴-۳- موج‌شکن‌های شناور

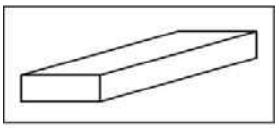
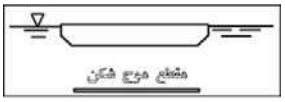
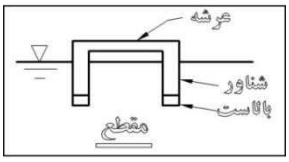
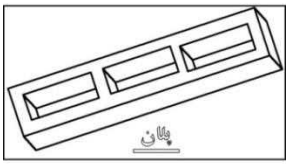
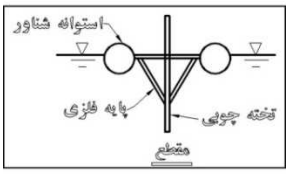
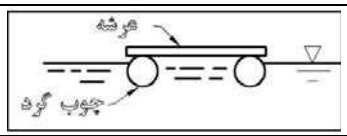
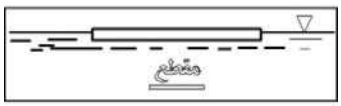
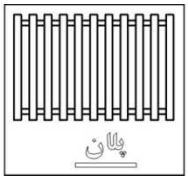
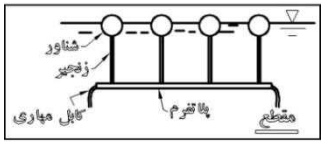
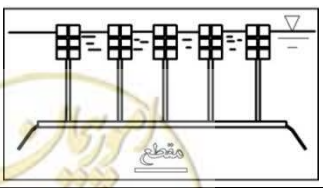
**- تعریف و شیوه به کارگیری**

موج‌شکن‌های شناور به عنوان جایگزینی برای موج‌شکن‌های مرسوم ثابت محسوب می‌شوند که یکی از نقش‌های آنها حفاظت ساحل در برابر امواج می‌باشد. این سازه‌ها در مناطق ساحلی که شرایط دریا نسبتا آرام است، کاربرد بیش‌تری دارند. از این رو اغلب برای حفاظت بنادر تفریحی و قایق‌های کوچک کاربرد دارند. نمونه‌ای از به کارگیری موج‌شکن‌های شناور در شکل (۳-۹) نشان داده شده است. انواع موج‌شکن‌های شناور را می‌توان به چهار دسته کلی تقسیم‌بندی کرد: جعبه‌ای[2]، پانتونی[3]، صفحه‌ای[4] و زنجیری[5]. طرح شماتیک برخی از انواع این موج‌شکن‌ها در جدول (۳-۱) نمایش داده شده‌اند.

1- Reefs
2- Box
3- Pontoon
4- Mat
5- Tethered

omoorepeyman.ir

**جدول ۳-۱- طرح شماتیک انواع موج‌شکن‌های شناور**

| نوع | | نما | توضیحات |
|---|---|---|---|
| نوع جعبه‌ای | مستطیل شکل |  | موج‌شکن عمدتا به صورت بتن مسلح است. |
| | بارج |  | ابعاد استاندارد بارج معمولا ۳/۶ × ۱۰ × ۶۰ یا ۳/۳ × ۸ × ۵۳ متر است. |
| نوع پانتونی | پانتون دوتایی |  | کاتاماران |
| | محفظه‌های باز |  | مدل آلاسکا نیز نامیده می‌شود. |
| | قاب A شکل |  | |
| | شناور چوبی دوتایی |  | عرشه معمولا از جنس چوب است. |
| نوع صفحه‌ای | صفحه لاستیکی |  | لاستیک‌ها به کمک قلاب یا زنجیر به یکدیگر متصل می‌شوند. |
| | صفحه متشکل از الوارها |  | الوارها به‌وسیله زنجیر یا کابل به یکدیگر متصل شده‌اند. |
| نوع زنجیری | کره‌ای شکل |  | شناورها در یک ردیف قرار گرفته‌اند. |
| | لاستیکی |  | چیدمان این نوع موج‌شکن همانند مدل بالا می‌باشد. |

omoorepeyman.ir

**شکل ۳-۹- نمونه‌ای از به کارگیری موج‌شکن شناور**

**- مشخصه‌های کارکردی و زمینه‌های کاربرد**

شیوه کارکرد موج‌شکن‌های شناور از راه تفرق و بازتاب قسمتی از انرژی موج می‌باشد. به کمک این سازه‌ها، آب مازاد به درون ناحیه حفاظت شده وارد نمی‌شود. همان‌گونه که پیش‌تر گفته شد، معمولا موج‌شکن‌های شناور به عنوان اسکله در بنادر تفریحی استفاده می‌شوند اما به عنوان سازه‌های حفاظتی برای بنادر تفریحی واقع در دریای نیمه باز نیز کاربرد دارند.

این سازه‌ها برای مناطقی با دامنه کشندی زیاد مناسب هستند زیرا به همراه تغییرات تراز آب، امکان بالا و پایین رفتن آنها وجود دارد. البته از موج‌شکن‌های شناور کم‌تر به عنوان سازه‌های مدیریت خط ساحلی استفاده شده است، زیرا برای نصب در دریای باز چندان مناسب نیستند. در حالت کلی، موج‌شکن‌های شناور بیش‌تر در آب‌های با طول موجگاه محدود و شرایط موج کوچک قابل استفاده‌اند.

**- مزایای استفاده از موج‌شکن‌های شناور**

- **بسترهای ضعیف:** در مکان‌هایی که بستر دریا توانایی تحمل بار ناشی از موج‌شکن‌های ثابت توده سنگی را ندارند، این سازه‌ها جایگزین مناسبی برای آنها می‌باشند. مهارهای موج‌شکن شناور نیز به راحتی به بسترهای ضعیف متصل می‌شوند.
- **هزینه ساخت پایین در عمق‌های زیاد:** در مواردی که عمق آب از ۶ متر بیش‌تر می‌شود، موج‌شکن‌های متصل به بستر دریا، هزینه اجرایی بسیار بالایی خواهند داشت. از آنجایی که بیش‌ترین مقدار انرژی موج از راه سطح آب منتقل می‌گردد، بهتر است که این انرژی در همان‌جا مستهلک شود.
- **کیفیت آب:** این موج‌شکن‌ها کم‌ترین تاثیر را بر روی چرخه حرکت آب و ماهی‌ها و رسوبات دارند. هم‌چنین از ریختن صدها تن سنگ و خاک و آلودگی در محیط دریا پیشگیری می‌گردد.
- **جنبه‌های زیباشناختی:** داشتن ارتفاع کوتاه و کم‌ترین دخالت در افق دید، به ویژه در مناطق با دامنه کشندی بالا از مزایای این سازه است و بدین ترتیب زیبایی طبیعی ساحل را حفظ می‌کنند.

omoorepeyman.ir

- **جانمایی موج‌شکن:** جانمایی و شیوه چیدمان این سازه با صرف هزینه و زمان اندک قابل تغییر می‌باشد. این تغییر ممکن است به خاطر توسعه بندر یا برداشتن دائمی موج‌شکن شناور صورت گیرد.

**- معایب استفاده از موج‌شکن‌های شناور**

- **محدودیت کاربرد:** این موج‌شکن‌ها برای دریاهای باز که در معرض امواج بزرگ قرار دارند، مناسب نیستند.
- **نگهداری:** معمولا موج‌شکن‌های شناور عمر مفید کوتاه‌تر و هزینه نگهداری بالاتری نسبت به موج‌شکن‌های ثابت دارند. در زمینه موارد نیاز به نگهداری، برای نمونه می‌توان به مشکل زنگ‌زدگی اتصالات و کابل‌های مهاری اشاره نمود.
- **اتصالات:** این اجزا به عنوان یک نقطه ضعف برای کل سامانه‌ی موج‌شکن شناور محسوب می‌شوند.
- **خستگی:** به علت حرکت این سازه به همراه امواج، احتمال رخداد پدیده خستگی در آن زیاد است.
- **استهلاک امواج:** این سازه به همراه امواج، در جهت‌های بالا و پایین و جلو و عقب حرکت می‌کند و همین مساله باعث کاهش توانایی آن در استهلاک امواج می‌شود.

## ۳-۲-۵- آبشکن‌ها[1]

### ۳-۲-۵-۱- تعریف

آبشکن‌ها سازه‌هایی مستقیم می‌باشند که معمولا به طور قائم (و گاهی نیز اریب) بر خط ساحل اجرا می‌شوند. هدف این سازه‌ها مسدود ساختن بخشی از انتقال رانه ساحلی است به گونه‌ای که رسوبات در بالادست آنها به تله می‌افتند. آبشکن‌ها دارای شکل‌های ویژه‌ای همچون نمایان[2] (غیر غوطه‌ور)، شیب‌دار و غوطه‌ور می‌باشند. هم‌چنین آبشکن‌ها می‌توانند به صورت منفرد یا گروهی اجرا شوند. آبشکن‌ها معمولا توسط سازه‌های توده سنگی ساخته می‌شوند. اما می‌توان از مصالح دیگری همچون قطعات بتنی، الوار و مصالح دیگر نیز استفاده نمود. تصویر شماتیک آبشکن‌های گروهی و منفرد در شکل (۳-۱۰) نشان داده شده است.

### ۳-۲-۵-۲- شیوه به کارگیری

کارآیی آبشکن‌ها در تله اندازی رسوبات کرانه‌ای به میزان پیشروی آنها در دریا بستگی دارد. میزان رسوب‌گذاری در بالادست سازه و فرسایش در پایین‌دست آن به نوع ساحل بستگی دارد و ماهیت آن شبیه فرآیند رسوب‌گذاری و فرسایش پیرامون یک بندرمی‌باشد که در بخش ۱-۴-۲-۱- تداخل انتقال رانه ساحلی با سازه‌های پیشروی کرده به درون دریا، توضیح داده شد. با این حال، این مقایسه تنها برای آبشکن‌های بسیار طویل معتبر است. آبشکن‌ها معمولا به گونه‌ای طراحی می‌شوند که تا بخشی از ناحیه شکست موج پیشروی کنند. علت این امر آن است که بخش چشمگیری از انتقال رسوبات ساحلی در ناحیه شکست موج رخ می‌دهد. نمونه‌ای از یک نیمرخ ساحلی و توزیع انتقال رسوبات کرانه‌ای متناظر با آن در شکل (۳-۱۱) نشان داده شده است.

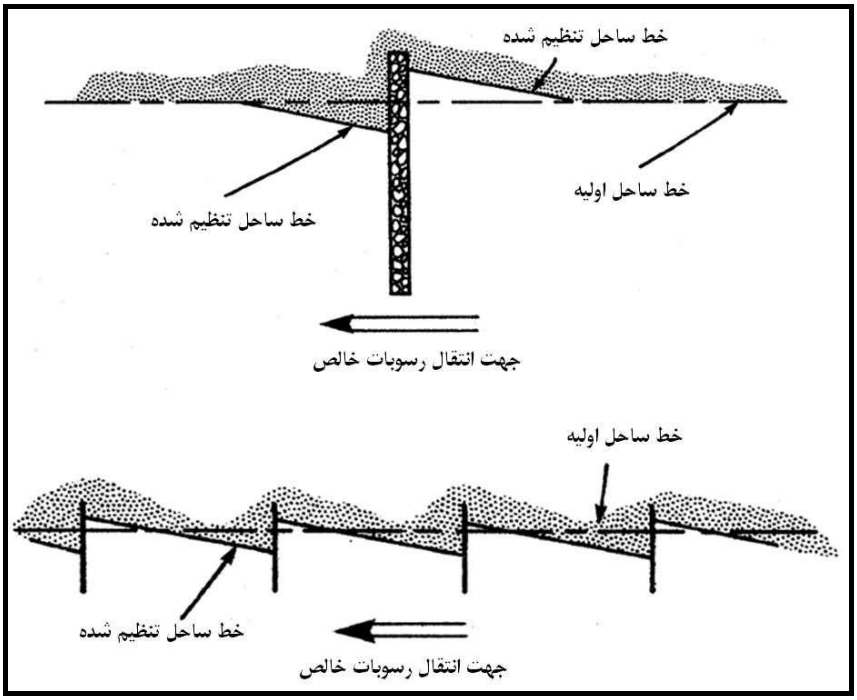
1- Groin
2- Emerged

omoorepeyman.ir

بنابراین برای آن‌که بتوان طول مناسبی برای آبشکن انتخاب شود، ضرورت دارد اطلاعات دقیقی در زمینه چگونگی و توزیع انتقال رسوبات کرانه‌ای ساحل مورد نظر به دست آید. همان‌گونه که پیش‌تر اشاره شد کارکرد آبشکن از راه تله‌اندازی رسوبات در سمت بالادست می‌باشد و در نتیجه ساحل پسکرانه‌ای ناحیه بالادست آبشکن در برابر فرسایش محافظت خواهد شد. میزان حفاظت این ناحیه به پایداری رسوبات تجمع یافته تحت شرایط امواج و برکشند طوفان شدید بستگی دارد. بنابراین آبشکن باید تا حدی در ساحل پسکرانه امتداد یافته باشد که هنگام بروز امواج و برکشند طوفان‌های شدید، رسوبات تجمع یافته از روی آبشکن نگذرند. برای این کار باید انتهای آبشکن در سمت پسکرانه تا پنجه تپه یا صخره ساحلی امتداد یابد و ارتفاع آن نیز از ساحل پسکرانه کم‌تر نباشد. با پیشروی به سمت دریا می‌توان ارتفاع کم‌تری را برای آبشکن در نظر گرفت. این موضوع به ملزومات طرح همچون میزان گذر و کارآیی مورد نیاز آبشکن بستگی دارد.

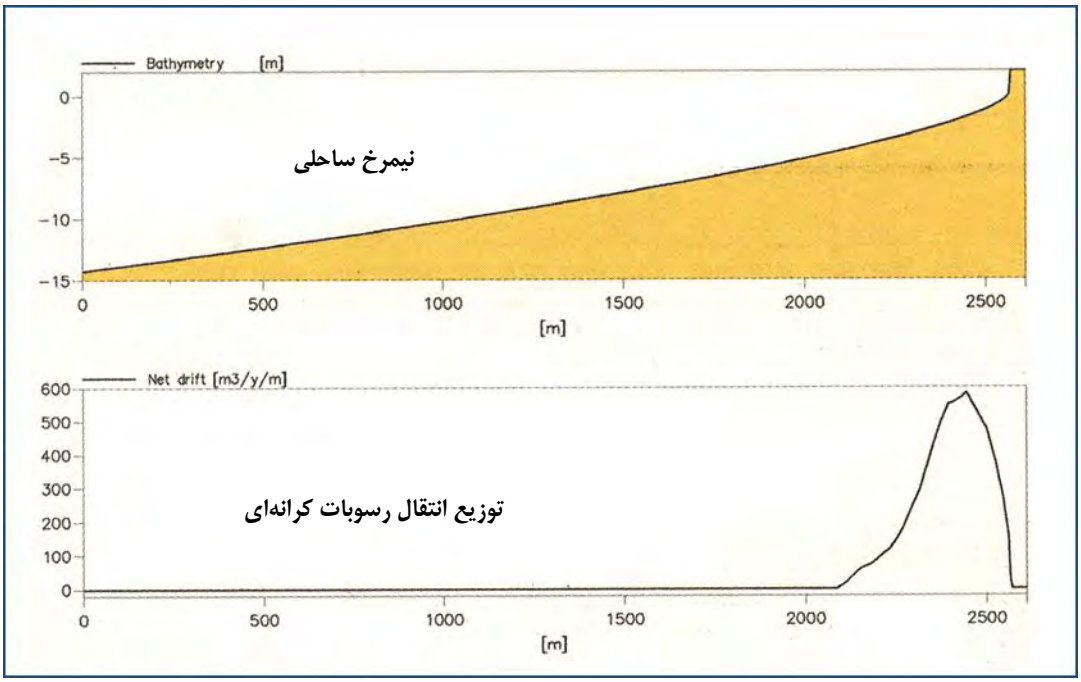
### ۳-۲-۵-۳- مشخصه‌های کارکردی

در ادامه کارکرد آبشکن‌های منفرد و گروهی در یک ساحل در حال فرسایش با ارائه مثال‌هایی توضیح داده می‌شود. در این مثال‌ها فرض بر آن بوده است که امواج غالب از راستای شمال غربی (NW) پیشروی می‌کنند و به همین دلیل جهت غالب انتقال رسوبات کرانه‌ای به سمت شرق است. در این زمینه تاثیر طول و فاصله بین آبشکن‌ها بر فرآیندهای رسوب‌گذاری و فرسایش پیرامون آبشکن‌ها بررسی شده است.




**شکل ۳-۱۰- تصویر شماتیک خط ساحلی تنظیم شده توسط آبشکن‌های گروهی و منفرد**

omoorepeyman.ir




**شکل ۳-۱۱- نمونه‌ای از یک نیمرخ ساحلی و توزیع انتقال رسوبات کرانه‌ای متناظر با آن**

**- تاثیر طول آبشکن منفرد**

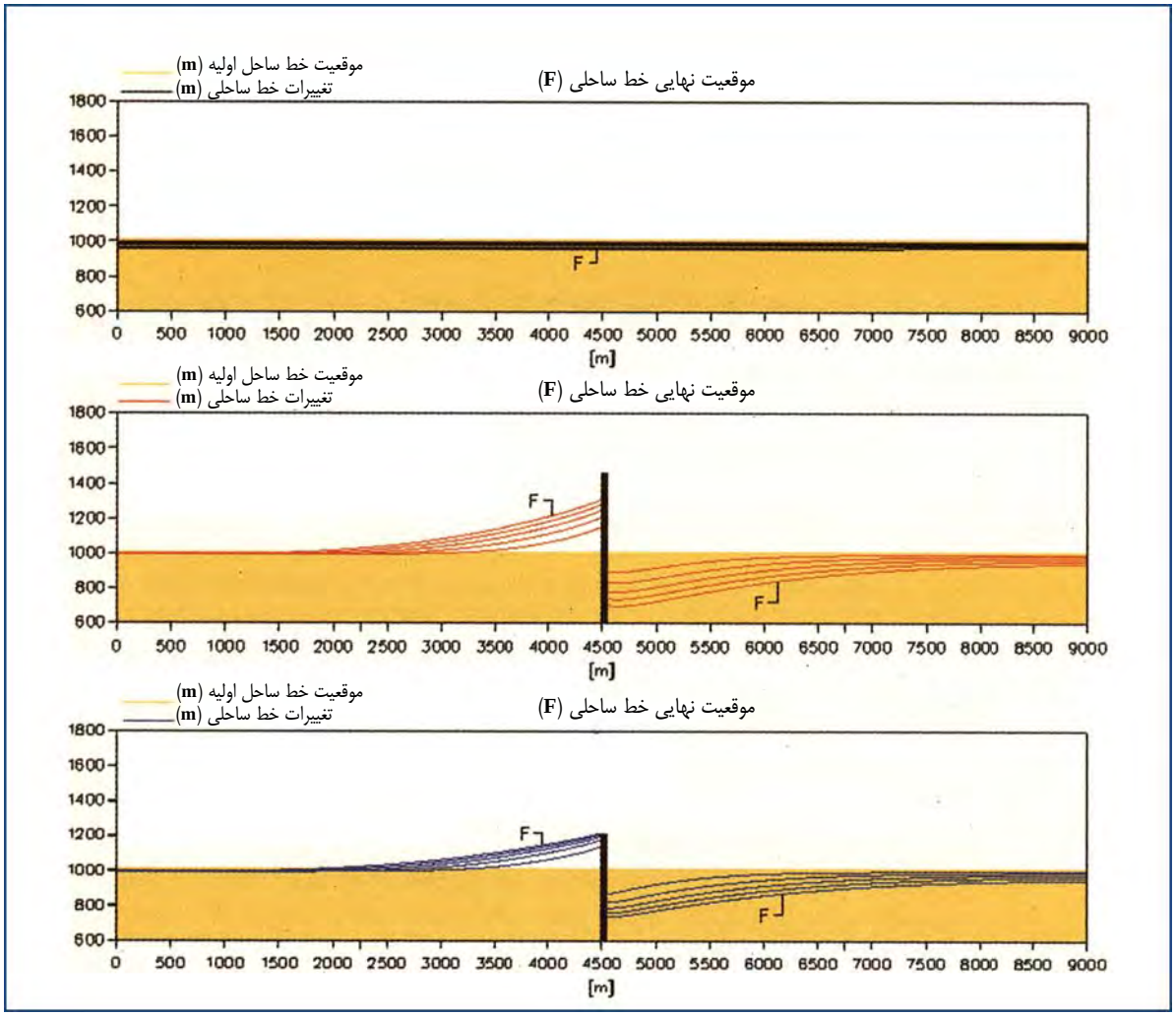
شیوه جابجایی خط ساحلی به واسطه قرارگیری یک آبشکن منفرد با دو طول مختلف در شکل (۳-۱۲) نشان داده شده است. در این شکل بالاترین تصویر مربوط به حالتی است که هیچ آبشکنی وجود نداشته باشد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود در این وضعیت سرتاسر ساحل به طور یکنواخت دچار فرسایش شده است.

تصویر دوم مربوط به حالتی است که آبشکن دارای طولی به اندازه عرض ناحیه شکست موج می‌باشد. همان‌گونه که در این شکل مشاهده می‌شود در این حالت پاسخ خط ساحلی مشابه حالتی است که یک بندر ساخته شده باشد (شکل ۱-۲۷) و در بالادست رسوب‌گذاری رخ می‌دهد. با گذشت زمان به تدریج تجمع رسوبات در بالادست آبشکن بیش‌تر می‌شود. ولی از آنجا که در این حالت امکان گذر رسوبات فراهم نیست در پایین دست آبشکن به تدریج فرسایش شدیدتر می‌شود و ساحل عقب‌نشینی می‌کند.

تصویر سوم مربوط به حالتی است که آبشکن دارای طول کم‌تری نسبت حالت پیشین می‌باشد و تا بخشی از ناحیه شکست موج پیشروی کرده است. در این حالت رسوب‌گذاری تا پوزه آبشکن پیشروی کرده و سپس متوقف می‌شود. با این حال، رسوب‌گذاری در بالادست آبشکن همچنان ادامه یافته و سبب می‌شود خط ساحل به تدریج به موازات ساحل اولیه درآید. در این حالت، آبشکن کوتاه‌تر در مقایسه با آبشکن طولانی‌تر، در عمل محدوده طولانی‌تری از ساحل را مورد حفاظت قرار می‌دهد. این بدان علت است که آبشکن طولانی‌تر، بیش‌تر ماسه‌ها را در نزدیک سازه به تله می‌اندازد. در مورد آبشکن کوتاه‌تر نیز فرسایش پایین دست شدید می‌باشد ولی نرخ فرسایش به دلیل امکان گذر رسوبات از جلوی سازه به تدریج کاهش می‌یابد.

همان‌گونه که مشاهده می‌شود، در هر دو حالت مشکل فرسایش فقط در ناحیه بالادست آبشکن برطرف می‌شود اما فرسایش پایین دست اجتناب‌ناپذیر است.

omoorepeyman.ir




**شکل ۳-۱۲- جابجایی خط ساحلی به ازای طول‌های مختلف آبشکن. بالا: خط ساحلی بدون سازه آبشکن، وسط: خط ساحلی دارای یک آبشکن طولانی، پایین: خط ساحلی دارای یک آبشکن کوتاه**

### - تاثیر طول و فاصله بین آبشکن‌های گروهی

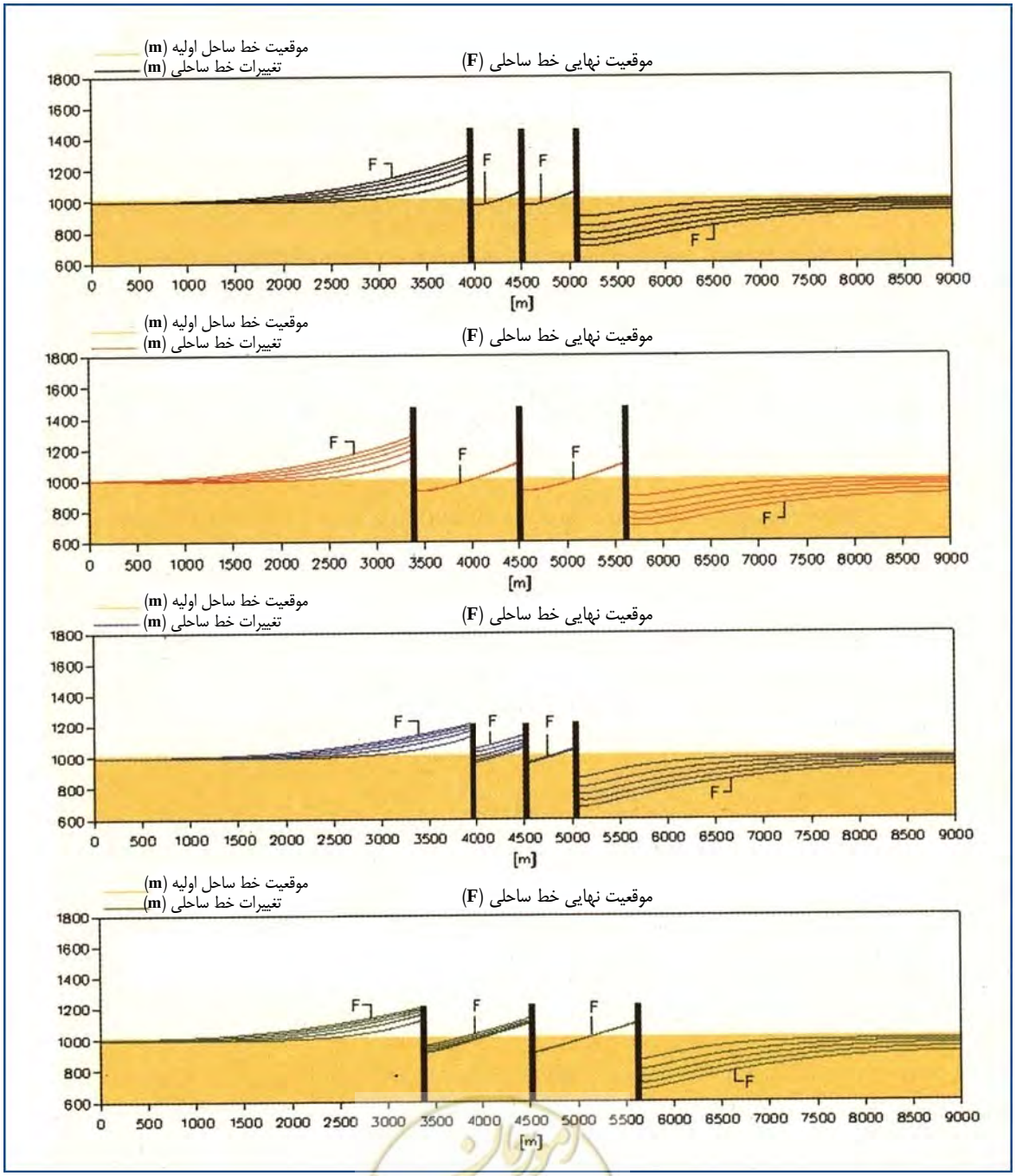
یک آبشکن منفرد، چه کوتاه باشد یا بلند، سبب فرسایش ساحل پایین دست می‌شود. یک راهکار عملی برای افزایش دادن طول محدوده مورد حفاظت و نیز کاهش فرسایش ساحل پایین دست، به‌کارگیری آبشکن‌های گروهی است. در ادامه شیوه کارکرد آبشکن‌های گروهی با ارائه یک مثال توضیح داده می‌شود.

در شکل (۳-۱۳) جابجایی خط ساحلی برای چهار حالت از چیدمان آبشکن‌های گروهی نشان داده شده است. این چهار حالت به ترتیب از بالا به پایین عبارتند از:

- سه آبشکن بلند به طول ۴۰۰ متر با فاصله‌های ۶۰۰ متری از یکدیگر
- سه آبشکن بلند به طول ۴۰۰ متر با فاصله‌های ۱۲۰۰ متری از یکدیگر
- سه آبشکن کوتاه به طول ۲۰۰ متر با فاصله‌های ۶۰۰ متری از یکدیگر
- سه آبشکن کوتاه به طول ۲۰۰ متر با فاصله‌های ۱۲۰۰ متری از یکدیگر

omoorepeyman.ir

قابلیت آبشکن‌های گروهی در زمینه محافظت محدوده ویژه‌ای از خط ساحلی به پارامترهای مختلفی بستگی دارد که در ادامه توضیح داده شده‌اند. در مورد آبشکن منفرد، طول محدوده مورد حفاظت به اقلیم موج (زاویه پیشروی امواج غالب) و طول سازه بستگی دارد. با این حال، در مورد آبشکن‌های گروهی دو پارامتر فاصله بین آبشکن‌ها و زمان نقش اساسی را دارند. به این دلیل که پر شدن آبشکن‌های گروهی نسبتا زمان‌بر است، تا پیش از پر شدن آنها، بین این سازه‌ها فرسایش موقتی رخ خواهد داد. فواصل بیش‌تر سبب افزایش این فرسایش موقتی خواهد شد.




**شکل ۳-۱۳- جابجایی خط ساحلی برای آبشکن‌های گروهی بلند و کوتاه با فواصل مختلف**

omoorepeyman.ir

در دو حالتی که طول آبشکن‌ها بلند است (دو تصویر بالایی در شکل ۳-۱۳)، گذر ماسه از جلوی آبشکن اول هنوز شروع نشده است. این بدین معناست که در این وضعیت موقتی هیچ‌گونه انتقال رسوبی بین آبشکن‌ها وجود نخواهد داشت. هم‌چنین در این وضعیت فرسایش ساحل پایین دست آبشکن‌های گروهی همانند آبشکن منفرد است. با این حال، تفاوت آبشکن منفرد و گروهی در آن است که پس از آغاز گذر ماسه از جلوی آبشکن نرخ فرسایش ساحل پایین دست در مورد آبشکن منفرد به تدریج کاهش خواهد یافت. ولی در مورد آبشکن‌های گروهی تا زمانی که فاصله بین آبشکن‌ها پر شود، ساحل پایین دست دچار فرسایش شدیدی خواهد شد. بنابراین، آبشکن‌های گروهی در مقایسه با یک آبشکن منفرد، در طولانی مدت فرسایش بیش‌تری در ساحل پایین دست ایجاد می‌کنند.

در دو حالتی که طول آبشکن‌ها کوتاه است (دو تصویر پایینی در شکل ۳-۱۳)، موقعیت اولیه خط ساحلی در فاصله بین آبشکن‌ها بسیار شبیه حالت آبشکن‌های بلند است. اما تاثیر گذر ماسه را می‌توان بین آبشکن اول و دوم مشاهده کرد که به تدریج توسط ماسه پر می‌شود. در این حالت نیز بدین علت که هنوز گذر ماسه از آبشکن‌ها صورت نگرفته، در ساحل پایین دست فرسایش بیش‌تری نسبت به حالت آبشکن منفرد رخ داده است.

هنگام طراحی آبشکن‌های گروهی باید به گونه‌ای عمل شود که از فرسایش موقتی درون محدوده آبشکن‌ها پیشگیری شود. یک راهکار معمول برای پیشگیری از فرسایش موقتی بین آبشکن‌های گروهی افزودن مصنوعی ماسه به آنها می‌باشد. هم‌چنین باید این موضوع در نظر گرفته شود که حفاظت ایجاد شده توسط آبشکن‌ها به قیمت فرسایش ساحل پایین دست آنها می‌انجامد. این معایب آبشکن‌ها سبب شده است که آنها امروزه کاربرد کم‌تری در حفاظت ساحل داشته باشند.

### ۳-۲-۵-۴- زمینه‌های کاربرد

آبشکن‌ها می‌توانند برای حفاظت بخش‌هایی از یک ساحل در حال فرسایش به کار برده شوند ولی این کار به قیمت فرسایش ساحل پایین‌دست تمام خواهد شد. هم‌چنین آبشکن‌ها از نظر زیبایی‌شناختی با منظره طبیعی ساحل همخوانی ندارند. در صورتی که از آبشکن‌های گروهی استفاده می‌شود، گاهی ضرورت دارد برای پیشگیری از فرسایش موقتی بین آبشکن‌ها ماسه افزوده شود. گرچه جریان‌های چرخشی ایجاد شده در پایین دست آبشکن‌ها و نیز جریان‌های بازگشتی تولید شده در بالادست آنها می‌توانند برای شناگران ساحلی خطرناک باشد، در صورتی که روی سازه آبشکن امکان رفت و آمد کاربران ساحلی فراهم باشد می‌توان از آنها برای امور ماهیگیری و فعالیت‌های تفریحی استفاده نمود.

مطابق راهنمای مهندسی ساحل آمریکا در موارد زیر می‌توان راهکار آبشکن‌های گروهی را برای حفاظت ساحل مدنظر قرار داد:

- در ناحیه سایه[1] سازه‌های پیشروی کرده به درون دریا همچون موج‌شکن بنادر یا دستک‌های طولانی که در آن پراش (تفرق) موج رخ می‌دهد.
- پایین دست یک موج‌شکن یا دستک طولانی (نسبت به جهت امواج غالب)
- در بالادست ورودی یک شاخاب که احتمال ورود ماسه به ورودی و در نتیجه کاهش آبخور درون شاخاب وجود داشته باشد.
- برای کاهش دادن فرسایش در یک ساحل ولی در عین حال فراهم نمودن ماسه برای سواحل پایین‌دست

1- Shadow Zone

omoorepeyman.ir

- در طول کرانه‌های شاخاب‌های کشندی[1] که دارای جریان‌های کرانه‌ای شدید هستند.
- در طول سواحلی که ماسه فرسایش یافته است و در مدت زمان معقول و مهندسی جبران نمی‌شود.[2]

هم‌چنین این مراجع پیشنهاد می‌کنند در شرایط زیر از آبشکن‌ها استفاده نشود:

- در مواردی که محدوده تغییرات ترازهای کشندی زیاد باشد به گونه‌ای که در کشند پایین با گذر ماسه از جلوی آبشکن‌ها و در کشند بالا با روگذری ماسه مواجه باشیم.
- در مواردی که انتقال رسوبات عمود بر ساحل غالب باشد.
- در مواردی که قرار باشد آبشکن بسیار بلند یا ناتراوا شود زیرا سبب رانده شدن ماسه‌ها به طرف دریا خواهد شد.
- هر گاه جریان‌های بازگشتی بسیار شدید شوند و شرایط ناامنی برای شناگران و کاربران ساحلی ایجاد کنند.

نمونه‌ای از اجرای آبشکن‌های گروهی توده‌سنگی بزرگ برای حفاظت یک ساحل در شکل (۳-۱۴) نشان داده شده است. هم‌چنین نمونه‌ای از آبشکن‌های گروهی چوبی کوچک که برای حفاظت یک ساحل ماسه‌ای به کار رفته‌اند در شکل (۳-۱۵) نشان داده شده است.

**شکل ۳-۱۴- نمونه‌ای از آبشکن‌های گروهی توده سنگی که برای حفاظت یک ساحل به کار گرفته شده‌اند (نیویورک، آمریکا)**

امور پیمان
omoorepeyman.ir

1- Tidal Inlet

۲- فرآیند فرسایش در برخی سواحل دوره‌ای می‌باشد یعنی برای نمونه ممکن است در یک فصل فرسایش و در فصل دیگر رسوب‌گذاری رخ دهد. در صورتی که مدت زمان این دوره از یک حد مهندسی، که به شرایط و نوع کاربری ساحل بستگی دارد، بیش‌تر شود آنگاه حفاظت ساحل توجیه خواهد داشت.

**شکل ۳-۱۵- نمونه‌ای از آبشکن‌های گروهی چوبی کوچک که در یک ساحل ماسه‌ای اجرا شده‌اند (اسکاتلند)**

### ۳-۲-۶- دستک‌ها[1]

#### ۳-۲-۶-۱- تعریف

دستک‌ها سازه‌های متصل به ساحلی هستند که اغلب عمود بر خط ساحلی اجرا شده و از کم عمق شدن کانال توسط انباشت رسوبات کرانه‌ای جلوگیری می‌کنند و افزون بر این کار هدایت جریان‌های رودخانه‌ای و کشندی را نیز انجام می‌دهند. دستک‌هایی که در دهانه رودخانه یا خور اجرا می‌شوند، به عمیق ماندن و پایداری کانال نیز کمک می‌کنند. مصالح به کار رفته در ساخت دستک می‌تواند چوب، فولاد، بتن و یا سنگ باشد.

#### ۳-۲-۶-۲- شیوه به کارگیری

دستک‌ها معمولا به صورت دوتایی اجرا می‌شوند و در دو طرف دهانه رودخانه یا شاخاب کشندی[2] مورد نظر قرار می‌گیرند. نمونه‌هایی از به کارگیری دستک‌های دوتایی در دهانه شاخاب‌های کشندی در شکل‌های (۳-۱۶) و (۳-۱۷) نشان داده شده‌اند. گاهی نیز دستک‌ها به صورت ترکیبی با یک موج‌شکن جدا از ساحل به کار می‌روند که نمونه‌ای از آن در شکل (۳-۱۸) نشان داده شده است.

دستک‌ها به صورت منفرد هم به کار گرفته می‌شوند. در این حالت دستک در بالادست دهانه قرار داده می‌شود. البته ایراد دستک منفرد این است که کانال ناوبری به صورت کامل حفاظت نخواهد شد و در بلند مدت جابجا خواهد گشت.

omoorepeyman.ir

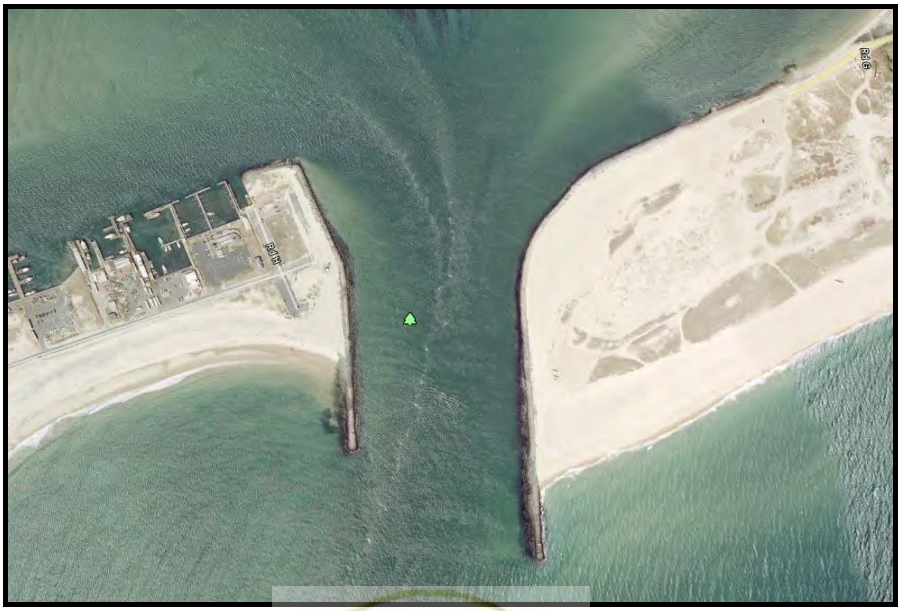
1- Jetty
2- Tidal Inlet

مقطع برخی از دستک‌ها در نزدیکی خط ساحلی به صورت یک سرریز[1] اجرا می‌گردند تا به رسوبات اجازه گذر از روی دستک و انباشته شدن در یک حوضچه رسوب‌گیر[2] دهند (شکل ۳-۱۹). این حوضچه به صورت دوره‌ای لایروبی گردیده و رسوبات آن به ساحل پایین‌دست دستک انتقال داده می‌شوند و بدین ترتیب جریان‌های دارای رسوب مانعی برای کانال محسوب نمی‌شوند. هم‌چنین در صورت وجود جریان‌های کشندی، جریان‌های ناشی از کشند پایین (جزر) سبب هدایت و انتقال رسوبات احتمالی انباشته شده در کانال به سمت دریا خواهند شد (شکل ۳-۲۰).

هنگام انتخاب طول سرریز این نوع دستک، باید به اقلیم امواج موجود در منطقه دقت داشت. در صورتی که امواج دارای اقلیم ملایمی‌باشند، طول سرریز باید آنقدر بلند باشد که هیچگاه سرریز دچار انسداد ناشی از انباشت رسوبات نشود. این طول بر اساس شرایط امواج، شیب بستر دریا و راستای اجرای دستک تعیین می‌گردد. در صورتی که امواج دارای طبیعت متغیری باشند، سرریز باید آنقدر به سمت دریا امتداد یابد که قسمتی از آن در منطقه شکست موج قرار گیرد تا بدین ترتیب رسوبات ناشی از شکست محدوده‌ی بزرگ‌تری از امواج با ارتفاع‌های مختلف به سمت حوضچه رسوب‌گیر هدایت شوند.

### ۳-۲-۶-۳- مشخصه‌های کارکردی

کارکرد اصلی دستک‌ها، جلوگیری از ورود ماسه به داخل دهانه رودخانه، خور، خلیج یا بندر می‌باشد. هم‌چنین این سازه مسیر انتقال طبیعی رسوبات از جلوی دهانه را مسدود کرده و در نتیجه باعث کاهش تغذیه رسوبی پایین دست سازه می‌شود. در مناطقی که نرخ انتقال رسوبات کرانه‌ای بالا می‌باشد، تاثیر ساخت دستک بر فرسایش ساحل پایین‌دست، بسیار چشمگیر است. در واقع در صورتی که دستک به صورت کامل مسیر حرکت رسوبات را مسدود کند، نرخ فرسایش پایین‌دست و رسوب‌گذاری در بالادست برابر با نرخ خالص انتقال رسوبات موازی ساحل خواهد بود.



**شکل ۳-۱۶- نمونه‌ای از به کارگیری دستک‌های دوتایی در دهانه یک شاخاب کشندی**

1- Weir Jetty
2- Depositional Basin

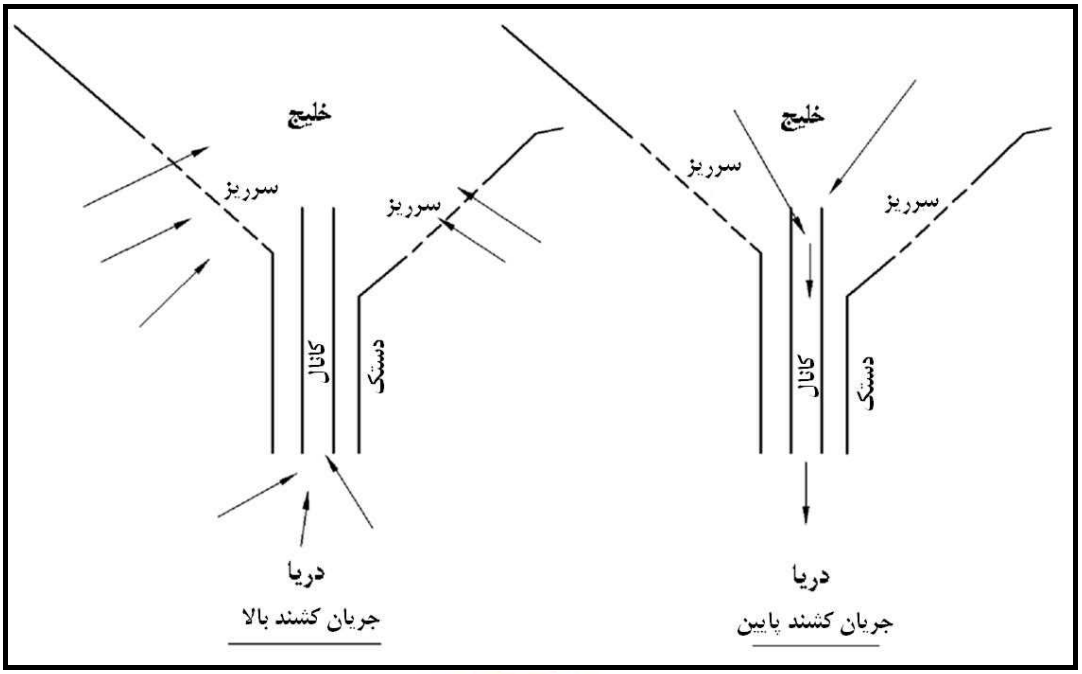
omoorepeyman.ir

**شکل ۳-۱۷- نمونه‌ای از به کارگیری دستک‌های دوتایی در دهانه یک شاخاب کشندی**

**شکل ۳-۱۸- نمایی از به کارگیری ترکیبی موج‌شکن جدا از ساحل و دستک**

omoorepeyman.ir

**شکل ۳-۱۹- نمونه‌ای به کارگیری ترکیبی دستک و سرریز**




**شکل ۳-۲۰- تاثیر وجود دستک بر مسیر جریان‌های کشندی و الگوی انتقال رسوبات**

در برخی پروژه‌ها برای کاهش فرسایش ساحل پایین‌دست، عملیات لایروبی دوره‌ای در قسمت بالادست سازه صورت گرفته و مصالح حاصل از آن به کمک خط لوله یا شیوه‌های دیگر، به قسمت فرسایش یافته، منتقل می‌گردد. درصورتی که رسوب‌گذاری

omoorepeyman.ir

بالادست تا نزدیکی دهانه دستک ادامه یابد، رسوبات به داخل کانال نفوذ کرده و از دیدگاه ناوبری برای شناورها مشکل ایجاد می‌کنند. بنابراین عملیات انتقال مواد لایروبی شده، افزون بر کمک کردن به قسمت‌های فرسایش یافته، از بروز این مشکل نیز پیشگیری خواهد کرد.

فرسایش در منطقه احداث دستک محدود به سمت پایین دست سازه نمی‌گردد. بازوهای دستک باعث تغییر دادن مسیر کانال کشندی طبیعی شده و عرض آن را در برخی نواحی محدود می‌سازند. بدین ترتیب سرعت جریان‌های کشندی زیاد شده و رسوبات محصور در میان دو بازو به سمت خارج سازه دستک (به سمت دریا) هدایت می‌گردند.

### ۳-۲-۶-۴- زمینه‌های کاربرد

سازه‌های دستک در دهانه رودخانه‌ها، خورها و شاخاب‌های کشندی اجرا می‌شوند تا محل دهانه را تثبیت کرده و از کم عمق شدن آن جلوگیری نمایند.

این سازه‌ها هم‌چنین به منظور حفاظت دهانه کانال از تاثیر امواج یا جریان‌های عمود بر دهانه ورودی ساخته می‌شوند. در زمره دیگر کاربردهای آنها می‌توان به حفظ و تثبیت دهانه موجود در سواحل مانعی اشاره کرد.

## ۳-۲-۷- بندها و خاکریزهای ساحلی[1]

### ۳-۲-۷-۱- تعریف

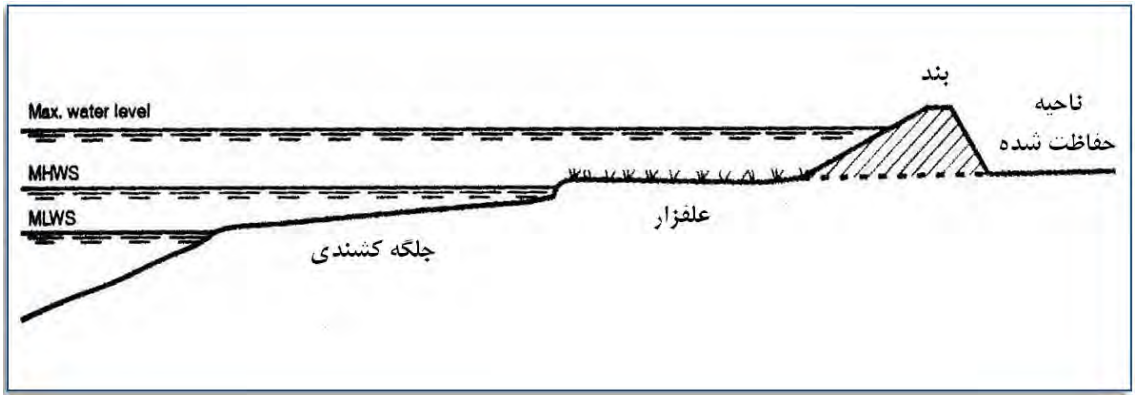
یک بند یا خاکریز ساحلی، سازه‌ای می‌باشد که سواحل پست و نواحی پسکرانه را در برابر سیلابی شدن هنگام رخ دادن کشندها و برکشندهای طوفانی شدید محافظت می‌کند. یک بند ساحلی معمولا از ماسه به همراه یک لایه خاک دارای پوشش گیاهی تشکیل شده است (شکل ۳-۲۱). با این حال، اگر بند در مکانی قرار گرفته باشد که اثر امواج شدید باشد، ضرورت دارد روبروی بند توسط یک پوشش محافظ محافظت شود. در این حالت، سازه حفاظتی را می‌توان در زمره دیوارهای دریایی نیز طبقه‌بندی نمود. برای آشنایی با ملاحظات طراحی بندها و خاکریزهای ساحلی به بند ۳-۳- ملاحظات طراحی سازه‌های حفاظت سواحل و بند ۳-۳-۷- بندها و خاکریزهای ساحلی مراجعه شود.

### ۳-۲-۷-۲- شیوه به کارگیری

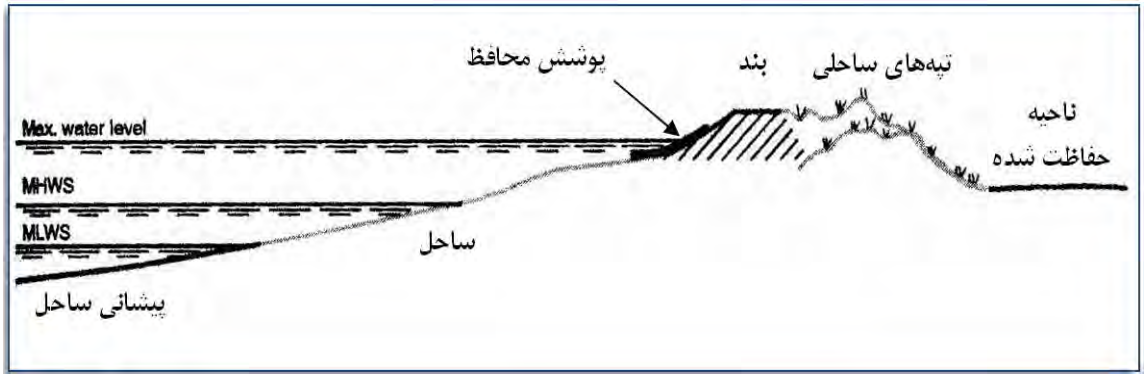
بندهای ساحلی معمولا در نواحی ساخته می‌شوند که دارای جلگه‌های کشندی[2]، علفزارهای پست یا درختان حرا بوده و نیز در مکان‌هایی که مشکل فرسایش وجود ندارد. تحت چنین شرایطی، بند ساحلی اغلب بالاتر از خط آب بالا ساخته می‌شود تا زمین‌های پست پسکرانه را در برابر سیلابی شدن حفظ نماید. در چنین شرایطی معمولا بند ساحلی با لایه‌ای از خاک پوشانده شده است که دارای پوشش گیاهی مانند علفزار است (شکل ۳-۲۱).

omoorepeyman.ir

1- Dike (Dyke) and Levee
2- Tidal Flat




**شکل ۳-۲۱- بند ماسه‌ای سنتی که در ساحلی با جلگه کشندی ساخته شده است**




**شکل ۳-۲۲- بند حفاظت شده توسط پوشش محافظ در یک ساحل دارای تپه‌های ماسه‌ای طبیعی**

در مواردی که تپه‌های ماسه‌ای طبیعی در ساحل وجود داشته باشد می‌توان برای حفاظت زمین‌های پسکرانه مطابق شکل (۳-۲۲) از حالت ترکیبی بند به همراه پوشش محافظ استفاده نمود. در صورتی که میزان فرسایش در پنجه بند زیاد نباشد دیگر نیازی به پوشش محافظ نخواهد بود و می‌توان فقط از یک بند سنتی استفاده نمود.

یکی دیگر از راهکارهای حفاظت ساحل در سواحلی که دارای تپه‌های ماسه‌ای طبیعی هستند، مقاوم‌سازی تپه‌های ماسه‌ای از راه تله‌اندازی ماسه (برای نمونه توسط ایجاد پوشش گیاهی) و نیز تخلیه مصنوعی ماسه از بیرون محدوده پروژه به ساحل مورد نظر اشاره کرد که در زمره روش‌های غیر سازه‌ای حفاظت ساحل طبقه بندی می‌شوند و در این‌جا به آنها پرداخته نمی‌شود.

### ۳-۲-۷-۳- مشخصه‌های کارکردی

مهم‌ترین کارکرد یک بند ساحلی، پیشگیری از سیلابی شدن سواحل پست پسکرانه می‌باشد. این بدین معناست که ارتفاع بند، مهم‌ترین پارامتر طراحی می‌باشد. با این حال، بند ساحلی باید توانایی مقاومت در برابر نیروی امواج را هنگام شرایط آب بالا داشته باشد. به طور معمول، در بندهای سنتی نیروی موج توسط جلگه عریض کشندی و زمین پست پیشکرانه مستهلک می‌شود. افزون بر این، به ندرت بند در معرض شرایط آب بالا قرار می‌گیرد و مدت زمان آن نیز کوتاه است. اگر پیشانی بند ساحلی دارای شیب بسیار ملایمی‌باشد (در قسمت رو به دریا) و روی سطح شیب‌دار پوشش گیاهی متراکمی همچون علفزار ایجاد شده باشد، دیگر نیازی به مقاوم‌سازی بیش‌تر جلوی بند ساحلی نخواهد بود. یکی از نکات مهمی که در این زمینه وجود دارد، نگهداری پوشش گیاهی ناحیه

omoorepeyman.ir

پیشکرانه می‌باشد. در بسیاری از موارد قطع درختان حرا یا از بین رفتن پوشش گیاهی علفزار در ناحیه پیشکرانه سبب فرسایش ساحل و ناپایدار شدن بند ساحلی شده است. اگر امکان برآورده ساختن این شرط یعنی حفظ و نگهداری پوشش گیاهی وجود نداشته باشد یا آن‌که به هر دلیل فرسایش ادامه یابد، باید جلوی بند را توسط پوشش محافظ محافظت نمود.

### ۳-۲-۷-۴- زمینه‌های کاربرد

بندهای ساحلی سنتی برای حفاظت زمین‌های پست ساحلی در برابر اثر ترکیبی کشند و برکشند طوفان کاربرد دارد. اگر عرض زمین پسکرانه کوچک باشد و یا در جلوی بند فرسایش رخ دهد، باید جلوی بند را توسط پوشش محافظ مقاوم‌سازی نمود.

## ۳-۲-۸- ژئوسینتتیک‌ها[1]

### ۳-۲-۸-۱- تعریف

ژئوسنتتیک‌ها نسل نسبتا جدید و همواره در حال پیشرفتی از مصالح عمرانی هستند که در زمینه‌های مرتبط با مکانیک خاک، زمین شناسی، محیط زیست و دیگر شاخه‌های مهندسی عمران یا دیگر رشته‌های مهندسی به‌کار برده می‌شوند. ژئوسنتتیک‌ها مواد مصنوعی بوده و از دیدگاه ساختاری از ملکول‌های زنجیره‌ای شکلی به نام پلیمر ساخته شده‌اند. معروف‌ترین انواع ژئوسنتتیک‌ها که در پروژه‌های حفاظت ساحلی مورد استفاده قرار می‌گیرند عبارتند از: ژئوتکستایل‌ها، ژئوممبران‌ها و ژئوتیوب‌ها.

به طور کلی مزایای استفاده از ژئوسنتتیک‌ها را می‌توان به صورت زیر خلاصه نمود:

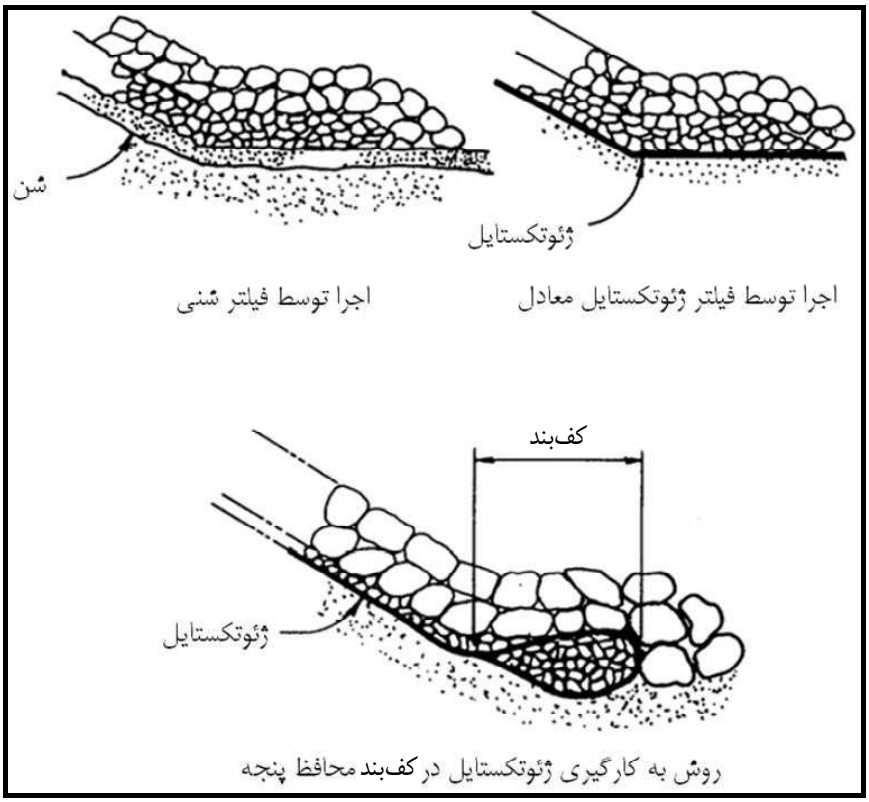
- مقاومت زیاد
- عدم ایجاد تخریب در محیط
- عدم تاثیرپذیری تخریبی از محیط
- برتری در تحلیل منفعت به هزینه و تقویت اقتصاد پروژه‌ها به دلیل هزینه اولیه کم‌تر، دوام زیاد، استفاده حداقل از نیروی انسانی، انرژی و حمل و نقل و هم‌چنین هزینه‌های تعمیر و نگهداری کم.

### ۳-۲-۸-۲- شیوه به کارگیری

در سازه‌های ساحلی، ژئوسنتتیک‌ها بیش‌تر به عنوان یک فیلتر بین مصالح ریزدانه ماسه‌ای یا رسی و قطعات شن یا سنگریزه‌ای قرار می‌گیرند که اولین لایه زیرین یک سازه ساحلی همچون پوشش محافظ را شکل می‌دهد. در این زمینه نقش این مصالح مصنوعی، نگهداری خاک‌های ریزدانه زیرین و همزمان فراهم آوردن شرایط جریان یافتن آب از میان الیاف آن می‌باشد. برای نمونه شیوه‌های مختلف به کارگیری ژئوتکستایل‌ها در پوشش‌های محافظ در شکل (۳-۲۳) نشان داده شده است.

omoorepeyman.ir

1- Geosynthetic




**شکل ۳-۲۳- شیوه به کارگیری ژئوتکستایل در پوشش محافظ**

فیلترهای ژئوتکستایلی در مقایسه با فیلترهای شنی رایج دارای برتری‌های زیر می‌باشند:

- خصوصیات فیلتر کردن یکنواخت بوده و توسط سازنده تعیین می‌شود.
- ژئوتکستایل‌های فیلتری می‌توانند در برابر تنش‌های کششی، تاب بیاورند.
- قراردهی ژئوتکستایل راحت‌تر و کنترل شده‌تر بوده و اجرای آن در زیر آب موفقیت‌آمیزتر از فیلترهای شنی است.
- کنترل کیفیت و بازرسی آنها به سرعت و با دقت قابل انجام است.
- در این حالت دسترسی محلی مصالح فیلتر در ملاحظات اقتصادی و هزینه طرح تاثیر نداشته و اغلب در این زمینه می‌توان صرفه‌جویی زیادی در نظر گرفت.

برخی از معایب احتمالی ژئوتکستایل‌های فیلتری عبارتند از:

- مشکل بودن تعمیر قسمت‌های آسیب دیده‌ای که زیر چندین لایه از سنگ قرار دارند.
- در صورت طراحی نامناسب، ممکن است هنگام گذر جریان‌های هیدرولیکی سریع، ژئوتکستایل به صورت ناتراوا عمل کند که می‌تواند به فشارهای برخاستی در سطح صفحه ژئوتکستایل بیانجامد.
- اگر صفحه ژئوتکستایل به خوبی مهار نشده باشد ممکن است پنجه سازه دچار زیرشویی شود.

omoorepeyman.ir

### ۳-۲-۸-۳- مشخصه‌های کارکردی

مصالح ژئوسنتتیک چند نقش عمده و اساسی را ایفا می‌کنند، که بسته به شرایط و زمینه کاربرد ممکن است دارای یک یا چند نقش باشند. این وظایف به شرح زیر می‌باشد:

- جداسازی مصالح با دانه‌بندی‌ها و یا خواص متفاوت
- عبور انتخابی یا جلوگیری از عبور مصالح با دانه‌بندی خاص
- حفاظت از سطوح آسیب‌پذیر مثل پوشش‌ها یا لوله‌ها در ضربات و فشارهای متمرکز و یا سواحل مواجه با امواج
- تسلیح و افزایش مقاومت توده‌های خاکی در مقابل کشش و برش
- زهکشی و هدایت سیالات
- نگهداری سیالات جهت جلوگیری از هدر رفتن یا آسیب رساندن و آلایندگی محیط زیست

### ۳-۲-۸-۳-۱- جداسازی

ژئوتکستایل جداساز به معنی حضور یک پارچه متخلخل انعطافی در حد واسط مواد غیر مشابه می‌باشد، به گونه‌ای که انسجام و عملکرد هر دو ماده جدا شده، دست نخورده باقی بماند و حتی بهبود یابد (Koerner، ۱۹۹۴). برای نمونه، علت عمده و اصلی شکست و گسیختگی آسفالت جاده‌ها، ناشی از نفوذ مواد سنگی اساس (اساس خاکی) با مواد زیراساس می‌باشد که موجب زایل شدن استحکام لایه اساس خاکی می‌گردد. اصول طرح در مهندسی راه بر این است که حجم و کیفیت مواد اساس و زیر اساس برای نقش‌های تعیین شده، ثابت بماند و یا تغییر اندکی داشته باشد، و این هدف با حضور لایه جداساز ژئوتکستایل قابل دستیابی است. از گذشته تا کنون، استفاده اصلی از ژئوتکستایل، به‌عنوان جداساز می‌باشد. در شکل (۳-۲۴)، به طور شماتیک نقش ژئوتکستایل در پروژه‌های عمرانی به عنوان جدا کننده نشان داده شده است.

مکانیسم جداسازی ژئوتکستایل به این گونه است که با قرار گرفتن در بین اساس یا زیر اساس و خاک‌های نرم و ریزدانه بستر از اختلاط این دو بخش نامشابه برای همیشه جلوگیری می‌کند و با توزیع نیروهای وارده، موجب دفع فشارهای موضعی می‌گردد. وقتی مواد لایه اساس تحت فشار نیروهای زیاد دینامیکی یا ثابت ترافیکی وسایل نقلیه قرار می‌گیرد، به درون خاک نرم بستر فرو می‌رود و این پدیده باعث کاهش ضخامت مورد نیاز لایه سنگی پی در طرح گشته و از استحکام سازه می‌کاهد. در نتیجه گسیختگی حاصل می‌شود (شکل ۳-۲۴ و ۳-۲۵). اغلب برای رفع این مشکل، ضخامت لایه‌های سنگی اساس خاکی افزایش داده شده و با استفاده از مواد اضافی (جبرانی) اساس خاکی، فقدان احتمالی را جبران می‌کنند. در این مورد، یک لایه جداساز ژئوتکستایل با رفع مشکل اختلاط، نیاز به اساس خاکی اضافی را منتفی ساخته و باعث صرفه جویی در هزینه می‌شود. مهم‌تر اینکه، عمر مفید جاده به طور چشمگیری افزایش می‌یابد. با حضور ژئوتکستایل جداساز، انتقال و پمپاژ مواد ریزدانه بستر به درون حفرات لایه سنگی پی متوقف می‌شود. بدین ترتیب از ناکارآمد شدن زهکش پیشگیری می‌شود.

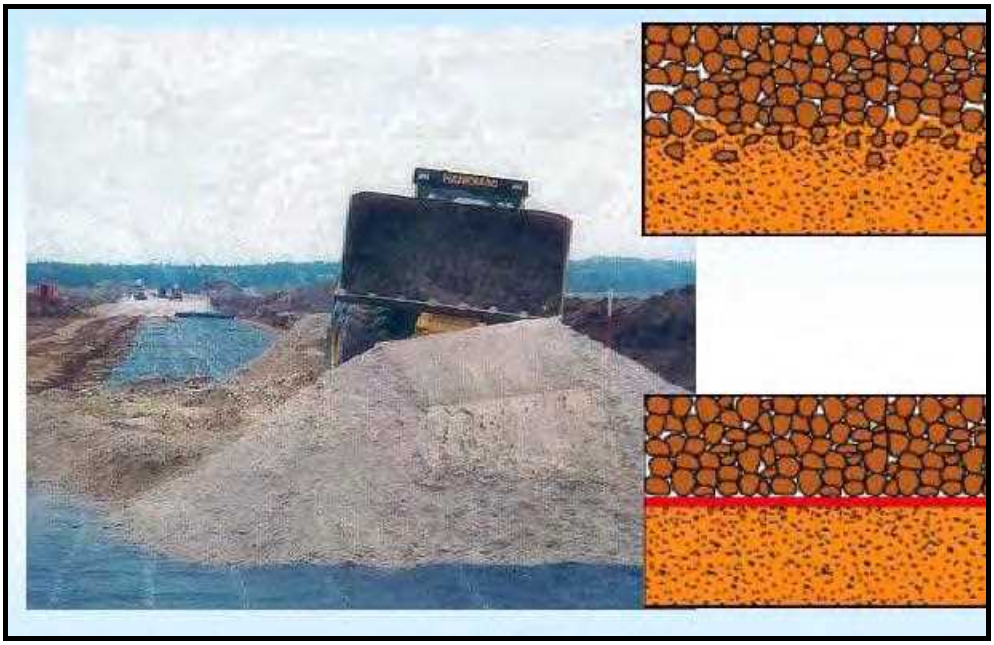
کاربرد دیگر این نوع ژئوسنتتیک‌ها در روسازی جاده‌ها می‌باشد. در این کاربرد، ژئوتکستایل دارای دو مکانیزم برای بهبود عملکرد روکش می‌باشد. اول این‌که، به‌عنوان لایه میانی با جذب تنش و فشار، از انتشار ترک خوردگی بازتابی[1] از روکش قدیمی به روکش

1- Reflective

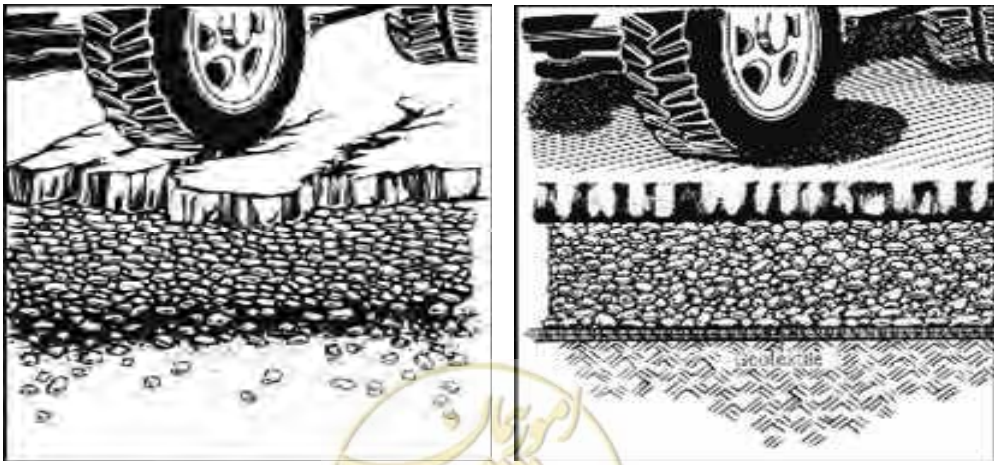
omoorepeyman.ir

جدید جلوگیری کرده و یا آن‌را به تعویق می‌اندازد. دوم، به‌عنوان لایه ضد رطوبت از ورود بارش جوی و آب‌های سطحی از راه ترک‌های آسفالت به درون ترک‌های روکش قبلی و پیامد آن بروز گسیختگی روکش در اثر یخ زدگی ممانعت می‌کند. همچنین از نفوذ رطوبت به درون لایه زیرین، مرطوب سازی بستر و متعاقبا گسیختگی روسازی جلوگیری می‌کند. نمونه‌ای از این نوع پروژه در شکل (۳-۲۶) نشان داده شده است.

روشی که اغلب برای بازسازی (مرمت) جاده ترک خورده و گسیخته بکار می‌رود، روکش AC می‌باشد. این عمل موقتا ترک‌ها را پوشانده و پس از آن‌که روکش تکمیل شد، هر حرکت جانبی یا طولی جاده موجب انتشار ترک‌های روکش قبلی به روکش جدید می‌شود و ترک‌های بازتابی رخ می‌دهد. این حرکت موجب پوسته پوسته شدن و بریدگی در طول ترک‌های بازتابی گشته و راهی برای نفوذ آب‌های سطحی به لایه‌های اساس یا زیراساس و بستر می‌گردد.



**شکل ۳-۲۴- کاربرد ژئوتکستایل در راه‌سازی به عنوان جدا کننده مصالح**



**ب** **الف**

**شکل ۳-۲۵- نقش ژئوسنتتیک در بهسازی بستر راه؛ الف- دارای ژئوتکستایل جداساز، ب- فاقد ژئوتکستایل جداساز**

omoorepeyman.ir

**شکل ۳-۲۶- استفاده از ژئوسنتتیک برای روسازی راه**

در زیر روکش جدید AC، ژئوتکستایل می‌تواند برای دفع فشارهای وارده ناشی از حرکت روکش قبلی، استحکام کششی ایجاد کند. ژئوتکستایل به‌عنوان لایه میانی در دفع فشار ناشی از ترک‌های افقی و عمودی عمل می‌کند. آغشته‌سازی ژئوتکستایل با قیر و آسفالت، یک لایه غیر قابل نفوذ را نسبت به آب‌های سطحی به‌وجود می‌آورد. به دلیل سنخیت و نزدیکی الیاف پلیمری با مواد نفتی، جذب قیر و مواد اتصال[1] به پارچه ژئوتکستایل به خوبی صورت می‌گیرد.

### ۳-۲-۸-۳-۲- فیلتر کردن

فرآیند فیلتر کردن ژئوتکستایل، حفظ خاک محل با فراهم آوردن امکان گذر آب از خاک، پیشگیری از گذر ذرات خاک شناور در آب و توزیع فشار هیدرواستاتیک می‌باشد. ژئوتکستایل نقش مهمی را در توسعه منطقه فیلتری خاک ایفا نموده و جریان آب را به گونه چشمگیری کنترل می‌کند. ژئوتکستایل فیلتری در کاربردهای زیرزمینی موجب حفظ زهکش و عملکرد آن و در نتیجه موجب افزایش عمر مفید سازه می‌شود. چگونگی عملکرد ژئوتکستایل در این زمینه در شکل (۳-۲۷) نشان داده شده است.

با حضور ژئوتکستایل فیلتری از گذر مواد ریزدانه اساس به درون مواد سنگی یا به درون اساس جاده‌ها پیشگیری شده و لایه‌های زهکش از انسداد مصون می‌ماند. در مهندسی هیدرولیک نیز ژئوتکستایل برای فیلتر کردن، نقش کلیدی را تقریبا در تمامی کاربردهای زهکشی ایفا می‌کند. در سازه‌های سنگی ساحلی نیز با قرار گرفتن در زیر سازه سنگی و آرمور، با عمل فیلتراسیون، از شسته شدن بستر و ناکارآمدی سازه جلوگیری می‌نماید.

در مقایسه با فیلترهای خاکی سنتی، ژئوتکستایل با ایجاد یک فیلتر پیوسته و کارآمد، مزایای بیش‌تری را فراهم می‌کند. در گذشته، استفاده از فیلترهای سنگریزه‌ای موثر شناخته شده بود، با این وجود، دسترسی و نصب آن اغلب مشکل‌ساز بوده و ژئوتکستایل فیلتری جایگزین مناسبی از لحاظ آسانی نصب، کاهش هزینه و مهم‌تر از همه کارآیی بالا می‌باشد.

1- Tack Coat

omoorepeyman.ir

**شکل ۳-۲۷- نقش ژئوسنتتیک به عنوان فیلتر**

### ۳-۲-۸-۳-۳- تقویت و تثبیت‌سازی

مستحکم‌سازی به کمک ژئوتکستایل‌ها، به معنی بهبود یکپارچه استحکام کل سامانه‌ی سازه می‌باشد که با حضور یک ژئوتکستایل (دارای مقاومت کششی خوب) در یک خاک (با واکنش کششی ضعیف ولی مستعد تراکم) با مواد مجزای دیگر به وجود می‌آید (Koerner, ۱۹۹۴).

ژئوتکستایل در این نقش معمولا با نام «ژئوگرید[1]» شناخته می‌شود که برای تثبیت و مستحکم‌سازی روی بستر ضعیف به کار می‌رود. در تقویت‌سازی، ژئوگرید به عنوان یک عضو کششی در سامانه‌ی سازه‌های دارای استحکام کششی ضعیف، ایفای نقش می‌کند.

ژئوگرید باعث تغییر واکنش آسفالت جاده نسبت به نیروهای وارده می‌شود. در این مکانیسم، کرنش‌های موجود در توده خاک منجر به ایجاد کرنش‌هایی در ژئوگرید می‌شود که به نوبه خود موجب بسیج شدن نیروهای کششی در ژئوتکستایل می‌شود. این نیروها در جهت محدود سازی حرکات خاک عمل کرده و موجب توزیع استحکام برشی[2] بیش‌تر می‌گردد. در این کاربرد، ژئوگرید برای جبران خاک ضعیف از طریق تحمل فشار کششی با استحکام خود و اثر متقابل خاک ژئوتکستایل عمل می‌کند. مدول بالای ژئوگرید در نقش مستحکم‌سازی (مقاومت نسبت به کشش) باعث می‌شود تا نیروها و تنش‌های ترافیکی را جذب کرده و آنها را روی منطقه بزرگ‌تری توزیع نماید. این کاهش فشار روی بستر ضعیف می‌تواند موجب کاهش قابل توجهی در ضخامت مورد نیاز اساس خاکی گردد. نمونه‌ای از یک پروژه اجرایی که در آن از ژئوگرید به عنوان تثبیت کننده استفاده شده است در شکل (۳-۲۸) نشان داده شده است.

1- Geogrid
2- Shear Strength

omoorepeyman.ir

**شکل ۳-۲۸- استفاده از ژئوگرید به عنوان تثبیت کننده بستر**

کاربرد ژئوسنتتیک در طراحی دیوارهای حایل یکی از بیش‌ترین موارد مصرف این محصولات می‌باشد. ژئوگریدها در دیوارهای حایل جهت مسلح سازی در برابر زلزله، پدیده‌های خزش، برش، نشست، ترک خوردگی و غیره به کار می‌روند. ژئوگریدها با مقاومت کششی خوب خود باعث تثبیت و تحکیم دیوار شده و با رفع نیاز به استفاده از مصالح و مواد خاص، از خاک محل برای احداث دیوار استفاده می‌شوند. با حضور ژئوتکستایل می‌توان ارتفاع دیوار را تا حد چشمگیری افزایش داد و نیاز به ایجاد پی را برطرف نمود. شکل (۳-۲۹) نمونه‌ای از کاربرد این مصالح را در طراحی دیوار حایل نشان می‌دهد.

**شکل ۳-۲۹- استفاده از ژئوسنتتیک به عنوان تثبیت شیروانی‌ها و پایدارکننده دیوارهای حایل**

omoorepeyman.ir

### ۳-۲-۸-۳-۴- حفاظت

کاربرد مهم دیگر ژئوتکستایل‌ها به عنوان سازه‌های محافظ در کارهای دریایی برای حفاظت ساحل و سازه‌های دریایی از امواج مهاجم می‌باشد. نمونه‌ای از پروژه انجام شده در این زمینه در شکل (۳-۳۰) نشان داده شده است. در این کاربرد، ژئوتکستایل جانشین فیلترهای دانه‌بندی شده و پرهزینه‌ای می‌شود که در زیر پوشش محافظ قرار می‌گیرند. کاربردها در زمینه فرسایش شامل کانال‌های زهکش، سواحل، پل و سامانه‌های حفاظت از خوردگی سازه‌ها در اثر آب (فرسایش ناشی از امواج) می‌باشد. در نبود ژئوتکستایل فیلتری، ضربات موج سبب فرسایش مواد بستر از زیر پوشش محافظ یا آرمور شده و موجب وارد آمدن خسارت به سازه‌های موجود می‌شود. تخریب و فرسایش، مزیت و عملکرد پوشش محافظ را خنثی ساخته و موجب نیاز به تعمیر اساسی و جایگزینی پرهزینه می‌شود.

این مصالح ژئوتکستایل از نوع نبافته بوده و به همراه پوشش شنی همانند جدا کننده و فیلتر در مهندسی هیدرولیک نظیر خاکریزها (در مقابل آب)، احیا و محافظت از بستر کانال‌ها و مهندسی سواحل استفاده می‌شود. ساخت سیلندرهایی از این مصالح می‌تواند در محافظت از حوضچه لنگرگاه‌ها و بنادر به کار رود. کیسه‌های شنی ساخته شده از این محصول در محافظت سواحل دریاها و رودخانه‌ها با موفقیت به کار رفته‌اند. این مصالح قابلیت تراوایی بالایی برای آب داشته و خاک را در خود نگاه می‌دارد. افزون بر این، امکان رشد ریشه‌های گیاهان را فراهم کرده و بنابراین سازه‌های محافظ در محیط زیست طبیعی زشت جلوه نمی‌کند.

این محصول برای نصب بر هر سطحی تطابق داشته و می‌توان آن‌را حتی با قطعات بزرگ سنگ پوشاند که روش آسان نصب آن سبب افزایش بازده می‌شود. استفاده از این روش صرف هزینه‌های بالای استخراج، حمل و خاکریزی فیلترهای شنی و ماسه‌ای را، که پس از اجرا نیاز به آزمایشات بسیار جزیی و دقیق دارند، غیر ضروری جلوه می‌دهد.

**شکل ۳-۳۰- استفاده از ژئوسنتتیک به عنوان سازه نگهبان ساحلی در برابر نیروهای امواج**

omoorepeyman.ir

در برخی موارد، ژئوسنتتیک به منظور جلوگیری از فرسایش سطحی خاک (ناشی از جریانات سطحی) استفاده می‌شود و به تحکیم و تقویت قسمت ریشه گیاهان کمک می‌کند. این مصالح یک پوشش گسترده کنترل فرسایش سه بعدی است که شامل یک هسته پلیمری و رشته‌های درهم و مجوف می‌باشد. افزون بر این در شیب‌ها و حفاظت خاک در راهسازی، محوطه‌سازی و ایجاد فضای سبز در کارهای مهندسی[1] نیز از این مصالح استفاده می‌شود. در صورت استفاده از این مصالح، در زمان باران‌های شدید و جریان‌های آب از فرسایش پوشش گیاهی آسیب‌پذیر جلوگیری می‌شود. همچنین پوشش گیاهی ایجاد شده بر روی آنها سرعت رواناب را کاهش می‌دهد و به واسطه نفوذ آب بیش‌تر، بده سیلاب کاهش پیدا می‌کند. نمونه‌ای از کاربرد این محصول را در شکل (۳-۳۱) می‌توان مشاهده کرد.

**شکل ۳-۳۱- استفاده از ژئوسنتتیک برای جلوگیری از فرسایش سطحی خاک**

### ۳-۲-۸-۳-۵- زهکشی

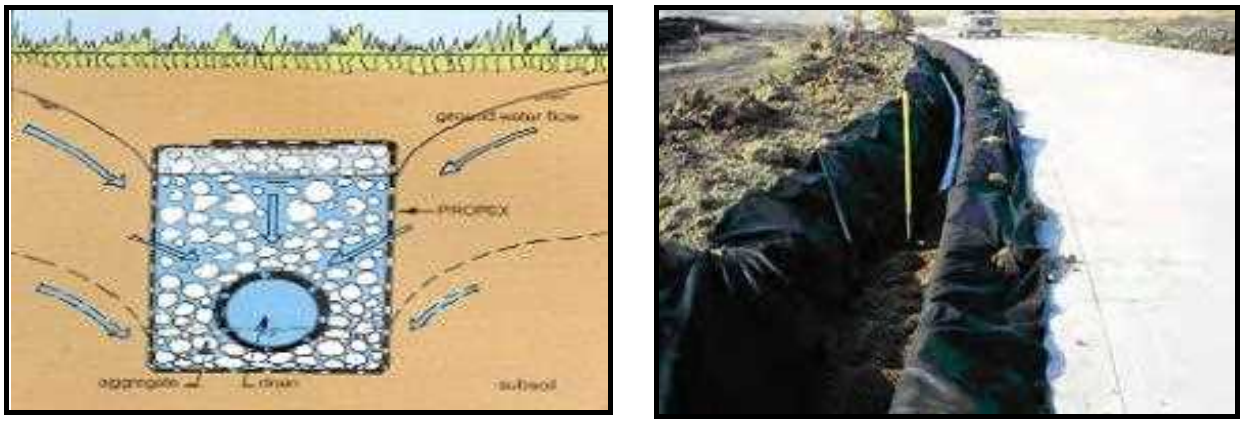
ژئوسنتتیک‌ها جایگزین بسیار مناسبی برای فیلترهای تفکیک شده دانه‌بندی خاکی در اکثر ساختارها از جمله سامانه‌های کنترل آب‌های زیرزمینی، جاده، زیرسازهای ساختمانی، سدها و دیوارهای حایل می‌باشند. البته نقش زهکشی ژئوسنتتیک ارتباط تنگاتنگ با نقش فیلتر کردن دارد و جز در مشخصه جهت جریان، در بقیه مشخصه‌ها همانند فیلتر کردن عمل می‌کند.

ژئوسنتتیک نبافته نیمه سنگین وقتی در تماس نزدیک با یک ژئونت[2] یا یک زهکش سنگی واقع می‌شود می‌تواند ضایعات و خاک را فیلتر نموده و در عین حال به آب و مایعات شیمیایی اجازه عبور دهد. نمونه‌ای از کاربرد این نوع ژئوسنتتیک در شکل (۳-۳۲) نشان داده شده است. ژئوسنتتیک یا خودش نقش زهکشی دارد یا روی هسته‌های زهکشی به شکل ژئوکامپوزیت، نقش فیلتر کردن را ایفا می‌کند. زهکشی ژئوسنتتیک به شکل حمل آب در سطح ژئوسنتتیک نبافته[3] ضخیم در کاربردهای زیرزمینی مطرح می‌باشد. به بیان دیگر در مواردی که باید آب از محل مشخصی به‌وسیله خود ژئوسنتتیک دفع شود (شکل ۳-۳۳).

1- Landfill
2- Geonet
3- Needle-Punched

omoorepeyman.ir

**شکل ۳-۳۲- استفاده از ژئوسنتتیک به عنوان زهکش در سازه‌های خاکی**




**شکل ۳-۳۳- استفاده از ژئوسنتتیک به عنوان زهکش در سازه‌های خاکی**

این مصالح توانایی کاهش فشار آب محرک را دارا می‌باشند که این قابلیت آن را برای زهکشی در سازه‌های مدفون و همچنین زهکش‌های نواری حاشیه جاده‌ها مناسب می‌سازد. در این کاربرد، مصالح ژئوسنتتیک با خاصیت فیلتری و همچنین هسته مرکزی آن با خاصیت زهکشی، قابلیت هدایت آب را داشته که بر اساس ظرفیت زهکشی مورد نیاز تعیین می‌شود. همچنین این محصول کارآیی خود را بر حسب مورد نیاز به زهکشی نظیر ساختمان‌ها، تونل‌ها و پوشش‌ها به خوبی نشان داده است. از دیگر موارد استعمال این محصول قابلیت نصب به شکل نوارهای عمودی و به عنوان زهکش‌های قائم می‌باشد که جایگزین بسیار مناسب برای چاهک‌های زهکش ماسه‌ای بوده و قابلیت یکنواخت نمودن نشست‌های دراز مدت را دارا می‌باشد. از این قابلیت در زیر پی‌های گسترده، روسازی راه و فرودگاه و همچنین سد سازی استفاده بسیار زیادی می‌شود.

این مصالح بسیار بادوام و مقاوم بوده و به آسانی بارهای مکانیکی را تحمل می‌نمایند و در برابر تمام عوامل بیولوژیکی و شیمیایی طبیعی که ممکن است اتفاق بیفتد، مقاوم هستند. در شرایطی که خطر هجوم مواد شیمیایی با خورندگی بالا وجود داشته باشد،

omoorepeyman.ir

می‌توان آنها را از جنس پلی‌اتیلن با چگالی بالا[1] (HDPE) در نظر گرفت. این محصول به علت دارا بودن زاویه اصطکاک بالا در زمین‌های شیبدار پایدار بوده و به علت وجود پیوندهای منظم بین دو لایه ژئوسنتتیک مانع انتقال لایه‌ها نسبت به هم می‌شود. استفاده از این محصول در سازه‌های خاکی سبب کاهش حجم عملیات خاکی می‌شود و در مواردی همچون پوشش محل‌های دفن زباله سبب افزایش حجم انباشت زباله می‌شود.

به کار بردن این محصول سبب صرفه جوئی در زمان و منابع طبیعی می‌شود؛ به‌گونه‌ای که تقریبا ۱۰۰۰۰ مترمربع آن معادل جایگزین استخراج، حمل و خاکریزی حدود ۳۰۰۰ متر مکعب مصالح زهکش دانه‌ای می‌شود. این محصول می‌تواند در هر شرایط آب و هوایی توسط یک یا دو فرد نصب شود. کاربرد آن در محل‌های اتصال بسیار ساده بوده و به آسانی خود را با شکل زمین تطبیق می‌دهد.

### ۳-۲-۸-۳-۶- آب‌بندی

یکی از متداول‌ترین مصالح ژئوسنتتیک آب‌بند، ژئوممبران‌ها می‌باشند. ژئوممبران‌ها از پلی‌اتیلن با چگالی بالا (HDPE) ساخته می‌شوند. این مصالح دارای عرض و طول زیاد و ضخامت نسبتا کم (حدود ۰/۵ تا ۲/۵ میلی‌متر) بوده و با سطوح صاف یا خشن تولید می‌شود.

این مصالح عایق کاملی را در برابر بسیاری از ترکیبات و مواد سمی ایجاد می‌نمایند. ژئوممبران به شکل عادی به عنوان یکی از اجزای کف و هم‌چنین روی محل‌های دفن زباله و بسترهای ناتراوا نصب می‌شود و از نشت آب و نیز آلودگی منابع آب‌های زیرزمینی جلوگیری می‌کند. از دیگر کاربردهای ژئوممبران‌ها می‌توان به مواردی همچون عایق رطوبتی تونل و سازه‌های زیرزمینی، مخازن روباز کشاورزی و پرورش آبزیان، مخازن نفتی، حوضچه تبخیر و مخازن ثانویه، کانال‌های انتقال آب و دریاچه‌های مصنوعی و مراکز دفن زباله اشاره نمود. شکل (۳-۳۴) نمونه‌ای از یک دریاچه مصنوعی را که با این مصالح اجرا شده است، نمایش می‌دهد.

**شکل ۳-۳۴- نمونه‌ای از کاربرد ژئوممبرین در آب‌بندی یک دریاچه مصنوعی**

1- High Density Poly Ethylene

omoorepeyman.ir

برخی از خصوصیات این محصولات را به‌صورت زیر می‌توان دسته‌بندی کرد:

- مقاومت در برابر اشعه ماورای بنفش آفتاب
- مقاوم به رشد گیاهان و حمله جوندگان
- قابل استفاده در مخازن آب شرب
- قابل حمل و نقل
- سرعت در نصب و اجرای پروژه
- دارای خاصیت کشسانی بالا
- قابل نصب روی بسترهای خاکی و بتنی و دیگر موارد
- مقاوم در برابر تغییر دما از ۴۰- تا ۷۰ درجه سانتی‌گراد
- قابل استفاده در بسترهای گچی و آهکی
- مقاوم در برابر نیروهای غیرمتمرکز
- امکان کنترل دقیق بر صحت اجرا و انجام آزمایشات کنترل کیفی و حصول اطمینان از آب‌بندی کامل سامانه
- سهولت امکان ترمیم و سرعت در زمان بهره‌برداری

نوع دیگر ژئوسنتتیک‌های آب‌بند با نام غشای رسی[1] یا به اختصار GCL مشهور می‌باشند. در این مصالح یک غشای رسی محصور در مصالح ژئوسنتتیک، مصالح خودآب‌بندی را به‌وجود می‌آورد. در این ساختار ترکیبی به‌وجود آمده که در آن میلیون‌ها الیاف، سوزن دوزی و مسلح شده و یک لایه یکنواخت بنتونیت سدیم با تورم بالا را محافظت می‌کند. وجود این نوع بنتونیت خاص که حاوی یون سدیم است، سبب ایجاد حداکثر پراکندگی ساختار خاک رسی می‌شود که مسیر را برای جریان آب همان‌گونه که در شکل (۳-۳۵) نشان داده شده است بسیار طولانی و سخت می‌کند و بدین ترتیب تراوایی این مصالح به شدت کاهش پیدا می‌کند.

این ترکیب با الیاف پلیمری و رس معدنی به صورت طبیعی، لایه آب‌بند مناسبی با حداکثر مقاومت برشی بلند مدت را به‌وجود می‌آورد. شکل (۳-۳۶) جزییات این محصول و چگونگی قرارگیری لایه‌ها نسبت به هم را نشان می‌دهد.

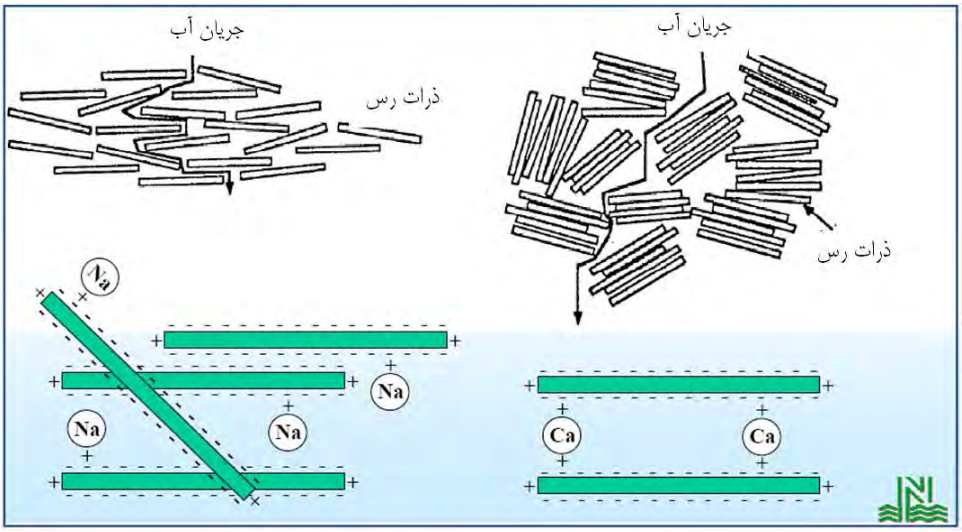
GCL یک محصول غشایی بر پایه رس بوده که انواع مختلفی دارد. وقتی GCL هیدراته می‌شود، یک مسدود کننده موثر در برابر مایعات، بخار و گازها می‌باشد. دامنه کاربردهای GCL در سازه‌های زیر می‌باشد:

- رویه بالایی خاک‌های آلوده و ضایعات
- سطوح زیرین محل‌های دفن زباله، نفوذپذیری در بخار و گاز غشاهای سطوح آبگیری
- لایه پوشش ثانویه کانال‌ها و منابع آب، ساختمان پایاب، حفاظت زیرآبه، بندهای قائم، آب‌بندی

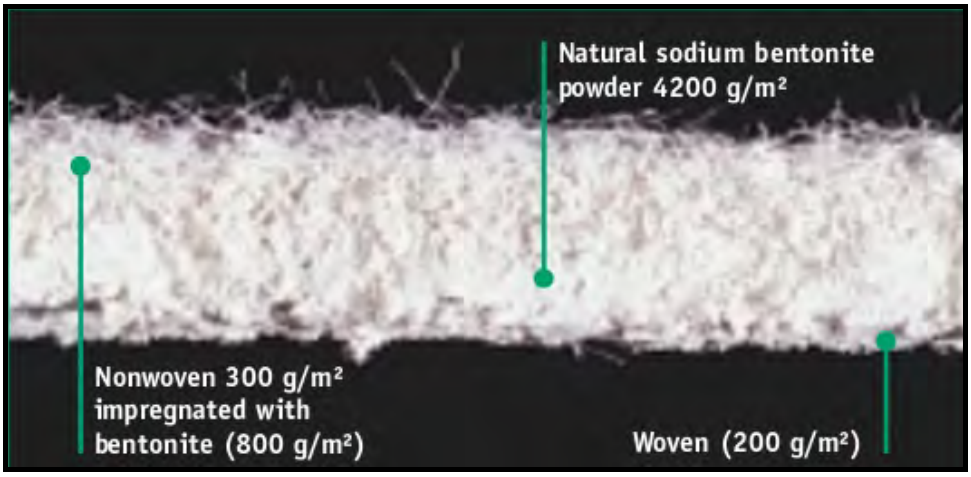
هم‌چنین به علت ظرفیت انبساطی طولی زیاد، GCL می‌تواند تغییرشکل‌های بلند مدت مانند نشست‌های غیریکنواخت را تحمل نماید. از کاربردهای دیگر GCL، راحتی اجرا در شیب‌های تند می‌باشد. با پیوستن الیاف به یکدیگر (رشته‌های یکنواخت ضخیم‌تر شبیه الیاف سوزن دوزی شده)، مقاومت برشی داخلی افزایش یافته و از خزش جلوگیری به عمل می‌آورد. این محصول نسبت به رس تراکم یافته بسیار کامل تر بوده و ارجحیت دارد.

1- Geosynthetic Clay Liner (GCL)

omoorepeyman.ir




**شکل ۳-۳۵- شکل شماتیک مسیر عبور آب در خاک بنتونیت سدیم دار مورد استفاده در GCLها**

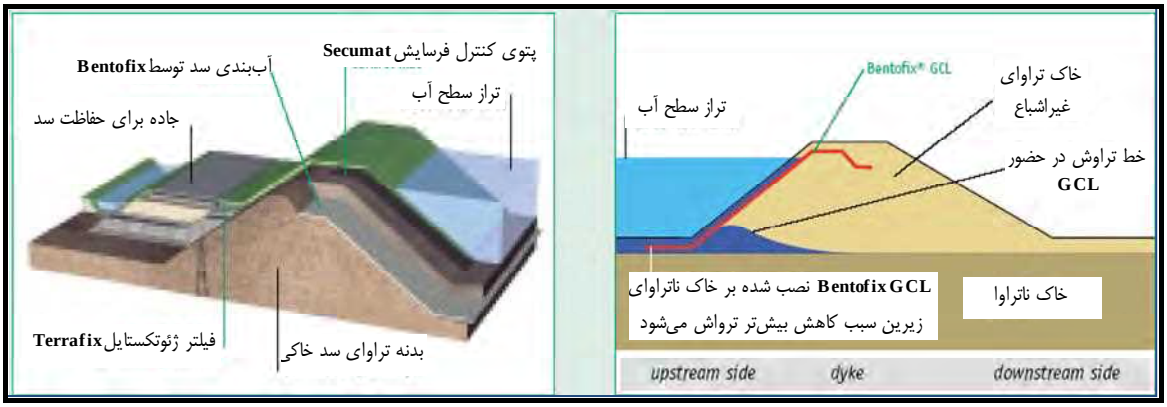



**شکل ۳-۳۶- جزییات GCL ها به منظور استفاده در آب‌بندی**

هنگامی که GCL در چند لایه در رس تراکم یافته معادل می‌شود، در نتیجه آن پتانسیل لازم جهت حجم آلوده کننده و محل‌های دفن زباله و استخرها افزایش می‌یابد. نصب این مصالح ساده و سریع است و به آسانی در محل پهن می‌شود و در محل‌های اتصال همپوشانی دارد. برای مقایسه، یک کامیون حامل ۴۰۰۰ متر مربع GCL سطحی را پوشش می‌دهد که معادل با ۴۰ متر مربع خاک رس با ضخامت ۵ سانتی‌متر در یک بار کامیون می‌باشد. نمونه‌ای از یک پروژه اجرا شده در شکل (۳-۳۷) نشان داده شده است.

omoorepeyman.ir

**شکل ۳-۳۷- نمونه‌ای از کاربرد GCL در یک پروژه آب‌بندی مخزن**




**شکل ۳-۳۸- استفاده از مصالح ژئوسنتتیک در آب‌بندی بدنه سدهای خاکی**

در سدسازی نیز از آب‌بندهای ژئوسنتتیک به‌صورت گسترده‌ای استفاده می‌شود. کاربرد ژئوسنتتیک در زمینه سدسازی برای آب‌بندی و جلوگیری از نشت آب از بدنه سد و تخریب تدریجی آن می‌باشد. ژئوتکستایل همچنین به عنوان زهکش سطحی دیواره سد و انتقال رطوبت به زهکش‌های پای سد عمل می‌کند. این روش می‌تواند به عنوان یک روش جایگزین برای روش‌های سنتی مورد استفاده در طراحی بندها و خاکریزهای ساحلی که در «۳-۳-۷- بندها و خاکریزهای ساحلی» توضیح داده شده به کار رود. تصویر شماتیک نحوه آب‌بندی این مصالح در سدهای خاکی در شکل (۳-۳۸) نشان داده شده است.

### ۳-۲-۸-۴- زمینه‌های کاربرد

مهم‌ترین کاربردهای ژئوسنتتیک‌ها در مهندسی سواحل و بنادر عبارتند از:

- به عنوان یک ژئوتکستایل جهت کنترل خوردگی سازه‌هایی مانند پوشش خاکریزها، دیوارهای دریایی یا حفاظت سازه‌هایی که درکف کار گذاشته می‌شوند.
- به عنوان یک ماده جداکننده جهت استفاده در پی آبشکن‌ها وموجشکن‌ها.

omoorepeyman.ir

- به عنوان ماده اصلی کیسه‌هایی که برای ساخت اجزای آبشکن‌ها و موج‌شکن‌ها از ماسه پر می‌شود.
- به عنوان یک محافظ که دارای قابلیت انعطاف در حفاظت سازه‌های ساحلی و فراساحلی می‌باشد.
- به عنوان محافظ در برابر بارهای ناشی از امواج و جریان به عنوان محافظ دربرابر خوردگی و رسوب‌گذاری
- برای ایجاد سواحل مصنوعی

مهم‌ترین دلیل مصالح ژئوسنتتیک، چند منظوره و چند نقشی بودن آنهاست، که به یکباره و به تنهایی چند نقش را، که چند لایه باید انجام دهند، به عهده می‌گیرند و به کاهش قابل توجهی در هزینه‌های مواد، نیروی کار و زمان می‌انجامد. این مصالح با عملکرد بالایی که دارد هزینه‌های حفظ و نگهداری سازه را به گونه چشمگیری کاسته و نیز هنگام فرآیند آماده‌سازی محل، تا حدی هزینه‌ها را کاهش می‌دهد. در برخی موارد، آنها نیاز به خاکبرداری‌های پرهزینه را کاهش داده و یا منتفی می‌سازند. هم‌چنین در زمان نشست‌های ناموزون لایه‌های خاکی، انعطاف‌پذیر می‌باشند، ولی در بسترهای ساخته شده به روش خاکریزی ممکن است نشست‌ها منجر به ایجاد ترک‌های نشت آب شود. لازم به ذکر است که یکی از عمده‌ترین دلایل در توجیه اقتصادی کاربرد ژئوسنتتیک‌ها مربوط به عملکرد دراز مدت آنهاست.

ژئوتکستایل‌ها به‌طور وسیع جهت استحکام بخشیدن به خاکریزها روی خاک‌های نرم، بندهای ساحلی و دیوارهای حایل به کار می‌روند ژئوتکستایل‌ها از نظر بودجه‌ای، ساخت دیوارهای حایل را عملی می‌سازند در حقیقت یک ژئوتکستایل به کار رفته در دیوار حایل می‌تواند تقریبا با کم‌تر از نیمی از هزینه یک دیوار حایل سنتی ساخته شود. ژئوتکستایل‌های بافته مزایای چشم‌گیری نسبت به روش سنتی مانند نصب آسان، ساخت راحت و توانایی استفاده از مواد خاکبرداری شده محل پروژه را دارا می‌باشند و هم‌چنین ژئوتکستایل‌های پلی پروپیلنی تقریبا نصف ژئوگریدها هزینه دارند و به گونه چشمگیری نیروی کم‌تری را برای نصب نیازمند هستند.

یکی دیگر از مصالح ژئوسینتتیک پرکاربرد، ژئوممبران‌ها می‌باشند که از قابلیت بالایی برای نگهداری آب و نیز تحمل تغییرشکل‌های نامساوی و موضعی برخوردار بوده و با توجه به این‌که در واکنش‌های شیمیایی شرکت نمی‌کنند و نیز در برابر اشعه ماورای بنفش خورشید مقاومند، گزینه بسیار مناسبی برای آب‌بند کردن می‌باشند. از طرف دیگر نصب سریع این مصالح در مقایسه با عملیات خاکی، هزینه‌ها را به گونه چشمگیری کاهش می‌دهد.

نمونه‌هایی از پروژه‌هایی که در ایران در آنها از مصالح ژئوسنتتیک استفاده شده است، عبارتند از: پوشش دریاچه تفریحی اصفهان (۱۳۸۲)، دریاچه تفریحی باغ ملی تهران (۱۳۸۳)، پوشش ثانویه مخازن MTBE در شهر نکای مازندران (۱۳۸۳)، پوشش حوضچه‌های تبخیر در فازهای ۲ و ۳ عسلویه (۱۳۸۰)، پوشش آب‌بند کانال دشت مغان (۱۳۷۵)، پوشش آب‌بند کانال استان خوزستان (۱۳۷۴) و پوشش حوضچه‌های تبخیر پتروشیمی بیستون (۱۳۸۰).

## ۳-۳- ملاحظات طراحی سازه‌های حفاظت سواحل

در این قسمت ملاحظات طراحی مربوط به انواع روش‌های متداول سازه‌ای حفاظت سواحل ارائه می‌شود. برای آشنایی با تعریف، شیوه به کارگیری، مشخصه‌های کارکردی و زمینه‌های کاربرد این سازه‌های حفاظت ساحلی می‌توان به بخش «۳-۲- تعریف و زمینه‌های کاربرد انواع سازه‌های حفاظت سواحل» مراجعه نمود.

omoorepeyman.ir

### ۳-۳-۱- دیوارهای دریایی

مهم‌ترین اجزای طراحی دیوارهای دریایی، ایمنی پی برای کمینه کردن نشست و حفاظت پنجه به منظور جلوگیری از زیرشویی[1] می‌باشد. این دو عامل علت اصلی خرابی این‌گونه دیوارها هستند. مراحل کلی طراحی دیوار ساحلی به صورت زیر می‌باشد:

- دامنه تراز آب برای ساختگاه مورد نظر تعیین می‌شود.
- ارتفاع موج تعیین می‌شود.
- پیکربندی‌های[2] مناسب برای دیوار ساحلی انتخاب می‌شود.
- پی شمعی با استفاده از EM ۱۱۱۰-۲-۲۹۰۰ طراحی می‌شود.
- انواع و اندازه مناسب قطعات آرمور انتخاب می‌شود.
- مقدار بالاروی موج برای به دست آوردن تراز تاج تعیین می‌شود.
- مقدار روگذری موج مورد انتظار برای سازه‌های با تراز پایین تعیین می‌شود.
- در صورت نیاز، زهکش های زیر سطحی[3] طراحی می‌شود.
- تمهیداتی برای انتقال آب های سطحی محلی و هم‌چنین آب های ناشی از روگذری موج اندیشیده شده و در صورت نیاز تاسیسات انتقال آب همانند کالورت‌ها و آبروها[4] طراحی می‌شود.
- شرایط برای جلوگیری از گسیختگی ناشی از فرسایش انتهایی[5] بررسی می‌شود.
- محافظت پنجه طراحی می‌شود.
- فیلتر مناسب طراحی می‌شود.
- تراکم مناسب مصالح پرکننده و پشتریز[6] در نظر گرفته شود.
- برای هر گزینه، هزینه ها برآورد می‌شوند.

در ادامه هریک از مراحل بالا به تفصیل توضیح داده شده‌اند.

#### ۳-۳-۱-۱- تعیین دامنه تراز آب برای ساختگاه مورد نظر

برای تخمین بیش‌ترین ارتفاع موج در حال شکست در محل سازه، میزان بالاروی مورد انتظار و هم‌چنین تعیین ارتفاع تاج مورد نیاز سازه، باید بالاترین تراز آب تعیین شود. کم‌ترین ترازهای آب مورد انتظار نیز در پیش‌بینی میزان آبشستگی پنجه محتمل و نیز عمقی که می‌بایست لایه آرمور تا آن چیده شود نقش مهمی بازی می‌کنند.

1- Undermining
2- Configuration
3- Underdrainage
4- Ditch
5- Flanking
6- Backfill

omoorepeyman.ir

**- کشندهای نجومی**

تغییرات تراز آب در اثر کشندهای نجومی و هم‌چنین عوامل هوا شناختی (برکشند طوفان و تاثیرات فشار) ایجاد می‌شوند. هر ساله ترازهای کشندی پیش‌بینی شده توسط سازمان نقشه برداری با عنوان جداول جزر و مدی ایران چاپ و منتشر می‌شوند. هم‌چنین ۴ مولفه اصلی کشندی برای نقاط مهم در خلیج فارس و دریای عمان توسط این سازمان ارائه می‌شود که می‌توان از آن برای پیش‌بینی تغییرات تراز آب استفاده نمود.

**- برکشند طوفان**

برکشند طوفان را می‌توان با تحلیل رکوردهای ثبت شده، روش‌های ارائه شده در فصل سوم SPM یا با استفاده از مدل‌های عددی تخمین زد. معمولا مدل‌های عددی برای پروژه‌های بزرگ استفاده می‌شوند. برخی مدل‌ها می‌توانند برای سواحل باز به کار برده شوند در حالی که از برخی دیگر می‌توان برای خلیج ها و خورها که تاثیر سیلاب نیز باید در نظر گرفته شود استفاده نمود.

**- تراز آب دریاچه‌ها**

هنگام تعیین دامنه تراز آب می‌باید به تغییرات بلند مدت تراز آب دریاها و دریاچه‌ها نیز توجه نمود. این مساله به ویژه در مورد دریاچه ها اهمیت دارد. در سالیان اخیر سطح آب دریای مازندران دچار تغییرات چشمگیری شده است که گاهی باعث بروز مشکلاتی برای مردم ساکن پیرامون این دریا شده است. مهم‌ترین عامل این تغییرات، فرآیند گرم شدن کره زمین می‌باشد که باعث تغییرات در الگوی نوسانات هواشناسی در کل دنیا گردیده است. ناحیه دریای مازندران هم دستخوش تغییراتی به ویژه در مورد سطح آب آن شده است. بر اساس تحقیقات گسترده انجام شده در مورد این تغییرات، مهم‌ترین عامل تغذیه آب این دریاچه، از راه رودخانه ولگا واقع در کشور روسیه می‌باشد. این رودخانه دارای حوضه آبگیر بسیار بزرگی می باشد. همان گونه که گفته شد به علت فرآیند گرم شدن کره زمین، تعادل بارندگی بر روی حوضه آبگیر این رودخانه بر هم خورده است و در نتیجه در ۵۰ سال گذشته، نوسانات سطح آب دریای مازندران دامنه‌ای در حدود ۳ متر داشته است. در شکل (۱-۱۸) از فصل اول، چگونگی این تغییرات از سال ۱۳۰۵ تا ۱۳۸۳ نمایش داده شده است. هنگام طراحی سازه‌هایی دریایی باید این تغییرات مد نظر قرار گیرد.

**۳-۳-۱-۲- تخمین مشخصات موج طرح**

ارتفاع و زمان تناوب موج باید به گونه‌ای انتخاب شود که بحرانی‌ترین ترکیب نیرو را روی سازه ایجاد کرده و نیز باید تاثیرات عمر اقتصادی، یکپارچگی سازه و خطر رخدادهایی که ممکن است از شرایط طرح تجاوز کنند بررسی شود. مشخصات موج می‌تواند براساس تحلیل ارتفاع امواج ثبت شده، مشاهدات عمل موج، امواج پیش‌بینی شده و یا حداکثر موج در حال شکست در ساختگاه، تعیین گردد. مشخصات امواجی که با استفاده از این روش‌ها به دست می‌آید ممکن است مربوط به آب عمیق بوده و بنابراین باید با استفاده از روش‌های تفرق و انکسار موج به محل پروژه منتقل شود. ممکن است نیاز باشد تا تحلیل موج را برای ترازهای بالا و پایین حدی آب انجام داد و شرایط بحرانی طرح را به دست آورد.

omoorepeyman.ir

**- ارتفاع موج**

یک قطار موج از یک سری امواج با ارتفاع و زمان تناوب متغیر تشکیل شده است. ارتفاع موج شاخص $H_s$ به صورت میانگین ارتفاع یک سوم بلندترین امواج در قطار موج تعیین می‌شود. تعاریف دیگری همچون $H_{10}$ و $H_1$ می‌توانند تعیین شوند که $H_{10}$ میانگین ۱۰ درصد بلندترین امواج و $H_1$ میانگین یک درصد بلندترین امواج می‌باشد. با فرض توزیع رایلی، می‌توان نشان داد که:

$$H_{10} = 1.27\, H_s$$

$$H_1 = 1.67\, H_s$$

داده‌های موجود موج در بسیاری مواقع به صورت ارتفاع موج لنگر صفرم (بر اساس انرژی) بیان می‌شوند ($H_{mo}$). در آب عمیق $H_s$ و $H_{mo}$ تقریبا با هم برابر هستند. اما در آب کم عمق در اثر پدیده ژرفاکاستگی[1] می‌توانند بسیار با هم متفاوت باشند.

رابطه زیر می‌تواند برای تخمین Hs از روی پارامترهای مبتنی بر انرژی به کار رود:

$$\frac{H_s}{H_{mo}} = \exp\left[ C_0 \left( \frac{d}{gT_p^2} \right)^{-C_1} \right] \qquad (۱-۳)$$

که در آن $C_0$ و $C_1$ ضرایب ثابت و به ترتیب برابر ۰/۰۰۰۸۹ و ۰/۸۳۴ می‌باشند. d عمق آب در محل مورد نظر (برای نمونه پنجه سازه) و g شتاب گرانش می‌باشد. $T_p$ نیز زمان تناوب قله طیف چگالی انرژی موج است.

از رابطه بالا نباید در شرایط $d/(gT_p^2) < 2$ و یا در مواردی که شکست موج وجود دارد، استفاده نمود.

Goda (۱۹۸۵) پیشنهاد می‌کند که برای طراحی سازه‌های سنگریزه‌ای چنانچه عمق آب کم‌تر از نصف ارتفاع موج در آب عمیق باشد، باید طراحی بر اساس ارتفاع موج در عمقی برابر با نصف ارتفاع موج شاخص در آب عمیق انجام شود.

**- زمان تناوب موج**

زمان تناوب موج برای شرایط طیفی، عموما به صورت زمان تناوب قله طیف چگالی انرژی موج، $T_p$، بیان می‌شود. به هر حال مراجعی که در آنها فرمول‌های طراحی بر اساس میانگین زمان تناوب موج ($T_z$) و یا زمان تناوب موج شاخص ($T_s$ ، میانگین زمان تناوب یک سوم بلندترین امواج) ارائه شده نیز وجود دارند. تخمین‌های سرانگشتی برای این ارتباط بین زمان تناوب‌ها در جدول (۳-۲) ارائه شده است.

**جدول ۳-۲- روابط بین پارامترهای زمان تناوب موج**

| Tz/Tp | Ts/Tp | توضیح | γ |
|---|---|---|---|
| ۰/۶۷ | ۰/۸۰ | شرایط شدید منطقه شکست* | – |
| ۰/۷۴ | ۰/۸۸ | طیف پیرسون- موسکویچ** | ۱/۰ |
| ۰/۸۰ | ۰/۹۳ | طیف جانسواپ** | ۳/۳ |
| ۰/۸۷ | ۰/۹۶ | امواج دوراً از طوفان‌های دوردست** | ۱۰/۰ |

*بر اساس داده های به دست آمده در Ahrens (1987)

**تهیه شده توسط Goda (1987)

1- Shoaling

omoorepeyman.ir

**- انتخاب موج طرح در بررسی پایداری**

ارتفاع موجی که برای محاسبات پایداری به کار می‌رود به این‌که سازه صلب، نیمه صلب یا انعطاف‌پذیر باشد بستگی دارد. در مورد سازه‌های صلب که در صورت اعمال تنش اضافی امکان گسیختگی فاجعه‌آمیز آنها وجود دارد، ممکن است نیاز باشد تا طراحی بر اساس $H_1$ صورت بگیرد. در مورد سازه‌های نیمه صلب ممکن است نیاز باشد تا ارتفاع موج طرح بین $H_1$ و $H_{10}$ در نظر گرفته شود. سازه‌های انعطاف پذیر معمولا بر اساس $H_{10}$ یا $H_s$ طراحی می‌شوند.

**- داده‌های موج**

برای تهیه مشخصات امواج برای محاسبات مهندسی باید اطلاعات آماری کافی در طول یک دوره زمانی مناسب موجود باشد. به دلیل این‌که طراحی بیش‌تر پروژه‌های دریایی و ساحلی براساس آمار درازمدت امواج صورت می‌پذیرد، وجود اطلاعات درازمدت امواج ضروری است. داده‌های بلند مدت امواج به سه دسته کلی داده‌های ثبت شده، داده‌های مشاهده شده و داده‌های پیش‌بینی شده تقسیم‌بندی می‌شوند.

- **داده‌های ثبت شده** داده‌هایی هستند که توسط دستگاه‌های اندازه‌گیری موج همچون بویه‌های سطحی و ثبات‌های زیر سطحی (همانند ADCP) در نقاط خاصی جمع‌آوری شده‌اند. این داده‌ها برای استفاده طراحان معمولا پراکنده بوده و به مکان‌های خاصی محدود می‌شوند. در ایران نیز آمار و اطلاعات ثبت شده موج به اندازه کافی و در دوره زمانی مناسب اندازه‌گیری و ثبت نشده است. از سوی دیگر ممکن است هزینه در نظر گرفته شده برای پروژه و قیدهای زمانی، مانع برپاکردن یک برنامه ثبت موج دائمی که طی آن بتوان داده‌های کافی برای مطالعه قابل اطمینان تهیه نمود، شود.
- **داده‌های مشاهده شده** نیز معمولا به داده‌های اندازه‌گیری شده توسط ماهواره‌ها یا شناورها گفته می‌شود. این داده‌ها معمولا پراکنده بوده و دقت آنها باید با داده‌های اندازه‌گیری شده کنترل شود. بنابراین در بسیاری نقاط از داده‌های پیش‌بینی شده استفاده می‌شود.
- **داده‌های پیش‌بینی شده** موج با بهره‌گیری از روش‌های مناسب پیش‌بینی امواج و آمار ثبت شده باد، به صورت دراز مدت تولید می‌شوند. طبیعی است هر چه میزان دقت روش استفاده شده برای پیش‌بینی بیش‌تر باشد، طرح مورد نظر از قطعیت بیش‌تری برخوردار خواهد بود. برای پیش‌بینی مشخصات امواج با استفاده از پارامترهای باد سه دسته روش کلی وجود دارد که در ادامه توضیح داده می‌شوند.

دسته اول روش‌های پارامتری (روش‌های تجربی یا آیین نامه‌ای) می‌باشند. این روش‌ها نسبت به دیگر روش‌های پیش‌بینی موج ساده‌تر و سریع‌تر می‌باشند. مبنای اصلی روش‌های تجربی یک سری روابط بین پارامترهای بدون بعد موج است. در این روش‌ها بر اساس قوانین مکانیک سیالات، اعداد بدون بعدی ساخته شده و ضرایب تجربی روابط با استفاده از اندازه‌گیری‌های میدانی تعیین می‌شوند. روش‌های تجربی معمولا در بررسی‌های اولیه در طراحی پروژه استفاده می‌شوند. این روش‌ها چون بر اساس اطلاعات میدانی مکان‌های خاصی توسعه یافته‌اند، از دقت خوبی برخوردار نمی‌باشند. از بین روش‌های تجربی می‌توان به روش‌های CEM، SPM، Wilson و SMB اشاره نمود.

omoorepeyman.ir

دسته دوم روش‌های پیش‌بینی موج، روش‌های ابزار محاسبات نرم می‌باشند. این روش‌ها در دهه‌های اخیر در مدل‌سازی سامانه‌های پیچیده مهندسی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. این روش‌ها ممکن است مبتنی بر شبکه‌های عصبی مصنوعی[1]، سامانه‌های استنباط فازی[2] یا ترکیب سامانه‌ی استنباط فازی با الگوریتم‌های بهینه‌سازی تکاملی[3] نظیر الگوریتم ژنتیک باشد. بیش‌تر این روش‌ها مبتنی بر اصول یادگیری و بهینه‌سازی پارامترها و سپس استفاده از آن در موردهای مشابه می‌باشند. استفاده از این روش‌ها برای پیش‌بینی مشخصات امواج در مرحله پژوهش قرار داشته و تاکنون عملیاتی نشده است. یکی از معایب بزرگ این روش‌ها عدم قابلیت تعمیم‌پذیری آنهاست.

دسته سوم روش‌های پیش‌بینی امواج که دقیق‌ترین آنها می‌باشد، مدل‌های طیفی – عددی می‌باشند. در دهه‌های اخیر با توسعه رایانه و بالا رفتن توان پردازنده‌ها، مدل‌های ریاضی (عددی) پیچیده‌ای برای پیش‌بینی مشخصات امواج ناشی از باد تهیه شده‌اند. مدل‌های نسل به نسل طیفی بر پایه ایده‌های رشد طیفی موج بنا نهاده شده و فرآیندهای فیزیکی گسترده‌ای را در بر می‌گیرند. برای پیش‌بینی امواج در شرایط گوناگون مدل‌های عددی متفاوتی ارائه شده است که می‌توان به مدل‌های WAM[4]، WAVEWATCH III، SWAN[5] و Mike21 اشاره نمود. شاخص‌ترین منبع موجود در این زمینه، نتایج پروژه «شبیه‌سازی امواج آب‌های ایران» است که توسط مرکز ملی اقیانوس شناسی و به سفارش سازمان بنادر و کشتیرانی انجام شده است. در این پروژه با استفاده از اطلاعات سری زمانی باد حاصل از اجرای مدل‌های هواشناسی و توسط مدل طیفی نسل سوم MIKE21 SW سری زمانی ۱۰ ساله امواج تولید شده است که اطلاعات مربوط به هر منطقه را می‌توان تهیه نموده و از نتایج آن استفاه کرد. برای مشاهده برخی از نتایج این پروژه در پهنه‌های آبی دریای مازندران و خلیج فارس می‌توان به بخش‌های ۱-۳-۱-۵ و ۱-۳-۳-۵ مراجعه کرد.

**- امواج در حال شکست (امواج شکنا)**

ارتفاع امواجی که با استفاده از پیش‌بینی به دست می‌آید باید در برابر بیش‌ترین موج در حال شکستی که می‌تواند در ساختگاه مورد نظر با عمق مشخص (در حالت تراز آب ساکن طراحی) و شیب بستر نزدیک ساحل رخ دهد، کنترل گردد. شکل (۳-۳۹) (Weggel 1972) بیشینه ارتفاع موج در حال شکست ($H_b$) را بر حسب عمق پای سازه ($d_s$)، شیب بستر نزدیک ساحل (m) و زمان تناوب موج نشان می‌دهد. بنابراین ارتفاع موج طراحی، کوچک‌تر از بیشینه ارتفاع موج در حال شکست و یا ارتفاع موج پس‌بینی شده خواهد بود.

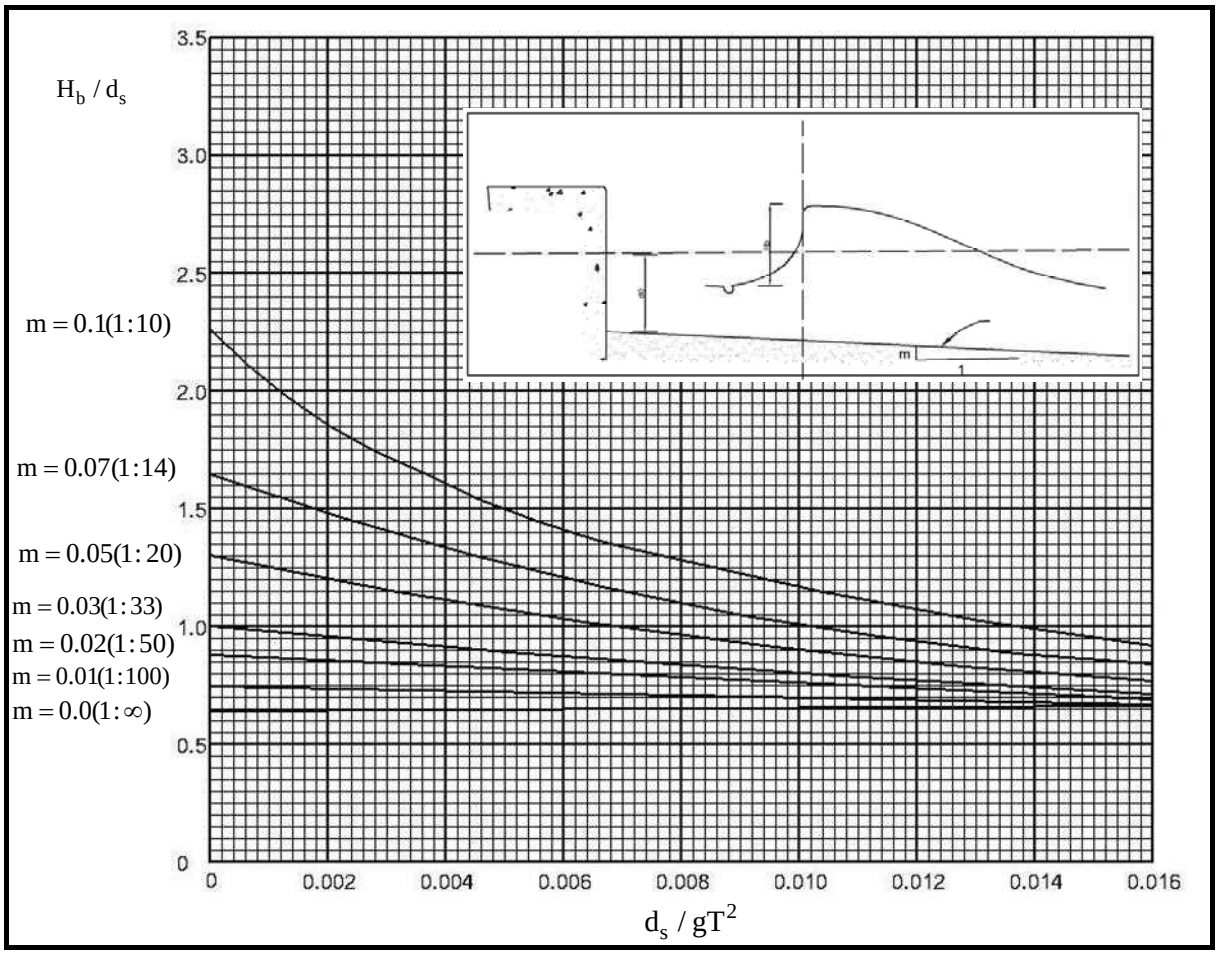
در شرایط حدی که معمولا برای طراحی استفاده می‌شود، $H_{mo}$ ممکن است با شرایط موج در حال شکست محدود گردد. یک حد بالایی منطقی برای $H_{mo}$ توسط رابطه زیر داده می‌شود.

$$(H_{mo})_{max} = 0.10 L_p \tanh(\frac{2\pi d}{L_p}) \qquad (۲-۳)$$

که $L_P$ طول موج محاسبه شده با استفاده از $T_p$ و d می‌باشد.

1- Artificial Neural Network (ANN)
2- Fuzzy Inference System (FIS)
3- Evolutionary Optimization
4- WAve Model
5- Simulating WAves Nearshore

omoorepeyman.ir




**شکل ۳-۳۹- ارتفاع موج‌شکن‌های طرح**

**- تحلیل مقادیر حدی**

بسیاری از پدیده‌هایی که در شاخه‌های مختلف مهندسی و علوم مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند، دارای طبیعت تصادفی می‌باشند. از این رو نمی‌توان با قاطعیت در مورد وقوع یا عدم وقوع و یا شیوه رفتار دقیق آنها در زمان دلخواه اظهار نظر کرد. با این وجود، به کمک روش‌های آماری و احتمالاتی این امکان فراهم شده است تا بتوان از روی رفتار گذشته این پدیده‌ها و با توجه به دیگر عوامل تاثیرگذار، قوانینی را در مورد احتمال وقوع آنها و نیز برخی شاخصه‌های مرتبط (همچون مقادیر میانگین، بیشینه و غیره) استخراج نمود.

تحلیل مقادیر حدی[1]، روشی علمی است که بر مبنای آن می‌توان بین مقادیر یک پدیده تصادفی با احتمال یا دوره بازگشت وقوع آن ارتباط برقرار کرد. تاکنون روابط زیادی در این زمینه توسط پژوهش‌گران ارائه شده است که به دلیل تفاوت ماهیت پدیده‌های تصادفی با یکدیگر، هر کدام از این روابط (که به اصطلاح به توابع توزیع احتمالاتی مشهورند) برای پدیده یا پدیده‌های خاصی (همچون سیل، باران، موج، باد و غیره) قابل کاربرد هستند.

1- Extreme Value Analysis

omoorepeyman.ir

در بسیاری از پروژه‌های مهندسی، با توجه به اندازه‌گیری‌ها، مشاهدات یا مدل‌سازی‌های پیشین یک پدیده، یکی از توابع توزیع توصیه شده که بیش‌ترین هماهنگی را با مقادیر موجود داشته باشد به عنوان الگوی رفتار پدیده مورد نظر انتخاب می‌شود. معمولا در توابع توزیع، پارامترهایی نیز وجود دارند که با تغییر آنها می‌توان میزان برازش تابع توزیع به داده‌ها را افزایش داد. در نهایت می‌توان به ازای دوره‌های بازگشت دلخواه (حتی دوره‌های بزرگ‌تر از آنچه که داده‌های آن موجود است)، مقادیر مورد نظر را از تابع توزیع استخراج کرد. البته نباید انتظار داشت که با استفاده از داده‌های مربوط به یک بازه زمانی محدود بتوان به ازای دوره‌های بازگشت بسیار بزرگ، مقادیر دقیقی به دست آورد.

وقوع موج که معمولا مهم‌ترین پارامتر طراحی در مسایل مهندسی سواحل به شمار می‌رود، پدیده‌ای تصادفی است. بر همین اساس، بسیاری از روابط مورد استفاده در طراحی ساحلی به گونه‌ای این عدم قطعیت را در نظر می‌گیرند. به کارگیری مفاهیمی همچون ارتفاع موج موثر، بیشینه ارتفاع موج محتمل، دوره بازگشت و درصد ریسک قابل قبول در روابط و فرمول‌های طراحی به همین دلیل می‌باشد.

- **انتخاب داده‌های مورد استفاده در تحلیل مقادیر حدی**

سه روش برای انتخاب داده‌های مورد استفاده در تحلیل مقادیر حدی متداول است. در روش اول از مقادیر احتمال تجمعی کل داده‌ها (مشاهداتی یا محاسباتی) برای برازش به توابع توزیع پیشنهادی استفاده می‌شود. با مشخص شدن بهترین تابع توزیع، سرعت باد یا ارتفاع موج طراحی با دوره بازگشت دلخواه را می‌توان از برون‌یابی تابع توزیع در سطح احتمال متناظر با دوره بازگشت رویداد به دست آورد. این روش، روش تابع توزیع تجمعی نامیده می‌شود. بر خلاف این روش، در دو روش دیگر تنها از مقادیر بیشینه داده‌ها در تحلیل حدی استفاده می‌شود. در روش بیشینه‌های سالانه (AMS)[1] بزرگ‌ترین مقدار داده‌های هر سال وارد محاسبات می‌شود و در روش بیشینه‌های جزیی (PDS)[2] مقادیر بیشینه هر رویداد (طوفان) در محاسبات منظور می‌شود. در روش اخیر، رویداد به قسمت‌هایی از منحنی سرعت باد (یا ارتفاع موج) ـ زمان اطلاق می‌شود که بالای یک سرعت باد (یا ارتفاع موج) آستانه[3] انتخابی قرار داشته باشند. این روش، روش قله بالای آستانه (POT)[4] نیز نامیده می‌شود. طبق توصیه راهنمای مهندسی ساحل آمریکا، مناسب نیست که برای تحلیل مقادیر حدی باد از روش اول یعنی به کارگیری تمام داده‌ها استفاده شود. روش بیشینه‌های سالانه نیز زمانی پیشنهاد می‌شود که طول دوره اطلاعات موجود بیش از ۲۰ سال باشد. افزون بر این در روش اخیر احتمال دارد اثر برخی از طوفان‌های بزرگ به دلیل قرار گرفتن در یک سال نادیده گرفته شود. بنابراین جهت استخراج داده‌های حدی از روش بیشینه‌های جزیی استفاده می‌شود.

- **توزیع‌های احتمالاتی**

همان‌گونه که پیش‌تر گفته شد، از بین توابع توزیع توصیه شده برای یک پدیده ویژه، هرکدام که بهترین برازش را به داده‌های موجود داشته باشد مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این بخش توزیع‌های آماری مناسب برای تحلیل حدی و روابط آماری مربوط ارائه می‌گردد. در تمام روابط، پارامترها و علایم اختصاری استفاده شده عبارتند از:

$f(x)$: تابع چگالی احتمال

1- Annual Maximum Series
2- Partial Distribution Series
3- Threshold
4- Peaks Over Threshold

omoorepeyman.ir

$F(x)$: تابع توزیع تجمعی

$x_p$: مقدار متغیر x متناظر با احتمال عدم فزونی p

$\xi$: پارامتر موقعیت[۱]

$\alpha$: پارامتر مقیاس[۲]

$\kappa$: پارامتر شکل[۳]

**توزیع گامبل[۴]:**

$$\alpha > 0 \ , -\infty < x < \infty$$

$$f(x) = \frac{1}{\alpha}\exp[-\frac{x-\zeta}{\alpha} - \exp(-\frac{x-\zeta}{\alpha})]$$

$$F(x) = \exp[-\exp(-\frac{x-\zeta}{\alpha})]$$

$$x_p = \zeta - \alpha \ln[-\ln(p)]$$

توزیع گامبل کوتاه شده[۵]، توزیع اصلاح شده‌ی گامبل است که با محدود کردن کرانه پایین توزیع به مقدار آستانه ($x_0$) به‌دست می‌آید. تابع چگالی احتمال ($g(x)$) و تابع توزیع تجمعی ($G(x)$) و مقدار متغیر x متناظر با احتمال عدم فزونی p ($xp$) از روابط زیر به دست می‌آید که در آنها $f(x)$ تابع چگالی احتمال و $F(x)$ تابع توزیع تجمعی توزیع گامبل می‌باشند.

$$g(x) = \frac{f(x)}{1-F(x_0)}$$

$$G(x) = \frac{f(x)-f(x_0)}{1-F(x_0)}$$

$$x_p = \zeta - \alpha \ln[-\ln(F(x_0) - (1-F(x_0))p)]$$

**توزیع ویبول[۶]:**

$$\alpha > 0 \ , k > 0 \ , \ \zeta < x < \infty$$

$$f(x) = \frac{k}{\alpha}(\frac{x-\zeta}{\alpha})^{k-1}\exp[-(\frac{x-\zeta}{\alpha})^k]$$

$$F(x) = 1 - \exp[-(\frac{x-\zeta}{\alpha})^k]$$

$$x_p = \zeta + \alpha[-\ln(1-p)]^{1/k}$$

$$F(x) = \exp[-(\frac{x-\zeta}{\alpha})^{-k}]$$

$$x_p = \zeta + \alpha[-\ln(p)]^{-1/k}$$

1- Location Parameter
2- Scale Parameter
3- Shape Parameter
4- Gumbel Distribution
5- Truncated Gumbel Distribution
6- Weibull Distribution

omoorepeyman.ir

**توزیع لوگ نرمال[1]:**

در صورتی متغیر x دارای توزیع لوگ نرمال است که $Y = \ln(x - \zeta)$ دارای توزیع نرمال باشد. $\mu_y$ و $\sigma_y^2$ به ترتیب میانگین و واریانس Y می‌باشند.

$$\sigma_y > 0 \ , \ x < \zeta$$

$$f(x) = \frac{1}{(x-\zeta)\sigma_y\sqrt{2\pi}} \exp[-\frac{1}{2}(\frac{\ln(x-\zeta)-\mu_y}{\sigma_y})^2]$$

$$F(x) = \Phi(\frac{\ln(x-\zeta)-\mu_y}{\sigma_y})$$

$$x_p = \zeta + \exp[(\mu_y + \sigma_y \Phi^{-1}(p)]$$

به گونه‌ای که $\Phi(0)$ و $\Phi^{-1}(0)$ توابع $F(x)$ و $x_p$ در توزیع نرمال می‌باشند.

### ۳-۳-۱-۳- انتخاب پیکربندی های مناسب برای دیوار ساحلی

شکل‌های مختلفی از دیوار ساحلی وجود دارد. در این میان می‌توان به دیوارهای دریایی با وجه منحنی، وجه پلکانی، ترکیب پلکانی و منحنی و دیوارهای دریایی سنگریزه‌ای اشاره نمود.

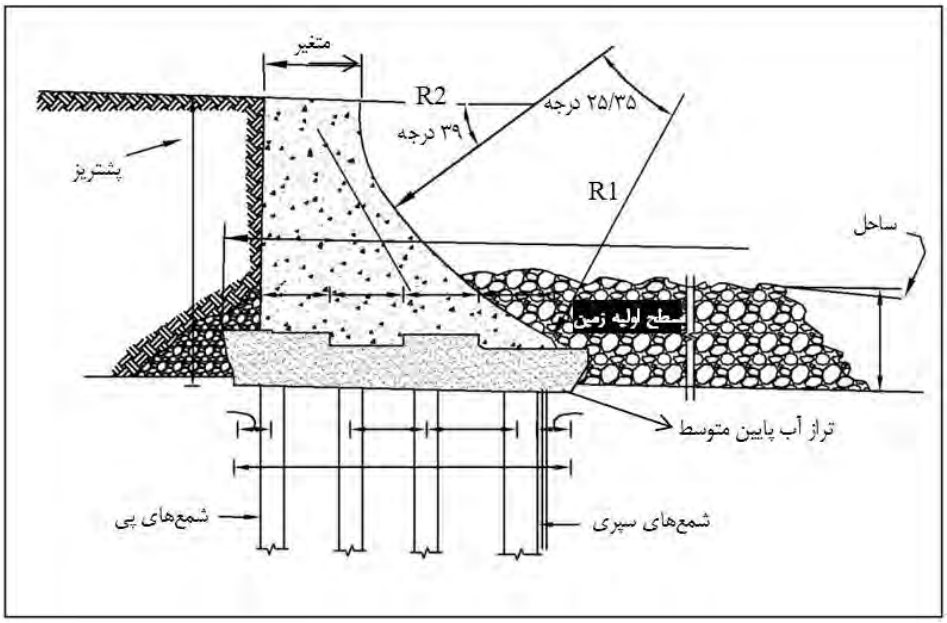
دیوارهای دریایی با وجه منحنی به منظور تطابق با ضربه و بالا روی امواج بزرگ طراحی می‌شوند و خشکی را در برابر امواج محافظت می نمایند. وقتی که موج به دیوار ساحلی منحنی برخورد می‌کند نیروی موج توسط سطح منحنی آزاد شده و به سمت دریا باز می‌گردد. برای مقاومت در برابر امواج معمولا نیاز به سازه‌های حجیم با پی‌سازی کافی می‌باشد. شکل (۳-۴۰) نمونه‌ای از مقطع این دیوارها را نشان می‌دهد.

دیوارهای دریایی پلکانی برای محدود کردن بالاروی و روگذری امواج طراحی می‌شوند. وجه پلکانی این دیوارها به صورت مانعی در برابر امواج عمل می‌نماید. این نوع دیوارها معمولا کم حجم‌تر از دیوارهای منحنی شکل هستند ولی ملزومات کلی پایداری سازه‌ای این دیوارها شبیه دیوارهای منحنی می‌باشد. شکل (۳-۴۱) مقطع یک نمونه دیوار ساحلی پلکانی را نشان می‌دهد.

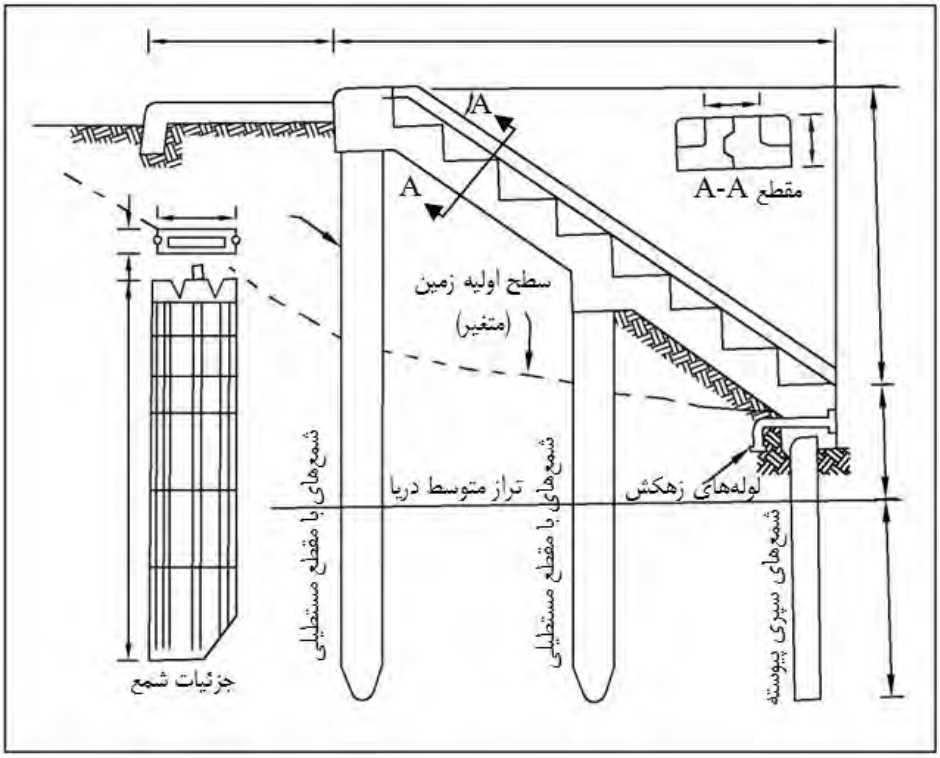
برخی مواقع از ترکیب شکل‌ها پلکانی و منحنی استفاده می‌شود تا از مزایای هر دو نوع دیوار استفاده شود. نمونه‌ای از مقطع این دیوارها در شکل (۳-۴۲) نشان داده شده است. نوع دیگری از دیوارهای دریایی، دیوار ساحلی سنگریزه‌ای می‌باشد. این نوع دیوار به طور کلی یک موج‌شکن سنگریزه‌ای است که مستقیما در ساحل ساخته می‌شود. اندازه سنگ‌ها با روش‌های مرسوم پایداری سنگ محاسبه می‌شوند. سطح زبر این نوع دیوارها به خوبی انرژی امواج را جذب و مستهلک کرده و بازتاب و آبشستگی را حداقل می‌نماید. نمونه‌ای از مقطع این نوع دیوار ساحلی در شکل (۳-۴۳) نشان داده شده است.

omoorepeyman.ir

1- Log Normal Distribution

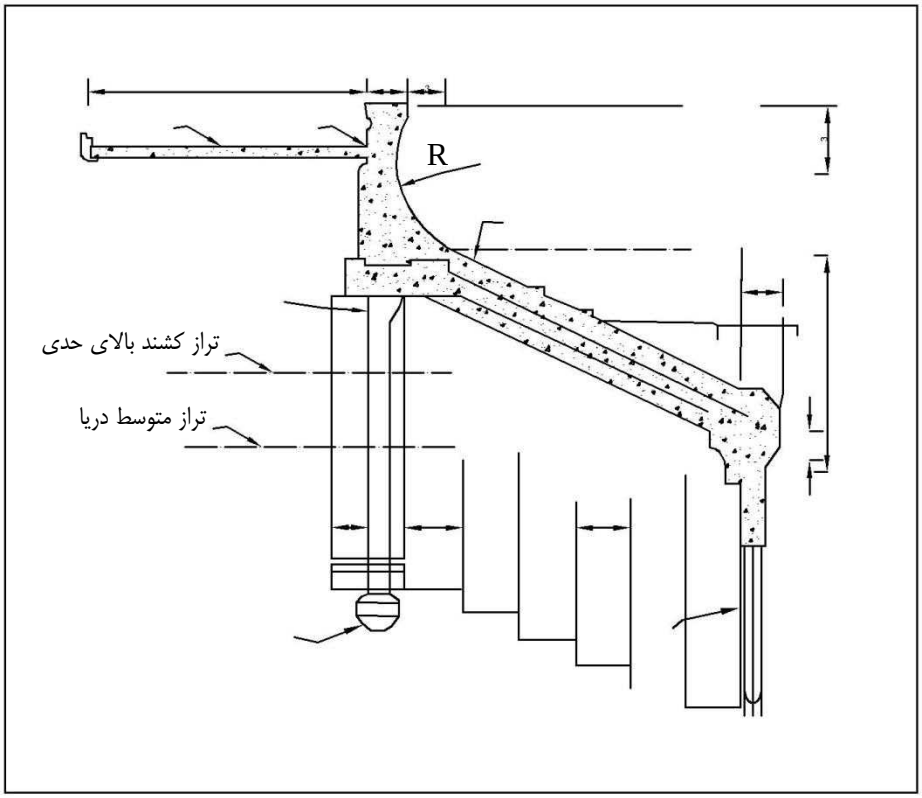



**شکل ۳-۴۰- دیوار ساحلی با وجه منحنی**

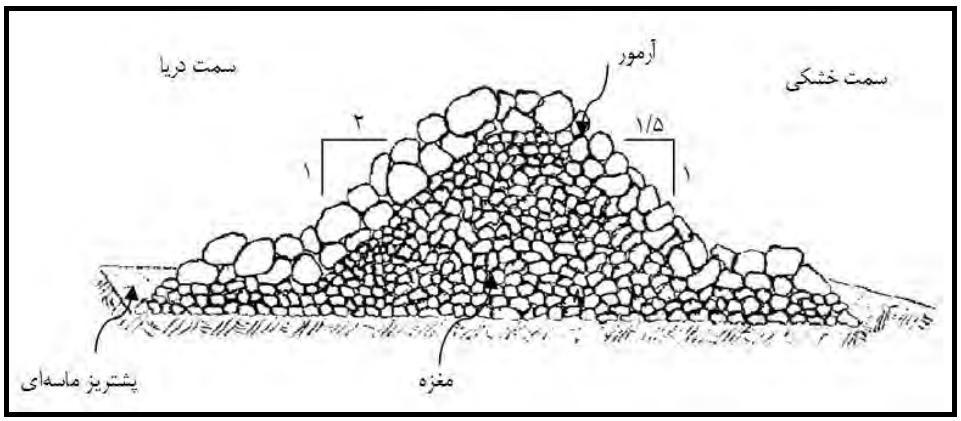



**شکل ۳-۴۱- طرح شماتیک دیوار ساحلی پلکانی**

omoorepeyman.ir




**شکل ۳-۴۲- طرح شماتیک ترکیب شکل‌های منحنی و پلکانی در دیوار ساحلی**




**شکل ۳-۴۳- طرح شماتیک یک دیوار ساحلی سنگریزه‌ای**

### ۳-۳-۱-۴- طراحی پی شمعی

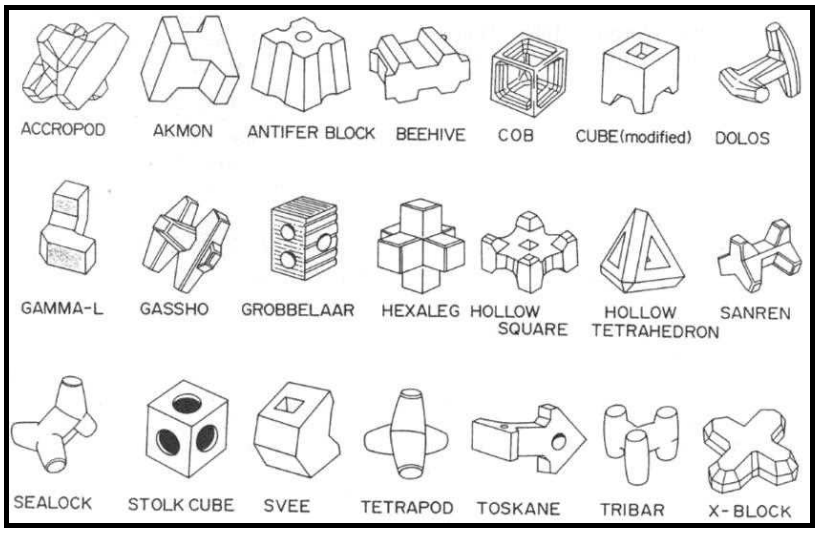
طراحی پی شمعی این سازه‌ها با استفاده از رهنمودهای ارائه شده در EM ۱۱۱۰-۲-۲۹۰۰ انجام می‌شود.

### ۳-۳-۱-۵- انتخاب نوع و اندازه مناسب قطعات آرمور (دیوار ساحلی سنگریزه‌ای و حفاظت پنجه)

سازه‌ها می‌توانند با استفاده از اجسام یک‌پارچه خیلی بزرگ و یا با استفاده از مجموعه‌ای از قطعات کوچک‌تر دانه‌بندی شده که به صورت تصادفی و یا مرتب چیده شده‌اند، ساخته شوند. نمونه‌هایی از این دست عبارتند از: دیوارهای دریایی بزرگ با بتن مسلح، سنگچین‌های تشکیل شده از سنگریزها یا سنگ‌های معدنی و پوشش‌های محافظ با بلوک‌های بتنی هندسی که نمونه‌هایی از آنها در شکل پایین نشان داده شده‌اند.

omoorepeyman.ir

بلوک‌های حجیم یک‌پارچه معمولا مقاومت اولیه خوبی از خود نشان می‌دهند ولی فاقد انعطاف‌پذیری هستند و بنابراین ممکن است نتوانند نشست‌های نامتقارن و یا آبشستگی در پنجه را تحمل نمایند که به گسیختگی زود هنگام سازه منجر می‌شود. از سوی دیگر قطعات آرمور سنگی یا بتنی که به صورت تصادفی چیده شده‌اند در برابر حمله امواج ممکن است جابجا شده و یا نشست نموده و در نتیجه تا یک نقطه در شرایط طراحی دارای مقاومت کافی می‌باشند. عموما این سازه‌ها در صورت وارد شدن صدمات جزیی، دچار تخریب شدید نمی‌گردند. روابط ارائه شده در این بخش برای طراحی اولیه سازه‌های بزرگ مناسب می‌باشند. طراحی نهایی نیازمند صحت‌سنجی پایداری و عملکرد سازه توسط مطالعات مدل‌های آزمایشگاهی می‌باشد. توصیه‌های طراحی در این بخش می‌تواند برای طراحی نهایی سازه‌های کوچک که پیامد گسیختگی ناچیز است استفاده گردد. در مورد این سازه‌ها بودجه پروژه بسیار محدود بوده و معمولا هزینه استفاده از مطالعات آزمایشگاهی وجود ندارد.




**شکل ۳-۴۴- انواع آرمور بتنی که در سازه‌های ساحلی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Burcharth, 1993)**

**جدول ۳-۳- ضرایب پیشنهادی برای محاسبه وزن قطعات آرمور (امواج درحال شکست)**

| نوع آرمور | | n[الف] | جاگذاری | شیب (cot θ) | $K_D$ |
|---|---|---|---|---|---|
| سنگ | گردگوشه هموار | ۲ | تصادفی | ۱/۵ تا ۳ | ۱/۲ |
| | گردگوشه هموار | بزرگ‌تر از ۳ | تصادفی | ۱/۵ تا ۳ | ۱/۶ |
| | زبر زاویه دار | ۱ | تصادفی | ۱/۵ تا ۳ | استفاده نمی‌شود |
| | زبر زاویه دار | ۲ | تصادفی | ۱/۵ تا ۳ | ۲ |
| | زبر زاویه دار | بزرگ‌تر از ۳ | تصادفی | ۱/۵ تا ۳ | ۲/۲ |
| | زبر زاویه دار | ۲ | مخصوصب | ۱/۵ تا ۳ | ۷ تا ۲۰ |
| | سنگریز دانه‌بندی شدهپ | ت۲ | تصادفی | ۲ تا ۶ | ۲/۲ |
| آرمورهای بتنی | تتراپاد | ۲ | تصادفی | ۱/۵ تا ۳ | ۷ |
| | تری پاد | ۲ | تصادفی | ۱/۵ تا ۳ | ۹ |
| | تری پاد | ۱ | یکنواخت | ۱/۵ تا ۳ | ۱۲ |
| | دالاس | ۲ | تصادفی | ۲ تا ۳ث | ج۱۵ |

الف- n برابر است با تعداد کره‌های معادل با وزن سنگ میانه که در ضخامت لایه قرار می‌گیرد.

ب- در جاگذاری مخصوص سنگ به گونه ای قرار می‌گیرد که محور طولانی آن عمود بر وجه شیب باشد.

پ- سنگریز دانه‌بندی شده در مکان‌هایی که ارتفاع موج بیش از ۱/۵ متر (۵ فوت) باشد، توصیه نمی‌گردد.

ت- طبق تعریف ضخامت سنگریز دانه‌بندی شده دو برابر قطر کم‌ترین اندازه W50 می‌باشد.

ث- پایداری دالاس روی شیب‌های تندتر از ۱ به ۲ باید با استفاده از مدل‌های آزمایشگاهی صحت‌سنجی شود.

ج- این مقدار برای طراحی در حالات بدون خسارت (۳ تا ۵ درصد قطعات حرکت می‌کنند) در نظر گرفته می‌شود. چنانچه حرکت کم‌تر قطعات آرمور (کم‌تر از ۲ درصد) مد نظر باشد، باید مقدار KD حدودا ۵۰ درصد کاهش یابد.

omoorepeyman.ir

رابطه‌ای که اغلب برای محاسبه پایداری قطعات آرمور به کار می‌رود، رابطه هادسن (Hudson, 1961) می‌باشد:

$$W = \frac{\gamma_r H^3}{K_D \left(\frac{\gamma_r}{\gamma_w} - 1\right) \cot\theta} \qquad (۳-۳)$$

که در آن W وزن مورد نیاز برای یک قطعه آرمور، $\gamma_r$ وزن مخصوص قطعات آرمور، H ارتفاع موج تک رنگ[1]، KD ضریب پایداری ارائه شده در جدول (۳-۳)، $\gamma_w$ وزن مخصوص آب در محل پروژه و $\theta$ شیب سازه با افق می‌باشد. وزن سنگ‌های لایه پوششی می‌تواند بین 0.75W تا 1.25W باشد و حداقل ۵۰ درصد قطعات باید دارای وزن W باشند. هنگامی که مقدار H کم‌تر از ۱/۵ متر (۵ فوت) بوده و روگذری چندانی از سازه وجود ندارد، می‌توان از رابطه (۳-۳) برای طراحی اولیه و نهایی استفاده نمود. برای امواج بلندتر، استفاده از مدل‌های آزمایشگاهی برای طراحی بهینه توصیه می‌گردد. وزن قطعات که از رابطه فوق برای امواج تک رنگ به دست می‌آید باید در مدل‌های آزمایشگاهی با استفاده از شرایط طیفی موج، صحت سنجی شود.

رابطه (۳-۳) را می‌توان به صورت عدد پایداری نیز نشان داد. چنانچه رابطه (۳-۳) را به صورت زیر بنویسیم:

$$N_s = \frac{H}{\left(\frac{W}{\gamma_r}\right)^{\frac{1}{3}} \left(\frac{\gamma_r}{\gamma_w - 1}\right)} \qquad (۴-۳)$$

مشاهده می‌شود که:

$$N_S = (K_D \cot\theta)^{\frac{1}{3}} \qquad (۵-۳)$$

با استفاده از روابط (۳-۴) و (۳-۵) مقدار W به دست می آید.

برای امواج نامنظم روی پوشش سنگچین تصادفی، عدد پایداری به صورت زیر توصیه می‌گردد:

$$N_{SS} = 1.14 \cot\theta^{\frac{1}{2}} N_{SS} \qquad (۶-۳)$$

که Nss عدد پایداری با سطح خسارت صفر و ضریب ۱/۱۴ از مطالعات Ahrens 1981a به دست آمده است.

بر اساس نتایج مطالعات آزمایشگاهی در Van der meer and Pilarczyk (1987) نیز دو رابطه پایداری ارائه شده است. که برای امواج شیرجه ای[2]:

$$N_S = 6.2 P^{0.18} \left(\frac{S}{\sqrt{N}}\right)^{0.2} \xi_Z^{0.5} \qquad (۷-۳)$$

و برای امواج غلطشی[3] و یا ناشکنا:

$$N_S = 1.0 P^{-0.13} \left(\frac{S}{\sqrt{N}}\right)^{0.2} \sqrt{\cot\theta}\, \xi_Z^P \qquad (۸-۳)$$

1- Monochromatic
2- Plunging
3- Surging

omoorepeyman.ir

که در آنها P ضریب تراوایی، S سطح خسارت و N تعداد امواج می‌باشد. مقدار P بین ۰/۱ برای پوشش محافظ سنگریزه‌ای روی شیب ناتراوا تا ۰/۶ برای یک توده سنگریز بدون مغزه متغیر است. برای شروع خسارت، در مورد شیب‌های ۱:۲ یا ۱:۳ مقدار s برابر ۲ و برای شیب‌های ۱:۴ تا ۱:۶ مقدار s برابر ۳ می‌باشد. تخمین تعداد امواج (N) مشکل بوده اما روابط (۳-۷) و (۳-۸) برای مقادیر N بین ۱۰۰۰ تا ۷۰۰۰ متغیر می‌باشند. بنابراین انتخاب مقدار ۷۰۰۰ برای N موجب تخمین محافظه کارانه از پایداری می‌گردد. برای سازه‌هایی به جز پوشش‌های محافظ، مقادیر P و S در Van der meer (1988 a,b) ارائه شده است.

روابط (۳-۷) و (۳-۸) برای شرایط آب عمیق تهیه شده و بنابراین تاثیر کاهش ارتفاع موج ناشی از شکست را شامل نمی‌شوند. بنابراین Van der meer یک ضریب تصحیح آب کم عمق به صورت زیر ارائه کرده است:

(۳-۹)

که در آن $H_2$ ارتفاع موج با احتمال تجاوز ۲ درصد می‌باشد. در آب عمیق $H_2 = 1.40\, H_S$ و بنابراین تصحیحی به رابطه (۲-۹) وارد نمی‌شود.

**- ضخامت لایه آرمور**

بر اساس SPM، ضخامت لایه آرمور را می‌توان با رابطه زیر به دست آورد:

$$r = nk_\Delta \left(\frac{W}{W_r}\right)^{\frac{1}{3}} \qquad (۳-۱۰)$$

که در این رابطه:

r: ضخامت لایه

n: تعداد قطعات آرمور موجود در لایه آرمور. معمولا n=۲ می‌باشد.

$k_\Delta$: ضریب لایه (مطابق جدول ۳-۴)

**جدول ۳-۴- تخلخل و ضرایب لایه برای انواع قطعات آرمور**

| قطعه آرمور | n | جاگذاری | $K_\Delta$ | P (%) |
|---|---|---|---|---|
| سنگ (هموار) | ۲ | تصادفی | ۱ | ۳۸ |
| سنگ (زبر) | ۲ | تصادفی | ۱ | ۳۷ |
| سنگ (زبر) | بزرگ‌تر یا مساوی ۳ | تصادفی | ۱ | ۴۰ |
| سنگریز دانه‌بندی شده | الف۲ | تصادفی | موجود نیست | ۳۷ |
| تتراپاد | ۲ | تصادفی | ۱/۰۴ | ۵۰ |
| تری پار | ۲ | تصادفی | ۱/۰۲ | ۵۴ |
| تری پار | ۱ | یکنواخت | ۱/۱۳ | ۴۷ |
| دالاس | ۲ | تصادفی | ۰/۹۴ | ۵۶ |

الف- طبق تعریف، ضخامت سنگریز برابر با ۲ برابر مکعب معادل $W_{50}$ و یا ۱/۲۵ برابر $W_{100}$ می‌باشد.

برای تخمین مقادیر کار، تعداد قطعات آرمور که در سطحی با مساحت A قرار می‌گیرند برابر است با:

$$N_r = Ank_\Delta \left(1 - \frac{P}{100}\right)\left(\frac{w_r}{W}\right)^{\frac{2}{3}} \qquad (۳-۱۱)$$

که P تخلخل میانگین لایه پوششی (جدول ۳-۴) می‌باشد.

omoorepeyman.ir

**- ضخامت سنگریز دانه‌بندی شده[1]**

ضخامت لایه برای سنگریز دانه‌بندی شده باید حداقل ۲ برابر قطر اسمی سنگ‌های با وزن $W_{50}$ باشد. قطر اسمی، ریشه سوم حجم سنگ می‌باشد. افزون بر این، $r_{min}$ باید ۲۵ درصد بزرگ‌تر از قطر اسمی بزرگ‌ترین قطعه سنگ در لایه بوده و حداقل ضخامت لایه ۱ فوت می‌باشد. بنابراین:

$$r_{min} = \max\left\{2.0\left(\frac{W_{50,min}}{\gamma_r}\right)^{\frac{1}{3}};1.25\left(\frac{W_{100}}{\gamma_r}\right)^{\frac{1}{3}};1ft\right\} \qquad (۱۲-۳)$$

$r_{min}$ حداقل ضخامت لایه عمود بر شیب می‌باشد. با افزایش ضخامت لایه مقاومت لایه پوششی در برابر امواج بزرگ‌تر از موج طرح افزایش می یابد. دانه‌بندی گسترده به شرط این‌که اندازه $W_{50}$ برای مشخص کردن لایه استفاده شود، تاثیر کمی بر پایداری دارد. برای تعیین محدوده دانه‌بندی رهنمودهای زیر وجود دارد (EM 1110-2-):

۱- کم‌ترین مقدار $W_{50}$ ($W_{50,min}$) باید بر اساس ملزومات پایداری با استفاده از رابطه (۳-۳) تعیین شود.

۲- حد بالایی بزرگ‌ترین سنگ‌ها ($W_{100,max}$) باید برابر بزرگ‌ترین اندازه‌ای باشد که می‌تواند به صورت اقتصادی از منابع قرضه تامین گردد اما نباید بزرگ‌تر از ۴ برابر $W_{50,min}$ باشد.

۳- حد پایین سنگ‌های $W_{100}$ ($W_{100,min}$) نباید کم‌تر از ۲ برابر $W_{50,min}$ باشد.

۴- حد بالای سنگ‌های $W_{50}$ (W50 , max) تقریبا برابر ۱/۵ برابر ($W_{50,min}$) می‌باشد.

۵- حد پایین سنگ‌های $W_{15}$ ($W_{15,min}$) باید تقریبا برابر ۰/۴ برابر ($W_{50,min}$) باشد.

۶- حد بالای سنگ‌های $W_{15}$ ($W_{15,max}$) باید براساس ملزومات موردنیاز لایه فیلتر انتخاب شود (EM 1110-2-1901). این مقدار باید کمی بیش از ($W_{50,min}$) باشد.

۷- حجم توده‌ای سنگ‌های سبک‌تر از $W_{15,min}$ در یک دانه‌بندی نباید بیش از حجم فضاهای خالی در پوشش محافظ بدون این سنگ‌های سبک‌تر باشد. در بسیاری موارد محدودیت‌های منابع قرضه موجود، با مشخصات ذکر شده در بالا متفاوت است. در این موارد، طراح باید با قضاوت مهندسی دانه‌بندی پوشش را انتخاب نماید و در مورد انتخاب اندازه ($W_{50,min}$) دقت بیش‌تری نماید. برای نمونه، چنانچه $W_{50}$ انتخاب شده سنگین‌تر از $W_{50}$ مورد نیاز باشد، ممکن است دانه‌بندی گسترده‌تر نسبت به موارد توصیه شده مناسب باشد. در مواردی که دانه‌بندی سنگریز خیلی گسترده باشد ممکن است جداشدگی[2] مشکلاتی ایجاد نماید.

**- پایداری حفظ شده**

یکی از ویژگی‌های بارز سنگچین‌هایی که به صورت تصادفی چیده شده‌اند، قابلیت آنها در نشست مجدد و انطباق دوباره در شرایط امواجی است که خسارت‌های جزیی ایجاد می‌کنند. این ویژگی پایداری حفظ شده[3] یا مقاومت حفظ شده نامیده می‌شود. سازه‌هایی که با قطعات منظم یا یکنواخت چیده شده همانند بلوک‌های بتنی ساخته شده اند، عموما دارای پایداری حفظ شده کمی هستند و چنان‌که در معرض امواج بزرگ‌تر از شرایط طرح قرار بگیرند ممکن است دچار گسیختگی (خرابی شدید) گردند.

1- Graded Riprap
2- Segregation
3- Reserve Stability

omoorepeyman.ir

ضریب پایداری ($k_\Delta$) مربوط به شرایط موج طرح، تا ۵ درصد خسارت را مجاز می شمرد. جدول (۳-۵) شامل مقادیر ارتفاع امواجی است که موجب افزایش سطح خسارت می‌شود. ارتفاع امواج بر حسب ارتفاع موج با خسارت صفر ($H_D$ = ۰) که در رابطه (۳-۳) استفاده شده بیان شده‌اند. اگر قطعات آرمور که اندازه آنها بر اساس $H_D$ = ۰ به دست آمده در معرض امواج بزرگ‌تر قرار گیرند، خسارت‌هایی در محدوده ارائه شده ایجاد می شود. اگر سنگ های موجود در یک منطقه سبک تر از مقداری باشند که بر اساس ارتفاع موج در منطقه محاسبه شده است می‌توان ارتفاع موج با خسارت صفر را برای سنگ موجود محاسبه نموده و برای تخمین میزان خسارت برای سنگ‌های موجود از نسبت‌های اشاره شده استفاده کرد. همه مقادیر ارائه شده در جدول برای قطعاتی هستند که به صورت تصادفی چیده شده‌اند و در دو لایه با روگذری ناچیز قرار دارند. این مقادیر بر اساس جدول (۷-۸) راهنمای حفاظت ساحل آمریکا (SPM) می‌باشند. مقادیر ارائه شده در SPM برای طرح موج شکن و امواج ناشکنا بوده و شامل سطح خسارت بالای ۳۰ درصد می‌باشند. به دلیل تفاوت شکل خسارت در موج‌شکن‌ها و پوشش‌های محافظ، پوشش‌های محافظ ممکن است در خسارت‌های کم‌تر از ۳۰ درصد گسیخته شوند. این مقادیر برای امواج شکنا و ناشکنا باید با احتیاط استفاده شوند.

در مورد سنگریز دانه‌بندی شده اطلاعاتی در مورد پایداری حفظ شده سنگریزها در Ahrens (1981a) وجود دارد. به نظر می‌رسد پایداری حفظ شده بیش‌تر به ضخامت لایه بستگی دارد اگرچه وزن متوسط سنگ‌ها و شیب سازه نیز مهم هستند.

**جدول ۳-۵- $H/H_{D=0}$ برای سطح خسارت لایه پوششی برای انواع آرمور ($H/H_{D=0}$ برای سطح خسارت به درصد)**

| قطعه | $0 \le \%_D < 5$ | $5 \le \%_D < 10$ | $10 \le \%_D < 15$ | $15 \le \%_D < 20$ | $20 \le \%_D < 25$ |
|---|---|---|---|---|---|
| سنگ (هموار) | ۱ | ۱/۰۸ | ۱/۱۴ | ۱/۲۰ | ۱/۲۹ |
| سنگ (زاویه دار) | ۱ | ۱/۰۸ | ۱/۱۹ | ۱/۲۷ | ۱/۳۷ |
| تتراپاد | ۱ | ۱/۰۹ | ۱/۱۷ | ۱/۲۴ | ۱/۳۲ |
| تری بار | ۱ | ۱/۱۱ | ۱/۲۵ | ۱/۳۶ | ۱/۵۰ |
| دالاس | ۱ | ۱/۱۰ | ۱/۱۴ | ۱/۱۷ | ۱/۲۰ |

### ۳-۳-۱-۶- تعیین مقدار بالاروی موج برای به دست آوردن تراز تاج

هنگام انتخاب ارتفاع مورد محافظت (تراز تاج) باید بیشینه تراز آب، هرگونه نشست محتمل سازه، ارتفاع آزاد، بالاروی و روگذری مد نظر قرار گیرد.

بالاروی، ارتفاع عمودی بالای تراز آب ساکن (SWL) است که پاشش موج روی سازه تا این ارتفاع بالا می‌آید. توجه شود که بالاروی، فاصله اندازه‌گیری شده روی سطح شیب‌دار نیست.

**- بالاروی روی شیب‌های زبر**

بیشینه بالاروی حاصل از امواج نامنظم روی پوشش‌های محافظ پوشیده شده با سنگریز توسط رابطه زیر تخمین زده می‌شود (Ahrens and hermbaugh, 1988):

$$\frac{R_{max}}{H_{mo}} = \frac{a\xi}{1+b\xi} \qquad (۱۳-۳)$$

که در این رابطه $R_{max}$ بیشینه ارتفاع عمودی بالاروی بالای SWL، $a$ و $b$ ضرایب رگرسیون برابر ۱/۰۲۲ و ۰/۲۴۷ و $\xi$ پارامتر تشابه شکست می‌باشد.

omoorepeyman.ir

$$\xi = \frac{\tan\theta}{\left(\frac{2\pi H_{mo}}{gT_p^2}\right)^{\frac{1}{2}}} \qquad (۱۴-۳)$$

که در آن $\theta$ زاویه شیب پوشش محافظ با افق می‌باشد. لازم به یاد آوری است که طول موج آب عمیق با رابطه زیر تعیین می‌شود:

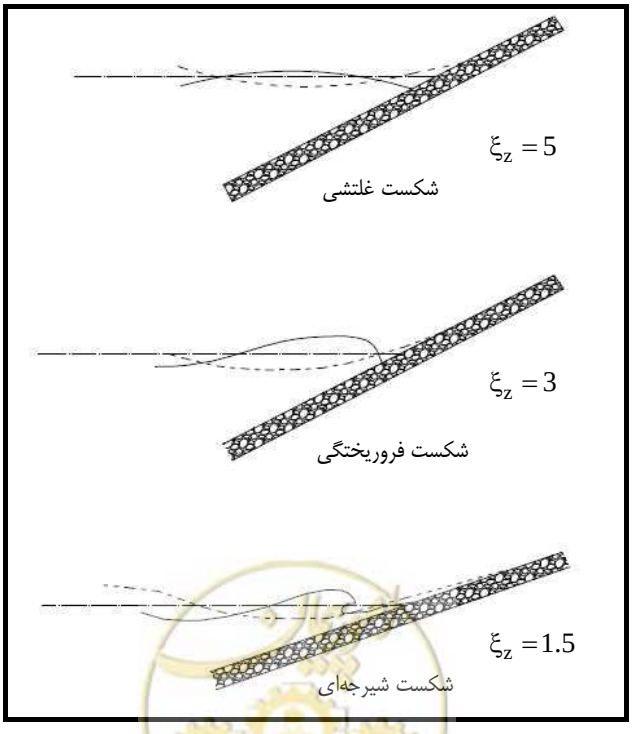
$$L_o = \frac{gT_p^2}{2\pi} \qquad (۱۵-۳)$$

پارامتر تشابه شکست نسبت شیب پوشش محافظ به جزر تیزی موج می‌باشد. پارامتر تشابه شکست برای تعیین نوع شرایط شکست موج روی سازه مفید می‌باشد (شکل ۳-۴۵).

مقدار محافظه‌کارانه‌تری برای $R_{max}$ با جایگزین ۱/۲۸۶ به جای a در رابطه (۳-۱۳) به دست می‌آید. بیشینه مقدار بالاروی که در این حالت به دست می‌آید حد بالایی داده‌هایی است که این رابطه با استفاده از آنها استخراج شده است.

مقدار بالاروی برای پوشش‌های محافظ که با مصالحی به جز سنگریز پوشیده شده‌اند را می‌توان با استفاده از ضرایب اصلاح زبری شیب ارائه شده در جدول (۳-۶) محاسبه کردد. ضرایب ارائه شده در جدول (۳-۶) بر اساس امواج تک رنگ و شیب‌های هموار می‌باشند.

برای استفاده از ضرایب اصلاحی ارائه شده در جدول (۳-۶) برای امواج نامنظم و شیب‌های زبر، باید $R_{max}$ به دست آمده از معادله (۳-۱۳) در ضرایب اصلاحی جدول (۳-۶) ضرب شده و نتیجه بر ضریب اصلاحی مربوط به سنگ معدن تقسیم شود. برای نمونه برای تخمین $R_{max}$ برای یک شیب پلکانی با شیب ۱:۱.۵، $R_{max}$ به دست آمده از رابطه (۳-۱۳) در ۱/۲۵=۶۰/ ÷ ۰/۷۵ (ضریب اصلاحی برای شیب پلکانی تقسیم بر ضریب اصلاحی برای سنگ) ضرب می‌شود. مشاهده می‌شود که $R_{max}$ برای شیب‌های پلکانی ۲۵ درصد بزرگ‌تر از شیب‌های سنگچین است.




**شکل ۳-۴۵- پارامتر تشابه شکست و انواع شکست موج**

omoorepeyman.ir

**- بالاروی از شیب‌های هموار**

مقدار بالاروی برای شیب‌های هموار را می‌توان با استفاده از منحنی‌های طراحی ارائه شده در SPM به دست آورد. منحنی‌های طراحی ارائه شده در SPM برای بالاروی بر اساس داده‌های امواج تک رنگ و نه شرایط واقعی تر امواج نامنظم می‌باشند. استفاده از $H_s$ برای ارتفاع موج در منحنی‌های طراحی SPM، منجر به تخمین بالاروی به صورتی می‌شود که از ۵۰ درصد مواقع توسط امواجی بزرگ‌تر از $H_s$ در قطار موج، مقدار بالاروی بیش از مقدار تخمین زده می‌شود. بیشینه مقدار بالاروی را می‌توان با استفاده از رابطه (۳-۱۳) و تبدیل آن به شیب هموار (با تقسیم نتیجه به دست آمده بر ضریب اصلاحی مربوط به سنگ‌های زبر شیب‌دار در جدول (۳-۶) به دست آورد.

**- بالاروی از دیوارها**

تعیین بالاروی از روی دیوارهای قائم و دیوارهای منحنی باید براساس توصیه‌های ارائه شده در SPM صورت گیرد.

### ۳-۳-۱-۷- تعیین مقدار روگذری موج مورد انتظار برای سازه‌های با تراز پایین

رویکرد معمول در طراحی سازه‌های حفاظت سواحل آن است که آنها را تا حد کافی مرتفع طراحی نمود به گونه‌ای که از روگذری امواج جلوگیری شود. در برخی موارد قیود هزینه‌ای و یا موارد دیگر ممکن است موجب کم‌تر در نظر گرفتن ارتفاع سازه نسبت به آنچه که مورد نیاز است، گردند. در این موارد ممکن است تخمین حجم آب سرریز شده از سازه بر واحد زمان نیاز باشد.

**جدول ۳-۶- ضرایب تصحیح بالاروی از شیب‌های زبر**

| نوع آرمور | شیب ($\cot\theta$) | اندازه نسبی $H/K_r$ | ضریب تصحیح (r) |
|---|---|---|---|
| سنگ | ۱/۵ | ۳ تا ۴ | ۰/۶۰ |
| سنگ | ۲/۵ | ۳ تا ۴ | ۰/۶۳ |
| سنگ | ۳/۵ | ۳ تا ۴ | ۰/۶۰ |
| سنگ | ۵ | ۳ | ۰/۶۰ |
| سنگ | ۵ | ۴ | ۰/۶۸ |
| سنگ | ۵ | ۵ | ۰/۷۲ |
| بلوک بتنی | هر شیب | ۶ | ۰/۹۳ |
| شیب پلکانی با رایزر[1] عمودی | ۱/۵ | $1\leq H_0/K_r$ | ۰/۷۵ |
| شیب پلکانی با رایزر عمودی | ۲ | $1\leq H_0/K_r$ | ۰/۷۵ |
| شیب پلکانی با رایزر عمودی | ۳ | $1\leq H_0/K_r$ | ۰/۷۰ |
| شیب پلکانی با رایزر عمودی | ۳ | $1\leq H_0/K_r$ | ۰/۸۶ |
| دو لایه تترا پاد تصادفی | ۱/۳ تا ۳ | - | ۰/۴۵ |
| دو لایه تترا پاد یکنواخت | ۱/۳ تا ۳ | - | ۰/۵۱ |
| دو لایه تری پاد تصادفی | ۱/۳ تا ۳ | - | ۰/۴۵ |
| یک لایه تری پاد تصادفی | ۱/۳ تا ۳ | - | ۰/۵۰ |

روگذری موج از پوشش‌های محافظ می‌تواند توسط رابطه بدون بعد زیر تخمین زده شود:

1- Riser

omoorepeyman.ir

$$Q' = C_0 e^{C_1 F'} e^{C_2 m} \qquad (۱۶-۳)$$

که در آن $Q'$ مقدار روگذری بدون بعد است به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$Q' = \frac{Q}{(gH_{mo}^3)^{1/2}} \qquad (۱۷-۳)$$

که در آن Q روگذری با بعد می‌باشد. $F'$ در معادله (۳-۱۶) ارتفاع آزاد بدون بعد است که برابر است با:

$$F' = \frac{F}{(H_{mo}^2 L_o)^{1/2}} \qquad (۱۸-۳)$$

که در آن F ارتفاع آزاد با بعد (فاصله عمودی تاج تا SWL) است. m در رابطه (۳-۱۶) کوتانژانت شیب پوشش محافظ و دیگر ضرایب برابرند با:

$Co = 0.4578$

$C_1 = -29.45$

$C_3 = 0.8464$

ضرایب بالا برای مقادیر ۰/۴۳ $> F' >$ ۰/۲۵ و شیب‌های ۱:۲ و ۱:۳/۵ معتبر هستند.

روگذری از دیوارهای دریایی به دلیل وجود شکل‌های گوناگون روی وجه دیوار افزون بر گوناگونی سکوی جلوی دیوار، پوشش محافظ و پله‌ها بسیار مشکل می‌باشد. اطلاعات روگذری برای اشکال مختلف در Ward and Ahrans 1992 ارائه شده است. در مورد دیوارهای حایل و دیوارهای دریایی عمودی ساده بدون پوشش محافظ جلویی و با یک دیواره تاج کوچک می‌توان روگذری را از رابطه زیر محاسبه نمود:

$$Q' = C_0 \exp\left[ C_1 F' + C_2 \left( \frac{F}{d_s} \right) \right] \qquad (۱۹-۳)$$

که در آن $Q'$ در رابطه (۳-۱۷) و $F'$ در رابطه (۳-۱۸) تعریف شدند. $d_s$ عمق در پنجه سازه بوده و سایر ضرایب همبستگی عبارتند از:

$Co = 0.338$

$C1 = -7.385$

$C2 = -2.178$

برای دیگر ترکیب‌های دیوار ساحلی باید به Ward and Ahrans 1992 مراجعه کرده یا آن‌که از مدل‌های آزمایشگاهی استفاده شود.

### ۳-۳-۱-۸- طراحی زهکش‌های زیر سطحی

در صورت نیاز باید زهکش‌های زیرسطحی طراحی شود. جزییات بیش‌تری در این زمینه در بخش ۳-۳-۷-۵ ارائه شده است.

### ۳-۳-۱-۹- طراحی سامانه‌های مهار آب‌های سطحی

تمهیداتی برای آب‌های سطحی محلی و هم‌چنین آب‌های ناشی از روگذری موج اندیشیده شده و در صورت نیاز تاسیسات انتقال آب همانند کالورت‌ها و آبروها طراحی می‌شود.

omoorepeyman.ir

### ۳-۳-۱-۱۰- کنترل گسیختگی ناشی از فرسایش انتهایی[1]

شرایط برای پیشگیری از گسیختگی ناشی از فرسایش انتهایی بررسی می‌شود. محافظت در برابر فرسایش انتهایی به منظور محدود کردن آسیب‌پذیری سازه در برابر تمایل به فرسایش اطراف انتهای سازه انجام می‌شود. معمولا مقاطع بازگشتی[2] در دو انتهای سازه برای پیشگیری از این کار مورد نیاز است.

### ۳-۳-۱-۱۱- طراحی محافظ پنجه

محافظ پنجه، پوشش تکمیلی ساحل یا سطح بستر مقابل یک سازه است که از آبشستگی و زیر برش[3] توسط امواج جلوگیری می‌نماید. عواملی که روی شدت آبشستگی تاثیرگذار هستند شکست موج (اگر نزدیک پنجه باشد)، بالاروی موج، پشت شویی[4]، بازتاب موج و توزیع اندازه دانه‌های مصالح ساحل و بستر می‌باشند. پنجه پوشش‌های محافظ معمولا نیازمند توجه ویژه است به دلیل این‌که در معرض نیروهای هیدرولیکی و تغییر نیمرخ ساحلی مقابل پوشش محافظ قرار دارد. بررسی پایداری پنجه اهمیت زیادی دارد زیرا گسیختگی پنجه عموما منجر به گسیختگی تمام سازه می‌گردد. دستورالعمل‌های ویژه برای طراحی پنجه چه بر اساس مدل‌های آزمایشگاهی و چه پروتوتایپ تاکنون تهیه نشده است. برخی رهنمودهای تجربی توسط Eckert 1983 ارائه شده است.

**- پوشش‌های محافظ**

محافظ پنجه برای پوشش‌های محافظ عمدتا تابع معیارهای هیدرولیکی است. آبشستگی می‌تواند در اثر امواج، جریان‌های ناشی از موج و یا جریان‌های کشندی ایجاد شود. برای بیش‌تر پوشش‌های محافظ، مهم‌ترین عوامل امواج و جریان‌های ناشی از موج می‌باشد. برای سنگ‌های مستغرق پنجه، وزن سنگ‌ها را می‌توان از رابطه زیر حساب کرد:

$$W_{min} = \frac{\gamma_r H^3}{N_S^3 \left( \frac{\gamma_r}{\gamma_w} - 1 \right)^3} \qquad (۳-۲۰)$$

که در آن $N_s$ عدد پایداری طرح برای محافظ پنجه سنگریزه‌ای در مقابل یک دیوار عمودی است مطابق آنچه در شکل (۲-۷) راهنمای SPM بیان شده است. برای پنجه سازه‌هایی که در معرض موج قرار دارند، طراحی باید یا از معادله (۳-۳) در (یا نزدیک) سطح آب استفاده کند یا از رابطه (۳-۲۰) استفاده کند. باید توجه نمود که رابطه (۳-۲۰) منجر به حداقل وزن لازم و رابطه (۳-۳) منجر به وزن میانه لازم می‌شود.

انتخاب سنگ باید بر اساس دانه‌بندی وزن سنگ‌ها از هر یک از اوزان انجام شود. اهمیت نسبی این عوامل به موقعیت سازه و ارتفاع آن نسبت به آب پایین بستگی دارد. در مواقعی که محافظ پنجه در برابر آبشستگی ناشی از جریان‌های کشندی و رودخانه‌ای تنها باشد، طراح می‌تواند به EM1110-2-1001 مراجعه کند. در واقع هیچ داده‌ای در مورد جریان‌های ناشی از امواج طوفانی و همراه با جریان‌های کشندی یا رودخانه‌ای که روی سنگ‌های پنجه عمل می‌کند وجود ندارد. فرض می‌شود که تاثیرات آبشستگی تا

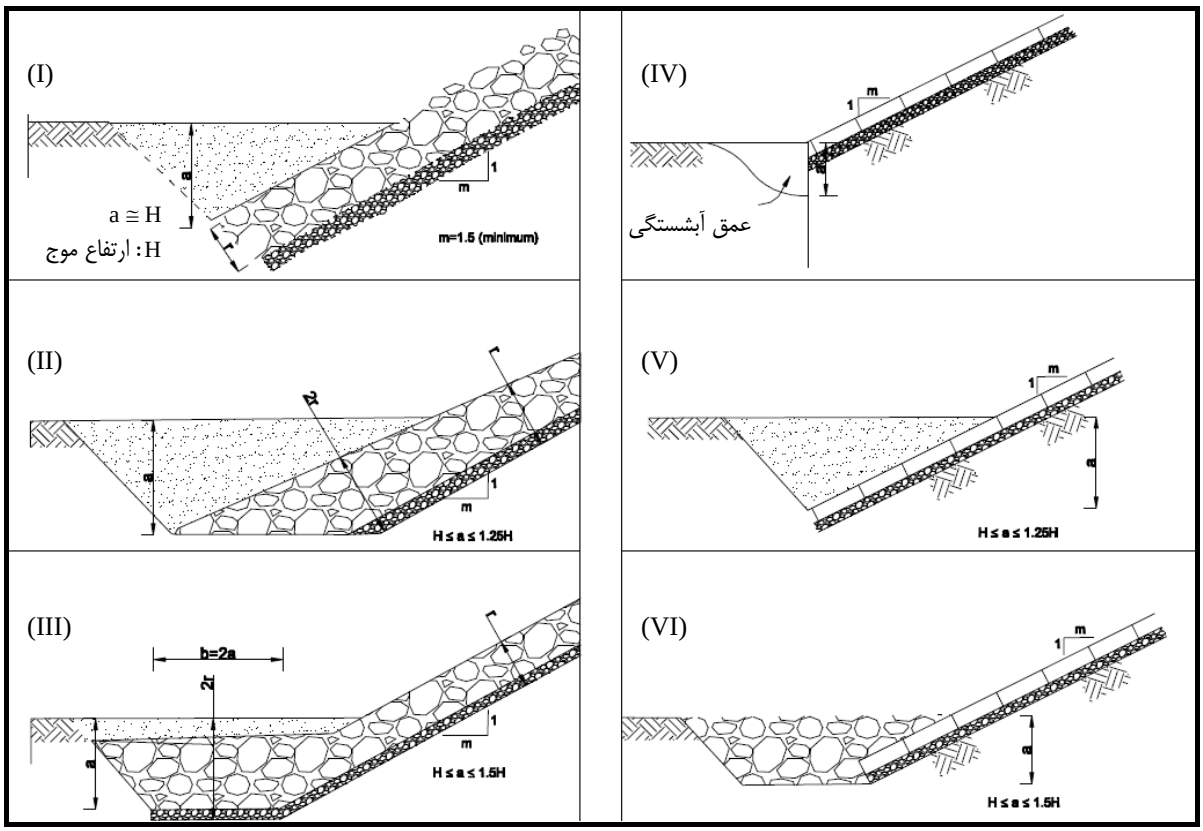
1- Flanking
2- Return Section
3- Undercutting
4- Backwash

omoorepeyman.ir

اندازه‌ای جمع‌پذیر هستند. در مورد پنجه یک پوشش محافظ، استفاده از عدد پایداری طراحی برای محافظ پنجه مقابل یک دیوار عمودی چنانچه در بالا اشاره شد منجر به طرح محافظه کارانه‌ای خواهد شد.

در مورد ترکیب‌های پیشنهادی پنجه رهنمودهای ارائه شده در EM 1110-2-10601 که مربوط به ترکیب‌های طراحی پنجه برای کانال‌های کنترل سیلاب می‌باشند برای پوشش‌های محافظ ساحلی اصلاح شده و در شکل (۳-۴۶) ارائه شده‌اند. در این شکل فقط ترکیب‌های ممکن پنجه ارائه شده است.

ترکیب‌های دیگری نیز که توسط طراح ارائه شده و شرایط طراحی را برآورده کنند، مورد پذیرش می‌باشند. طرح‌های I, II, IV, V برای شرایط کم تا ملایم آبشستگی و اجرای در خشکی می‌باشند. طرح‌های III و VI می‌توانند برای کاهش لایروبی (در مواردی که سنگ ترانشه پنجه قابلیت حرکت داشته و بعد از رخدادهای بزرگ نادر جابجا می‌شود) استفاده شوند. پنجه‌های با ضخامت بالا همانند طرح III می‌توانند در موارد اجرای زیر آب به کار روند مگر در مواردی که سنگ پنجه روی بستر موجود و نه در یک ترانشه لایروبی شده قرار بگیرد.



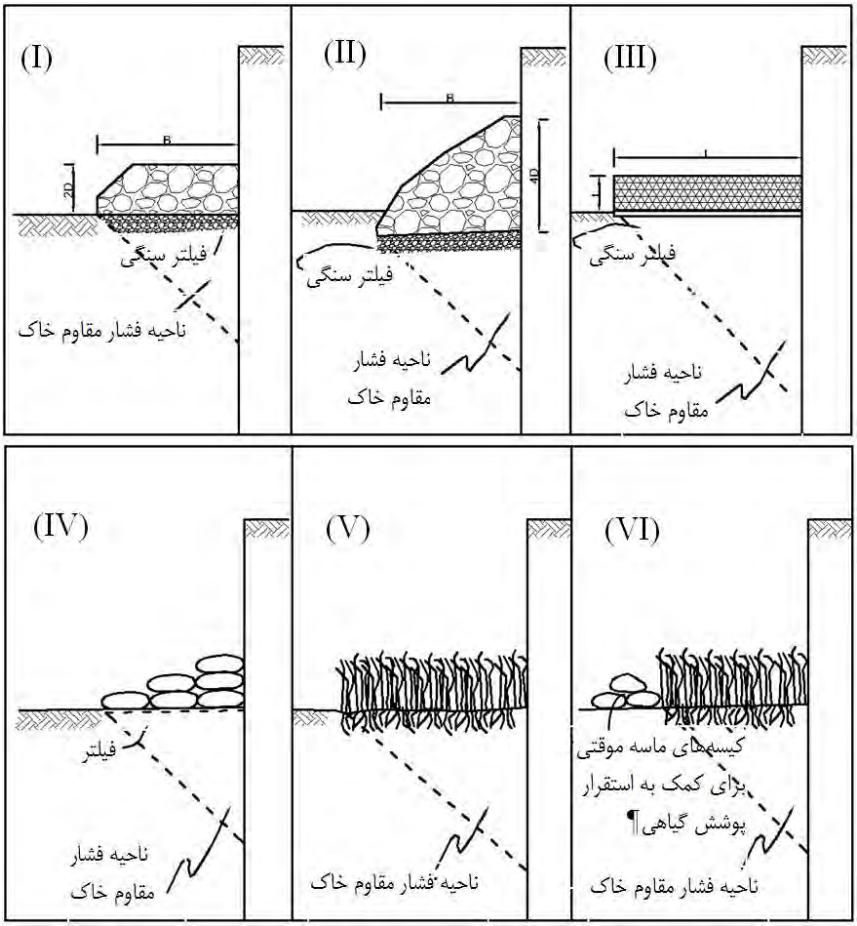

**شکل ۳-۴۶- محافظت پنجه پوشش سنگریز (طرح‌های I تا VI)**

I) آرمور سنگی یا بتنی در ساختگاه‌هایی با پتانسیل آبشستگی کم
II) آرمور سنگی یا بتنی در ساختگاه‌هایی با پتانسیل آبشستگی کم تا متوسط
III) آرمور سنگی یا بتنی در ساختگاه‌هایی با پتانسیل آبشستگی متوسط تا زیاد
IV) قطعات بتنی به همراه دیواره پنجه در ساختگاه‌هایی با پتانسیل آبشستگی کم تا متوسط
V) قطعات بتنی به همراه پنجه مدفون در ساختگاه‌هایی با پتانسیل آبشستگی کم تا متوسط
VI) قطعات بتنی به همراه پنجه سنگی در ساختگاه‌هایی با پتانسیل آبشستگی متوسط تا شدید

omoorepeyman.ir

**- دیوارهای دریایی و دیوارهای حایل**

در طراحی محافظ پنجه برای دیوارهای دریایی و دیوارهای حایل باید عوامل ژئوتکنیکی نیز افزون بر عوامل هیدرولیکی در نظر گرفته شود. هر یک از دیوارهای وزنی، مهار شده یا طره‌ای به خاکی که در محدوده پنجه به عنوان تکیه‌گاه عمل می‌کنند، بستگی دارند. در مورد دیوارهای مهار شده و طراه‌ای، ناحیه فشار خاک مقاوم باید برای پایداری در برابر واژگونی محافظت شود. دیوارهای وزنی بر اساس مقاومت اصطکاکی موجود بین خاک و پی سازه در برابر لغزش مقاومت می کنند. مقاومت در برابر واژگونی با استفاده از لنگر ناشی از وزن سازه حول نقطه باربری زیر پنجه سازه، تامین می گردد. انواع طرح های مختلف پنجه در شکل (۳-۴۷) نشان داده شده‌اند.




**شکل ۳-۴۷- محافظت پنجه دیوارهای دریایی و دیوارهای حایل**

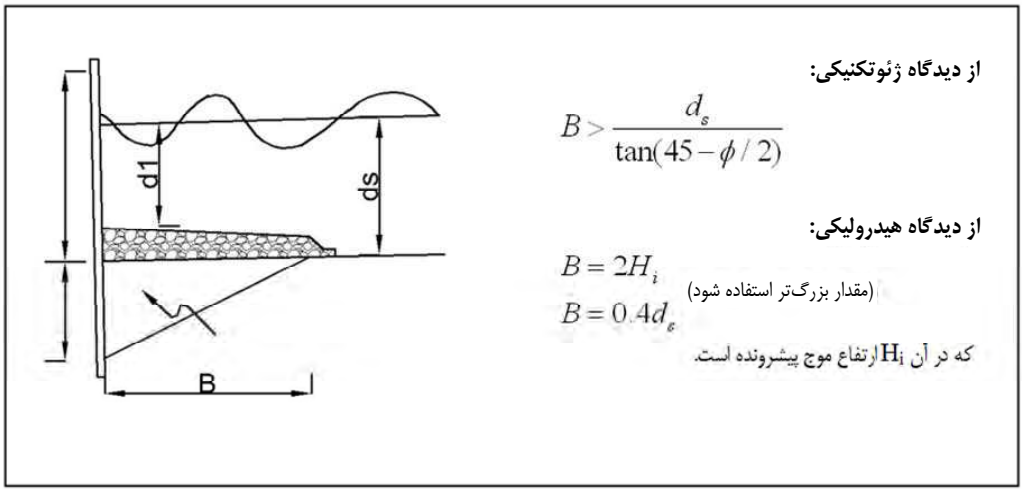
I) دیواره عمودی با پنجه سنگی در ساختگاه‌هایی با پتانسیل آبشستگی کم تا متوسط
II) دیواره عمودی با پنجه سنگی در ساختگاه‌هایی با پتانسیل آبشستگی متوسط تا زیاد
III) دیواره عمودی با پنجه توری سنگی (گابیونی) در ساختگاه‌هایی با پتانسیل آبشستگی متوسط تا زیاد
IV) دیواره عمودی با پنجه متشکل از کیسه‌های پر شده توسط سیمان در ساختگاه‌هایی با پتانسیل آبشستگی کم تا متوسط
V) دیواره عمودی با پنجه دارای پوشش گیاهی در ساختگاه‌هایی با پتانسیل آبشستگی کم
VI) دیواره عمودی با پنجه دارای پوشش گیاهی در ساختگاه‌هایی با پتانسیل آبشستگی کم

omoorepeyman.ir

گرادیان‌های هیدرولیکی جریان‌های تراوشی پشت دیوارهای عمودی می‌تواند باعث افزایش چشمگیر آبشستگی پنجه شود. گرادیان‌های شدید خروجی وزن موثر خالص خاک را کاهش داده و باعث تسهیل حرکت رسوب در معرض امواج و جریان‌ها می‌گردد. جریان‌های تراوشی می‌توانند به دلیل شرایط کلی آب زیرزمینی، آب ناشی از روگذری امواج و یا بارش تولید شوند. تحلیل کمی این عوامل در Richert and Schmertman 1958 ارائه شده است.

عرض کف‌بند پنجه[1] به عوامل هیدرولیکی و ژئوتکنیکی بستگی دارد. ناحیه فشار مقاوم خاک باید برای یک دیوار پرده سپری (همانند شکل ۳-۴۸) محافظت شود. عرض کمینه (B) را از دیدگاه ژئوتکنیکی می‌توان بر اساس نظریه Rankine ارائه شده در Eckert 1983 تخمین زد. در این موارد کف‌بند پنجه باید عریض‌تر از عمق موثر و ضریب فشار مقاوم خاک باشد. از دیدگاه هیدرولیکی کف‌بند پنجه باید برای دیوارهای پرده سپری حداقل دو برابر ارتفاع موج و برای دیوارهای وزنی برابر ارتفاع موج باشد. افزون بر این، کف‌بند پنجه باید حداقل ۴۰ درصد عمق آب در پای سازه ds باشد. برای طراحی باید بزرگ‌ترین عرضی که با استفاده از این معیارهای هیدرولیکی و ژئوتکنیکی محاسبه شده استفاده شود. در همه موارد، زیربرشی و جداشدگی[2] در کناره کف‌بند باید حداقل شود.

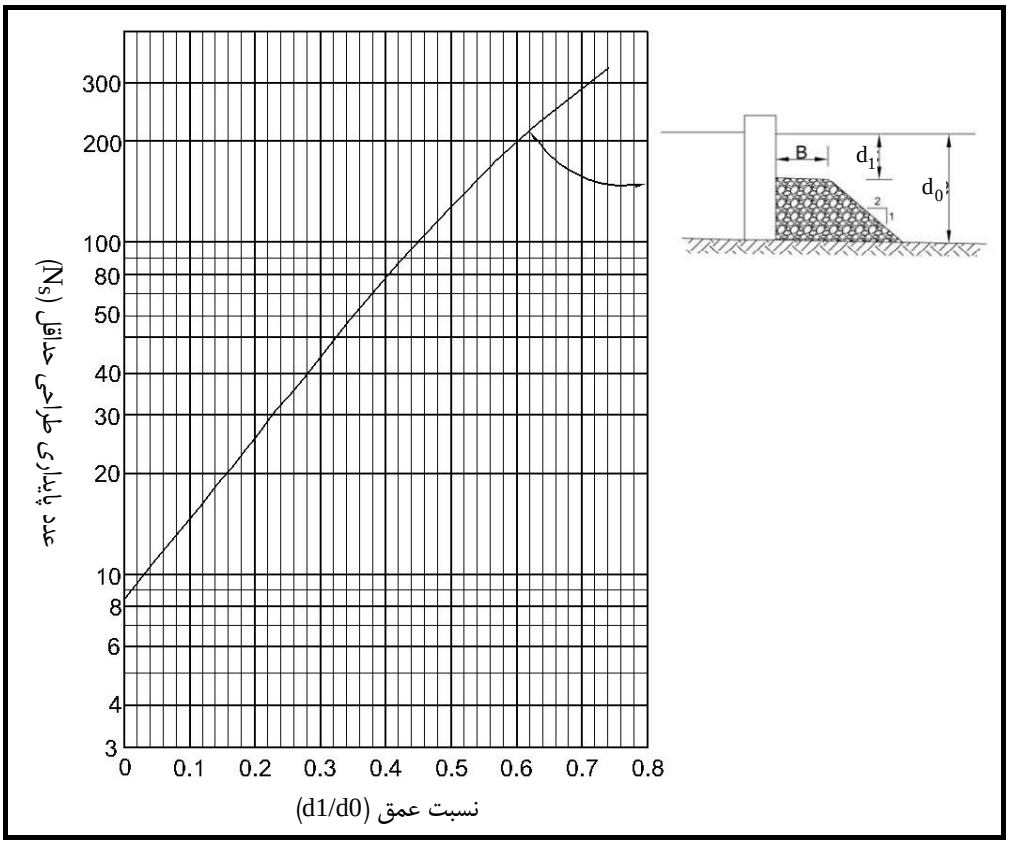
وزن سنگ‌های پنجه می‌تواند با استفاده از شکل (۳-۴۹) Brebner and Donnelly (1962) محاسبه شود. ارتفاع موج طرح بین $H_1$ و $H_{10}$ پیشنهاد می‌شود. برای کاربرد این روش مقداری برای $d_t$ فاصله تراز آب ساکن تا روی پنجه فرض می‌شود. چنان‌که اندازه سنگ‌های به دست آمده و هندسه مقطع مناسب نبود، مقدار دیگری برای $d_t$ فرض می‌شود. با این روش میانه وزن سنگ‌ها به دست آمده و دانه‌بندی مجاز بین 0.5w تا 1.5w می‌باشد.




**شکل ۳-۴۸- کف‌بند پنجه برای دیوارهای حایل پرده سپری**

1- Toe Apron
2- Unraveling

omoorepeyman.ir




**شکل ۳-۴۹- مقدار Ns طرح محافظ پنجه برای دیوارهای عمودی**

### ۳-۳-۱-۱۲- طراحی فیلتر

فیلتر یک لایه انتقالی تشکیل شده از شن، سنگ‌های کوچک و یا ژئوسنتتیک است که بین سازه و خاک لایه زیرین قرار می‌گیرد. فیلتر از انتقال ذرات ریزدانه از میان خلل و فرج سازه‌ها جلوگیری می‌نماید، با توزیع وزن قطعات آرمور موجب نشست یکنواخت سازه می‌شود و موجب آزاد شدن فشار هیدرواستاتیک درون خاک می‌گردد. برای سطوح بالای خط آب، فیلتر از فرسایش[1] ناشی از آب های سطحی[2] پشت پوشش سنگریز نیز جلوگیری می‌نماید. به طور کلی رابطه زیر بین لایه‌ها باید برقرار باشد:

$$\frac{d_{15upper}}{d_{85under}} < 4 \qquad (۲۱-۳)$$

**- فیلترهای سنگ‌های دانه‌بندی شده**

معیارهای فیلتر برای سنگدانه‌های دانه‌بندی شده می‌تواند به صورت بیان شود:

$$\frac{d_{15filter}}{d_{85soil}} < 4to5 < \frac{d_{15filter}}{d_{15soil}} \qquad (۲۲-۳)$$

1- Erosion
2- Gullies

omoorepeyman.ir

سمت چپ معادله بالا برای جلوگیری از پدیده جوشش[1] و سمت راست معادله بالا برای تامین تراوایی کافی در لایه‌های بستر می‌باشد. این معیار هم‌چنین می‌تواند برای لایه‌های متوالی در سازه‌های چند لایه به کار رود. این‌گونه طرح‌ها در مواردی که بین خلل و فرج لایه آرمور و اندازه ذرات لایه بستر ناهمخوانی وجود دارد، به کار می‌روند.

**- زیر لایه‌های سنگ‌های آرمور و پوشش محافظ**

اندازه سنگ‌های زیر لایه‌های پوشش‌های محافظ باید بر اساس رابطه (۳-۲۳) تعیین گردد:

$$\frac{d_{15armor}}{d_{85filter}} < 4 \qquad (۳-۲۳)$$

با استفاده از رابطه (۳-۱۰) می‌توان فقط قطر سنگ به دست آمده از رابطه بالا را به وزن سنگ تبدیل نمود (n در رابطه (۳-۱۰) برابر با ۱ فرض شود). این رابطه بسیار محدود کننده‌تر از رابطه (۳-۲۲) بوده و در برابر تغییرات اندازه خلل و فرج‌هایی که ممکن است در اثر جابجایی آرمور در معرض موج رخ دهد حاشیه اطمینان اضافی تامین می‌نماید. برای پوشش‌های محافظ با سنگ‌های بزرگ، هر زیر لایه باید شرط مشخص شده در رابطه (۳-۲۳) را برآورده نماید و ضخامت لایه حداقل سه برابر قطر میانه سنگ باشد.

برای آرمور و زیر لایه‌هایی که از سنگ‌های با قطر یکنواخت تشکیل شده‌اند، اولین زیر لایه باید دارای حداقل ضخامت دو برابر ضخامت سنگ‌ها بوده و وزن قطعات سنگ تقریبا برابر یک دهم وزن قطعات آرمور باشد. در مواقعی که از قطعات آرمور بتنی با $K_D > 12$ استفاده می‌شود، لایه فیلتر باید از سنگ‌های با وزن یک پنجم لایه آرمور رویی تشکیل شود.

**- انتخاب فیلترهای ژئوسنتتیک**

انتخاب این نوع فیلترها بر اساس اندازه بازشدگی معادل (EOS)[2] است که برابر است با شماره الک استاندارد .U.S که دارای سوراخ‌هایی نزدیک به سوراخ‌های فیلتر ژئوسنتتیک باشد. مصالح ابتدا روی الکی قرار داده می‌شوند که شماره آن برابر با EOS باشد. برای خاک‌های دانه ای با درصد وزنی مواد ریز دانه (رس ولای) کم‌تر از ۵۰ درصد (رد شده از الک شماره ۲۰۰)، فیلتر ژئوسنتتیک بر اساس رابطه (۳-۲۴) انتخاب می‌شود:

$$\frac{EOS_{seive}}{d_{85soil}} \leq 1 \qquad (۳-۲۴)$$

برای دیگر خاک‌ها، نباید مقدار EOS بزرگ تر از تعداد سوراخ‌های الک شماره ۷۰ باشد. افزون بر این، الیافی که EOS آن بزرگ‌تر از ۱۰۰ باشد نباید استفاده شوند و نیز در مواقعی که خاک لایه زیرین دارای بیش از ۸۵ درصد مصالح عبوری از الک شماره ۲۰۰ باشد، الیاف ها به تنهایی کارآیی مناسبی نخواهند داشت. در این موارد یک لایه ماسه میانی می‌تواند لایه انتقالی لازم بین خاک و الیاف را تامین نماید. در نهایت، نسبت گرادیان[3] فیلتر ژئوسنتتیک، حداکثر به مقدار ۳ محدود می‌گردد. این نسبت بر اساس آزمایش تراوایی هد هیدرولیکی[4] تعیین می‌شود: گرادیان هیدرولیکی در میان الیاف ژئوسنتتیک و ۱ اینچ خاک همجوار آن ($i_1$) بخش بر گرادیان هیدرولیکی ۲ اینچ خاک بین ۱ و ۳ اینچ بالای الیاف ($i_2$):

1- Piping
2- Equivalent Opening Size (EOS)
3- Gradient Ratio
4- Head Permeability Test

omoorepeyman.ir

$$\text{Gradient ratio} = \frac{i_1}{i_2} \leq 3 \qquad (۲۵-۳)$$

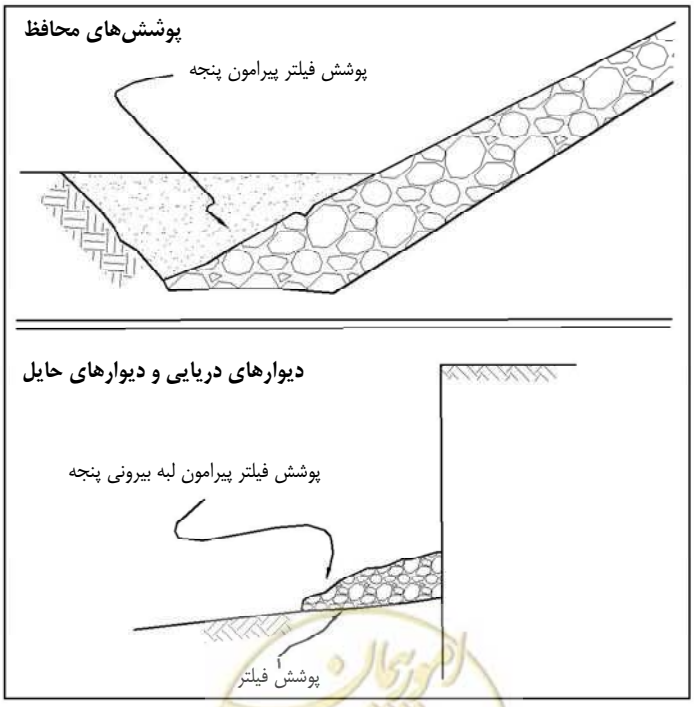
**- جاگذاری فیلترهای الیافی**

تجربه نشان داده است که حتی پس از قرار گرفتن الیاف مصنوعی در معرض آب شیرین و آب شور به مدت طولانی، مقاومت این الیاف می‌تواند حفظ شود. برای تامین کارآیی مناسب در نصب فیلترهای الیافی باید به موارد زیر توجه نمود.

اول آن‌که، قطعات آرمور سنگین می‌توانند هنگام نشست باعث تحت کشش افتادن الیاف شده و در نهایت باعث پاره شدن الیاف تحت کشش گردند. زیر لایه آرمور، لایه سنگ بستر با وزن بیش از یک تن برای کارهای بالای آب (و ۱/۵ تن برای اجرای زیر آب) پیشنهاد می‌شود و ممکن است چند زیر لایه زیر قطعات اصلی با وزن بیش از ۱۰ تن مورد نیاز باشد. در این موارد باید دستورالعمل‌های فیلتر به درستی به کار برده شود.

نکته دوم آن‌که، مطابق آنچه در شکل (۳-۵۰) نشان داده شده است، فیلتر الیافی نباید به سمت دریا روی لایه آرمور گسترده شود بلکه باید در فاصله چند فوتی سمت خشکی لایه آرمور تمام شود.

سوم، باید همپوشانی کافی بین صفحات الیافی تامین گردد. برای پوشش‌های محافظ سبک وزن، این مقدار می‌تواند ۳۰ سانتی‌متر (۱۲ اینچ) بوده و برای سازه‌های بزرگ‌تر زیر آب تا حدود یک متر (۳ فوت) افزایش یابد. چهارم، باید تاشدگی و خم‌های کافی در صفحات الیافی مد نظر گرفته شود تا هنگام نشست از کشش و پاره شدگی آنها جلوگیری شود. هم‌چنین برای اطمینان توصیه می‌شود پین و واشرهایی در فواصل ۶۰ سانتی تا ۱/۵ متری (۲ تا ۵ فوتی) وسط همپوشانی‌ها در نظر گرفته شود. آخرین نکته این است که شیوه صحیح استقرار سنگ‌ها از پنجه شروع شده و به سمت بالای شیب ادامه پیدا می‌کند.




**شکل ۳-۵۰- استفاده از فیلتر الیافی زیر پوشش محافظ و سنگ‌های محافظ پنجه**

omoorepeyman.ir

### ۳-۳-۱-۱۳- تراکم مناسب مصالح پرکننده و پشتریز

تراکم مناسب مصالح پرکننده و پشتریز باید در برنامه‌ریزی‌ها و مشخصات فنی طرح مشخص شود. برای متـراکم‌سـازی مصـالح باید رواداری‌های مناسب در مرحله برآورد هزینه در نظر گرفته شود.

### ۳-۳-۱-۱۴- برآورد هزینه

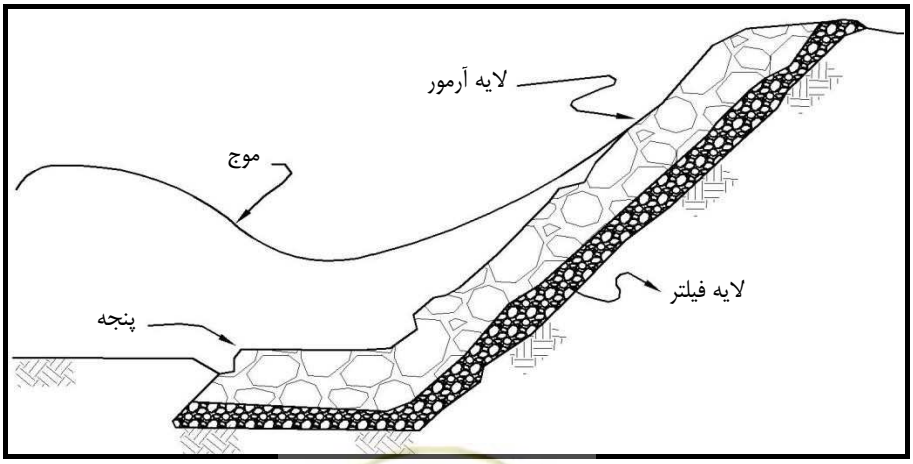
عامل نهایی که باید در طراحی یک دیوار ساحلی در نظر گرفت برآورد هزینه مربوط به گزینه‌های مختلف طراحی می‌باشد. این کـار از راه متره و برآورد هزینه اجزای مختلف گزینه مورد نظر به دست می‌آید و عامل مهمی در رد یا پذیرش گزینه‌های مختلف طراحی است.

## ۳-۳-۲- پوشش محافظ

### ۳-۳-۲-۱- ملاحظات کلی

پوشش محافظ[1]، روکشی یا رویه‌ای از مواد مقاوم در برابر فرسایش همانند سنگ یا بتن است که به منظور محافظت یک خاکریز یا ساحل دیواره‌ای[2] یا دیگر خصوصیت خط ساحلی در برابر فرسایش ساخته می‌شود. اجزای اصلی یک پوشش محافظ، لایه آرمور، فیلتر و پنجه می‌باشند (شکل ۳-۵۱). لایه آرمور محافظ اصلی در برابر موج بوده درحالی‌که لایه فیلتر به عنوان تکیه‌گاهی برای آرمور عمل کرده و باعث انتقال آب از درون سازه می‌گردد که از شسته شدن خاک‌های زیرین از درون آرمور جلوگیری می‌نماید. محافظت پنجه از جابجایی لبه سمت دریایی پوشش محافظ جلوگیری می‌نماید.

لایه آرمور پوشش محافظ می‌تواند از انواع صلب یا انعطاف پذیر باشد. دال‌های نمونه‌ای از انواع صلب بوده درحالی‌که سنگریز و سنگ‌های معدنی نمونه‌هایی از انواع انعطاف‌پذیر هستند. آرمورهای صلب تمایل دارند که به صورت یک‌پارچه عمل نموده و عموما توانایی تطابق با نشست یا اصلاح مصالح لایه‌های زیرین را ندارند. آرمور انعطاف‌پذیر با قطعات مجزای سبک‌تر ساخته شده که توانایی تحمل مقادیر متفاوت جابجایی و نشست را دارند.



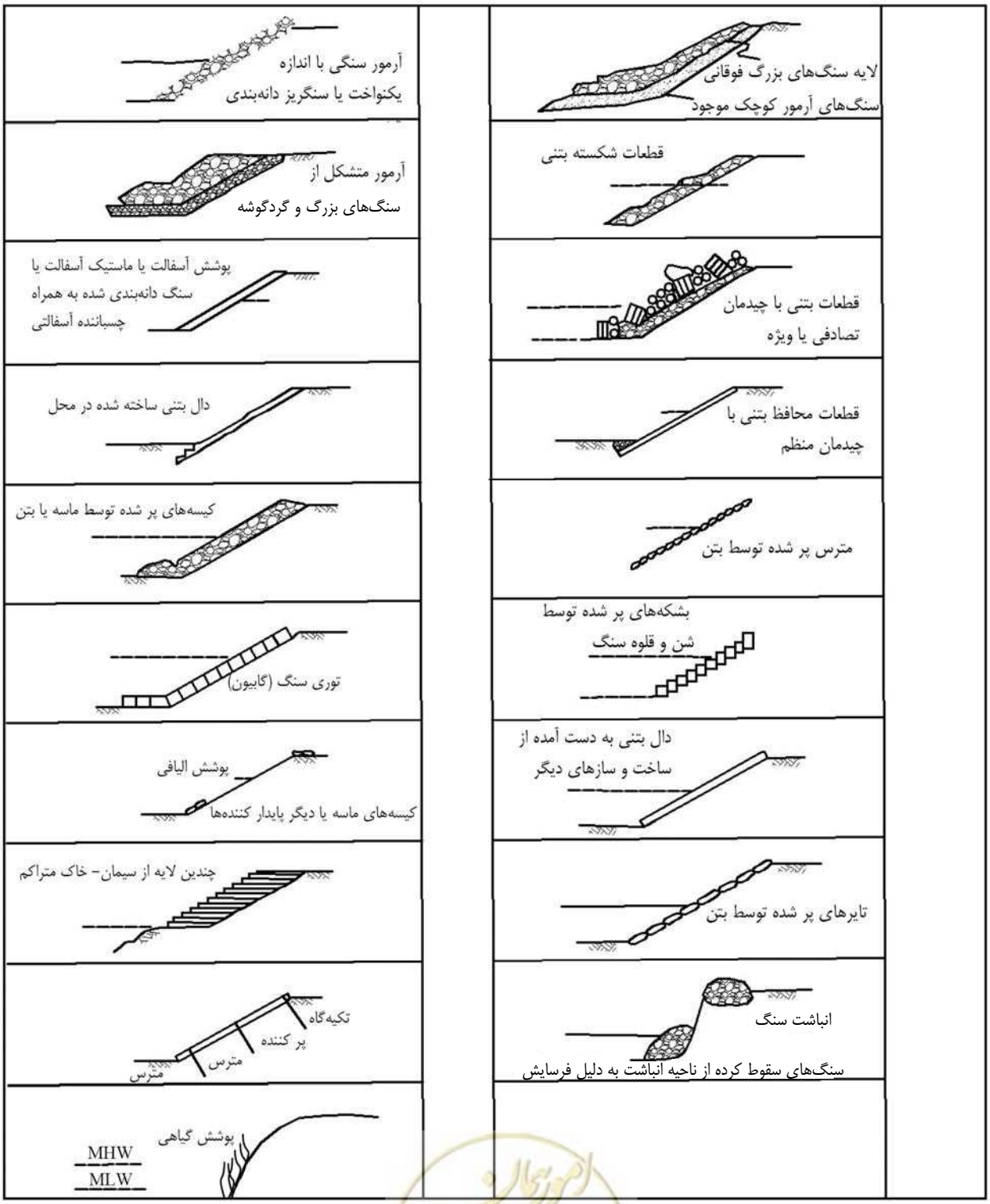

**شکل ۳-۵۱- مقطع تیپ پوشش محافظ**

1- Revetment
2- Scarp

omoorepeyman.ir

### ۳-۳-۲-۲- انواع پوشش محافظ

طرح کلی انواع گزینه‌های پوشش محافظ در شکل (۳-۵۲) ارائه شده‌اند.




**شکل ۳-۵۲- طرح کلی انواع گزینه‌های پوشش محافظ**

omoorepeyman.ir

### ۳-۳-۲-۳- مراحل طراحی

مراحل طراحی پوشش محافظ به صورت زیر می‌باشد:

الف- دامنه تراز آب برای ساختگاه مورد نظر تعیین می‌شود (به بخش ۳-۳-۱-۱ مراجعه شود).

ب- ارتفاع موج تعیین می‌شود (به بخش ۳-۳-۱-۲ مراجعه شود).

ج- گزینه‌های مناسب آرمور برای مقاومت در برابر موج طرح انتخاب می‌شود.

د- اندازه قطعات آرمور انتخاب می‌شود (به بخش ۳-۳-۱-۵ مراجعه شود).

هـ- مقدار بالاروی موج برای به دست آوردن تراز تاج، تعیین می‌گردد (به بخش ۳-۳-۱-۶ مراجعه شود).

و- مقدار روگذری موج مورد انتظار برای سازه‌های با تراز پایین تعیین می‌شود (به بخش ۳-۳-۱-۷ مراجعه شود).

ز- در صورت نیاز، زهکش‌های زیر سطحی طرح می‌گردد (به بخش ۳-۳-۱-۸ مراجعه شود).

ح- تمهیداتی برای آب‌های سطحی محلی و هم‌چنین آب‌های ناشی از روگذری موج اندیشیده شده و در صورت نیاز تاسیسات انتقال آب همانند کالورت‌ها و آبروها طرح می‌گردد (به بخش ۳-۳-۱-۹ مراجعه شود).

ط- شرایط برای جلوگیری از گسیختگی ناشی از فرسایش انتهایی بررسی می‌شود (به بخش ۳-۳-۱-۱۰ مراجعه شود).

ی- محافظت پنجه طراحی می‌شود (به بخش ۳-۳-۱-۱۱ مراجعه شود).

ک- فیلتر و لایه‌های زیرین طرح می‌گردند (به بخش ۳-۳-۱-۱۲ مراجعه شود).

ل- تراکم مناسب مصالح پرکننده و پشتریز در نظر گرفته شود.

م- برای هر گزینه، هزینه‌ها برآورد می‌گردند.

## ۳-۳-۳- دیوارهای حایل

### ۳-۳-۳-۱- ملاحظات کلی

دیوارهای حایل دیوارهایی هستند که هدف اصلی از ساخت آنها محافظت خاک پشتی در برابر لغزش[1] می‌باشد و افزون بر این در برابر امواج سبک تا متوسط به عنوان محافظ نیز عمل می‌کنند. این دیوارها برای محافظت صخره‌های در حال فرسایش بر اساس نگهداری از خاک پنجه استفاده می‌شوند که در نتیجه باعث افزایش پایداری و یا محافظت پنجه در برابر فرسایش و زیربرش می‌گردند.

دیوارهای حایل به صورت طره، دیواره سپری مهار شده یا وزنی می‌باشند. طره‌ها نیازمند جاسازی (کوبش) کافی برای پایداری بوده و معمولا برای مکان‌هایی که ارتفاع دیوار کم باشد مناسب هستند. آبشستگی پنجه سبب کاهش طول مدفون موثر آنها شده و می‌تواند به گسیختگی منجر شود. دیوارهای حایل مهار شده هنگامی که ارتفاع بزرگ‌تری مورد نیاز باشد استفاده می‌شوند. این دیوارهای حایل نیز باید دارای گیرداری کافی بوده اما کم‌تر در معرض گسیختگی ناشی از آبشستگی پنجه قرار دارند.

در مورد سازه‌های وزنی هزینه شمع‌کوبی وجود نداشته و این سازه‌ها اغلب می‌توانند در مکان‌هایی استفاده شوند که شرایط زیر سطحی مانع شمع‌کوبی می‌شود. این سازه‌ها نیازمند خاک پی قوی هستند تا بتواند وزن این سازه‌ها را تحمل کند. معمولا این سازه‌ها به میزان کافی در خاک نفوذ نمی‌کنند تا باعث ایجاد نیروهای مقاوم قابل اطمینان در سمت فراساحل گردد. بنابراین تحمل بارهای وارده بر سازه‌های وزنی بیش‌تر به مقاومت برشی در پی سازه بستگی دارد.

1- Sliding

omoorepeyman.ir

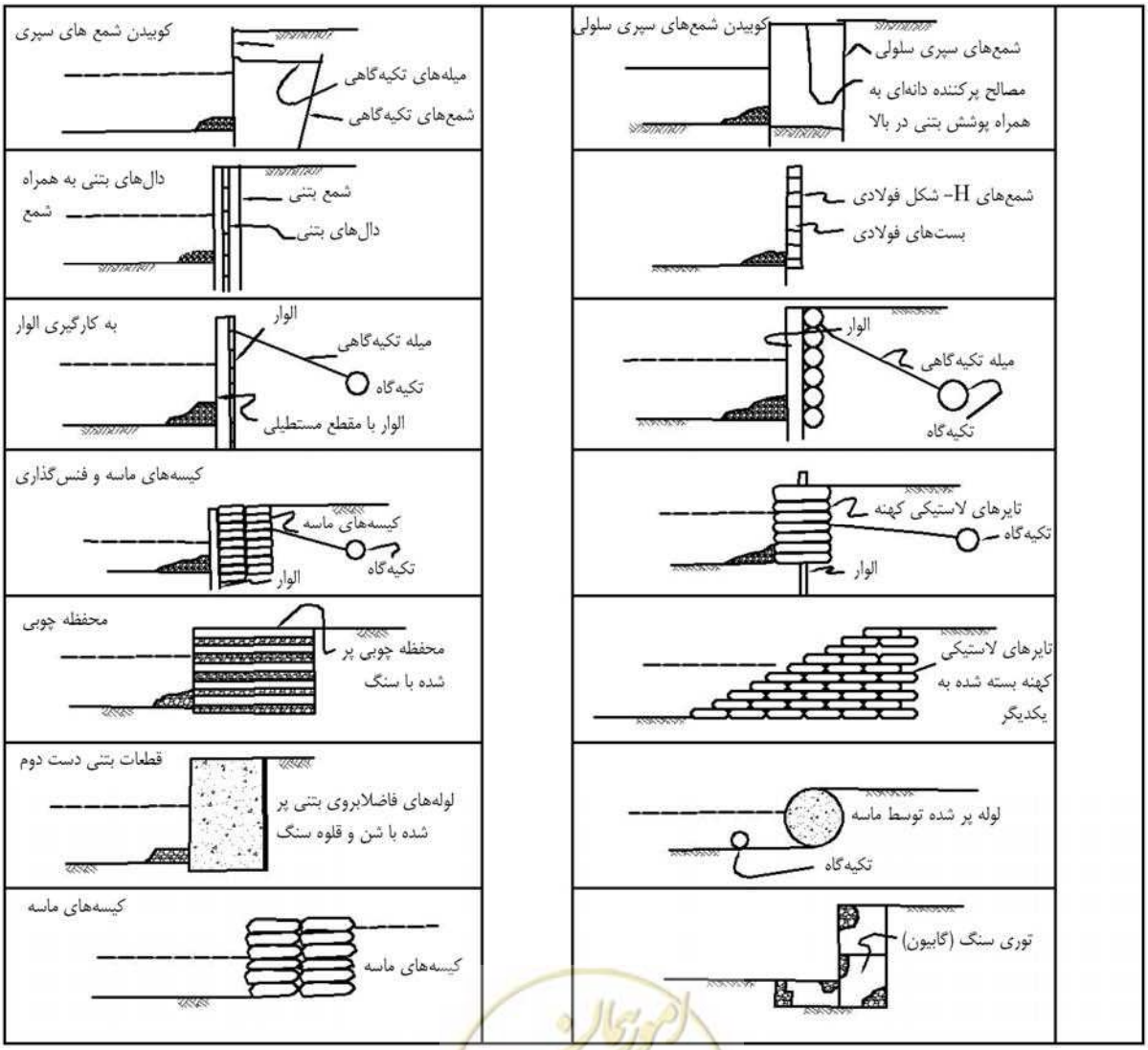
دیوارهای حایل وزنی هم‌چنین در مواردی که سطح گسیختگی از زیرسازه عبور می‌کند، نمی‌توانند از لغزش‌های چرخشی در مصالح[1] جلوگیری کنند.

### ۳-۳-۳-۲- انواع دیوار حایل

طرح کلی انواع دیوارهای حایل در شکل (۳-۵۳) نشان داده شده است.

### ۳-۳-۳-۳- مراحل طراحی

مراحل فرآیند طراحی دیوارهای حایل همانند موارد گفته شده برای دیوارهای دریایی می‌باشد که در بخش ۳-۳-۱ ارائه شده‌اند به جز این‌که نوع سازه با توجه به گزینه‌های دیوارهای حایل شکل (۳-۵۳) انتخاب می‌شود. افزون بر این، محافظت پنجه باید با استفاده از شرایط ژئوتکنیکی و هیدرولیکی شامل عمل موج و آبشستگی جریان، طراحی گردد.




**شکل ۳-۵۳- طرح کلی انواع دیوارهای حایل**

1- Rotational Slides

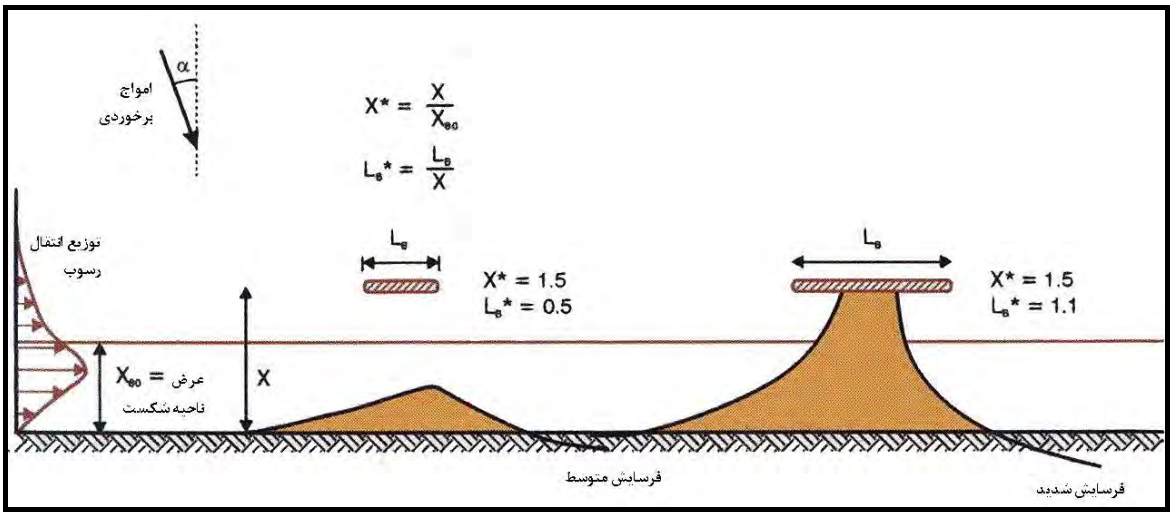
omoorepeyman.ir

### ۳-۳-۴- موج‌شکن‌ها

در این قسمت ملاحظات طراحی مربوط به انواع موج‌شکن‌هایی که در حفاظت سواحل کاربرد دارند، شامل موج‌شکن‌های جدا از ساحل، مستغرق و شناور، توضیح داده می‌شود.

#### ۳-۳-۴-۱- موج‌شکن‌های جدا از ساحل

طراحی ساختاری موج‌شکن‌های جدا از ساحل شبیه موج‌شکن‌های معمولی می‌باشد با این استثنا که روگذری موج و تراوایی بدنه سازه از اهمیت کم‌تری برخوردار است. معمولا پس از ساخت این سازه، در پشت آن پیش‌آمدگی خط ساحل و در سواحل پیرامونی آن فرسایش رخ می‌دهد. پارامترهای مرتبط با هندسه این سازه در شکل (۳-۵۴) نمایش داده شده‌اند.




**شکل ۳-۵۴- تعریف پارامترهای هندسی و شیوه انباشت رسوب برای موج‌شکن جدا از ساحل**

مهم‌ترین پارامترهای مرتبط با این نوع موج‌شکن عبارتند از:

- $L_B$ : طول موج‌شکن
- $x$ : فاصله موج‌شکن تا خط ساحل
- $x_{80}$ : عرض ناحیه شکست موج که ۸۰٪ انتقال رسوب موازی ساحل[1] در آن رخ می‌دهد.
- $L_B^*=L_B/x$: نسبت بی بعد طول موج‌شکن به فاصله موج شکن از خط ساحلی
- $x^*=x/x_{80}$: نسبت بی بعد فاصله موج‌شکن از خط ساحل به عرض ناحیه شکست

تجمع رسوبات در پشت موج‌شکن به دو شکل صورت می‌گیرد:

- **پشته پیش‌آمده**[2]: هنگامی که عدد بی‌بعد طول موج‌شکن ($L_B^*$) کم‌تر از حدود ۰/۶ تا ۰/۷ گردد، پشته‌ای ناقوس مانند در پشت موج‌شکن بر روی خط ساحلی شکل می‌گیرد. البته پارامترهای دیگری به جز طول موج‌شکن و فاصله آن تا ساحل بر روی الگوی شکل‌گیری پشته پیش آمده تاثیرگذار هستند.

1- Littoral Transport
2- Salient

omoorepeyman.ir

- **پشته ارتباطی**[1]: هنگامی که عدد بی بعد طول موج‌شکن ($L_B^*$) بزرگ‌تر از ۰/۹ تا ۱ باشد، انباشت رسوبات پشت موج‌شکن باعث متصل شدن ساحل به موج‌شکن می‌گردد و تشکیل پشته ارتباطی می‌دهد. اما همان‌گونه که پیش‌تر گفته شد، پارامترهای دیگری به غیر از طول موج‌شکن‌ها و فواصل آنها نیز بر روی الگوی شکل‌گیری پشته‌ها اثرگذار هستند. اگر تعداد موج‌شکن‌های موازی ساحل بیش‌تر از یک عدد باشد، فاصله بین هر دو موج‌شکن را با پارامتر LG نمایش می‌دهند.

### ۳-۳-۴-۱-۱- موج‌شکن جدا از ساحل منفرد

موج‌شکن جدا از ساحل در برابر هجوم امواج دریا نوعی پناهگاه ایجاد می‌کند. افزون بر این، انتقال رسوبات موازی ساحل در پشت موج‌شکن کاهش یافته و الگوی انتقال رسوب در نواحی پیرامونی موج‌شکن تغییر می‌یابد.

در حالت کلی، با توجه به نوع کارکرد موج‌شکن جدا از ساحل، مشخصات هندسی و ابعادی آن نیز تغییر می‌یابد. با توجه به توضیحات داده شده، سه نوع موج‌شکن جدا از ساحل وجود دارد (شکل ۳-۵۴):

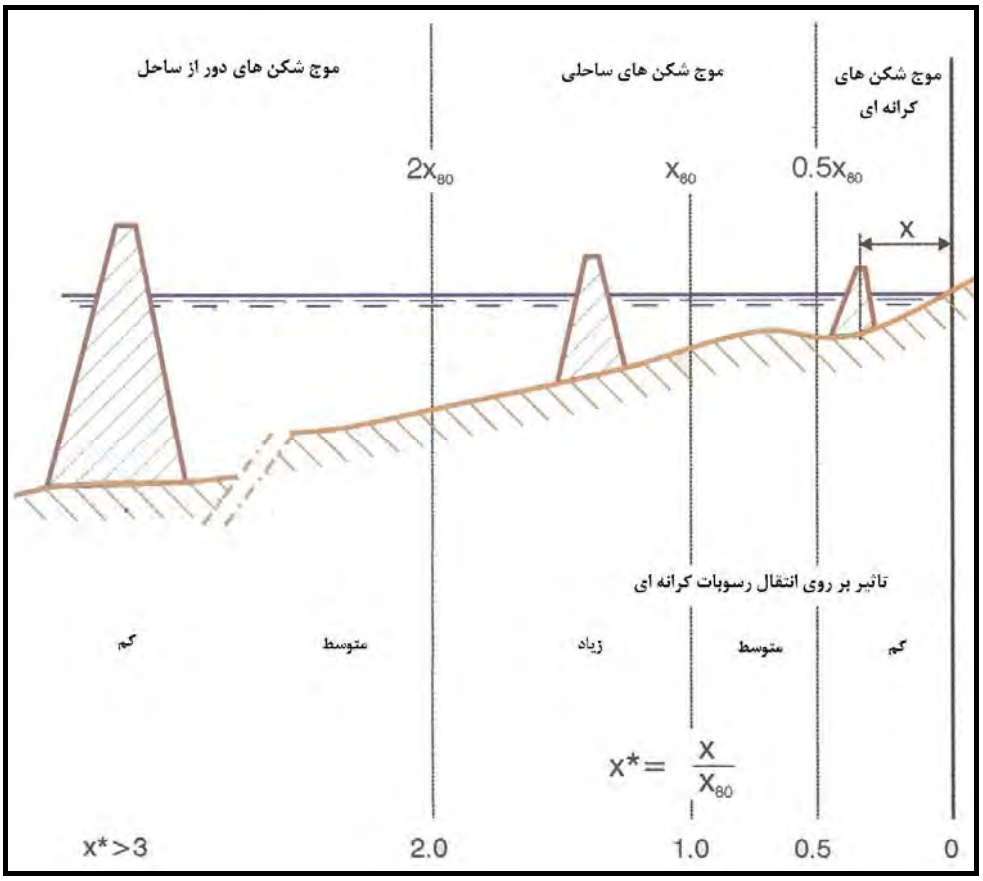
- **موج‌شکن دور از ساحل**[2]: این نوع موج‌شکن در بیرون از منطقه شکست موج قرار می‌گیرد، $x^* > 3$، کارکرد این نوع موج‌شکن برای حفاظت اسکله پهلوگیری کشتی‌ها در برابر تاثیر امواج است. در حقیقت به نوعی یک سازه حفاظتی بندر محسوب می‌شود، بنابراین بیش‌تر در مناطقی که بستر دریا دارای شیب اندکی است، به کار می‌رود. در این مناطق باید اسکله‌های پهلوگیری بندر در فواصل دور از ساحل ساخته شوند تا حجم لایروبی نیز به کم‌ترین میزان برسد. به منظور کاهش حجم عملیات اجرایی، استفاده از موج‌شکن‌های دور از ساحل به عنوان یک گزینه مناسب در نظر گرفته می‌شود.

توجیه کاربرد این موج‌شکن‌ها در این موارد، می‌تواند از سه دیدگاه قابل بررسی باشد. نخست این‌که این موج‌شکن‌ها برای اسکله پناهگاه مناسبی به وجود می‌آورند. دوم این‌که حجم رسوب‌گذاری کاهش می‌یابد و دلیل سوم کاهش تاثیر امواج بر روی ساحل می‌باشد. با توجه به این موارد باید آنها را در بیرون از منطقه شکست موج اجرا کرد و آنقدر طولشان را کوتاه در نظر گرفت که تاثیرشان بر مورفولوژی (ریخت‌شناسی) ساحل به حداقل برسد. البته تجربه نشان داده است که رسیدن به این هدف کار آسانی نبوده و معمولا در پشت این نوع سازه‌ها، رسوب انباشته می‌شود.

در انتها جای اشاره دارد که موج‌شکن‌های دور از ساحل کم‌تر به عنوان سازه‌های مدیریت ساحلی مورد استفاده قرار می‌گیرند و دو نوع موج‌شکن جدا از ساحل دیگر که در ادامه به توضیح درباره آنها پرداخته می‌شود در این زمینه دارای کارکرد مناسب‌تری می‌باشند.

omoorepeyman.ir

1- Tombolo
2- Offshore Breakwater




**شکل ۳-۵۵- انواع موج‌شکن‌های جدا از ساحل**

- **موج‌شکن‌های ساحلی**[1]: این نوع موج‌شکن‌ها در محدوده فاصله نصف عرض منطقه شکست موج تا دو برابر آن اجرا می‌شوند ($0/5 < x^* < 2$). این موج‌شکن‌ها، رسوبات کرانه ساحلی تحت پوشش خود را به تله انداخته و بدین ترتیب از فرسایش نیمرخ ساحل جلوگیری به عمل می‌آورند.
- **موج‌شکن‌های کرانه‌ای**[2]: این نوع موج‌شکن‌ها در فواصل کم‌تر از نصف عرض منطقه شکست موج قرار گرفته‌اند ($x^* < 0/5$)، و بدون این‌که تاثیر چشمگیری بر الگوی انتقال رسوبات داشته باشند، سبب به تله افتادن رسوبات کرانه ساحلی می‌شوند.

فلسفه به کارگیری دو نوع موج‌شکن اخیر (ساحلی و کرانه‌ای) عبارت است از:

- فراهم آوردن پناهگاه جزیی برای قسمت‌هایی از ساحل در برابر اثر امواج
- ایجاد تغییر در رژیم انتقال رسوب به شیوه‌ای قابل پیش‌بینی، به طوری که رسوبات به تله افتاده هم برای هدف تغذیه ساحل و هم برای حفاظت ساحل به کار روند. میزان رسوبات به تله افتاده با توانایی دستیابی به الگوی دلخواه انباشت رسوبات، به کمک پارامترهایی از جمله طول موج‌شکن، فاصله آن با ساحل، تعداد موج‌شکن‌ها و فواصل آنها با یکدیگر تعیین می‌شود که این موارد معمولا به کمک مدل‌سازی عددی انجام می‌شود.

1- Coastal Breakwaters
2- Beach Breakwaters

omoorepeyman.ir

- مزیت استفاده از تعدادی موج‌شکن جدا از ساحل به جای آبشکن، دستیابی به شکل ملایم‌تری از الگوی انباشت رسوبات ساحلی می‌باشد. بدین‌ترتیب مقدار فرسایش احتمالی در ساحل پایین دست نیز کاهش می‌یابد. این قضیه به ویژه در مورد موج‌شکن‌هایی صادق است که آنقدر کوتاه هستند که هیچ وقت تشکیل پشته‌های ارتباطی نمی‌دهند.

گاهی موج‌شکن‌های ساحلی به منظور حفاظت پهلوگاه‌های قایق‌های صیادی کوچک و یا مناطق تفریحی شناگران به کار می‌روند. در این موارد طراحی یک موج‌شکن جدا از ساحل، کاری بسیار دشوار می‌باشد. زیرا برای نمونه، در پناه بودن شناگران نیازمند ساخت یک موج‌شکن بسیار طولانی می‌باشد که این سازه از سوی دیگر منجر به ایجاد پشته ارتباطی می‌شود. با تشکیل پشته ارتباطی تنها ناحیه‌ای نیمه حفاظت شده به‌وجود می‌آید و در سمت پایین دست موج‌شکن، خلیج[1] کوچکی ایجاد می‌گردد. این خلیج تنها برای پهلوگیری قایق‌ها مناسب می‌باشد و برای شناگران قابل استفاده نیست، زیرا در شرایط طوفانی، گردابه‌هایی[2] ایجاد می‌گردد که برای شناگران ایجاد خطر می‌کند.

در صورتی که پشته پیش‌آمده یا ارتباطی بدون خاکریزی اولیه ساحل به وجود آمده باشد، می‌توان نتیجه گرفت که رسوبات انباشته شده از سواحل پیرامونی تامین شده‌اند. در نتیجه ممکن است هر دو ساحل پایین دست و بالادست دچار فرسایش گردند. هنگامی که پشته پیش‌آمده یا ارتباطی به شکل پایدار خود برسد، سواحل پیرامونی تحت اثر این سازه به شیوه‌ای مشابه سازه آبشکن[3] دچار رسوب‌گذاری و فرسایش می‌گردند. به بیان دیگر پس از رسیدن پشته پیش آمده یا ارتباطی به حالت پایدار، ساحل بالادست با رسوب‌گذاری و ساحل پایین دست با فرسایش روبرو خواهد شد.

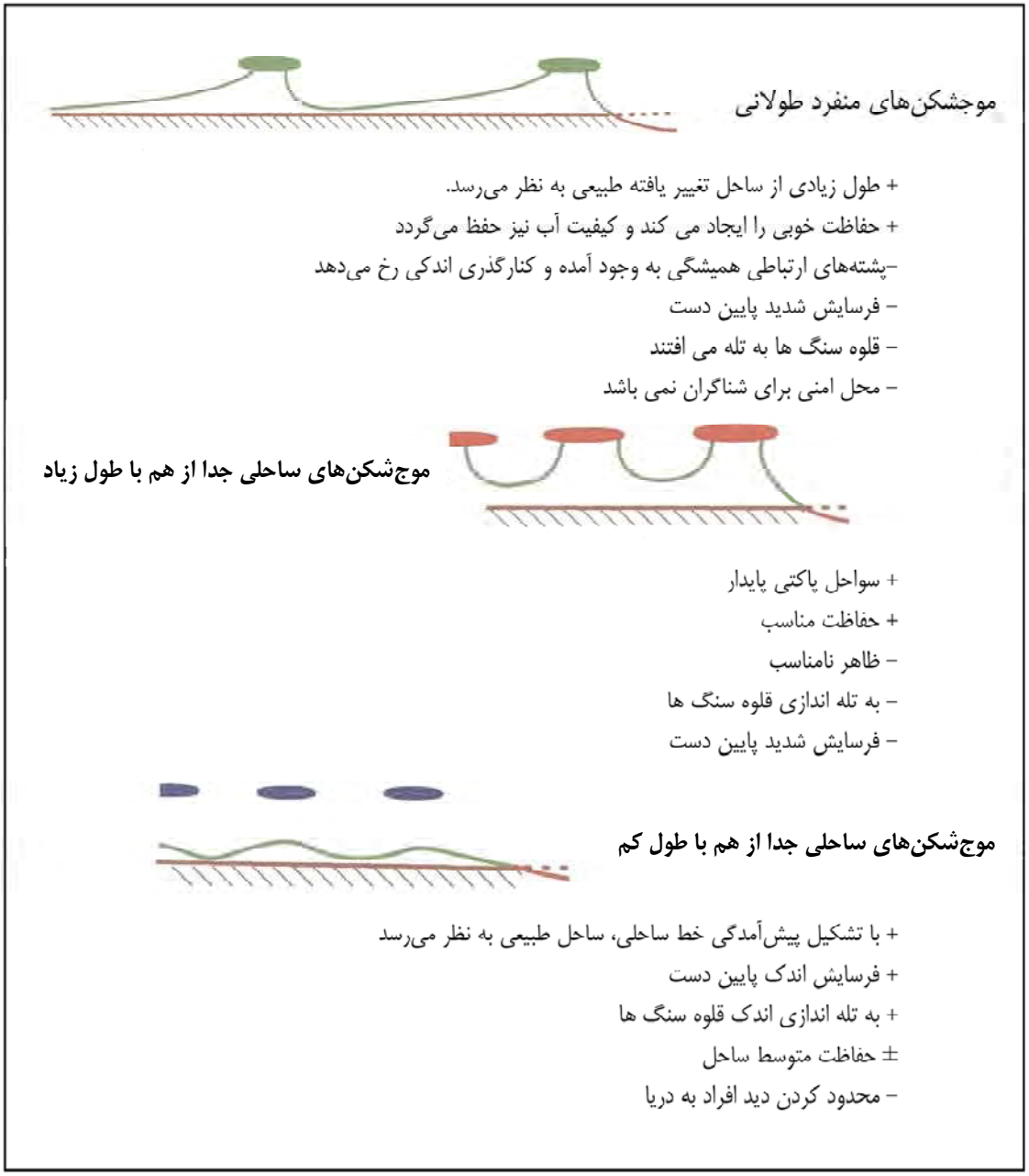
### ۳-۳-۴-۱-۲- موج‌شکن‌های جدا از ساحل گروهی

مباحث مطرح شده در بخش پیشین، مربوط به موج‌شکن‌های منفرد بودند. این در حالی است که اغلب مدیریت سواحل به کمک استفاده گروهی از این نوع موج‌شکن‌ها صورت می‌گیرد. شکل (۳-۵۶) شیوه‌های گوناگون دستیابی به شکل‌های مختلف ساحل به کمک موج‌شکن‌های جدا از ساحل گروهی را به همراه مزایا و معایب آنها نمایش می‌دهد.

در گذشته به منظور حفاظت سواحل مناطق مسکونی در برابر فرسایش‌های بلند مدت از سازه‌هایی همچون دیوارهای دریایی، پوشش محافظ، آبشکن و موج‌شکن‌ها به صورت ترکیبی استفاده می‌شد. ولی در اغلب موارد هر کدام از این سازه‌ها به صورت مستقل از سازه‌های مجاور عمل می‌کردند. این کار سبب از بین رفتن ساحل در برخی نقاط، محدود ساختن دسترسی افراد در امتداد خط ساحلی و ظاهر نامناسب ساحل و از بین رفتن زیبایی طبیعی سواحل مورد نظر می‌گردید. در این مکان‌ها تغذیه ساحل از راه خاکریزی به عنوان کند کننده فرسایش سواحل، معرفی می‌شود؛ ولی به دلیل ناکافی بودن آن در حل مشکل فرسایش‌های آتی ساحل و هم‌چنین مدیریت بسیار دشوار آن، چندان کاربردی نمی‌باشد. ولی با استفاده ترکیبی آن به همراه موج‌شکن‌های جدا از ساحل می‌توان بر مشکلات بالا غلبه کرد.

1- Bay
2- Eddy
3- Groyne

omoorepeyman.ir




**شکل ۳-۵۶- شیوه‌های گوناگون دستیابی به شکل‌های مختلف ساحل به کمک موج‌شکن‌های جدا از ساحل گروهی**

با توجه به شکل (۳-۵۶) مشخص است که موج‌شکن‌های دور از ساحل می‌توانند ساحل را به شیوه مناسب‌تری نسبت به آبشکن‌ها محافظت کنند. کارکرد این موج‌شکن‌ها با کارکرد آبشکن‌ها متفاوت می‌باشد. برای نمونه یک موج‌شکن جدا از ساحل می‌تواند رسوبات ناشی از امواج عمود بر ساحل را به تله بیندازد در صورتی‌که انجام این کار به وسیله آبشکن بسیار دشوار می‌باشد. در ادامه، کاربرد موج‌شکن دور از ساحل در هر کدام از انواع سواحل، مورد بررسی قرار می‌گیرد.

در جدول (۳-۷) طبقه بندی سواحل بر اساس راستای امواج و حفاظت ساحل آورده شده است. در شکل (۳-۵۷) نیز چند نمونه از این سواحل نمایش داده شده‌اند.

omoorepeyman.ir

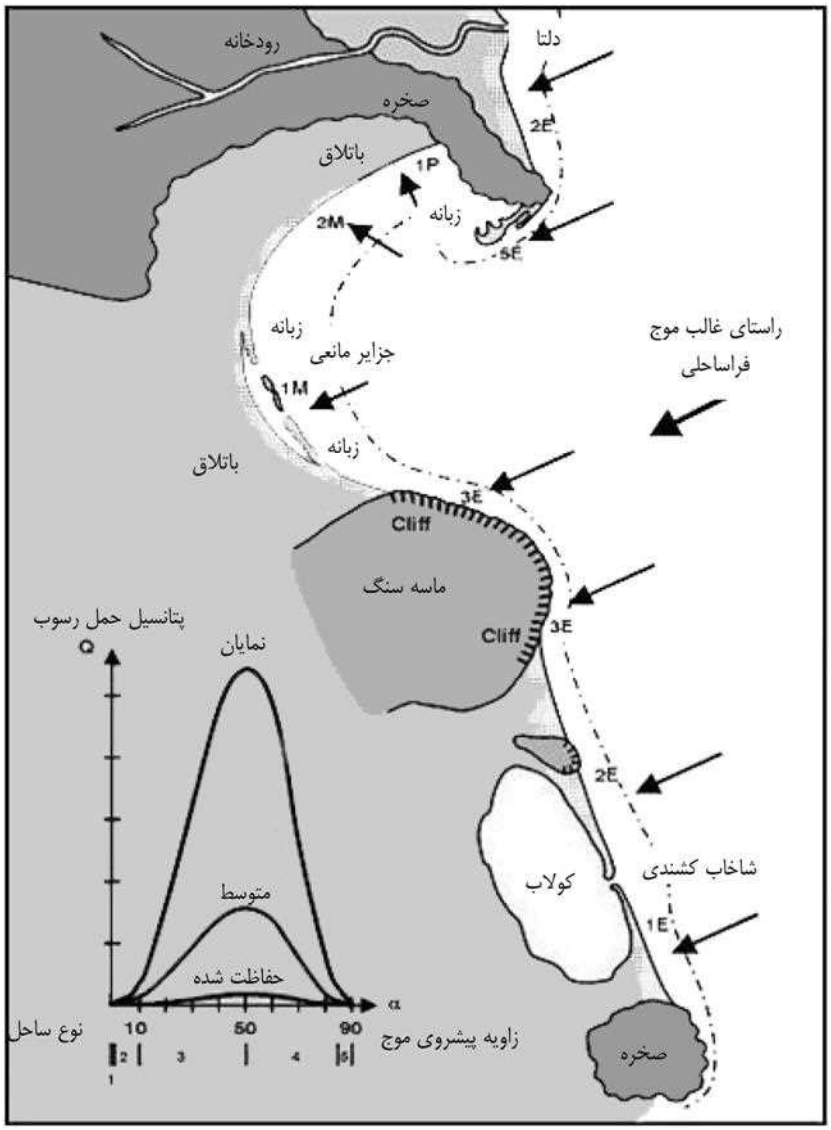
**جدول ۳-۷- انواع سواحل با توجه راستای امواج برخوردی و وضعیت حفاظت سواحل**

| نوع ساحل | راستای برخورد امواج ($0^o$ = جهت عمود بر ساحل) | وضعیت حفاظتی ساحل |
|---|---|---|
| 1P | صفر درجه | حفاظت شده[1] |
| 1M | | نسبتا نمایان[2] |
| 1E | | نمایان[3] |
| 2P | ۱ تا ۱۰ درجه | حفاظت شده |
| 2M | | نسبتا نمایان |
| 2E | | نمایان |
| 3P | ۱۰ تا ۵۰ درجه | حفاظت شده |
| 3M | | نسبتا نمایان |
| 3E | | نمایان |
| 4P | ۵۰ تا ۸۵ درجه | حفاظت شده |
| 4M | | نسبتا نمایان |
| 4E | | نمایان |
| 5P | ۸۵ تا ۹۰ درجه | حفاضت شده |
| 5M | | نسبتا نمایان |
| 5E | | نمایان |

- **سواحل نوع ۱:** عملکرد موج‌شکن‌هایی که در سواحل نوع 1E و 1M به کار می‌روند، بسیار مشابه آبشکن‌ها می‌باشد، زیرا از انتقال رسوبات تله افتاده به مناطق پیرامونی جلوگیری می‌کنند. این موج‌شکن‌ها باعث به تله افتادن رسوبات در ناحیه پشت خود شده و در نتیجه در دو طرف آنها فرسایش ساحل رخ می‌دهد. برای جلوگیری از فرسایش نواحی پیرامونی می‌توان از ابتدا منطقه پشت موج‌شکن را خاکریزی کرد. بدین ترتیب استفاده از موج‌شکن‌های جدا از ساحل به همراه تغذیه ساحل به عنوان گزینه‌ای برای حفاظت سواحل نوع ۱ محسوب می‌گردد.
- **سواحل نوع ۲ و ۳:** همانند آبشکن‌ها می‌توان از موج‌شکن‌های دور از ساحل در سواحل نوع 2M و 2E و هم‌چنین تا حدی در سواحل 3M و 3E استفاده کرد. این موج‌شکن‌ها با توجه به مشخصات هندسی باعث تجمع رسوبات در پشت خود گردیده و تشکیل پشته پیش‌آمده یا ارتباطی می‌دهند. در صورت به وجود آمدن پشته ارتباطی، انباشت رسوب در بالادست موج‌شکن بسیار شبیه به عملکرد آبشکن می‌باشد. هرگونه انباشت رسوب در بالادست و یا پشت سازه موج‌شکن باعث ایجاد فرسایش در پایین‌دست موج‌شکن می‌گردد. در این نوع سواحل فرسایش موضعی و آبشستگی در پوزه موج‌شکن و هم‌چنین شیب بیرونی آن رخ می‌دهد؛ مگر این‌که محل ساخت موج‌شکن در ناحیه بیرون محدوده شکست موج قرار گرفته باشد. بدین‌ترتیب موج‌شکن‌های کرانه‌ای که در داخل ناحیه شکست موج قرار می‌گیرند، در صورتی که پنجه آنها حفاظت نگردد، دچار فرسایش می‌گردند؛ در حالی که موج‌شکن‌های ساحلی که فاصله $x^* > ۱/۲$ دارند، دچار فرسایش نمی‌شوند. البته با تنظیم کردن طول موج‌شکن می‌توان مقدار فرسایش را تغییر داد و در صورت امکان اگر به صورت ترکیبی از تغذیه ساحل نیز استفاده شود، می‌توان تا حدی فرسایش را کاهش داد. از دیدگاه زیباشناختی نیز در سواحل نوع ۲ استفاده تعداد اندکی موج‌شکن طویل به جای تعداد بیش‌تری موج‌شکن کوتاه توصیه می‌شود.

1- Protected :Hs<1 m
2- Moderately Exposed :1m< Hs<3 m
3- Exposed :Hs >3 m

omoorepeyman.ir




**شکل ۳-۵۷- دسته‌بندی سواحل از دیدگاه شدت قرارگیری در معرض امواج و نمایش عوارض ریخت شناسی**

- **سواحل نوع ۴ و ۵:** استفاده از یک موج‌شکن موازی ساحل منفرد در برابر امواجی که زاویه کوچکی با خط ساحلی می‌سازند، کارآیی چندانی ندارد؛ زیرا طول موثر سازه در برابر امواج بسیار کوچک می‌گردد. ولی اگر از موج‌شکن‌های جدا از ساحل گروهی با فواصل اندک استفاده گردد، می‌توان حفاظت مناسبی به عمل آورد. موج‌شکن‌های با این مشخصات تقریبا برای تمام انواع سواحل کارآیی دارند.

### ۳-۳-۴-۲- موج‌شکن‌های مستغرق

در حالت کلی، پاسخ خط ساحلی در برابر عملکرد موج‌شکن‌های جدا از ساحل (نمایان و تاج کوتاه) به وسیله ۸ عامل اصلی زیر کنترل می‌شود:

- فاصله سازه از خط ساحل

omoorepeyman.ir

- طول سازه
- ضریب عبور امواج
- شیب بستر دریا و عمق آب در محل اجرای سازه
- ارتفاع متوسط امواج
- زمان تناوب متوسط امواج
- راستای قرارگیری سازه
- راستای برخورد امواج غالب

کارآیی سازه‌های تاج کوتاه عمدتا به دو عامل ضریب عبور موج و جانمایی سازه بستگی دارد.

**- محاسبه ضریب عبور موج**

ضریب عبور موج ($K_t$)، نسبت بین ارتفاع موج گذرنده از موج‌شکن به ارتفاع موج پیشرونده می‌باشد و عددی بین صفر تا یک است. پارامترهای موثر بر مقدار این ضریب عبارتند از: ارتفاع و عرض تاج موج‌شکن، شیب سازه، جنس مصالح به کار رفته، تراز سطح آب و ارتفاع و زمان تناوب امواج. برای محاسبه این ضریب، مطالعات محدودی در مقیاس آزمایشگاهی و هم‌چنین اندازه‌گیری‌های میدانی صورت گرفته است. نتایج این مطالعات در غالب روابطی جمع‌بندی شده است که پر کاربردترین آن توسط d'Angremond و Van der Meer و de Jong به صورت زیر پیشنهاد شده است:

$$K_t = -0.4R_c / H_i + B / H_i^{-0.31}[1 - \exp(-0.5\xi)]C \qquad (۲۶-۳)$$

$$\xi = \tan\alpha / (H_i / L_0)^{0.5}$$

که در این رابطه

$R_c$: فاصله بین سطح آب و تاج سازه موج‌شکن است که عددی کوچک‌تر از صفر می‌باشد

$H_i$: ارتفاع موج پیشرونده

B: عرض تاج موج‌شکن

C: ضریب ثابتی است که برای سازه‌های تراوا برابر ۰/۶۴ و برای سازه‌های ناتراوا ۰/۸ در نظر گرفته می‌شود

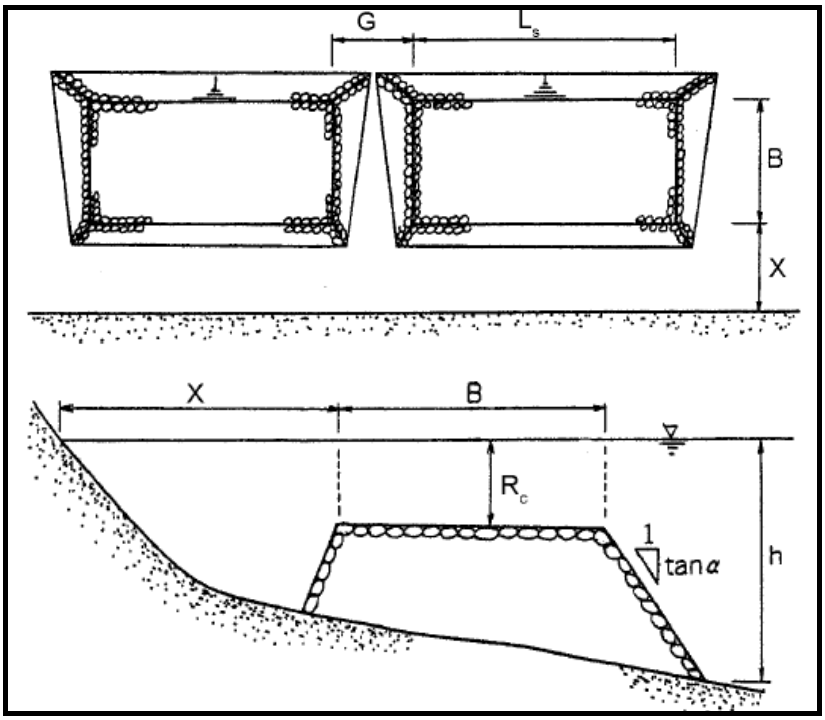
$\tan\alpha$: شیب بدنه سازه در سمت رو به دریا

$L_o$: طول موج در آب

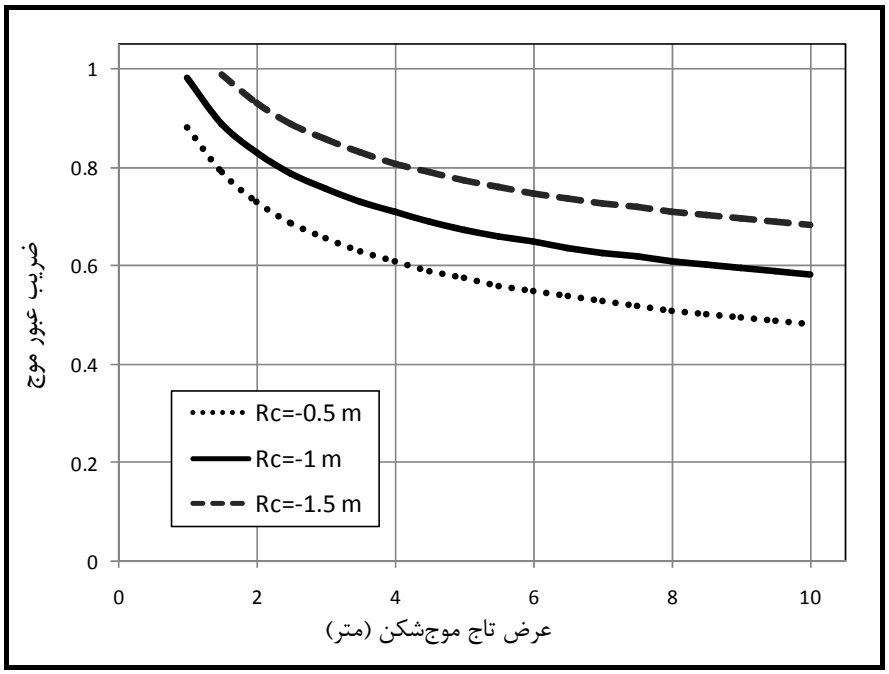
اغلب این پارامترها بر روی شکل (۳-۵۸) نشان داده شده‌اند.

در شکل (۳-۵۹) نمونه‌ای از کاربرد این فرمول و شیوه تغییرات مقدار ضریب عبور موج برای مقادیر مختلف عرض موج‌شکن نمایش داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود با بیش‌تر شدن فاصله بین سطح آب و تاج سازه موج‌شکن، ضریب عبور موج افزایش می‌یابد.

omoorepeyman.ir




**شکل ۳-۵۸- پلان و نیمرخ مربوط به موج‌شکن‌های مستغرق**



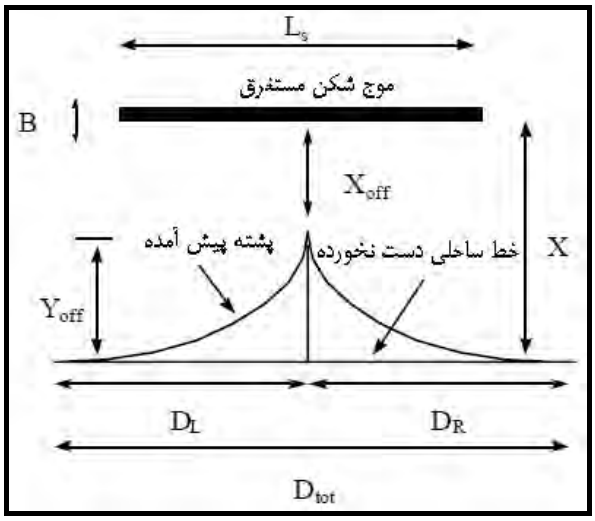

**شکل ۳-۵۹- رابطه ضریب عبور موج و عرض تاج موج‌شکن به ازای Rc های مختلف**

**- جانمایی سازه موج‌شکن مستغرق و پاسخ خط ساحل**

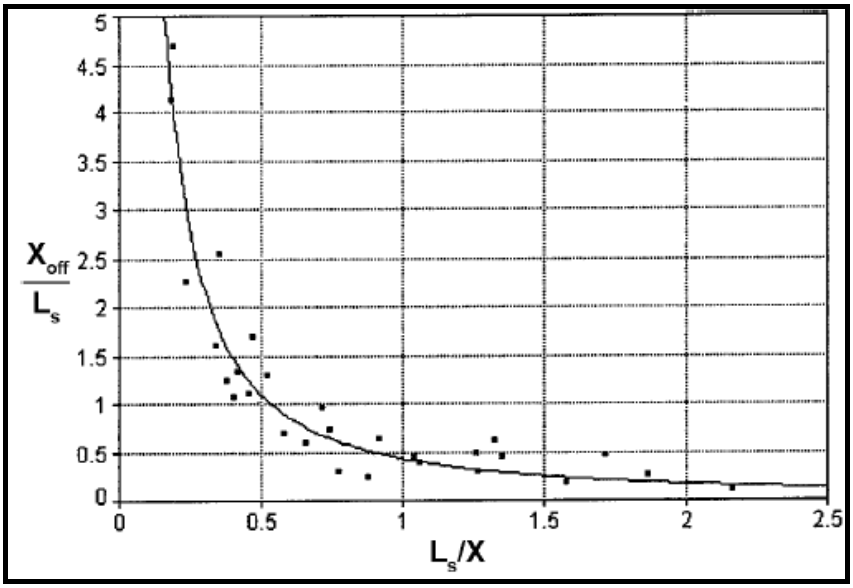
اجرای این نوع موج‌شکن باعث پیش‌آمدگی خط ساحل به صورت کاملا هموار و ملایم و تشکیل پشته پیش‌آمده یا ارتباطی می‌گردد. علت به‌وجود آمدن این عوارض، کاهش ارتفاع موج در پشت سازه و در نتیجه کاهش توانایی آن برای انتقال رسوبات می‌باشد. بدین ترتیب ذرات رسوبی که توسط جریانات کرانه‌ای حمل شده‌اند، در ناحیه پشت موج‌شکن انباشته می‌شوند. میزان

omoorepeyman.ir

پیش‌آمدگی به اندازه و موقعیت موج‌شکن مستغرق وابسته است. اغلب فرمول‌های موجود، در زمینه معیار آستانه تشکیل پشته ارتباطی پیش‌آمده برای موج‌شکن‌های جدا از ساحل نمایان هستند که برای موج‌شکن‌های مستغرق قابل کاربرد نیستند، زیرا اثر ضریب عبور موج در آنها دیده نشده است. در این رابطه اندازه‌گیری‌های میدانی گسترده‌ای صورت گرفته است که با توجه به آنها معیارهایی برای نشان دادن اثر ابعاد و فواصل موج‌شکن بر روی عوارض ساحلی استخراج شده است. نمونه‌ای از داده‌های برداشت میدانی به همراه تعریف پارامترهای به‌کار رفته در آن در شکل (۳-۶۰) نمایش داده شده است.




(الف)




(ب)

**شکل ۳-۶۰- اثر ابعاد و فواصل موج‌شکن بر روی عوارض ساحلی**

نتایج تحلیل این داده‌ها نشان می‌دهد که آستانه تشکیل پشته ارتباطی $L_s/X$ =۰/۶ می‌باشد و پشته پیش‌آمده نیز در حالت $L_s/X$ = ۲ به‌وجود می‌آید. هم‌چنین هنگامی که نسبت $L_s/X$ کوچک‌تر از ۰/۱ باشد، هیچ‌گونه عارضه ریخت‌شناسی در خط ساحل به‌وجود نمی‌آید.

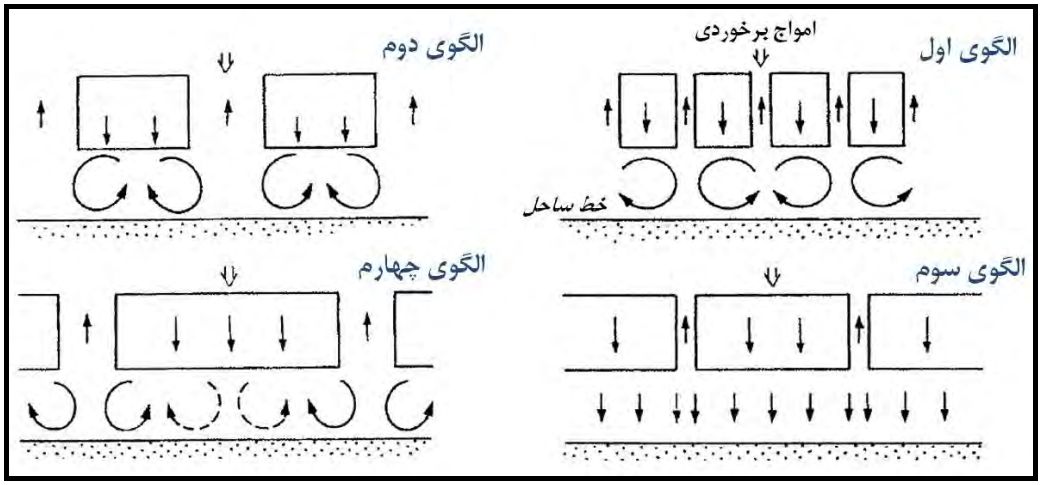
omoorepeyman.ir

افزون بر این، ابعاد پشته‌های پیش‌آمده با توجه به موقعیت و هندسه موج‌شکن مستغرق قابل پیش‌بینی است. همان‌طورکه در شکل (۳-۵۹) نیز ملاحظه می‌شود، برای موج‌شکن‌های مستغرق یا تاج کوتاه یک رابطه توانی بین پارامترهای $L_s / X$ و $X_{off} / L_s$ به صورت زیر حاکم است:

$$\frac{X_{off}}{L_s} = 0.5\left(\frac{L_s}{X}\right)^{-1.27} \qquad (۳-۲۷)$$

به طور کلی انتخاب جانمایی موج‌شکن‌های مستغرق تا حد زیادی به الگوی جریان آب پیرامون آن بستگی دارد. هنگامی‌که از چند موج‌شکن مستغرق در کنار یکدیگر استفاده می‌شود، با توجه به فاصله آنها از یکدیگر و ابعاد سازه موج‌شکن، الگوهای مختلفی از چرخه‌های آبی ایجاد می‌شود. نمونه‌ای از این چرخه‌های آبی در شکل (۳-۶۱) ملاحظه می‌شود.

همان‌گونه که در فرمول‌های مربوط به طراحی موج‌شکن‌های مرسوم آمده است، اساسی‌ترین پارامتر موردنیاز محاسبه وزن قطعات سنگ مورد نیاز برای لایه‌های سنگی می‌باشد. به منظور پیشگیری از تکرار این روش‌ها که در مراجع علمی موجود مانند آیین‌نامه سازه دریایی ایران ذکر شده‌اند، در این‌جا تنها به تغییرات مورد نیاز در فرمول‌های پایداری اشاره می‌شود.




**شکل ۳-۶۱- الگوی جریان آب اطراف موج‌شکن‌های مستغرق با فواصل و ابعاد مختلف**

**- عدد پایداری**

با توجه به این‌که خرابی تاج موج‌شکن عمدتا به‌صورت جابجا شدن سنگ از موقعیت اولیه رخ می‌دهد، عدد پایداری ($N_s^*$) مورد استفاده در فرمول‌های طراحی موج‌شکن‌های مرسوم به صورت زیر تغییر پیدا می‌کند:

$$N_s^* = \frac{H^{2/3}L^{1/3}}{(S-1)(W/\gamma_s)^{1/3}} \qquad (۳-۲۸)$$

که در این رابطه:

L: طول موج در محل اجرای موج‌شکن

H: ارتفاع موج

W: وزن قطعه آرمور

$\gamma_s$: وزن مخصوص قطعه آرمور

omoorepeyman.ir

S: سطح تخریب سازه است که برابر نسبت مساحت آن قسمت از سازه که قطعات آرمور آن از دست رفته‌اند به مجذور قطر متوسط سنگ‌های به کار رفته می‌باشد.

**- تراز تاج موج‌شکن‌های مستغرق**

هنگامی‌که تاج موج‌شکن مستغرق است، تاثیر امواج بر روی شیب موج‌شکن متمرکز نشده و به جای آن بر روی تاج آن اثر می‌گذارد. به منظور محاسبه تراز تاج این نوع موج‌شکن فرمول زیر در راهنمای مهندسی ساحل آمریکا پیشنهاد شده است:

$$\frac{h_c}{d} = (2.1 + 0.1S)e^{-0.14N_s^*} \qquad (۲۹-۳)$$

که در این رابطه:

$h_e$: ارتفاع تاج موج‌شکن است که از بستر دریا اندازه‌گیری می‌شود.

d: عمق آب

S: سطح تخریب

$N_s^*$: عدد پایداری

**- تعیین ابعاد قطعات آرمور**

در صورتی که ابعاد سنگ آرمور موج‌شکن تاج کوتاه مورد نیاز باشد، Van der Meer ضریب کاهشی با فرمول زیر برای اندازه سنگ محاسبه شده از روش‌های مرسوم ($D_n$) را برای ۰/۰۵۲ $< R_p^* <$ ۰ پیشنهاد می‌کند:

$$\text{ضریب کاهشی} = \frac{1}{1.25 - 4.8R_p^*} \qquad (۳۰-۳)$$

که در آن $R_p^*$ به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$R_p^* = \frac{R_c}{H_s}\sqrt{\frac{S_{op}}{2\pi}} \qquad (۳۱-۳)$$

که در این رابطه

$R_c$: فاصله بین سطح آب و تاج سازه موج‌شکن است که عددی کوچک‌تر از صفر می‌باشد

$H_s$: ارتفاع شاخص موج

$S_{op}$: تیزی موهومی موج که از رابطه $S_{op} = 2\pi H_s / (gT_p^2)$ محاسبه می‌شود.

با به کارگیری این فرمول، ابعاد سنگ‌های موج‌شکن‌های تاج کوتاه تا ۸۰ درصد کاهش می‌یابد. این کاهش حجم متناسب با ۵۰ درصد کاهش وزن می‌باشد.

omoorepeyman.ir

### ۳-۳-۴-۳- موج‌شکن‌های شناور

**- کلیات**

معمولا موج‌شکن‌های شناور به عنوان اسکله در بنادر تفریحی استفاده می‌شوند؛ اما بـه عنـوان سـازه‌هـای حفـاظتی بـرای بنـادر تفریحی واقع در دریای نیمه باز نیز کاربرد دارند. این سازه‌ها برای مناطقی با دامنه کشندی زیاد مناسب هستند، زیرا به همراه تغییرات تراز آب، امکان بالا و پایین رفتن آنها وجود دارد. البته به ندرت از موج‌شکن‌های شناور به عنـوان سـازه‌هـای مـدیریت خـط سـاحلی استفاده شده است، زیرا برای نصب در دریای باز چندان مناسب نیستند.

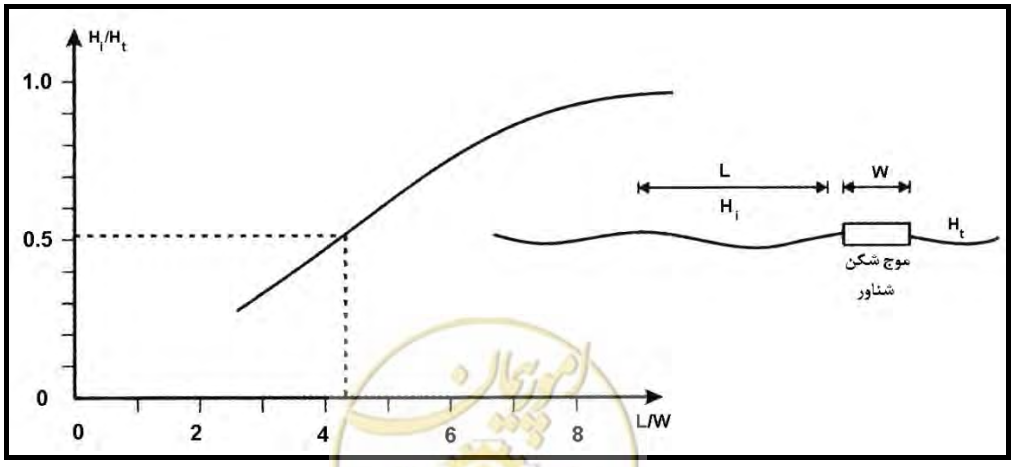
موج‌شکن‌های شناور بیش‌تر در آب‌های با طول موجگاه محدود و شرایط موج کوچک قابل اسـتفاده‌انـد. در صـورتی کـه نسـبت عرض موج‌شکن به طول موج برخورد کننده در حدود ۰/۵ باشد و زمان تناوب طبیعی آن در مقایسـه بـا زمـان تنـاوب امـواج بسـیار بزرگ‌تر باشد، کارآیی این سازه به مقدار حداکثر خود می‌رسد.

کارآیی موج‌شکن شناور به اندرکنش غیرخطی امواج و دینامیک سازه موج‌شکن بستگی زیادی دارد. این اندرکنش به خاطر وجـود نیروهای ناشی از مهاربندی و اتصال بین قطعات مختلف موج‌شکن بسیار پیچیده‌تر نیز می‌شود. به طور کلی طراحی دقیق ایـن سـازه نیازمند استفاده ترکیبی از مدل‌های عددی و فیزیکی می‌باشد.

**- پیش‌بینی عملکرد موج‌شکن شناور**

در رابطه با پیش‌بینی عملکرد این موج‌شکن در برابر امواج دریا، مطالعات زیادی صورت گرفته است که بیش‌تـر آنهـا بـه‌صـورت آزمایشگاهی بوده‌اند. خروجی اغلب این مطالعات در غالب ارائه روابط یا نمودارهای ضرایب انتقال و بازتاب امواج برای انـواع مختلـف موج‌شکن‌های شناور بوده است. مطالعات انجام شده شامل تجربیات میدانی، روش‌هـای تحلیلـی، روش‌هـای عـددی و آزمـون‌هـای آزمایشگاهی هستند.

ضریب انتقال موج $H_t/H_i$ (یا به بیان دیگر نسبت بین ارتفاع موج گذرا به موج برخوردی)، به مقدار L/W یعنی نسبت طول مـوج برخوردی به عرض سازه شناور بستگی دارد. به عنوان یک قانون سرانگشتی، ضریب انتقـال $H_t/H_i$ بـه ازای L/W = ۳ برابـر ۰/۳ و برای L/W = ۸ بین ۰/۹ تا ۱ می‌باشد (شکل ۳-۶۲).




**شکل ۳-۶۲- رابطه بین ضریب انتقال موج Ht/Hi و نسبت L/W**

omoorepeyman.ir

یکی از روش‌های دقیق‌تر تخمین ضریب انتقال موج این سازه به کارگیری رابطه پیشنهادی Macagno (1954) است که بدین صورت پیشنهاد شده است:

$$C_T = \left[1+\left(\frac{K_w B_s \mathrm{Sinh}(K_w D_w)}{2\mathrm{Cosh}(K_w D_W - K_w D_s)}\right)^2\right]^{-\frac{1}{2}} \qquad (۳۲-۳)$$

البته در این فرمول اثر حرکت سازه شناور در نظر گرفته نشده بود که برای برطرف ساختن این مشکل بعدها با فرض تئوری خطی موج، توزیع فشار هیدرواستاتیک و استهلاک خطی انرژی به صورت زیر اصلاح شد:

$$C_T = \left[1+\left(\frac{\pi M_s}{\rho_w L_w D_w}\right)^2\left(\frac{T_w^2}{T_s^2}\right)^2\right]^{-\frac{1}{2}} \qquad (۳۳-۳)$$

که در این رابطه:

$K_w$: عدد موج

$D_w$: عمق آب

$T_w$: زمان تناوب موج

$T_s$: زمان تناوب حرکت جانبی سازه

$M_s$: جرم سازه در هر متر طول آن

$B_s$: عرض سازه

$D_s$: آبخور سازه

$\rho_w$: وزن مخصوص آب

## ۳-۳-۵- آبشکن‌ها

در این قسمت ملاحظات مربوط به طراحی آبشکن‌ها ارائه شده است. برای آشنایی با تعریف، شیوه به کارگیری، مشخصه‌های کارکردی و زمینه‌های کاربرد آبشکن‌ها می‌توان به بخش «۳-۲-۵- آبشکن‌ها» مراجعه نمود.

مهم‌ترین مراحل طراحی آبشکن‌ها شامل موارد زیر است:

- انتخاب نوع آبشکن (سنگی، بتنی و غیره)
- طراحی نیمرخ طولی آبشکن
- تعیین فاصله و طول آبشکن‌ها
- بررسی پایداری و بارگذاری

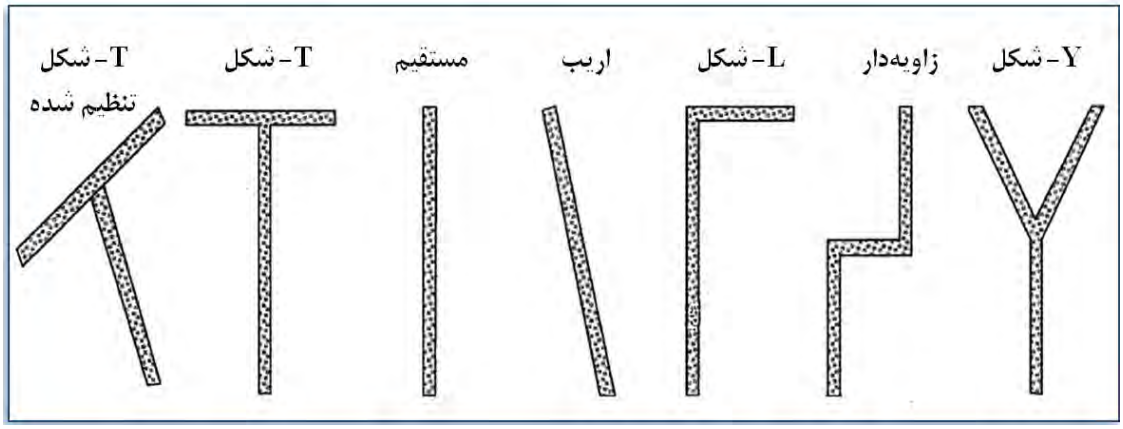
omoorepeyman.ir

### ۳-۳-۵-۱- انتخاب نوع آبشکن

از مهم‌ترین عوامل موثر بر انتخاب نوع آبشکن، وضعیت مصالح بستر دریا و عوامل ژئوتکنیکی می‌باشد که به کمک گمانه زنی قابل دستیابی است. در مواقع امکان عدم نفوذ بالا برای شمع‌کوبی، سازه‌های ثقلی از جمله آبشکن‌های سنگی یا صندوقه‌ای و در غیر این صورت سازه‌های طره با مصالح بتنی، چوبی یا فولادی باید در نظر گرفته شوند.

مصالح در دسترس و هزینه تهیه، محل و استقرار آنها نیز در تعیین نوع آبشکن نقش عمده‌ای دارند. از سوی دیگر، دوام مصالح و هزینه سالانه نگهداری آنها نیز در زمره موارد مهم می‌باشد. برای نمونه، هزینه‌های اولیه آبشکن‌های فولادی و چوبی ممکن است کم‌تر از روش‌های دیگر باشد اما آبشکن‌های بتنی و سنگی به نگهداری کم‌تری نیاز دارند.

در زمینه شکل آبشکن‌ها، بیش‌تر آنها به صورت مستقیم و عمود بر ساحل اجرا می‌شوند. با این حال، انواع مختلف دیگری از شکل‌های ممکن برای پلان آبشکن تاکنون اجرا شده‌اند که نمونه‌هایی از آنها در شکل (۳-۶۳) نشان داده شده است. آبشکن‌های T- شکل از دید کارکردی مشابه موج‌شکن‌های نزدیک ساحل می‌باشند. آبشکن‌های اریب در صورتی که در راستای انتقال رسوبات خالص کرانه‌ای خم شده باشند، می‌توانند جریان‌های بازگشتی را کاهش دهند. تمام اشکال نشان داده شده در شکل (۳-۶۳) به طور عملی اجرا شده‌اند و هر کدام توانسته‌اند تا حدی به پایدارسازی خط ساحلی کمک کنند.

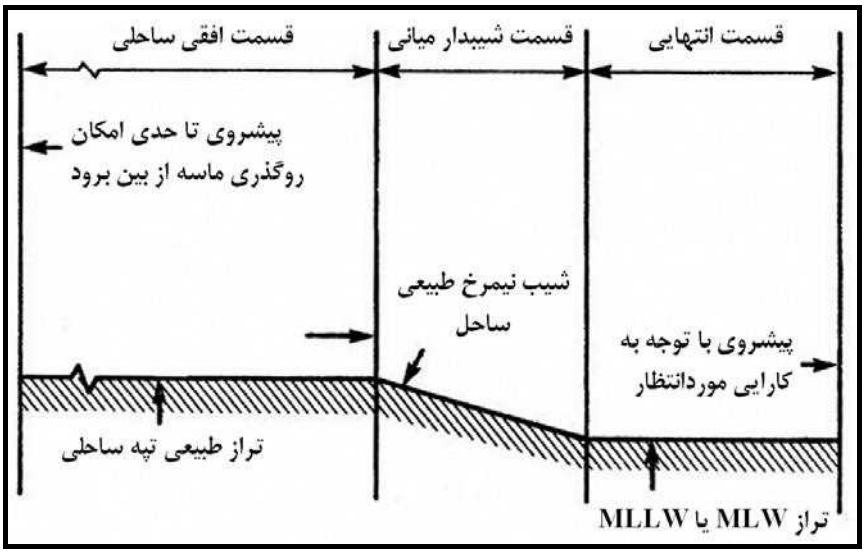



**شکل ۳-۶۳- انواع شکل‌های ممکن برای پلان آبشکن‌ها**

### ۳-۳-۵-۲- طراحی نیمرخ طولی آبشکن

مهم‌ترین قسمت‌های نیمرخ یک آبشکن در شکل (۳-۶۴) نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود یک آبشکن دارای سه قسمت افقی ساحلی، قسمت شیب‌دار میانی و قسمت انتهایی می‌باشد.

omoorepeyman.ir




**شکل ۳-۶۴- مهم‌ترین قسمت‌های نیمرخ طولی یک آبشکن**

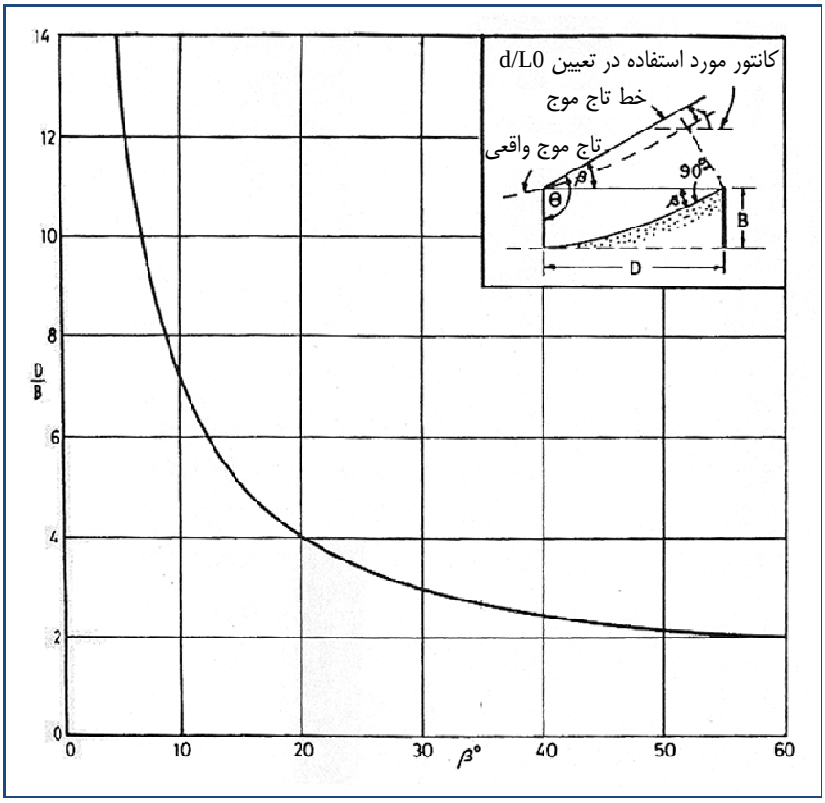
- **قسمت افقی ساحلی:** در مورد طراحی قسمت افقی ساحلی، همان‌گونه که پیش‌تر اشاره شد، باید آنقدر تا صخره یا تپه ساحلی موجود در پسکرانه امتداد یابد که احتمال عبور ماسه‌های رسوب‌گذاری شده از پشت و روی آبشکن هنگام برکشند توفان و امواج شدید از بین برود. معمولا تراز این قسمت برابر مجموع حداکثر مد به علاوه بالاروی ناشی از امواج معمولی منطقه در نظر گرفته می‌شود. در آبشکن‌های سنگی معمولا ۳۰ سانتی‌متر نیز برای جبران فاصله و خلل و فرج موجود بین سنگ‌ها به مقدار گفته شده افزوده می‌شود.
- **قسمت انتهایی:** قسمت انتهایی آبشکن معمولا به صورت افقی و با ارتفاع حداقل به سمت دریا امتداد می‌یابد. تراز این قسمت با توجه به مسایل اقتصادی، روش اجرایی و موارد دیگر انتخاب می‌شود که برای نمونه می‌تواند معادل MLW یا MLLW در نظر گرفته شود. میزان پیشروی قسمت انتهایی به کارآیی مورد انتظار برای آبشکن بستگی دارد. هرچه آبشکن بیش‌تر در ناحیه شکست موج امتداد یافته باشد، رسوبات بیش‌تری را به تله انداخته و کارآیی بیش‌تری خواهد داشت.
- **قسمت شیب‌دار میانی:** طراحی قسمت شیب‌دار میانی آبشکن باید به گونه‌ای انجام شود که با شیب متناسب با شیب طبیعی بستر، دو قسمت افقی ساحلی و انتهایی را به یکدیگر وصل کند.

### ۳-۳-۵-۳- تعیین فاصله و طول آبشکن‌ها

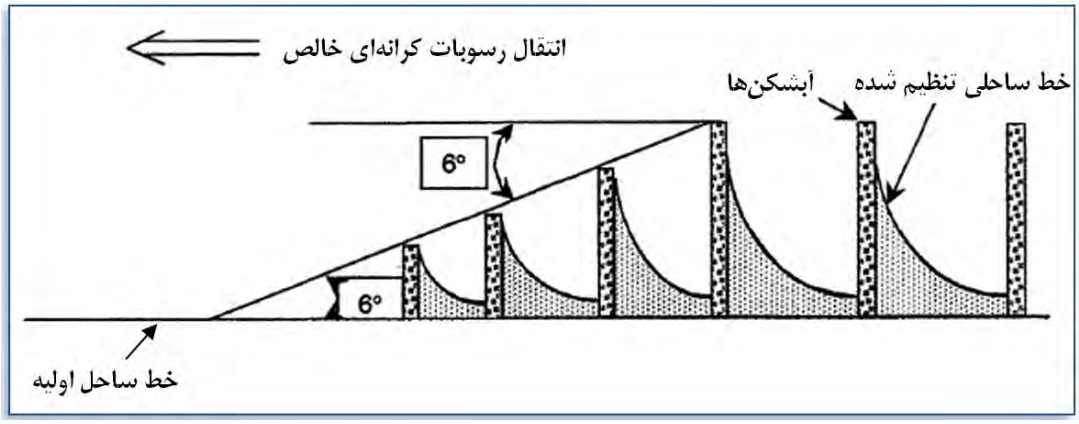
در صورتی که محدوده ساحلی طولانی بوده و نیازمند اجرای آبشکن‌های گروهی باشد، ضرورت دارد که فاصله مناسب بین آبشکن‌ها تعیین شود. در این زمینه پژوهش‌گران مختلف معیارهای گوناگونی را برای نسبت «فاصله به طول» آبشکن‌ها ارائه کرده اند. برای نمونه، Nagai (۱۹۵۶) و Horikawa و Sonu (۱۹۵۸) نسبت ۲ تا ۳ را مناسب ارزیابی کرده‌اند. هم‌چنین Thom و Roberts (۱۹۸۱) مقدار ۱/۵ تا ۲ را برای این نسبت پیشنهاد کرده‌اند. راهکار مناسبت‌تر برای تعیین نسبت فاصله به طول استفاده از نمودار ارائه شده در شکل (۳-۶۵) است که برگرفته از کتاب «پایدارسازی ساحل» می‌باشد. در این نمودار نسبت فاصله به طول آبشکن‌های گروهی بر حسب زاویه پیشروی موج غالب ارائه شده است. در این نمودار D فاصله بین آبشکن‌ها، B طول آبشکن‌ها و

omoorepeyman.ir

β زاویه پیشروی تاج موج نسبت به خط ساحلی اولیه است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود هرچه زاویه پیشروی موج نسبت به خط ساحلی اریب‌تر می‌شود (زوایای β بزرگ‌تر) فاصله بین آبشکن‌ها باید کاهش یابد. برای پیشگیری از فرسایش ناگهانی ساحل پایین دست از آبشکن‌های انتقالی استفاده می‌شود که طولشان به تدریج کم‌تر می‌شود. مطابق شکل (۳-۶۶) زاویه امتداد انتهایی آبشکن‌های انتقالی در حدود ۶ درجه مناسب تشخیص داده شده است.




**شکل ۳-۶۵- نسبت فاصله به طول بین آبشکن‌ها بر حسب زاویه پیشروی موج غالب**




**شکل ۳-۶۶- انتقال تدریجی از آبشکن‌های گروهی به ساحل اولیه**

omoorepeyman.ir

### ۳-۳-۵-۴- بررسی پایداری و بارگذاری

افزون بر شکل پلان، طول و فاصله بین آبشکن‌ها که بیش‌تر به الگوی انتقال رسوبات و جهت امواج غالب بستگی دارد، ضرورت دارد برای آن‌که آبشکن از دید پایداری و بارگذاری دچار مشکل نشود، مقطع مناسبی برای آن انتخاب شود. سه نوع بارگذاری مهم که بر آبشکن‌ها تاثیر می‌گذارند عبارتند از: نیروهای موج، تیروهای جریان و نیروهای جانبی خاک.

**- نیروهای امواج**

طراحی مقطع آبشکن معمولا برای امواج با دوره بازگشت ۲۰ تا ۵۰ سال صورت می‌گیرد. هم‌چنین بسته به انعطاف‌پذیری سازه آبشکن، ارتفاع موج طرح انتخاب می‌گردد. در مورد آبشکن‌های صلب (همچون سپری طره) توصیه شده است از ارتفاع موج $H_1$ ($1/67H_S$) برای طراحی مقطع استفاده شود. هم‌چنین در مورد آبشکن‌های نیمه صلب (همچون سپر سلولی) و آبشکن‌های انعطاف‌پذیر (همچون توده سنگی) توصیه شده است از ارتفاع امواج $H_{10}$ ($1/27H_S$) استفاده شود. در این روابط $H_S$ ارتفاع موج شاخص می‌باشد.

**- نیروهای جریان**

مقدار نیروهای ناشی از جریان‌های ساحلی معمولا در مقایسه با نیروهای امواج به مراتب کوچک‌تر می‌باشد. با این حال این نیروها می‌توانند بر شمع‌های نگهدارنده جانبی سازه‌های سپری شکل تاثیرگذار باشند.

**- نیروهای جانبی خاک**

به دلیل فرسایش و رسوب‌گذاری به ترتیب در پایین دست و بالادست آبشکن‌ها، تراز ماسه در دو طرف آبشکن با یکدیگر اختلاف خواهد داشت. این اختلاف تراز ماسه به ویژه در مورد آبشکن‌های سپری مهم می‌باشد زیرا سبب اعمال نیروهای جانبی خاک به صورت مجموعه‌ای از نیروهای فعال و مقاوم به ترتیب در سمت بالادست و پایین‌دست می‌شود. مجموعه این دو نیرو می‌تواند بحرانی‌ترین تنش‌های خمشی را در آبشکن به وجود آورد.

**- انتخاب مقطع آبشکن**

با در نظر داشتن نیروهای وارد بر آبشکن باید توجه نمود که هر نوع آبشکن برای یکی یا مجموعه‌ای از این نیروها طرح می‌شود. برای نمونه آبشکن‌های سپری طره برای لنگر خمشی ناشی از مجموعه بارگذاری نیروهای امواج، جریان‌های ساحلی، و فشار فعال خاک و با توجه به میزان نفوذ آنها در بستر و تامین نیروهای مقاوم خاک طراحی می‌گردد. این سازه‌ها از دیدگاه ژئوتکنیکی باید ضریب اطمینان لازم را در برابر تعادل استاتیکی نیروهای فعال و غیر فعال و هم‌چنین پایداری کلی لغزشی تامین نمایند.

در مورد آبشکن‌های سلولی، طراحی سازه‌ای مقطع آنها مشابه موج‌شکن‌های صندوقه‌ای می‌باشد و معمولا حالت بحرانی طراحی در اثر فشار فعال خاکریز درونی به علاوه اثرهای مکش امواج به وجود می‌آید. در هر حال، از دید ژئوتکنیکی باید این سازه‌ها در برابر واژگونی، لغزش صفحه‌ای، ظرفیت باربری خاک و پایداری کلی لغزش کنترل شوند.

آبشکن‌های توده‌سنگی در برابر اثر امواج طراحی می‌گردند. طراحی مقطع این‌گونه آبشکن‌ها مشابه موج‌شکن‌های توده سنگی می‌باشد و معمولا اجازه رودگذری امواج برای آنها داده می‌شود.

omoorepeyman.ir

## ۳-۳-۶- دستک‌ها

### ۳-۳-۶-۱- کلیات طراحی جانمایی

اگرچه کارکرد دستک‌ها با موج‌شکن‌ها و آبشکن‌ها متفاوت است اما طراحی ساختاری دستک‌ها مشابه آنها می‌باشد. اغلب دستک‌های موجود در دنیا از جنس توده سنگی هستند. انواع دیگر مصالح قابل کاربرد در دستک شامل بتن، فولاد و چوب می‌باشند. یکی از تفاوت‌های دستک و موج‌شکن این است که در این سازه تا حدودی امواج مجاز به روگذری می‌باشند. هم‌چنین مغزه دستک‌ها از دیدگاه ابعاد سنگدانه‌ها کوچک‌تر و تراواتر از مغزه موج‌شکن‌ها است تا حدی که تنها از انتقال رسوبات به داخل کانال ناوبری جلوگیری کنند.

دستک‌ها باید به گونه‌ای طراحی شوند که از یک سو از مصالح موجود، استفاده بهینه گردد و از سوی دیگر اهداف کارکردی مورد انتظار از دستک بدون برجای گذاشتن اثر مخرب بر فرآیندهای فیزیکی و زیست محیطی دیگر برآورده شوند.

در مورد جانمایی دستک‌هایی که در دهانه رودخانه ساخته می‌شوند فاصله بازوهای دستک از یکدیگر باید به گونه‌ای باشد که هنگام وقوع سیل، آب جاری شده در کانال پس نزند و باعث آسیب رساندن به قسمت بالادست نگردد. از سوی دیگر باید بازوها آنقدر امتداد یابند تا این‌که کانال تا عمق مورد نیاز برای ناوبری برسد. در برخی موارد، بازوهای دستک را به گونه‌ای می‌سازند که یکی از آنها بر روی دیگری همپوشانی داشته باشد و بدین ترتیب به انتقال رسوب طبیعی در امتداد خط ساحلی کمک کند و از سوی دیگر انرژی موج وارد شده به داخل دهانه، کاهش یابد.

جانمایی دستک در مناطق کشندی دشوارتر می‌باشد. گاهی اندرکنش جریان‌های ناشی از امواج جریان‌های کشندی و آب شیرین رودخانه‌ها در دهانه بسیار پیچیده می‌شود. در صورتی که فاصله بین بازوهای دستک خیلی زیاد باشد، احتمال کم عمق شدن قسمتی از کانال و یا به وجود آمدن پیچ وخم در طول کانال وجود دارد. از سوی دیگر اگر فاصله کم باشد احتمال تداخل قسمت پایین مقطع دستک با بالای کانال وجود دارد و مشکلاتی از دیدگاه ناوبری رخ خواهد داد.

### ۳-۳-۶-۲- جانمایی دستک

انواع جانمایی‌های دستک‌ها عبارتند از:

- **دستک‌های موازی:** این دستک باعث محصور شدن مسیر حرکت جریان کشندی گردیده و مقادیر سرعت جریان‌ها بیش‌تر می‌شود.
- **همگرا**[1]: دستک‌های همگرا معمولا باعث کم عمق شدن قسمتی از کانال و پیچش مسیر کانال به علت جریان‌های ناشی از کشند پایین (جزر) می‌شود. نمونه‌ای از اجرای دستک‌های همگرا در شکل (۳-۶۷) نشان داده شده است.
- **منحنی شکل**[2]: دستک‌های منحنی شکل باعث به وجود آمدن جریان‌های بازگشتی می‌شوند اما تمرکز جریان در بیرون از انحنای سازه دستک ممکن است باعث آسیب دیدن دستک گردد و از سوی دیگر مسیر منحنی شکل مسیر کانال نیز برای ناوبری دشوار باشد. نمونه‌ای از این نوع دستک‌ها در شکل (۳-۶۸) نشان داده شده است.

1- Arrowhead Jetties
2- Curved Jetties

omoorepeyman.ir

**شکل ۳-۶۷- نمونه‌ای از دستک‌های همگرا**

**شکل ۳-۶۸- نمونه‌ای از دستک‌های منحنی شکل**

امورپیمان
omoorepeyman.ir

### ۳-۳-۶-۳- طول دستک

به عنوان یک قانون کلی، دستک‌ها باید تا بیرون از منطقه انتقال رسوبات کرانه‌ای امتداد یابند تا از ورود این رسوبات به داخل کانال ناوبری جلوگیری شود. هم‌چنین ترجیح داده می‌شود که سازه دستک تا جایی امتداد یابد که خطوط تراز بستر دریا، هم عمق با کانال ورودی شوند. راستای اجرای دستک از جنبه ناوبری نیز باید به گونه‌ای باشد که مسیر حرکت کشتی‌ها در امتداد موج برخوردی به آنها باشد که از این دیدگاه معمولا جهت عمود بر ساحل انتخاب می‌شود. البته از نظر نفوذ موج به داخل منطقه تحت پوشش دستک این راستا بسیار نامناسب است. با این حال، به علت استهلاک زیاد انرژی امواج در حرکت بین دو بازوی موازی دستک و هم‌چنین هنگام ورود به دهانه دستک، معمولا این مساله مشکل‌ساز نخواهد شد. ارتفاع امواجی که به داخل محوطه دستک وارد می‌شوند را می‌توان با فرض کردن دستک به صورت یک دهانه ورودی موج‌شکن و شبیه‌سازی پدیده تفرق امواج به دست آورد.

### ۳-۳-۶-۴- فاصله بین بازوهای دستک

عوامل مهم در انتخاب فاصله بازوهای دستک شامل فرآیندهای کشندی، نیازمندی‌های حفاظت در برابر امواج، بده خروجی رودخانه منتهی به دستک و هم‌چنین ملزومات ناوبری شناورهاست. در مورد کشند، فاصله بین بازوها بر روی حجم منشور کشندی که همواره در حال تبادل در دهانه می‌باشد، تاثیرگذار است.

افزودن دستک به دهانه‌هایی که به صورت طبیعی وجود داشته‌اند باعث تغییر در مورفولوژی (ریخت شناسی) دهانه می‌گردد. البته با انجام یک طراحی مهندسی دقیق، می‌توان این تغییرات را به حداقل رساند. برای نمونه، می‌توان طرحی ارائه کرد که با حفظ حداقل مقدار سطح مقطع مورد نیاز برای کانال، همچنان حجم آب جابجا شده در مدت کشند ثابت بماند.

یکی از مواردی که به نزدیک‌تر شدن به شرایط طبیعی پیش از اجرای سازه دستک کمک می‌کند انتخاب دقیق فاصله بین بازوهای دستک است. در شکل (۳-۶۹) که با استفاده از داده‌های ۴۴ دهانه دارای دستک به دست آمده است، رابطه بین بازوهای دستک و مقدار حجم آب جابجا شده در هر کشند نشان داده شده است.

به کمک این نمودار و با داشتن مقدار حجم آب جابجا شده در هر کشند، می‌توان فاصله بین دستک‌ها را به گونه‌ای تعیین کرد که از یک سو به دلیل افزایش سرعت جریان، مشکل فرسایش کانال و هم‌چنین مشکلات ناوبری رخ ندهد و از سوی دیگر به دلیل عرض زیاد، خط قعر کانال در طول مسیر خود به شکل مارپیچ در نیاید.

منظور از حجم آب کشندی[1] در شکل (۳-۶۹) حجم آبی است که در هر کشند بین دریا و خور جابجا می‌شود. یکی از روش‌های محاسبه این حجم به صورت زیر می‌باشد:

$$P = \frac{TV_m A_{avg}}{\pi} \qquad (۳۴-۳)$$

که در این رابطه:

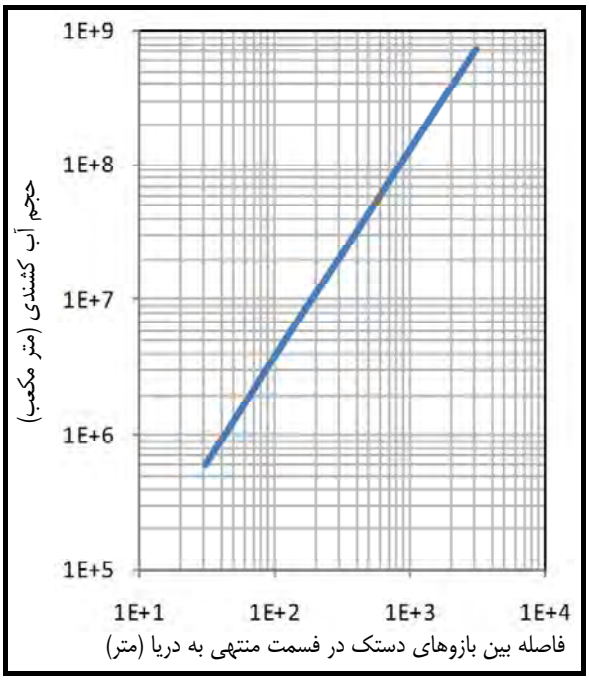
T: دوره کشندی

$V_m$: حداکثر سرعت متوسط در کانال در طول دوره کشندی

$A_{avg}$: سطح مقطع متوسط کانال

1- Tidal Prism

omoorepeyman.ir




**شکل ۳-۶۹- رابطه فاصله بین بازوهای دستک و حجم آب کشندی**

### ۳-۳-۶-۵- ملاحظات انتخاب جانمایی دستک و کانال

برخی از مهم‌ترین ملاحظات مربوط به جانمایی دستک و کانال عبارتند از:

- در مناطقی که جریان‌های کشندی شدید وجود دارد، معمولا دستک‌های موازی به دستک‌های همگرا و دستک‌های منفرد ترجیح داده می‌شوند.
- در شرایط خاص، به ویژه در مواردی که میزان بده آب رودخانه منتهی به دریا و هم‌چنین جریان‌های ناشی از کشند پایین زیاد باشد، استفاده از دستک‌های منحنی شکل پیشنهاد می‌شود. این شیوه جانمایی، از شدت جریان‌های گفته شده برای حفظ عمق کانال بهره می‌گیرد.
- فاصله بین بازوهای دستک‌های موازی باید کم‌تر از دستک‌های منحنی شکل باشد تا بتوان عمق مورد نیاز برای کانال را حفظ کرد.
- در حالت کلی، برای بهینه کردن جانمایی، طول و پایداری دستک‌ها، توصیه می‌شود از مدل‌های فیزیکی استفاده شود.

## ۳-۳-۷- بندها و خاکریزهای ساحلی

در این قسمت اصول طراحی مربوط به بندها یا خاکریزهای ساحلی ارائه شده است. این قسمت شامل ملاحظات عمومی، بررسی‌های میدانی، آزمون‌های آزمایشگاهی، منابع قرضه، کنترل تراوش[1]، نشست و طراحی شیروانی (رویه شیب‌دار) بندهای ساحلی می‌باشد. برای آشنایی با تعریف، شیوه به کارگیری، مشخصه‌های کارکردی و زمینه‌های کاربرد بندهای ساحلی می‌توان به بخش «۳-۲-۷- بندها و خاکریزهای ساحلی» مراجعه نمود.

1- Seepage

omoorepeyman.ir

### ۳-۳-۷-۱- ملاحظات عمومی

طراحی بندهای ساحلی تا حد زیادی مشابه سدهای خاکی کوچک است. مهم‌ترین تفاوتی که در طراحی این دو نوع سازه وجود دارد آن است که بندها به منظور محافظت ساحل پسکرانه برای بازه های زمانی محدود (در حد چندین روز یا هفته از سال) طراحی می‌شوند. اگر قرار باشد خاکریز مورد نظر برای بازه‌های زمانی طولانی یا به طور همیشگی در معرض بارگذاری آب باشد باید بر اساس معیارهای طراحی سدهای خاکی عمل نمود که در این‌جا به آنها پرداخته نخواهد شد.

عوامل متعددی باید در طراحی بندهای ساحلی در نظر گرفته شوند که بسته به نوع پروژه ممکن است تغییر کنند. به همین دلیل ارائه یک راهکار گام به گام که بتواند تمام جزییات طراحی یک بند ساحلی برای یک پروژه ویژه را پوشش دهد، امکان‌پذیر نمی‌باشد. با این حال می‌توان با توجه به تجارب گذشته به ارائه راهکارهای کلی پرداخت که به عنوان مبنایی برای توسعه راهکارهای ویژه هر پروژه مورد استفاده قرار گیرند.

خلاصه‌ای از مهم‌ترین مواردی که باید در طراحی یک بند ساحلی مدنظر قرار گیرند عبارتند از:

- **گام ۱:** انجام مطالعات زمین شناسی بر اساس مرور کلی داده های موجود شامل تحلیل تصاویر هوایی و اطلاعات کلی دیگر آغاز شناسایی‌های زیرسطحی اولیه
- **گام ۲:** تحلیل داده‌های شناسایی مقدماتی و تهیه نیمرخ های خاک، موقعیت منابع قرضه و مقاطع اولیه بند ساحلی
- **گام ۳:** آغاز شناسایی نهایی برای به دست آوردن:
  - اطلاعات تکمیلی در زمینه نیمرخ های خاک
  - مقاومت های دست نخورده[1] مصالح پی
  - اطلاعات دقیق‌تر در زمینه نواحی قرضه و حفاری های لازم
- **گام ۴:** با استفاده از اطلاعات به دست آمده در گام ۳:
  - تعیین پارامترهای خاک پی و بدنه خاکریز ساحلی و تدقیق مقاطع اولیه در صورت لزوم؛ اشاره به تمام مسایل و مشکلات احتمالی.
  - محاسبه میزان تقریبی مصالح مناسب و تدقیق موقعیت نواحی قرضه.
- **گام ۵:** تقسیم‌بندی بند ساحلی به بازه هایی با شرایط پی، ارتفاع خاکریز و مصالح پرکننده مشابه و طراحی یک مقطع کلی برای هر بازه.
- **گام ۶:** تحلیل مقاطع کلی طراحی شده و بررسی آنها برای موارد زیر:
  - تراوش از زیر و میان بدنه خاکریز
  - پایداری شیروانی
  - نشست
  - قابل عبور و مرور بودن سطح بند ساحلی

1- Undisturbed Strength

omoorepeyman.ir

- **گام ۷:** در نظر گرفتن تمهیدات لازم برای پیشگیری از هرگونه مشکلی که در گام ۶ شناسایی شده است. تعیین ملزومات روسازی بند ساحلی با توجه به نوع کاربری آن در آینده
- **گام ۸:** طراحی مقاطع نهایی برای بازه‌های مختلف بند ساحلی با توجه به نتایج گام ۷.
- **گام ۹:** محاسبه نهایی مقادیر مصالح مورد نیاز؛ تعیین موقعیت‌های نهایی نواحی قرضه.
- **گام ۱۰:** طراحی شیروانی بند ساحلی

جزییات مربوط به روش گام به گام بالا، در بخش‌های بعدی مورد بررسی قرار گرفته است.

### ۳-۳-۷-۲- بررسی‌های میدانی

بررسی‌های میدانی در دو فاز «مقدماتی» و «نهایی» (طراحی) انجام می‌شوند. به طور معمول بررسی‌های میدانی که در فاز مقدماتی پروژه انجام می‌شوند از گستردگی چندانی برخوردار نیستند زیرا هدف آنها فراهم ساختن اطلاعات کلی برای مطالعات امکانیابی پروژه می‌باشد. در فاز مقدماتی پروژه معمولا بررسی‌های میدانی شامل شناسایی زمین‌شناسی عمومی، شناسایی محدود شرایط زیر سطحی و آزمون‌های ساده خاک می‌باشد. در فاز نهایی (طراحی)، شناسایی‌های جامع‌تری ضرورت می‌یابد که غالبا شناسایی‌های زمین‌شناسی گسترده‌تر، گمانه زنی‌ها،[1] نمونه‌برداری‌ها[2] و مطالعات ژئوتکنیک همراه می‌شود. گستردگی بررسی‌های میدانی به عوامل متعددی بستگی دارد. این عوامل به همراه شرایط لازم برای انجام بررسی‌های میدانی گسترده و مطالعات طراحی در جدول (۳-۸) آورده شده است. گاهی آزمون‌های میدانی همچون آزمون‌های برش پره،[3] مشاهدات آب زیرزمینی و آزمون‌های پمپاژ میدانی ضرورت می‌یابند. جدول (۳-۹) خلاصه‌ای از مولفه‌های بررسی‌های زیر سطحی و زمین شناختی را ارائه نموده است.

**جدول ۳-۸- عوامل لازم برای انجام بررسی‌های میدانی گسترده و مطالعات طراحی**

| عامل | بررسی‌های میدانی و مطالعات طراحی باید زمانی گسترده‌تر شوند که: |
|---|---|
| تجربه پیشین | پیشینه کمی در زمینه کارکرد بند ساحلی در ناحیه مورد نظر وجود داشته باشد |
| پیامدهای خرابی | پیامدهای خرابی شامل هزینه های مالی و جانی زیاد باشد (برای نمونه در مناطق شهری) |
| ارتفاع بند | ارتفاع بند بیش از ۳ متر باشد |
| شرایط پی | خاک پی ضعیف و قابل تراکم باشد<br>خاک پی در امتداد بند، همگن نبوده و تغییرات زیادی داشته باشد. مشکلات بالقوه تراوش از زیر بند ساحلی، شدید باشد.<br>ماسه های پی دارای خط آبگونگی باشند. |
| مدت زمان تداوم (ماندگاری) آب بالا | ترازهای آب بالا برای دوره های زمانی نسبتا طولانی به بدنه خاکریز ساحلی وارد شوند |
| مصالح قرضه | مصالح قرضه موجود دارای کیفیت پایین، درصد آب۴ زیاد، یا دارای تغییرات زیادی در امتداد خاکریز ساحلی باشند |
| سازه‌های پیرامونی بند | بازه های مختلف بند ساحلی در مجاورت سازه‌های بتنی قرار داشته باشند. |

1- Boring
2- Test Pit
3- Vane Shear Tests
4– Water Content

omoorepeyman.ir

**جدول ۳-۹- فازهای مختلف بررسی‌های میدانی**

**۱- بررسی یا تحلیل مبتنی بر شناسایی میدانی و گفتگو با افراد مطلع در صورتی برای طراحی کافی است که:**

الف- ارتفاع بندهای ساحلی از ۳ متر بیش‌تر نباشد.

ب- تجربه نشان داده باشد که پی منطقه مورد نظر پایدار بوده و مشکل تراوش از زیر سازه مشاهده نشده باشد.

در این صورت باید از مقاطع استانداردی برای طراحی بند ساحلی استفاده شود که از راه تجربه به دست آمده‌اند.

**۲- بررسی زمین شناسی مقدماتی**

**الف- مطالعه دفتری:** شامل جمع‌آوری و مطالعه

(۱) نقشه های زمین شناختی، خاک و توپوگرافی

(۲) عکس‌های هوایی

(۳) داده‌های به دست آمده از گمانه‌ها و چاهک‌ها[1]

(۴) اطلاعات مربوط به پروژه‌های مهندسی موجود

**ب- برداشت میدانی:** شامل مشاهدات و زمین شناسی ناحیه مورد نظر که در بر دارنده اطلاعاتی از قبیل زیر باشند:

(۱) شیروانی‌ها، برآمدگی‌ها یا بریدگی‌های صخره‌ای و غیره

(۲) مصالح سطحی

(۳) نواحی با زهکشی نامطلوب[2]

(۴) شواهدی مبنی بر ناپایداری پی‌ها یا شیروانی‌ها

(۵) شواهدی مبنی بر رخ دادن تراوش

(۶) عارضه های فیزیوگرافی طبیعی یا دست ساخت بشر

**۳- شناسایی زیرسطحی، آزمون‌های میدانی و مطالعات زمین شناختی با جزییات بیش‌تر**

لازم برای تمام موارد بالا به استثنای موارد اشاره شده در بند (۱) [شناسایی‌های مبتنی بر گفتگو با افراد مطلع]. برای تصمیم گیری در زمینه نیاز یا عدم نیاز و نیز گستردگی لازم برای شناسایی زیرسطحی و آزمون‌های میدانی باید موارد زیر به کار روند:

**الف- فاز مقدماتی**

(۱) جمع‌آوری نمونه‌های دست خورده توسط بیلچه نمونه‌برداری که دارای گستردگی لازم و با فواصل اختیاری باشند.

(۲) نمونه‌برداری‌های عمیق‌تر که توسط بیل مکانیکی یا تراکتور برداشته شده باشند.

(۳) برداشت‌های زمین شناختی (برای نمونه مقاومت لرزه‌ای یا الکتریکی) یا آزمون اندازه‌گیری نفوذ مخروط[3] برای درون‌یابی بین گمانه‌های با فواصل زیاد

(۳) آزمون‌های زمین‌شناختی گمانه‌ای

**ب- فاز نهایی (طراحی)**

(۱) برداشت نمونه‌های دست خورده اضافی

(۲) برداشت نمونه‌های دست نخورده

(۳) آزمون‌های برش پره میدانی برای مقاصد ویژه

(۴) آزمون‌های پمپاژ میدانی (بیش‌تر در نزدیکی سازه‌ها)

(۵) مشاهدات تراز آب (با استفاده از پیزومتر) در پی‌ها و نواحی قرضه

### ۳-۳-۷-۳- آزمون‌های آزمایشگاهی

**- کلیات**

آزمون‌های آزمایشگاهی مخصوص بندهای ساحلی، بسته به ماهیت و اهمیت پروژه در ابعاد و گستردگی‌های مختلفی به کار می‌روند. از آنجا که آزمون‌های برش و دیگر آزمون‌هایی که برای تعیین ویژگی‌های مهندسی خاک‌ها به کار می‌روند گران و زمان‌بر می‌باشند، معمولا برای بیش‌تر نمونه‌های برداشته شده از آزمون‌های درصد رطوبت و شناسایی استفاده شده و فقط برای تعداد

1- Well
2- Poorly Drained Area
3- Cone Penetrometer

omoorepeyman.ir

محدودی از نمونه‌های نماینده مصالح قرضه و پی از آزمون‌های برش، تحکیم و تراکم استفاده می‌شود. در این زمینه اشاره به این نکته ضرورت دارد که مبنای انتخاب این نمونه‌های نماینده، تحلیل‌هایی می‌باشد که بر روی تمام داده‌های موجود همچون مطالعات زمین‌شناختی و ژئوفیزیکی انجام شده است و نباید آنها را به طور تصادفی انتخاب نمود. آزمون‌های خاکی که ممکن است برای خاک‌های چسبنده ریزدانه و خاک‌های تراوا[1] به کار روند به ترتیب در جداول (۳-۱۰) و (۳-۱۱) آورده شده‌اند.

**جدول ۳-۱۰- آزمون‌های آزمایشگاهی مربوط به خاک‌های چسبنده ریزدانه**

| آزمون | ملاحظات |
|---|---|
| **توصیف کیفی خاک بر اساس مشاهده چشمی و درصد آب** | بر روی تمام نمونه‌ها |
| **حدود اتربرگ** | بر روی نمونه‌های نماینده پی برای ایجاد همبستگی با پارامترهای برش یا تحکیم و نیز بر روی خاک‌های قرضه برای مقایسه با درصد آب های طبیعی یا ایجاد همبستگی با درصد آب بهینه و چگالی های بیشینه. |
| **تراوایی** | نیازی نیست؛ اساسا در تحلیل های تراوش می‌توان این نوع خاک‌ها را ناتراوا در نظر گرفت. |
| **تحکیم** | معمولا بر روی نمونه‌های دست نخورده پی و تنها در موارد زیر انجام می‌شوند:<br>الف- رس های پی دارای تراکم پذیری زیادی هستند<br>ب- پی های زیر بندهای ساحلی مرتفع تا حدی در معرض تراکم زیاد هستند<br>ج- نشست سازه‌های قرار گرفته در سامانه بند ساحلی باید به طور دقیق برآورده شود.<br>معمولا بر روی خاک پرکننده بند ساحلی انجام نمی‌شود؛ در عوض نشست مجاز مصالح درونی بند ساحلی بر اساس نوع تراکم تعیین می‌شود. گاهی می‌توان از همبستگی‌های رضایت بخش حدود اتربرگ با ضریب تحکیم[2] استفاده نمود. معمولا می‌توان شاخص تراکم[3] را از روی درصد آب تخمین زد. |
| **تراکم** | الف- فقط برای بندهای ساحلی متراکم یا نیمه متراکم لازم می‌باشد<br>ب- در مواردی که نیاز باشد خاکریز به طور کامل تراکم یابد از آزمون‌های تراکم استاندارد با ۲۵ ضربه استفاده شود.<br>ج- در مواردی که نیاز باشد خاکریز به طور جزیی تراکم یابد از آزمون‌های تراکم با ۱۵ ضربه استفاده شود. |
| **مقاومت برشی** | الف- آزمون‌های تراکم محصور نشده بر روی رس های اشباع شده پی بدون درز یا گوشه های صاف<br>ب- آزمون‌های سه محوری سریع (تحکیم نیافته زهکشی نشده) برای رس‌های پی، زیرا معمولا مقاومت زهکشی نشده بیانگر پایداری است.<br>ج- آزمون سه محوری تند (تحکیم یافته- زهکشی نشده) و برش مستقیم آهسته: معمولا تنها زمانی نیاز است که بند ساحلی مرتفع باشد و یا پی ضعیف باشد، یا در مواردی که سازه‌هایی درون بند ساحلی قرار داشته باشد.<br>د- آزمون‌های سریع، تند و کند (UU، CU و CD) بر روی مصالح پر کننده که در درصد آب های مناسب تا دستیابی به چگالی‌های مورد انتظار از تراکم میدانی، تراکم یافته اند. |

1- Pervious Soil
2- Coefficient of Consolidation
3- Compression Index

omoorepeyman.ir

**جدول ۳-۱۱- آزمون‌های آزمایشگاهی مربوط به مصالح تراوا**

| آزمون | ملاحظات |
|---|---|
| **توصیف کیفی بر اساس مشاهده چشمی** | برای تمام نمونه‌های میله‌ای[1] |
| **تعیین چگالی در محل[2]** | برای نمونه‌های لوله‌ای شلبی[3] تهیه شده از ماسه‌های پی در مواردی که باید خطر آبگونگی بررسی شود. |
| **چگالی نسبی[4]** | در نواحی لرزه‌خیز برای تعیین چگالی‌های نسبی در محل ماسه‌های پی و نیز به منظور کنترل چگالی مصالح پر کننده باید از آزمون‌های چگالی بیشینه و کمینه استفاده شود. |
| **دانه‌بندی** | برای نمونه‌های نماینده تهیه شده از ماسه های پی:<br>الف- برای ایجاد همبستگی بین پارامترهای اندازه دانه‌ها و تراوایی یا مقاومت برشی<br>ب- برای طبقه‌بندی اندازه و توزیع‌هایی که دارای خطر آبگونگی باشند |
| **تراوایی** | معمولا انجام نمی‌شود. برای ایجاد همبستگی بین پارامترهای اندازه دانه و تراوایی یا مقاومت برشی به کار می‌رود. در مواردی که مشکلات تراوش از زیر سازه جدی باشد بهترین نتایج با استفاده از آزمون‌های پمپاژ میدانی به دست می‌آید. |
| **تحکیم** | معمولا ضرورت ندارد زیرا تحکیم تحت بارگذاری ناچیز بوده و به سرعت رخ می‌دهد |
| **مقاومت برشی** | برای شرایط بارگذاری غیر دینامیکی، مقاومت برشی زهکشی یافته. برای خاک‌های مشابه می‌توان مقادیر محافظه‌کارانه‌ای از $\varphi$ را بر اساس آزمون‌های سه محوری تحکیم یافته زهکشی شده (CD) در نظر گرفت. در نواحی لرزه‌خیز می‌توان از آزمون‌های سه محوری دوره‌ای استفاده نمود. |

### - تعیین درصد رطوبت آب و طبقه بندی خاک

پس از برداشت نمونه‌های خاک از پی بند ساحلی و نواحی قرضه، اولین و مهم‌ترین گام، طبقه‌بندی کیفی نمونه‌ها از راه مشاهده چشمی و تعیین درصد رطوبت آنها می‌باشد. پس از انجام توصیفات میدانی، طبقه‌بندی‌های آزمایشگاهی و تعیین مقادیر درصد رطوبت، نمونه‌هایی که ریزدانه هستند برای آزمون‌های حدود اتربرگ و نمونه‌های درشت‌دانه برای آزمون‌های دانه‌بندی انتخاب می‌شوند.

### - کاربرد همبستگی[5] پارامترهای ژئوتکنیکی

غالبا مقایسه مقادیر حدود اتربرگ با درصد رطوبت طبیعی خاک‌های پی، به کارگیری نمودار خمیری[6] (شکل ۳-۷۰)، مطالعات زمین شناختی و تجارب گذشته اطلاعاتی در زمینه احتمال سست بودن یا تراکم پذیر بودن لایه‌های ریزدانه پی به دست می‌دهد. در مرحله بعد این اطلاعات می‌توانند لزوم انجام آزمون‌های برش و یا تحکیم را مشخص سازند. در برخی موارد، برای نمونه هنگام طراحی یک بند ساحلی کوتاه (با توجه به نشریه های مهندسان ارتش آمریکا، معیار کوتاه بودن بند ساحلی ارتفاع ۳ متر می‌باشد) بر روی پی‌هایی با مصالح و مشخصات معمولی و شناخته شده، تنها چیزی که ممکن است برای ارزیابی سست بودن یا تراکم پذیر بودن لایه‌های پی ضرورت یابد نمودارهای همبستگی بین حدود اتربرگ با مشخصه‌های مقاومت برشی یا تحکیم باشد.

نمونه‌هایی از همبستگی بین مقادیر حدود اتربرگ، درصد رطوبت طبیعی، مشخصه‌های مقاومت برشی و تحکیم در شکل‌های (۳-۷۱) و (۳-۷۲) نشان داده شده است.

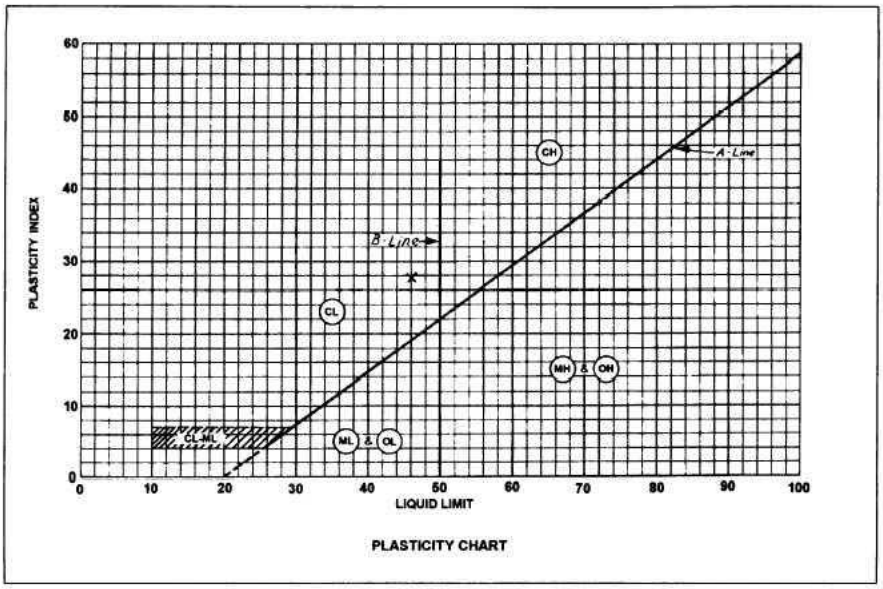
1- Jar Samples
2- In Situ Density
3- Shelby-Tube Samples
4- Relative Density
5- Correlation
6- Placticity FChart

omoorepeyman.ir

بهتر است نمودارهای همبستگی بر اساس انواع خاک‌های محلی پروژه بوده و در آنها شرایط بیش تحکیم یافته[1] از عادی قابل تمایز باشد. چنین همبستگی‌هایی هم‌چنین می‌توانند برای کاهش تعداد آزمون‌های مورد نیاز برای طراحی بندهای ساحلی مرتفع تر نیز به کار روند. از آنجا که ممکن است در برخی موارد، بین درصد رطوبت بهینه و حدود اتربرگ همبستگی ایجاد شود، مقایسه حدود اتربرگ با درصد رطوبت‌های طبیعی خاک‌های قرضه (مطابق شکل ۳-۷۳) می‌تواند اطلاعاتی در این زمینه که آیا مصالح قرضه دارای تراکم پذیری مناسب هستند یا خیر، به دست دهند.

**- مقاومت برشی**

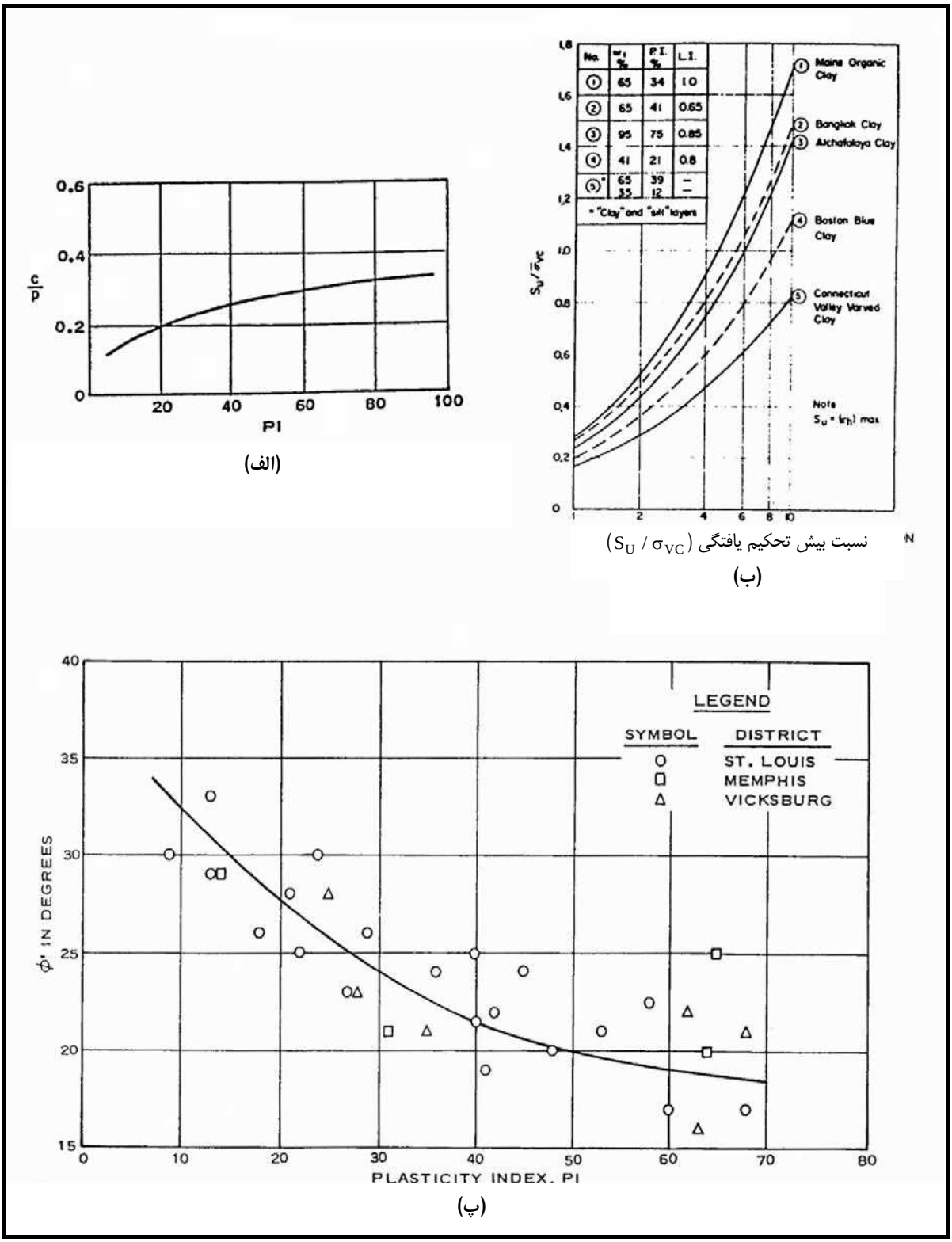
مقاومت برشی تقریبی خاک‌های چسبنده ریزدانه را می‌توان به سرعت از نمونه‌های دست نخورده پی تعیین نمود. برای افزایش قابلیت اطمینان داده‌های تعیین شده در این آزمون‌ها، بهتر است تا بین آنها و داده های آزمون‌های تراکم محصور نشده همبستگی ایجاد شود. انجام آزمون‌های تراکم محصور نشده تا حدی ساده‌تر از انجام آزمون‌های تراکم سه محوری سریع (تحکیم نیافته زهکشی نشده) است، اما نتایج آنها از دقت کم‌تری برخوردار است. آزمون‌های تراکم محصور نشده بیش‌تر برای بررسی رس های اشباع شده بدون درز و ترک مناسب می‌باشند. از میان آزمون‌های سه محوری، آزمون سریع (تحکیم نیافته زهکشی نشده) بیش از همه بر روی رس های پی به کار گرفته می‌شود. دلیل این امر آن است که در چنین خاک‌هایی معمولا مقاومت برشی زهکشی نشده در محل عامل تعیین کننده در طراحی خاکریز ساحلی می‌باشد. با این حال، در صورتی که خاکریز مرتفع باشد، اجرای خاکریز به صورت مرحله‌ای در نظر گرفته شده باشد یا سازه‌های مهمی در سامانه‌ی بند ساحلی جانمایی شده باشد آنگاه باید آزمون‌های تراکم سه محوری تحکیم یافته زهکشی نشده و آزمون‌های برش مستقیم آهسته نیز انجام شوند.




**شکل ۳-۷۰- نمودار خمیری**

1- Overconsolidated

omoorepeyman.ir



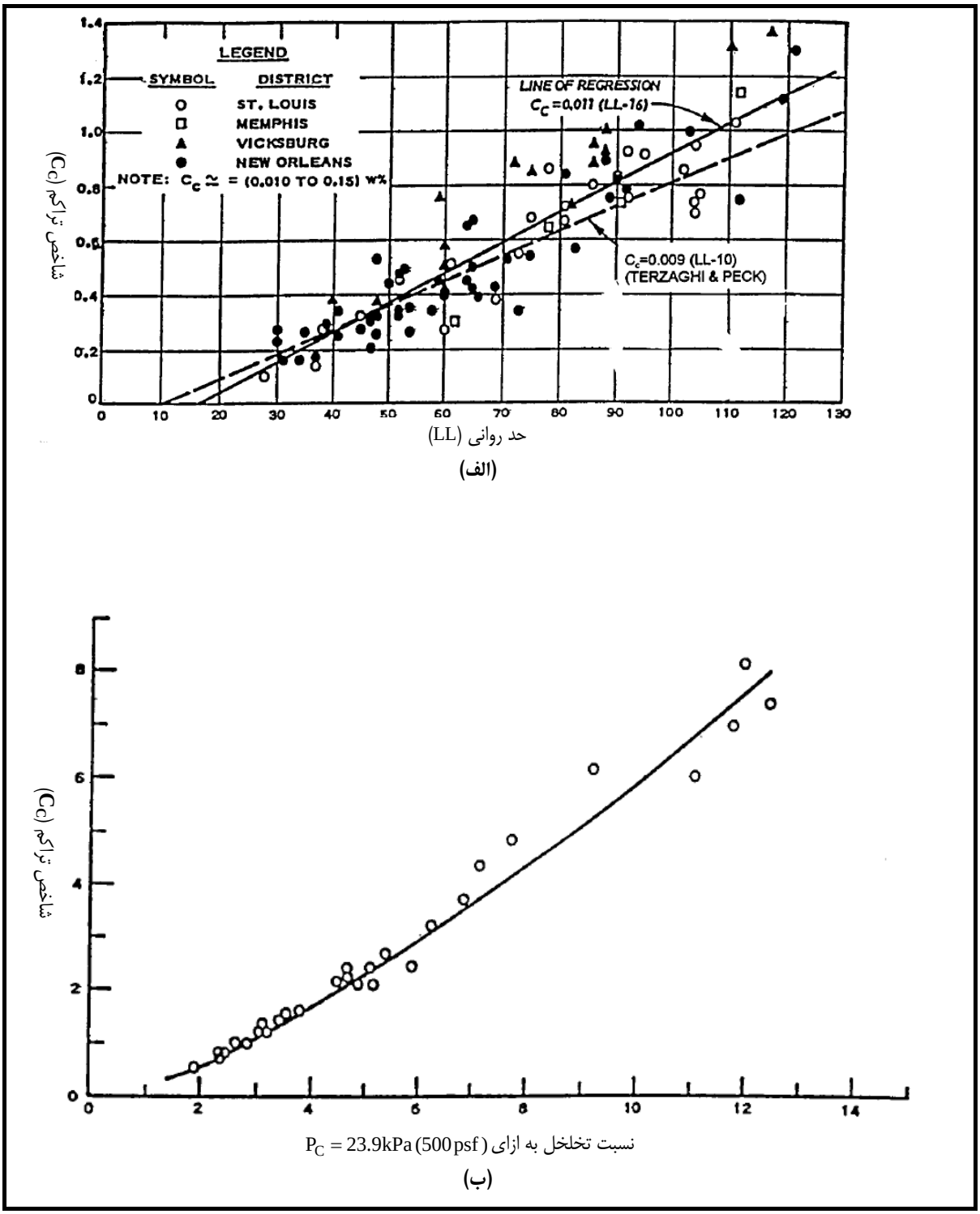

**شکل ۳-۷۱- نمونه‌هایی از همبستگی مشخصه‌های مقاومتی خاک‌های ریزدانه**

الف- c/p بر حسب شاخص خمیری برای خاک‌های تحکیم یافته عادی

ب- $S_U / \sigma_{VC}$ بر حسب نسبت بیش تحکیم یافتگی

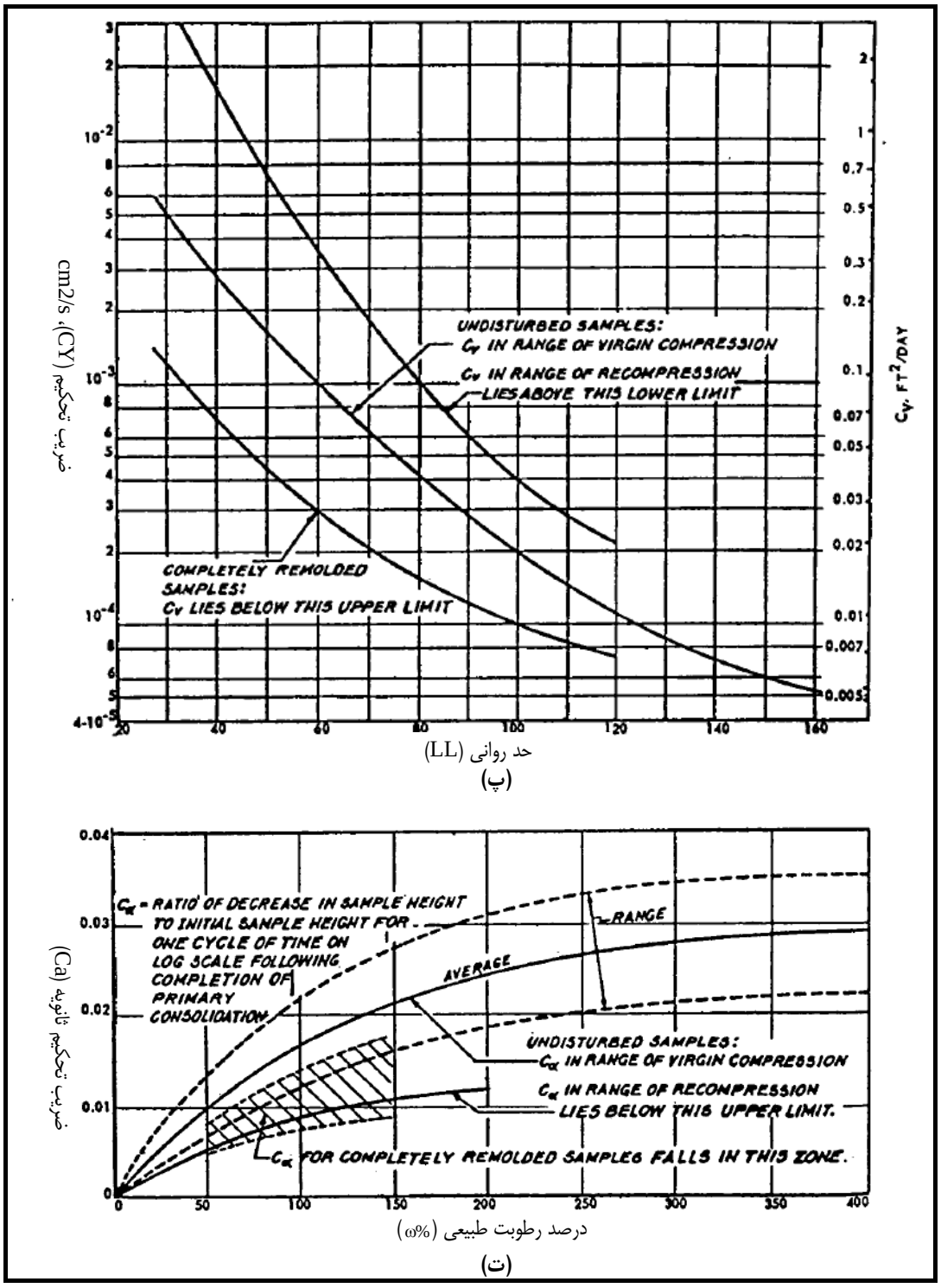
پ- $\phi$ بر حسب شاخص خمیری

omoorepeyman.ir




**شکل ۳-۷۲- نمونه‌هایی از همبستگی مشخصه‌های تحکیمی خاک‌های ریزدانه (ادامه دارد)**

omoorepeyman.ir




**شکل ۳-۷۲- نمونه‌هایی از همبستگی مشخصه‌های تحکیمی خاک‌های ریزدانه (ادامه از صفحه پیش)**

الف- شاخص تراکم[1] بر حسب حد روانی برای خاک‌های تحکیم یافته عادی

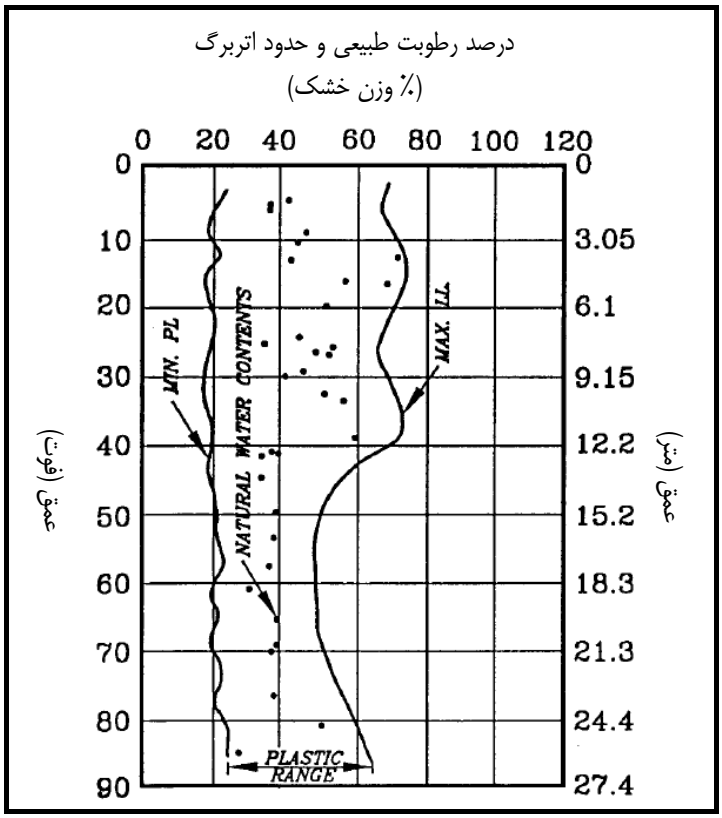
ب- شاخص تراکم بر حسب نسبت تخلخل اولیه برای پهنه باتلاقی کشندی

پ- ضریب تحکیم بر حسب حد روانی (NAVFAC DM-7)

ت- ضریب تحکیم ثانویه بر حسب درصد رطوبت طبیعی (NAVFAC DM-7)

1- Compression Index

omoorepeyman.ir




**شکل ۳-۷۳- مقایسه حدود اتربرگ و درصد رطوبت طبیعی**

**- تحکیم**

آزمون‌های تحکیم برای موارد فهرست شده در جدول (۳-۱۰) انجام می‌شوند. در برخی مکان‌ها برای به دست آوردن برآوردهای رضایت‌بخش از میزان تحکیم رس‌های پی تحت بارگذاری‌ها می‌توان از همبستگی‌های حد روانی و درصد رطوبت طبیعی با ضریب تحکیم، شاخص تراکم و ضریب تحکیم ثانویه استفاده نمود.

**- تراوایی مصالح ریزدانه**

معمولا نیازی به انجام آزمون‌های آزمایشگاهی بر روی مصالح پر کننده ریزدانه و هم‌چنین رس‌های سطحی گسترده شده بر روی پی های تراوا نمی‌باشد. هنگام انجام تحلیل‌های تراوش از زیر سازه باید با توجه به ضخامت و نوع خاک ریزدانه کفپوش‌های سطحی[1]، از فرضیات ساده کننده‌ای استفاده شود. افزون بر این، حفرات ایجاد شده توسط حیوانات یا ریشه گیاهان و دیگر ناپیوستگی‌های ایجاد شده در کفپوش‌های سطحی می‌تواند تاثیر چشمگیری بر تراوایی موثر آنها بگذارد. بنابراین، در این حالت، در نظر گرفتن یک مقدار متوسط از ضریب تراوایی بر اساس نوع خاک، معمولا دارای دقت کافی برای استفاده در تحلیل های تراوش از زیر سازه می‌باشد و ضرورتی به انجام آزمون‌های آزمایشگاهی نیست.

1- Surface Blanket

omoorepeyman.ir

**- آزمون‌های تراکم**

نوع و تعداد آزمون‌های تراکم به روش اجرای سازه خاکریز ساحلی و تغییر پذیری مصالح قرضه بستگی دارد. انواع آزمون‌های تراکم مورد نیاز در جدول (۳-۱۰) نشان داده شده‌اند.

**- مقاومت برشی مصالح درشت دانه**

هنگامی که خاک‌های درشت دانه دارای اندکی خاک ریزدانه باشند، مقاومت برشی زهکشی شده تحکیم یافته برای کاربرد در تمام تحلیل‌ها مناسب است. در بیش‌تر موارد، مقادیر محافظه کارانه‌ای از زاویه اصطکاک داخلی ( $\varphi$ ) را می‌توان با استفاده از نمودارهای همبستگی مشابه آنچه در شکل (۳-۷۴) نشان داده شده است به دست آورد و نیازی به انجام آزمون‌های برش نمی‌باشد.

**- تراوایی مصالح درشت دانه**

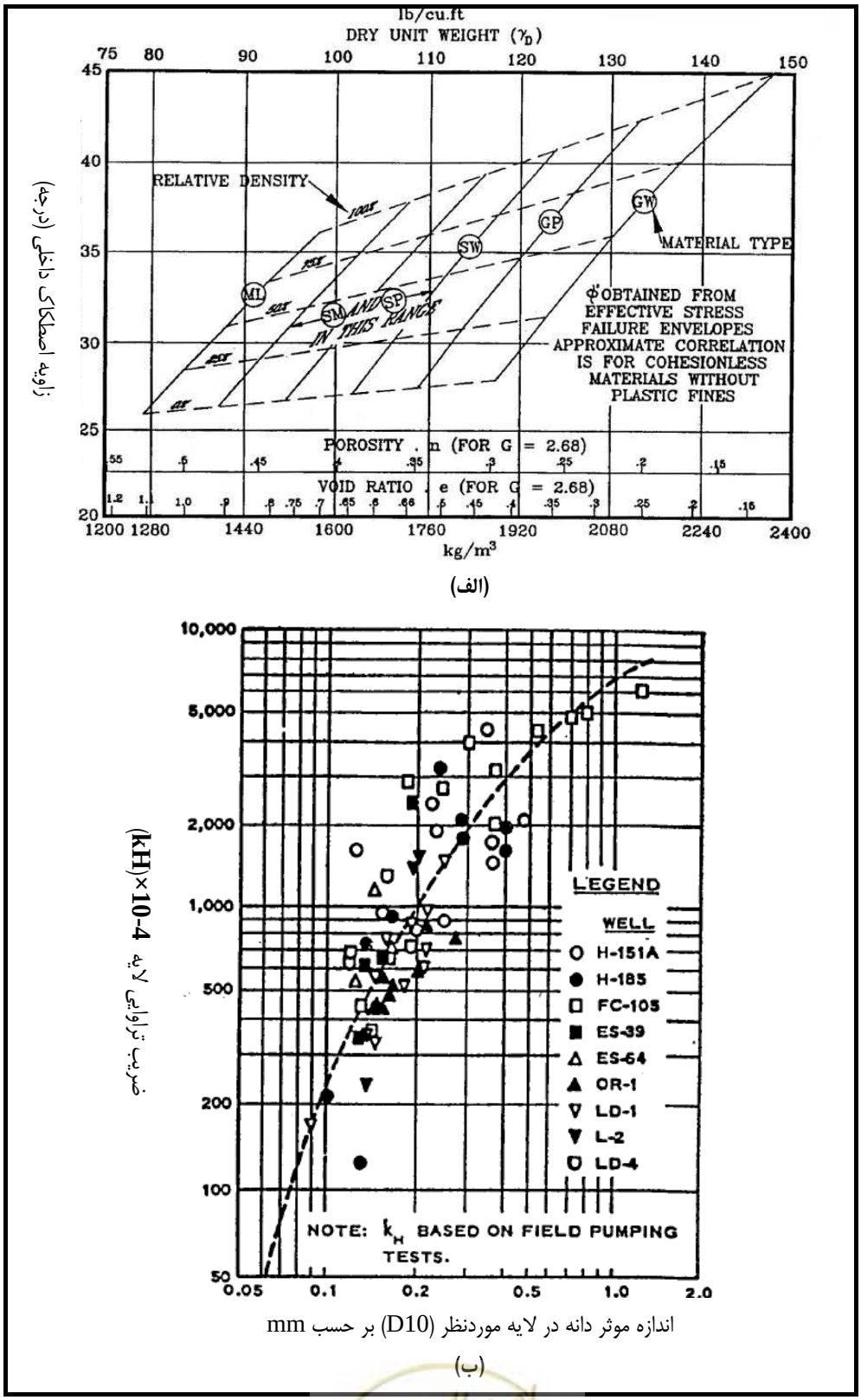
برای حل مساله تراوش از زیر پی بندهای ساحلی به تخمین‌های معقولی از تراوایی مصالح تراوای پی نیاز است. با این حال، به دلیل دشوار بودن و هزینه تهیه نمونه‌های دست نخورده از ماسه‌ها و شن‌ها به ندرت آزمون‌های آزمایشگاهی تراوایی بر روی ماسه‌های پی انجام می‌شود. در عوض، از آزمون‌های پمپاژ میدانی یا همبستگی‌هایی که مطابق شکل (۳-۷۴) برای نمونه بین یک پارامتر اندازه دانه (برای نمونه $D_{10}$ ) و ضریب تراوایی ( k ) ایجاد می‌شود.

**- برآورد چگالی مصالح پر کننده تراوا**

آزمون‌های چگالی بیشینه بر روی مصالح تراوای قرضه باید مطابق با ASTM D4253 انجام شود به گونه‌ای که در صورت نیاز ملزومات تراکم نسبی پر کننده‌های تراوا به طور میدانی کنترل شود. چگالی کمینه را باید مطابق با ASTM D4254 به دست آورد. البته بسته به عواملی همچون مصالح خاص، نوع تجهیزات اندازه‌گیری موجود و تجارب محلی ممکن است روش‌های کاربردی‌تر دیگری به غیر از ASTM D4253 و ASTM D4254 برای کنترل درصد تراکم مصالح غیر چسبنده به کار گرفته شود. دیگر روش‌هایی که برای این کار مورد استفاده قرار می‌گیرند عبارتند از مقایسه چگالی در محل[1] با چگالی بیشینه پروکتور یا چگالی بیشینه به دست آمده توسط ASTM D4253.

1- In Situ Density

omoorepeyman.ir




**شکل ۳-۷۴- نمونه‌هایی از همبستگی بین پارامترهای مختلف خاک‌های درشت دانه**

الف- زاویه اصطکاک داخلی بر حسب وزن واحد (NAVFAC DM-7)

ب- اندازه موثر دانه ( $D_{10}$ ) بر حسب ضریب تراوایی ( $K_h$ ) (WES TM NO.3-424)

omoorepeyman.ir

### ۳-۳-۷-۴- نواحی قرضه

**- نوع مصالح قرضه موجود**

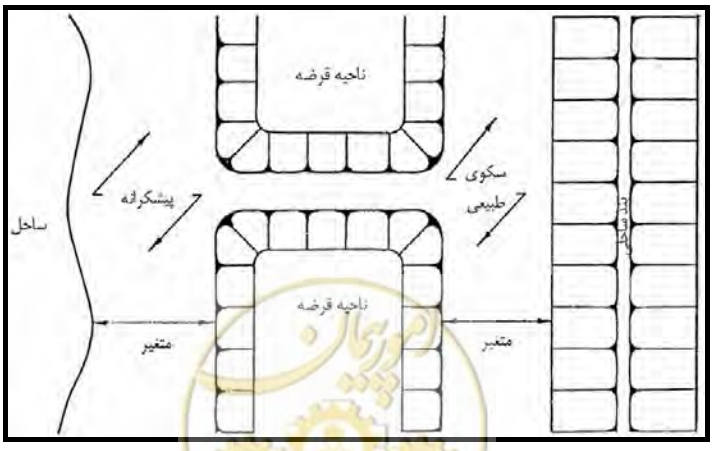
به غیر از خاک‌های ریزدانه بسیار مرطوب یا خاک‌های آلی، تقریبا هر نوع خاکی برای اجرای بندهای ساحلی مناسب است. اما در برخی موارد حتی این نوع خاک‌های نامناسب نیز ممکن است برای اجرای بخش‌هایی از بندهای ساحلی در نظر گرفته شوند. غالبا عواملی همچون در دسترس بودن و فاصله، هنگام انتخاب ناحیه قرضه تاثیرگذارند. با این حال، وجود مصالح قرضه بهتر در فواصل نسبتا طولانی‌تر ممکن است منجر به حذف گزینه مصالح با کیفیت پایین‌تر اما در فواصل کم‌تر شود.

**- درصد رطوبت طبیعی**

در صورتی که اجرای بندهای ساحلی تراکم یافته مدنظر باشد، ضرورت دارد از مصالح قرضه‌ای استفاده شود که دارای درصد رطوبت کم باشند تا امکان قراردهی و تراکم کافی آنها فراهم شود. هزینه خشک نمودن مصالح قرضه تا درصد رطوبت مناسب می‌تواند بسیار گران باشد به گونه‌ای که از هزینه تامین مصالح با درصد رطوبت مناسب از فواصل طولانی‌تر نیز بیش‌تر شود. درصد رطوبت خاک‌های قرضه ممکن است دچار تغییرات فصلی شود بنابراین ضرورت دارد نمونه‌های به دست آمده از نواحی قرضه مربوط به همان فصلی باشند که اجرای بند ساحلی در آن در نظر گرفته شده است. تغییرات احتمالی درصد رطوبت حین فصل اجرا نیز باید مد نظر قرار گیرد.

**- جانمایی و مکان مصالح قرضه**

معمولا اقتصادی‌ترین الگو برای تامین مصالح قرضه، برداشت به موازات و در مجاورت بند ساحلی در سمت رو به ساحل است (شکل ۳-۷۵). یک قاعده کلی در این زمینه برداشت مصالح در ناحیه‌هایی «عریض و کم عمق» در مقابل «باریک و عمیق» می‌باشد. علت این نوع برداشت آن است که نه تنها فاصله حمل مصالح تا بند به کم‌ترین حد ممکن می‌رسد بلکه ملاحظات زیست محیطی نیز بهتر برآورده می‌شوند. نواحی حفاری شده معمولا به تدریج رسوب‌گذاری شده و به حالت اولیه خود باز می‌گردند و تغییرات ایجاد شده در منظره ساحلی تعدیل خواهند گشت. حال آن‌که برداشت مصالح از سمت حفاظت شده (ناحیه پشت بند ساحلی) معمولا باعث تغییرات همیشگی و از نظر زیست محیطی نامناسب‌تر است.




**شکل ۳-۷۵- طرح کلی بند ساحلی و نواحی قرضه**

omoorepeyman.ir

همان‌گونه که در شکل (۳-۷۵) نیز مشاهده می‌شود باید یک سکو بین پنجه بند ساحلی و ناحیه قرضه باقی بماند. عرض این سکو به شرایط پی، ارتفاع بند و میزان زمین موجود بستگی دارد. عرض این ناحیه با استفاده از تحلیل‌های تراوش و پایداری تعیین خواهد شد. تجارب گذشته نشان داده است که عرض سکو در سمت ساحل باید دست کم ۱۲/۲ متر (۴۰ فوت) و در سمت خشکی دست کم ۳۰/۵ متر (۱۰۰ فوت) باشد. با این حال، عرض سکوها باید در صورت امکان تا حد عملی و ممکن افزایش یابد زیرا وجود این نواحی می‌تواند اثرهای تراوش از زیرسازه را شدیدتر کند.

برای به حداقل رساندن ریسک تراوش از زیرسازه باید پس از برداشت مصالح از نواحی قرضه، یک پوشش ناتراوا با ضخامت مناسب باقی بماند. در مورد نواحی قرضه که سمت ساحل قرار دارند ضخامت این پوشش ناتراوا باید دست کم ۰/۹۱ متر (۳ فوت) باشد و در سمت خشکی نیز ضخامت پوشش باید در حدی باشد که از جوشش[1] تحت هدهای هیدرولیکی مورد انتظار پیشگیری شود. خاک‌های سربار نواحی قرضه و پی بند ساحلی را می‌توان در مکان مناسبی انباشت نموده و پس از تکمیل حفاری نواحی قرضه، روی آنها پخش نمود. این کار نه تنها سبب تقویت پوشش ناتراوا بلکه بستر مناسبی برای رشد پوشش گیاهی فراهم می آورد.

**- حجم مصالح**

هنگام محاسبه حجم‌های قرضه مورد نیاز، باید یک ضریب انقباض دست کم ۲۵ درصدی در نظر گرفته شود. به بیان دیگر، حجم نواحی قرضه باید دست کم ۱۲۵ درصد حجم مقاطع خاکریز ساحلی باشد این حجم مازاد در واقع به دلیل انقباض مصالح و تلفات مصالح هنگام جابجایی و قرار دهی آنها در نظر گرفته می‌شود.

### ۳-۳-۷-۵- کنترل تراوش

در حالت کلی، دو نوع تراوش ممکن است در بندهای ساحلی رخ دهد که باید کنترل شوند:

- تراوش از پی (تراوش از زیر سازه)
- تراوش از میان سازه

کنترل ننمودن تراوش از پی‌های تراوای زیر بندهای ساحلی می‌تواند به (الف) تولید فشارهای هیدرواستاتیک مازاد زیر یک لایه فوقانی تراوا در ناحیه پنجه بند ساحلی (ب) جوشش خاک و (پ) رگاب[2] در زیر بند ساحلی بیانجامد. مشکلات زیر تراوش در مواردی حاد می‌شود که یک لایه تراوا در زیر بند ساحلی قرار گرفته باشد و تا هر دو طرف بند (سمت ساحل و سمت خشکی) امتداد یافته باشد و نیز در مواردی که لایه فوقانی سمت خشکی (در ناحیه پنجه) دارای ضخامت کمی‌باشد.

از سوی دیگر، تراوش از میان یک خاکریز اغلب سبب سست شدن ناحیه ریز دانه پیرامون پنجه در سمت خشکی می‌شود که می‌تواند به ناپایداری شیروانی یا حتی رگاب (فرسایش داخلی) بیانجامد. اگرچه در بیش‌تر موارد بازه زمانی اعمال ترازهای بالای آب به قدری طولانی نیست که سبب ناپایداری شیروانی خاکریز ساحلی شود با این حال، همزمان شدن تراز آب بالا با یک بارش شدید ممکن است به وقوع این پدیده بیانجامد.

1- Boiling
2- Piping

omoorepeyman.ir

**- کنترل تراوش از پی**

مهم‌ترین روش‌های کنترل تراوش از پی عبارتند از:

- دیوار آب‌بند[1]
- پوشش‌های ناتراوا در سمت ساحل
- سکوهای تراوش[2] در سمت خشکی
- ترانشه‌های تراوا در ناحیه پنجه
- چاهک‌های فشارشکن[3]

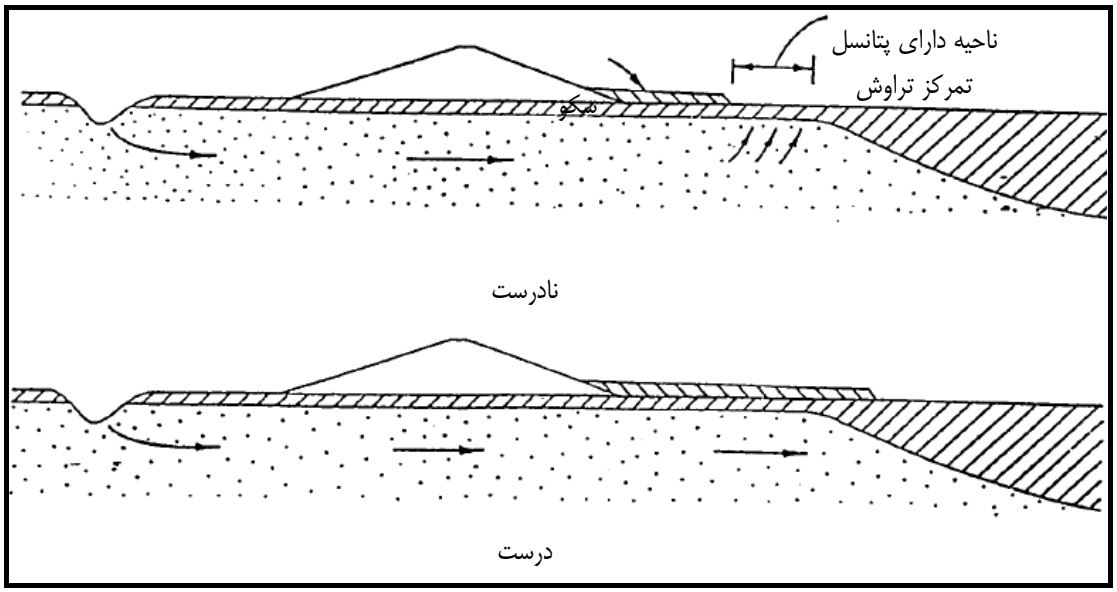
در ادامه توضیحاتی در زمینه هر کدام از روش‌های بالا داده می‌شود. برای توضیحات تکمیلی خواننده به EM ۱۱۱۰-۲-۱۹۰۱ و EM ۱۱۱۰-۲-۱۹۱۴ ارجاع داده می‌شود.

- **دیوار آب‌بند:** اجرای دیوار آب‌بند در زیر یک بند ساحلی به عنوان یکی از موثرترین روش‌های مسدود نمودن تراوش از پی مطرح می‌باشد. یک دیوار آب‌بند برای موثر بودن باید تا حدود ۹۵ درصد ضخامت لایه تراوای پی نفوذ کند بنابراین در صورتی که ضخامت لایه تراوای پی زیاد باشد اجرای دیوار آب‌بند مقرون به صرفه نخواهد بود. به همین دلیل دیوارهای آب‌بند با عمق نفوذ بیش‌تر از ۱۲/۲ متر (۴۰ فوت) به ندرت اقتصادی می‌باشند.
- **پوشش‌های ناتراوا در سمت ساحل:** در بسیاری از موارد بندهای ساحلی بر پی‌هایی قرار می‌گیرند که دارای پوشش طبیعی متشکل از خاک‌های نسبتا ریزدانه ناتراوا یا نیمه تراوا می‌باشند و در زیر آنها لایه‌های تراوای ماسه‌ای و شنی قرار دارند. این پوشش سطحی ناتراوا در صورتی که دارای وسعت کافی باشد می‌تواند تراوش از پی را تا حد چشمگیری کاهش دهد. در صورتی که این گزینه کنترل تراوش مد نظر باشد باید برداشت مصالح قرضه در سمت ساحل تا عمقی محدود شود که پوشش ناتراوای سطحی از بین نرود. کارآیی این پوشش سطحی ناتراوا تا حد زیادی به ضخامت، طول و تراوایی آن بستگی دارد.
- **سکوهای تراوش در سمت خشکی:** اگر فشارهای برخاستی[4] در زیر لایه ناتراوای سطحی در ناحیه پنجه یک بند ساحلی بیش‌تر از وزن موثر لایه بالایی شود، آنگاه احتمال بالاآمدگی و گسیختگی لایه بالایی وجود دارد که به وقوع پدیده جوشش می‌انجامد. اجرای سکو در سمت خشکی (در مواردی که فضای کافی برای این کار وجود داشته باشد) می‌تواند این خطر را کاهش دهد. این نوع سکوها از دو راه مشکل یاد شده را برطرف می‌سازند. (الف) فراهم آوردن وزن مازاد برای مقابله با نیروهای تراوش رو به بالا و (ب) فرآهم آوردن طول مازاد مورد نیاز برای کاهش فشارهای برخاستی در پنجه سکو.

هنگام اجرای سکو باید توجه شود که از تمرکز یافتن تراوش پیشگیری شود. نمونه‌ای از طول نامناسب و مناسب سکو با توجه به شرایط موجود پی در شکل (۳-۷۶) نشان داده شده است.

1- Cutoff
2- Seepage Berms
3- Pressure Relief Well
4- Uplift Pressure

omoorepeyman.ir

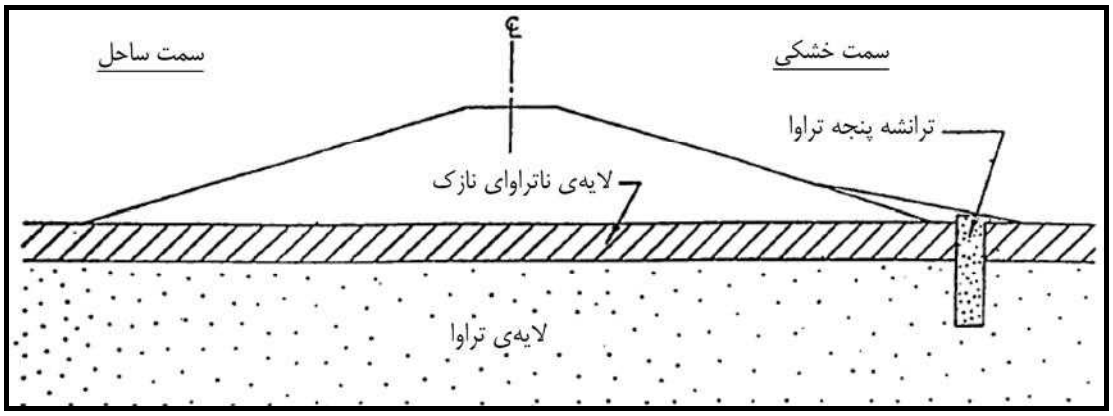



**شکل ۳-۷۶- نمونه ای از طول نامناسب و مناسب سکو با توجه به شرایط موجود پی**

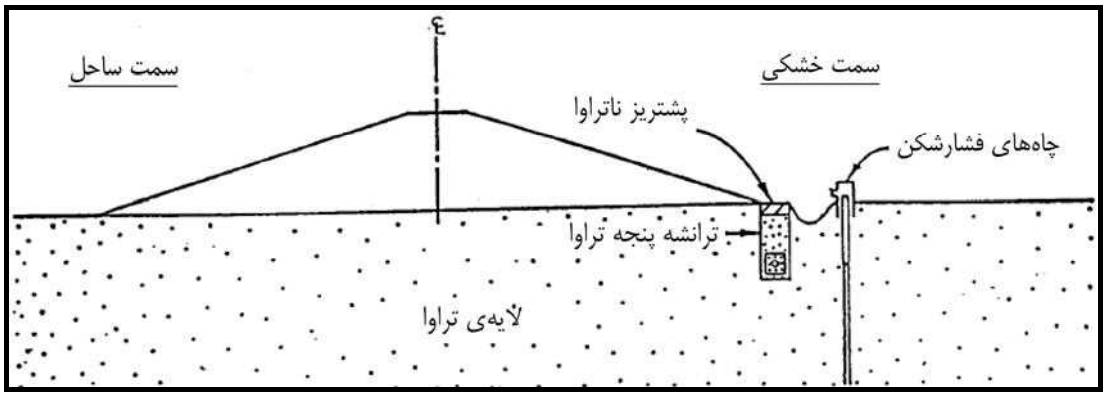
- **ترانشه پنجه تراوا:** در مواردی که بند ساحلی بر روی قرضه‌های تراوایی قرار گرفته باشد که با لایه نازکی از مصالح ناتراوا پوشانده شده‌اند، اجرای یک ترانشه در ناحیه پنجه (مطابق شکل ۳-۷۷) می‌تواند شرایط تراوش را در نزدیکی پنجه بند ساحلی بهبود بخشد. اگر لایه تراوا ضخامت زیادی داشته باشد، ترانشه تنها بخش اندکی از جریان تراوش را جذب خواهد کرد و بخش چشمگیری از آن از زیر آن گذر خواهد کرد. بنابراین کاربرد اصلی این نوع ترانشه‌ها کنترل زیر تراوش‌های با عمق کم و حفاظت ناحیه پیرامون پنجه بند ساحلی می‌باشد. در مواردی که ضخامت لایه تراوا زیاد باشد ممکن است از یک چاهک فشار شکن نیز استفاده شود. در این حالت، ترانشه و چاهک به ترتیب تراوش‌های سطحی و عمیق را جذب می‌کنند.

انواع جانمایی‌های ترانشه پنجه تراوا در شکل‌های (۳-۷۷) تا (۳-۷۹) نشان داده شده است. هم‌چنین جزییات ترانشه پنجه تراوا به همراه لوله جمع‌آوری کننده در شکل (۳-۸۰) ارائه شده است. در حالت کلی، هندسه ترانشه به عواملی همچون حجم مورد انتظار زیر تراوش، میزان کاهش فشار برخاستی مورد انتظار، جنبه‌های اجرایی و پایداری مصالحی که در آن حفر می‌شود، بستگی دارد. تا به حال از ترانشه‌هایی با عرض‌هایی در محدوده ۰/۶۱ تا ۱/۸۳ متر (۲ تا ۶ فوت) استفاده شده است.

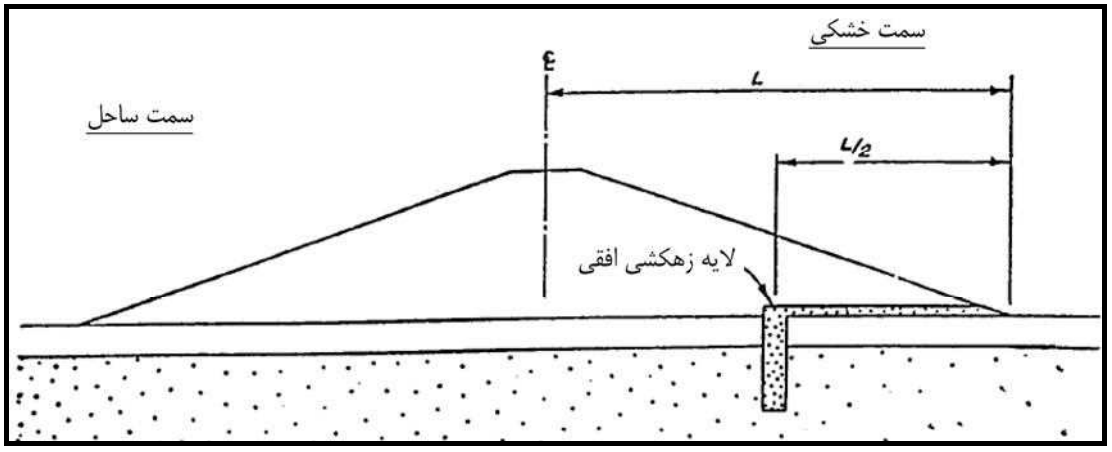
omoorepeyman.ir




**شکل ۳-۷۷- طرح کلی یک ترانشه پنجه تراوای معمولی در یک بند ساحلی**

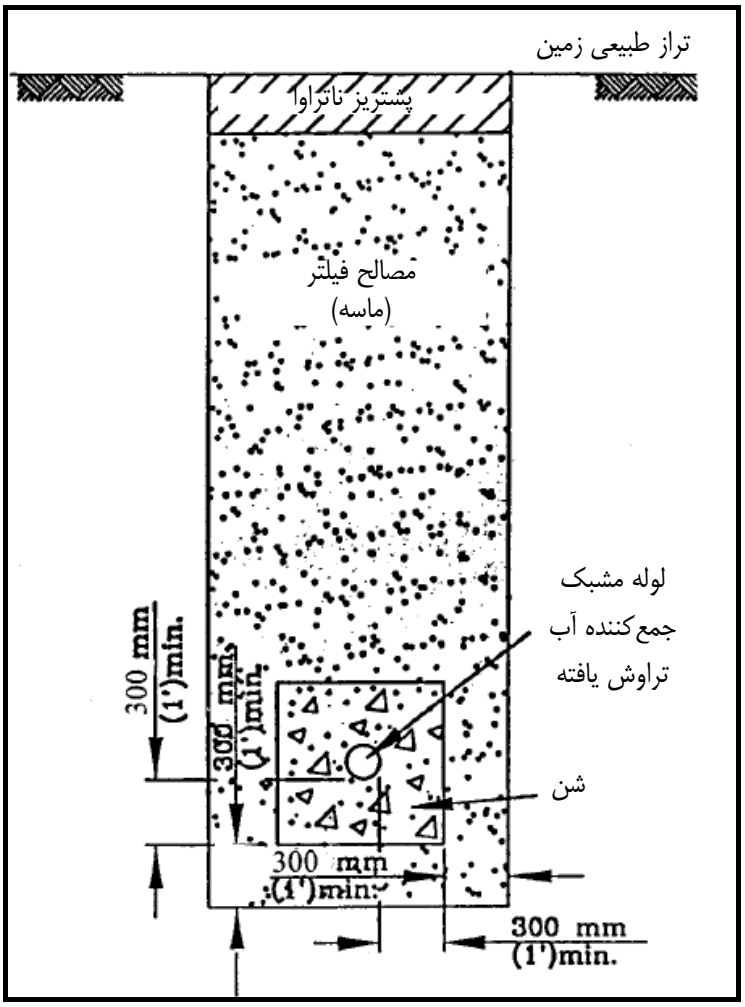



**شکل ۳-۷۸- طرح کلی یک ترانشه تراوای معمولی به همراه چاه فشارشکن**




**شکل ۳-۷۹- طرح کلی یک ترانشه تراوای پنجه که زیر شیروانی سمت خشکی قرارگرفته است.**

omoorepeyman.ir



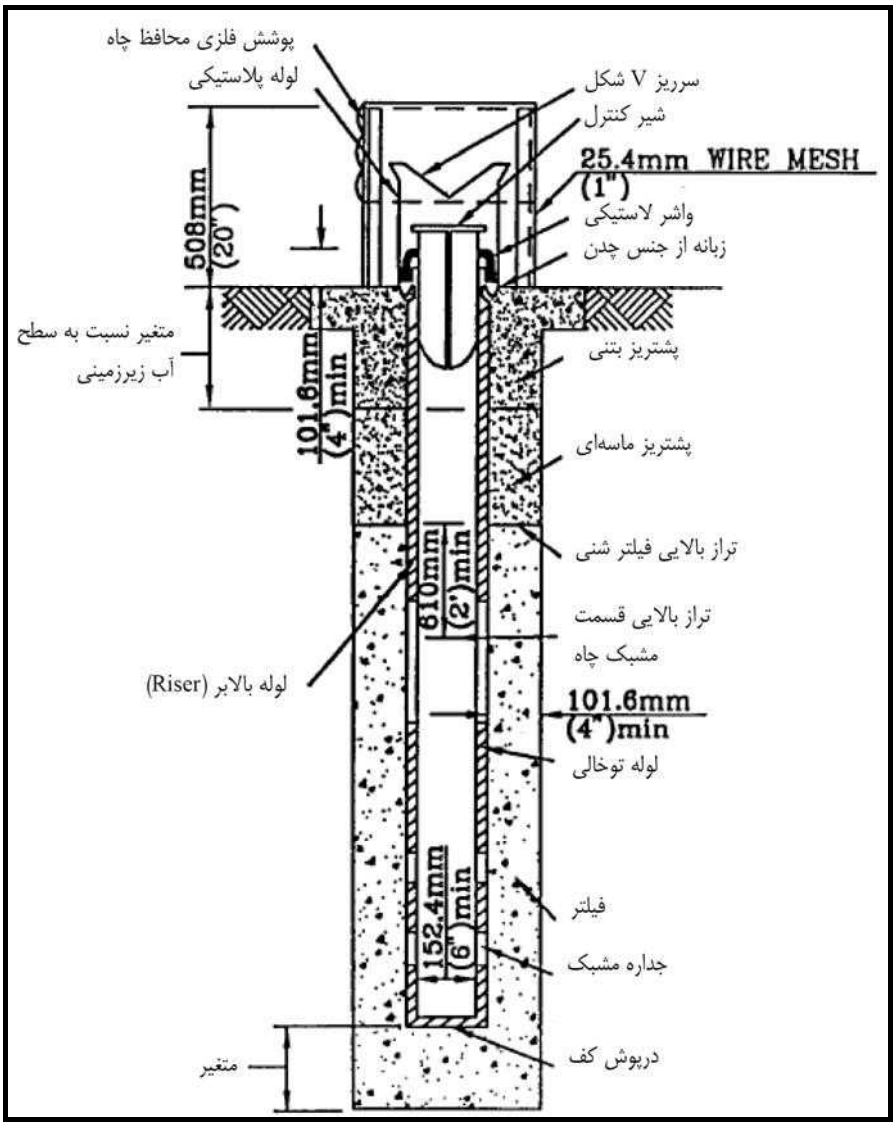

**شکل ۳-۸۰- جزییات ترانشه پنجه تراوا به همراه لوله جمع‌آوری کننده**

- **چاهک‌های فشارشکن:** در مواردی که به علت ضخامت زیاد لایه تراوای پی اجرای دیوار آب‌بند یا ترانشه پنجه تراوا اقتصادی نباشد یا فضای کافی برای اجرای سکوی ناتراوا در سمت خشکی فراهم نباشد، برای کاهش فشارهای برخاستی از چاهک‌های فشارشکن استفاده می‌شود. این چاهک‌های فشارشکن با فراهم ساختن خروجی‌های کنترل شده برای جریان تراوش یافته در پی بند ساحلی از وقوع جوشش و رگاب در مصالح پی پیشگیری می‌کنند. چاهک‌های فشارشکن نیازمند نگهداری دوره‌ای بوده و معمولا با گذشت زمان کارآیی آنها به دلیل مسدود شدن دریچه‌های آنها کاهش می‌یابد. برای آشنایی با جزییات طراحی چاهک‌های فشارشکن (همچون فاصله، اندازه و عمق نفوذ آنها) می‌توان به EM -۱۱۱۰-۲-۱۹۱۴ مراجعه نمود. طرح کلی یک چاهک فشارشکن معمولی در شکل (۳-۸۱) نشان داده شده است. در این زمینه جای اشاره دارد که هم اکنون روش‌های جایگزینی برای مصالح شن و ماسه در چاهک‌های فشارشکن ابداع شده است که نمونه‌ای از آن به کارگیری مصالح ژئوسنتتیک می‌باشد. در این زمینه می‌توان به «۳-۲-۸- ژئوسنتتیک‌ها» مراجعه نمود.

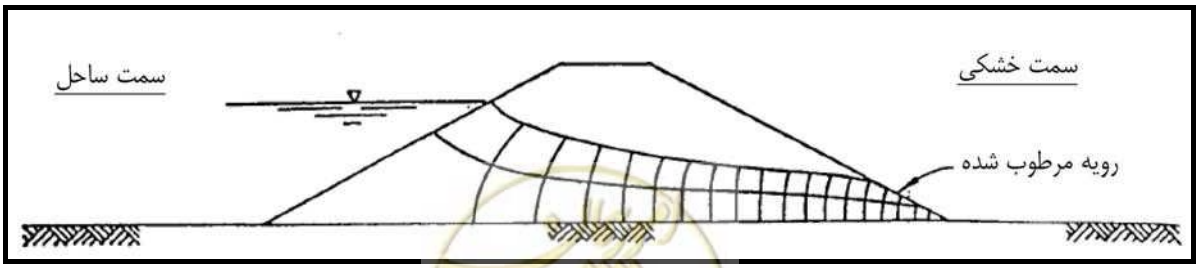
omoorepeyman.ir

**- کنترل تراوش از میان سازه**

پیش‌تر گفته شد که تراوش از میان سازه خاکریز ساحلی می‌تواند به سست شدن و رگاب در ناحیه پنجه بیانجامد. چگونگی تراوش از بدنه یک بند ساحلی دارای مقطع همگن که بر پی ناتراوا قرار دارد در شکل (۳-۸۲) نشان داده شده است.




**شکل ۳-۸۱- طرح کلی یک چاه فشارشکن معمولی**




**شکل ۳-۸۲- تراوش از مقطع همگن یک بند ساحلی قرار گرفته بر پی ناتراوا**

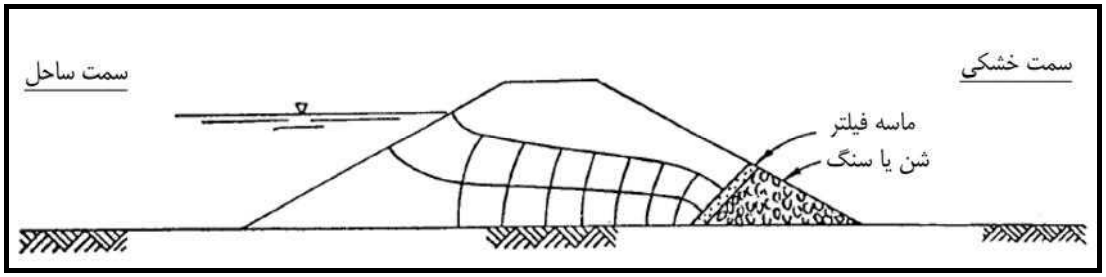
omoorepeyman.ir

مهم‌ترین روش‌های کنترل تراوش از میان سازه عبارتند از:

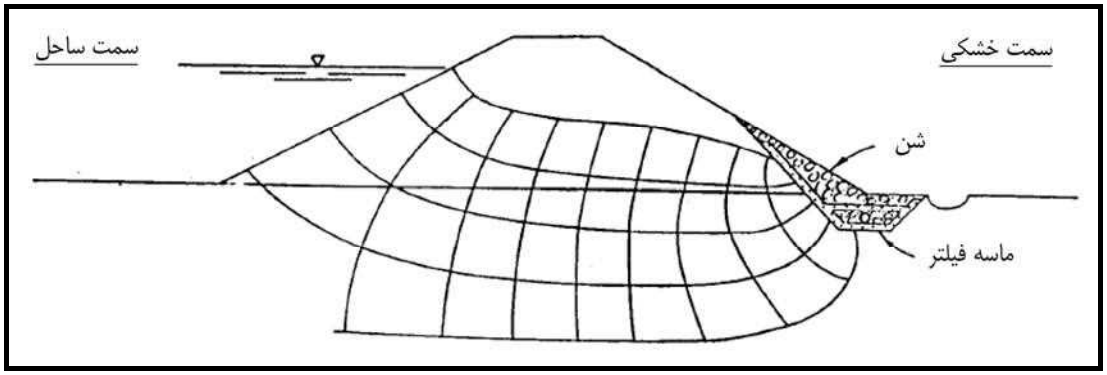
- زهکشی پنجه تراوا[1]
- لایه‌های زهکشی افقی
- لایه‌های زهکشی اریب

در ادامه توضیح مختصری در رابطه به هر کدام از روش‌های بالا داده می‌شود. برای به دست آوردن اطلاعات تکمیل‌تر می‌توان به فصل هشتم EM ۱۱۱۰-۲-۱۹۰۱ مراجعه نمود.

**زهکشی پنجه تراوا:** مطابق شکل (۳-۸۳) اجرای یک پنجه تراوا سبب فرآهم آمدن یک خروجی آماده برای تراوش از میان بدنه خاکریز می‌شود و می‌تواند سطح آب را به قدری پایین بیاورد که در سطح شیروانی سمت خشکی هیچ‌گونه تراوشی رخ ندهد. یک پنجه تراوا را هم‌چنین می‌توان با ترانشه های کم عمق ترکیب نمود. همان‌گونه که پیش‌تر توضیح داده شد ترانشه‌های کم عمقی که در پنجه اجرا می‌شوند می‌توانند زیر تراوش‌های سطحی را کنترل کنند. نمونه‌ای از این نوع روش کنترل تراوش در شکل (۳-۸۴) نشان داده شده است.




**شکل ۳-۸۳- بند ساحلی دارای پنجه تراوا**

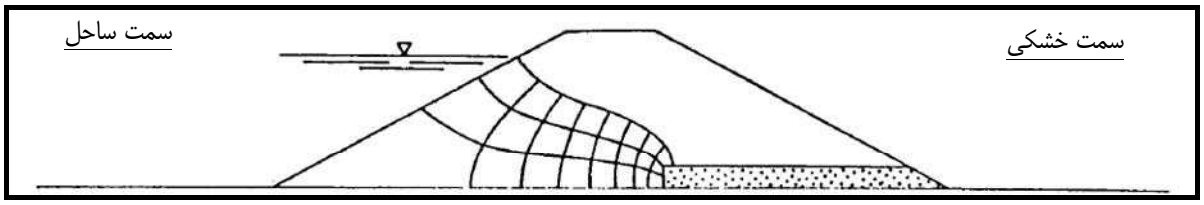



**شکل ۳-۸۴- ترکیب پنجه تراوا با ترانشه کم عمق**

- **لایه‌های زهکشی افقی:** مطابق شکل (۳-۸۵) لایه‌های زهکشی افقی، اساسا دارای کارکردی مشابه پنجه تراوا می‌باشند. با این برتری که آنها تا زیر خاکریز نیز امتداد می‌یابند و در نتیجه نیازمند مصالح اضافی نسبتا کم‌تری هستند. هم‌چنین در مواردی که زیر تراوش از پی با فشارهای برخاستی بزرگی همراه باشد آنها می‌توانند کف خاکریز را محافظت نمایند. گاهی نیز مطابق شکل (۳-۸۵) لایه‌های زهکشی افقی برای هدایت نمودن جریان‌های تراوشی جمع‌آوری شده در ترانشه زیرین تا فواصلی در زیر خاکریز ساحلی به کار می‌روند.

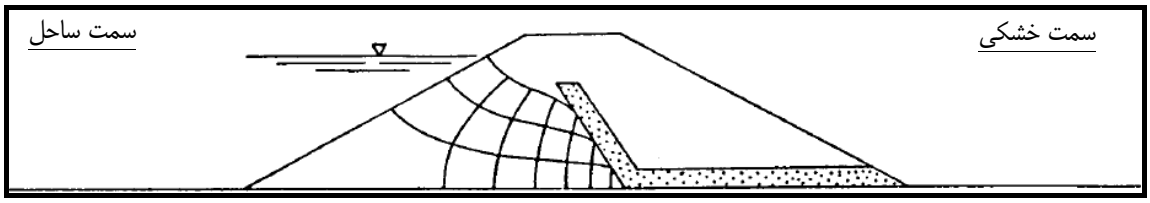
1- Pervious Toe Drain

omoorepeyman.ir

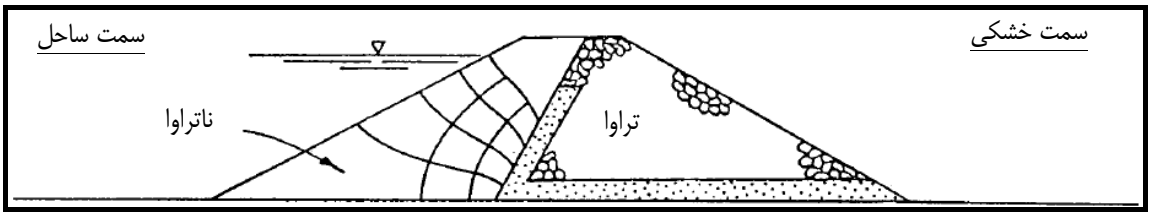



**شکل ۳-۸۵- لایه زهکشی افقی**

- **لایه‌های زهکشی اریب:** اجرای لایه زهکشی اریب (مطابق شکل ۳-۸۶) یکی از روش‌های کارآمدتر برای کنترل تراوش درونی می‌باشد که به طور گسترده‌ای در سدهای خاکی به کار گرفته می‌شود. این روش به دلیل هزینه‌های زیادی که دارد بـه نـدرت در اجرای بندهای ساحلی به کار می‌رود. با این حال، در بازه‌های کوچکی از بندهای ساحلی که در مناطق مهم قرار دارند ممکن است این روش دارای توجیه اقتصادی باشد. در این موارد معمولا ضرورت دارد شیب شیروانی‌ها تند بوده، دیگر روش‌های کنترل تراوش کافی نمی‌باشد و تراز آب بالا برای مدت طولانی به بند ساحلی اعمال می‌شود. لایه زهکشی مایل، مسـیر جریـان تراوشـی درون سازه خاکریز را کاملا قطع می‌کند. در واقع، کاربرد چنین لایه زهکشی، امکان آن را فراهم می‌کند تا ناحیه سمت خشکی یک بنـد با هر نوع مصالحی که دارای مقاومت کافی باشد اجرا شود و عامل تراوایی برای مصالح این ناحیه اهمیتی نخواهد داشت. اگر ایـن لایه زهکشی مطابق شکل (۳-۸۶) بین یک هسته ناتراوا و پوسته بیرونی تراوا قرار گیرد، هم‌چنین بـه عنـوان یـک فیلتـر عمـل می‌کند که از مهاجرت ریزدانه‌های ناتراوا به پوسته بیرونی پیشگیری می‌نماید. مطابق شکل‌های (۳-۸۶) و (۳-۸۷) زهکشی‌هـای اریب باید به لایه‌های زهکشی افقی متصل شوند تا امکان خروج جریان‌های تراوشی جمع‌آوری شده به وجود آید.




**شکل ۳-۸۶- لایه زهکشی اریب در یک خاکریز همگن**




**شکل ۳-۸۷- لایه زهکشی اریب در یک خاکریز ناحیه‌بندی شده**

### ۳-۳-۷-۶- ملاحظات طراحی شیروانی و نشست

**- شیب شیروانی‌های خاکریز**

در مورد بندهای ساحلی که دارای ارتفاع قابل ملاحظه‌ای هستند یا در مواردی که مصالح کافی موجود نبوده و یا شرایط پـی مناسـب نباشد، طراحی خاکریز نیازمند تحلیل‌های دقیق و جزیی می‌باشد. در مورد بندهای کم ارتفاع و بندهایی که با مصالح خوب و بر پـی‌هـای

omoorepeyman.ir

مناسب (که به تجربه ثابت شده‌اند) قرار می‌گیرند نیازمند تحلیل‌های پایداری کم‌تری هستند. در چنین مواردی، شیب شیروانی‌ها با توجه به ملاحظات کاربردی همچون نوع و آسانی اجرا، نوع نگهداری، تراوش و معیارهای حفاظت شیروانی تعیین می‌شود.

- **نوع اجرا:** بندهای ساحلی که کاملا متراکم شده‌اند امکان به کارگیری شیب‌های تندتری را در مقایسه با بندهایی که به صورت نیمه متراکم یا هیدرولیکی اجرا شده‌اند، فراهم می‌کنند. در واقع، محدودیت‌های فضای کار و اجرا در نواحی شهری اغلب طراح را مجبور می‌کنند تا مقاطعی کوچک انتخاب کرده و برای دستیابی به مقطع پایدار از مصالح و روش‌های تراکم مناسب استفاده کند.
- **آسانی اجرا:** شیب 1V به 2H معمولا به عنوان تندترین شیبی پذیرفته شده است که به سادگی قابل اجرا بوده و با به‌کارگیری هر نوع لایه‌بندی سنگریز، پایداری کافی خواهد داشت.
- **نگهداری:** شیب 1V به 3H تندترین شیبی است که می‌تواند به راحتی توسط ماشین آلات رایج و کارشناسان بازرسی دوره‌ای مورد استفاده و رفت و آمد قرار گیرد.
- **تراوش:** در مورد بندهای ماسه‌ای، شیب 1V به 5H در سمت خشکی به قدری مسطح در نظر گرفته می‌شود که در آن مشکل صدمه ناشی از خروج تراوش از شیروانی سمت خشکی رخ ندهد.
- **حفاظت شیب:** شیروانی‌های سمت ساحل باید در برابر اثر موج نیزکنترل شوند. به همین دلیل شیب آنها ممکن است مسطح‌تر از شیب شیروانی‌های سمت خشکی شود که فقط از نظر معیار پایداری بررسی می‌شوند.

### - تراز نهایی خاکریز

هنگام انتخاب فاصله آزاد باید عدم قطعیت‌های هیدرولیکی، ژئوتکنیکی، اجرایی، بهره‌برداری و نگهداری در نظر گرفته شوند. امروزه به جای استفاده از اصطلاح فاصله آزاد برای جبران عدم قطعیت‌های گفته شده از تحلیل مبتنی بر ریسک برای محاسبه عدم قطعیت‌های هیدرولیکی استفاده شده و تراز اسمی تاج تعیین می‌شود. در پایان تراز نهایی بند با احتساب نشست، انقباض، ترک خوردگی‌ها، فرونشست زمین‌شناختی و رواداری‌های اجرایی انتخاب می‌شود.

**جدول ۳-۱۲- حداقل فاکتورهای ایمنی مورد نیاز برای پایداری شیروانی بند ساحلی**

| نوع شیروانی | شرایط پایداری قابل کاربرد و فاکتورهای ایمنی مورد نیاز | | | |
|---|---|---|---|---|
| | پایان اجرای بند | بلندمدت (تراوش ماندگار) | پایین افتادگی سریع[1](الف) | زمین لرزه(ب) |
| بندهای جدید | ۱/۳ | ۱/۴ | ۱/۰ تا ۱/۲ | (به زیرنویس مراجعه شود) |
| بندهای موجود | – | ۱/۴ | ۱/۰ تا ۱/۲ | (به زیرنویس مراجعه شود) |

الف- تحلیل‌های پایین افتادگی ناگهانی: در صورتی که قرار نباشد تراز آب پیش از پایین افتادگی برای مدت زمان طولانی بالا بماند از ضریب ایمنی ۱/۰ و اگر قرار باشد پیش از پایین افتادگی، آب برای مدت زمانی طولانی بالا بماند از ضریب ایمنی ۱/۲ استفاده شود.

ب- به ER ۱۱۱۰-۲-۱۸۰۶ مراجعه شود

پ- در مورد شیروانی‌های موجود در مواردی که قبلا لغزش یا تغییر شکل‌های بزرگ رخ داده باشد و در زمینه مقاومت‌های برش طرح تحلیل‌هایی صورت گرفته باشد بهتر است از ضرایب ایمنی کوچک‌تری استفاده شود.

1- Rapid Drawdown

omoorepeyman.ir

**- عرض تاج خاکریز**

عرض تاج بند ساحلی با توجه به ملزومات رفت و آمد و دسترسی‌های آتی تعیین می‌شود. برای فراهم ساختن دسترسی برای فعالیت‌های بهره‌برداری، نگهداری وکنترل سیلاب معمولی، معمولا از عرض‌های کمینه ۳/۰۵ تا ۳/۶۶ متر (۱۰ تا ۱۲ فوت) به همراه نواحی عریض شده‌ای برای مانور وسایل و تجهیزات در فواصل مختلف، استفاده شده است.

**- حداقل فاکتورهای ایمنی مورد نیاز**

حداقل فاکتورهای ایمنی مورد نیاز برای پایداری شیروانی بندهای ساحلی به همراه ناحیه‌ای از خاکریز که نیازمند تحلیل مربوط می‌باشد و داده‌های آزمون برش قابل استفاده در جدول (۳-۱۲) نشان داده شده‌اند.

**- ملاحظات نشست**

در صورتی که نشست بند ساحلی سبب از بین رفتن فاصله آزاد یا صدمه دیدن سازه‌های درون خاکریز شود، آنگاه برآورد میزان نشست پس از اجرای بند (ناشی از تحکیم خاکریز و پی) اهمیت خواهد داشت. در بسیاری مناطق برای احتساب نشست ناشی از تحکیم خاکریز و پی آن، ارتفاع بند ساحلی را کمی بلندتر اجرا می‌کنند. این ارتفاع مازاد با توجه به روش اجرای بند و میزان تراکم مصالح تعیین می‌شود. در این زمینه معمولا از مقادیر زیر استفاده می‌شود: ۰ تا ۵ درصد برای بند کاملا تراکم یافته، ۵ تا ۱۰ درصد برای بندهای نیمه متراکم، ۱۵ درصد برای بندهای تراکم نیافته و ۵ تا ۱۰ درصد برای بندهایی که به روش هیدرولیکی اجرا شده اند. البته باید در نظر داشت که در نظر گرفتن ارتفاع مازاد می‌تواند مشکلات پایداری را بدتر کند و به همین دلیل این روش برای برخی از پی‌ها غیرعملی و نامطلوب تشخیص داده می‌شود.

برای برآورد نشست بند ساحلی می‌توان از تحلیل‌های نظری ارائه شده در EM ۱۱۱۰-۱-۱۹۰۴ استفاده نمود. تحلیل‌های نشست دقیق و جزیی زمانی انجام می‌شوند که احتمال رخ دادن تحکیم قابل ملاحظه‌ای وجود داشته باشد که نمونه‌هایی از آن عبارتند از: بندهایی که تحت بارگذاری‌های شدید قرار دارند، بندهایی که دارای مصالح با تراکم‌پذیری زیاد هستند، خاکریزهایی که بر پی‌های تراکم پذیر قرار دارند و زیر سازه‌های فولادی و بتنی که در سامانه‌ی بند ساحلی و بر روی خاک‌های تراکم پذیر قرار گرفته‌اند. در مواردی که خاک‌های پی و خاکریز، تراوا یا نیمه‌تراوا باشند بیش‌تر نشست‌ها حین اجرای طرح رخ خواهند داد. در مورد خاک‌های ناتراوا، معمولا به طور محافظه‌کارانه‌ای فرض می‌شود که تمام نشست محاسبه شده، پس از اجرا رخ خواهد داد. در صورتی که این نشست بیش از میزان قابل تحمل باشد باید راهکارهایی همچون برداشت مصالح تراکم پذیر پی یا اجرای مرحله‌ای مد نظر قرار گیرند.

## ۳-۴- معیارهای انتخاب سازه‌های حفاظت سواحل

انتخاب نوع سازه حفاظت ساحلی نقش بسیار مهمی در موفقیت آمیز و اقتصادی بودن طرح خواهد داشت. بدین منظور این انتخاب باید با در نظر داشتن تمام جنبه‌های ممکن برای طرح صورت گیرد. بسیاری از جنبه‌های موثر در انتخاب نوع اقدام حفاظتی موردنیاز و نوع سازه مناسب برای اقدام مورد نظر در فصل‌های پیش و این فصل ارائه شده‌اند و برخی از آنها نیز در فصل‌های بعد

omoorepeyman.ir

آورده خواهند شد. شکل (۳-۸۸) رابطه کلی انتخاب نوع سازه ساحلی با مراحل کلی برنامه‌ریزی طرح حفاظت ساحلی را که در فصل‌های مختلف این راهنما ارائه شده‌اند، نشان می‌دهد.

پیش‌تر و در ابتدای همین فصل توضیح داده شد که انتخاب نوع اقدام حافظتی موردنیاز برای یک ساحل ویژه به سه شرط اساسی زیر بستگی دارد:

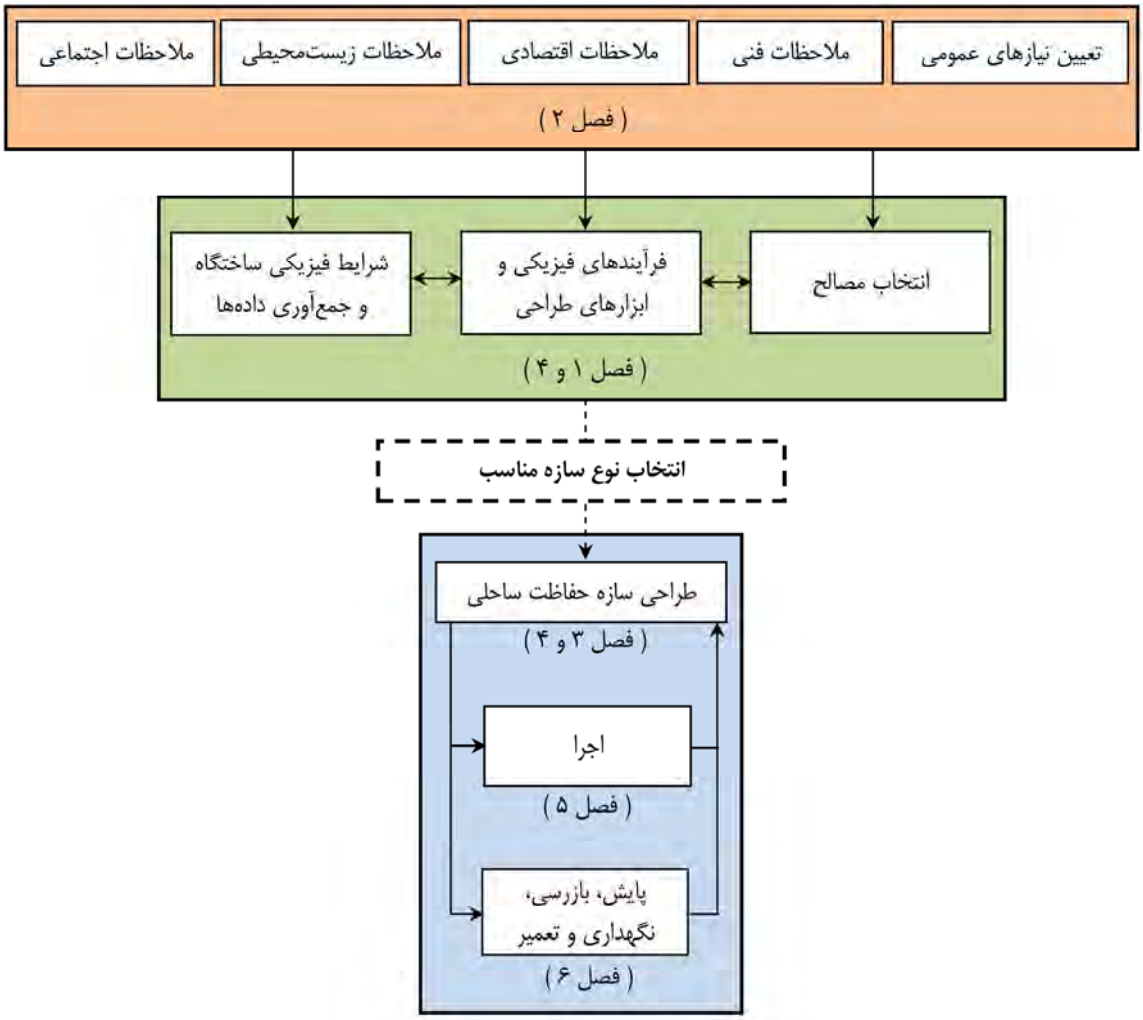
- نوع مشکل (فرسایش ساحل، فرونشست ساحل، یا سیلابی شدن پسکرانه)
- شرایط ریخت‌شناسی ( نوع خط ساحلی (بخش ۱-۲-۱) و نوع نیمرخ ساحلی (بخش ۱-۲-۲))
- نوع کاربری ساحل (زیرساخت مسکونی، تفریحی، کشاورزی)

تعیین نوع مشکل با توجه موارد ارائه شده در بند «۱-۵- انواع و عوامل فرسایش و تخریب سواحل» و «۱-۶- عوامل سیلابی شدن سواحل» امکان‌پذیر می‌باشد. تعیین نوع مشکل که معمولا به دو شکل کلی فرسایش یا سیلابی شدن ساحل نمود پیدا می‌کند، تا حد زیادی نوع سازه حفاظت ساحلی را مشخص می‌سازد زیرا کاربری برخی از این سازه‌ها صرفا کنترل فرسایش و کاربری برخی از آنها نیز صرفا کنترل سیلابی شدن زمین‌های پسکرانه است. کاربری‌های انواع سازه‌های حفاظت ساحلی در «۳-۲- تعریف و زمینه‌های کاربرد انواع سازه‌های حفاظت سواحل» ارائه گردیده که خلاصه‌ای از آنها در ادامه نیز آورده شده است.

تعیین شرایط ریخت‌شناسی ساحل با توجه به مطالب ارائه شده در بند «۱-۲- انواع سواحل و طبقه‌بندی آنها» صورت می‌گیرد. در این قسمت سواحل از دو دیدگاه شکل خط ساحلی و نیمرخ ساحلی تقسیم‌بندی شده‌اند. در حالت کلی، شکل خط ساحلی تا حد زیادی بیانگر میزان نمایان یا در معرض هجوم بودن امواج می‌باشد. برای نمونه سواحل کاو (مقعر) به دلیل شکل خط ساحلی کم‌تر از سواحل کوژ (محدب) در معرض هجوم امواج قرار دارند. نکته مهم دیگر در مورد شکل خط ساحلی، تاثیر آن بر الگوهای حرکت رسوبات و نقاط دارای پتانسیل فرسایش یا رسوب‌گذاری در ناحیه ساحلی مورد نظر است. تعیین دقیق این مساله مستلزم شبیه‌سازی عددی الگوهای انتقال رسوبات در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. پس از تعیین شرایط ریخت‌شناسی ساحل مورد نظر می‌توان برآوردی از رژیم امواج و رسوب به دست آورد که بر انتخاب نوع سازه و چگونگی طراحی آن تاثیر خواهد گذاشت.

نوع کاربری ساحل در حقیقت رابطه مستقیمی با برآورد سود به هزینه پروژه خواهد داشت. به گونه‌ای که سواحل دارای کاربری مسکونی یا تجاری، به کارگیری سازه‌های پرهزینه‌تر را توجیه می‌نمایند و از سوی دیگر سواحل غیرمسکونی حتی ممکن است از نظر اقتصادی برای حفاظت مقرون به صرفه نباشند.

omoorepeyman.ir




**شکل ۳-۸۸- انتخاب نوع سازه حفاظت ساحلی با توجه به مراحل برنامه‌ریزی و طراحی پروژه**

پس از تعیین مشکل، شرایط ریخت‌شناسی و نوع کاربری ساحل باید راهکار و خط‌مشی کلی حفاظت ساحل انتخاب شود. مطابق راهنمای مهندسی ساحل آمریکا شش راهکار سیستماتیک زیر برای مقابله با پدیده فرسایش یا سیلابی شدن ساحل وجود دارد که عبارتند از: آرمورچینی، پایداری‌سازی ساحل، تغذیه ساحل، سازگاری و عقب‌نشینی، اقدامات ترکیبی و فن‌آوری‌های نوین و در نهایت عدم مقابله با مشکل موجود. این راهکارها به طور خلاصه در ابتدای این فصل توضیح داده شده‌اند. در این مرحله گزینه‌هایی که با خط مشی کلی حفاظت ساحل سازگاری داشته باشند تا حد زیادی محدود خواهند شد.

پس از تعیین خط مشی کلی طرح حفاظت ساحلی باید اطلاعات مربوط به نیازهای عمومی، ملاحظات فنی، اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی طرح، جمع‌آوری شده و مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرند. این موارد به طور مفصل در فصل ۲ این راهنما مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در ادامه این بخش نیز خلاصه‌ای از این موارد آورده شده است.

انتخاب نوع سازه حفاظت ساحلی هم‌چنین ارتباط تنگاتنگی با نوع مصالح در دسترس، فرآیندهای فیزیکی و ابزارهای طراحی و شرایط فیزیکی ساختگاه و داده‌های موجود دارد. این موارد در «۱-۴- بررسی ویژگی‌های کلی ساحل مورد مطالعه» ارائه شده‌اند. هم‌چنین در زمینه مدل‌های عددی و مقیاسی مناسب برای سازه‌های ساحلی در فصل ۴ صحبت شده است.

omoorepeyman.ir

با داشتن تمام اطلاعات بالا می‌توان در نهایت نوع سازه مناسب را تعیین نمود. البته ذکر این نکته دارای اهمیت است که هنگام انتخاب روش مناسب باید به غیر از روش‌های سازه‌ای اشاره شده در این راهنما، گزینه‌ها و روش‌های غیرسازه‌ای (همچون تغذیه مصنوعی ساحل، ایجاد پوشش گیاهی و غیره) نیز بررسی شوند.

مراحل بعدی که در برنامه‌ریزی پروژه مطرح می‌باشند شامل طراحی سازه انتخابی با توجه به موارد ارائه شده در «۳-۳- ملاحظات طراحی سازه‌های حفاظت سواحل» و روش‌های مدل‌سازی ارائه شده در فصل ۴، بررسی ملاحظات اجرایی سازه ساحلی با توجه به معیارهای ارائه شده در فصل ۵ و در پایان بررسی روش‌های پایش، بازرسی، نگهداری و تعمیر سازه مورد نظر در فازهای مختلف اجرایی و بهره‌برداری مطابق با فصل ۶ این راهنما می‌باشند.

### ۳-۴-۱- نوع مشکل و کاربری سازه‌های ساحلی

پیش‌تر اشاره شد که هر کدام از سازه‌های ساحلی دارای زمینه‌های کاربرد و کارکردهای ویژه‌ای می‌باشد که آن را برای برطرف نمودن نوعی مشکل خاص مناسب می‌سازد. در این قسمت خلاصه‌ای از زمینه‌های کاربرد و کارکرد سازه‌های حفاظت ساحلی با توجه به شرایط مختلف ارائه می‌شود.

جدول (۳-۱۳) به ارائه فهرستی از انواع روش‌های حفاظت ساحلی بر حسب نوع مشکل، نوع ساحل از دیدگاه راستای پیشروی امواج و نیز از دیدگاه میزان نمایان بودن ساحل در برابر امواج می‌پردازد. در این جدول برای آشنایی بیش‌تر خواننده برخی از روش‌های غیرسازه‌ای نیز آورده شده‌اند. برای آن‌که روش مورد نظر کاملا مناسب باشد باید با هر سه شرط نوع مشکل، راستای پیشروی و ارتفاع امواج پیشرونده سازگار باشد.

برای نمونه مشاهده می‌شود که سازه‌ای همچون دیوار ساحلی بیش‌تر برای حفاظت پسکرانه در برابر فرسایش و یا سیلابی شدن به کار رفته و در برابر فرسایش پیشکرانه (نیمرخ ساحلی زیر آب) کارآیی ندارد. در مقابل سازه‌های آبشکن گروهی، تمام ناحیه ساحلی (شامل پسکرانه و پیشکرانه) را در برابر فرسایش حفاظت می‌کنند ولی در عین حال در برابر سیلابی شدن و بالا آمدن تراز آب دریا کارآیی از خود نشان نمی‌دهند. یا برای نمونه در زمینه شرایط امواج مهاجم (میزان نمایان بودن ساحل) مشاهده می‌شود که موج‌شکن‌های شناور بیش‌تر در نواحی ساحلی حفاظت شده (با ارتفاع امواج کم‌تر از ۱ متر) کاربرد دارند حال آن‌که دیوارهای دریایی در نواحی دارای امواج بزرگ و شدید به کار گرفته می‌شوند.

هنگام انتخاب سازه حفاظت ساحلی باید به میزان حفاظت ایجاد شده، اثرهای جانبی طرح، پایدار بودن راهکار حفاظت ساحلی و نیازمندی‌های مدیریتی نیز توجه شود. در زیر برخی از مواردی که هنگام انتخاب سازه‌های ساحلی باید به آنها توجه داشت برای نمونه آورده شده‌اند:

- پایدارسازی تپه‌ها یا صخره‌های ساحلی می‌تواند اندکی حفاظت برای پسکرانه ساحل ایجاد کند اما این کار با دستکاری رژیم دینامیکی ساحل همراه خواهد بود.
- حفاظت ساحل توسط سازه‌هایی که در خط ساحلی قرار می‌گیرند (همچون دیوارهای دریایی، پوشش محافظ و دیوار حایل) می‌تواند از فرسایش پسکرانه پیشگیری کند اما این کار اغلب به قیمت فرسایش ساحل پیشکرانه و سواحل پایین‌دست، و هم‌چنین دستکاری در رژیم دینامیکی و جنبه‌های زیبایی شناختی ساحل تمام خواهد شد.

omoorepeyman.ir

**جدول ۳-۱۳- زمینه‌های کاربرد اقدامات حفاظت ساحل**

| نوع اقدام حفاظتی | روش حفاظتی | نوع مشکل | | | | | | | | | راستای پیشروی امواج | | | | | نمایان بودن | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | فرسایش پسکرانه | فرسایش پیشکرانه | تغییرات فصلی خط ساحلی | سیلابی شدن پسکرانه | بالا آمدن سطح آب دریا | لغزش | فرسایش ناشی از باد | بالا آمدن تراز آب زیرزمینی | نبود ساحل | عمود بر ساحل ($\alpha = 0$) | نسبتا اریب ($0 < \alpha < 10$) | اریب ($10 < \alpha < 50$) | بسیار اریب ($50 < \alpha < 85$) | موازی ساحل ($\alpha > 85$) | حفاظت شده ($H_s < 1$) | نسبتا نمایان ($1 < H_s < 3$) | نمایان ($H_s > 3$) |
| حفاظت پسکرانه توسط پایدارسازی صخره یا تپه‌های ساحلی | پایدارسازی تپه ساحلی | × | | | × | | | × | | | × | × | × | × | | | × | × |
| | پایدارسازی صخره ساحلی | × | | | | | × | × | × | | × | × | × | × | × | | × | × |
| حفاظت پسکرانه توسط سازه‌ها | دیوار ساحلی | × | | | × | × | × | | | | × | × | × | × | × | | × | × |
| | پوشش محافظ | × | | | | | × | | | | × | × | × | × | × | × | × | |
| | دیوار حایل | | | | | × | × | | | | × | × | × | × | × | × | | |
| حفاظت ترکیبی پسکرانه و خط ساحلی توسط سازه‌ها و تغذیه مصنوعی | آبشکن منفرد | × | × | | | | | | | | | × | * | | | | × | × |
| | آبشکن گروهی | × | × | × | | | | | | × | × | × | * | | | | × | × |
| | موج‌شکن‌های جدا از ساحل | × | × | × | | | | | × | × | × | × | × | × | × | | × | × |
| | موج‌شکن‌های مستغرق | | × | | | | | | | | × | × | | | | | × | × |
| | موج‌شکن شناور | | × | | | | | | | | × | × | | | | × | | |
| حفاظت خط ساحلی از راه تغذیه مصنوعی و غیره | تغذیه پسکرانه | × | × | × | × | × | | × | | | × | × | × | × | | | × | × |
| | تغذیه کرانه ساحلی | × | × | × | | × | | × | | × | × | × | × | × | | × | × | × |
| | تغذیه پیشکرانه | | × | | | × | | | | | × | × | × | × | | | × | × |
| | زهکشی ساحل | | × | × | | | | | × | | × | × | × | × | × | | × | |
| راهکارهای مدیریتی | محدودساختن استفاده از زمین‌های ساحلی | × | × | × | | × | × | | | × | × | × | × | × | × | | × | × |
| | بازیابی مدیریت شده ساحل | × | × | × | | | × | | | × | × | × | × | × | × | | × | × |
| مقابله با دریا | بند یا خاکریز ساحلی | | | | × | × | | | | | × | × | × | × | × | × | × | × |
| | تپه ساحلی مصنوعی | × | × | × | × | × | | × | | | × | × | × | × | | | × | × |
| | بازیابی زمین‌های پیشکرانه | × | | | × | × | | | | | × | × | × | × | × | × | | |

نکات: کارکرد کامل (×) کارکرد جزیی (*)

omoorepeyman.ir

- استفاده از راهکارهای ترکیبی می‌تواند از فرسایش پسکرانه و پیشکرانه ساحل پیشگیری کند اما اغلب این کار با فرسایش سواحل پایین‌دست و از بین رفتن جنبه‌های زیبایی‌شناختی، ایمنی و دینامیک ساحل همراه خواهد بود.
- حفاظت ساحل از راه تغذیه ساحل به عنوان یک راهکار جذاب که حفاظت خوبی برای ساحل مورد نظر و حتی سواحل پایین‌دست ایجاد می‌کند، مطرح می‌باشد اما این راهکار اغلب با تغییر رژیم دینامیکی ساحل همراه خواهد بود.
- زهکشی زمین‌های ساحلی پسکرانه می‌تواند حفاظت خوبی در برابر تغییرات فصلی ساحل و تراز بالای آب زیرزمینی ایجاد کند.
- راهکارهای مدیریتی بیش‌تر بر روی بازسازی دینامیک ساحلی تمرکز می‌کنند به گونه‌ای که سبب حفاظت ساحل مورد نظر و هم‌چنین سواحل پایین‌دست آن با حفظ جنبه‌های زیبایی‌شناختی شود.
- مقابله با دریا از راه ساخت بندهای ساحلی سبب پیشگیری از سیلابی شدن پسکرانه می‌شود اما اغلب با از بین رفتن دینامیک ساحل و تنوع زیستی همراه خواهد بود. مقابله با دریا از راه ساخت تپه‌های ساحلی مصنوعی یا بازیابی ساحل، حفاظت اندکی در برابر سیلابی شدن پسکرانه ایجاد می‌کند اما سبب حفظ و بهبود دینامیک ساحلی و تنوع زیستی آن می‌شود.

### ۳-۴-۲- داده‌های موجود

طراحی یک سامانه‌ی حفاظت ساحل تنها با تعیین شرایط محلی مانند هیدروگرافی، امواج، کشندها، جریان‌ها، فرآیندهای ریخت‌شناسی و خصوصیات رسوب و خاک منطقه ممکن است. از آنجا که بارگذاری‌های ناشی از شرایط محیطی دریایی به طور مطلق قابل پیش‌بینی نیستند، به طور عموم به صورت توابع احتمالی تعریف می‌شوند. بنابراین شرایط طراحی به صورت یک سری موارد احتمالاتی بیان شده و روش طراحی بر پایه اصول احتمالات است. بررسی شرایط کلی پروژه شامل تخمین حجم‌های رسوب‌گذاری یا فرسایش، وضعیت زیست محیطی و غیره همگی بر اساس داده‌های موجود صورت می‌پذیرد. به همین دلیل کمیت و کیفیت داده‌های اولیه می‌تواند نقش موثری در برآورد و انتخاب مناسب سازه حفاظت ساحل داشته باشد.

۱۵ مورد از مهم‌ترین داده‌هایی که باید پیش از انتخاب سامانه‌ی حفاظت ساحلی مناسب مورد بررسی قرار گیرند در «فصل ۱، ۱-۴- بررسی ویژگی‌های کلی ساحل مورد مطالعه» ارائه شده‌اند. بسیاری از این پارامترها برای پیش‌بینی وضعیت آتی ساحل مورد استفاده قرار می‌گیرند و برخی نیز جنبه کیفی داشته و اثرهای جانبی پروژه، وضعیت محیط زیست، پایش و ایمنی پروژه را مد نظر قرار می‌دهند. ارزیابی هر دو گروه از پارامترها و ارزش‌دهی به آنها در تصمیم‌گیری نهایی برای حفاظت ساحل ضروری است.

لازم به ذکر است که با توجه به ماهیت احتمالاتی پدیده‌های موثر در حفاظت ساحل، روند طراحی سازه‌های حفاظت ساحل یک روند بازگشتی است. بدین معنی که در هر مرحله از طراحی داده‌های جدید به دست آمده می‌تواند در طرح مجدد قسمت‌های پیشین مورد استفاده قرار گیرد.

### ۳-۴-۳- مصالح و امکانات موجود محلی

نوع مصالح در دسترس و نیز ویژگی‌های آنها تاثیر چشمگیری در هزینه طرح و در نتیجه انتخاب نوع سازه حفاظت ساحلی خواهد گذاشت. در این زمینه هزینه تهیه مصالح، هزینه حمل مصالح به ساختگاه پروژه و نیز هزینه قراردهی آنها مهم‌ترین جنبه‌هایی می‌باشند که در تعیین هزینه‌های اجرایی پروژه مد نظر قرار می‌گیرند. انواع مصالح و ویژگی‌های مهندسی آنها و هم‌چنین معیارهای

omoorepeyman.ir

انتخاب مصالح به طور مفصل در بخش «۱-۴-۱۳- مصالح موجود و ملزومات مرتبط با آن» مورد بررسی قرار گرفته‌اند. هم‌چنین نوع ماشین‌آلات مورد استفاده و امکانات اجرایی موجود می‌تواند نقش چشمگیری در هزینه‌های حمل و قراردهی مصالح داشته باشد. ملاحظات اجرایی به طور مفصل در فصل پنجم مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

### ۳-۴-۴- معیارهای فنی

ملاحظات فنی طرح‌های حفاظت ساحل شامل مولفه‌های سازه‌ای، بارگذاری سازه‌ای، تحلیل مولفه‌های سازه‌ای، فرآیند طراحی، معیارهای طراحی فنی و رویکردهای طراحی در «۲-۲- ملاحظات فنی طرح» ارائه شده‌اند. در ادامه برخی از مهم‌ترین معیارهای فنی که در انتخاب نوع سازه حفاظت ساحلی تاثیرگذارند آورده شده است.

#### ۳-۴-۴-۱- شرایط هیدرولیکی و هیدرودینامیکی

مهم‌ترین پارامترهای هیدرولیکی و هیدرودینامیکی موثر بر انتخاب سازه حفاظت ساحلی را می‌توان به صورت زیر دسته‌بندی نمود:

- مقادیر بیشینه تراز آب و ارتفاع موج
- میزان اختلاف ارتفاع تراز آب در پشت و جلوی سازه
- میزان اختلاف سرعت آب در پشت و جلوی سازه یا در دو قسمت
- تغییرات ارتفاع تراز آب در پشت و جلوی سازه

#### ۳-۴-۴-۲- شرایط ژئوتکنیکی

در این زمینه انتخاب سازه حفاظت ساحلی باید به گونه ای انجام شود که دو شرط اساسی زیر برآورده شود:

- تغییرات شکل سازه در محدوده قابل قبول باشد
- احتمال عدم پایداری در سازه به میزان کافی اندک باشد.

#### ۳-۴-۴-۳- ویژگی‌های انواع سازه‌های حفاظت ساحل

پیش‌تر در بخش معرفی روش‌های حفاظت ساحل گفته شد که هر سازه دارای کارکردهای ویژه‌ای بوده و در شرایط خاصی قابل استفاده است. در ادامه خلاصه‌ای از ویژگی‌های انواع سازه‌های حفاظت ساحلی ارائه شده است که در انتخاب آنها نقش موثری دارد.

**- آبشکن‌ها و دستک‌ها**

این نوع سازه‌ها معمولا در شرایط زیر قابل استفاده‌اند:

- در سواحل قلوه سنگی با هرگونه دامنه کشندی
- در سواحل ماسه‌ای با دامنه کشندی کم
- در سواحل با نرخ انتقال رسوب کل زیاد ولی نرخ خالص کم
- ساخت و ساز عمود بر ساحل در طول دلخواه ممکن باشد

امکان استفاده از سازه‌های حجیم در هنگام امواج شدید فراهم باشد.

omoorepeyman.ir

**- موج‌شکن‌های جدا از ساحل**

این نوع سازه‌ها معمولا در شرایط زیر قابل استفاده‌اند:

- در سواحل قلوه سنگی با هرگونه دامنه کشندی
- در سواحل ماسه‌ای با دامنه کشندی کم
- یک جهت غالب عمود بر ساحل برای رسوب، قابل پیش‌بینی باشد.
- نیاز به ساخت ساحلی‌های کوچک تفریحی باشد.

**- دیوارهای دریایی و بندها**

این نوع سازه‌ها معمولا در شریط زیر قابل استفاده‌اند:

- تقریبا در هر نوع بستری قابل اجرا هستند.
- تقریبا در همه نوع شرایط هیدرولیکی قابل استفاده هستند.
- برای شرایط نرخ انتقال رسوب کم مناسب هستند.
- تقریبا در همه نوع شرایط موج قابل استفاده هستند.
- تقریبا جذب انرژی امواج روی ساحل بسیار مناسب هستند.
- در کنار دیگر سازه‌ها قابل استفاده‌اند.

### ۳-۴-۴-۴- جنبه‌های اجرایی

حتی در فاز مفهومی پروژه نیز باید طراح برای هر نوع سازه‌ای که انتخاب می‌کند روش اجرایی در نظر داشته باشد. در این زمینه مشاوره با یک پیمانکار با تجربه که با روش‌های روزآمد اجرای سازه‌های ساحلی آشنایی دارد می‌تواند بسیار سودمند باشد. اصلاحات تکمیلی در زمینه جنبه‌های اجرایی در فصل پنجم آورده شده است.

مهم‌ترین جنبه های اجرایی که باید هنگام انتخاب و طراحی سازه حفاظت ساحلی مد نظر قرار داشت عبارتند از:

- در دسترس بودن مصالح (به این موضوع پیش‌تر در بخش «۱-۴-۱۳ مصالح موجود و ملزومات مرتبط با آن» به طور جداگانه پرداخته شده است)
- منابع و امکانات موجود محلی
- استفاده بهینه از مصالح
- محدودیت دسترسی به ساحل و آسانی اجرا (با توجه به محدوده‌های کشندی، شرایط زمین، تعداد مسیرهای دسترسی و غیره)
- نوع کارگاه اجرایی (از راه آب یا از راه خشکی)
- آسانی رفت و آمد ماشین آلات (عرض راه‌های دسترسی، ایمنی و غیره)
- عدم به کارگیری جزییات پیچیده در طراحی (برای نمونه تعداد لایه‌ها و تعداد فعالیت‌های مختلف اجرایی)
- بررسی تاثیر مطالعات زیست محیطی بر انتخاب نوع روش اجرایی
- توپوگرافی بستر و ترازهای کشندی

omoorepeyman.ir

- به کارگیری ژئوتکستایل‌ها (از این دیدگاه که در شرایط جریان‌های شدید، امواج بزرگ و نیز احتمال برخورد پروانه قایق‌های موتوری باید توجه ویژه‌ای شود)
- به کارگیری سنگ (امکان برخورد بدنه شناورها به سنگ‌های بستر و صدمه دیدن آنها)

### ۳-۴-۴-۵- مسایل نگهداری سازه

ملاحظات نگهداری به طور مفصل در فصل ششم ارائه شده‌اند. در این‌جا برخی از جنبه‌های مرتبط با نگهداری که بر انتخاب نوع طراحی و سازه مورد نظر تاثیرگذارند آورده شده است.

در صورتی که دسترسی به سازه آسان باشد هزینه های نگهداری تا حد زیادی کاهش خواهد یافت. به همین دلیل معمولا کارگاه‌هایی که از راه خشکی به اجرای سازه می‌پردازند به نوع آبی ترجیح داده می‌شوند.

میزانی خسارت قابل قبول برای سازه می‌تواند بر نوع و فراوانی کارهای نگهداری تاثیر بگذارد و یکی از ملاحظات مهم فاز طراحی سازه می‌باشد.

سازه باید در طول عمر پروژه به طور مناسب نگهداری شود و به کارکرد خود ادامه دهد. در این زمینه برای نمونه ممکن است قرار باشد که سازه در طول ۵۰ سال دچار هیچ خسارتی نشود ولی در برابر رویدادهای با دوره بازگشت ۲۰۰ سال دچار اندکی خرابی شود که با جابجایی سنگ‌ها در پنجه یا تاج همراه بوده و قابل ترمیم می‌باشد.

### ۳-۴-۴-۶- مسایل تعمیر و علاج‌بخشی سازه

معمولا برای تعمیر سازه موجود از آرمور سنگی استفاده می‌شود. در این زمینه باید توجه نمود که آرمور اضافه شده با سازه موجود همگن باشد به گونه‌ای که بین این دو سستی موضعی به وجود نیاید.

برای آن‌که سنگ‌های اضافه شونده بتوانند قفل و بست مناسبی با سازه موجود برقرار کنند، ممکن است ضرورت داشته باشد که سنگ‌های موجود تا حدی جابجا شوند. این کارگاهی هزینه‌ها را به طور چشمگیری افزایش می‌دهد. بدین منظور ضرورت دارد پیش از انتخاب این روش ترمیمی، با یک پیمانکار با تجربه مشاوره شود.

وجود نقشه‌های چون ساخت از سازه اجرا شده می‌تواند به انتخاب روش مناسب ترمیم و علاج بخشی سازه کمک زیادی کند. به همین دلیل بهتر است پس از تکمیل اجرای سازه، برداشت‌های چون ساخت از وضعیت آن صورت گیرد.

### ۳-۴-۴-۷- مسایل قایقرانی و کشتیرانی

هنگام انتخاب سازه حفاظت ساحلی باید توجه داشت که سازه با مسیر رفت و آمد قایق‌ها و کشتی‌ها تداخل نداشته و آب‌خور لازم را برای آنها فراهم کند.

## ۳-۴-۵- جنبه‌های اقتصادی طرح

ملاحظات اقتصادی مربوط به سازه‌های حفاظت ساحلی شامل هزینه اقتصادی طرح در طول عمر سازه، مولفه‌های موثر در هزینه، برآورد هزینه طرح، هزینه‌های تهیه و حمل مصالح، هزینه‌های اجرا، هزینه‌های نگهداری و ترمیم و نیز هزینه‌های برچیدن به

omoorepeyman.ir

طور مفصل در بخش «۲-۳- ملاحظات اقتصادی طرح» ارائه شده‌اند. در این‌جا به برخی از جنبه‌های اقتصادی که بر انتخاب نوع سازه حفاظت ساحلی تاثیرگذارند اشاره می‌شود.

سازه‌های حفاظت ساحلی معمولا در مقایسه با موج‌شکن‌های بزرگ به سنگ کم‌تری نیاز دارند. به همین دلیل سنگ مورد نیاز برای سازه‌های حفاظت ساحلی را معمولا می‌توان از فعالیت‌های جانبی یک معدن سنگ نیز تامین نمود. حال آن‌که در مورد موج‌شکن‌های بزرگ معمولا به یک معدن سنگ مستقل نیاز است.

به همین دلیل میزان سنگ‌های انباشت شده در معدن می‌تواند بر هزینه طرح تاثیرگذار باشد. هم‌چنین ممکن است معدن سنگ تنها امکان تهیه اندازه‌های خاص و محدودی را داشته باشد یا سنگ‌ها از کیفیت چندان مناسبی برخوردار نباشند. این موضوع نیز می‌تواند بر هزینه‌های طرح و هم‌چنین انتخاب طرح مناسب تاثیر بگذارد.

این موضوع از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است که کارفرما یا مالک طرح از هزینه‌های نگهداری طرح در طول عمر آن مطلع باشند. برای نمونه ممکن است طرح ویژه‌ای دارای هزینه ساخت اولیه زیاد ولی هزینه نگهداری کم‌تر باشد و به عکس.

مطابق پیشینه تجارب کشور انگلستان در زمینه پروژه‌های حفاظت ساحلی، در زمره مهم‌ترین تغییراتی که می‌توان در طراحی سازه‌های حفاظت ساحلی ایجاد نمود تا هزینه اجرای آنها کاهش یابد، می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- به کارگیری مصالح کم‌تر
- به کارگیری روش‌های اجرایی موثرتر و با بازدهی بیش‌تر
- به کارگیری سنگ‌های ارزان‌تر (برای نمونه به کارگیری سنگ‌های کوچک‌تر اما از معادن نزدیک‌تر)
- کاهش فعالیت‌های حفاری (به ویژه در قسمت‌های آبی چون بسیار پرهزینه است)

### ۳-۴-۶- جنبه‌های زیست محیطی طرح

ملاحظات زیست محیطی طرح‌های حفاظت ساحلی شامل ارزیابی اثرهای زیست محیطی در طول عمر پروژه، بهبود جنبه‌های زیست محیطی و ارزیابی اثرهای زیست محیطی EIA در بخش «۲-۴- ملاحظات زیست محیطی طرح» ارائه شده‌اند.

سه عامل زیست محیطی مهمی که بر انتخاب نوع سازه حفاظت ساحلی تاثیر خواهند گذاشت عبارتند از:

- نوع اثرهای زیست محیطی ناشی از اجرای پروژه
- اثر بر سامانه‌ی طبیعی انتقال رسوبات
- نوع راهکار به کار رونده برای مقابله با اثرهای زیست محیطی

### ۳-۴-۷- مسایل حقوقی و اجتماعی

مسایل اجتماعی که باید هنگام اجرای طرح‌های حفاظت ساحلی مورد بررسی و مطالعه قرار گیرند در بخش «۲-۵ مسایل اجتماعی» ارائه شده‌اند که شامل جنبه‌هایی همچون ایمنی و بهداشت، اثرهای اجتماعی فرآیند اجرا و بهره‌برداری از طرح، مشاوره با سرمایه‌گذاران و کارفرمایان طرح می‌باشد.

در زیر برخی از مهم‌ترین جنبه‌های حقوقی و اجتماعی که به انتخاب نوع سازه حفاظت ساحلی تاثیر می‌گذارند، آورده شده است:

- طرح‌های جامع محلی، استانی یا ملی برای نواحی ساحلی

omoorepeyman.ir

- ایمنی و بهداشت عمومی و رفاه عمومی
- یکپارچگی و همبستگی اجتماعی
- در دسترس بودن تاسیسات و تسهیلات عمومی
- احتمال اثرگذاری نامطلوب بر قیمت زمین‌های ساحلی و مالیات
- جابجایی انسان‌ها، کار و زندگی
- تغییر در وضعیت طبیعی جامعه و رشد منطقه‌ای جمعیت
- وجود وسایل نقلیه عمومی و پارکینگ کافی
- دسترسی و ایمنی عمومی هنگام اجرای پروژه
- دسترسی برای افراد معمول و ناتوان
- تداخل با فعالیت‌های تفریحی و گردشگری ساحل

### ۳-۴-۸- جنبه‌های زیبایی‌شناختی

یکی از جنبه‌های چالش برانگیز در طراحی و انتخاب سازه‌های حفاظت ساحلی، زیبایی آنها می‌باشد. بسیاری از مردم معتقدند سواحل طبیعی (همانند سواحل عریض ماسه‌ای، سواحل صخره‌ای، جنگلی و یا دارای پوشش گیاهی و غیره) از سواحلی که به طور مصنوعی توسط سازه‌های حفافظت ساحلی دستکاری شده‌اند، زیباترند. به همین دلیل تا حد امکان باید از سامانه‌ها و سازه‌هایی برای حفاظت ساحل استفاده نمود که با طبیعت سازگارند و منظره طبیعی ساحل را به‌هم نمی‌زنند. برای نمونه، هم اکنون در برخی از کشورها قوانینی تصویب شده که به کارگیری دیوارهای ساحلی، دیوارهای حایل و پوشش‌های محافظ را در طول سواحل خود محدود ساخته‌اند.

از سوی دیگر باید در نظر داشت که رها کردن ساحل در حال فرسایش به حال خود نیز می‌تواند عواقب نامطلوبی داشته باشد و با از دست رفتن زمین های ساحلی یا سیلابی شدن مکرر آنها همراه باشد.

حفاظت ساحل شهر ویرجینیا نمونه‌ای خوب از در نظر گرفتن جنبه‌های زیبایی شناختی می‌باشد. در این ساحل در ابتدا قرار بود دیوار ساحلی بتنی مرتفع و حجیمی در ساحل ساخته شود. این طرح به دلیل عدم در نظر گرفتن جنبه‌های زیبایی‌شناختی و جذب توریسم از سوی مقامات شهری رد شد. با وجود چنین دیوار مرتفعی نه تنها ساکنان طبقه اول هتل‌ها و ساختمان‌های ساحلی دیگر نمی‌توانستند دریا را مشاهده کنند بلکه دسترسی به ساحل نیز بسیار سخت می‌شد. راهکاری که برای مقابله با این مشکل اندیشیده شد جایگزین نمودن دیوار حجیم بتنی با یک دیوار کوتاه‌تر و تعبیه نمودن زهکش‌های سیلابی برای امکان روگذری موج بیش‌تر از روی تاج دیواره و هم‌چنین عریض‌تر نمودن ساحل تغذیه شده روبروی دیوار ساحلی برای جذب انرژی امواج بود.

omoorepeyman.ir

# فصل ۴

# مدل‌سازی ریاضی و فیزیکی سواحل و سازه‌های حفاظت سواحل

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

## ۴-۱- انواع مدل‌ها و روش‌های مدل‌سازی

مدل‌سازی به عنوان یک ابزار طراحی می‌تواند واقعیت را به گونه‌ای شبیه‌سازی کند که اثر پدیده‌های مشخص و مورد نظر حاصل از اندازه‌گیری و مشاهدات میدانی، بر روی کارآیی سازه‌های فرضی و محیط پیرامونشان پیش‌بینی شود. ارائه و نمایش پدیده‌های هیدرولیکی یا به صورت فیزیکی (توسط مدل‌های فیزیکی و مقیاسی) و یا به صورت ریاضی (توسط مدل‌های تحلیلی و عددی) صورت می‌گیرد. نمونه‌هایی از پدیده‌ها و فرآیندهای هیدرولیکی مرتبط با سازه‌های سنگی که ممکن است مدل‌سازی شوند عبارتند از: تراز سطح آب، جریان، موج، بازتاب موج، بالاروی موج، روگذری موج، عبور موج، آبشستگی، نیروهای مرتبط و پایداری لایه‌های آرمور، موج‌شکن‌های توده سنگی و قطعات سازه‌های خاص که شامل سنگ آرمور هستند.

### ۴-۱-۱- مدل‌های فیزیکی یا مقیاسی

مدل‌های فیزیکی یا مقیاسی، در عمل پدیده فیزیکی مورد نظر را در مقیاس کوچک‌تری مورد بررسی قرار می‌دهند. برای این‌که پدیده‌های فیزیکی مورد مطالعه در مدل فیزیکی با پدیده‌های فیزیکی در نمونه اصلی تشابه کامل داشته باشند باید از قوانین تشابه دینامیکی استفاده کرد. هر مدل فیزیکی برای آن‌که با نمونه اصلی[1] دارای تشابه دینامیکی باشد باید دارای دو شرط زیر باشد:

- اجزای هندسی مدل و نمونه اصلی دارای تشابه هندسی باشند.
- قوانین تشابه دینامیکی بین مدل و نمونه برقرار باشد.

ضریب مقیاس[2] ($n$) برای پارامتر $x$ به عنوان نسبت مقدار این پارامتر در نمونه اصلی به مقدار آن در مدل تعریف می‌شود:

$$n_x = \frac{x_p}{x_m} \qquad (۱-۴)$$

قوانین تشابه دینامیکی در برخی از پدیده‌های فیزیکی ایجاب می‌نماید که نوع سیال یا جنس مصالح مورد استفاده در مدل‌سازی فیزیکی به گونه‌ای تغییر یابند که بررسی اثرهای ناشی از رخ دادن یک پدیده فیزیکی مشابهت دینامیکی با نمونه اصلی داشته باشد. بنابراین در مدل‌سازی فیزیکی، فقط تشابه هندسی مدنظر نبوده و باید پدیده‌های مورد بررسی از دیدگاه اثرهای هیدرولیکی دارای مشابهت باشند.

از مزایای مدل‌های فیزیکی، مدل‌سازی پدیده‌های واقعی با تمام جزییات آنهاست. در صورتی که مدل فیزیکی با دقت کافی ساخته شود و قوانین تشابه دینامیکی در آن رعایت شده باشند نتایج آن نه تنها در طراحی سازه‌های اصلی و وابسته قابل استفاده است بلکه برای بررسی ریاضی و عددی پدیده فیزیکی مورد بررسی کاربرد خواهد داشت.

از معایب مدل‌های فیزیکی، می‌توان به هزینه زیاد و زمان‌بر بودن مراحل ساخت آنها اشاره نمود. برای دستیابی به نتایج مفید و مناسب از مدل‌سازی فیزیکی لازم است برنامه، نوع و انجام آزمایشات به دقت طراحی گردد. هم‌چنین نتایج به دست آمده از این‌گونه مدل‌سازی باید پس از تحلیل و تفسیر مورد بازنگری قرار گرفته و در صور نیاز، نتایج فیلتر شوند.

omoorepeyman.ir

1- Prototype
2- Scale Factor

### ۴-۱-۲- مدل‌های عددی

یکی دیگر از روش‌های بررسی یک پدیده فیزیکی، به کارگیری مدل‌های ریاضی و عددی می‌باشد. مدل‌سازی ریاضی در واقع بیان ریاضی یک پدیده فیزیکی است. برای حل پدیده‌های فیزیکی با استفاده از مدل‌های ریاضی از دو روش استفاده می‌گردد: روش تحلیلی و روش عددی. در صورتی که حل معادلات ریاضی حاکم بر پدیده با استفاده از روش‌های حل مستقیم جبری و به طور دقیق صورت گیرد، روش حل را تحلیلی گویند. در صورتی که حل معادلات حاکم بر پدیده با تقریب عددی معادلات حاکم همراه باشد روش مورد استفاده را روش عددی می‌نامند. با این حال، در بسیاری از منابع و مراجع دو اصطلاح مدل‌سازی عددی و ریاضی به جای یکدیگر به کار گرفته می‌شوند. هم‌چنین برخی از مدل‌های عددی با پردازش و حجم زیادی از اطلاعات به دست آمده از یک پدیده فیزیکی و به دست آوردن ارتباط بین پارامترهای حاکم بر پدیده با استفاده از روش‌های عددی (همانند شبکه عصبی مصنوعی[1]) به تحلیل پدیده می‌پردازند.

از مزایای مدل‌های عددی، هزینه و زمان نسبتا کم جهت ساخت مدل در مقایسه با مدل‌های فیزیکی است. از معایب مدل‌های عددی، نبود مدل ریاضی برای کلیه پدیده‌های مورد نظر می‌باشد. به گونه‌ای که یک مدل عددی برای تعداد محدودی از پدیده‌ها طراحی می‌شود.

به منظور دستیابی به جواب‌های قابل اطمینان از مدل‌های عددی باید معیارهای زیر برآورده شوند:

- تعریف ریاضی پدیده‌های مرتبط باید به صورت دقیق صورت گیرد (معادلات، هندسه محیط، ژرفاسنجی، پارامترهای فیزیکی، شرایط اولیه و شرایط مرزی).
- دقت محاسبات عددی باید کافی باشد.
- پس‌پردازش[2] و تفسیر جواب های مدل باید صحیح باشد.
- مدل به درستی واسنجی شده باشد.
- مدل به درستی صحت سنجی شده باشد.

مدل‌های عددی متنوعی با محدوده کیفی وسیع وجود دارند. توسعه یک مدل عددی قابل اطمینان، مشکل بوده و نیازمند داشتن تخصص در زمینه‌های مختلف می‌باشد. همواره باید توجه داشت که مدل‌های عددی که به اندازه کافی واسنجی نشده‌اند، در فرآیند طراحی استفاده نشوند و یا این‌که مدل‌هایی که به اندازه کافی واسنجی شده‌اند در جایی خارج از محدوده اعتبارشان به کار گرفته نشوند. تحلیل‌های مربوط نیز باید به درستی انجام شده و جواب‌های مدل برای دستیابی به اطلاعات مورد نظر تفسیر گردد.

### ۴-۲- مدل‌های مقیاسی

مدل‌های مقیاسی (فیزیکی[3]) معمولا برای شبیه‌سازی پاسخ هیدرولیکی و یا سازه‌ای به کار می‌روند. در اکثر شرایط مربوط به سازه‌های سنگی، مدل‌های کوچک مقیاس به کار گرفته می‌شوند. مدل‌های بزرگ مقیاس معمولا برای شبیه‌سازی کانال‌ها یا فلوم‌های بزرگ امواج (ارتفاع موج شاخص ($H_s$) در حدود ۱ متر) به کار می‌روند تا اثر مقیاس را به حداقل برسانند.

1- Artificial Neutral Ntwork
2- Post-Processing
3- Physical

omoorepeyman.ir

برای بسیاری از سازه‌های سنگی، شرایط مرزی هیدرولیکی بر اساس مدل‌های عددی به دست می‌آیند درحالی‌که کارآیی هیدرولیکی و پاسخ سازه‌ای به طور معمول نمی‌تواند به کمک این مدل‌ها مشخص شود. کارآیی هیدرولیکی و پاسخ سازه‌ای سازه‌ها (طرح‌های مفهومی سازه‌ها) باید توسط مدل‌های مقیاسی کنترل شوند، زیرا روش‌های طراحی تجربی موجود در این رابطه تنها از معادلات ساده‌سازی شده استفاده می‌کنند که این معادلات بر پایه تطبیق دادن اندازه‌گیری‌ها تحت شرایط محیطی مختلف و سازه‌های گوناگون به دست آمده‌اند. افزون بر این، مدل‌های مقیاسی برای کنترل کردن شرایط مرزی هیدرولیکی و یا واسنجی کردن مدل‌های عددی یا روابط تجربی نیز به کار می‌روند.

مدل‌های فیزیکی در حقیقت شرایط واقعی را با اعمال برخی ساده‌سازی‌ها مدل‌سازی می‌کنند. به شرایط واقعی معمولا نمونه اصلی گفته می‌شود. در هنگام مدل‌سازی اثر مقیاس اتفاق می‌افتد و تکنیک‌های تجربی به کار رفته نیز باعث بروز عدم دقت می‌گردند. از این رو باید آزمایش‌های مربوط توسط افراد با تجربه انجام گیرند تا بدین ترتیب از اشتباهات معمول در هنگام انجام آزمایش‌ها و هم‌چنین تحلیل نتایج اندازه‌گیری اجتناب شود. هم‌چنین باید محدودیت‌های مدل‌های مقیاسی و روش‌های اندازه‌گیری به دقت در نظر گرفته شوند.

بسیاری از مدل‌های فیزیکی برای مدل‌سازی سازه‌های حفاظت از سواحل مانند موج‌شکن و پشته ساحلی در برابر امواج به کار می‌روند. هزینه احداث این سازه‌های بزرگ در واقعیت به اندازه‌ای زیاد است که ساخت مدل‌های فیزیکی آنها از لحاظ اقتصادی توجیه پیدا می‌کند. بنابراین بیش‌ترین تاکید این بخش بر روی مدل‌سازی سازه‌های ساحلی خواهد بود. در ادامه عملکرد مدل‌ها در برابر نیروی جریان نیز به عنوان یکی از فرآیندهای اصلی محیطی، بررسی می‌شود.

### ۴-۲-۱- سازه‌های ساحلی

نیروی اصلی وارد بر سازه‌های ساحلی ناشی از موج می‌باشد. به منظور مشاهده مطالب مربوط به مدل‌سازی جریان به بخش ۴-۲-۲ مراجعه شود. مدل‌های فیزیکی سازه‌های ساحلی هنگامی استفاده می‌شوند که فرآیند هیدرولیکی ناشی از امواج یا واکنش سازه پیچیده باشد و نتوان آنها را با روش‌های تجربی یا مدل‌سازی عددی با جزییات مورد نظر توصیف کرد. آزمایش فلوم دو بعدی موج روشی سریع و نسبتا ارزان برای بهبود مقطع طراحی، تحت شرایط عادی برخورد امواج، می‌باشد. مدل‌های سه بعدی نیز به منظور طراحی جانمایی پلان (برای نمونه جانمایی بندرگاه) و یا کمی سازی کارآیی اجزای سه بعدی (برای نمونه پوزه موج‌شکن‌ها) به کار می‌روند. مدل‌های فیزیکی باید به اندازه کافی بزرگ باشند تا اثر مقیاسی از جمله اثر کشش سطحی و یا جریان لایه‌ای داخل سازه‌های تراوا به حداقل رسیده یا کاملا حذف شود.

برای طراحی این‌گونه مدل‌ها، ضروری است که فرآیندها یا پدیده‌های مورد نظر برای مدل‌سازی و یا عدم مدل‌سازی و هم‌چنین پدیده‌های دارای خطا و تقریب با شفافیت کامل مشخص شوند. در زمره پارامترهایی که اغلب در این‌گونه مدل‌ها اندازه‌گیری می‌شوند عبارتند از:

- جابجایی سنگ‌های لایه آرمور (طراحی نهایی، فاز ساخت)
- روگذری امواج
- بار هیدرولیکی وارد بر سازه (ارتفاع موج در جلوی سازه)
- نیروها و فشارهای وارد بر سازه یا اجزای سازه‌ای
- نفوذ امواج به درون بنادر

omoorepeyman.ir

### ۴-۲-۱-۱- امواج

در بیش‌تر موارد مدل‌سازی دقیق امواج بسیار ضروری می‌باشد. برای بیان میدان واقعی امواج باید بار ناشی از امواج بـه دقـت بـه سازه اعمال شود. در این رابطه بسیاری از روش‌های به روز و پیشرفته برای تولید امواج موجود می‌باشد.

در ابتدا باید توزیع طیفی مناسبی از امواج نامنظم برای نمونه طیف JONSWAP یا طیف TMA یـا طیـف‌هـای موجـود دیگـر انتخاب شود. سپس برای اطمینان از واقعی بودن امواج وارد بر سازه، تمام امواج بازتابی از سازه که به سمت موج‌ساز برمی‌گردند بایـد به دقت توسط موج‌ساز جذب شوند. بازتاب امواج از سطح موج ساز باید کوچک‌تر از ۵ درصد باشد. بدون انجام عملیات جـذب، امـواج بازتابی از سازه دوباره از موج ساز بازتابیده شده و یک‌بار دیگر به سمت سازه می‌روند، در حالی که در واقعیت این امواج به سمت دریـا می‌روند. بازتاب امواج در مقایسه با آنچه که در واقعیت رخ می‌دهد باعث افزایش انرژی ناشی از موج بر سازه می‌شوند. افزون بر ایـن ممکن است عدم کارآیی سامانه جذب موج باعث رخداد پدیده غیرواقعی تشدید در فلوم موج و حوضچه گردد و مانع از همانندسـازی میدان موج و بار واقعی امواج بر روی سازه شود. امروزه فلوم‌های موجی که سامانه‌ی جذب مـوج ندارنـد بـرای مـدل‌سـازی کـارآیی هیدرولیکی موج‌شکن و پشته سنگی مناسب شناخته نمی‌شوند. فرآیند جذب موج وقتی انجام می‌شود که مـوج‌سـاز، سـطح آب را در محل نصب خود تشخیص داده و بدین‌ترتیب موقعیت خود را به گونه‌ای تغییر دهد که سطح آب مورد نظر به دست آمده و تمام امواج جذب شوند.

سامانه‌ی جذب موج باید به سرعت عمل کند زیرا در غیر این صورت نمی‌تواند پاسخ مناسبی بـه امـواج بازتـابی از سـازه بدهـد و ممکن است امواجی که نیاز به مستهلک کردن آنها بوده، دوباره به سمت سازه برگشته و اندازه‌گیری‌هـا را مغشـوش کننـد. در پنجـه سازه باید از سامانه‌ی اندازه‌گیری امواج استفاده شود تا بتوان مشخصات امواج را از اندازه‌گیری تراز سـطح آب و حـذف کـردن امـواج بازتابی به دست آورد.

نکته بعدی این است که حتما مشخص شود که از کدام یک از روش‌های تولید امواج (مرتبه اول یا درجه دوم) استفاده مـی‌شـود. در روش تولید امواج مرتبه اول، موج سینوسی تولید می‌گردد. در واقعیت و در حوضچه‌ها و فلوم‌ها، امـواج سینوسـی شـکل نیسـتند و ممکن است تولید موج سینوسی باعث رخداد آشفتگی ناخواسته در آنجـا شـود. بـا اسـتفاده از روش تولیـد امـواج مرتبـه دوم (شـکل استوکسی[1]) می‌توان این مشکل را کاهش داد ولی باید توجه کرد که گروه امواج به درستی تولید شوند بـه گونـه‌ای کـه امـواج بلنـد ناخواسته در فلوم امواج (آزمایش دو بعدی) یا حوضچه موج (آزمایش سه بعدی) ایجاد نشود.

به منظور مطالعه نفوذ موج درون بنادر، انتهای گرد موج‌شکن باید به دقت مدل‌سازی شود در واقعیت امواج تولید شده عموما تـاج کوتاه می‌باشند. بنابراین برای بازسازی این امواج باید مقداری پخشیدگی و انتشار جهتی اعمال شـود. سـامانه‌ی تولیـد مـوج در ایـن مطالعات باید توانایی امواج تاج کوتاه را داشته باشد.

به منظور ایجاد امواج در پای سازه‌های ساحلی، معمولا نیاز به مدل‌سازی قسمتی از بستر دریـا (بـین آب عمیـق و پاشـنه سـازه) می‌باشد. این کار معمولا با تعریف بستر ثابت صورت می‌گیرد. برای شرایطی که امواج در جلوی سازه می‌شکنند بسـتر دریـا بایـد بـه اندازه حداقل یک طول موج به سمت دور از ساحل مدل‌سازی شود ولی در شرایط آب عمیق، معمولا ساختن یک بسـتر افقـی بـرای ایجاد شرایط صحیح موج کفایت می‌کند.

1- Stokes-Shape

omoorepeyman.ir

### ۴-۲-۱-۲- مقیاس بندی[1]

نمونه ساخته شده باید بسیار شبیه به نمونه اصلی باشد. مدل‌های فیزیکی سازه‌های ساحلی مقیاسی بین ۱:۲ تا ۱:۶۰ دارند. با این حال مقیاس مدل تعیین کننده میزان رخداد اثر مقیاس نبوده بلکه ارتفاع موج و ابعاد سنگ‌ها آن را تعیین می‌کنند. پایداری لایه آرمور در سازه‌های ساحلی معمولا به وسیله امواج مشخصه با ارتفاع $H_s = 0.05\,m$ آزمایش می‌شود (ترجیحا ارتفاع موج طراحی بیش‌تر از $H_s = 0.01\,m$ در نظر گرفته می‌شود). امواج کوتاه‌تر معمولا باعث ایجاد اثر مقیاس ناخواسته می‌شوند. ناهمخوانی هندسی مدل (ضریب مقیاس متفاوت برای بعد افقی و عمودی) در این‌گونه مدل‌ها مجاز نیست زیرا پایداری سنگ‌ها به طور مستقیم به شیب سازه وابسته است. حد بالای مقیاس هندسی اغلب به مقدار فضای موجود وابسته است. به همین دلیل برای مدل‌سازی انتقال موج از آب عمیق به نزدیک ساحل باید فضای کافی در دسترس باشد.

به منظور مدل‌سازی صحیح پدیده‌های فیزیکی رعایت برخی قوانین ضروری است. برای نمونه، در اکثر مواقع، مقیاس طولی به علت محدودیت‌های مذکور، ثابت در نظر گرفته شده به گونه‌ای که ضریب مقیاس هندسی، nL معمولا در محدوده ۲ تا ۶۰ است. با توجه به این‌که عدد فرود[2]، $F_r = V/\sqrt{gh}$، باید در مدل و نمونه اصلی برابر باشد، ضریب مقیاس زمانی[3] به دست می‌آید: $n_T = \sqrt{n_L}$. بدین ترتیب رابطه بین زمان تناوب امواج مدل و نمونه اصلی محاسبه می‌شود. پارامتر پایداری، $H_s / (\Delta D_{n50})$، نیز باید در مدل و نمونه اصلی برابر باشد. بدین ترتیب ضریب مقیاس جرم، M برای قطعات آرمور به دست می آید. معادله (۴-۱) این رابطه را بدین صورت ارائه می‌دهد:

$$n_M = \frac{M_p}{M_m} = n_L^3 \frac{\rho_{a,p}}{\rho_{a,m}} \left( \frac{\Delta m}{\Delta p} \right)^3 \qquad (۴-۲)$$

که در آن $\rho_{a,m}$ و $\rho_{a,p}$ به ترتیب چگالی آرمورهای سنگی یا بتنی در مدل و نمونه اصلی بوده و $\Delta_p$ و $\Delta_m$ نیز چگالی جرمی نسبی (مغروق) مربوط به واحدهای آرمور در نمونه اصلی و مدل هستند.

به چیدمان قطعات آرمور بر روی یکدیگر نیز باید توجه شود تا بسیار شبیه به واقعیت باشد. این موضوع به ویژه در مورد جایگذاری قطعات بتنی بر روی یکدیگر دارای اهمیت است. هنگامی که یک لایه آرمور آزمایش می‌شود، ساخت پنجه تراوای مغزه باید بسیار شبیه نمونه اصلی باشد. به علت کوچک بودن مصالح در نمونه‌های آزمایشگاهی، ممکن است نوع جریان از نوع متخلخل لایه‌ای شود، حال آن‌که در واقعیت جریان متخلخل آشفته رخ می‌دهد. اندازه مصالح مغزه به خصوص برای شرایطی که عبور موج از درون هسته مهم است باید به طور صحیح انتخاب شود تا گرادیان‌های هیدرولیکی داخل سازه به درستی شکل بگیرند. این کار می‌تواند توسط انتخاب مصالح مغزه بزرگ تر نسبت به آن چیزی که از محاسبات و رعایت مقیاس هندسی nL به دست آمده است صورت گیرد و یا این‌که می‌توان از دانه‌بندی متنوعی برای مغزه با مقدار ریزدانه‌های کم‌تر استفاده کرد.

omoorepeyman.ir

1- Scaling
2- Froud Number
3- Time Scale Factor

### ۴-۲-۱-۳- آسیب

میزان آسیب دیدگی را می‌توان از چند روش اندازه‌گیری کرد. تعداد قطعات یا سنگ‌های جابجا شده را می‌توان به صورت بصری مشاهده کرد که معمولا از روش عکسبرداری استفاده می‌شود. درصد قطعات آرمور جابجا شده که از جای اصلی‌شان منحرف شدند به کمک این معادله تخمین زده می‌شود:

$$\text{درصد قطعات آرمور جابجا شده} = N_{displ} / N_t \times 100\% \qquad (۴-۳)$$

که در آن N تعداد قطعات آرمور است. در این روش معمولا از رنگ زدن آرمورها به صورت نواری استفاده می‌شود که ارتفاع نوارها تقریبا بین ۲ تا ۴ برابر $D_{n50}$ انتخاب می‌شود.

هم‌چنین می‌توان نیمرخ مسطح مقطع موج‌شکن را پیش و پس از هر آزمایش اندازه‌گیری کرد. مقدار تغییرات بیانگر درصد آسیب است ($S_d = A_e/(D_{n50})^2$ که $A_e$ سطح مقطع تغییر شکل یافته است). روش اول معمولا برای قطعات آرمور بتنی اعمال می‌شود ولی برای قطعات سنگی هر دو روش به کار می‌رود که البته بهتر است از روش دوم استفاده شود. ایراد روش اول این است که تعداد کل قطعات به کار رفته در یک شیب طولانی (برای نمونه در آب عمیق یا موج‌شکن‌های با تاج مرتفع) بیش‌تر از شیب‌های کوتاه است. بنابراین اگر تعداد قطعات جابجا شده در هر دو نوع شیب بلند و کوتاه یکسان باشد، شیب‌های بلندتر مقدار درصد خرابی کوچک‌تری را نشان می‌دهند، در حالی که در حقیقت میزان آسیب‌دیدگی شیب‌ها در تراز سطح آب با همدیگر برابر می‌باشد. برای کاهش این اثر، آسیب را فقط در محدوده مشخصی در اطراف SWL در نظر می‌گیرند. اغلب آسیب به میزان ۵٪ برای شیب‌های با آرمور سنگی قابل قبول است. به طور کلی، وضعیتی که تحت آن لایه فیلتر به علت جابجایی قطعات آرمور در معرض حمله امواج قرار گیرد، به عنوان شرایط غیرقابل قبول شناخته می‌شود.

از آنجایی که پنجه نقش مهمی در ایجاد تکیه‌گاه برای لایه آرمور ایفا می‌کند، خرابی پنجه معمولا به عنوان یک مورد ویژه در برنامه آزمایش محسوب می‌شود. معمولا پنجه در شرایط تراز آب پایین‌تری نسبت به لایه آرمور آزمایش می‌شود.

افزون بر جابجایی قطعات منفرد، نشست و حرکت توده‌ای سنگ‌ها[1] نیز ممکن است رخ دهد. این پدیده‌ها را می‌توان با عکس‌برداری از وضعیت سازه پیش و پس از هر آزمایش تحلیل کرد. بدین ترتیب که با مقایسه عکس‌ها قطعاتی که بدون جدایی از لایه آرمور جابجا شده‌اند، شناسایی می‌شوند. در حالت ایده‌آل این کار باید با مشاهدات مداوم در حین هر آزمایش صورت گیرد زیرا در حالتی که جابجایی توده‌ای قطعات رخ می‌دهد نمی‌توان تنها از روی عکس‌ها چیزی را تشخیص داد.

مقاومت سازه‌ای هر کدام از قطعات منفرد آرمور در مدل مقیاسی در آزمایش‌های با مقیاس کوچک قابل تحلیل نیست؛ به گونه‌ای که مقاومت بتن در این آزمایش‌ها مقیاس نشده و بسیار بالاتر از واقعیت می‌باشد. این قضیه بدین معنی است که ممکن است قطعات جابجا شده آرمور در واقعیت دچار شکستگی شوند در حالی که در آزمایش این اتفاق رخ نمی‌دهد.

### ۴-۲-۱-۴- تجهیزات اندازه‌گیری

در آزمایش‌های مربوط به موج‌شکن‌های توده سنگی حداقل پارامترهای مورد نظر برای اندازه‌گیری، ارتفاع موج در جلوی پنجه (تراز سطح آب) و هم‌چنین تعداد سنگ‌های آرمور جابجا شده هستند. این دو پارامتر بیانگر مقدار بار وارده و آسیب ایجاد شده در سازه

1- Rocking

omoorepeyman.ir

می‌باشند. معمولا با کمک رنگ‌آمیزی نواری آرمور به شیوه‌ای که هر نوار دارای رنگ خاصی باشد، می‌توان مقدار جابجایی قطعات آرمور را تشخیص داد. در این زمینه تعیین عرض نوارهای رنگی اهمیت ویژه‌ای دارد زیرا در صورت عریض بودن بیش از حد ممکن است جابجایی برخی قطعات مشخص نشود. معمولا عرض نوار را به اندازه دو تا چهار قطعه آرمور در نظر می‌گیرند.

روش‌های زیادی برای اندازه‌گیری پارامترهای مورد نظر وجود دارد. ارتفاع موج را می‌توان توسط اندازه‌گیرهایی که بر مبنای بازتاب صورت یا الکترومغناطیس و یا مقاومت الکتریکی بین دو سیم موازی و یا فشار وارد بر بستر و غیره کار می‌کنند، محاسبه کرد. در مورد نیمرخ مقطع سازه، اندازه‌گیری دستی کار طاقت فرسایی می‌باشد. بنابراین از ردیاب‌های نیمرخ یا ابزارهای لیزری استفاده می‌شود. فشار نیز توسط انواع مختلفی از مبدل‌های فشار (که برای نمونه در قطعات بتنی در تاج سازه توده سنگی نصب می‌شوند) اندازه‌گیری می‌شود. مبدل‌های جدید که بر اساس اصول پیزو- الکتریک کار می‌کنند، بسیار کوچک می‌باشند و فرکانس‌های بسیار بالا در حد چند کیلوهرتز نیز قابل اندازه‌گیری هستند.

### ۴-۲-۱-۵- تحلیل نتایج اندازه‌گیری

مدت زمان سیگنال موج باید آنقدر طولانی باشد تا تخمین مناسب طیف سیگنال (حداقل چند صد زمان تناوب موج و ترجیحا هزار عدد) امکان پذیر باشد. معمولا این مدت زمان برای آزمایش (بیش‌تر از ۱۰۰۰ موج)، برای دستیابی به اطلاعات مناسب راجع به خصوصیات میدان موج (برای نمونه ارتفاع موج $H_5$، و زمان تناوب موج $T_{m-1,0}$)کفایت می‌کند. شرایط موج باید برای امواج بازتابی اصلاح شود. برای اندازه‌گیری طیف جهتی موج (و یا انتشار جهتی) در حوضچه‌های موج، دستگاه‌های مخصوصی وجود دارد.

## ۴-۲-۲- سازه‌های هیدرولیکی رودخانه‌ها و آبراهه‌های داخل خشکی

بار اصلی وارد بر سازه‌های هیدرولیکی رودخانه‌ها و آبراهه‌های خشکی به جای موج، ناشی از جریان می‌باشد. در حالت کلی در این شرایط جریان یکنواختی بر سازه وارد می‌شود که بیانگر شرایط حدی می‌باشد؛ برای نمونه شرایط مهکشند یا طوفان. این گونه سازه‌ها شامل سرریز، پایه پل‌ها، آبشکن‌ها، موانع[1] مقابله با برکشند طوفان و سدهای انحرافی هستند که در تمام مراحل ساخت مدل‌سازی می‌شوند.

پدیده‌هایی که در این مورد اغلب اندازه‌گیری می‌شوند عبارتند از:

- پاسخ سازه‌ای (برای نمونه ارتعاش دریچه تخلیه)
- پایداری بستر یا حفاظت کرانه
- نرخ فرسایش مصالح بستر
- مقاومت (خرابی روی) سازه

بسیاری از جنبه‌های مدل‌سازی فیزیکی مسایل مرتبط با جریان آب، شبیه به سازه‌های ساحلی تحت اثر موج می‌باشد. در ادامه تنها به توضیح تفاوت‌های اصلی پرداخته می‌شود.

1- Barrier

omoorepeyman.ir

### ۴-۲-۲-۱- مقیاس بندی

معمولا وقتی در واقعیت (نمونه اصلی) جریان آشفته وجود دارد، این پارامتر اهمیت ویژه‌ای پیدا می‌کند. بنابراین عدد رینولدز باید آنقدر بزرگ باشد تا از وجود جریان آشفته در مدل اطمینان حاصل شود یعنی به طور تقریبی $R_e = \upsilon h / V > 1000$ باشد که در آن V سرعت متوسط در عمق (m/s)، h عمق آب (m) و $\upsilon$ ویسکوزیته سینماتیکی ($m^2/s$) است. در بیش‌تر اوقات، بستر به اندازه کافی زبر بوده و در نتیجه عدد رینولدر ذرات آن باید به اندازه کافی بزرگ باشد $R_{e*} = U_* D / V > 100$ که $U_*$ سرعت برشی و برابر با بر حسب متر بر ثانیه است. D قطر زبری یا اندازه مشخصه مصالح بستر بر حسب متر است. در مواردی که سطح آزاد آب بزرگ است (برای نمونه وقتی عدد فرود $F_r = U / \sqrt{gh}$ بزرگ باشد)، عدد فرود مدل باید برابر با نمونه اصلی باشد. اگر به عنوان حد پایین این عدد در نمونه اصلی برابر با ۰/۲ باشد (شرایط سطح آزاد)، این عدد در مدل فیزیکی هم باید برابر ۰/۲ در نظر گرفته شود. به منظور بیان نیمرخ قائم جریان، زبری مدل و نمونه اصلی نیز باید برابر باشند. بنابراین برای تحقیقات پیشرفته، این مدل‌های فیزیکی قابل کاربرد نمی‌باشند.

### ۴-۲-۲-۲- اندازه‌گیری‌ها

امروزه سرعت جریان با استفاده از روش داپلر بر اساس بازتاب امواج صوتی یا الکترومغناطیسی اندازه‌گیری می‌شود. با استفاده از این روش می‌توان دو یا سه مولفه سرعت را در حجم اندازه‌گیری حدود $1\,cm^3$ به دست آورد. در این روش‌ها از یک حسگر[1] استفاده می‌شود که مانعی بر سر راه جریان آب ایجاد می‌کند. بنابراین اندازه‌گیری در نزدیکی دیواره یا سطح آزاد و هم‌چنین اندازه‌گیری در فرکانس‌های بالا امکان‌پذیر نمی‌باشد. از این روش‌های اندازه‌گیری می‌توان برای تخمین سرعت متوسط و میزان آشفتگی بهره جست.

در صورتی که نیاز به اندازه‌گیری‌های غیر مخرب باشد روش‌های نوین دیگری وجود دارد. اندازه‌گیری نقطه‌ای با دقت و فرکانس بالا را می‌توان با استفاده از سرعت سنج‌های داپلر لیزری انجام داد. هم‌چنین کل میدان جریان را می‌توان با سرعت‌سنج‌های تصویری ذرات[2] (PIV) به دست آورد.

هنگامی که آسیب وارده بر سامانه‌ی حفاظت بستر یا شیب کناره اندازه‌گیری می‌شود، همانند سازه‌های ساحلی، جابجایی سنگ‌های آرمور با مشاهده نوارهای رنگی مشخص می‌شود. این نوارها اغلب خیلی عریض هستند (حدود ۱۰ برابر قطر سنگ یا بیش‌تر). البته باید توجه داشت که هر چه عرض این نوارها بیش‌تر شود حرکت تعداد بیش‌تری از مصالح بستر از چشم ناظر دور می‌ماند.

### ۴-۲-۲-۳- مدل‌های با بستر متحرک

برای مطالعه عمق آبشستگی، اغلب از مدل‌های با بستر متحرک استفاده می‌شود. کار کردن با این مدل‌ها بسیار طاقت‌فرسا و دشوار است، زیرا به منظور تطبیق یافتن بستر با جریان باید مدت زمان نسبتا طولانی (یک چند روز) این آزمایش‌ها را انجام داد. افزون بر این رعایت مقیاس اندازه ذرات رسوب بسیار پیچیده می‌باشد.

پارامتر تحرک[3] (پویایی) باید در مدل آزمایشگاهی و نمونه اصلی برابر باشد. این پارامتر توسط $\nabla = U_*^2 / (\Delta g D)$ به دست می‌آید که در آن D اندازه متوسط سوراخ الک و $\nabla$ سرعت برشی است که مقدار آن $\sqrt{\tau / \rho}$ بر حسب متر بر ثانیه می‌باشد. برآورده شدن این شرط با مقیاس‌بندی فرود تناقض دارد. بنابراین سرعت‌های جریان (و تغییرات تراز آب) باید در مدل بزرگ‌تر از نمونه اصلی باشد.

1- Sensor
2- Particle Image Velocimetry
3- Mobility Parameter

omoorepeyman.ir

در صورتی که انتقال رسوب تنها به صورت بار بستر باشد مدل‌سازی‌ها بسیار ساده‌تر از حالت وجود رسوبات معلق در ستون آب خواهند بود. به علت محدودیت‌های اثر مقیاسی، آزمایش‌های مربوط به بستر متحرک معمولا جواب‌های کمی قابل قبولی نمی‌دهند. با این حال مدل‌سازی آشفتگی در این مدل‌ها بهتر از مدل‌های عددی صورت می‌گیرد. بنابراین می‌توان از این آزمایش‌ها برای مطالعات مقایسه‌ای استفاده کرد که برای نمونه مشخص کند که کدام پیکربندی منجر به حداقل کردن عمق آبشستگی می‌شود.

## ۴-۳- مدل‌سازی عددی

در این قسمت، در زمینه مدل‌سازی عددی امواج، اندرکنش موج با سازه‌ها و جریان و تراز سطح آب به طور جداگانه بحث می‌شود.

### ۴-۳-۱- سازه‌های ساحلی

ابتدا باید به این نکته توجه شود که انجام هرگونه عملیات در زمینه محاسبه مشخصات موج برای مقاصد طراحی باید همراه با تعیین مناسب تراز سطح آب و جریان‌های احتمالی دریایی باشد.

در مرحله دوم، باید بین دو کلاس مختلف از مدل‌های موج تمایز صورت گیرد: مدل‌های موج متوسط‌گیری در فاز[1] و مدل‌های موج فاز تفکیکی[2]. در ادامه دو نمونه از انواع مسایل مدل‌سازی موج توضیح داده می‌شوند: مدل‌سازی انتقال امواج از آب عمیق تا پنجه سازه و مدل‌سازی اندرکنش موج و سازه.

**- مدل‌سازی عددی وضعیت امواج تا رسیدن به پای سازه**

برای مدل‌سازی انتقال امواج از آب عمیق تا پای سازه (مناطق نزدیک ساحلی و ناحیه پیشکرانه[3]) هر دو نوع مدل متوسط گیری در فاز و فاز تفکیکی قابل استفاده هستند که انتخاب هر کدام از آنها بستگی به اندازه محدوده مدل‌سازی و نوع نتایج مورد نیاز به عنوان خروجی مدل می‌باشد.

**- مدل‌سازی عددی موج بر روی و درون سازه**

به منظور مدل‌سازی اندرکنش موج و سازه (برای نمونه بالاروی و پایین‌روی موج از روی موج‌شکن، شکست موج بر روی شیب آرمور، روگذری، محاسبه جریان و فشار درون لایه آرمور، لایه‌های پایینی و مغزه و غیره) تنها می‌توان از مدل‌های فاز تفکیکی موج استفاده کرد.

در دهه اخیر پیشرفت‌های قابل توجهی در مدل‌های عددی مربوط به اندرکنش موج و سازه صورت گرفته ولی با این حال به غیر از مدل‌های قابل کاربرد برای موارد 2DV، این مدل‌ها هنوز برای مقاصد تحقیقاتی استفاده می‌شوند. در این زمینه استراتژی‌های مدل‌سازی مختلفی در مقالات اخیر پیشنهاد شده است که برای نمونه می‌توان به Losada (۲۰۰۱) مراجعه نمود.

1- Phase-Averaged
2- Phase-Resolved
3- Foreshore Zone

omoorepeyman.ir

### ۴-۳-۱-۱- مدل‌های بر پایه معادلات میانگین‌گیری شده در عمق[1]

این مدل‌ها معادلات آب کم عمق غیر خطی[2] (NLSE) و یا معادلات توسعه یافته بوزینسک[3] را بر روی یک شبکه ثابت حل می‌کنند. مکانیزم شکست موج را نمی‌توان توسط معادلات متوسط‌گیری شده در عمق شبیه‌سازی کرد ولی اثر اصلی شکست موج را می‌توان با در نظر گرفتن عبارت‌های اضافی به عنوان استهلاک انرژی، به مدل اعمال کرد. توسط این مدل‌ها می‌توان بالاروی آب بر روی شیب‌ها و هم‌چنین نرخ روگذری را مدل‌سازی کرد. هم‌چنین جریان آب در هسته موج‌شکن متخلخل نیز می‌تواند توسط معادلات تغییر یافته به منظور در نظر گرفتن تخلخل محیط محاسبه شود.

### ۴-۳-۱-۲- مدل‌های بر پایه معادلات غیر هیدرواستاتیک اویلری یا ناویراستوکس

برای اعمال این روش دو رویکرد اصلی در ادبیات فنی وجود دارد. در روش اول با فرض این که سطح آزاد آب تابعی تک متغیره از مختصات افقی است، معادلات را برای کل محدوده سیال حل می‌کنند. همانند مدل‌های متوسط گیری شده در راستای قائم، توسط این مدل‌ها نمی‌توان واژگونی امواج را مدل‌سازی کرد، اما آثار فرآیند شکست را می‌توان اعمال نمود.

این مدل‌ها در زمینه دقت محاسبات جریان در عمق نسبت به مدل‌های متوسط گیری شده در عمق، بهبود حاصل کرده‌اند ولی به همان میزان زمان محاسباتی نیز طولانی‌تر گشته است.

در روش دوم معمولا یک شبکه ثابت استفاده می‌شود که هم محدوده آب و هم یک لایه از هوای بالای سطح آب را در بر می‌گیرد. معادلات حرکت فقط برای فاز آب حل می‌شوند. در هر کدام از سلول های شبکه، عمق متغیری که بیانگر لایه آب است و حجم سیال[4] (VOF) نامیده می‌شود، به کار می‌رود. هم‌چنین از یک معادله انتقال نیز می‌توان برای حل کردن حرکت VOF به همراه سیال، استفاده نمود. با ترکیب این روش با روش ردیابی سطح آزاد می‌توان پدیده‌های شکست و واژگونی موج را با جزییاتی از جمله محبوس شدن هوا و پاشش آب مدل‌سازی کرد. جریان سریع و روگذری آب (که از بدنه اصلی آب جدا شده است) نیز قابل مدل‌سازی می‌باشند. برخی از مدل‌های موفق VOF عبارتند از: SKYLIA، CCBRAS و VOF break.

### ۴-۳-۱-۳- مدل‌های با رویکرد لاگرانژی

این مدل‌ها توانایی حل معادلات ناویراستوکس و اویلر را در فرمول‌بندی کاملا لاگرانژی دارند. کل محیط سیال توسط تعدادی از ذرات تعریف شده و معادلات مورد نیاز، بر اساس نیروی اندرکنش بین ذرات بیان می‌شوند. در این روش نیازی به تعریف شبکه محاسباتی نمی‌باشد. این روش، رویکرد هیدرودینامیک ذره هموار[5] (SPH) نامیده می‌شود. بدین ترتیب همانند روش VOF، می‌توان وضعیت‌های بسیار پیچیده را مدل‌سازی کرد (جت آب، شکست موج، روگذری و غیره). روش SPH در بین جوامع علمی توجه زیادی را به خود جلب کرده است و کاربردهایی نیز در خصوص اندرکنش موج سازه پیدا کرده است. بسیاری از این روش‌ها هنوز در حال توسعه هستند. در حال حاضر، این روش‌ها بیش‌تر به عنوان مکملی برای آزمایش‌های مدل فیزیکی و نه به عنوان یک راه حل جایگزین در نظر گرفته می‌شوند.

---

1- Vertically Averaged Equations
2- Nonlinear Shallow Water Equations
3- Boussinesq Type Equations
4- Volume of Fluid
5- Smoothed Particle Hydrodynamics Approach

omoorepeyman.ir

### ۴-۳-۱-۴- مدل‌های عددی دیگر

هنگامی که یک فرآیند آنقدر پیچیده است که نمی‌توان آن را توسط مجموعه‌ای از معادلات کنترل پذیر، فرمول‌بندی و حل کرد، از جایگزین‌های کاربردی دیگری مانند حل مدل‌های عددی تجربی یا مدل‌های شبکه عصبی بر پایه اطلاعات تجربی استفاده می‌شود. مدل‌های عددی تجربی بر اساس یک یا چند فرمول تجربی ایجاد می‌شوند که این فرمول‌ها پارامترهای ورودی معلوم را به پارامترهای طراحی مورد نظر ربط می دهند.

مدل‌های شبکه عصبی، مدل‌هایی هستند که بر اساس پایگاه داده موجود به شکل پیشرفته‌ای درون‌یابی را انجام می‌دهند. این روش باید با احتیاط کامل به کار رود تا از برون یابی در خارج از محدوده بانک اطلاعاتی پایه اجتناب شود، زیرا کیفیت خروجی‌های مدل بسیار وابسته به کیفیت اطلاعات پایه‌ی آن‌ها می‌باشد. با استفاده از فرمول‌هایی که بر اساس یک سری مقادیر ورودی می‌باشند این مدل‌ها می‌توانند جایگزینی کاربردی برای معادلات ریاضی واقعی باشند. به عنوان مثال مدل BREAKWAT بر پایه فرمول‌های تجربی پایدار استاتیکی و دینامیکی لایه آرمور تحت اثر موج عمل می‌کند.

## ۴-۳-۲- سازه‌های هیدرولیکی رودخانه‌ها و آبراهه‌های داخل خشکی

به منظور طراحی سازه‌های سنگی دو نوع اصلی از مدل‌های عددی قابل استفاده هستند. مدل‌های بزرگ مقیاس و با محدوده وسیع که برای دستیابی به مقادیر متوسط جریان (همچون سرعت متوسط جریان U و عمق آب h) برای نمونه بر روی لایه توده سنگی در سازه موجود در دهانه یک خور و یا بین پایه‌های پل به کار می‌روند.

در این مدل‌ها معمولا یک یا چند بعد هندسی در نظر گرفته می‌شود. جریان آب در کنار سازه بسیار پیچیده و سه بعدی بوده و در صورت عدم وجود فرمول‌بندی تجربی دقیق باید از مدل‌های سه بعدی استفاده نمود. امروزه همچنان استفاده از آزمایش‌های مدل فیزیکی ترجیح داده می‌شود. اگرچه مدل‌سازی عددی دارای مزایای زیر می‌باشد:

- مقادیر محاسباتی درکل محدوده محاسباتی، به دست می آیند.
- معمولا محاسبات، ارزان‌تر از آزمایش‌های مدل فیزیکی خواهند بود.

بنابراین با افزایش تجهیزات محاسباتی و بهبود روش‌های عددی، محاسبات این‌چنین میادین پیچیده جریان قابل انجام می‌گردد. برخی از روش‌های نو برای محاسبه جریان‌های پیچیده در انتهای این بخش آورده می‌شوند. بسته به نوع مدل (۱ بعدی، ۲ بعدی یا ۳ بعدی) نتایج عمومی مدل‌های عددی جریان بدین شرح می‌باشد:

- بده $Q(m^3/s)$ یا $q(m^2/s)$
- سرعت‌های جریان شامل سرعت متوسط در عمق (U) و سرعت محلی (u)
- تراز سطح آب، h(m)
- تنش برشی بستر، $\tau\ (KN/m^2)$
- نوسانات سرعت آشفتگی، u' (m/s)

نیازمندی های هر طرح به کاربرد مورد انتظار آن بستگی دارد. برای نمونه، برای داده های ورودی یک فرمول‌بندی تجربی در مورد آبشستگی پایه‌های دایروی پل در یک رودخانه مستقیم تنها نیاز به دانستن u و h می‌باشد. حال آن‌که اطلاعات لازم برای بررسی پایداری لایه‌های آرمور در پشت هد دستک ممکن است شامل u' و تغییرات u در عمق نیز باشد. هم‌چنین هنگام اجرای

omoorepeyman.ir

سازه‌های سنگی (برای نمونه برای دانستن شرایط کاری یا تخمین محلی که سنگ‌های ریخته شده بر روی بستر می‌افتند)، معمولا داشتن سرعت جریان و عمق آب ضروری است.

### ۴-۳-۲-۱- مدل‌سازی فرامیدانی[1]

مدل‌های عددی که مناطق بزرگی را در بر می‌گیرند، به منظور بیان شرایط کلی جریان (U و h) در نزدیکی سازه‌های سنگی استفاده می‌شوند. معمولا شرط مرزی فرامیدانی (دور از محل سازه) پیش و پس از ساخت سازه ثابت باقی می‌ماند. بنابراین یک مدل واسنجی شده برای شرایط جریان پیش از ساخت سازه را می‌توان پس از ساخت نیز به کار برد.

اصولا تفاوت بین مدل‌های عددی مربوط به رودخانه‌ها و خورها بسیار اندک است. برای نمونه، ابزارهای موجود برای تخمین حرکات کشندی در حین مراحل مختلف ساخت یک سازه آبی در خور می‌توانند به منظور بررسی تاثیر سازه‌های داخل کانال‌ها مانند پشته‌های ساحلی و غیره نیز استفاده شوند.

در ادامه روندی معرفی می‌شود که می‌تواند به عنوان گام‌های برخورد با یک مساله در نظر گرفته شود. ابتدا باید بررسی شود که آیا یک مدل ساده (صفر یا یک بعدی) می‌تواند مجهولات مورد نظر را پاسخگو باشد یا خیر. فقط در صورتی که این مدل‌ها توانایی پاسخ دادن با دقت مورد نظر را نداشتند، می‌توان مدل‌های پیشرفته‌تر و در نتیجه زمانبرتر (دو بعدی و یا سه بعدی) را به کار برد. تمام مدل‌های مذکور در این بخش از یک مدل آشفتگی استفاده می‌کنند، بدین صورت که جریان متوسط را بدون در نظر گرفتن نوسانات ناشی از آشفتگی محاسبه می‌کنند. سپس می‌توان با توجه به مدل آشفتگی، تخمینی از میزان آشفتگی به دست آورد.

برای مدل‌سازی و طراحی سازه‌های احداث شده در خورها نیاز به داشتن مولفه‌های کشندی آب و شرایط موج به عنوان شروط مرزی می‌باشد. در حال حاضر مدل‌سازی سدهای احداث شده بر روی خورها به وسیله ابزارهای عددی زیر صورت می‌گیرد:

- مدل حوضچه (صفر بعدی)
- مدل شبکه‌ای (یک بعدی)
- مدل دو بعدی
- مدل سه بعدی

#### • مدل‌های نوع حوضچه (صفر بعدی)[2]

این نوع مدل‌ها، ساده‌ترین نوع مدل بوده و بر اساس حل معادلات حرکت در دهانه و یا ورودی خور عمل می‌کنند. در این مدل‌ها تاثیر شرایط اولیه نادیده گرفته شده و فرض می‌شود که سطح آب در خور کاملا افقی است. کاربرد آنها نیز محدود به خورهای کوتاه می‌باشد (نسبت به طول موج). شرایط مرزی شامل کشند در دریا، سطح آب خور (به عنوان تابعی از تراز آب) و تخمینی از میزان ضرایب بده می‌باشد. نتایج پایه نیز شامل منحنی تراز آب در خور و منحنی بده در دهانه آن است.

omoorepeyman.ir

1- Far Field Modeling
2- Basin-Type Models

**• مدل‌های شبکه‌ای (یک بعدی)[1]**

کاربرد این مدل‌ها محدود به خورهای کوچک نبوده و شامل رودخانه‌های کشندی نیز می‌شود. شاخه‌های کانال به صورت شبکه‌ای تعریف می‌شوند که در آن مجراهای اصلی به عنوان شاخه‌های هدایت کننده جریان هستند و مناطق کم عمق و مسطح و سیلابدشت‌ها به عنوان مناطق ذخیره محسوب می‌شوند. امواج کشندی که دچار بازتاب نیز می‌شوند در این مدل‌ها تولید شده و نتایج مدل شامل سطح آب h و منحنی بده Q در قسمت های مختلف می‌باشد. مدل‌های جریان یک بعدی مربوط به رودخانه‌ها و خورها شامل SOBEK و WAQUA هستند. این مدل‌های یک بعدی برای مناطقی با طول ۱km یا بیش‌تر (تا ۱۰۰۰km) مناسب هستند. هم‌چنین اندازه متعارف شبکه‌های مدل ۱۰۰ متر و یا بیش‌تر است. کاربرد این مدل‌ها محدود به خورهای کاملا اختلاط یافته است که البته تغییرات چگالی در طول خور نیز مجاز می‌باشد. در شرایطی که وضعیت جریان پیچیده (غیر یکنواخت) باشد مدل ۲ یا ۳ بعدی مورد نیاز است. با این حال، در بسیاری از موارد نیز ممکن است طراح مجبور شود بر اساس تفسیر نتایج مدل یک بعدی و به کارگیری قضاوت مهندسی عمل نماید. برای نمونه، ممکن است برای تخمین ضرایب بده در دهانه سد در مراحل مختلف ساخت یک سد انحرافی این کار صورت گیرد..

**• مدل‌های دوبعدی**

در مواردی که توزیع افقی یا قائم تراز سطح آب، الگوی جریان و یا جهت جریان مورد نیاز است، باید از مدل‌های دو بعدی استفاده شوند. بسته به ابعاد هندسی مساله از مدل‌های دو بعدی قائم (2DV) یا دو بعد افقی (2DH) استفاده می‌شود. در مدل‌های دوبعدی افقی، سطح خور به تعدادی از سلول‌های شبکه‌ای تقسیم بندی می‌شود که کل هندسه محیط را تشکیل می‌دهند. شبکه‌بندی مدل می‌تواند متعامد، منحنی‌وار یا نامنظم باشد. نتایج مدل نیز شامل سطوح آب و بردارهای سرعت میانگین‌گیری شده در عمق در سلول‌های مختلف می‌باشد. ابعاد شبکه مدل‌های 2DH بر اساس تغییرات هندسی بستر محدوده مورد مطالعه تعیین می‌شود. در مدل‌های 2DH از شبکه‌های محاسباتی نسبتا بزرگ (برای نمونه ۴۰۰ متر برای مناطق ساحلی) استفاده می‌شود. با این حال، در موارد دیگر (برای نمونه در نزدیکی یک سازه ساحلی) ابعاد شبکه ممکن است بین ۱ تا ۱۰ متر باشد.

مدل‌های دوبعدی قائم هنگامی به کار می‌روند که تغییرات اصلی در راستای قائم اتفاق بیافتد (برای نمونه عبور جریان از روی یک ترانشه یا پوشش خط لوله). در صورتی که عدد فرود کوچک باشد می‌توان در برخی موارد سطح آب را ثابت فرض کرد.

**• مدل‌های سه بعدی**

مدل‌های سه‌بعدی در شرایطی که تغییرات شدید سه بعدی سرعت و جهت در هر دو راستای حرکت جریان وجود داشته باشد استفاده می‌شوند. به منظور محدود کردن زمان محاسبات معمولا توزیع فشار، هیدرواستاتیکی در نظر گرفته می‌شود، بدین معنی که شتابهای قائم آب نادیده گرفته می‌شوند (برای نمونه در بسته‌های نرم‌افزاری Delft3D و MIKE3). بنابراین در مواردی که تغییرات بسیار شدید توپوگرافی بستر وجود دارد به علت نقش مهم شتاب قائم نمی‌توان از این مدل‌ها استفاده کرد. در عوض توزیع شوری یا تغییرات آهسته جریان قابل مدل‌سازی می‌باشد. معمولا تعداد لایه‌های قائم بین ۱۰ تا ۵۰ عدد در نظر گرفته می‌شود، بدین معنی که عرض سلول‌های سه بعدی معمولا خیلی بزرگ‌تر از ارتفاع آنها خواهد بود.

1- Network Models

omoorepeyman.ir

### ۴-۳-۲-۲- شرایط مرزی

مرزهای ورودی و خروجی مدل بر اساس شرایط هندسه افقی تعیین می‌شوند. این مرزها باید به اندازه کافی دور از محل مورد نظر (برای نمونه سازه‌های هیدرولیکی رودخانه) قرار داده شوند تا اثر عدم دقت‌های احتمالی در شرایط مرزی بر روی شرایط هیدرولیکی محل مورد مطالعه تاثیر نگذارد. این تاثیر ناشی از عوامل زیر است:

- ناپایداری شرایط مرزی، به علت عدم دقت داده‌های میدانی
- خطاهای درون‌یابی، به علت ناکافی بودن داده‌های میدانی
- بازتاب‌های ساختگی در محل مرز مدل

به عنوان مثالی که اثر مورد اول را نشان دهد، می‌توان به مولفه‌های شدید (و غیر واقعی) جریان بر روی مرز مدل اشاره کرد که بر اثر تفاوت سطح آب (در حد $۱۰^{-۲}$ متر) ناشی از عدم دقت در ثبت اطلاعات رخ می‌دهد. با دور کردن مرز مدل از محل مورد نظر، این‌گونه خطاها بسیار کوچک می‌گردند. در صورت استفاده از مدل‌های تو در تو[1] از ناسازگاری در شرایط مرزی اجتناب می‌شود. افزون بر این، شرایط مرزی کشندی را می‌توان بر حسب مولفه‌های هارمونیک نیز تعریف کرد (برای نمونه O1 و M2).

### ۴-۳-۲-۳- مدل‌سازی جریان‌های پیرامون سازه

با استفاده از مدل‌های توضیح داده شده، می‌توان سرعت متوسط در عمق پیرامون یک سازه را به دست آورد. با این حال، در فاصله بسیار نزدیک به یک سازه (برای نمونه در محل سازه حفاظت بستر یا شیروانی) الگوی جریان می‌تواند بسیار پیچیده باشد. در این حالت، حرکات و شتاب‌های مارپیچی رخ داده و آشفتگی محیط در حال تعادل نمی‌باشد و در نتیجه هندسه و سطح آزاد دارای گرادیان‌های شدید خواهند بود. بنابراین هنوز از قوانین تجربی برای طراحی نهایی پایداری لایه‌های حفاظت سنگی این سازه‌ها استفاده می‌شود. در بسیاری از موارد، نمی‌توان حرکت جریان را به دقت تخمین زد. بنابراین برای مقاصدی از جمله طراحی بستر و یا شیب توده سنگی، نیاز به محاسبه میدان جریان پیچیده در پیرامون سازه می‌باشد. در حالتی که جریان سطح آزاد در پیرامون سازه‌ها وجود دارد، هر دو عبارت شتاب قائم و آشفتگی جریان اهمیت پیدا می‌کنند. بدین منظور باید معادلات کامل سه بعدی بدون در نظر گرفتن فرض هیدرواستاتیکی بودن فشار حل شوند که این کار نیازمند انجام محاسبات بسیار سنگین می‌باشد. انتخاب اساسی و مهم دیگر این است که مشخص شود آیا باید آشفتگی مدل‌سازی شده و از روی آن سرعت متوسط جریان محاسبه شود (برای نمونه مدل $k-\varepsilon$) یا این‌که مدل آشفتگی (به صورت جزیی) حل شود. در ادامه این موارد توضیح داده می‌شوند.

### ۴-۳-۲-۴- مدل‌های با آشفتگی متوسط‌گیری شده

امروزه با توجه به افزایش ظرفیت‌های محاسباتی کامپیوترها، کاربرد مدل‌های سه بعدی کامل بدون فرض هیدرواستاتیکی، در رشته مهندسی عمران رو به گسترش است. نمونه‌هایی از بسته‌های نرم افزاری که توانایی حل سه بعدی جریان و آشفتگی را دارند، مدل‌های FLUENT و PHOENIX می‌باشند. این مدل‌ها (در صورت واسنجی مناسب) می‌توانند جریان متوسط را به خوبی شبیه‌سازی کرده و تخمینی از مقدار انرژی جنبشی آشفتگی ارائه بدهند.

1- Nested Models

omoorepeyman.ir

این بسته‌های نرم‌افزاری تخمین مناسبی از مقدار تنش برشی در جریان‌های دارای شتاب به دست می‌دهند. در این نواحی پایداری سنگ‌های آرمور بر اساس معیار شیلدز[1] محاسبه می‌شود. مناطقی که دارای جریان با شتاب منفی می‌باشند (مکانی که اغلب خرابی‌های بزرگ رخ می‌دهد) از نظر عددی بسیار پیچیده هستند زیرا از یک سو، مشخصات آشفتگی (که اغلب با عبارت انرژی جنبشی آشفتگی بیان می‌شود) عموما با دقت مناسبی محاسبه نمی‌شوند و از سوی دیگر، حتی اگر آشفتگی به دقت محاسبه شده باشد، مشکلی که پیش می‌آید عدم وجود ابزاری مناسب برای مرتبط کردن اطلاعات سه بعدی آشفتگی به پایداری مصالح بستر (حفاظت بستر) می‌باشد. تاکنون مدل‌های اندکی توسعه داده شده‌اند که جریان متوسط و شدت آشفتگی ناشی از محاسبات سه‌بعدی را به شیوه‌ای به جریان موثر بر روی بستر تبدیل کنند.

اگرچه این مدل‌ها به نظر درست می‌رسند اما نباید به عنوان ابزاری برای طراحی نهایی به کار روند. با این حال می‌توانند برای نمونه برای داشتن درک بهتری از الگوهایی خرابی طراحی مفهومی مربوط به یک سازه حفاظت بستر یا شیروانی استفاده شوند.

### ۴-۳-۲-۵- شبیه‌سازی گردابه‌های بزرگ[2]

با استفاده از شبیه‌سازی گردابه‌های بزرگ (LES) می‌توان آشفتگی‌های با مقیاس بزرگ را در زمان و در فضای سه بعدی مکانی حل کرد. از این رو مشخصات آشفتگی (و جریان متوسط) را می‌توان با دقت بهتری به دست آورد که البته همراه با زمان محاسباتی طولانی‌تر و محدوده مکانی کوچک‌تر خواهد بود. LES تنها برای مقاصد تحقیقاتی استفاده می‌شود. البته هندسه پیچیده بستر در کاربردهای واقعی، مانع از استفاده آن در این موارد می‌شود. البته این قضیه ممکن است با افزایش سرعت محاسبات در آینده حل شود.

در برخی جریان‌ها، گردابه‌های بزرگی به دلیل وجود موانعی همچون دستک یا موج‌شکن، انتشار می‌یابند. در نظر گرفتن این گردابه‌ها برای محاسبه جریان متوسط ضروری است. در این حالت می‌توان ترکیبی از مدل‌های 2DH و سه بعدی LES استفاده نمودکه LES افقی (HLES) نامیده می‌شوند. مدل‌های HLES تنها آشفتگی 2D افقی را با مقیاس‌های طولی بزرگ‌تر از عمق آب حل می‌کنند. برای تغییرات در عمق آب نیز از پروفیل لگاریتمی سرعت استفاده می‌شود. این مدل در کاربردهای مربوط به مهندسی عمران استفاده شده است (برای نمونه مدل Delft3D). لازم به ذکر است که این محاسبات برای محدوده‌هایی به اندازه دو برابر طول دستک قابل استفاده هستند.

## ۴-۴- انتخاب مدل مناسب

مدل‌های عددی و مدل‌های مقیاسی برای حل مسایل مختلفی استفاده می‌شوند. انتخاب مناسب‌ترین نوع مدل، به عوامل گوناگونی همچون اندازه مدل، پیچیدگی برپاسازی مدل، دقت مدل، اثر مقیاس، پیکره‌بندی، آثار عددی، مدت زمان مورد نیاز برای هر شبیه سازی، آثار دو بعدی و سه بعدی، آشفتگی و غیره بستگی دارد. در مواردی که هر دو نوع مدل قابل استفاده هستند باید مدلی که برای مساله مورد نظر کفایت می‌کند، انتخاب شود. در موارد دیگر ممکن است از هر دو مدل عددی و مقیاس به صورت ترکیبی استفاده شود. برای نمونه، به منظور دستیابی به شرایط مرزی یک مدل مقیاسی دقیق برای محدوده‌ای کوچک، مدل‌سازی عددی منطقه‌ای وسیع صورت می‌گیرد. برای محدوده‌های کوچک، مدل‌های مقیاسی نسبت به مدل‌های عددی اطلاعات جزیی بیش‌تری را

1- Shields Criterion
2- Large Eddy Simulation (LES)

omoorepeyman.ir

به دست می‌دهند. برای نمونه، شرایط هیدرولیکی موج در نزدیکی سازه‌های ساحلی از طریق مدل‌سازی عددی به دست می‌آید در صورتی که بررسی تحلیل پایداری سازه از طریق مدل‌های مقیاسی انجام می‌شود.

مزایای استفاده از مدل‌های مقیاسی بدین شرح می‌باشد: امکان مشاهدات تصویری مستقیم و ثبت آنها، وجود اثرهای سه بعدی، و مدل‌سازی دقیق شیب‌های سنگی (دقیق‌تر از مدل‌های عددی). از سوی دیگر مزایای استفاده از مدل‌های عددی بدین شرح می‌باشد: مدل‌سازی محدوده‌های بزرگ‌تر، عدم وجود اثر مقیاسی و راحتی استفاده از مدل بدین ترتیب که محاسبات را می‌توان برای حالت‌های مختلفی از شرایط موجود انجام داد.

برای هر دو نوع مدل‌سازی، تفسیر نتایج از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است تا بدین‌وسیله اطمینان حاصل شود که استفاده صحیحی از جواب‌های مدل صورت می‌گیرد. انجام این کار مستلزم داشتن اطلاع حاصل از پدیده‌های مرتبط، فرضیات صورت گرفته، روش حل (آزمایشگاهی، عددی، ریاضی) و مجهولات مورد نظر می‌باشد.

در هر دو نوع مدل عددی و مقیاسی، باید دقت مدل به گونه‌ای آزمایش شود تا اطمینان بیش‌تری نسبت به پیش‌بینی‌های مدل حاصل گردد. هم‌چنین باید تمایزی بین صحت سنجی و واسنجی مدل عددی صورت گیرد.

### ۴-۴-۱- واسنجی[1]

مدل عددی به معنی تنظیم کردن مدل (به وسیله پارامترهای تنظیم) به روشی است که داده‌های مدل با داده‌های واقعی یا داده‌های به دست آمده از مدل‌های مقیاسی با دقت خوبی همخوانی داشته باشد. در این صورت مدل به درستی می‌تواند شرایط مشخص و شناخته شده مربوط به نمونه اصلی یا مدل مقیاسی را باز تولید کند. مدل صحت‌سنجی شده نباید از دید تئوری یا تجربی در خارج از محدوده اعتبارش به کار گرفته شود.

### ۴-۴-۲- صحت‌سنجی[2]

مدل عددی به معنی توانایی مدل در پیش‌بینی شرایط شناخته شده دیگر، بدون تنظیم مجدد پارامترهای مدل می‌باشد. این مرحله نیز ضروری می‌باشد زیرا واسنجی به تنهایی نمی‌تواند ضمانت کافی برای کارکرد صحیح مدل باشد.

مدل عددی صحت سنجی و واسنجی شده می‌تواند برای استفاده عملی در پیش‌بینی تغییرات شرایط هیدرولیکی در آینده به کار رود. با این حال این مدل نمی‌تواند تمام پدیده‌های فیزیکی را به طور دقیق نشان دهد و تنها برای آنهایی که توسط طراح به عنوان مهم‌ترین پارامترها انتخاب شده‌اند، به کار می‌رود.

بدین ترتیب، طراح مسوول انتخاب مناسب‌ترین مدل برای حل مساله مورد نظر می‌باشد. در دسترس بودن اطلاعات میدانی دقیق، نقش مهمی در فرآیند انتخاب مدل نهایی دارند. این انتخاب به موارد زیر وابسته بوده و نیاز به داشتن تخصص در این زمینه ها دارد:

- پدیده‌ای که باید به صورت کمی بیان شود (شامل اندرکنش‌های احتمالی بین سازه و پدیده مورد نظر)
- اطلاعات موجود (مانند شرایط مرزی و عمق سنجی) و یا مورد نیاز برای به دست آوردن (از اسناد موجود یا از اندازه‌گیری‌ها)

1- Calibration
2- Validation

omoorepeyman.ir

- محدودیت‌ها و دقت ابزارهای در دسترس از روابط ساده طراحی تا مدل‌های موجود (محدوده اعتبار آنها و عدم قطعیت‌های موجود در محدوده اعتبارشان)
- وسعت و دقت اطلاعات مورد نیاز برای طراحی یا ساخت
- منابع موجود (زمان و هزینه)

در نهایت، طراح باید بتواند تفسیر خوبی از نتایج مدل داشته باشد تا بتواند آنها را برای مقاصد طراحی استفاده کند.

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

# فصل ۵

# روش‌های اجرای سازه‌های حفاظت سواحل

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

## ۵-۱- کلیات

این فصل به بحث پیرامون روش‌ها و ملاحظات اجرای سازه‌های ساحلی می‌پردازد. با توجه به نقش عمده مصالح سنگی در بدنه سازه‌های حفاظت ساحلی – به ویژه در کشور ما ایران – بیش‌تر بر روی روش‌های اجرایی مبتنی بر سنگ تاکید شده است هر چند به کارگیری مصالح نوینی همچون ژئوسنتتیک‌ها نیز دور از نظر قرار نگرفته‌اند.

موضوعات اصلی که در این فصل مورد بحث و بررسی قرار گرفته‌اند عبارتند از:

- تدارک اجرایی پروژه
- مروری بر تجهیزات و ماشین‌آلات اجرایی
- شیوه‌های حمل و نقل مصالح
- روش‌های اجرای کارهای حفاظت بستر و کناره‌ها
- روش‌های اجرای موج‌شکن‌ها
- روش‌های اجرای دیوارهای دریایی
- روش‌های اجرای پی
- روش‌های اجرایی در سواحل رودخانه
- کنترل کیفیت اجرای پروژه
- تکنیک‌های برداشت و اندازه‌گیری میدانی

سازه‌های مورد اشاره در این فصل با استفاده از تجهیزات و ماشین‌آلات زمینی و دریایی ساخته می‌شوند که جزییات آن در بخش ۵-۳ ارائه شده است. به عنوان بخشی از انتخاب صحیح تجهیزات موردنیاز و روش‌های اجرایی، تمامی سازه‌ها باید در زمینه‌های زیر مورد ارزیابی قرار گیرند:

- ابعاد و جانمایی
- حجم و نوع سنگ‌های آرمور مورد نیاز
- تاسیسات انباشت موقت سنگ در ساختگاه
- محل و ظرفیت تولید معادن
- حمل و نقل سنگ از معدن به ساختگاه
- امکان دسترسی تجهیزات و ماشین آلات اجرای از زمین و دریا
- شرایط محیطی تاثیرگذار بر قابلیت‌های عملیاتی برای نمونه عمق آب، شرایط باد و موج و تغییرات فصلی آنها، کشندها و جریان‌ها، دما و امکان دید
- پایداری سازه در مراحل میانی اجرای آن

omoorepeyman.ir

از آنجایی که بر هر سازه شرایط خاصی حاکم است، روش اجرای هر سازه باید به طور جداگانه انتخاب شود. در این فصل نمونه‌هایی از روش‌های اجرایی برای سازه‌های ساحلی مختلف ارائه شده است اما این روش‌ها معمولا با توجه به نوع ماشین‌آلات اجرایی موجود و تجربیات پیشین پیمانکار تغییر می‌کنند.

طراحی ممکن است تحت تاثیر محدودیت‌های مختلفی قرار گیرد. نمونه‌هایی از این محدودیت‌ها عبارتند از:

- ملزومات حفاظت آب و هوا از آلودگی، شامل ملاحظات اکولوژیکی، محدود سازی آلودگی‌های صوتی و محدودیت‌های ترافیکی
- در دسترس بودن ماشین‌آلات اجرایی و نیروی کار
- سطح تجربیات نیروهای بومی در پروژه‌های مشابه
- زیرساخت‌ها (راه‌ها، راه آهن، بنادر)
- تاسیسات مورد نیاز برای تعمیرات و نگهداری‌های آتی
- محدودیت‌های اقتصادی
- فصولی از سال که کار اجرای سازه در آن انجام می‌گیرد
- در دسترس بودن سنگ آرمور یا منابع سنگ مناسب

لازم به ذکر است که افزون بر روش‌های اجرای ارائه شده در این راهنما، داشتن شناخت کافی از شرایط ساختگاه و تجارب اجرایی پیشین نیز ضرورت دارد. درک تمامی جنبه‌های مدیریتی کار اجرای پروژه نیازمند تجربه پروژه‌های متعدد و راهنمایی پرسنل باتجربه و ماهر است.

## ۵-۲- تدارک اجرایی پروژه

### ۵-۲-۱- ملاحظات اجرایی

بسته به نوع و مکان اجرای پروژه (برای نمونه در نواحی شهری یا روستایی)، مواردی که در جدول (۵-۱) فهرست شده‌اند باید مد نظر قرار گیرند. این فهرست می‌تواند به عنوان راهنما مورد استفاده قرار گیرد اما شامل تمامی جزییات نبوده و در عین حال بررسی تمامی موارد آن در زمان آغاز تمامی پروژه‌ها ضروری نیست.

### ۵-۲-۲- مسایل متفرقه

#### ۵-۲-۲-۱- موقعیت

محدودیت‌های محیطی و ظرفیت زیرساخت‌های موجود باید مستقل از اندازه و محل استقرار پروژه مورد توجه قرار گیرند. فضای مشخصی نیز باید برای ساخت دفاتر اداری ساختگاه، تاسیسات رفاهی، پارکینگ خودروها، ملزومات فرآیند ساخت، فضاهای تعمیراتی و مانند این‌ها در نظر گرفته شود.

omoorepeyman.ir

**جدول ۵-۱- ملاحظات اجرایی**

| جنبه | ملاحظات |
|---|---|
| تجهیزات و ماشین‌آلات اجرایی | • در دسترس بودن تجهیزات و ماشین‌آلات مناسب<br>• مشخصات فنی<br>• امکان تعمیر و وجود قطعات یدکی کافی<br>• ایمنی<br>• محوطه و نیروی انسانی لازم برای تعمیر و نگهداری |
| پیمانکاران جزء و تامین کنندگان | • سطح تجربه و تخصص<br>• تجهیزات و ماشین آلات موجود<br>• پوشش بیمه در محل<br>• قابلیت اطمینان |
| نیروی انسانی | • چارت سازمانی (نقش‌ها و مسوولیت‌ها)<br>• در دسترس بودن نیروی انسانی با صلاحیت<br>• همپوشانی مناسب مستمر و متوالی شیفت‌های روز و شب<br>• نیاز به ساعات کاری طولانی |
| معادن سنگ | • بررسی‌های ژئوتکنیکی<br>• معادن موجود یا معادن جدید<br>• دارا بودن ویژگی‌های مورد نیاز<br>• در دسترس بودن تجهیزات و ماشین آلات مناسب<br>• ظرفیت تولید و برنامه‌های استخراج |
| حمل و نقل | • در دسترس بودن تجهیزات مناسب<br>• ظرفیت (توازن میان عرضه و تقاضا)<br>• قدرت مانور<br>• آبخور<br>• برنامه‌های آتی<br>• جمع‌آوری و پردازش داده‌های مربوط با حمل بار |
| انباشت مصالح در معدن و ساختگاه | • ظرفیت<br>• پایداری<br>• جانمایی کارآمد مسیرها برای بهبود عملکرد<br>• محیط زیست<br>• مردم |
| اجرا | • بررسی ساختگاه<br>• دسترسی<br>• زیرساخت‌ها – راه، تلفن، آب آشامیدنی، فاضلاب، نزدیکی به فضاهای بازی بچه‌ها، مدرسه‌ها و غیره<br>• تجهیزات و روش‌های اجرایی<br>• ایمنی<br>• امواج، کشندها و جریان‌ها<br>• باد و آب و هوا<br>• زمان اجرا در سال<br>• روش‌های برداشت‌ها و رواداری‌های مجاز<br>• کارهای موقت<br>• آشفتگی آب دریا در پیرامون محل اجرای سازه<br>• آلایندگی<br>• فشارهای هیدرواستاتیک<br>• تحکیم و نشست |

omoorepeyman.ir

**ادامه جدول ۵-۱- ملاحظات اجرایی**

| جنبه | ملاحظات |
|---|---|
| برداشت | • انتخاب و واسنجی تجهیزات برداشت<br>• توافق در خصوص تجهیزات و سامانه‌ی برداشت با کارفرما |
| برنامه‌ریزی | • گزارش‌دهی منظم<br>• توزیع برنامه‌های شفاف به تمام بخش‌های کاری<br>• برنامه‌ریزی منعطف و با جزییات (۲۴ ساعته) |
| ملاحظات زیست محیطی | • گرد و غبار<br>• آلودگی صوتی<br>• زباله<br>• اکولوژی<br>• کیفیت و آلودگی آب و هوا<br>• زیستگاه‌های حیات وحش |

زیرساخت‌هایی که در این بخش باید مورد توجه قرار گیرند عبارتند از:

- راه‌ها، راه‌آهن و بنادر
- ارتباطات
- آب، فاضلاب و برق
- امنیت
- تامین نور لازم برای کار بیست و چهار ساعته

ملاحظات بیرونی که باید مورد توجه قرار گیرند عبارتند از:

- **آلودگی صوتی:** پیش از تهیه اسناد شرکت در مناقصه، می‌باید از محدودیت‌های موجود در خصوص آلودگی‌های صوتی اطلاع حاصل نمود. زیرا این محدودیت‌ها می‌توانند بر زمان و پیامد آن هزینه عملیات اجرای پروژه تاثیر بگذارند. این محدودیت‌ها می‌تواند بر انتخاب مکان ژنراتورها نیز تاثیر بگذارد.
- **تاسیسات محلی:** اجرای پروژه ممکن است نیازمند جابجایی تاسیسات محلی یا پرداخت غرامت در صورت از کار افتادن آنها باشد.
- **غبار یا آلودگی‌های دیگر:** تا حد زیادی در مکانیابی تاسیسات موقت در محدوده ساختگاه پروژه تاثیرگذار هستند. (نکته: نباید با جانمایی ساختگاه اصلی پروژه اشتباه گرفته شود.)
- **امنیت:** مسایل ایمنی مکان انتخاب شده برای تاسیسات موقت
- **طراحی:** نیاز به تهیه مجوز برای طراحی و ساخت‌وساز برای ساختگاه تاسیسات موقت یا اصلی

### ۵-۲-۲-۲- ملاحظات قانونی

حمل و نقل مصالح و عملیات اجرایی، ممکن است نیازمند پرداخت برخی عوارض یا دریافت مجوزهای ویژه باشد. مواردی که بیش‌تر در یک پروژه رخ می‌دهد عباتند از:

- **تعرفه‌های بندری:** تخلیه و بارگیری شناورهای تجاری یا جابجایی مصالح درون محوطه بندری ممکن است مستلزم پرداخت هزینه باشد.

omoorepeyman.ir

- **هزینه‌های دریایی:** کشتی‌هایی که به بنادر یا محوطه‌های دریایی محدود وارد می‌شوند، ممکن است بر اساس قوانین آن بندر نیازمند شناور راهنما باشند که این امر برنامه‌های ارسال و دریافت مصالح را تحت تاثیر قرار می‌دهد.
- **هزینه‌های خدماتی:** کشتی‌های پهلوگرفته در بندر ممکن است برای پهلوگیری و تخلیه و بارگیری مصالح مجبور به استفاده از ملوانان یا شرکت‌های خدماتی مستقر در اسکله‌ها شوند.

### ۵-۲-۲-۳- ملاحظات زیست محیطی

**- گرد و غبار**

فرآیند تولید در معدن و به ویژه در زمان جابجایی سنگ‌ها در انباشت‌ها و نیز حمل و نقل در مسیرهای فاقد کف‌سازی موجب تولید غبار می‌شود. حجم غبار تولید شده به کیفیت سنگ و روش استخراج، سرند و حمل و نقل سنگ‌ها بستگی دارد. برای حفاظت نواحی پیرامون انباشت‌ها از غبار، باید حتی‌الامکان این انباشت‌ها را در پایین‌دست (نسبت به جهت وزش باد) نواحی حساس به غبار جانمایی نمود و محوطه آن را با استفاده از آب‌پاش مرطوب نگاه داشت.

**- آلودگی صوتی**

در معادن، آلودگی صوتی به واسطه انفجارها، شکستن و خرد کردن سنگ‌ها و دستگاه‌های عملیاتی ایجاد می‌شود. حمل و نقل سنگ‌ها نیز ایجاد آلودگی صوتی می‌نماید. محدودیت‌های محلی نظیر منع کار در شب و یا کار در ایام آخر هفته نیز ممکن است موجب محدود شدن عملیات گردد. این محدودیت‌ها معمولا بر اساس مکان استقرار معدن (بافت روستایی یا پیرامون شهر) متفاوت است و ممکن است بر حمل و نقل دریایی نیز تاثیر بگذارد.

**- اکولوژی**

تاثیر گل آلود شدن آب به واسطه اجرای سازه ساحلی بر اکولوژی محلی و شرایط دریایی باید مورد پایش قرار گیرد. این امر به‌ویژه زمانی که پروژه در آب‌های بسته و آبراهه‌هایی با بده کم اجرا می‌شود، از حساسیت بیش‌تری برخوردار است.

**- کیفیت آب**

ممکن است در برخی نواحی، برای پیشگیری از آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی، استفاده از مصالح بازیافتی و متفرقه، از جمله نخاله‌ها و ضایعات معدنی ممنوع شود. هم‌چنین احتمال نشت مواد نفتی و دیگر آلودگی‌ها نیز باید به کم‌ترین حد ممکن تقلیل یابد.

**- مردم**

تجربه نشان داده است که اگر مردم از شرایط پروژه آگاه باشند، احتمال پذیرش پروژه از سوی آنان بیش‌تر خواهد بود. اطلاع‌رسانی ممکن است از راه برگزاری جلسات عمومی و بازدید از ساختگاه، یا توسط خبرنامه‌ها، مقالات یا تبلیغات مطبوعاتی، پایگاه‌های اینترنتی، تابلوهای اطلاع‌رسانی، جلسات و بازدید مدارس صورت گیرد.

omoorepeyman.ir

## ۵-۲-۳- آماده‌سازی ساختگاه پروژه

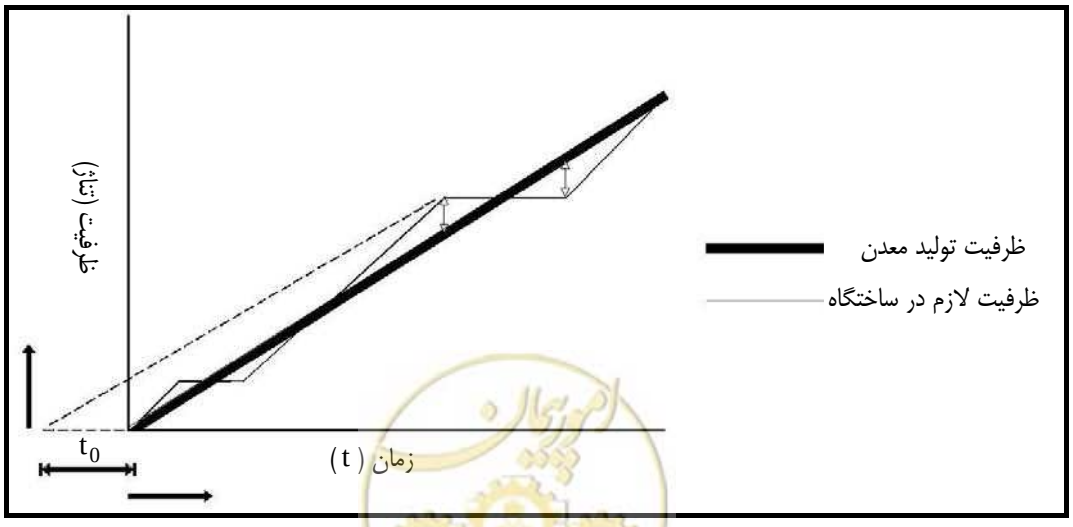
### ۵-۲-۳-۱- تعیین مکان انباشت مصالح و انجام تعمیرات

انباشت مصالح ممکن است در معدن، ایستگاه راه‌آهن یا در مکان تخلیه و بارگیری در بندر یا در ساختگاه صورت گیرد. استفاده از انباشت‌های آبی که در آب‌های نزدیک ساختگاه صورت می‌گیرد نیز به عنوان گزینه‌ای قابل بررسی است؛ اما باید در نظر داشت قطعات سنگ کوچک‌تر از ۳۰۰ کیلوگرم ممکن است توسط آب منتقل شده و از دست بروند. اندازه و تعداد انباشت‌ها با توجه به ظرفیت پشتیبانی روش انتخاب شده تعیین می‌شود. ابعاد انباشت به ظرفیت تولید معدن، مدت زمان لازم برای آماده‌سازی اولین محموله سنگ آرمور، ظرفیت حمل و نقل و ظرفیت اجرا بستگی دارد. در این زمینه معمولا معادن ترجیح می‌دهند تا تولید ثابتی را به صورت هفتگی و متناسب با میزان انفجارها، توان عملیاتی دستگاه‌ها و دیگر ملزومات خود داشته باشند.

با توجه به آن‌که نیازهای ساختگاه ممکن است در مراحل مختلف اجرا به طور محسوسی تغییر کند به ندرت می‌توان توازن کاملی میان ظرفیت تولید معدن و ظرفیت اجرایی ساختگاه برقرار کرد. برای نمونه در ابتدای کار یک پروژه، حجم‌های بالای سنگ به صورت توده‌ای تخلیه می‌شوند حال آن‌که در مراحل بعدی پروژه سنگ‌های آرمور به صورت منفرد در محل مورد نظر استقرار می‌یابند. در این راستا معمولا ایجاد انباشت‌ها ضروری است.

شکل (۵-۱) نشان می‌دهد که چگونه می‌توان اندازه انباشت را به سادگی و با ترسیم ظرفیت تولید معدن و نیاز ساختگاه روی یک نمودار تناژ و زمان محاسبه نمود. بازه‌های زمانی که در آن‌ها نیاز ساختگاه از ظرفیت تولید معدن بیش‌تر می‌شود، آن زمان‌هایی هستند که نیاز به انباشت کردن سنگ وجود دارد. برای رفع این مشکل، می‌توان کار معدن را در یک بازه زمانی زودتر از کار اجرا شروع نمود ( $t_0$ ) و سنگ‌های استخراج شده در این دوره را انباشت نمود.

نمودار مشابهی که مربوط به ظرفیت حمل و نقل و نیازهای اجرایی است، نشان می‌دهد که سنگ‌ها باید در معدن انباشت شوند یا به ساختگاه منتقل و آنجا انبار شوند. ملاحظات یکسانی برای مصالح با ابعاد مختلف قابل استفاده است. به ویژه زمانی که یک معدن تمامی ابعاد سنگ آرمور را تولید می‌کند و تولید سنگ‌های آرمور بزرگ نیازمند استخراج حجم زیادی مصالح کوچک‌تر است.




**شکل ۵-۱- ملزومات انباشت مصالح**

omoorepeyman.ir

ابعاد انباشت مستقیما به حجم سنگ آرمور بستگی دارد. در فضاهای محدود ممکن است انباشت‌ها تا ارتفاع قابل توجهی بالا روند. معیاری که در این زمینه وجود دارد آن است که در شرایطی که کامیون تخلیه مصالح می‌تواند از شیب انباشت‌ها بالا برود، فاکتور محدودکننده مقاومت سنگ‌هاست. این اتفاق معمولا در شرایطی رخ می‌دهد که سنگ‌ها در رده کوچک‌تر از ۵ تا ۴۰ کیلوگرم باشند. در این صورت ارتفاع بیشنیه انباشت بر اساس فاکتورهای زیر محاسبه می‌شود:

- شیب راه دسترسی به انباشت، شیب بیشینه حدود ۱:۱۵
- تفکیک – مشکل غلطیدن سنگ‌های بزرگ‌تر از بالای شیب را می‌توان با انباشت‌سازی مصالح در لایه‌های ۴ تا ۵ متری برطرف نمود.
- گرد و غبار منتقل شده توسط باد در مناطق روباز و در معرض باد (آسیب ناشی از گرد و غبار را می‌توان توسط پاشیدن آب کاهش داد) و دیگر ملاحظات زیست‌محیطی (به بخش ۵-۲-۲-۳ مراجعه کنید.)
- لایه‌های زیرین خاک – ظرفیت باربری و پیداری

انباشت سنگ‌هایی با رده‌های بزرگ‌تر از ۱۰ تا ۶۰ کیلوگرم می‌تواند حداکثر تا ارتفاعی صورت گیرد که در دسترس ماشین‌های بارگیری یا حفارهای هیدرولیکی باشد که این ارتفاع معمولا برای لودرهای چرخ لاستیکی ۳ تا ۳/۵ متر و برای بیل‌های مکانیکی ۴/۵ تا ۵/۵ متر می‌باشد. جدول (۵-۲) میزان تقریبی مصالحی را که می‌توان بدون در نظر گرفتن راه‌ها و فضاهای جداکننده در هر هکتار انباشت نمود را نشان می‌دهد.

مکان انباشت در ارتباط با عملیات تخلیه و بارگیری دارای اهمیت است. اگر جابجایی از راه دریا صورت می‌گیرد و انباشت در نزدیکی محل بارگیری واقع شده است، می‌توان از لودرها برای تخلیه و بارگیری مصالح بزرگ به شناور استفاده نمود. به منظور تسهیل تخلیه و حمل و نقل، انباشت مصالح بزرگ باید در نزدیک‌ترین نقطه به اسکله قرار داشته باشد. در این زمینه ضرورت دارد از توانایی سازه اسکله برای تحمل بار و وزن انباشت اطمینان حاصل شود.

**جدول ۵-۲- میزان تقریبی مصالحی که می‌توان در هر هکتار انباشت نمود**

| نوع دانه‌بندی | | تخلیه بدون پشته سازی (تن بر هکتار) | تخلیه و پشته‌سازی (تن بر هکتار) |
|---|---|---|---|
| سنگ آرمور | ۶ تا ۱۰ تن | ۱۵۰۰۰ | ۴۰۰۰۰ |
| | ۳ تا ۶ تن | ۲۰۰۰۰ | ۴۵۰۰۰ |
| | ۱ تا ۳ تن | ۲۵۰۰۰ | ۵۰۰۰۰ |
| مصالح مغزه | ۱ تا ۵۰۰ کیلوگرم | ۱۱۰۰۰۰ | – |
| مصالح فیلتر | ۴۵ تا ۲۵۰ میلی‌متر | ۱۰۰۰۰۰ | – |

تعمیرات جزیی و نگهداری از ماشین‌آلات دریایی و زمینی می‌تواند در محل ساختگاه صورت گیرد. حمل و نقل سنگ‌های آرمور موجب فرسودگی تجهیزات و بدنه کامیون‌ها می‌شود و آسیب‌های وارده از افتادن سنگ‌ها نیز نیازمند تعمیرات گسترده‌ای است. این فعالیت‌ها عموما در تعمیرگاه‌های محلی قابل انجام است. برای ماشین‌آلات دریایی، تاسیسات انجام تعمیرات جزیی را می‌توان در بنادر نزدیک به ساختگاه و یا بندر موقتی در نزدیکی آن راه‌اندازی نمود. این محوطه باید توان رسیدگی به دیگر تجهیزات مورد استفاده همچون جرثقیل‌ها، بولدوزرها و لودرها را نیز داشته باشد. زمانی‌که ماشین‌آلات زمینی، در زمان پایین بودن آب در نواحی

omoorepeyman.ir

کشندی مشغول به کار هستند، باید تجهیزات لازم برای تعمیرات ضروری و یا تجهیزات مناسب برای بیرون کشیدن ماشین‌آلات خراب پیش از بالا آمدن آب و فرورفتن این ماشین‌آلات در آب فراهم باشد.

### ۵-۲-۳-۲- ملزومات عملیاتی و ایمنی طرح

ملزومات تخلیه، بارگیری و انباشت کردن مصالح بسته به روش حمل و نقل انتخاب شده متغیر است. اما برخی از شاخص‌های کارکرد مناسب در زمینه کنترل کیفیت، ایمنی و بهداشت در تمامی روش‌ها الزامی و مشترک است که نمونه‌هایی از آنها در ادامه آورده شده است:

- محدوده انتخاب شده باید تا حد امکان مسطح و بدون موانع، خدمات زیر زمینی، مخروبه و زباله باشد. این امر به ویژه در صورت استفاده از جرثقیل اهمیت بیش‌تری می‌یابد.
- باید از ورود افراد متفرقه جلوگیری شود.
- به منظور جلوگیری از اختلاط سنگ‌های آرمور با دانه‌بندی‌های مختلف، سطح زمین باید با ماسه تمیز مسطح شود.
- روشنایی محوطه‌ها در شب باید به خوبی تامین شود.
- ماشین‌آلات بارگیری باید به میزان کافی برای بارگیری مصالح با دانه‌بندی‌های مورد نیاز تدارک دیده شود. این ماشین‌آلات باید مجهز به وسایل ایمنی، هم برای خود راننده و هم برای دیگر کارگران حاضر در محوطه باشند. در صورت امکان ماشین‌آلات پشتیبانی مناسب نیز تدارک دیده شود.
- در صورت امکان و به منظور کنترل ترافیک، شرایط دور زدن یک طرفه ایجاد شود.
- تجهیزات متحرک باید به هشداردهنده‌های صوتی و دوربین‌های حرکت دنده عقب مجهز باشند.
- به منظور نظارت بر ایمنی و بهداشت و نیز کنترل کیفیت اجرای سازه ساحلی، باید از کارشناسان باتجربه در جابه‌جایی مصالح استفاده نمود.
- تمامی کارکنان باید مطابق قانون از تجهیزات ایمنی استفاده کنند و پوشش آنها به گونه‌ای باشد که به راحتی قابل تشخیص باشند.
- هر وسیله نقلیه زمینی، شناور یا واگنی که محوطه بارگیری را ترک می‌کند، باید دارای مستندات روشنی از نوع محصولی که حمل می‌کند، منبع محصول، حجم، تاریخ، مقصد حمل و نقل و مانند این‌ها باشد.
- هنگام عملیات بارگیری، حمل و نقل و تخلیه ضرورت دارد حفاظت از زیستگاه‌ها و نواحی حساس زیست محیطی مدنظر قرار گیرد.

### ۵-۲-۴- امکانات موردنیاز برای بارگیری و تخلیه

تخلیه و بارگیری مصالح هم نیازمند زیرساخت‌ها و هم نیازمند تجهیزات است. بارگیری شناورها معمولا فعالیتی ۲۴ ساعته است به جز در مواردی که سطح آب بالا یا پایین در دامنه کشندی منطقه مورد نظر اجازه فعالیت را ندهد. در زمان انتخاب تجهیزات و ماشین‌آلات مورد استفاده برای بارگیری، باید اندازه بارج، راه دسترسی و اندازه و وزن خالص تجهیزات بارگیری مورد توجه قرار گیرد. معمولا تیم‌های کاری متنوعی برای کار به صورت پیوسته یا در زمان‌های مختلف مورد نیاز خواهد بود.

omoorepeyman.ir

جزییات انواع ماشین‌آلات و تجهیزات مورد استفاده در عملیات اجرایی و حمل و نقل مصالح از راه خشکی، دریا یا به طور ترکیبی در بخش بعد ارائه شده است.

## ۵-۳- تجهیزات و ماشین‌آلات اجرایی

### ۵-۳-۱- کلیات

این بخش به مرور کلی تجهیزات و ماشین‌آلات مورد استفاده برای قراردهی سنگ‌های آرمور در سازه‌های ساحلی و توضیح روش‌های اجرای از خشکی و دریا می‌پردازد. یکی از عوامل مهمی که در انتخاب نوع تجهیزات تاثیر می‌گذارد، تفاوت بین تخلیه مستقیم توده‌ای مصالح همانند اجرای مغزه موج‌شکن و استقرار کنترل شده قطعات منفرد همانند لایه آرمور و فیلتر می‌باشد.

در اجرای از خشکی، برای تخلیه مستقیم مصالح می‌توان از کامیون کمپرسی[1] و در صورت لزوم ترکیب آن با بولدوزر، لودر، بیل مکانیکی و جرثقیل کابلی استفاده نمود. برای استقرار کنترل شده و قطعه به قطعه سنگ‌ها می‌توان از جرثقیل‌های هیدرولیکی و بیل‌های مکانیکی استفاده نمود که برای قطعات آرمور بتنی بیش‌تر از جرثقیل‌های کابلی استفاده می‌شود.

در مورد اجرای از دریا، انواع شناورهای زیر برای تخلیه مستقیم مصالح استفاده می‌شود:

- بارج های از کف بازشو[2]، شناورهای تخلیه سنگ از کنار[3]
- بارج‌های جرثقیل دار[4] همراه با محفظه سنگ[5]
- بارج‌های با عرشه تخت[6] با لودرهای چرخدار[7]

در موارد استقرار کنترل شده، تجهیزات زیر می‌توانند استفاده شوند:

- شناورهای تخلیه سنگ از کنار
- پانتون‌های همراه با بیل مکانیکی هیدرولیکی یا جرثقیل کابلی
- شناورهای دارای لوله پایین‌رونده انعطاف پذیر
- لایروب‌های مکشی دارای محفظه[8] که برای ریختن شن با استفاده از لوله تجهیز شده‌اند.

1- Dump Truck
2- Split-Hopper Barge
3- Side-Stone Dumping
4- Crane Barge
5- Rock Tray
6- Flat-Top Barge
7- Wheel Loader
8- Trailing Suction Hopper Dredger

omoorepeyman.ir

## ۵-۳-۲- ماشین آلات اجرای از خشکی

### ۵-۳-۲-۱- تخلیه توده‌ای مصالح

مصالح سنگی مستقیما و به صورت توده‌ای با استفاده از کامیون‌های کمپرسی، لودرها، بیل‌های مکانیکی هیدرولیکی و یا جرثقیل‌های کابلی ریخته می‌شوند. در جدول (۵-۳) برخی از تجهیزات معمول اجرای از خشکی که برای ریختن مصالح استفاده می‌شود، ارائه شده است. قدرت موتور، ظرفیت، وزن و عرض عملکرد ماشین‌آلات به صورت تقریبی برای ماشین‌آلات کوچک تا بسیار بزرگ در این جدول آورده شده است. نوع ماشین‌آلات مورد نیاز به اندازه و شرایط کارگاه بستگی دارد.

**جدول ۵-۳- مروری بر انواع ماشین آلات و محدوده قدرت، جرم، ظرفیت و عرض آنها**

| ماشین آلات | قدرت موتور (اسب بخار) | وزن ماشین (تن) | ظرفیت | عرض ماشین (متر) |
|---|---|---|---|---|
| بولدوزر | ۱۴۰-۴۱۰ | ۱۷-۷۹ | - | ۳/۲۶-۴/۳۱ |
| بیل مکانیکی | ۱۴۰-۵۱۵ | ۲۲-۸۵ | ۱/۲-۴/۶ m3 | ۲/۸۰-۳/۵۰ |
| لودر | ۲۳۵-۴۷۵ | ۲۳-۵۵ | ۳/۶-۶/۶ m3 | ۳/۱۵-۳/۹۰ |
| کامیون کمپرسی کمرشکن | ۲۸۰-۴۱۵ | ۲۳-۳۵ | ۲۳/۶-۳۸/۱ t | ۲/۹۰-۳/۴۵ |
| کامیون کمپرسی کارگاهی | ۴۸۵-۷۳۰ | ۲۴-۷۶ | ۳۹/۳-۶۶/۵ t | ۵/۰۰-۵/۱۰ |
| کامیون کمپرسی جاده‌ای | ۲۲۵-۳۷۵ | ۱۲-۲۰ | ۱۲/۵-۲۵/۰ t | ۲/۵۵ |
| جرثقیل کابلی و قلابدار | ۱۵۰-۳۷۵ | ۵۰-۱۶۰ | ۶۵-۳۲۵ tm | ۴/۳۰-۶/۴۵ |
| جرثقیل بالابر | ۳۵۰-۷۵۰ | ۱۵۰-۳۵۰ | ۵۰۰-۱۵۰۰ tm | ۶/۰۰-۸/۵۰ |

نکته: یک اسب بخار برابر با ۰/۷۴۶ کیلو وات می‌باشد.

### ۵-۳-۲-۲- استقرار کنترل شده مصالح

استقرار کنترل شده به استقرار توده‌ای سنگ‌های آرمور با مقادیر نسبتا کوچک در هر قراردهی یا قراردهی قطعه به قطعه سنگ‌های سنگین‌تر گفته می‌شود.

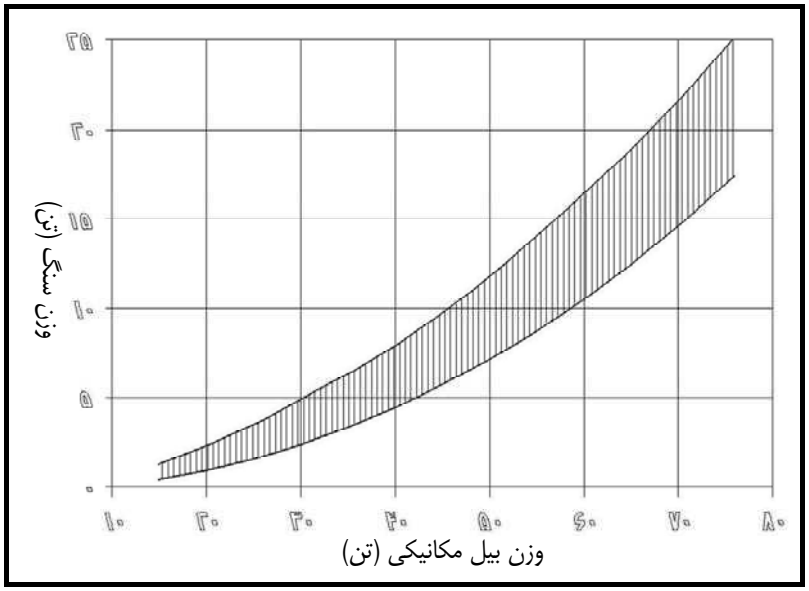
ماشین‌آلاتی که برای این نوع استقرار به کار می‌رود بیل مکانیکی هیدرولیکی یا جرثقیل کابلی می‌باشد. برای استقرار دوره‌ای مقادیر نسبتا کوچک سنگ‌های آرمور، استفاده از بیل‌های مکانیکی به دلیل سرعت عمل بالای آنها مناسب‌تر می‌باشد. بیل‌های مکانیکی معمولا با یک چنگال تجهیز می‌شوند تا در توده مصالح مغزه تخلیه شده توسط کامیون فرو رود. هم‌چنین یک جام[1] یا ماشین با دسترسی طولانی[2] برای این منظور می‌تواند استفاده شود. جرثقیل‌های کابلی برای سنگ‌های سنگین و استقرار سنگ‌ها در فواصل دورتر مناسب می‌باشند. بلند کردن قطعات منفرد سنگ‌های آرمور به اندازه سنگ و ملزومات جابجایی بستگی دارد. شکل (۵-۲) اندازه بیل مکانیکی مورد نیاز برای قراردهی یک سنگ آرمور با وزن مشخص و طول استقرار بیشینه بیل مکانیکی مورد نظر را نشان می‌دهد. وزن، طول دسترسی و گشتاور بالابرنده[3] بیل‌های مکانیکی و جرثقیل‌های کابلی به همدیگر وابسته می‌باشد. جدول (۵-۴) برخی از این روابط را نشان می‌دهد.

1- Bucket
2- Long-Reach
3- Hoist

omoorepeyman.ir

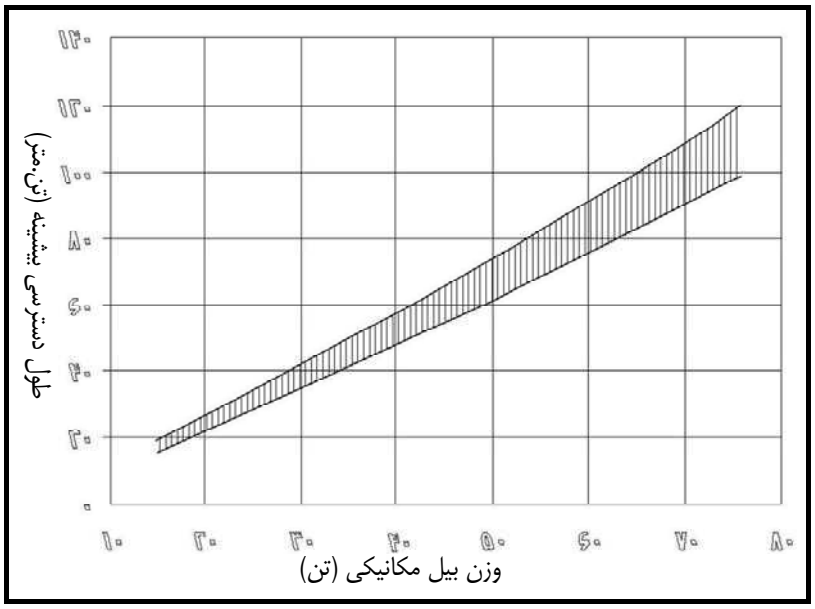
**جدول ۵-۴- روابط بین مشخصه‌های مختلف ماشین آلات**

| مشخصه | واحد | رابطه |
|---|---|---|
| وزن قلاب هیدرولیکی[1] | کیلوگرم | ۱۹۱۰- (حجم گراب بر حسب لیتر) × ۳/۲۵ |
| وزن چنگال بالابرنده | کیلوگرم | ۲۰۰+ (وزن بیل بر حسب تن) × ۵۵ |
| وزن قلاب بسته شده | کیلوگرم | (حجم گراب بر حسب لیتر) × ۳/۵ |
| وزن قلاب باز | کیلوگرم | (حجم گراب بر حسب لیتر) × ۲/۵ |
| دسترسی بیل مکانیکی | متر | (وزن بیل بر حسب تن) × ۰/۰۶ + ۵/۸۰ |
| ممان بالابرنده رو به جلو[2] | تن- متر | ۲/۳۰+ (وزن بیل بر حسب تن) × ۱/۶۰ |
| ممان بالابرنده رو به کنار[3] | تن- متر | ۷/۶۰ - (وزن بیل بر حسب تن) × ۱/۲۰ |
| دسترسی جرثقیل کابلی | متر | ۰/۴ (وزن جرثقیل بر حسب تن) × ۵/۲۰ |
| ممان بالابرنده جرثقیل کابلی | تن- متر | ۱/۳۱ (وزن جرثقیل بر حسب تن) × ۰/۴ |
| چنگال‌های هدایت شونده توسط کابل برای جرثقیل‌های کابلی:<br>Close - tine grab<br>Open - tine grab | <br>تن<br>تن | <br>(حجم گراب بر حسب مترمکعب) ×۳/۵<br>(حجم گراب بر حسب مترمکعب) ×۲/۵ |
| چنگال‌های هیدرولیکی در بیل‌ها:<br>Close- tine grab<br>Open- tine grab<br>Power fork | | <br>(حجم گراب بر حسب مترمکعب) ×۲/۲۵<br>(حجم گراب بر حسب مترمکعب) ×۱/۵۵<br>(وزن بیل بر حسب تن) ×۰/۰۶ |




1- Hydraulic Grapple
2- Hoist Moment Over Front
3- Hoist Moment Over Side

omoorepeyman.ir

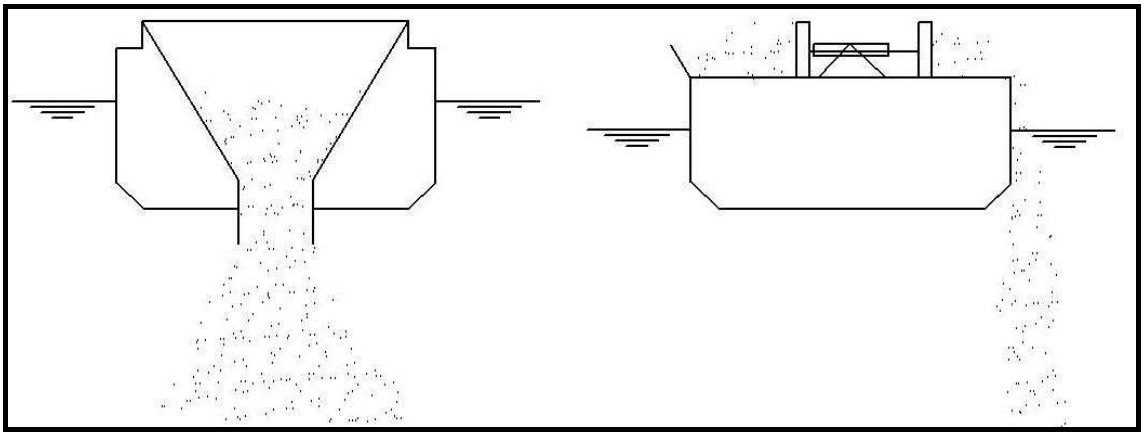



**شکل ۵-۲- رابطه بین وزن بیل مکانیکی با وزن سنگ قابل حمل و طول دسترسی بیشینه**

## ۵-۳-۳- ماشین آلات اجرای از دریا

### ۵-۳-۳-۱- تخلیه توده‌ای مصالح

خلاصه‌ای از مهم‌ترین ماشین‌آلات اجرای از دریا که برای تخلیه مصالح به کار می‌روند در بخش «۵-۳-۱-کلیات» ارائه شده‌اند. فرآیند تخلیه مصالح در اجرای از دریا به عواملی همچون نوع ماشین‌آلات استفاده شده، عمق آب، سرعت جریان و مشخصات سنگ از قبیل چگالی، دانه‌بندی، اندازه و شکل سنگ‌ها بستگی دارد. بارج‌های مورد استفاده برای این کار معمولا برای تخلیه مقادیر زیادی از مصالح توده‌ای برای نمونه در مغزه موج‌شکن‌ها که دقت کم‌تری در مورد ترازها مورد نیاز است به کار گرفته می‌شوند.



**شکل ۵-۳- انواع بارج‌های خود تخلیه برای تخلیه مستقیم مصالح توده‌ای**

برای جلوگیری از پخش شدن مصالح استفاده از این شناورها به سنگ‌های نسبتا درشت محدود می‌شود. از طرف دیگر به منظور جلوگیری از وارد شدن آسیب به کف شناور نمی‌توان از این شناورها برای سنگ‌های خیلی سنگین استفاده نمود. این شناورها معمولا

omoorepeyman.ir

می‌توانند تا حدود ۹۰۰ تن بار را حمل نموده و بنابراین نیازمند عمق آب کافی زیر بارج می‌باشند. در شکل (۵-۳) طرح شماتیک انواع بارج‌های خود تخلیه[1] که برای ریختن مصالح توده‌ای به کار می‌روند نشان داده شده‌اند.

### ۵-۳-۳-۲- قراردهی کنترل شده مصالح

**- بارج تخلیه سنگ از کنار**

تخلیه کنترل شده مقادیر نسبتا زیادی از مصالح سنگی یکی از ویژگی‌های مهم این بارج‌ها می‌باشد. سنگ‌های آرمور یا از روی عرشه بارگیری شده با استفاده از بولدوزر به سمت بیرون هل داده می‌شوند و یا توسط صفحات لرزشی[2] یا زنجیر از روی عرشه منتقل و به پایین تخلیه می‌شوند. سرعت بیرون راندن سنگ‌های آرمور از روی عرشه پارامتر مهمی است که روی کیفیت فرآیند تخلیه به ویژه ضخامت لایه تاثیر می‌گذارد.

بسته به ملزومات اجرایی، مصالح سنگی می‌توانند در لایه‌هایی با جرم مشخص در متر مربع همانند کارهای حفاظت بستر یا در پشته‌هایی نسبتا باریک با ضخامت مشخص همانند پوشش‌های خطوط لوله ریخته شوند.

**- بارج‌های تخت همراه با لودر یا بیل مکانیکی**

این بارج‌ها برای استقرار مقادیر نسبتا زیادی سنگ با دقت بالا به کار می‌روند. موقعیت این بارج‌ها با استفاده از یک سامانه‌ی متشکل از کابل‌های مهاربندی و وینچ‌های روی عرشه پایدار می‌گردد. هم‌چنین این بارج‌ها می‌توانند به پروانه‌های ویژه برای حرکت جانبی و سامانه‌ی جای‌گیری دینامیک مجهز گردند. مزیت بارج‌های تخت در مقایسه با دیگر بارج‌ها این است که به تجهیزات ویژه کم‌تری نیاز دارند و به همین دلیل در مواردی که تجهیزات ویژه کم‌تر در دسترس هستند به کار برده می‌شوند. هم‌چنین می‌توان از این ماشین‌آلات برای استقرار مصالح سنگی با دانه‌بندی متفاوت هنگام یک عملیات تخلیه استفاده نمود. ظرفیت این بارج‌ها بسیار زیاد بوده و گاه تا ۵۰۰۰ تن می‌رسد.

**- پانتون یا شناور همراه با جرثقیل کابلی[3]**

با استفاده از این ماشین‌آلات در هر چرخه بارگیری و تخلیه مقادیر کمی از مصالح سنگی قرار داده شده و سنگ‌های بزرگ‌تر به صورت منفرد (قطعه به قطعه) قرار داده می‌شوند. برای نمونه، مصالح حفاظت بستر برای پایه‌های پل باید در مقادیر کمی قرار داده شوند. در این موارد استفاده از شناورهای تخلیه سنگ از کنار ممکن است به دلایل زیر از ارجحیت کم‌تری برخوردار باشد:

- سطح مانور محدود است
- مقدار کل کار مورد نیاز کم می‌باشد بنابراین استفاده از شناورهای یاد شده غیر اقتصادی است.

شناورهای مجهز به جرثقیل‌های کابلی را هم‌چنین می‌توان به عنوان گزینه‌ای جایگزین برای ماشین‌آلات اجرای از خشکی در چیدن شیب‌های کناری موج‌شکن‌ها و خاکریزهای ساحلی در مواقعی که طول دسترسی بسیار زیاد است استفاده نمود. بارج‌های مجهز به جرثقیل هم‌چنین می‌توانند برای اجرای موج‌شکن‌های مستغرق استفاده شوند.

1- Self-Unloading
2- Vibrating Floor
3- Wire-Rope Crane

omoorepeyman.ir

## ۵-۳-۴- شرایط کاری

### ۵-۳-۴-۱- شرایط کاری در عملیات اجرای از خشکی

از تخلیه مستقیم مصالح می‌توان برای رسیدن به شیب‌های طبیعی در حدود ۱ به ۱/۳ که تقریبا برابر با زاویه قرار[1] مصالح درشت‌دانه می‌باشد استفاده نمود. این مورد در مواقعی که از کامیون‌های کمپرسی یا لودرها استفاده می‌شود اهمیت دارد. در این موارد شیب بیرونی دارای سطحی نامنظم خواهد بود. از تخلیه مستقیم مصالح می‌توان برای اجرای مغزه موج‌شکن‌ها یا خاکریزهای اولیه کارهای حفاظت ساحل استفاده نمود که در مراحل بعدی مرتب شده یا با لایه‌های دیگری پوشانده می‌شود. در شرایطی که طول شیب خیلی زیاد نباشد و میانگین سنگ‌ها خیلی بزرگ نباشد (برای نمونه بیش از ۲ تن نباشد) می‌توان مرتب کردن و پوشاندن شیب را با استفاده از کج بیل‌های هیدرولیکی انجام داد. برای مرتب کردن شیب‌های طولانی‌تر می‌توان از دراگ‌لاین استفاده نمود. در مواقعی که مرتب کردن شیب همزمان با تخلیه مستقیم مصالح توسط کامیون‌ها انجام می‌شود، باید فضای کافی برای عبور کامیون‌ها از کنار بیل مکانیکی در حال کار فراهم باشد. برای تخلیه مستقیم فراتر از شیب‌های طبیعی، ممکن است استفاده از بیل‌های مکانیکی با بازوهای بلندتر ضرورت یابد.

تخلیه مستقیم مصالح با دانه‌بندی گسترده[2] (به ۶-۳-۱-۴ مراجعه شود) می‌تواند به مشکلات جداشدگی[3] منجر شود. بدین معنی که سنگ‌های بزرگ‌تر به سمت پایین شیب حرکت کرده و قسمت‌های کوچک‌تر در بالا باقی می‌مانند که در نتیجه یک فیلتر ضعیف در بستر دریا شکل می‌گیرد. در مواردی که حجم‌های بزرگی از سنگ ریخته می‌شود، همانند مغزه موج‌شکن‌ها یا خاکریزهای ساحلی، مساله جداشدگی اهمیت کم‌تری دارد.

### ۵-۳-۴-۲- شرایط کاری در عملیات اجرای از دریا

در همه عملیات‌های اجرای از دریا، شرایط ساختگاه تاثیر زیادی روی برنامه‌ریزی می‌گذارد. در این زمینه باید بین شرایطی که روی عملیات تاثیر داشته و شرایطی که روی فرآیند استقرار سنگ‌ها تاثیر مستقیم دارند تفاوت قائل شد.

**- شرایط عملیاتی ساختگاه**

برای عملیات اجرای از دریا، شرایط ساختگاه به صورت زیر می‌باشند:

**• شرایط جریان، موج و باد**

ریختن مصالح باید تا حد امکان هنگام آرام بودن دریا انجام شود. در این شرایط تعیین موقعیت شناور تا حد زیادی در اختیار کاپیتان می‌باشد. هنگام ریختن مصالح در شرایط وجود جریان، افزون بر مشکلات جابجایی و پخش مصالح در جهت جریان، به احتمال زیاد مقدار قابل توجهی جداشدگی نیز در مصالح رخ خواهد داد.

1- Angle of Repose
2- Wide Grading
3- Segregation

omoorepeyman.ir

**• عمق آب**

برای سازه‌هایی که در آب‌های نسبتا کم عمق اجرا می‌شوند و برای همه انواع بارج‌ها و شناورهای تخلیه سنگ، ارتفاع بیشینه تخلیه مصالح به سه عامل زیر بستگی دارد:

- **عمق آبخور** بیشینه شناور به علاوه یک فاصله ایمنی برای حرکات عمودی. بیش‌ترین تراز کاربردی برای این معیار حدود ۳ متر زیر سطح آب می‌باشد. بارج‌های از کف باز شو به دلیل فضای لازم برای باز شدن درهای زیر بارج، نیازمند فاصله بیش‌تری می‌باشند. این معیار برای کارهای حفاظت بستر در آب‌های کم عمق، کف‌بندها[1] و خاکریزهای ساحلی نیز کاربرد دارد.
- **اتلاف مصالح** اتلاف مصالح، به ویژه در طوفان‌های زمستانی باید تا میزان قابل قبولی محدود گردد. برای مصالح مغزه تغییر شکل مقطع تا شکل نهایی ممکن است قابل قبول باشد.
- **فضای مانور** فضای مانور موجود و نیز وجود سازه‌ها ممکن است استفاده از تجهیزات شناور را محدود نماید.

**• تاثیرات فصلی**

ممکن است در طول فصل زمستان، دوره‌های مانسون، شرایط امواج شدید و بده‌های بالای رودخانه‌ها که اتلاف مصالح در حد غیر قابل قبول است، اجرای سازه‌ها مجاز نباشد. اگر اجرای سازه چندین فصل به طول انجامد ممکن است برای جلوگیری از فرسایش سازه در فصول پاییز و زمستان، لایه‌های محافظ موقتی به کار برده شوند.

**- شرایط موثر بر استقرار سنگ**

هدف از تخلیه مصالح معمولا استقرار حجم مشخصی سنگ و تشکیل یک نیمرخ از پیش تعیین شده در موقعیتی خاص روی بستر می‌باشد. مقدار سنگ می‌تواند با استفاده از جرم (کیلوگرم بر متر مربع) یا ضخامت لایه (متر) مشخص شود. دقت تخلیه مصالح به صورت تفاوت بین نیمرخ مورد انتظار و نیمرخ ریخته شده بیان می‌شود. افزون بر نوع ماشین‌آلات، این دقت به شرایط باد و موج، عمق آب، سرعت جریان و دانه‌بندی سنگ بستگی دارد.

**• شرایط باد و موج**

امواج محلی با زمان تناوب‌های کوتاه (زمان تناوب بین ۲ تا ۶ ثانیه) که طول موج کوتاهی دارند، در مقایسه با امواج دورآی با زمان تناوب‌های بلند تاثیر کم‌تری روی بارج یا شناور و فرآیند تخلیه سنگ می‌گذارند. به صورت کلی می‌توان گفت تخلیه مصالح در مواقعی ممکن است که ارتفاع امواج محلی از ۱ تا ۱/۵ متر بیش‌تر نباشد. در شرایط امواج دورآ، ارتفاع امواج بیش از ۰/۵ متر می‌تواند فرآیند تخلیه را محدود سازد.

جدول (۵-۵) شرایط امواج را برای کارآیی انواع شناور نشان می‌دهد. در این جدول بین تخلیه توده‌ای مصالح همانند مغزه و استقرار کنترل شده تفاوت وجود دارد. در تخلیه توده‌ای مصالح حجم‌های بیش‌تری از مصالح با دقت کم‌تر مد نظر است در حالی که در استقرار کنترل شده حجم‌های کم‌تری از سنگ یا حتی قطعات منفرد مورد نظر هستند.

1- Apron

omoorepeyman.ir

**• عمق آب**

عمق آب عامل مهمی است که روی «عرض پخش شدگی»[1] مصالح سنگی (y) در بستر دریا تاثیر می‌گذارد (به شکل ۵-۵ مراجعه شود). رفتار سنگ‌های در حال سقوط هنگام تخلیه مستقیم مصالح با استقرار کنترل شده مصالح متفاوت است. در استقرار کنترل شده، سرعت سقوط سنگ‌های منفرد پارامتر مهمی در فرآیند است درحالی‌که برای تخلیه مستقیم، توده سنگ‌های در حال سقوط همانند یک مخلوط آب و سنگ با چگالی بالا عمل می‌کنند. سرعت سقوط بالای این مخلوط که ممکن است از سرعت سقوط سنگ‌های منفرد هم بیش‌تر باشد، ضربه شدیدی به بستر دریا وارد می‌کند. پس از برخورد با بستر مصالح معمولا پخش شده و مقدار آنها در نقطه دلخواه کم می‌شود.

رابطه زیر یک مقدار تقریبی برای عرض پخش شدگی مصالح سنگی در حالت قراردهی کنترل شده با استفاده از شناور تخلیه از کنار به دست می‌دهد:

$$y = a\sqrt{h} \qquad (۱-۵)$$

که در آن y عرض پخش شدگی مصالح سنگی (متر) و h عمق آب (متر) می‌باشد. مقدار a برابر با ۱/۹ برای سنگ معدن زاویه‌دار و ۲/۲ برای سنگ‌های گرد گوشه می‌باشد.

نکته: مقدار y برای تخلیه مستقیم بسیار بیش‌تر از تخلیه کنترل شده می‌باشد.

**• جریان‌ها**

برای آن‌که مرکز جرم توده تخلیه شده در فاصله $x$ متری از محل اولیه تخلیه ($x_0$) قرار گیرد، عامل تعیین کننده سرعت سقوط قطعات منفرد سنگ می‌باشد.

**جدول ۵-۵- خلاصه‌ای از شرایط موج محدود کننده انواع مختلف شناور**

| نوع شناور | اندازه | اندازه | ارتفاع موج شاخص برای تخلیه توده‌ای | ارتفاع موج شاخص برای استقرار کنترل شده |
|---|---|---|---|---|
| بارج بزرگ مجهز به جرثقیل | ۲۰ × ۶۰ متر | جرثقیل ۱۵۰ تنی | ۰/۸ متر | ۰/۶ متر |
| بارج کوچک مجهز به جرثقیل | متر ۱۵ × ۴۰ | جرثقیل ۷۵ تنی | ۰/۶۵ متر | ۰/۵ متر |
| بارج مجهز به بیل مکانیکی بزرگ | متر ۱۲ × ۳۵ | بیل مکانیکی ۷۰ تنی | ۰/۶۵ متر | ۰/۵۰ متر |
| شناور تخلیه سنگ از کنار | ۶۵۰ تن | – | ۱/۲۵ متر | ۱/۰۰ متر |
| شناور تخلیه سنگ از کنار | ۱۴۰۰ تن | – | ۱/۵۰ متر | ۱/۲۵ متر |
| بارج از کف بازشو | ۸۰۰ تن | – | ۱/۵۰ متر | N/A |
| بارج از کف بازشو | ۲۰۰۰ تن | – | ۲/۰۰ متر | N/A |
| بارج تخت مجهز به لودر | ۲۰۰۰ تن | – | ۰/۸ متر | N/A |
| بارج با تخلیه لوله‌ای | متر ۱۷/۵ × ۵۰ | – | N/A | ۰/۶۵ متر |
| شناور با تخلیه لوله‌ای | ۱۰۰۰۰ تن | – | N/A | ۳/۵ متر |

نکات: مقادیر ارائه شده در جدول بالا تنها مقادیری کلی بوده و می‌توانند تحت عوامل زیر تغییر نمایند:

– زمان تناوب موج پارامتر مهمی می‌باشد. برای امواج با زمان تناوب کوتاه، ارتفاع موج شاخص قابل قبول می‌تواند بزرگ‌تر از ارتفاع موج برای امواج با زمان تناوب بلند باشد.

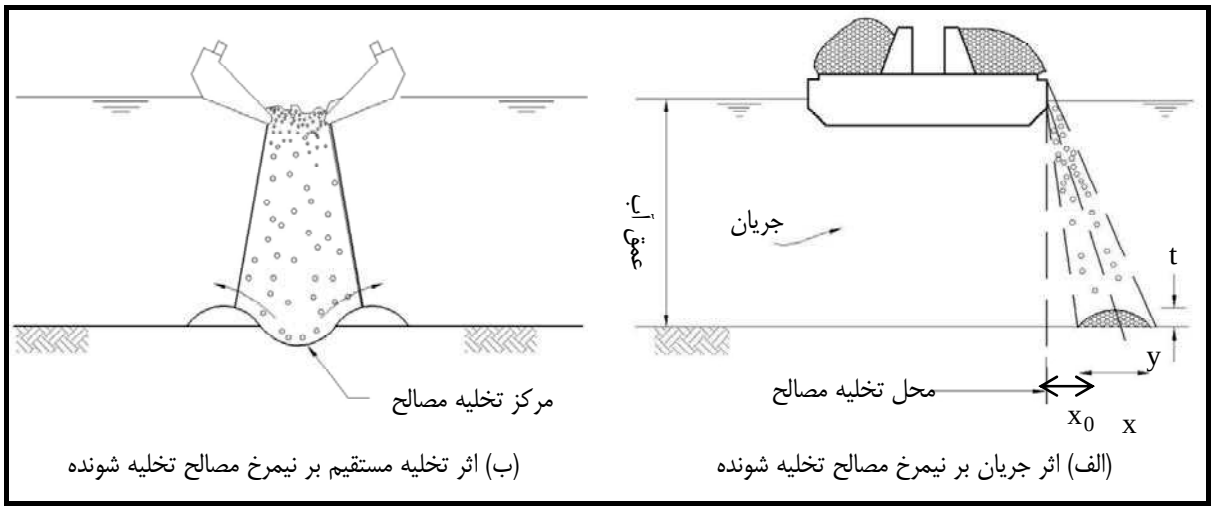
– موقعیت شناور، در مواقعی که سینه یا عقب شناور در معرض امواج قرار دارد ارتفاع موج شاخص قابل قبول می‌تواند بزرگ‌تر از مواقعی باشد که کناره کشتی در معرض امواج قرار دارد.

- ارتفاع موج شاخص، این مقدار می‌تواند در مواقع تخلیه یا استقرار سنگ‌های کوچک بیش‌تر باشد. احتمال خسارت با سنگ‌های بزرگ بیش‌تر است.

– نگه داشتن بارج دارای سنگ در کنار بارج مجهز به جرثقیل در شرایط بالا ممکن است نیازمند وینچ‌های کششی ثابت باشد.

1- Spreading Width

omoorepeyman.ir




(الف) اثر جریان بر نیمرخ مصالح تخلیه شونده (ب) اثر تخلیه مستقیم بر نیمرخ مصالح تخلیه شونده

**شکل ۵-۴- طرح شماتیک فرآیند کنترل تخلیه مصالح**

## ۵-۳-۵- رواداری‌های مجاز

منظور از رواداری[1]، میزان انحراف قابل قبول از وضعیت ایده‌آل است. شرط قابل قبول بودن با توجه به امکان‌پذیر بودن، میزان ضرورت یا میزان اقتصادی بودن یک وضعیت انتخاب می‌شود.

### ۵-۳-۵-۱- رواداری‌های مجاز در عملیات اجرای از خشکی

رواداری‌های مجاز در استقرار سنگ عمدتا بر اساس ملزومات کارکردی سازه تعیین می‌شوند. این ملزومات کارکردی به عوامل زیر بستگی دارند:

- پایداری سازه در برابر موج و جریان
- همواری لایه فیلتر، برای نمونه برای پی سازه‌های صندوقه‌ای
- تامین عمق مورد نیاز ناوبری در مورد کارهای حفاظت بستر
- جنبه‌های زیبایی شناختی

میزان رواداری که می‌توان به آن دست یافت، در ابتدا به نوع ماشین‌آلات و روش استقرار مورد استفاده و نیز اندازه و شکل سنگ‌ها بستگی دارد (به جدول ۵-۶ مراجعه شود).

1- Tolerance

omoorepeyman.ir

**جدول ۵-۶- رواداری عمودی کاربردی قابل دسترس با ماشین‌آلات اجرای از خشکی**

| عمق استقرار سنگ نسبت به آب پایین | استقرار توده ای سنگ‌ها | | لایه‌های آرمور و استقرار کنترل شده سنگ با Mem>300kg | |
|---|---|---|---|---|
| | Mem<300kg | Mem>300kg (به جز لایه آرمور) | اندازه‌گیری موردی سنگ | اختلاف نیمرخ متوسط اجرا شده با نیمرخ طراحی |
| بالای آب پایین (خشکی) | +۰/۲ متر تا −۰/۲ متر | +۰/۴ متر تا −۰/۲ متر | $\pm$ ۰/۳ $D_{n50}$ | +۰/۳۵ تا −۰/۲۵ $D_{n50}$ |
| ۰ تا ۵− متر | +۰/۵ متر تا −۰/۳ متر | +۰/۸ متر تا −۰/۳ متر | $\pm$ ۰/۵ $D_{n50}$ | +۰/۶ تا −۰/۴ $D_{n50}$ |
| ۵− تا ۱۵− متر | − | +۱/۲ متر تا −۰/۴ متر | − | − |
| زیر ۱۵− متر | − | +۱/۵ متر تا −۰/۵ متر | − | − |

نکات:

۱- $M_{em}$، جرم میانگین موثر می‌باشد.

۲- حتی اگر سنگ‌های استقرار یافته دارای دانه‌بندی استاندارد نباشند، رواداری‌های بالا قابل کاربرد هستند.

۳- همه رواداری‌ها بر اساس اختلاف بین نیمرخ طراحی و نیمرخ متوسط اجرا شده‌اند مگر این‌که به گونه دیگری اشاره شود.

۴- رواداری‌های موجود در دو نیمرخ میانگین متوالی باید مثبت باشند.

۵- بدون توجه به انباشت رواداری‌های مثبت از لایه‌های فیلتر، ضخامت لایه نباید کم‌تر از ۸۰ درصد ضخامت اسمی‌باشد که با استفاده از نیمرخ اجرا شده میانگین محاسبه می‌شود. در مواردی که انباشت رواداری‌های مثبت زیاد شده و از نظر طراح قابل قبول باشد، موقعیت نیمرخ طراحی نیاز به اصلاح دارد.

## ۵-۳-۵-۲- رواداری‌های مجاز در عملیات اجرای از دریا

چنانچه پیش از این گفته شد، رواداری استقرار سنگ‌ها باید با توجه به ملزومات کارکردی سازه تعیین شده و بر همین اساس روش اجرا انتخاب شود. هر چه این ملزومات بیش‌تر باشد، روش اجرا باید پیچیده‌تر باشد. اگرچه جنبه‌های دیداری و زیبایی‌شناختی در مورد سازه‌های زیر آب اهمیت ندارد، هموار بودن مقطع می‌تواند مهم باشد. برای نمونه، ممکن است ملاحظات ناوبری مشخص کند که سنگ‌های منفرد در کارهای حفاظت بستر، بالاتر از تراز طراحی قرار نگیرند. رواداری‌هایی که برای ضخامت لایه در نظر گرفته می‌شود باید به‌گونه‌ای باشد که آبخور کافی برای شناور تامین گردد. هم‌چنین در مورد ملزومات فیلتر، حداقل ضخامت لایه باید تامین گردد.

هنگام استفاده از ماشین‌آلات مناسب اجرای از دریا، رواداری‌های عمودی داده شده در جدول (۵-۶) برای اجرای از خشکی، می‌تواند امکان‌پذیر باشد. رواداری‌های عمودی برای اجرای نیمرخ‌ها و ضخامت لایه‌های مغزه، لایه‌های فیلتر و آرمور با استفاده از ماشین‌آلات اجرای از دریا در جدول (۵-۷) ارائه شده‌اند.

**جدول ۵-۷- رواداری‌های عمودی در استقرار سنگ که در عمل می‌توان با تجهیزات اجرای از دریا به آنها دست یافت**

| دانه‌بندی | شناور تخلیه سنگ از کنار و بارج مجهز به جرثقیل | |
|---|---|---|
| | منفرد | توده‌ای |
| درشت | N/A | ±۰/۲۰ m |
| سبک | N/A | ±۱ $D_{n50}$ |
| سنگین<br>300 – 1000 kg<br>>1000kg | ±۰/۸ $D_{n50}$<br>±۰/۸ $D_{n50}$ | $\pm$ ۰/۵ $D_{n50}$<br>N/A |

نکات:

۱- مقادیر رواداری‌های ارائه شده در جدول بالا با توجه به کیفیت ماشین‌آلات، مهارت راننده و مواردی همچون وجود امواج دورآ، جریان‌ها و میزان شیب تعیین شده است.

۲- مقادیر بالا مجموع رواداری‌های اجرا و اندازه‌گیری می‌باشند.

omoorepeyman.ir

## ۵-۴- شیوه‌های حمل و نقل مصالح

انتقال مصالح مورد استفاده برای کارهای دریایی توسط جاده، راه‌آهن یا آب انجام می‌شود. افزون بر این، هر یک از شیوه‌های انتقال مصالح می‌تواند به صورت زیر تقسیم‌بندی شود:

- شیوه‌هایی که در آنها مصالح تنها به محل ساختگاه تحویل داده می‌شود.
- شیوه‌هایی که در آنها ابزار انتقال به عنوان یکی از روش‌های ساخت نیز استفاده می‌شود.

نمونه‌هایی از موارد بالا عبارتند از: مصالح توسط راه آهن به محل ساختگاه منتقل می‌شوند، در ساختگاه باربرداری شده و بار کامیون‌ها می‌شوند تا به محل استقرار برده شوند. در مورد جابجایی‌های دریایی، مصالح توسط شناورهای بزرگ تا نزدیکی ساختگاه آورده شده و سپس به شناورهای کوچک که توانایی نزدیک شدن به ساحل و یا حتی استقرار مصالح را دارند، منتقل می‌شوند.

انتخاب سامانه‌ی حمل و نقل مصالح در برنامه‌ریزی فاز اجرایی پروژه بسیار اساسی می‌باشد، بنابراین فرآیند تصمیم‌گیری نباید تنها بر اساس قیمت انجام شود بلکه باید عوامل زیر نیز در نظر گرفته شوند:

- فاصله از معدن سنگ
- وجود زیرساخت‌ها در ساختگاه
- موقعیت و جغرافیای ساختگاه
- نرخ ترجیحی جابجایی مصالح
- قیود زیست محیطی
- دانه‌بندی و میزان سنگ مورد نیاز
- وجود تجهیزات و ماشین‌آلات مناسب حمل و نقل
- فصل اجرای پروژه (زمستان یا تابستان)

هنگام برنامه‌ریزی یک پروژه در صورتی که قرار باشد جنبه‌های زیست محیطی، اقتصادی، ایمنی و بهداشت بهینه شوند، هر یک از عوامل بالا باید به دقت در نظر گرفته شوند.

### ۵-۴-۱- حمل و نقل جاده‌ای

برای حمل و نقل سنگ‌های معدنی معمولا وسایل نقلیه زیر استفاده می‌شوند:

**- تریلی کفی**

تریلی‌های کفی تنها برای انتقال قطعات منفرد سنگ به کار برده می‌شوند و معمولا بلوک‌های سنگین‌تر از ۳ تن با این وسیله حمل می‌شوند (شکل ۵-۵). بیشینه ظرفیت بار مجاز این تریلی‌ها در کشورهای مختلف متفاوت است.

در محل تحویل باید عملیات باربرداری سازماندهی شود و معمولا با استفاده از بیل مکانیکی یا لودر چرخ لاستیکی چنگک‌دار انجام می‌شود (تریلی‌های کفی معمولا تریلرهای کمرشکنی هستند که توسط کشندها کشیده می‌شوند که می‌تواند دسترسی به ساختگاه را مشکل نماید).

omoorepeyman.ir

برای باربرداری سنگ‌ها می‌توان از زنجیر و قلاب نیز استفاده نمود که این گزینه به دلایل ایمنی و آسیب‌های پیش‌بینی نشده به ماشین‌آلات، گزینه برتر نبوده و پس از ارزیابی ریسک در برابر روش‌های بالا حذف می‌شود. در مورد تریلی‌های کفی خسارت‌های احتمالی به کف تریلی‌ها باید در نظر گرفته شود. افزون بر این، باید اطمینان حاصل شود که قطعات سنگ به خوبی بسته شده‌اند تا از افتادن آنها هنگام حمل و نقل و ریسک‌های پیامد آن برای افراد پیشگیری شود.

**شکل ۵-۵- تریلی کفی که برای حمل قطعات بزرگ سنگ استفاده می‌شود**

**شکل ۵-۶- تریلی کفی که برای انتقال آرمورهای بتنی استفاده می‌شود**

**- کامیون‌های کمپرسی با بدنه فولادی**

این کامیون‌ها می‌توانند برای حمل و نقل همه مصالح استفاده شوند اما میزان مراقبت مورد نیاز در آنها به اندازه بلوک‌های حمل شونده بستگی دارد. از آنجایی که ممکن است بیشینه بار مجاز کامیون‌ها بر اساس جرم کل کامیون تعیین شود باید بین مقاومت بدنه کامیون و جرم آن تعادل ایجاد شود. باربرداری این کامیون‌ها یا به صورت تخلیه در محل انباشت مصالح یا روی

omoorepeyman.ir

شناور و یا تخلیه مستقیم در محل کار (شکل ۵-۷) انجام می‌شود. هنگام تخلیه مصالح باید نسبت به عدم واژگونی کامیون اطمینان حاصل نمود. با وجود همه اقدام‌های پیشگیرانه، وارد شدن خسارت به بدنه فولادی کامیون اجتناب ناپذیر بوده و اقدامات محافظتی منظم ضروری می‌باشد.

**شکل ۵-۷- نمونه‌ای از کامیون‌ها که برای حمل و تخلیه مستقیم سنگ از معدن تا محل اجرا استفاده می‌شود.**

**- کامیون‌های کمپرسی با بدنه آلیاژ آلومینیومی**

بیش‌تر کامیون‌هایی که در حال حاضر در اروپا استفاده می‌شوند برای بهینه‌سازی وزن خالص کامیون در انتقال مواد غیرسایشی فله‌ای همچون سنگدانه‌ها، دارای بدنه‌های آلیاژی می‌باشند. به ندرت رخ می‌دهد که مصالح با وزن بیش از ۶۰ کیلوگرم را بتوان بدون ایجاد خسارت به بدنه این نوع کامیون‌ها حمل نمود.

ریسک خسارت به بدنه آلومینیومی و فولادی کامیون‌ها را می‌توان با استفاده از کج‌بیل‌ها برای بارگیری سنگ، کمینه نمود. لودرهای چرخ لاستیکی ضربه شدیدتری هنگام بارگیری به کامیون وارد می‌کنند. به منظور کاهش میزان خسارت به ماشین‌آلات، ضروری است تا برای بارگیری ماشین آلات رانندگان با تجربه استخدام شوند.

**- ماشین‌آلات درون ساختگاه**

این ماشین‌آلات بر اساس شرایط مورد نظر، می‌توانند با هر اندازه و ترکیبی باشند. امروزه کامیون‌های کمپرسی چند دیفرانسیلی (AWDT) با ظرفیت های ۲۵ تا ۴۰ تن به عنوان گزینه‌ای مدرن برای حمل و نقل جاده‌ای مطرح می‌باشند.

این کامیون‌ها امکان حمل و نقل سریع مصالح در زمین‌های ناهموار را فراهم ساخته و در شرایط محدود ساختگاه قابلیت مانور فراوانی دارند (شکل ۵-۸). برای کاهش عدم کارکرد این ماشین‌ها در اثر خسارت‌های وارده، بدنه این کامیون‌ها با صفحات فولادی مسلح می‌گردد.

omoorepeyman.ir

**شکل ۵-۸- نمونه‌ای از کامیون‌های کمپرسی چند دیفرانسیلی که برای اجرای موج‌شکن به کار می‌روند**

### ۵-۴-۲- حمل و نقل ریلی

تنها در پروژه‌های خیلی بزرگ، نصب یک خط آهن جدید برای حمل سنگ دارای توجیه می‌باشد. این نوع حمل و نقل در مواردی مناسب و جذاب است که معادن سنگی که خود دارای خط و سکوی راه آهن باشند شناسایی و انتخاب می‌شوند و نیز قابلیت استفاده از تاسیسات راه آهن در محدوده پیرامون ساختگاه پروژه وجود داشته باشد.

معمولا طول قطار مورد استفاده و پیامد آن مقدار کل مصالحی که می‌تواند در یک زمان حمل شود را اندازه تاسیسات باربرداری تعیین می‌کنند. وزن خالص بار هر واگن به متصدی خط آهن محلی و موارد قانونی زیرساخت‌ها بستگی دارد. محدودیت‌های احتمالی استفاده از شبکه راه آهن به دلیل تداخل زمانی با قطارهای مسافری و دیگر قطارهای باری باید در برنامه‌ریزی بررسی شود. برای نمونه در برخی کشورها اجازه تردد به قطارهای باری تنها در شب داده می‌شود که ممکن است امکان باربرداری و تخلیه قطار در سکو یا ساختگاه پروژه وجود نداشته باشد.

پیمانکار باید نسبت به ملزومات باربرداری از واگن‌های قطار توجه ویژه داشته باشد. این ملزومات به جانمایی سکو و تجهیزات کنار ریل، نوع واگن مورد استفاده، اندازه سنگ‌های حمل شونده و تجهیزات باربرداری موجود بستگی دارد. برای کمینه کردن ریسک خسارت وارده به واگن‌ها و اطمینان از وجود تجهیزات مناسب، باید در مراحل اولیه با شرکت متصدی واگن تماس برقرار شود. هنگام حمل سنگ‌های بزرگ استفاده از واگن‌های کفی یا واگن‌های دارای کناره‌های قابل برداشت ضروری به نظر می‌رسد.

### ۵-۴-۳- حمل و نقل دریایی

حمل و نقل دریایی معمولا برای آوردن مصالح سنگی به ساختگاه پروژه مورد استفاده قرار می‌گیرد. مزیت اصلی این روش این است که می‌توان مقادیر زیادی مصالح را نسبتا سریع و بدون تاثیر زیاد روی محیط ساحلی به محل ساختگاه انتقال داد. در این قسمت به طور خلاصه وسایل انتقال دریایی توضیح داده می‌شود و عملیات اساسی آوردن مصالح از ناحیه آب عمیق به مکان‌های کار ماشین‌آلات اجرایی ارائه می‌شود. آبراه‌های داخلی همانند کانال‌ها و رودخانه‌ها، برای انتقال مصالح از معادن داخل یا خارج کشور به ساختگاه مناسب می‌باشند. سنگ‌های محافظ آبراه‌های داخلی، گزینه اولیه برای حمل و نقل دریایی می‌باشد. مصالح سنگی معمولا

omoorepeyman.ir

توسط شناورهای فله‌بر[۱] و بارج‌های رانشی[۲] حمل می‌شوند. در این زمینه به ندرت از بارج‌های تخت استفاده می‌شود. به دلیل ماهیت خشن مصالح سنگی باید که همه شناورها برای این منظور طراحی شوند. بنابراین در مرحله برنامه‌ریزی باید اطمینان حاصل نمود که کارگاه‌های ویژه‌ای برای ساخت این شناورها در زمان‌های مورد نیاز در دسترس باشد.

اگرچه تطابق و حتی ساخت شناورهای جدید یک گزینه برای پروژه‌های بزرگ می‌باشد، پیمانکار باید هزینه‌های جمع‌آوری، آماده‌سازی، بیمه و تعمیرات را برای شناورهای خریداری شده یا اجاره شده ارزیابی نماید. توصیه می‌شود پیمانکار با یک شرکت حمل و نقل دریایی که دارای تجربه و ماشین‌آلات کافی باشد همکاری نماید تا همه ریسک‌ها در نرخ تحویل اعلام شده تا زمان تحویل همه سنگ‌ها در نظر گرفته شوند. گزینه ارزان‌تر این است که شناورها و سرویس‌های مورد نیاز از شرکت حمل و نقل اجاره شود. در این گزینه همه ریسک‌ها شامل آب و هوا و خسارت‌های احتمالی به شناور برای پیمانکار وجود دارد.

از محل معدن سنگ تا ناحیه فراساحل نزدیک ساختگاه، مصالح روی دریا توسط کشتی‌ها یا بارج‌های تخت حمل می‌شوند. در همه روش‌های حمل و نقل، نیاز است تا حفاظت عرشه و کناره کافی برای شناورها تامین شود. قطعات مصالح سنگی که روی عرشه تا ارتفاع چندین متر انباشته شده اند، ممکن است هنگام حمل و نقل حرکت کرده روی عرشه بیفتد. در این موارد احتمال خسارت جدی وجود دارد.

بارج‌های بین ۵۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰ تن وزن مرده (DWT)[۳] توانایی حمل و نقل مقادیر زیادی مصالح سنگی تا ناحیه فراساحل ساختگاه را دارا می‌باشند. آبخور این شناورها در حالت بارگیری کامل تا ۶/۵ متر می‌رسد. شکل (۵-۹) نمونه‌ای از این بارج‌ها را نشان می‌دهد. ماشین‌آلات باراندازی می‌توانند روی بارج استقرار یافته و تا محل انتقال مصالح به شناور دیگر منتقل شوند. ماشین‌آلات باراندازی باید یک بیل مکانیکی دارای جام و چنگک بوده و هم‌چنین اندازه مناسبی برای انتقال مصالح سنگی حمل شده داشته باشند. چنانچه ماشین‌آلات هنگام تخلیه بار از کار بیفتند، فرآیند تخلیه می‌تواند دچار مشکلات جدی شود. سامانه‌های الکتریکی ماشین دارای بیش‌ترین پتانسیل خرابی بوده و باید در مقابل آب و هوای شور آب‌بندی گردند.

هنگامی که بارج در محل انتقال مصالح به شناورهای کوچک‌تر لنگراندازی نمود، می‌توان از یک یدک‌کش برای کمینه کردن خطرات لنگراندازی استفاده نمود. به دلیل رویدادهای گوناگونی که ممکن است در نتیجه کشیدن لنگر توسط بارج ایجاد شود، نهادهای قانونی در بسیاری از کشورها بیان می‌کنند که یک یدک‌کش مناسب باید هنگامی که بارج لنگراندازی نموده است، در محل حضور داشته و یا در دسترس باشد.

تعیین نقطه انتقال مصالح از شناور بزرگ به شناور کوچک‌تر به عوامل زیست محیطی و مشخصات شناورها بستگی دارد. در این زمینه موارد زیر نقش دارند:

- عمق آب مورد نیاز
- نواحی ماهیگیری محلی

---

1- Dry-Bulk Vessel

۲- Push Barge: بارج رانشی؛ بارج رانشی که در جامعه مهندسی آمریکا بیش‌تر با اصطلاح کشتی یدک‌کش (towboat) شناخته می‌شود، شناور قدرتمندی است که توانایی حرکت دادن تا حتی ۵۰ بارج بزرگ را داراست و معمولا در آبراه‌های داخلی یا مکان‌هایی استفاده می‌شوند که بارج‌های بزرگ توانایی مانور مناسبی ندارند.

۳- Dead Weight Tonnage (DWT): وزن مرده؛ وزن مرده کشتی بیانگر ظرفیت بارگیری کشتی شامل بار، آب، سوخت و مایحتاج کشتی می‌باشد. به بیان دیگر وزن مرده کشتی بیانگر وزن کل کشتی منهای وزن سبک کشتی است و بر حسب تن بیان می‌شود.

omoorepeyman.ir

- مناسب بودن شرایط بستر دریا برای نگه داشتن لنگر
- کانال‌های ناوبری
- ویژگی‌های زیست محیطی بستر دریا
- حفاظت در برابر شرایط دریا و آب و هوا
- فعالیت‌های تفریحی

شرایط سخت بستر دریا، روش‌های انتقال مصالح از یک شناور به شناور دیگر و پیشگیری از ریختن مصالح و قیودات زمانی در زمره مسایلی هستند که بسیار مطرح می‌شوند. این شرایط در مجوزهایی که پیش از آغاز کار برای پیمانکار صادر می‌شود، تصریح می‌شوند. هشدارهای لازم در این زمینه پیش از آغاز کار باید داده شود.

**شکل ۵-۹- نمونه‌ای از یک بارج تخت که ۲۰۰۰۰ تن مصالح سنگی را حمل می‌کند**

هنگامی که شناور حمل و نقل مصالح در ناحیه فراساحل تعیین شده لنگراندازی نمود، مصالح سنگی به یک شناور کوچک‌تر با آبخور کم‌تر منتقل می‌شوند تا به سمت ساحل برده شوند. انتخاب این ماشین‌آلات نقش مهمی در برنامه‌ریزی اجرای پروژه بازی می‌کند. در مناطقی که دامنه کشندی کم می‌باشد یا شیب پیشکرانه زیاد است، ممکن است ساخت آبشکن‌ها و مهاربندهای موقت ضرورت یابد.

## ۵-۵- روش‌های اجرای کارهای حفاظت بستر و کناره‌ها

### ۵-۵-۱- انواع روش‌های اجرایی و کارکردها

کارهای حفاظت بستر و کناره‌ها، از بستر یا خط ساحل در برابر فرسایش ناشی از امواج یا جریان‌ها محافظت می‌کنند. این نوع کارها ممکن است دارای کارکردهای زیر باشند:

- به عنوان لایه پی برای یک سازه عمل کنند.
- به منظور جلوگیری از آبشستگی در پیرامون سازه به کار روند.
- به منظور پیشگیری از فرسایش کناره رودخانه به‌کار روند.
- برای پایدارسازی کارهای تثبیت و تنظیم بستر استفاده شوند.

omoorepeyman.ir

کارهای حفاظت از بستر و کناره‌ها عموما شامل لایه‌های مختلفی می‌باشد. یک لایه بالایی که متشکل از سنگ‌های نسبتا بزرگ است و برای مقابله با عملکرد فرسایشی امواج و جریان‌ها اجرا می‌شود. در زیر این لایه، یک یا چند لایه فیلتر قرار می‌گیرد. دانه‌بندی این لایه‌ها باید به گونه‌ای باشد که از حرکت مصالح بین لایه‌های مختلف و به تدریج به سمت بیرون از بدنه سازه جلوگیری شود.

حفاظت از بستر و کناره‌ها می‌تواند به شیوه‌های زیر انجام پذیرد:

- لایه بالایی سنگدانه‌ای[1] و چندین لایه فیلتر سنگدانه‌ای
- لایه بالایی سنگدانه‌ای (در صورتی که لایه بالایی دارای مصالح درشت‌دانه باشد که مستقیما بخواهد بر روی ژئوتکستایل قرار داده شود، می‌تواند به همراه چند لایه فیلتر اجرا شود) و لایه ژئوتکستایل. کارکرد ژئوتکستایل همانند کارکرد مصالح فیلتر ریزدانه می‌باشد که بر روی بستر قرار گرفته و از تعداد لایه‌های فیلتر مورد نیاز می‌کاهد.
- لایه‌های مترس فیلتری پیش ساخته که به کمک لایه بالایی با مصالح سست و در محل خود ثابت نگه داشته می‌شوند.
- لایه‌های مترس فیلتری پیش ساخته که به کمک قطعات ثابتی مانند بلوک‌های بتنی در جای خود نگه داشته می‌شوند.
- مترس به صورت گابیون[2]

در بخش‌های بعد هر کدام از روش‌های مختلف حفاظت از دیدگاه اجرایی توضیح داده می‌شوند. به طور کلی برای اجرای این لایه‌ها، ابتدا مکان‌یابی[3] و سپس نصب لایه ژئوتکستایل یا مترس فیلتری بر روی بستر انجام می‌شود و در نهایت مصالح توده سنگی بر روی آن ریخته می‌شوند. در بیش‌تر کارهای حفاظت بستر و کارهای بزرگ حفاظت کناره (که فاصله افقی بین خط ساحل و پنجه شیب زیاد است)، عملیات اجرایی از راه دریا صورت می‌گیرد. با این حال در صورت وجود تجهیزات اجرا از خشکی با دسترسی کافی، ممکن است استفاده از آنها اقتصادی‌تر گردد.

## ۵-۵-۲- انواع کارهای حفاظت بستر

### ۵-۵-۲-۱- حفاظت بستر توسط مصالح دانه‌ای

برای انجام این کار، لایه‌ها اغلب با اعمال کنترل کافی اجرا می‌شوند. برای نمونه از شناور با تخلیه از کنار استفاده می‌شود. با این حال برای اجرا در رودخانه ها یا داخل بنادر، عمل استقرار لایه‌ها می‌تواند از راه خشکی نیز انجام پذیرد. هنگام اجرا، باید از جداشدگی و تفکیک دانه‌بندی مصالح توده سنگی جلوگیری به عمل آید و افزون بر آن از رخداد ناپیوستگی در لایه اجرا شده اجتناب گردد. به کمک روش‌های زیر می‌توان از موارد بالا جلوگیری به عمل آورد:

- حرکت دادن شناور بر روی مقطعی که قرار است حفاظت شود و تخلیه سنگ‌ها با سرعت یکنواخت.
- اجرای هر لایه به صورت چندین لایه نازک تا بدین ترتیب از به وجود آمدن ناپیوستگی در تخلیه مصالح قبلی اجتناب گردد.
- تخلیه از دو طرف شناور، هنگامی که شناور به پهلو حرکت می‌کند.
- ایجاد همپوشانی بین مقاطع مختلف

1- Granular
2- Gabion
3- Positioning

omoorepeyman.ir

### ۵-۵-۲-۲- حفاظت بستر توسط ژئوتکستایل پوشش داده شده با سنگ آرمور

ژئوتکستایل‌ها معمولا به صورت حلقه‌ای در بازار عرضه می‌شوند. ژئوتکستایل‌ها را می‌توان برای دستیابی به شکل‌های کاربردی به یکدیگر دوخت تا بتوان شکل حاصل شده را به طور مستقیم بر روی بستر قرارداد. بدین ترتیب همپوشانی کافی برای سطوح بزرگ به دست آمده و در عین حال مساله نشست و تغییر شکل‌های احتمالی بستر دریا نیز در نظر گرفته می‌شود. برای اجرای لایه ژئوتکستایل باید در خشکی و در نزدیکی ساختگاه مورد نظر، فضای کافی برای باز کردن حلقه‌های ژئوتکستایل و دوختن آنها به یکدیگر وجود داشته باشد.

دانه‌بندی استاندارد مصالحی که به طور مستقیم بر روی لایه ژئوتکستایل تخلیه می‌شوند باید در حد ۱۰ تا ۶۰ کیلوگرم باشد. هم‌چنین از مصالح با دانه‌بندی غیر استاندارد با وزن ۱ تا ۱۰ کیلوگرم (مصالحی که از معدن استخراج شده‌اند و معمولا در جای دیگری از پروژه استفاده نمی‌شوند)، می‌توان به عنوان لایه اول (حفاظتی) استفاده کرد.

دانه‌بندی بین ۱۰ تا ۶۰ کیلوگرم، تنها به عنوان یک محدوده بیان می‌شود و در واقع حداکثر اندازه دانه‌بندی مصالح توده سنگی مجاز که می‌توان به طور مستقیم بر روی لایه ژئوتکستایل تخلیه کرد، به عوامل زیر وابسته است:

- مشخصات ژئوتکستایل
- سختی لایه بستر یا لایه سطحی و هم‌چنین توزیع دانه‌بندی
- عمق آب
- شکل سنگ‌ها
- تجهیزات مورد استفاده
- ساختار پوشش محافظ یک یا چند لایه زیرین سنگدانه‌ای

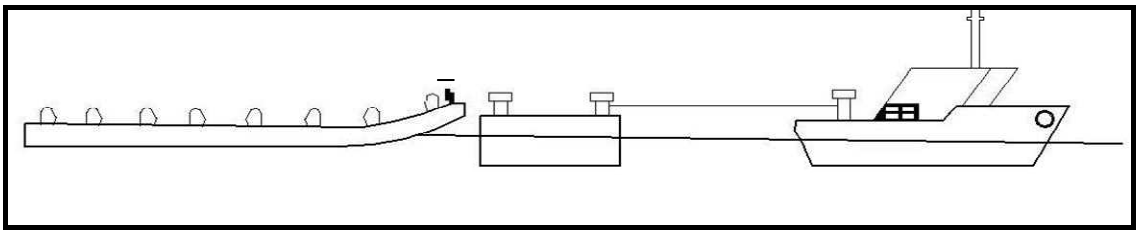
### ۵-۵-۲-۳- حفاظت بستر توسط مترس فیلتری پوشش داده شده با سنگ آرمور

مترس فیلتری، شامل ژئوتکستایلی است که به شبکه‌ای از سخت کننده‌ها متصل می‌باشد. این سخت‌کننده‌ها می‌توانند از جنس حصیر، مصالح مصنوعی یا چوب بامبو باشند و از راه افزایش شناوری و جلوگیری از خم شدن لایه مترس باعث سهولت در انتقال آن می‌گردند. هم‌چنین هنگام استقرار لایه آرمور، باعث حفظ پایداری و جلوگیری از غلتش آنها بر روی لایه مترس و افتادن بر روی بستر دریا می‌گردند.

لایه مترس در محل پروژه و در ترازی کاملا بالای سطح آب ساخته می‌شود. بدین منظور این محل باید عاری از موانع و دارای شیبی کم‌تر از ۱ به ۳ باشد. هنگامی که حلقه‌های ژئوتکستایل باز شده و به شکل مورد نظر مترس دوخته می‌شوند باید سخت‌کننده‌ها نیز متصل شوند. لایه مترس را باید به شیوه کشش و با دقت کامل، از محل ساخت بیرون برد. برای اعمال کشش یکنواخت به این لایه از یک تیر کشنده استفاده می‌شود.

لایه مترس به کمک یک تیر شناور یا پانتون که به بولاردهای یک پانتون دیگر متصل شده‌اند، در دریا جابجا می‌شوند (شکل ۵-۱۰). نیروی ناشی از جریان وارد بر این جسم شناور ۳۰ درصد بیش‌تر از نیروی امواج (با ارتفاع متعارف ۰/۵ تا ۰/۸ متر) می‌باشد. هنگامی که اجرا از راه خشکی انجام می‌شود، مترس به کمک جرثقیل و یک قاب بالابر در جای خود قرار داده می‌شود.

omoorepeyman.ir



**شکل ۵-۱۰- استفاده از تیر شناور برای انتقال مترس**

پس از مکان‌یابی دقیق، لایه مترس به کمک تخلیه مصالح آرمور سبک به روی آن (وزن ۱ تا ۱۰ کیلوگرم یا ۵ تا ۴۰ کیلوگرم) به درون آب فرو برده می‌شود. در نتیجه مصالح سنگی که در ادامه بر روی لایه اول ریخته می‌شوند، وزن‌های بیش‌تری در حد ۶۰ تا ۳۰۰ کیلوگرم خواهند داشت که این ابعاد به نیازمندی‌های پایداری لایه آرمور و فیلتر بستگی دارد.

### ۵-۵-۲-۴- حفاظت بستر توسط مترس پیش‌ساخته

مترس‌های فیلتری پیش ساخته به عنوان حفاظت بستر و کناره و هم‌چنین پوشش خطوط لوله به کار می‌روند. این مترس‌ها شامل ژئوتکستایل‌هایی هستند که به آنها بلوک‌های بتنی متصلند. در حین ساخت این لایه، می‌بایست به منظور اطمینان از کیفیت خوب اتصالات بین بلوک‌ها و ژئوتکستایل، دقت کافی به کار برد. هم‌چنین می‌توان از مترس‌های ژئوتکستایلی که از ماسه پر شده‌اند استفاده کرد.

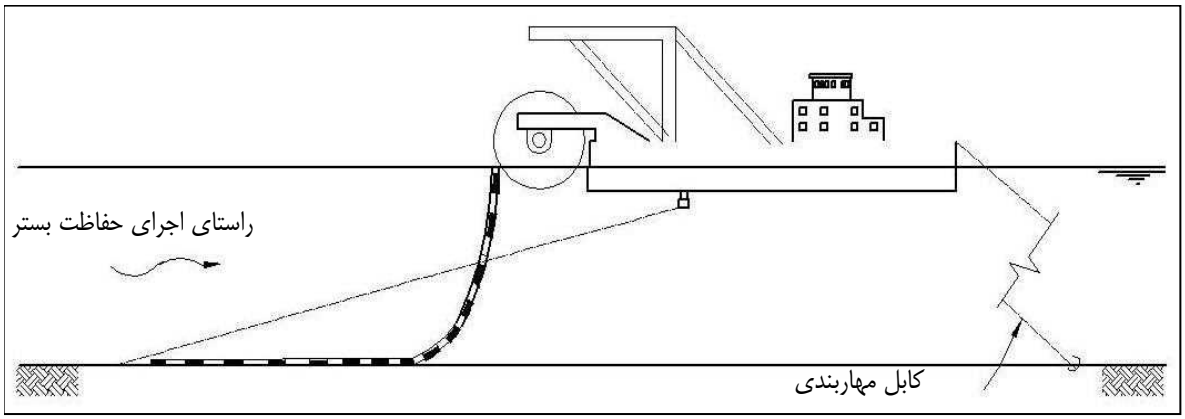
در پروژه‌های بزرگ مقیاس، می‌توان مترس را توسط پانتون شناور بر روی بستر دریا پهن کرد (شکل ۵-۱۱). با باز کردن حلقه مترس، پانتون نیز کشیده می‌شود. این روش اجرا نیازمند تجهیزات ویژه‌ای بوده و هنگامی که نیازمندی‌های سختگیرانه‌ای برای لایه فیلتر وجود دارد، به کار می‌رود.

به عنوان یک روش اجرای جایگزین، می‌توان حلقه‌ها را بر روی ساحل باز کرد و با اتصال قطعات کوتاه میلگرد، آنها را سنگین نمود. سپس لایه به وجود آمده را دوباره به دور یک لوله فلزی حلقه کرده و کل این حلقه را روی بستر دریا قرار داد. باز کردن این حلقه نیز به کمک طناب‌هایی که همراه ژئوتکستایل لوله شده‌اند، انجام می‌شود. بدین‌صورت که طناب‌ها را از روی بارج به سمت بالای آب می‌کشند و باعث باز شدن حلقه می‌گردند.

## ۵-۵-۳- انواع کارهای حفاظت کناره‌ها

کارهای حفاظت کناره بر روی شیب‌های زیر آب انجام می‌شود و می‌تواند تا بالای تراز سطح آب نیز ادامه یابد. اجرای کارهای حفاظت کناره از راه دریا در نزدیکی سازه‌ها به علت محدودیت عمق آب و عمق آبخور شناور، بسیار دشوار می‌باشد. در نواحی کشندی (جزر و مدی) می‌توان این عملیات را با وضعیت کشندها هماهنگ کرد، به ویژه هنگامی که قصد اجرای قسمت بالایی شیب را داشته باشیم. به طور کلی اجرای کارهای حفاظت کناره می‌تواند از راه دریا، خشکی و یا به صورت ترکیبی انجام شود.

omoorepeyman.ir



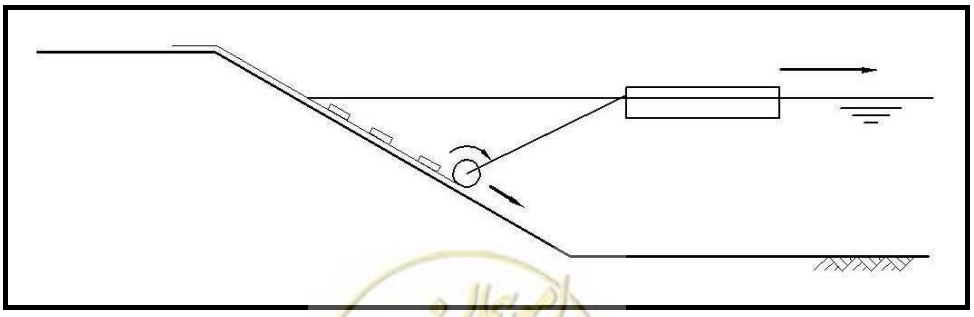

**شکل ۵-۱۱- باز کردن حلقه مترس از روی یک پانتون**

### ۵-۵-۳-۱- حفاظت کناره توسط مصالح دانه‌ای

اگرچه به دلیل اجرای آسان از راه خشکی، حفاظت کناره اغلب توسط ژئوتکستایل انجام می‌شود، ولی از فیلترهای کاملا سنگدانه‌ای نیز استفاده می‌شود. اجرای لایه فیلتر اول که معمولا ریزدانه است، باید هنگام آرام بودن وضعیت دریا انجام پذیرد. این شرایط برای اجرای لایه ژئوتکستایل نیز باید رعایت گردد. اما هنگام اجرای حفاظت کناره کاملا سنگدانه‌ای (برای نمونه با استفاده از مصالح درشت دانه) باید تمهیداتی برای رخداد احتمالی آشفتگی آب دریا نیز در نظر گرفته شود. در صورتی که از سمت خشکی دسترسی کافی وجود داشته باشد، می‌توان لایه‌های آرمور را از آنجا اجرا کرد و در غیر این صورت باید از جرثقیل‌های شناور بهره گرفت. بهتر است که استقرار مصالح از سمت پنجه شیب شروع شود و به سمت بالا ادامه یابد تا از قفل و بست مناسب مصالح اطمینان حاصل گردد. در صورتی که اجرا از سمت بالا به پایین انجام می‌شود، باید فقط در شیب‌های بسیار اندک این کار صورت گیرد و تراکم مصالح نیز بسیار زیاد باشد.

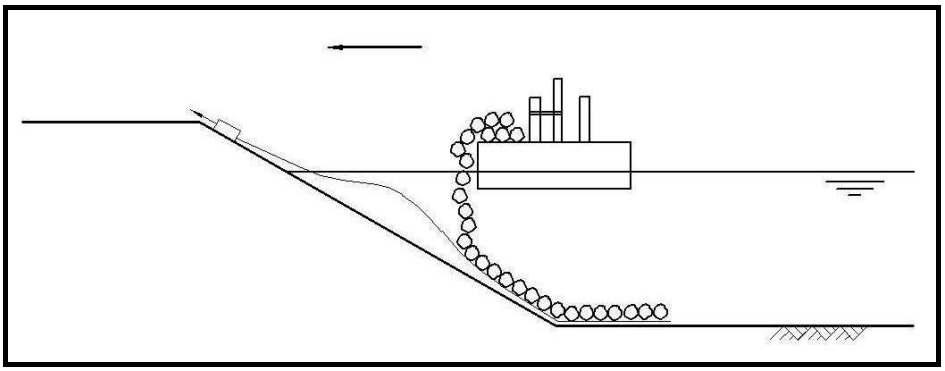
### ۵-۵-۳-۲- حفاظت کناره توسط ژئوتکستایل پوشش داده شده با سنگ آرمور

پس از تسطیح کناره، حلقه ژئوتکستایل را از راه خشکی به سمت پایین شیب باز می‌کنند. پس از باز کردن حلقه ژئوتکستایل، با استفاده از کیسه‌های ماسه، سنگ یا بست‌هایی که توسط غواص‌ها کوبیده می‌شوند، لایه ژئوتکستایل در جای خود ثابت می‌گردد. در صورتی که اجرا از سمت دریا باشد، حلقه ژئوتکستایل از روی پانتون و به سمت پایین شیب باز می‌شود (شکل ۵-۱۲).



**شکل ۵-۱۲- استقرار لایه ژئوتکستایل از راه باز کردن حلقه آن به سمت پایین کناره**

omoorepeyman.ir

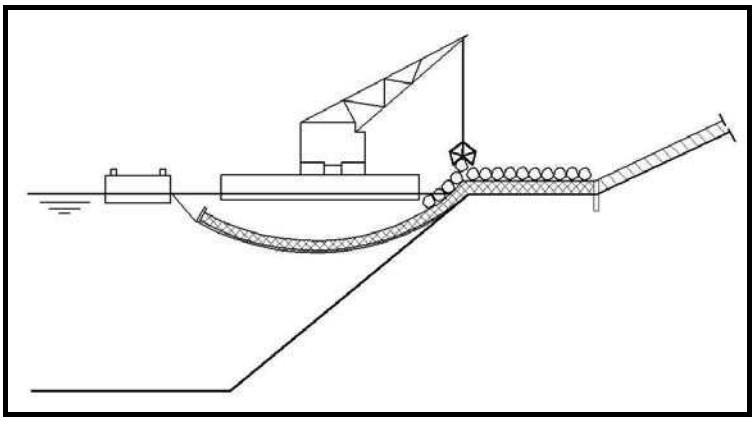


**شکل ۵-۱۳- پوشاندن ژئوتکستایل به کمک سنگ‌های آرمور در جهت بالای شیب**

هنگامی که ژئوتکستایل بر روی کناره قرار گرفت، در صورت وجود دسترسی کافی از خشکی، لایه سنگی بر روی آن اجرا می‌شود. در صورت عدم دسترسی، یک جرثقیل شناور یا شناور تخلیه کننده از دو طرف به کار گرفته می‌شود. استقرار مصالح باید از سمت پایین شیب به طرف بالای شیب انجام شود (شکل ۵-۱۳).

### ۵-۵-۳-۳- حفاظت کناره توسط مترس فیلتری پوشش داده شده با سنگ آرمور

مترس‌های فیلتری دارای سخت کننده، در هنگام مد در موقعیت مورد نظر قرار می‌گیرند. سپس مترس را به بالای شیب کناره مهار می‌کنند (شکل ۵-۱۴). انتهای پایینی مترس نیز به کمک تیر یا پانتون شناور در محل مقرر قرار می‌گیرد. این عملیات معمولا زمانی انجام می‌گیرد که جریان آب وجود نداشته باشد. اگر لایه مترس خاصیت شناوری نداشته باشد می‌توان آن را به کمک جرثقیل و یک قاب بالابر در جای خود قرار داد. هنگامی که مترس در جای مورد نظر مهار گشت، به کمک سنگ‌های آرمور و به شیوه اجرای رو به بالا، روی آن پر می‌گردد.

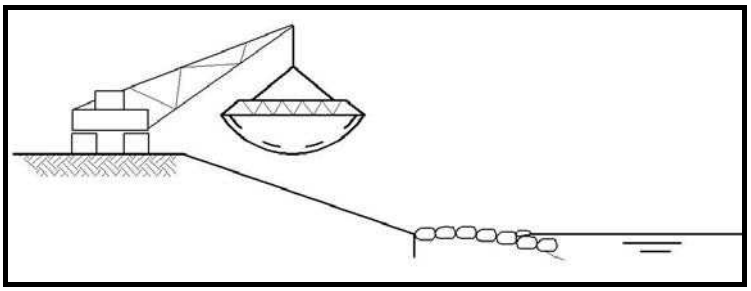


**شکل ۵-۱۴- مهار کردن بالای مترس بر روی شیب**

omoorepeyman.ir

### ۵-۵-۳-۴- حفاظت کناره توسط مترس پیش‌ساخته

مترس‌های پیش ساخته را می‌توان توسط یک جرثقیل قرار گرفته بر بارج یا یک جرثقیل قرار گرفته در خشکی که دارای قاب نگهدارنده‌ای همچون شکل (۵-۱۵) است، اجرا نمود. در صورتی که مترس خود بتواند در برابر نیروی امواج و جریان‌ها مقاومت کنند ممکن است دیگر نیازی به تخلیه سنگ بر روی مترس نباشد.



**شکل ۵-۱۵- استقرار مترس فیلتری پیش‌ساخته توسط جرثقیل مجهز به قاب نگهدارنده**

## ۵-۶- روش‌های اجرای موج‌شکن‌ها

### ۵-۶-۱- کلیات

موج‌شکن‌های توده سنگی دارای دو ویژگی کلی می‌باشند:

- معمولا تمام قسمت‌های مقطع با مصالح سنگی ساخته می‌شود اگرچه برخی مواقع ممکن است از آرمور بتنی نیز استفاده شود.
- این موج‌شکن‌ها در مناطقی اجرا می‌شوند که در معرض امواج قراردارند زیرا هدف اصلی آنها ایجاد محیطی امن و حفاظت شده در برابر هجوم امواج می‌باشد.

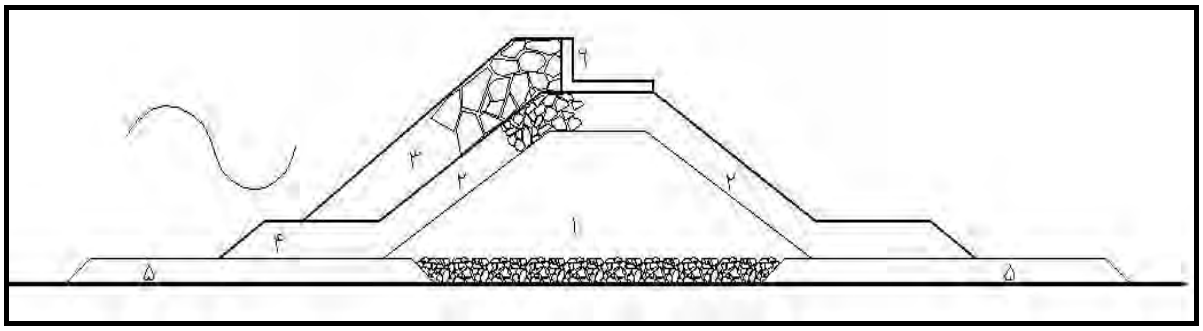
روش اجرا باید به گونه‌ای باشد که خسارت ناشی از برخورد امواج هنگام اجرا، کمینه شده و زیر لایه‌هایی که در معرض امواج قرار دارند در زودترین زمان ممکن با لایه‌های حفاظتی پوشیده شوند. معمولا طول ناحیه بدون پوشش آرمور هنگام اجرا نباید بیش‌تر از ۲۵ تا ۵۰ متر باشد که این فاصله به عواملی همچون سرعت و روش اجرا و شدت امواج در محل سازه بستگی دارد.

اجرای موج‌شکن‌ها نیازمند مقادیر زیادی مصالح سنگی است که معمولا از معادن دوردست تامین می‌شود. وجود مصالح سنگی مناسب نزدیک ساختگاه پروژه می‌تواند روی طرح، روش‌های حمل و نقل و روش اجرای موج‌شکن تاثیر بگذارد. مقطع یک موج‌شکن معمولی و اجزای مختلف آن در شکل (۵-۱۶) نشان داده شده است.

در این قسمت به بررسی اجرای لایه‌های نشان داده شده در شکل (۵-۱۶) پرداخته شده و عملیات اجرای از خشکی با اجرای از دریا مقایسه می‌شود. یک قسمت جداگانه نیز به استقرار قطعات آرمور بتنی که معمولا در لایه آرمور استفاده می‌شوند، اختصاص داده می‌شود.

جنبه‌های اجرایی موج‌شکن‌های دور از ساحل و آبشکن‌ها نیز شبیه موج‌شکن‌ها می‌باشد. بر اساس ملزومات کارکردی آبشکن‌ها و موج‌شکن‌های دور از ساحل، در این سازه‌ها نیازی به تاج عریض نمی‌باشد. اما در بسیاری از موارد، در اجرای موج‌شکن‌ها از خشکی، عرض تاج برای دسترسی ماشین‌آلات باید زیاد باشد. آبشکن‌ها را می‌توان در سواحل ماسه‌ای و در نواحی کشندی اجرا نمود. در این حالت مواردی همچون محدود بودن عمق و رخداد امواج، اجرا را محدود می‌نماید.

omoorepeyman.ir




**شکل ۵-۱۶- مقطع نمونه یک موج‌شکن معمولی**

توضیحات: ۱- لایه مغزه، ۲- لایه فیلتر، ۳- لایه آرمور، ۴- پنجه یا احتمالا یک سکو، ۵- محافظ آبشستگی، ۶- دیواره تاج[1]

موج‌شکن‌ها می‌توانند دارای یک دیواره تاج باشند (شکل ۵-۱۶). دیواره‌های تاج ممکن است قطعات بتنی پیش‌ساخته باشند که روی سازه سنگریزه‌ای قرار می‌گیرند و یا این‌که در محل ساخته شوند. از جرثقیل‌های ثابت سنگین برای استقرار قطعات بتنی دیواره تاج استفاده می‌شود که ممکن است همان جرثقیلی باشد که برای استقرار قطعات سنگین آرمور به کار می‌رود.

## ۵-۶-۲- اجرای موج‌شکن‌ها از خشکی

در عملیات اجرای از خشکی ماشین آلات اجرایی باید به تاج مغزه دسترسی داشته باشند که این معیار می‌تواند تراز و عرض تاج را تعیین نماید. عرض تاج باید برای عبور و مرور ماشین‌آلات و اجرای لایه‌ها کافی باشد. تراز موقتی تاج نیز باید بالای آب بالا بوده و یا این‌که چنانچه در محدوده کشندی قرار دارد، در زمان‌های زیادی از دوره کشندی قابل دسترسی باشد. چنان‌که تراز مغزه نزدیک خط آب باشد، هنگام حمله امواج آسیب‌پذیر بوده و لایه بعدی باید بلافاصله پس از اجرای مغزه ریخته و اجرا شود.

ممکن است حرکت وسایل نقلیه با چرخ‌های لاستیکی روی سنگریز امکان‌پذیر نباشد. با این حال، با پخش مصالح ریزدانه توسط بولدوزر، می‌توان روی سنگ‌هایی با وزن تا یک تن تردد نمود. چنانچه ملزومات طراحی اجازه باقی ماندن لایه ناتراوا را ندهد، مصالح ریزدانه باید پس از اجرا با استفاده از جت آبی برداشته شوند. این کار بسیار هزینه‌بر بوده و تنها باید در مواردی که از نظر پایداری لازم است، انجام شود. دسترسی روی مقطع را می‌توان با ایجاد یک راه کنار موج‌شکن تامین نمود. با وجود محدودیت‌های بالا، اجرای از خشکی معمولا اقتصادی‌تر از اجرای از دریا می‌باشد، به ویژه اگر مصالح سنگی از معدن تا محل ساختگاه در خشکی حمل شوند.

اجرای موج‌شکن‌ها از خشکی معمولا مطابق شکل (۵-۱۷) در شش مرحله زیر انجام می‌شود:

۱- ریختن مصالح مغزه با استفاده از کامیون‌های کمپرسی

۲- ریختن و هموارسازی باقی‌مانده مغزه با استفاده از بیل مکانیکی و یا جرثقیل چرخ زنجیری

۳- استقرار محافظ آبشستگی توسط جرثقیل چرخ زنجیری

۴- استقرار لایه فیلتر توسط بیل مکانیکی یا جرثقیل چرخ زنجیری

۵- استقرار پنجه در شیب سمت دریا با بیل مکانیکی یا جرثقیل

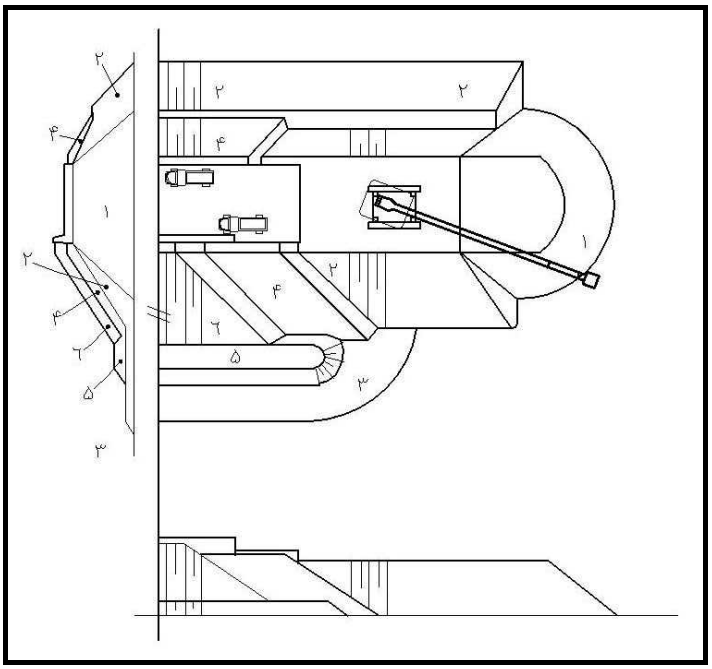
1- Crown Wall

omoorepeyman.ir

۶- استقرار لایه آرمور روی شیب سمت دریا توسط بیل مکانیکی یا جرثقیل

### ۵-۶-۲-۱- اجرای مغزه از خشکی

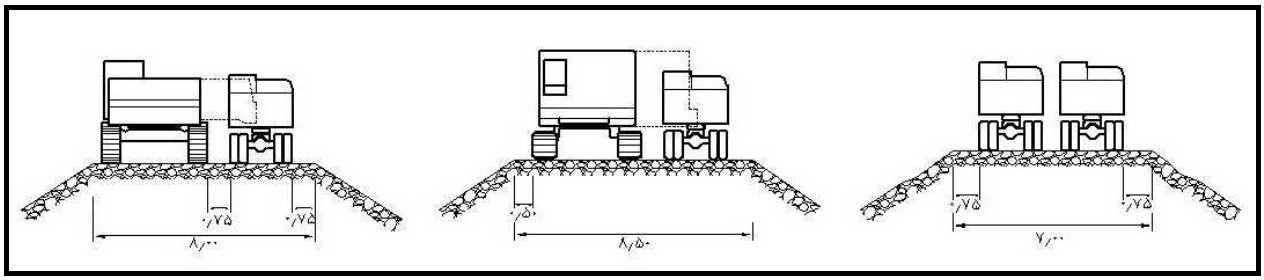
مصالح سنگریز می‌توانند به طور مستقیم و با استفاده از کامیون یا لودر و یا با استفاده از جرثقیل ریخته شوند. تخلیه مستقیم مصالح با دانه‌بندی گسترده می‌تواند به جداشدگی مصالح منجر شود که در آن مصالح درشت‌تر به پایین شیب رفته و قسمت‌های ریزتر در بالا باقی می‌مانند. این پدیده موجب تشکیل یک لایه فیلتر ضعیف روی بستر دریا می‌شود. در تخلیه مستقیم مصالح، شیب کناره مصالح ریخته شده حدود ۱ به ۱/۳ می‌باشد که به مقدار زاویه‌دار بودن مصالح بستگی دارد.



**شکل ۵-۱۷- مراحل متداول اجرای موج‌شکن از خشکی (پلان، نمای از کنار و مقطع)**

کمبود مصالح شیب ریخته شده نسبت به شیب مورد نیاز باید توسط جرثقیل ریخته شود. تخلیه مستقیم مصالح اقتصادی‌ترین روش می‌باشد. در اجرای از خشکی، عرض تاج مغزه معمولا بر اساس فضای مورد نیاز برای تردد ایمن و روان ماشین آلات روی تاج تعیین می‌شود. کامیون‌های کمپرسی باید توانایی عبور از کنار دیگر کامیون‌ها و جرثقیل‌ها را داشته و بتوانند بار خود را خالی کرده و دور بزنند. شاخص‌هایی برای عرض کمینه مورد نیاز ماشین آلات در شکل (۵-۱۸) ارائه شده است. در بسیاری از موارد، نوع جرثقیلی که برای اجرای پنجه و لایه آرمور مورد نیاز است، عرض تاج را تعیین می‌کند. هم‌چنین باید در طول مغزه پارکینگ‌هایی برای عبور وسایل نقلیه از کنار یکدیگر و دور زدن آنها در نظر گرفته شود (شکل ۵-۱۹). فاصله بین این پارکینگ‌ها به نوع و تعداد ماشین‌آلات اجرایی و سرعت اجرایی مورد انتظار بستگی دارد. در این زمینه تجارب پروژه‌های داخلی نشان می‌دهد که فاصله‌هایی در حدود ۱۵۰-۱۰۰ متر مناسب بوده است.

omoorepeyman.ir



**شکل ۵-۱۸- فضای مورد نیاز روی تاج موج‌شکن (ابعاد بر حسب متر)**

**شکل ۵-۱۹- وجود پارکینگ در طول مغزه برای دور زدن و عبور وسایل نقلیه از کنار یکدیگر**

### ۵-۶-۲-۲- اجرای لایه فیلتر از خشکی

لایه فیلتر نیز می‌تواند توسط کامیون کمپرسی ریخته شود اما باید پس از آن بر اساس نیمرخ مورد نظر مرتب گردد. برای این کار می‌توان از بیل مکانیکی استفاده نمود که نیاز به فضای کاری با عرض دست کم ۵ متر دارد. موارد محدود کننده در این زمینه شیب‌های طولانی و سنگ‌های سنگین‌تر از ۲ تن می‌باشند. لایه فیلتر هم‌چنین ممکن است با استفاده از جرثقیل‌های دارای محفظه سنگ ریخته شود که طی آن سنگ در محفظه‌ای بارگیری شده و پس از انتقال آن توسط جرثقیل به موقعیت مناسب، محفظه تخلیه می‌گردد.

### ۵-۶-۲-۳- اجرای پنجه، سکو، محافظ آبشستگی و لایه آرمور از خشکی

اگر اجرای موج‌شکن به طور کامل از خشکی انجام شود، محافظ آبشستگی پس از اجرای مغزه ریخته می‌شود. به هر حال، ممکن است در اثر همگرایی جریان پیرامون پوزه سازه در حال پیشروی، آبشستگی‌های چشمگیری هنگام اجرای مغزه رخ دهد. این آبشستگی ممکن است به استفاده از مقادیر مغزه بیش‌تری منجر شود اما می‌توان با تامین یک لایه محافظ توسط شناورهای تخلیه سنگ پیش از اجرای مغزه از رخ دادن این پدیده پیشگیری نمود.

برای اجرای لایه‌های محافظ آبشستگی، پنجه، سکو و آرمور در عملیات اجرای از خشکی، به جرثقیل با طول دسترسی کافی نیاز است. در این موارد از بیل مکانیکی نمی‌توان استفاده نمود بنابراین استفاده از جرثقیل کابلی چرخ زنجیری ضروری می‌باشد.

omoorepeyman.ir

## ۵-۶-۳- اجرای موج‌شکن‌ها از دریا

دلایل اصلی برای انتخاب رویکرد دریایی برای انتقال و استقرار مصالح به صورت زیر می‌باشد:

- عرض و یا تراز ناکافی تاج موج‌شکن
- تراکم ماشین‌آلات روی موج‌شکن در صورت استفاده از تجهیزات اجرای از خشکی برای استقرار مقادیر زیادی مصالح سنگی زیر آب
- مسایل اقتصادی بسته به موقعیت معدن (داخلی یا ساحلی) و فاصله حمل، ممکن است عملیات دریایی اقتصادی‌تر از اجرای از خشکی باشد.
- دسترسی جرثقیل برای موج‌شکن‌هایی که در آب عمیق قرار دارند و شیب‌های طولانی یا تاج باریک دارند یا برای استقرار سکوها، دسترسی جرثقیل بدین معنی است که ممکن است استفاده از تجهیزات اجرای خشکی که از تاج موج‌شکن برای اجرا استفاده می‌کنند غیر عملی باشد.

برای ماشین‌آلات شناور عمق آب و میزان قرارگیری در معرض امواج محلی و دوراً و جریان‌ها عوامل مهمی هستند که روی زمان کلی توقف کار هنگام اجرا تاثیر می‌گذارند.

معمولا اجرای موج‌شکن‌ها از دریا مطابق شکل (۵-۲۰) در پنج مرحله زیر انجام می‌شود:

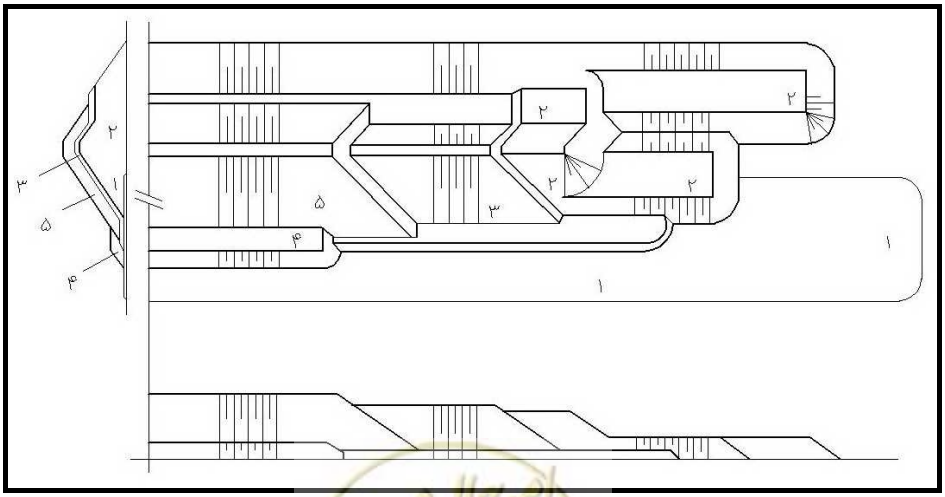
۱- ریختن مصالح محافظ آبشستگی برای نمونه با استفاده از شناورهای تخلیه سنگ از کنار

۲- ریختن مصالح مغزه از بارج‌های از کف بازشو (تا ۳ متر زیر آب)، پس از آن خالی کردن مصالح از بارج کفی با استفاده از لودر چرخ لاستیکی یا جرثقیل شناور

۳- تنظیم شیب‌ها و استقرار لایه‌های فیلتر با استفاده از بیل مکانیکی و یا جرثقیل شناور

۴- استقرار پنجه در شیب سمت دریا با استفاده از شناور تخلیه سنگ از کنار یا جرثقیل شناور

۵- استقرار لایه آرمور با استفاده از جرثقیل شناور




**شکل ۵-۲۰- مراحل متداول اجرای موج‌شکن از دریا (پلان، نمای از کنار و مقطع)**

omoorepeyman.ir

### ۵-۶-۳-۱- اجرای محافظ آبشستگی از دریا

پیش از ریختن مصالح مغزه، برای جلوگیری از آبشستگی ناشی از همگرایی جریان پیرامون مغزه ممکن است به مصالح محافظ بستر نیاز باشد. جنبه‌های اجرایی کارهای حفاظت بستر در بخش ۵-۴ ارائه شده‌اند.

### ۵-۶-۳-۲- اجرای مغزه از دریا

اجرای مغزه از دریا با استفاده از بارج‌های خود تخلیه همانند بارج‌های از کف بازشو یا شناورهای تخلیه سنگ از کنار انجام می‌شود. برای ریختن مصالح سنگ می‌توان از جرثقیل‌های شناور همراه با بارج‌ها استفاده نمود. به هر حال چنان‌که جرثقیل‌های شناور در معرض شرایط امواج بزرگ قرار گیرند، کارآیی و دقت آنها محدود می‌شود.

استفاده از بارج‌های خود تخلیه و از کف بازشو برای ریختن مصالح مغزه، بسته به میزان آبخور شناور می‌تواند تا ۳ متر زیر سطح آب ادامه یابد. چنان‌که تغییرات کشندی زیاد باشد برای ریختن مغزه تا ارتفاع‌های بیش‌تر می‌توان مصالح بیش‌تری را در زمان آب بالا تخلیه نمود. اگر از این روش استفاده شود هنگام آب پایین، مغزه بیش‌تر در معرض حمله امواج قرار خواهد گرفت. تخلیه مغزه با استفاده از بارج از کف بازشو غیر قابل کنترل بوده و ممکن است استفاده از جرثقیل شناور یا شناورهای تخلیه سنگ از کنار برای تنظیم و یا استقرار مصالح اضافی ضروری باشد. تخلیه کننده‌های سنگ از کنار به دلیل دقت بیش‌تر در مقادیر بالاتر، برای اجرای مغزه مناسب‌تر هستند.

### ۵-۶-۳-۳- اجرای پنجه از دریا

از آنجایی که کیفیت اجرای پنجه روی استقرار لایه آرمور تاثیرگذار است، باید اجرای آن با دقت زیادی انجام شود. با استفاده از شناور تخلیه سنگ از کنار یا بارج مجهز به جرثقیل می‌توان به دقت‌های بالایی دست یافت. برای استقرار مصالح با دانه‌بندی‌هایی در محدوده شنی می‌توان از لایروب‌های مکشی دارای محفظه استفاده نمود.

### ۵-۶-۳-۴- اجرای لایه فیلتر از دریا

اگر لایه فیلتر دارای دانه‌بندی کوچکی باشد (۳۰۰ تا ۱۰۰۰ کیلوگرم) می‌توان از شناور تخلیه سنگ از کنار برای اجرای آن استفاده نمود. ممکن است تنظیم لایه فیلتر برای اطمینان از استقرار دقیق لایه بعدی آرمور ضروری باشد. اگر لایه فیلتر از سنگ‌های بزرگ‌تر تشکیل شده باشد باید از جرثقیل شناور استفاده شود.

### ۵-۶-۳-۵- اجرای لایه آرمور از دریا

برای اجرای لایه آرمور متشکل از سنگ‌های نسبتا سنگین با اندازه کوچک (۱ تا ۳ تن) ممکن است از شناور تخلیه سنگ از کنار استفاده نمود. حد مشخصی برای بیشینه اندازه سنگی که در این حالت می‌تواند استقرار یابد وجود ندارد و به شرایط دریا که در آن امکان کار شناور وجود دارد بستگی دارد. معمولا شرایط خصوصی استفاده از این روش را برای اجرای آرمور مجاز نمی‌دانند و سنگ‌های آرمور باید به صورت قطعه به قطعه چیده شوند تا یک لایه متشکل از دو ردیف سنگ اجرا شود. تخلیه سنگ ممکن است

omoorepeyman.ir

گزینه مناسبی برای قسمتی از مقطع که زیر آب قرار دارد (۱/۵ تا ۲ برابر ارتفاع موج شاخص ($H_s$) زیر تراز آب پایین) باشد زیرا در این قسمت چگونگی استقرار سنگ‌ها کم‌تر بحرانی می‌باشد.

در مواردی که به دلیل دقت مورد نیاز برای استقرار سنگ‌ها، تخلیه سنگ غیر ممکن است، استفاده از جرثقیل‌های نصب شده روی پانتون برای استقرار سنگ‌های سنگین (بیش از یک تن) معمول می‌باشد. برای استقرار دقیق قطعات بزرگ آرمور، جرثقیل‌ها از روی سکوهای خود بالابر[1] کار می‌کنند و بنابراین مستقل از شرایط دریا می‌باشند. با این حال، ثابت نگه داشتن بارج هنگام تحویل سنگ در طول آن ممکن است مشکل باشد. شرایط محدود کننده برای این عملیات در صورت استقرار سنگ توسط جرثقیل روی بارج، سخت گیرانه‌تر می‌باشد.

### ۵-۶-۴- اجرای موج‌شکن‌ها از خشکی و دریا به طور همزمان

چنان‌که ملزومات برنامه‌ریزی پروژه نیاز به کار همزمان روی دو یا چند جبهه از موج‌شکن را تحمیل نمایند، معمولا اجرا از دریا و خشکی به طور همزمان انجام می‌شود. دلیل دیگر برای اجرای همزمان از خشکی و دریا نیاز به کاهش فرسایش در جبهه کاری از راه استقرار لایه‌های روی بستر و قسمت‌های پایین‌تر موج‌شکن توسط اجرای دریایی پیش از ساخت قسمت‌های بالایی سازه با استفاده از عملیات از خشکی می‌باشد.

برای نشان دادن مراحل مختلف اجرای موج‌شکن بر اساس تجهیزات مورد استفاده، نمونه‌ای از ترتیب اجرای لایه‌های مختلف یک موج‌شکن در شکل (۵-۲۱) نشان داده شده که از ۷ مرحله تشکیل شده است:

۱- ریختن مصالح محافظ آبشستگی از شناور تخلیه سنگ از کنار
۲- ریختن مصالح مغزه تا ۳ متر زیر تراز آب پایین توسط شناور تخلیه سنگ از کنار یا بارج از کف بازشو
۳- ریختن مصالح مغزه بالاتر از ۳ متر زیر تراز آب پایین با استفاده از کامیون کمپرسی
۴- تنظیم شیب و استقرار لایه‌های فیلتر با استفاده از جرثقیل چرخ زنجیری یا بیل مکانیکی
۵- استقرار پنجه سمت دریا توسط جرثقیل چرخ زنجیری
۶- استقرار لایه آرمور سمت دریا با استفاده از جرثقیل چرخ زنجیری و یا بیل مکانیکی
۷- استقرار دیواره تاج توسط جرثقیل چرخ زنجیری سنگین یا ریختن در محل

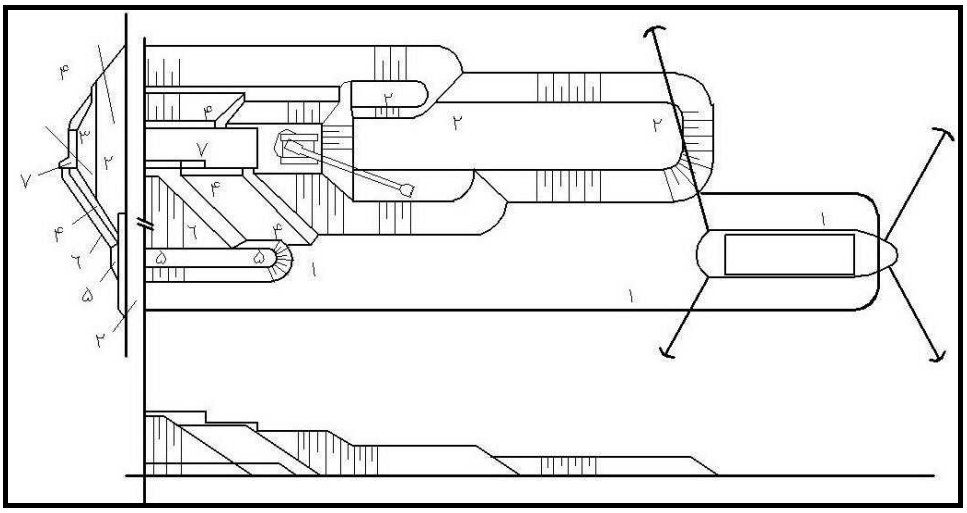
### ۵-۶-۵- شیوه استقرار قطعات آرمور بتنی

نرخ استقرار قطعات آرمور بتنی معمولا بین ۳ تا ۱۵ قطعه در ساعت متغیر بوده و با تغییر شرایط محیطی (شرایط موج، جریان، قابلیت دید و غیره) به طور چشمگیری تغییر می‌کند. به منظور دستیابی به نرخ استقرار قابل قبول باید ماشین‌آلات مناسب و قابل اطمینان انتخاب شوند.

شیب موج‌شکن باید به درستی تنظیم شده و برای تسهیل قراردهی آرمورها نباید جرم قطعات سنگی لایه فیلتر از ۱۵ درصد جرم قطعه آرمور بیش‌تر باشد. میزان انحراف سطح شیب لایه فیلتر اجرا شده نسبت به مقدار طرح شده نباید بیش‌تر از قطر اسمی سنگ $D_{n50}$ لایه فیلتر باشد.

1- Self-Elevating Platforms

omoorepeyman.ir



**شکل ۵-۲۱- مراحل متداول اجرای موج‌شکن به صورت همزمان از خشکی و دریا (پلان، نمای از کنار و مقطع)**

**شکل ۵-۲۲- استفاده از قلاب بازشو برای استقرار آرمور**

مطابق شکل (۵-۲۲) استقرار قطعات آرمور با استفاده از تسمه[1] مجهز به یک قلاب بازشو[2] انجام می‌شود. در این حالت از یک طناب برای تعیین مکان دقیق استقرار آرمور استفاده می‌شود.

بیش‌تر قطعات آرمور بتنی نسبت به جهت قطعه به صورت تصادفی چیده می‌شوند اما روی یک شبکه از پیش تعیین شده قرار داده می‌شوند. برای این‌که قطعات به دقت روی این شبکه قرار گیرند باید روی بوم جرثقیل یک آنتن GPS نصب شود. قطعات آرمور بتنی که در یک لایه چیده می‌شوند، همانند آکروپاد و بلوک X شکل، روی یک شبکه یک در میان (زیگزاکی) قرار داده می‌شوند.

1- Sling
2- Quick-Release Hook

omoorepeyman.ir

استقرار قطعات آرمور یک لایه‌ای از بدنه موج‌شکن در ناحیه نسبتا ایمن از نظر امواج و با قراردهی اولین ردیف آرمور در روی پنجه آغاز می‌شود. ردیف بعدی قطعات آرمور روی ردیف اول به گونه‌ای چیده می‌شوند که هر قطعه از ردیف دوم بین دو قطعه از ردیف اول قرار گیرد. به همین ترتیب ردیف سوم نیز به گونه‌ای چیده می‌شود که هر قطعه از آن روی دو قطعه از ردیف دوم قرار بگیرد. ردیف‌های بعدی نیز به همین ترتیب چیده می‌شوند. استقرار قطعات آرمور پس از اجرای مغزه و فیلتر موج‌شکن انجام می‌شود و می‌تواند به یک عامل محدود کننده برای پیشرفت فرآیند اجرا تبدیل شود.

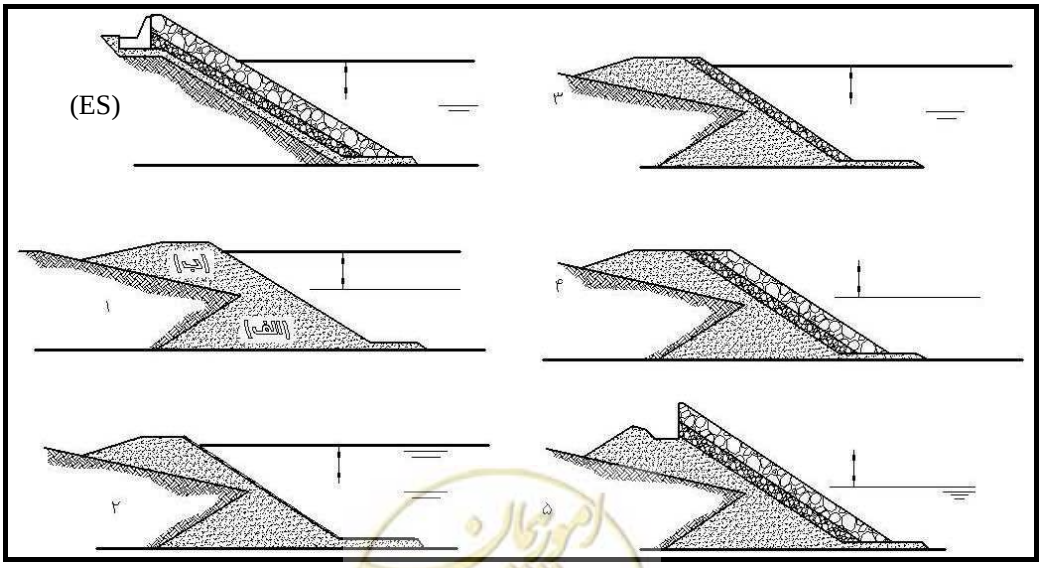
## ۵-۷- روش‌های اجرای دیوارهای دریایی

### ۵-۷-۱- کلیات

دیوارهای دریایی برای محافظت سواحل موجود در برابر امواج شدید و سیلابی شدن پسکرانه مورد استفاده قرار می‌گیرند. برای آشنایی با کارکردها و شیوه طراحی دیوارهای دریایی می‌توان به بخش‌های ۳-۲-۱ و ۳-۳-۱ مراجعه نمود. در اجرای دیوارهای دریایی سنگریزه‌ای، ابتدا یک سنگریز اولیه[1] در طول ساحل ایجاد می‌شود تا شیب ساحل به شیب مناسب برای اجرای لایه‌های فیلتر و آرمور تبدیل شود. برای کاهش حجم سنگ معدن مورد نیاز برای اجرای این سنگریز اولیه به ویژه در مورد دیوارهای دریایی مرتفع معمولا از چندین سنگریز متوالی با پیش‌تریزهای ماسه‌ای استفاده می‌شود (شکل ۵-۲۳). حجم سنگریزی اولیه مورد نیاز برای محافظت سواحل موجود کم‌تر از حجم مورد نیاز برای محافظت سواحل مصنوعی و تغذیه شده است.

سنگریزهای اولیه معمولا توسط تخلیه سنگ معدن ساخته می‌شوند ولی می‌توان از مصالح نوینی همچون ژئوتیوب‌ها و کیسه‌های ژئوتکستایل نیز برای اجرای آنها استفاده نمود. برای آشنایی با مصالح ژئوسنتتیک می‌توان به بخش ۳-۲-۷ مراجعه نمود.

اجرای دیوار ساحلی در طول سواحل موجود معمولا از راه خشکی یا ترکیبی از روش‌های خشکی و دریایی انجام می‌شود. با این حال در مورد سواحل مصنوعی معمولا از روش‌های اجرای از دریا استفاده می‌شود.




**شکل ۵-۲۳- مراحل اجرای یک دیوار سنگریزه‌ای: در طول ساحل موجود (ES) و در طول ساحل تغذیه شده (مراحل ۱ تا ۵)**

1- Bund

omoorepeyman.ir

### ۵-۷-۲- مراحل اجرای دیوارهای دریایی

مراحل معمول در اجرای یک دیوار ساحلی در شکل (۵-۲۳) نشان داده شده‌اند که شامل پنج مرحله زیر است:

۱- استقرار سنگریزهای اولیه و پشتریز ماسه‌ای. سنگریز اولیه (الف) توسط بارج و سنگریز اولیه (ب) توسط کامیون‌های کمپرسی اجرا می‌شود.

۲- هموارسازی رویه بیرونی و قرار دادن پوشش ژئوتکستایل. در این مثال، بخش‌هایی از سنگریز اولیه توسط بیل مکانیکی برداشته شده است.

۳- استقرار لایه زیرین توسط بیل مکانیکی.

۴- استقرار لایه آرمور توسط بیل مکانیکی یا جرثقیل چرخ زنجیری.

۵- تکمیل بخش بالایی سازه شامل دیواره تاج (متشکل از قطعات پیش ساخته یا ساخته شده در محل) و تسطیح جاده روی تاج.

### ۵-۷-۳- بازیابی مصالح سنگریز اولیه

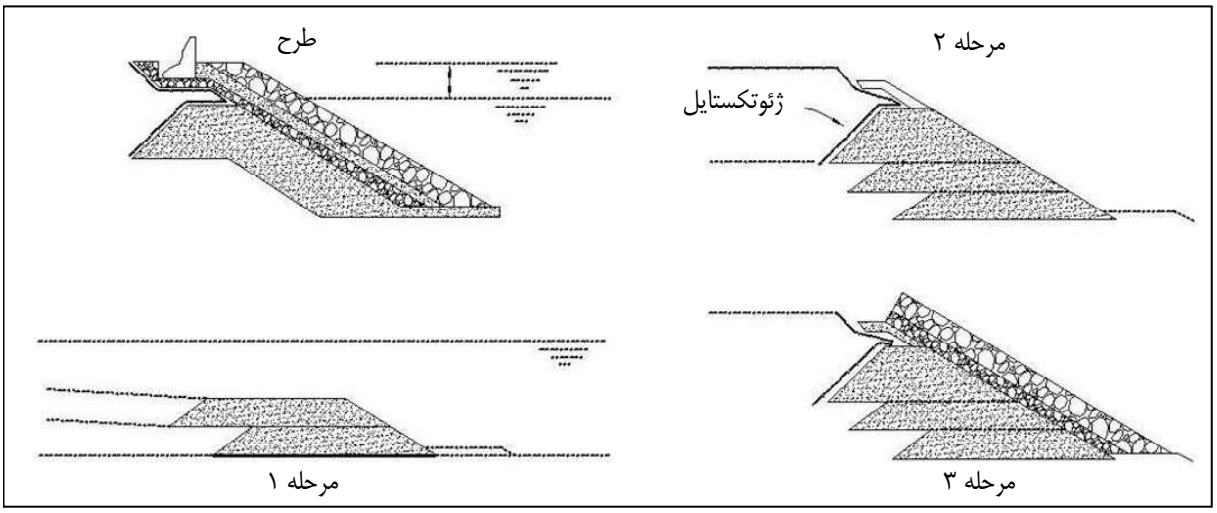
اجرای سنگریزهای اولیه ممکن است با تخلیه حجم‌های اضافی سنگ همراه باشد که برای کارکرد مناسب سازه ضروری نباشد. به همین دلیل، بخش‌هایی از این مصالح را می‌توان توسط بیل مکانیکی برداشته و در قسمت‌های دیگر دیوار ساحلی مورد استفاده قرار داد (شکل ۵-۲۳، مرحله ۲). با این حال، این کار فقط در نواحی آبی کم عمق و در مواردی که از ماشین‌آلات اجرای از خشکی استفاده می‌شود امکان‌پذیر است. در آب‌های عمیق، بازیافت مصالح معمولا اقتصادی نمی‌باشد. حجم مصالح سنگریز اولیه را می‌توان با اجرای چندین سنگریز اولیه کوچک‌تر کاهش داد. البته این نوع اجرا از آن جهت که نیازمند دقت بالای تخلیه سنگ و در نتیجه پیچیده شدن عملیات اجرایی سنگریز اولیه است، همواره امکان‌پذیر نمی‌باشد.

### ۵-۷-۴- وضعیت امواج هنگام اجرای دیوار ساحلی

استقرار ژئوتکستایل هنگام اجرای دیوار ساحلی با پیچیدگی‌های خاصی همراه است. آسان‌ترین روش قرار دادن ژئوتکستایل در سمت رو به دریای سنگریز اولیه می‌باشد (شکل ۵-۲۳، مرحله ۲). این کار اغلب برای شرایط موج آرام انجام می‌شود. در صورتی که پیش‌بینی می‌شود دوره‌های آرام کافی وجود ندارد باید طرح تغییر یابد. در این حالت یعنی زمانی که دیوار ساحلی در معرض امواج شدید قرار دارد، بهتر است این پوشش در سمت رو به خشکی بالاترین سنگریز اولیه قرار داده شود (شکل ۵-۲۴). حد بالا و پایین پوشش ژئوتکستایل باید تا جایی امتداد یابد که امکان شستشوی ماسه در اثر امواج و جریان‌ها وجود دارد. برای آن‌که از فرار ماسه‌ها از انتهای پایینی ژئوتکستایل پیشگیری شود می‌توان سنگریز اولیه را در قسمت پنجه تا حد کافی گسترده نمود.

در این صورت، آشفتگی‌های ناشی از امواج و جریان‌ها که سبب شسته شدن ماسه‌ها می‌شوند در طول پنجه سنگریز اولیه پیدا خواهد شد. این نوع اجرا در شکل (۵-۲۴) نشان داده شده است.

omoorepeyman.ir




**شکل ۵-۲۴- اجرای دیوار ساحلی در شرایط دریایی ناآرام**

در شکل بالا سه مرحله از مراحل چهارگانه اجرای دیوار ساحلی در شرایط دریایی ناآرام نشان داده شده است:

۱- استقرار سنگریزهای اولیه دارای گستردگی کافی با استفاده از تجهیزات اجرای از دریا و هم‌چنین اجرای پشتریزهای ماسه‌ای

۲- اجرای سنگریز اولیه تا تراز نصف محدوده کشندی با استفاده از تجهیزات اجرای از خشکی، استقرار ژئوتکستایل بر سمت رو به خشکی سنگریز اولیه بالایی، اجرای پشتریز ماسه‌ای و استقرار سنگ بر روی تاج سنگریز اولیه

۳- استقرار لایه زیرین و لایه آرمور توسط جرثقیل از دریا یا خشکی

۴- تکمیل قسمت بالایی سازه (دیواره تاج و جاده روی تاج و غیره)

## ۵-۸- روش‌های اجرای پی

کارهای حفاظت بستری که در نواحی فراساحلی قرار دارند نیازمند روش‌های اجرای از دریای ویژه‌ای هستند. در این شرایط به دلیل عمق زیاد، اثر امواج و سختی تهیه مصالح و جابجایی آنها، اجرای پی با مشکلات زیادی روبرو می‌باشد. بنابراین در این شرایط تخلیه مصالح توسط بارج‌های متداول ممکن است غیر اقتصادی باشد که به دلایل زیر می‌باشد:

- حرکت و جابجایی بارج‌ها به دلیل اثر امواج
- پخش شدن یا از دست رفتن دانه‌بندی سنگ‌ها هنگام تخلیه مصالح به دلیل اثر موج و یا جریان
- جداشدگی سنگ‌ها

در این‌گونه موارد معمولا برای اجرا از بارج‌هایی استفاده می‌شود که سنگ‌ها را توسط لوله‌های انعطاف‌پذیری به بستر انتقال می‌دهند. در ادامه جنبه‌های اجرایی مربوط به کارهای حفاظت خط لوله و بستر در نواحی فراساحلی توضیح داده شده‌اند.

omoorepeyman.ir

### ۵-۸-۱- روش‌های اجرای سازه‌های حفاظت پی

سازه‌های فراساحلی همچون سازه‌های وزنی بتنی (CGS)[1] معمولا نیازمند تدارک یک پی از جنس مصالح دانه‌ای می‌باشند که هدف آن برطرف نمودن ناهمواری‌های بستر دریا است. این ناهمواری‌ها ممکن است بارهای نقطه‌ای شدیدی به CGS وارد کنند. هم‌چنین در نبود چنین پی هموار کننده‌ای ممکن است CGS دچار نشست نامتقارن شود. بسته به ماهیت پروژه، روش‌های مختلفی برای تدارک بستر به کار می‌رود. در نهایت انتخاب راهکار مطلوب به حساسیت سازه در برابر شرایط زلزله و سختی آن بستگی دارد. حفاظت بستر معمولا در نواحی پیرامون پایه‌های سکوهای فراساحلی و پیرامون شمع‌های منفرد توربین‌های بادی فراساحلی استفاده می‌شود. برای حفاظت بستر چنین سازه‌هایی معمولا از مصالح نسبتا کوچک (کوچک‌تر از ۲۰ cm) استفاده می‌شود. هنگام اجرای پی توسط بارج‌های تخلیه مصالح از کنار، دقت سنگ‌های استقرار یافته بر روی بستر به عواملی همچون عمق آب، دانه‌بندی سنگ‌ها و شرایط محیطی دریا بستگی خواهد داشت. برای اجرای لایه‌های بستر، هنگام تخلیه مصالح، بارج بر فراز ناحیه مورد نظر حرکت می‌کند. هر چه تعداد لایه‌های اجرا شده بیش‌تر شود، یکنواختی آن بیش‌تر شده و احتمال شکل‌گیری نقاط بدون پوشش کاهش می‌یابد.

### ۵-۸-۲- نکات اجرایی مرتبط با پوشش خطوط لوله و کابل‌ها

معمولا برای پوشش دادن خط لوله، کابل‌های برق و کابل‌های مخابراتی در نواحی دریایی از سنگ استفاده می‌شود. برای این کار یک یا چندین لایه سنگریزی بر بستر دریا اجرا می‌شود. این سنگریزها در امتداد دو طرف خط لوله یا کابل مورد نظر امتداد می‌یابند و باید دارای ضخامت کافی باشند تا پایداری و حفاظت کافی فراهم نمایند. خط لوله یا کابل مورد نظر ممکن است درون یک ترانشه پیش ساخته قرار گرفته باشد. در این وضعیت تراز پوشش سنگی مورد نظر پایین‌تر از تراز طبیعی بستر دریا می‌باشد.

اگر قرارگیری مستقیم سنگ آرمور بر روی خط لوله یا کابل، بار متمرکز بسیار زیاد و در حد غیر قابل قبولی به خط لوله یا کابل مورد نظر اعمال نماید ضرورت دارد ابتدا یک لایه فیلتر متشکل از سنگ‌های کوچک‌تر بر روی خط لوله یا کابل ریخته شود و سپس لایه سنگ‌های بزرگ‌تر اجرا شود.

به کارگیری این لایه فیلتر هم‌چنین می‌تواند از آبشستگی مصالح خاک زیرین پیشگیری کند. اجرای چنین پوشش‌هایی نیازمند سامانه‌های تعیین موقعیت دقیق و روش‌های تخلیه کنترل شده می‌باشد. در این مورد معمولا در آب‌های کم عمق از بارج‌های تخلیه از کنار و در آب‌های عمیق از بارج‌های دارای لوله انعطاف‌پذیر پایین رونده برای اجرای پوشش خط لوله یا کابل استفاده می‌شود.

## ۵-۹- روش‌های اجرایی در سواحل رودخانه

بیش‌تر کارهای سنگی که در سواحل رودخانه‌ها انجام می‌شوند شامل حفاظت بستر و کناره می‌باشند. در این قسمت مباحث اجرایی مربوط به دو نوع طرح حفاظت ساحل رودخانه ارائه شده‌اند.

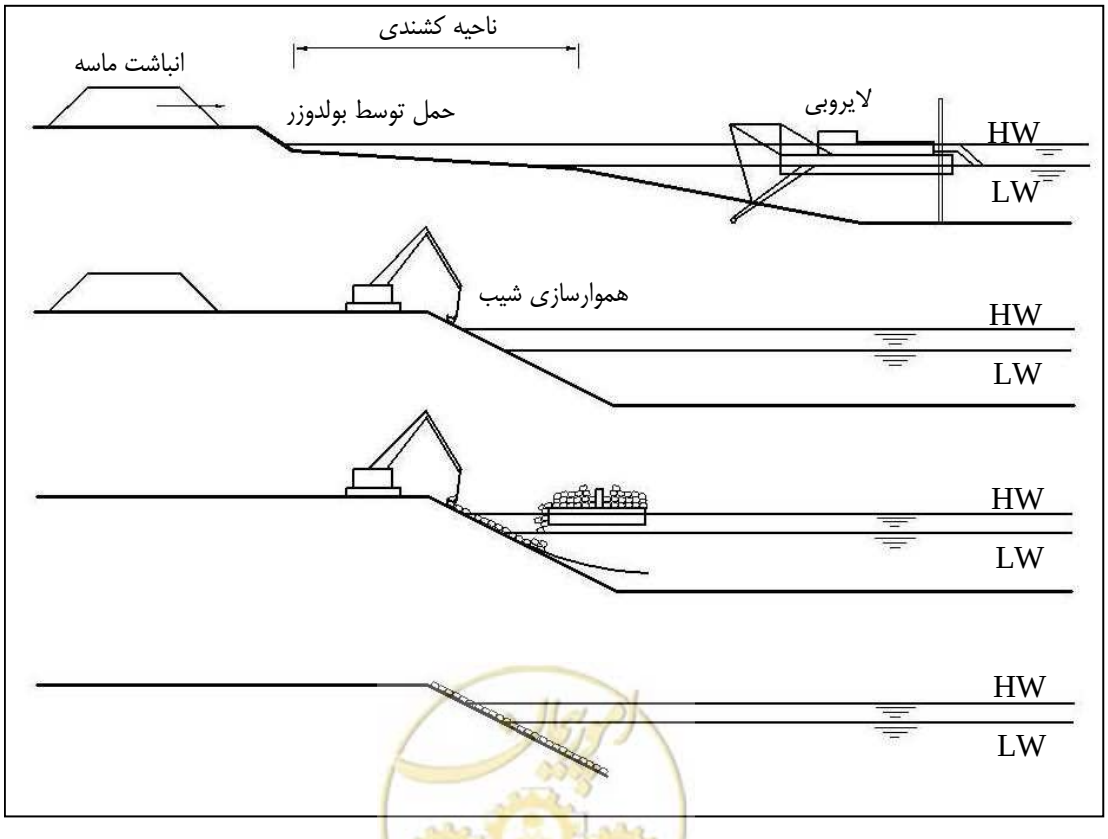
1- Concrete Gravity Structures

omoorepeyman.ir

### ۵-۹-۱- روش‌های اجرایی حفاظت کناره

مراحل و روش اجرایی لایه آرمور سنگی برای محافظت کناره یک رودخانه یا کانال در شکل (۵-۲۶) نشان داده شده است. این نوع سازه تا حد زیادی شبیه به یک دیوار ساحلی می‌باشد با این تفاوت که در آبراه‌های داخلی، عملیات اجرایی در شرایط بدون موج انجام می‌شود. این شرایط امکان هموارسازی کناره را تا عمق و شیب دلخواه فراهم می‌سازد و در مرحله بعد لایه آرمور اجرا می‌شود. حال آن‌که در مورد دیوارهای دریایی همان‌گونه که پیش‌تر در بخش «۵-۷- روش‌های اجرای دیوارهای دریایی» گفته شد برای هموارسازی و تنظیم شیب لازم است سنگریزهای اولیه و پشتریز ماسه‌ای اجرا شوند. در مورد تنظیم شیب کناره رودخانه‌ها و کانال‌ها، اغلب ماسه به طور هیدرولیکی استقرار می‌یابد و بسته به اندازه دانه‌های ماسه و روش استقرار، شیب‌هایی ملایم در حدود ۱ به ۶ تا ۱ به ۱۰ زیر تراز آب پایین (LW) ایجاد می‌شود. در نواحی کشندی، این شیب می‌تواند در حد ۱ به ۳۰ برای مصالح درشت دانه و تا حد ۱ به ۱۰۰ برای مصالح ریزدانه تخت شود.

پیش از آن‌که لایه آرمور محافظ اجرا شود، شیروانی ماسه‌ای تا شیب مورد نیاز (در حدود ۱ به ۳ تا ۱ به ۴) هموار می‌شود در صورتی که قسمت‌های پایینی شیروانی را نتوان از خشکی تنظیم و هموار نمود آنگاه این کار توسط یک لایروب یا کج بیل که بر روی یک وسیله شناور قرار گرفته است، انجام می‌شود. همان‌گونه که در شکل (۵-۲۵) نشان داده شده است، ماسه لایروبی شده ممکن است به منظور استفاده در بخش‌های بالایی شیروانی یا قسمت‌های دیگر طرح به طور موقتی در محل ویژه‌ای انباشت شود. به منظور به حداقل رساندن زمان قرارگیری رویه ماسه‌ای در معرض جریان‌های رودخانه‌ای یا کشندی، باید مراحل پیشرفت هموارسازی شیب کناره با پیشرفت استقرار لایه آرمور مطابقت داده شود. بسته به طول شیب، ممکن است لایه آرمور از راه خشکی یا دریا اجرا شود.




**شکل ۵-۲۵- اجرای لایه آرمور سنگی برای حفاظت کناره**

omoorepeyman.ir

### ۵-۹-۲- نکات اجرایی طرح‌های حفاظتی حاشیه رودخانه‌ها

به دلیل نبود شرایط موج شدید در رودخانه‌ها و کم عمق بودن آنها در مقایسه با شرایط سواحل دریایی، معمولا ماشین‌آلات اجرایی طرح‌های حفاظتی حاشیه رودخانه‌ها دارای اندازه کوچک‌تری می‌باشند. به دلیل تغییرات فصلی در بده رودخانه‌ها، معمولا طرح‌های حفاظتی در دوره های آب پایین اجرا می‌شوند. در این حالت حتی می‌توان برخی از طرح‌های حفاظت کناره رودخانه را در خشکی انجام داد.

اگر نتوان عملیات اجرایی را در دوره خشکی انجام داد (به دلیل کوتاه بودن زمان دوره خشکی یا زیاد بودن بده رودخانه) آنگاه برای تخلیه مصالح در عمق‌های کم‌تر از آن از یک جرثقیل قرار گرفته بر یک لایروب کوچک استفاده می‌شود. در ترازهای بالای سطح آب، شیب‌ها را می‌توان توسط یک بیل مکانیکی و از راه خشکی تنظیم و هموار نمود.

## ۵-۱۰- کنترل کیفیت اجرای پروژه

### ۵-۱۰-۱- روش‌های استقرار سنگ‌های آرمور و قطعات بتنی

#### ۵-۱۰-۱-۱- سنگ‌های آرمور

هنگامی که مصالح مغزه یا هر نوع مصالح دیگری با دانه‌بندی استاندارد و غیر استاندارد توسط ماشین‌آلات مورد اشاره در بخش‌های ۵-۳-۲-۱ و ۵-۳-۳-۱ (تخلیه توده‌ای مصالح توسط ماشین‌آلات اجرای از خشکی و دریا) در محل سازه تخلیه می‌شود به این کار به اصطلاح «استقرار توده‌ای»[1] گفته می‌شود. در مقابل هنگامی که سنگ‌ها به طور یک به یک در لایه‌های فیلتر یا لایه آرمور قرار داده می‌شوند به این کار «استقرار منفرد»[2] گفته می‌شود.

شکل سنگ‌ها و شیوه استقرار آنها در سازه بر روی تراکم چیدمان سنگ‌ها، ضخامت لایه و پایداری سنگ‌های لایه مورد نظر تاثیر می‌گذارند. معمولا سنگ‌های لایه آرمور به طور منفرد و توسط بیل مکانیکی مجهز به چنگال، جام یا مشابه آن استقرار می‌یابند. اگرچه از قلاب جرثقیل‌ها هم می‌توان برای تنظیم موقعیت سنگ‌ها استفاده کرد اما این کار نیازمند رانندگان ماهر و استقرار با سرعت پایین است. استقرار کنترل شده در بخش‌های ۵-۳-۲-۲ و ۵-۳-۳-۲ توضیح داده شده است.

در حالت کلی چهار نوع روش استقرار منفرد برای سنگ‌های آرمور وجود دارد که عبارتند از:

- استقرار تصادفی
- استقرار استاندارد
- استقرار متراکم
- استقرار ویژه

1- Bulk Placed
2- Individually Placed

omoorepeyman.ir

**• استقرار تصادفی**

در این نوع استقرار، کنترلی بر روی راستای قرارگیری سنگ‌ها انجام نمی‌شود و سنگ‌ها توسط یک جرثقیل در موقعیت مورد نظر رها می‌شوند. مقادیر ضریب ضخامت لایه و پوکی (n) مربوط به این روش چیدمان را می‌توان متناظر با مقادیر روش استقرار استاندارد در نظر گرفت با این حال باید توجه داشت که پوکی این نوع چیدمان حدود ۲-۰ درصد بیش‌تر از حالت استاندارد است.

**• استقرار استاندارد**

در این نوع استقرار، چیدمان سنگ‌ها به گونه‌ای انجام می‌شود که هر سنگ دست کم سه نقطه تماس داشته باشد ولی بیش از این راستای قرارگیری سنگ‌ها کنترل نمی‌شود.

**• استقرار متراکم**

در این نوع استقرار، راستای سنگ مورد نظر به گونه‌ای تعیین می‌شود که بیش‌ترین نقاط تماس را با سنگ‌های پیرامونی داشته و پوکی بین سنگ‌ها به حداقل برسد. گاهی برای دستیابی به تراکم حداکثر، برخی از سنگ‌ها دوباره برداشته شده و با سنگ مناسب‌تری جایگزین می‌شوند.

**• استقرار ویژه**

این نوع استقرار زمانی استفاده می‌شود که قطعات آرمور دارای شکل ویژه‌ای باشند (متوازی السطوح، ورقه‌ای و غیره) و چیدمان مشخص شده برای آنها از نوع تصادفی، استاندارد یا متراکم نباشد.

**۵-۱۰-۱-۲- قطعات بتنی**

قطعات بتنی نیازمند روش استقرار ویژه می‌باشند. کنترل کیفیت هر کدام از قطعات بتنی باید در امتداد خطوط زیر انجام شود:

- قطعاتی که در یک لایه با دو یا یک ردیف سنگ قرار گرفته‌اند. مشاهده چشمی همراه با ثبت روزانه کفایت می‌کند.
- قطعاتی که بر اساس یک الگوی موقعیتی ویژه همچون مستطیلی، لوزی یا هر نوع الگوی دیگر استقرار یافته‌اند. مشاهده چشمی و سامانه‌ی قرائت موقعیت و هم‌چنین ثبت موقعیت قطعات شماره گذاری شده کفایت می‌کند.
- قطعاتی که باید در راستای ویژه‌ای استقرار یابند یا در مقایسه با قطعات پیرامونی دارای راستای ویژه‌ای می‌باشند. مشاهده چشمی کفایت می‌کند اما بهتر است عکسبرداری شوند.
- قطعاتی که باید با لایه فیلتر یا با لایه اول قطعات آرمور تماس داشته باشند. مشاهده چشمی کفایت می‌کند.
- تراکم چیدمان توسط مشخصات فنی طرح تصریح شده باشد. تعداد قطعات در هر ناحیه و مساحت ناحیه مورد نظر باید ثبت شود.

در مورد قطعات بتنی که زیر آب قرار دارند نیاز است که چیدمان صحیح و به ویژه قفل و بست آنها توسط غواص کنترل شود.

omoorepeyman.ir

### ۵-۱۰-۲- کنترل تراکم چیدمان قطعات آرمور

یکی از روش‌های ساده برای کنترل تراکم چیدمان قطعات آرمور روش Latham و همکاران (۲۰۰۲) می‌باشد. در این روش یک ناحیه از لایه آرمور توسط نوارهایی علامت‌گذاری می‌شود و تعداد قطعات لایه بالایی درون این ناحیه تعیین می‌شود. در صورتی که روش استقرار قطعات آرمور هنگام اجرای سازه مورد نظر تغییر نکرده باشد مقدار تراکم چیدمان سطحی یا به عبارت دیگر تعداد قطعات در واحد سطح باید تقریبا ثابت باشد. رابطه‌ای که در این روش استفاده می‌شود به صورت زیر است:

$$1-n_v = Q'\frac{M_{em}}{M_{50}}\frac{1}{nk_t} \qquad (۲-۵)$$

که در آن $n_v$: پوکی لایه آرمور، $k_t$: ضریب ضخامت لایه، $n$: تعداد لایه‌ها، $M_{em}$: جرم موثر متوسط $(kg)$، $M_{50}$: جرم میانه و $Q'$ ضریب تراکم چیدمان بدون بعد است که به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$Q' = ND_{n50}^2 \qquad (۳-۵)$$

که در آن $N$ تعداد قطعات آرمور در واحد سطح است $(1/m^2)$.

معادله (۵-۲) بیانگر آن است که اگر ضریب ضخامت لایه ($k_t$) و اندازه و یکنواختی سنگ‌ها از یک ناحیه به ناحیه دیگر ثابت باشد آنگاه تغییرات $Q'$ با تغییرات پوکی همراه خواهد بود.

### ۵-۱۰-۳- کنترل کیفیت مصالح

این قسمت به بحث پیرامون کنترل کیفیت مصالح در قسمت‌های مختلف کارگاه، برای نمونه در محل انباشت موقتی مصالح، در ماشین‌آلات حمل و نقل و حتی در محل کارهای اجرا شده می‌پردازد. این کنترل‌ها در واقع بخشی از کل فرآیند تضمین کیفیت می‌باشند. برای کسب اطلاعات بیش‌تر در زمینه ویژگی‌های مهندسی و معیارهای انتخاب مصالح هم‌چنین می‌توان به «۱-۴-۱۳- مصالح موجود و ملزومات مرتبط با آن» مراجعه نمود.

#### ۵-۱۰-۳-۱- جنبه‌های عمومی کنترل کیفیت

تعاریف مربوط به تضمین کیفیت در استانداردهای بین‌المللی همچون BS 5750-1، ISO 9000-9004 و ISO 8402 ارائه شده‌اند که در این‌جا تعدادی از مهم‌ترین اصطلاحات و تعاریف به کار رفته در این مراجع آورده شده است:

**- کیفیت**

منظور از کیفیت، میزان یا درجه انطباق یک محصول، فرآیند یا خدمات با ملزومات کارکردی مورد انتظار است.

**- سامانه‌ی کیفیت**

مجموعه‌ای از فعالیت‌ها، راهکارها و منابع مستندسازی شده است که یک شرکت یا سازمان برای اطمینان از انطباق محصول، فرآیند یا خدمات با ملزومات کیفیتی مورد انتظار کارفرما، از آنها استفاده می‌کند.

omoorepeyman.ir

**- سامانه‌ی تضمین کیفیت**

فرآیند به کارگیری، نگهداری، مرور و در صورت نیاز، بهبود «سامانه‌ی کیفیت» است.

**- کنترل کیفیت**

به مجموعه تمامی فعالیت‌ها، منابع و اعمال ویژه‌ای گفته می‌شود که برای حفظ کیفیت مورد انتظار یک محصول، فرآیند یا خدمات به کار گرفته می‌شوند.

**- برنامه کیفیت**

سند یا نوشته‌ای است که فرآیند کنترل کیفیت مربوط به یک پروژه یا قرارداد خاص را در چارچوب شرکت، سامانه‌ی کیفیت و ملزومات مورد انتظار تشریح می‌کند.

با توجه به تعاریف بالا، مصالح مناسب باید کیفیت مورد انتظار کارفرمای پروژه را برآورده سازند. این کار نیازمند کنترل دقیق تمام فعالیت‌ها و طرف‌های درگیر (کارفرما، مهندسان مشاور و پیمانکار) می‌باشد و در تمام مراحل زیر مطرح می‌شود:

- تحلیل بازار و تعریف نیازهای موجود
- تعریف و تعیین ملزومات کارکردی
- فرآیند طراحی
- آماده‌سازی پروژه
- اجرای پروژه
- بررسی و آزمایش
- نگهداری
- ارزیابی پس از تکمیل

«تضمین کیفیت» فقط محدود به فاز اجرای پروژه نبوده و تمام فازهای پروژه را شامل می‌شود. پارامترهای کیفیت مربوط به فعالیت‌های اجرایی همچون تامین مصالح مغزه و آرمور از معدن سنگ، حمل، انباشت و استقرار آنها باید در «برنامه کیفیت» آورده شوند. هنگام انتخاب پیمانکار باید افزون بر قیمت پیشنهادی پیمانکار از برآورده شدن کیفیت مورد انتظار توسط وی نیز اطمینان حاصل شود. یک شاخص در ارزیابی توانایی پیمانکار در برآورده ساختن کیفیت مورد انتظار، بررسی «برنامه کیفیت» پیمانکار می‌باشد که در آن مسوولیت‌های پیمانکار، روش‌های کاری و اجرایی، برنامه‌ریزی کارهای پروژه و سامانه‌ی گزارش‌دهی به طور دقیق مشخص شده باشد.

### ۵-۱۰-۳-۲- کنترل کیفیت مصالح در محل اجرای پروژه

اگر نتایج خوبی از کنترل کیفیت مصالح در محل معدن سنگ حاصل شده باشد دیگر ضرورتی به بررسی‌های بیش‌تر در محل اجرای پروژه نیست. متاسفانه ممکن است مصالحی که به ساختگاه پروژه آورده می‌شود با مصالح سفارش داده شده یا کنترل شده در سنگ معدن تفاوت داشته باشند. دلایل این تفاوت احتمالی عبارتند از:

- انتخاب نمونه‌های ناکافی و نامناسب در معدن سنگ

omoorepeyman.ir

- اضافه شدن مصالح خاکی معدن سنگ هنگام باربرداری توسط بیل مکانیکی
- اضافه شدن سنگ‌های کوچک‌تر برای پر کردن کامیون کمپرسی یا واگن
- تامین مصالح از معادن دیگر یا توسط روش‌های حمل و نقل دیگر که پیش‌تر مورد تایید قرار نگرفته‌اند.
- شکستن سنگ‌ها هنگام بارگیری، حمل و نقل و تخلیه
- شکستن سنگ‌ها هنگام استقرار در محل سازه

بسیاری از موارد بالا را می‌توان از راه اعمال نظارت بیش‌تر برطرف نمود. هم‌چنین ممکن است ضرورت یابد برای جبران کنترل کیفیت ضعیف در معدن سنگ، مصالح آورده شده به ساختگاه مورد بازرسی قرار گیرند.

افزون بر این، می‌توان احتمال شکسته شدن سنگ‌ها هنگام بارگیری، حمل و نقل، تخلیه و استقرار را از پیش در نظر گرفت. در حالت کلی، آسان‌ترین راه آن است که کنترل کیفیت مصالح در فاز تهیه در سنگ معدن به دقت انجام شوند تا نیازی به کنترل‌های بیش‌تر در فازهای دیگر وجود نداشته باشد.

مهم‌ترین کنترل‌هایی که می‌توان در محل معدن سنگ و ساختگاه پروژه بر روی سنگ‌ها انجام داد عبارتند از:

- توزیع اندازه و یا جرم
- شکل و زاویه
- منشای مصالح
- یکپارچگی
- ترک‌های مویین

## ۵-۱۱- تکنیک‌های برداشت و اندازه‌گیری میدانی

### ۵-۱۱-۱- کنترل برداشت

فرآیند اجرای سازه‌های ساحلی نسبت به یک سری نقاط کنترلی یا مرجع که بنچ مارک[1] نامیده می‌شوند انجام می‌گردد. نقاط مرجع مورد نظر بر اساس یک سامانه‌ی محلی یا ملی یا بین‌المللی بیان می‌شوند. نقاط مرجع باید در مکان امنی بر روی زمین و در نزدیکی ساختگاه پروژه قرار داشته باشند. در مورد پروژه‌های بلند مدت باید نقاط مرجع به طور دوره‌ای کنترل و بازرسی شوند. در نظر گرفتن نقاط مرجع اضافی از ابتدای پروژه، فرآیند تنظیم دستگاه‌های برداشت و کار با آنها را دقیق‌تر و سریع‌تر می‌سازد. هنگامی که برای انجام برداشت‌ها و تنظیم مقاطع سازه از GPS استفاده می‌شود، معمولا وجود یک نقطه مرجع برای سرتاسر محدوده پروژه (تا فواصل حدود ۴-۳ کیلومتر) کفایت می‌کند.

در مورد ابزارآلات نشانه‌روی نوری همچون توتال استیشن‌ها، به تعداد بیش‌تری نقاط مرجع نیاز است که معمولا دارای فواصلی در حدود ۶۰۰-۵۰۰ متر بوده و امکان مشاهده مستقیم آنها توسط ابزار نشانه‌روی وجود داشته باشد. به همین دلیل انتخاب محل نقاط مرجع بسیار مهم می‌باشد. برای نمونه در مواردی که ساختگاه پروژه در یک ساحل درون رفته قرار گرفته است بهتر است نقاط مرجع

1- Benchmark

omoorepeyman.ir

در راس یکی از دماغه‌های ساحلی پیرامون ساحل مورد نظر انتخاب شود، در این صورت حتی در مواردی که ابـزار نقشـه بـرداری در بخش‌های پایینی لایه آرمور قرار دارد می‌تواند نقطه مرجع را مشاهده کند. حال آن‌که اگر نقطه مرجع در زمین پسکرانه قرار بگیرد به دلیل حایل شدن سازه بین ابزار نقشه برداری و نقطه مرجع، دید مستقیم از بین می‌رود.

### ۵-۱۱-۲- نقشه‌برداری‌های پیش از ساخت

در نبود اطلاعات برداشت شده کافی از ساختگاه پروژه، جانمایی و طراحی سازه با مشکلات زیادی روبرو خواهد شد. طراح سازنده ساحلی باید اطلاعات دقیقی در زمینه نقشه‌های توپوگرافی خشکی و بستر ساختگاه داشته باشد تا امکان شناسایی انواع عارضـه‌هـای محدوده پروژه و پیشنهاد اصلاح احتمالی آنها فراهم باشد. مختصات این عارضه‌ها باید با دقت لازم بر روی نقشه‌هـا مشـخص شـده باشد. در مورد پروژه‌های ساحلی با توجه به ماهیت متغیر نیمرخ ساحلی و دینامیک بودن توپوگرافی بستر و خط ساحلی ممکـن اسـت ضرورت یابد بلافاصله پیش از اجرای سازه ساحلی، توپوگرافی بستر دریا در محدوده پروژه دوباره برداشت شود.

پیمانکار باید سازه ساحلی را با ارتفاع و شیب از پیش تعیین شده‌ای اجرا کند. مکان پنجه سازه با توجه به تراز بسـتر دریـا متغیـر خواهد بود. وجود اطلاعات دقیق در زمینه توپوگرافی بستر می‌تواند تا حد زیادی مکان پنجه و حجم‌های مورد نیاز بـرای اجـرای هـر کدام از مقاطع سازه را مشخص سازد.

### ۵-۱۱-۳- نکات مرتبط با راستای سازه در پلان

روش سنتی برای تعیین موقعیت بخش‌های مختلف سازه در پلان، به کارگیری ابزارهایی همچون دوربـین توتـال استیشـن می‌باشد که در ایران نیز اغلب این‌گونه ابزارهای نقشه‌برداری مورد استفاده قرار می‌گیرند. یکی از مناسب‌ترین روش‌های تعیـین موقعیت نقاط مختلف سازه به کارگیری سامانه‌ی Kinematic GPS است که دقت آن به مراتب از GPS های معمولی بیش‌تر بوده و به واسطه تصحیحات صورت گرفته، دقت عمودی آن در حدود ۳± سانتی‌متر و دقت افقی آن در محدود ۵± سـانتی‌متـر می‌باشد که برای اجرای سازه‌های سنگی دارای دقت لازم می‌باشد. در سامانه‌هـای پیشـرفته‌تـر ایـن فـن‌آوری، امکـان ذخیـره دیجیتالی موقعیت پلان‌های اجرایی و مشخصات آنها در دستگاه فراهم بوده و کاربر به سـادگی مـی‌توانـد محـل قسـمت‌هـای مختلف سازه را در ساختگاه تعیین کند.

### ۵-۱۱-۴- تنظیم نیمرخ‌های اجرایی

پس از تعیین موقعیت نیمرخ‌های مختلف سازه در پلان با استفاده از یک سامانه تعیین موقعیت مناسب (همچون Kinematic GPS)، می‌توان به تنظیم نیمرخ‌های اجرایی پرداخت که نیازمند تجهیزاتی برای تعیین شیب‌ها و موقعیت عناصر اجرایی در راسـتای عمـودی است. در کنار روش‌های سنتی همچون دوربین توتال استیشن، هم اکنون از سامانه‌های Kinematic GPS و لیزری نیز برای تنظیم نیمرخ‌های اجرایی استفاده می‌شود.

omoorepeyman.ir

### ۵-۱۱-۵- الگوی استقرار قطعات آرمور

معمولا قطعات آرمور با الگوی ویژه‌ای استقرار می‌یابند تا به تراکم چیدمان مورد نظر طراح برسند. بنابراین برای تنظیم الگوی استقرار قطعات آرمور می‌توان از یک شبکه مختصاتی استفاده نمود. این شبکه مختصاتی در نرم‌افزارهای کامپیوتری و توسط طراح تعیین شده و سپس به رانندگان جرثقیل‌ها داده می‌شود تا قطعات آرمور را طبق الگوی تعیین شده اجرا کنند.

در روش‌های ساده‌تر، الگوی استقرار قطعات بر روی لایه زیرین (فیلتر) رنگ‌آمیزی می‌شود و راننده جرثقیل می‌تواند قسمت‌هایی از آرمور را که بالاتر از سطح آب قرار دارند مطابق با الگوی رنگ‌آمیزی شده اجرا کند. در روش‌های دقیق‌تر جرثقیل به سامانه‌ی تعیین موقعیت مجهز بوده و توانایی اجرای قطعات آرمور با توجه به شبکه از پیش طراحی شده را داراست. با این حال، در کشورهای در حال توسعه که تجهیزات اجرایی و رانندگان آشنا به سامانه‌های تعیین موقعیت در اختیار ندارند معمولا مهندس ناظر هنگام اجرای لایه آرمور به راهنمایی راننده جرثقیل می‌پردازد تا الگوی مناسب و مد نظر طراح ایجاد شود.

### ۵-۱۱-۶- نکات اجرای زیر آب

دقت اجرای زیر آب و تنظیم موقعیت قسمت‌های مختلف سازه کم‌تر از قسمت‌های بالای آب است. برای تعیین موقعیت پنجه سازه ساحلی از برداشت‌های توپوگرافی بستر همراه با نقشه‌های اجرایی دقیق استفاده می‌شود. هنگامی که آرمور از راه خشکی اجرا می‌شود، برای آن‌که از استقرار مناسب قطعات آرمور اطمینان حاصل شود باید از یک سامانه تعیین موقعیت مختصاتی استفاده شود یا به بیان دیگر جرثقیل مورد نظر به سامانه‌ی GPS مجهز باشد. برای کنترل می‌توان از میله‌های برداشت عمق که یک سر آنها توسط کابلی به جرثقیل مجهز به GPS متصل شده استفاده نمود. هم‌چنین می‌توان به طور دوره‌ای ناحیه مورد نظر را هیدروگرافی[1] نمود که البته به دلیل عمق کم با مخاطراتی همراه است.

### ۵-۱۱-۷- تکنیک‌های برداشت زیر و بالای آب

**- برداشت بالای آب**

برای برداشت آرمورهایی که به شیوه منفرد و در دو لایه استقرار یافته‌اند از سه روش زیر می‌توان استفاده نمود. (شکل ۵-۲۶)

- برداشت بالاترین نقاط
- برداشت توسط ابزار دارای انتهای کروی شکل
- برداشت توسط ابزار متداول

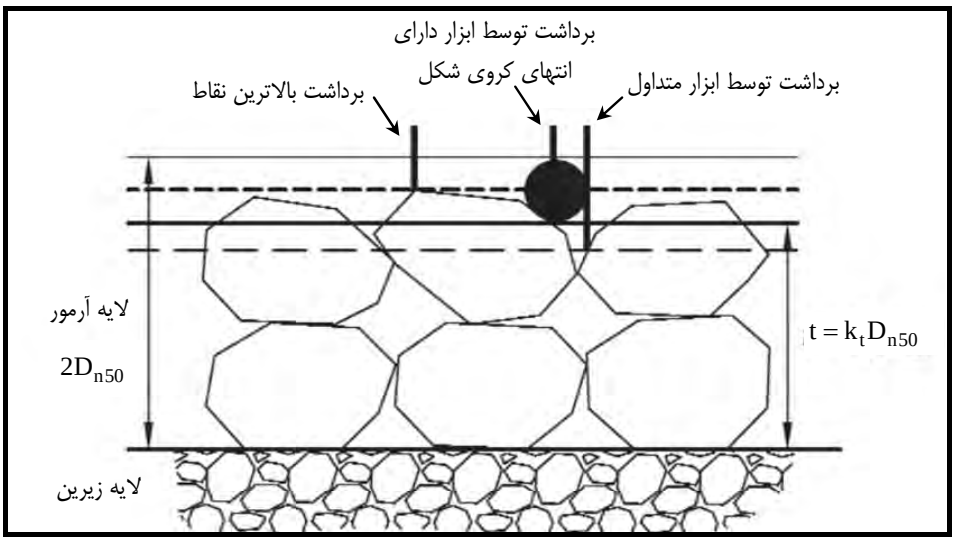
هر کدام از روش‌های برداشت بالا ضخامت‌های متفاوتی را برای لایه آرمور به دست می‌دهند. پژوهش‌ها نشان می‌دهند که ضریب ضخامت لایه ($k_t$) و پوکی لایه ($n_v$) به شکل و روش استقرار قطعات آرمور بستگی دارد.

1- Hydrography

omoorepeyman.ir

نیمرخ‌های اندازه‌گیری باید در بازه‌های مختلف و در طول سازه ساحلی (موج‌شکن، دیوار ساحلی یا سازه‌های ساحلی طویل دیگر) انجام شوند. معمولا فاصله بازه‌ها در حدود ۱۰ متر در نظر گرفته می‌شود ولی در صورتی که در بازه‌های ویژه‌ای تغییرات نیمرخ شدید باشد یا سازه تغییر راستای ناگهانی بدهد ممکن است به اندازه‌گیری‌های بیش‌تر و با فاصله کم‌تر نیاز باشد.

عملیات پیشرفت فیزیکی اجرای لایه آرمور باید با تایید کارفرما صورت گیرد و پیش از آن‌که یک نیمرخ برداشت شده از لایه آرمور مورد تایید قرار گیرد نباید نیمرخ‌های بعدی اجرا شوند.




**شکل ۵-۲۶- تاثیر روش‌های برداشت بر ضخامت لایه برای یک آرمور دو لایه**

**- برداشت زیر آب**

اعضای سازه‌ای که زیر آب قرار دارند را می‌توان توسط یک وزنه کروی شکل که به انتهای یک زنجیر متصل شده است اندازه‌گیری کرد. این زنجیر توسط جرثقیل حرکت داده می‌شود. اگر عمق آب زیاد باشد تنها راه برای برداشت عمق آب به کارگیری ابزارهای عمق‌سنج[1] می‌باشد (برای آشنایی بیش‌تر به بخش ۶-۳-۵ مراجعه شود). برای آن‌که اطلاعات برداشت شده از صحت کافی برخوردار باشند، ضرورت دارد کاربر با منشای خطاهای اندازه‌گیری ابزارهای عمق‌سنج آشنایی داشته باشد. در حالت کلی، اندازه‌گیری‌های عمق‌سنجی دارای دو نوع خطا می‌باشند:

- خطاهای سیستماتیک
- خطاهای تصادفی

یک خطای سیستماتیک سبب انحراف تمام نتایج اندازه‌گیری شده به یک طرف می‌شود به این معنی که همه اندازه‌گیری‌ها کم‌تر یا بیش‌تر از مقدار واقعی خواهند شد. خطاهای تصادفی سبب می‌شوند اندازه‌گیری‌ها در یک محدوده ویژه دارای تغییرات باشند به گونه‌ای که متوسط آنها برابر مقدار واقعی خواهد بود.

در زمره مواردی که سبب ایجاد خطا در اندازه‌گیری‌ها می‌شوند می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- خطاهای موجود در موقعیت‌یابی

1- Echosounder

omoorepeyman.ir

- خطاهای موجود در اندازه‌گیری عمق به واسطه تنظیم نادرست سرعت انتقال صورت توسط عمق‌یاب
- واسنجی نادرست و ناکافی سامانه‌ی برداشت
- خطاهای ناشی از حرکت شناور
- تجربه و مهارت کارکنان برداشت اطلاعات

خاطرنشان می‌شود خطاهای بالا از نوع تصادفی بوده و تاثیری بر مقدار متوسط ندارند.

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

# فصل ۶

# اصول نگهداری و بهره‌برداری از سازه‌های حفاظت ساحلی

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

## ۶-۱- راهکارهای مدیریت مفهومی در فرآیند نگهداری

هدف از این فصل ارائه راهکارهای مدیریت مفهومی در فرآیند نگهداری سازه‌های حفاظت ساحلی، توضیح درباره شیوه توسعه یک استراتژی مدیریتی در فرآیند نگهداری، پایش[1] سازه‌های حفاظت ساحلی، شیوه ارزیابی وضعیت و عملکرد سازه‌های حفاظت ساحلی و هم‌چنین نگهداری، ترمیم و علاج‌بخشی آنها می‌باشد.

اطمینان از عملکرد قابل قبول اکثر سازه‌های حفاظتی سنگی و بتنی، نیازمند نگهداری مداوم آنها می‌باشد. درک مفاهیم نهفته در مبحث نگهداری سازه چندان مشکل نیست، اما تخمین و تعیین آنها می‌تواند کاری دشوار باشد. این مفاهیم شامل موارد زیر می‌شوند:

- خط مشی مدیریت
- چه چیزی و چگونه پایش شود
- اطلاعات حاصل از پایش چگونه ارزیابی شود
- سود اقتصادی گزینه‌های مختلف چگونه بررسی شود
- آیا نیاز به اقدام پیشگیرانه یا اصلاحی می‌باشد
- چگونه فرآیند عملیات تعمیرات صورت گیرد

اگرچه رویکردهای مدیریت مفهومی برای سازه‌های بزرگ مقیاس و کوچک مقیاس در محیط‌های رودخانه‌ای و ساحلی یکسان می‌باشد، با این حال بسیاری از روش‌های پیشرفته و مدرن مربوط به سازه‌های بزرگ می‌شوند. در ادامه درباره این روش‌ها به طور عمومی بحث شده است به گونه‌ای که قابل اعمال به هر دو نوع سازه باشند. اما تناسب و ریسک استفاده از آنها هنگام انجام پایش و نگهداری باید در نظر گرفته شود.

### ۶-۱-۱- مدیریت طرح حفاظت ساحلی در طول عمر سازه

در بخش «۱-۴- بررسی ویژگی‌های کلی ساحل مورد مطالعه» تا حدی درباره معیارهای کلی که باید در یک طرح حفاظت ساحلی در نظر داشت صحبت شد. یکی از ملاحظات مهم در این زمینه نگهداری سازه ساحلی مورد نظر است که برای این کار باید مدیریت صحیحی برای تمام عمر پروژه صورت گیرد. در این راستا باید سازه به گونه‌ای طراحی شود که نیازمند حداقل نگهداری و حداکثر کارآیی باشد که در نتیجه هزینه‌های نگهداری سازه ساحلی به حداقل برسد. در این روش مدیریتی، نوعی تعادل بین هزینه‌های دوره‌ای پایش، نگهداری و بهره‌برداری برقرار می‌گردد.

#### - سطوح سرویس‌دهی[2]

منظور از سطح سرویس، میزان یا محدوده‌ای می‌باشد که سازه مورد نظر به عملکرد قابل قبول خود ادامه می‌دهد. برای نمونه، سازه‌هایی که برای محدود کردن میزان روگذری امواج استفاده می‌شوند، ممکن است برای دوره بازگشت ۲۰۰ ساله طراحی شوند، حال آن‌که آرمورهای به‌کار رفته، برای تحمل طوفان ۱۰ ساله طراحی شده باشند به‌گونه‌ای که آسیب قابل ملاحظه‌ای به آنها وارد

1- Monitoring
2- Service Level

omoorepeyman.ir

نشود (که البته این مساله احتمالا به خاطر محدود بودن ابعاد سنگ‌های موجود می‌باشد). سطوح سرویس‌دهی المان‌های مختلف سازه مورد نظر در حین مراحل طراحی تعریف می‌شوند، بدین ترتیب که مجموعه‌ای از شروط طراحی به کل سامانه از جمله قطعات سنگی و هم‌چنین المان‌های سازه‌ای اعمال می‌شوند. استانداردهای مورد استفاده برای هر کدام از این المان‌ها متفاوت می‌باشند.

اصولا اطمینان از عملکرد سازه مهم‌ترین فاکتور بوده و از راه برخی متغیرها مانند روگذری مجاز موج و یا کنترل رسوب، سنجش می‌گردد. سازه‌های ارزان‌تر که بر اساس استانداردهای پایداری و دوام در حالتی پایین‌تر از وضعیت بهینه طراحی می‌شوند، نیاز به پایش و نگهداری بسیار دقیق خواهند داشت تا بتوانند جوابگوی سطوح سرویس‌دهی بالا باشند. این کار معمولا در کشورهای در حال توسعه رخ می‌دهد زیرا در این مناطق هنوز آیین‌نامه‌های جامعی تدوین نشده است و احتمالا مصالح با کیفیت بالا و به میزان کافی نیز وجود ندارد و یا این‌که برنامه‌ریزی مناسبی برای ساخت و ساز انجام نمی‌شود.

روش‌های معمول و کارا برای طراحی، اجازه آسیب رسیدن به سازه را تحت شرایط گفته شده نمی‌دهند و معمولا نیاز به نگهداری اندکی در طول عمر مفید سازه خواهد بود. در فرآیند طراحی و ساخت فرضیات متعددی در نظر گرفته می‌شوند. با توسعه یک برنامه مدیریت سرویس، مدیر زیرساخت‌های پروژه می‌تواند در مورد سطح سرویس‌دهی سازه تمام شده و کل سامانه تصمیم‌گیری کند. شرایط اولیه طراحی و هرگونه تغییر ناشی از عوامل فیزیکی، اقتصادی و اجتماعی در طول عمر سازه، در این مرحله در نظر گرفته می‌شود. افزون بر این موارد، آثار اقتصادی مدیریت و نگهداری در طول عمر سازه نیز باید در نظر گرفته شود.

**- کاهش سطح کارآیی**

مکانیزم‌های مخربی مانند موج، جزر و مد و جریان‌های رودخانه‌ای بر روی سازه‌های حفاظت ساحل تاثیر گذاشته و باعث تغییر در شکل سازه و هم‌چنین ابعاد و اندازه اجزای آنها می‌شوند. حالت‌های گسیختگی که دارای احتمال رخداد پایین می‌باشند، ممکن است باعث آسیب آنی سازه شوند (مانند گسیختگی سازه در حین طوفان). بقیه انواع گسیختگی‌ها مانند آبشستگی پنجه سازه‌ها که دارای احتمال وقوع بالاتر هستند، معمولا به تدریج رخ داده و به صورت ناگهانی عملکرد سازه را تهدید نمی‌کنند.

## ۶-۱-۲- تعیین خط مشی نگهداری

فعالیت‌های مربوط به نگهداری باید بر اساس خط مشی مدیریتی که در مراحل طراحی بر مبنای کارکرد مناسب و اقتصادی سازه تعیین شده است، انجام پذیرند. چارچوب مفهومی ارتباط دهنده بین مقوله‌های طراحی، نگهداری و ریسک سازه، هزینه حداقل سازه در طول عمر آن می‌باشد که برابر است با:

حداقل مقدار عبارت: $I + PV(M) + PV(R) + PV(P_F C_F)$

که در آن:

I: سرمایه‌گذاری یا هزینه ساخت سازه

PV: مقدار کنونی

M: هزینه پایش

R: هزینه تعمیر یا جایگزینی

$P_F$: احتمال خرابی

omoorepeyman.ir

$C_F$: هزینه‌های ناشی از خرابی

به منظور ارزیابی شرایط سازه، روش‌هایی وجود دارد که از راه آنها مالک سازه قادر است:

- خرابی‌های ناشی از هر رخداد را ارزیابی کند.
- عمر کارکرد سازه در آینده را پیش‌بینی کند.
- در مورد هزینه‌های نگهداری و ترمیم برنامه‌ریزی کند.

میزان پایش موردنیاز، بر اساس راهکارهای مدیریتی تعیین می‌شود. با توجه به ملاحظات سازه‌ای، یکی از راهکارهای مدیریتی زیر باید انتخاب شوند:

- **نگهداری بر اساس خرابی:** در صورتی که سازه یا قسمتی از آن خراب شود تعمیر صورت گیرد. این شیوه مدیریتی تنها در صورت محدود بودن ریسک خرابی توصیه می‌شود.
- **نگهداری دوره‌ای:** در این روش فرض می‌شود که سازه، به صورت تابعی از زمان، دچار تخریب می‌شود. در نتیجه پس از گذشت مدت زمان مقتضی باید تعمیر صورت گیرد.
- **نگهداری با توجه به کارکرد:** در این شیوه فرض می‌شود که سازه پس از تعداد دفعات مشخص استفاده از آن، دچار زوال می‌شود. در نتیجه باید کارکرد سازه را مورد پایش قرار داده و پس از تعداد مشخصی استفاده از آن، عملیات تعمیر صورت گیرد.
- **نگهداری بر اساس بارگذاری:** خرابی سازه‌ای به بارگذاری‌های سنگین (همچون طوفان) مربوط می‌شود. بارگذاری‌ها باید پایش شده و پس از تکرار تعداد خاصی از بارگذاری‌ها، باید عملیات تعمیر صورت گیرد.
- **نگهداری بر اساس شرایط:** بسته به شرایط فیزیکی سازه در بازرسی‌های انجام شده، در صورت نیاز تعمیر انجام می‌شود.

در تمامی موارد گفته شده در بالا، به جز مورد نگهداری بر اساس خرابی، راهکارهای ارائه شده حالت پیشگیرانه دارند. در نتیجه انجام عملیات پایش ضروری می‌باشد. بدین منظور خط‌مشی مدیریتی باید موارد زیر را در نظر بگیرد:

- عملیات پایش و نگهداری پیش‌بینی شود.
- مالک باید منابع مالی و مهندسی را برای انجام عملیات پایش اختصاص دهد.
- فعالیت‌های تعمیراتی و ارزیابی عملکرد سازه باید صورت گیرد.

با توجه به موارد بالا، انتخاب خط مشی مدیریتی به این موارد بستگی دارد:

- قابل پیش‌بینی بودن خرابی سازه
- هزینه بازرسی و پایش شامل منابع مالی و مهندسی مورد نیاز برای انجام پایش و ارزیابی
- وجود روش‌های مورد نیاز برای سنجش دقیق شرایط فیزیکی
- هزینه تعمیر شامل هزینه جابجایی، کارگاه ساختمانی، نیروی کار و مصالح مورد نیاز برای تعمیر و هم‌چنین مسیرهای دسترسی برای پایش و نگهداری
- ریسک خرابی سازه شامل نیازمندی‌های مرتبط با ایمنی و هم‌چنین آسیب‌های وارد بر زیرساخت‌ها

omoorepeyman.ir

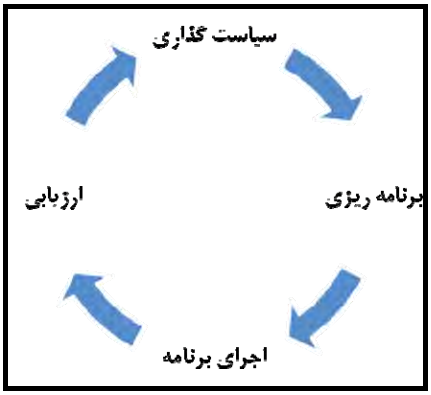
## ۶-۲- شیوه توسعه یک استراتژی مدیریتی در فرآیند نگهداری

### ۶-۲-۱- تعیین برنامه مدیریتی نگهداری

حفظ کارآیی سازه در طول عمر آن و اطمینان از برآورده شدن نیازهای مورد انتظار از سامانه، به گونه‌ای که حداقل هزینه به کار رود، نیازمند نوعی خط مشی مدیریتی دقیق و روشن می‌باشد. چنین طرح‌های مدیریتی باید امکان یادگیری، تنظیم و اصلاح راهکارهای انتخابی را فراهم کنند (شکل ۶-۱). در بسیاری از کشورها، طراح، مسوول آماده‌سازی طرح کلی مدیریتی بوده که پس از ساخت کامل سازه‌ها به کارفرما ارائه می‌شود. این کار مستلزم توجه به جنبه‌های ایمنی، ریسک، عملیات و نگهداری می‌باشد.

طرح مدیریتی باید امکان انجام موارد زیر را برای مدیر فراهم کند:

- کارآیی سازه یا سامانه را با کم‌ترین هزینه، به حداکثر برساند.
- بتواند نوع و علت موارد پایش و نگهداری را تشخیص دهد.
- فعالیت های پایش و نگهداری را برنامه‌ریزی کند.
- سطح سرویس‌دهی کنونی و شرایط تمام سازه‌های موجود در سامانه را تخمین بزند.
- با اعمال تغییراتی بتواند اولویت ها، بودجه و سیاست‌گذاری‌ها را بهینه کند.
- دانش و تجربه را به گونه‌ای حفظ کند که از دست نرود.




**شکل ۶-۱- فرآیند مدیریت کاربردی**

برنامه‌های مدیریتی شامل دو نوع اجزای استاتیکی و دینامیکی می‌باشند:

اجزای استاتیکی، چارچوب راهبردی مدیریت را تشکیل می دهند. این اجزا که به ندرت دچار تغییر می‌شوند اهداف کلی مدیریتی که بیانگر نقش سامانه و سازه و هم‌چنین ملزومات سیاست‌گذاری هستند را مشخص می‌کنند. بخش استاتیکی طرح به صورت دوره‌ای بازبینی می‌شود (برای نمونه هر ۵ سال یک بار) تا منعکس کننده تغییرات در سیاست‌گذاری‌ها، نیازمندی کاربرها و تغییرات غیر قابل منتظره در کارآیی سامانه یا سازه باشد.

اجزای دینامیکی برنامه مدیریت، مشخص کننده کلیات تمهیدات عملیاتی مورد نیاز برای مدیریت سامانه از جمله هزینه‌ها می‌باشند. معمولا بر اساس کارآیی سامانه که با توجه به اطلاعات به روز شده پایش مشخص می‌شود، برنامه دینامیکی هر ساله بازبینی می‌شود. عملیات پایش نشان می‌دهد که آیا وضعیت نگهداری سامانه‌ی پایدار، در حال بهبود و یا در حال زوال است.

omoorepeyman.ir

مهم‌ترین اجزای طرح مدیریتی در بخش استاتیکی که معمولا هر ۵ سال یک بار بازبینی می‌شود به صورت زیر می‌باشد:

- مقدمه
- تعریف زیرساختار و بخش‌های مختلف آن در قالب واحدهای مدیریتی
- سیاست‌گذاری ملی
- سیاست‌های منطقه‌ای و تعیین شرایط هدف و نیازمندی‌های کاربردی
- فلسفه مدیریتی

از سوی دیگر مهم‌ترین اجزای دینامیکی طرح مدیریتی که معمولا هر سال بازبینی می‌شود، عبارتند از:

- ارزیابی سال گذشته: ورودی، خروجی و درآمد، تمهیدات در نظر گرفته شده و نتایج حاصل شده
- برنامه ریزی برای ۵ سال آینده، تمهیدات و هزینه ها
- خطوط کلی طرح بلند مدت مشخص شود

مراحل ۱۰ گانه مدیریت کاربردی که منجر به یک برنامه مدیریتی موثر و کارا می‌شود، در جدول (۶-۱) ارائه شده است.

**جدول ۶-۱- مراحل ده گانه مدیریت کاربردی در برنامه مدیریت سازه**

| | |
|---|---|
| زیربخش‌های کاربردی سیستم زیر ساخت | **بخش استاتیکی (هر ۵ سال یک بار)**<br>۱- سامانه‌ی زیر ساخت تشریح شود<br>۲- کاربری‌های قابل کاربرد برای سامانه تعیین شود<br>۳- هر بخش از سامانه‌ی زیرساخت به واحدهای مدیریتی تقسیم شود که دارای کاربردهای یکنواختی بوده و سپس سطح سرویس مورد نیاز برای عملکرد هر ساخت و ساز مشخص گردد.<br>۴- برای هر کاربردی، ملزوماتی که آن را به سطح سرویس هدف می‌رساند، مشخص شود. |
| نگهداری وضعیت هدف | **بخش دینامیکی (هر ساله بازبینی می‌شود)**<br>۵- شرایط کارکرد کنونی سازه با شرایط هدف مقایسه شود. در صورتی که نیازمندی‌ها برآورده نشده باشند باید ساخت و ساز مناسب، بازسازی و یا تمهیداتی بهبودبخش در نظر گرفته شود.<br>۶- تحلیل سامانه‌ای سازه‌ها صورت گیرد و اجزای بحرانی هر کارکرد مشخص شوند.<br>۷- پارامترهای بازرسی تعریف شوند تا بیانگر شرایط اجزای بحرانی باشند.<br>۸- سطح تداخل اجزای بحرانی تعیین شود.<br>۹- استراتژی بازرسی و نگهداری تعیین شود.<br>۱۰- برنامه بازرسی و نگهداری تدوین شود که شامل برآورد هزینه ها و برنامه انجام کار باشد. |

برنامه مدیریت سازه‌ای باید شامل اجزای مهم زیر باشد:

- بازرسی دوره‌ای سازه و پایش شرایط زیست محیطی و پاسخ سازه
- ارزیابی اطلاعات حاصل از پایش و بازرسی به منظور تعیین شرایط فیزیکی سازه و کارکرد آن نسبت به مشخصات طراحی و استانداردهای از پیش تعیین شده مانند سطح سرویس‌دهی و عمر مفید سازه. این استانداردها ممکن است در طول عمر سازه به دلایلی تغییر کنند از جمله:
- روند تغییرات سطح آب، شرایط موج و جریانات رودخانه‌ای
- پاسخ پیش‌بینی نشده سازه
- توسعه اقتصادی

omoorepeyman.ir

- تغییرات پیش‌بینی نشده در کارکرد سازه
- تغییر در معیارهای مورد استفاده برای تعیین سطح نگهداری قابل قبول سازه
- بهینه سازی اقتصادی هزینه‌های جانبی (هزینه‌های خرابی و یا هزینه‌های ناشی از آسیب‌دیدگی سازه) و هزینه‌های زیرساختی مدیر یا مالک بندر (شامل هزینه‌های سرمایه‌گذاری و هم‌چنین هزینه‌های مدیریت، نگهداری و پایش)

تمهیدات و پاسخ‌های لازم باید با توجه به نتایج ارزیابی انتخاب شود. برخی از پاسخ‌های محتمل عبارتند از:

- هیچ کاری صورت نگیرد (وقتی که مشکلی شناسایی نمی‌شود و یا مشکلات بسیار کوچک هستند).
- تمام بخش‌های سازه بازسازی شوند.
- تمام بخش‌های سازه تعمیر شوند.
- تعمیر و یا تعویض بخش‌هایی از سازه که دارای طول عمری کم‌تر نسبت به عمر کلی سازه خواهند بود و یا مناطقی که در ارزیابی‌های صورت گرفته دچار خرابی شده‌اند.

منظور از بازسازی[1] اقدامات اصلاحی است که قبل از کاهش قابل توجه کارآیی سازه، مشکلات را شناسایی و رفع می‌کنند (USACE، ۲۰۰۳). جایگزین کردن قطعات آرمور بتنی شکسته شده و پر کردن حفره های ناشی از آبشستگی را می‌توان به عنوان بازسازی سازه ای نام برد. عملیات بازسازی را می‌توان از جنبه اقدامات نگهداری پیشگیرانه نیز مورد بررسی قرار داد.

به طور کلی دو نوع اقدام نگهداری پیشگیرانه وجود دارد.

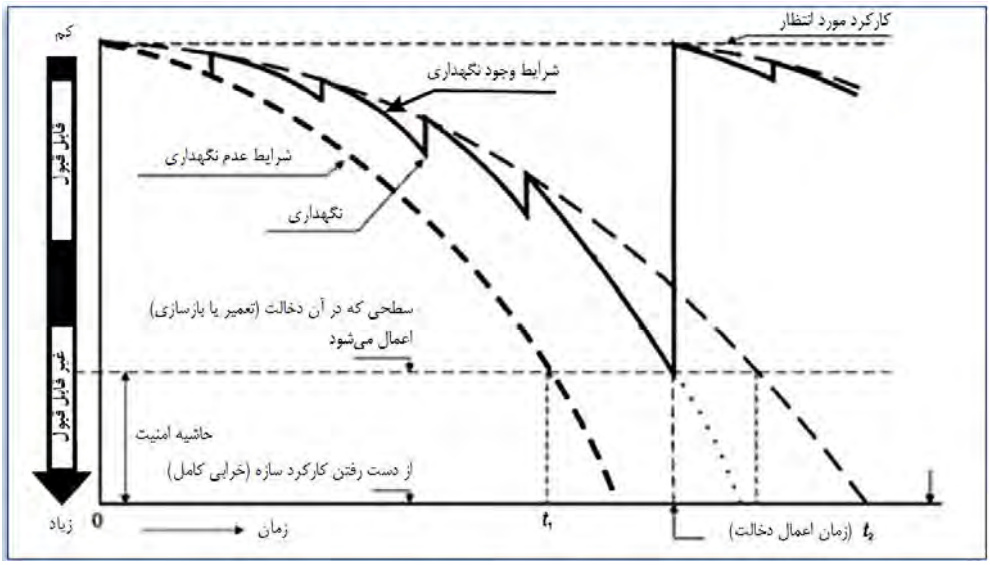
- **نگهداری بر اساس شرایط:** بازسازی سازه که بر مبنای وضعیت آن طی مشاهدات صورت می‌گیرد.
- **نگهداری دوره‌ای:** بازسازی باید بعد از دوره زمانی مشخص صورت گیرد و یا این‌که بارگذاری وارده از حد خاصی فراتر رود.
- **عملیات تعمیر:**[2] بیانگر این واقعیت است که به سازه آسیب وارد شده و کارکرد آن به شدت پایین آمده است. تعمیر شیب آرمور تغییر شکل یافته، قرار دهی مجدد قطعات بلوک‌های آرمور واقع بر تاج موج شکن و هم‌چنین خاکریزی در مناطق فرسایش یافته نمونه‌هایی از تعمیرات سازه‌ای هستند. البته در بسیاری از موارد تمایز دادن بین عملیات بازسازی و تعمیر دشوار می‌باشد.

## ۶-۲-۲- بهینه‌سازی بازه زمانی نگهداری

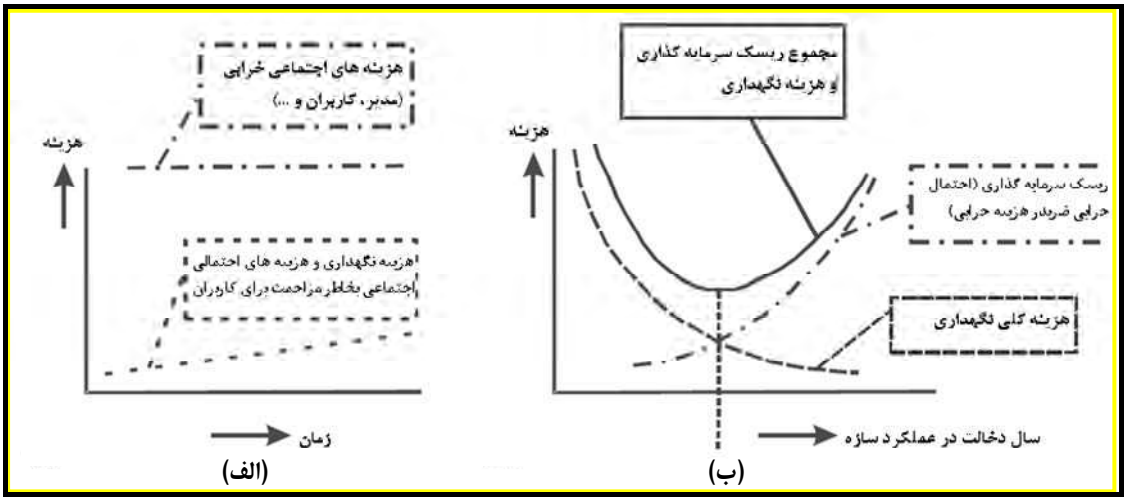
انجام عملیات نگهداری پیش از موعد، باعث تحمیل هزینه‌هایی خواهد شد ولی در عین حال ایمنی عملکرد سازه بیش‌تر خواهد شد. از سوی دیگر، دخالت دیرتر از موعد، باعث تحمیل هزینه‌های بیش‌تری خواهد شد که ناشی از تعمیرات گسترده آتی و یا آسیب ناشی از خرابی سامانه‌ی سازه‌ای و پیامد آن خسارت به کاربران، می‌باشد. در این‌جا منظور از «دخالت»، تعمیر یا بازسازی سازه است. تخمین زمان بهینه دخالت در فرآیند کارکرد سازه به هزینه تعمیرات و هم‌چنین کارکرد سامانه بستگی دارد. معمولا هنگامی دخالت صورت می‌گیرد که ریسک خسارت وارد بر کارکرد سازه، غیر قابل قبول شده باشد. سطح و زمان دخالت در عملکرد سازه با توجه به این نکته انتخاب می‌شود که هزینه‌های کل عمر سازه اعم از طراحی، ساخت، نگهداری و برداشت آن به حداقل برسد (شکل ۶-۲ و ۶-۳).

1- Rehabilitation
2- Repair

omoorepeyman.ir




**شکل ۶-۲- منحنی کارکرد سازه با گذشت عمر سازه**




**شکل ۶-۳- تعیین زمان دخالت در عملکرد سازه**

در شکل (۶-۲) رابطه بین عمر سازه و ریسک از دست رفتن کارآیی آن نمایش داده شده است. در این شکل سطح دخالت (تعمیر یا بازسازی) در عملکرد سازه باید بالاتر از سطح از دست رفتن کارآیی سازه باشد. حاشیه اطمینان انتخاب شده نیز وابسته به هزینه‌های ناشی از خرابی و نرخ از بین رفتن کیفیت سازه می‌باشد. شکل (۶-۳) هزینه‌های نگهداری و هزینه‌های جانبی ناشی از خرابی سازه را نشان می‌دهد. با توجه به شکل (۶-۲)، در زمان $t = ۰$ سازه کامل بوده و ریسک از دست رفتن کارآیی آن خیلی پایین است و در نتیجه عملکرد آن قابل قبول خواهد بود. با گذشت عمر سازه، ریسک عملکرد آن افزایش می‌یابد. با انجام عملیات نگهداری این ریسک کاهش یافته و زمان دخالت در سازه از $t_1$ به $t_2$ (در شکل ۶-۲) جابجا می‌شود.

با توجه به شکل شماتیک (۶-۳) می‌توان سال دخالت در عملکرد سازه را به دست آورد. در شکل (۶-۳-ب) تغییرات هزینه‌های نگهداری بر حسب بازه زمانی نگهداری ترسیم شده است. با افزایش طول دوره نگهداری، مقدار سرمایه‌گذاری مربوط کاهش می‌یابد. ولی از

omoorepeyman.ir

طرف دیگر ریسک خرابی سازه افزایش پیدا خواهد کرد. خط ممتد نشان داده شده در شکل (۶-۳-ب) مجموع هزینه‌های نگهداری و خرابی مربوط است. زمان دخالت در عملکرد سازه، زمانی است که مجموع ریسک سرمایه‌گذاری و هزینه نگهداری به حداقل برسد.

## ۶-۳- پایش سازه‌های حفاظت ساحلی

### ۶-۳-۱- مقدمه‌ای بر پایش

پایش پروژه بخش تفکیک‌ناپذیری از مدیریت دوره‌ای سازه می‌باشد. در صورت وجود یک برنامه پایش مناسب، می‌توان از لحاظ ایمنی، وضعیت و کارآیی، کنترل خوبی بر روی سازه داشت. هم‌چنین می‌توان توسط این فرآیند، برنامه‌ریزی زمان‌بندی شده‌ای برای تعمیر و جایگزینی برخی قطعات داشت و روند آسیب‌دیدگی و مکانیزم‌های خرابی آنها را شناسایی کرد. کارآیی یک سازه توسط مقایسه وضعیت و کارکرد کنونی آن با چند گام زمانی مختلف، ارزیابی می‌شود. اصولا برنامه پایش باید در زمان مطالعات طراحی سازه‌ای، تدوین شود ولی اغلب این امر اتفاق نمی‌افتد. این برنامه باید بسیار روشن و مشخص نوشته شود تا پس از تغییر کاربران، برای گروه بعدی به راحتی قابل فهم و انجام باشد.

بیش‌تر خرابی‌های ناشی از طوفان به راحتی قابل شناسایی هستند. اما بدون انجام پایش، ممکن است تغییرات جزیی دور از چشم مانده و در نهایت باعث خرابی لایه آرمور و یا نشست‌های غیر قابل قبول شوند. بنابراین در توصیف کمی شرایط سازه‌ای باید حالت‌های گسیختگی احتمالی و هم‌چنین پاسخ‌های مختلف سازه مشخص شوند. این کار نیازمند درک حالت‌های گسیختگی و مکانیزم‌های تخریب اجزای سازه‌ای می‌باشد.

در ادامه برخی از مهم‌ترین مفاهیم و پارامترهایی که در بخش‌های بعدی مورد استفاده قرار خواهند گرفت، ارائه شده است.

#### ۶-۳-۱-۱- عدد پایداری (Ns)[1]

مهم‌ترین پارامتری که رابطه‌ای بین شرایط موج و یک سازه شیب‌دار (در این‌جا لایه آرمور) به دست می‌دهد، عدد پایداری می‌باشد که پارامتری بی بعد بوده و به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$N_s = H_s / (\Delta D_{n50}) N_s$$

که در آن:

$H_s$: ارتفاع موج شاخص (m)، $H_s = H_{1/3}$

$D_{n50}$: قطر اسمی[2] سنگ آرمور (m)

$\Delta$: چگالی غوطه‌وری نسبی[3] (-)

چگالی غوطه‌وری نسبی ($\Delta$) به صورت زیر محاسبه می‌شود:

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

1- Stability Number
2- Nominal Diameter
3- Relative Buoyant Density

omoorepeyman.ir

که در آن:

$\rho_r$: چگالی ظاهری[1] سنگ آرمور ($kg/m^3$) (که برابر است با نسبت جرم سنگ با احتساب آب‌های موجود در خلل و فرج آن به حجم جابجا شده توسط سنگ)؛ در مورد قطعات آرمور بتنی از چگالی بتن ($kg/m^3$) $\rho_c$ استفاده می‌شود.

$\rho_c$: چگالی آب ($kg/m^3$)

### ۶-۳-۱-۲- پارامتر تشابه شکست ($\xi$)[2]

یکی دیگر از پارامترهای مهم سازه‌ای که بین زاویه شیب ساحل یا سازه ($\alpha$) و تیزی موهومی موج[3] ($s_0$) رابطه برقرار می‌کند، پارامتر تشابه شکست یا پارامتر شکنا[4] می‌باشد که به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\xi = \tan \propto / \sqrt{s_0}$$

تیزی موهومی موج ($s_0$) به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$S_0 = H / L_0 = \frac{2\pi}{g}\frac{H}{T^2}$$

که در آن:

H: ارتفاع موج محلی (m)

$L_0$: طول موج متناظر در آب عمیق (m)

T: زمان تناوب موج (s)

پارامتر تشابه شکست اغلب برای توصیف شکل شکست موج بر روی ساحل یا سطح شیب‌دار سازه ساحلی به کار می‌رود. در صورتی که ارتفاع موج شاخص ($H_s = H_{1/3}$) و زمان تناوب متوسط موج ($T_m$) مبنای محاسبه پارامتر تشابه شکست قرار گیرند آنگاه این پارامتر به صورت $\xi_m$ بیان خواهد شد.

### ۶-۳-۱-۳- پارامتر میزان خرابی ($S_d$)[5]

یکی از پارامترهای بدون بعدی که امکان مقایسه میزان خرابی سازه‌ها را با یکدیگر فراهم می‌کند، پارامتر میزان خرابی می‌باشد. این پارامتر در واقع مساحت ناحیه تخریب شده لایه آرمور پیرامون SWL را با اندازه سنگ‌ها مرتبط می‌کند. پارامتر میزان خرابی به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$S_d = A_e / D_{n50}^2$$

که در آن:

$A_e$: مساحت ناحیه تخریب شده پیرامون SWL ($m^2$)

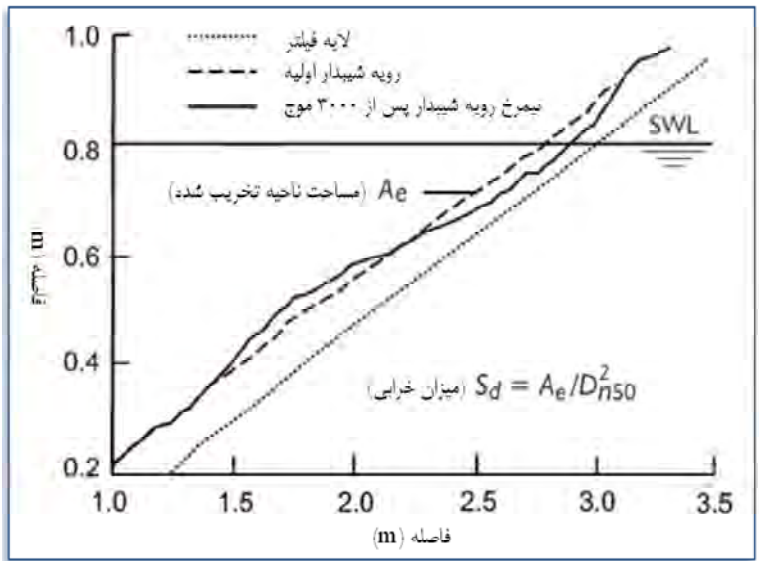
$D_{n50}$: قطر اسمی سنگ آرمور (m)

---

1- Apparent Density
2- Surf Similarity Parameter
3- Fictitious Wave Steepness
4- Breaker Parameter
5- Damage Level Parameter

omoorepeyman.ir

نمودار مربوط به یک سازه تخریب شده در شکل (۶-۴) نشان داده شده است. در این رابطه نشست‌ها و جابجایی‌های قائم به حساب آورده می‌شوند اما نشست‌ها یا لغزش‌هایی که به موازات رویه شیب‌دار رخ می‌دهند شامل نمی‌شوند. توصیف فیزیکی پارامتر میزان خرابی، تعداد مربع‌هایی با ضلع‌هایی به اندازه $D_{n50}$ می‌باشد که می‌توانند در ناحیه تخریب یافته لایه آرمور قرار گیرند.




**شکل ۶-۴- شیوه محاسبه میزان خرابی لایه آرمور سازه ساحلی**

### ۶-۳-۱-۴- دانه‌بندی سنگ‌های لایه آرمور

یکی از معیارهای بررسی گستره دانه‌بندی سنگ‌های لایه آرمور، پارامتر $D_{85}/D_{15}$ می‌باشد. هر چه این پارامتر کوچک‌تر باشد گستره دانه‌بندی سنگ‌ها محدودتر بوده یا به بیان دیگر سنگ‌ها هم اندازه‌تر خواهد بود. به این نوع توزیع اندازه سنگ، دانه‌بندی محدود[1] گفته می‌شود. از سوی دیگر، پارامترهای بزرگ‌تر بیانگر آن هستند که گستره زیادی از اندازه‌های سنگ در منحنی دانه‌بندی موجود می‌باشد. به این نوع توزیع‌ها، بسته به میزان پارامتر $D_{85}/D_{15}$ دانه‌بندی گسترده[2] یا بسیار گسترده گفته می‌شود. محدوده‌های مختلف این نوع دانه‌بندی‌ها برای رده‌های وزنی مختلف سنگ‌های آرمور در جدول (۶-۲) ارائه شده است.

**جدول ۶-۲- انواع دانه‌بندی سنگ‌های آرمور که در اروپا مورد استفاده قرار می‌گیرند**

| دانه‌بندی محدود | | دانه‌بندی گسترده | | دانه‌بندی بسیار گسترده | |
|---|---|---|---|---|---|
| D85/D15 < 1.5 | | 1.5 < D85/D15 < 2.5 | | D85/D15 > 2.5 | |
| رده | D85/D15 | رده | D85/D15 | رده | D85/D15 |
| ۲۰-۱۵ تن | ۱/۱ | ۱۰-۱ تن | ۲/۰ | ۱۰۰۰-۱۰ کیلوگرم | ۴/۵ |
| ۱۵-۱۰ تن | ۱/۱ | ۶-۱ تن | ۱/۸ | ۵۰۰-۱۰ کیلوگرم | ۳/۵ |
| ۱۰-۶ تن | ۱/۲ | ۱۰۰۰-۱۰۰ کیلوگرم | ۲/۰ | ۳۰۰-۱۰ کیلوگرم | ۳/۰ |
| ۶-۳ تن | ۱/۳ | ۶۰-۱۰ کیلوگرم | ۱/۸ | | |
| ۳-۱ تن | ۱/۴ | | | | |
| ۱-۰/۳ تن | ۱/۵ | | | | |

1- Narrow Grading
2- Wide Grading

omoorepeyman.ir

### ۶-۳-۱-۵- برآورد پیشرفت خرابی

یکی از روش‌های برآورد خرابی تجمعی سنگ‌های آرمور طی چندین رویداد طوفانی، روشی می‌باشد که توسط Melby (۲۰۰۱) ارائه شده است. خرابی تجمعی ($S_d$) به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$S_d(t_n) = S_d(t_0) + 0.025\frac{N_{s,n}^5}{T_{m,n}^b}(t_n^b - t_0^b)$$

که در آن:

$N_s$: عدد پایداری (-)، $H_s / (\Delta D_{n50})$، بر اساس ارتفاع موج شاخص (m)، $H_s = H_{1/3}$

$T_m$: زمان تناوب متوسط موج (s)

$t_n$: زمان تداوم طوفان n ام (s)

$t_0$: زمان تداوم طوفان تا زمانی که خرابی به اندازه $S_d(t_0)$ برسد (s)

$S_d(t_n)$: خرابی در زمان $t_n$ (-)

$S_d(t_0)$: خرابی در زمان $t_0$ (-)

n: شمارنده زمانی (-)

b: ضریب به دست آمده توسط آزمایش (-)، $b = 0.25$

توجه: برای محاسبه خرابی مربوط به یک رویداد (یا به بیان دیگر اولین رویداد)، $t_0$ و $S_d(t_0)$ هر دو صفر در نظر گرفته می‌شوند.

محدوده اعتبار: فرمول Melby (۲۰۰۱) بر اساس نتایج آزمایشگاهی و با محدوده اعتبار زیر به دست آمده است:

- شرایط موج با عمق محدود[1] و شرایط موج مربوط به رویدادهای پیاپی تقریبا ثابت فرض شده‌اند.
- شیب لایه آرمور سازه ۱ به ۲ و پارامتر تشابه شکست، $\xi_m$، بین ۲ تا ۴ در نظر گرفته شده‌اند.
- برای سازه‌هایی با مغزه نسبتا ناتراوا که دارای ضریب تراوایی فرضی[2] $P \leq$ ۰/۴ هستند (شکل ۶-۵).
- نسبت اندازه سنگ‌های آرمور به فیلتر $D_{n50A} / D_{n50F} = 29$ در نظر گرفته شده است.

مثال: اگر ارتفاع موج $H_s = 2.1\,m$، زمان تناوب متوسط $T_m = 10.8\,s$، اندازه سنگ $D_{n50} = 0.78\,m$ و چگالی غوطه‌وری نسبی $\Delta = 1.65$ باشد، آنگاه عدد پایداری برابر خواهد بود با

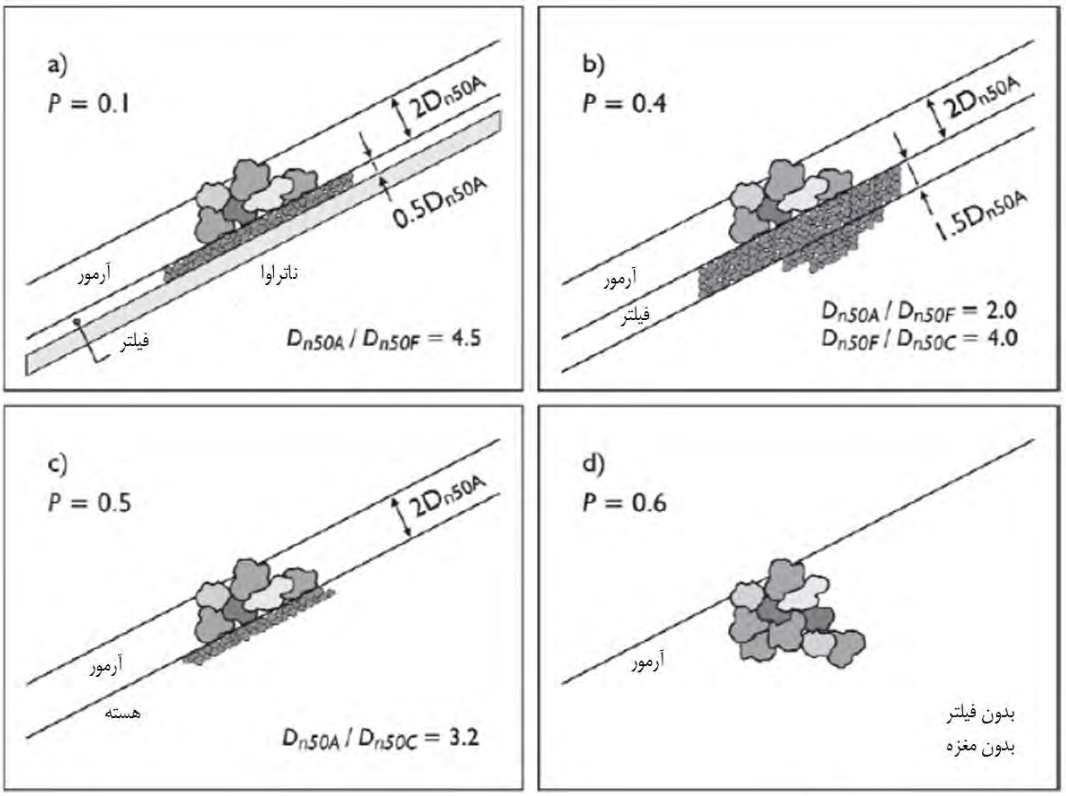
$$N_s = H_s / (\Delta D_{n50}) = \frac{2.1}{(1.65 \times 0.78)} = 1.6$$

میزان خسارت پس از اولین طوفان با زمان تداوم ۴ ساعت (۱۴۴۰۰ s) برابر خواهد شد با:

$$S_d = 0 + 0.025(\frac{1.6^5}{10.8^{0.25}})(14400^{0.25} - 0^{0.25}) = 1.58$$

1- Depth-Limited Wave
2- Notional Permeability Factor

omoorepeyman.ir




$D_{n50A}$ = قطر اسمی سنگ آرمور

$D_{n50F}$ = قطر اسمی مصالح فیلتر

$D_{n50C}$ = قطر اسمی مصالح مغزه

**شکل ۶-۵- ضریب تراوایی فرضی (P)**

اگر پس از این طوفان، طوفان دیگری رخ دهد که دارای زمان تداوم ۴ ساعت، ارتفاع موج ۲/۴ متر، زمان تناوب متوسط ۱۰/۸ ثانیه باشد آنگاه عدد پایداری برابر خواهد شد با

$$N_s = H_s / (\Delta D_{n50}) = \frac{2.4}{(1.65 \times 0.78)} = 1.86$$

در نتیجه خسارت تجمعی به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$S_d = 1.58 + 0.025(\frac{1.86^5}{10.8^{0.25}})(28800^{0.25} - 14400^{0.25}) = 1.58 + 0.65 = 2.23$$

## ۶-۳-۲- ملاحظات برنامه پایش

به طور کلی در برنامه پایش اندازه‌گیری‌های زیر صورت می‌گیرد:

- کارآیی عملکرد سازه
- شرایط سازه‌ای
- شرایط بارگذاری محیطی
- اثر سازه بر روی محیط اطرافش

omoorepeyman.ir

برای توسعه برنامه مناسبی که بتواند موارد بالا را پوشش دهد، از راهکارهای پایشی که در بخش ۶-۳-۲-۱ به آنها اشاره شد، استفاده می‌شود. دستورالعمل‌های برنامه‌ریزی مشابهی برای هر راهکار به کار گرفته می‌شود که در بخش ۶-۳-۲-۲ ارائه شده‌اند. راهکارهای بهبود این برنامه در بخش‌های ۶-۳-۲-۳ و ۶-۳-۲-۴ تشریح می‌شود. هم‌چنین در بخش ۶-۳-۳ راجع به تدقیق بازه‌های زمانی بین پایش‌ها توضیح داده می‌شود.

### ۶-۳-۲-۱- دستورالعمل ایجاد برنامه پایش

به منظور تدوین برنامه پایش باید موارد زیر انجام شوند:

- اهداف پایش مشخص شده و هر کدام از اجزای برنامه پایش که به این اهداف مرتبط هستند، ارزیابی شوند. تنها قسمت‌هایی از برنامه پایش که مرتبط با اهداف هستند، باید ارزیابی شوند.
- برنامه‌ریزی پروژه و اطلاعات طراحی بازبینی شوند تا فرآیندهای فیزیکی موثر بر سازه شناسایی گردند. سپس این فرآیندها به ترتیب اهمیت و با توجه به اهداف برنامه پایش، مرتب شوند. البته به دلیل عدم قطعیت‌های مربوط به اندرکنش بین اجزای سازه‌ای و بارگذاری محیطی، انجام این کار بسیار دشوار خواهد بود.
- پارامترهای مهم مربوط به فرآیندهای محیطی مانند ارتفاع موج، نرخ جریان و غیره تخمین زده شوند.
- روش اندازه‌گیری هر کدام از پارامترهای مهم مشخص شود. انتخاب ابزار و یا روش مناسب بستگی به عواملی همچون دقت، قابلیت اطمینان، هزینه‌ها، در دسترس بودن و ملزومات نصب یا سرویس دارد.
- اطلاعات اولیه سازه‌ای کافی جمع‌آوری شود تا بتوان تفسیر مناسبی از اندازه‌گیری‌ها و مشاهدات داشت. به عنوان نمونه، در صورتی که به پایش نیمرخ سطح مقطع یک سازه نیاز است، باید آن را نسبت به نقاط کنترلی مشخص ابتدای دوره پایش اندازه‌گیری کرد. نقشه‌های چون ساخت[1] که در شروع دوره بهره‌برداری از پروژه تهیه می‌شوند، می‌توانند به عنوان مبنای پایش شرایط سازه‌ای آتی به کار روند. هم‌چنین پیشنهاد می‌شود که چنین نقشه‌هایی برای زمان پس از بهره‌برداری نیز تهیه شوند تا در صورت نبود نقشه‌های اصلی بتوان از آنها استفاده کرد.
- به منظور اطلاع از وضعیت هیدروگرافی و هم‌چنین پارامترهای فیزیکی متاثر از ساخت سازه، برنامه‌ای تهیه شود تا مقادیر آنها پیش از ساخت سازه، اندازه‌گیری شود.

### ۶-۳-۲-۲- پایش وضعیت سازه‌ای

پایش وضعیت سازه‌ای بیش‌تر با وضعیت مصالح به کار رفته در سازه و شالوده آن سر و کار دارد. توسط این فرآیند می‌توان اطلاعات لازم برای ارزیابی یکپارچگی سازه را به صورت دوره‌ای و یا موردی به دست آورد تا بدین ترتیب اقدامات نگهداری مناسب صورت گیرد. به‌طور کلی پیچیدگی و محدوده عملیات پایش بسیار گسترده می‌باشد. پایش وضعیت سازه‌ای شامل بازرسی چشمی و گاهی نیز شامل اندازه‌گیری برای ارزیابی وضعیت سازه نسبت به زمان مبنا می‌باشد. تغییرات سازه‌ای معمولا در حین ساخت و یا سال اول یا دوم بعد از اتمام پروژه اتفاق می‌افتد. در طی این دوره، تغییرات و تنظیمات دینامیکی مانند فرونشست سازه، جابجایی قطعات

1- As-Built

omoorepeyman.ir

آرمور و هم‌چنین تغییرات هیدروگرافی اتفاق می‌افتد. پس از آن، تغییرات عمده ناشی از طوفان رخ می‌دهد. در نتیجه برنامه پایش باید آنقدر در برنامه‌ریزی انعطاف پذیر باشد تا بتواند رخدادهای طوفان که به‌صورت نامنظم اتفاق می‌افتند را پوشش دهد. جزییات مربـوط به اندازه‌گیری وضعیت سازه‌ای به همراه روش‌های مناسب برداشت اطلاعات در جداول (۶-۳) و (۶-۴) ارائه شده است.

**جدول ۶-۳- اندازه‌گیری شرایط عمومی یک سازه سنگی**

| شرایط سازه‌ای | روش برداشت |
|---|---|
| **سطح ۱: موقعیت**<br>با داشتن شبکه بندی مناسب و سطوح تراز مبنا، به اندازه‌گیری ۲ تا ۱۰ نقطه بر روی سازه پرداخته می‌شود. در صورت وقوع جابجایی‌های بزرگ در صورت امکان، استفاده از نقاط اضافی توصیه می‌شود. | تکنیک‌های مرسوم نقشه‌برداری (تمام علایم اندازه‌گیری نشست باید هنگام ساخت نصب شوند) |
| **سطح ۲: هندسه**<br>توصیف سطح خارجی بر اساس نقاط نقشه برداری سطح ۱ | نقشه برداری مرسوم به همراه تکنیک های نیمرخ برداری<br>در مورد نقشه‌برداری‌های زیر آب تکنیک‌های عمق‌سنجی اطلاعات ارزنده‌ای را می‌دهند. |
| **سطح ۳: ترکیب کلی**<br>مکان و حالت هر کدام از قطعات سنگ، شامل قطعات ناپایدار به همراه موقعیت و اندازه حفره‌های بزرگ و نمایان شدن مغزه یا لایه‌های فیلتر | تکنیک‌های بازرسی خرابی سنگ‌های آرمور<br>مقایسه عکس‌ها<br>فتوگرامتری<br>در مورد برداشت‌های زیرآبی، تکنیک‌های پویش جانبی صوتی به همراه مشاهدات غواصی برای تایید به کار می‌رود. |
| **سطح ۴: ترکیب اجزا**<br>شکل و اندازه قطعات سنگ آرمور شامل هرگونه ترک | تکنیک های بازرسی خرابی سنگ‌های آرمور |

توجه: انجام روش‌های بازرسی خرابی سنگ‌های آرمور که در سطح ۳ و ۴ ارائه شده است برای سنگ‌های با دانه‌بندی گسترده و یـا $D15$ کـم‌تـر از $0.3\ m$ دشوار می‌باشد. با این حال، این تکنیک برای سنگ‌های آرمور با دانه‌بندی محدود بسیار مناسب می‌باشد.

**جدول ۶-۴- اندازه‌گیری وضعیت سازه‌ای سازه‌های ساحلی دارای آرمور**

| شرایط سازه‌ای اندازه‌گیری شده | نتایج حاصل از مقایسه وضعیت سازه‌ای در تعدادی از نقاط به صورت همزمان |
|---|---|
| چشمی (بصری) | نشست پی<br>تغییر امتداد |
| هندسه، نیمرخ (پروفیل) | تحکیم سازه<br>مقایسه شیب نیمرخ ها برای محاسبه پارامتر آسیب لایه آرمور<br>آبشستگی |
| نیمرخ به همراه جزییات | گردشدگی سنگ‌ها و از دست رفتن مصالح و در نتیجه تخمین دوباره $\mathbf{D_{50}}$ |
| نیمرخ به همراه جزییات و متغیرهای ویژه | با توجه به شرایط موج طرح یا امواج اندازه‌گیری شده و یا موج طرح بازبینی شده، می‌توان پارامتر پایداری مصالح آرمور را دوباره ارزیابی و تدقیق نمود. |

**جدول ۶-۵- محدوده مودهای خرابی و شاخص‌های آسیب دیدگی**

| حالت خرابی | شاخص آسیب‌دیدگی | حد مجاز آسیب‌دیدگی تا قبل از تخریب |
|---|---|---|
| آسیب‌دیدگی لایه آرمور موج‌شکن و پشته ساحلی | سطح فرسایش یافته ($A_e$)، سطح آسیب دیدگی ($S_d = A_e / D_{n50}^2$) | $S_d$ = ۸-۱۷ (وابسته به زاویه شیب) |
| تغییرات نیمرخ موج‌شکن سکویی و پس رفتگی سکو و تغییر نیمرخ (حرکت آن)، $N_5$ | بررسی سازه‌های استاتیکی | $N_s$ = ۱/۵-۲/۷ و در حالت $N_s$ > ۲/۷ تغییر شکل می‌دهد |
| شکستگی قطعات آرمور بتنی (دولایه) | درصد قطعات شکسته | ۲-۱۵ درصد (وابسته به قطعات آرمور) |

omoorepeyman.ir

**ادامه جدول ۶-۵- محدوده مودهای خرابی و شاخص‌های آسیب دیدگی**

| | حالت خرابی | شاخص آسیب‌دیدگی | حد مجاز آسیب‌دیدگی تا قبل از تخریب |
|---|---|---|---|
| | شکستگی قطعات آرمور بتنی (دولایه) | عدد پایداری، $N_s$ | ۳-۴ (وابسته به قطعات آرمور) |
| | مسطح شدن پنجه | کاهش زاویه شیب | ۲۰-۵۰ درصد |
| | آرمور بتنی تک لایه، | درصد آرمورهای شکسته | ۰-۵ درصد |
| | حفاظت پنجه تا رسیدن به سطح شیب‌دار | عدد پایداری $N_s$ | ۳-۶ (وابسته به عمق پنجه) |
| | جابجایی و افتادن قطعات پنجه | تغییر سطح مقطع | - |
| مودهای خرابی ژئوتکنیکی | تخریب کرانه به واسطه شسته شدن ریزدانه‌ها | نشست آرمور | وابسته به فیلتر |
| | نشست | ظرفیت باربری<br>پتانسیل لغزش سطوح | وابسته به جنس بستر دریا |
| | نشست کلی موج‌شکن و پشته ساحلی | تراز تاج و زاویه شیب | وابسته به خاک زیرین |
| | نشست موضعی خاکریز کنار آبراهه که بر روی بستر سست احداث شده است | تراز تاج | وابسته به خاک زیرین |
| | نشست بندهای انحرافی و سدها | ارتفاع آزاد | پی وابسته به جنس بستر می‌باشد |
| | نشست سازه‌های رودخانه و کانال‌ها شامل پوشش محافظ و حفاظت شیب کرانه ساحلی | ارتفاع آزاد | وابسته به خاک بستر |
| | سطح لغزش دایروی ناشی از بارگذاری هیدرولیکی | حرکت قائم و جانبی تاج و شیب | - |
| | لغزش حفاظت شیب در امتداد سطوح لغزش مستقیم و کم ارتفاع | حرکت جانبی و قائم تاج و شیب | - |

در حالت ایده‌آل هر کدام از متغیرهای مربوط به مقاومت سازه‌ای باید به صورت مستقیم اندازه‌گیری شوند. البته این کار بسیار دشوار بوده و معمولا از راهکارهای جایگزین استفاده می‌شود. برای نمونه اندازه متوسط قطعات آرمور، سطح تاج سازه و یا هندسه کلی آن برداشت می‌شود.

عملیات بازرسی چشمی به کمک عکس‌برداری صورت می‌گیرد تا بدین وسیله وضعیت کلی سازه مشخص شود. با استفاده از این عکس‌ها می‌توان جابجایی‌های آشکار قطعات سنگی، تغییر در نیمرخ سازه و غیره را ثبت کرد. این نوع برداشت بسیار محدود بوده و استفاده اندکی در ارزیابی کمی با جزییات زیاد سازه خواهد داشت. با این حال، در صورتی که نقاط مبنای ثابتی بر روی سازه مشخص شوند و در زمان برداشت نسبت به آنها قرائت انجام شود، افراد با تجربه خواهند توانست مبنایی برای برنامه پایش ارائه دهند.

در جدول (۶-۵) محدوده مودهای خرابی و شاخص‌های آسیب دیدگی ارائه شده است.

### ۶-۳-۲-۳- پایش عملکرد سازه

پایش عملکرد و کارآیی سازه شامل مشاهدات و اندازه‌گیری‌هایی است که با استفاده از آنها شیوه عملکرد سازه در مقایسه با اهداف طراحی و شرایط محیطی، مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. معمولا برنامه‌های پایش عملکرد سازه در سال‌های اولیه عمر سازه انجام می‌شوند و نسبت به عمر طراحی سازه، بازه کوتاه‌تری دارد (کم‌تر از ۵ سال). برخی از این برنامه‌های پایش مدت‌دار بوده و ممکن است شامل جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها در طی چند ماه باشند. نوع دیگر این برنامه‌ها به صورت دوره‌ای صورت می‌گیرند و طی آنها

omoorepeyman.ir

پارامترهای محیطی از جمله اطلاعات جریان و باد هر چند سال یکبار ثبت می‌گردند. در مورد سازه‌های نامتعارف یا حالت‌هایی که برای اجتناب از عدم اطمینان نیاز به ثبت بلند مدت‌تر داده‌ها می‌باشد، دوره‌های اندازه‌گیری طولانی‌تر انتخاب می‌شود.

دلایل عمده پایش عملکرد سازه‌های ساحلی عبارتند از:

- فراهم آوردن روشی برای بهبود دستیابی به اهداف پروژه
- بازبینی و بهبود روند طراحی
- واسنجی روش‌های اجرا و تعمیر
- سنجش فرآیند بهره‌برداری و نگهداری

### ۶-۳-۲-۴- پایش بارگذاری محیطی

این فرآیند به منظور ارزیابی اثر بارهای وارد بر سازه و هم‌چنین تاثیر سازه بر محیط پیرامونش (برای نمونه بستر رودخانه یا ساحل) صورت می‌گیرد. جدول (۶-۶) جزییات شرایط و بارگذاری محیطی را به همراه روش‌های مناسب برای پایش سازه ارائه می‌دهد. روش منتخب پایش باید مرتبط با حالت‌های احتمالی خرابی سازه مورد بررسی باشد.

**جدول ۶-۶- سنجش شرایط یا بارگذاری محیطی**

| شرایط بارگذاری محیطی | ابزار اندازه‌گیری |
|---|---|
| تراز سطح آب | جزر و مد نگار، بازرسی چشمی<br>داده‌های حاصل از نزدیک‌ترین ایستگاه‌های ثبت کشند<br>استفاده از ابزارهای ثبت سطح آب (اندازه گیرهای پله‌ای یا مقاومتی) |
| اقلیم موج | فشارسنج های مستقر بر روی بستر<br>اندازه‌گیرهای تراز سطح آب که بر روی یک پایه مستحکم نصب شده‌اند (برای نمونه شمع یا داربست لوله‌ای)<br>بویه‌های شناور (نگهداری آنها برای دوره‌های طولانی مدت پرهزینه است)<br>استفاده از داده‌های باد در زمان‌های طوفان برای پیش‌یابی موج[1] |
| اقلیم باد | تجهیزات استاندارد بادنگار (با توجه به وابستگی بین جهت موج و باد می‌توان ابزار مفیدی برای ارزیابی اقلیم جهتی موج نیز باشد) |
| بالاروی موج | اندازه‌گیرهای مقاومتی با سامانه‌های موازی فلزی (دوام این سامانه چندان زیاد نیست) |
| عبور موج (موج‌شکن ها) | اندازه‌گیرهای موج در پشت موج‌شکن |
| فشار حفره‌ای توده خاک | پیزومترهای نصب شده در توده که مجهز به تجهیزات ثبت خودکار هستند |
| ژرفاسنجی و توپوگرافی ساحل | در تراز پایین تراز آب بالا، روش‌های استاندارد ژرفاسنجی قابل استفاده هستند.<br>در تراز بالاتر از آب پایین، روش‌های مرسوم نقشه برداری خشکی و یا فتوگرامتری از راه عکس‌برداری هوایی قابل استفاده است. |
| تنش در پی | ورق‌های فشار سنج |
| فشار حفره‌ای در پی | پیزومترها (لوله‌های قائم استاندارد برای اندازه‌گیری مداوم و ابزارهای ثبت الکترونیکی قابل استفاده هستند) |

### ۶-۳-۲-۵- ملاحظات مربوط به داده‌ها

ملاحظات کلی لازم برای داده‌ها عبارتند از: دقت، کیفیت و کمیت.

- **دقت داده‌ها:** مشخص می‌کند که مقدار داده ثبت شده چقدر به مقدار واقعی آن در زمان مشاهده نزدیک بوده است. این پارامتر به طور مستقیم به ابزار اندازه‌گیری یا مشاهده پدیده فیزیکی، مرتبط است. برای نمونه، تخمین چشمی ارتفاع و زمان تناوب موج دقت بسیار کم‌تری نسبت به ثبت اطلاعات توسط دستگاه‌های اندازه‌گیری موج دارد.

1- Wave Hindcasting

omoorepeyman.ir

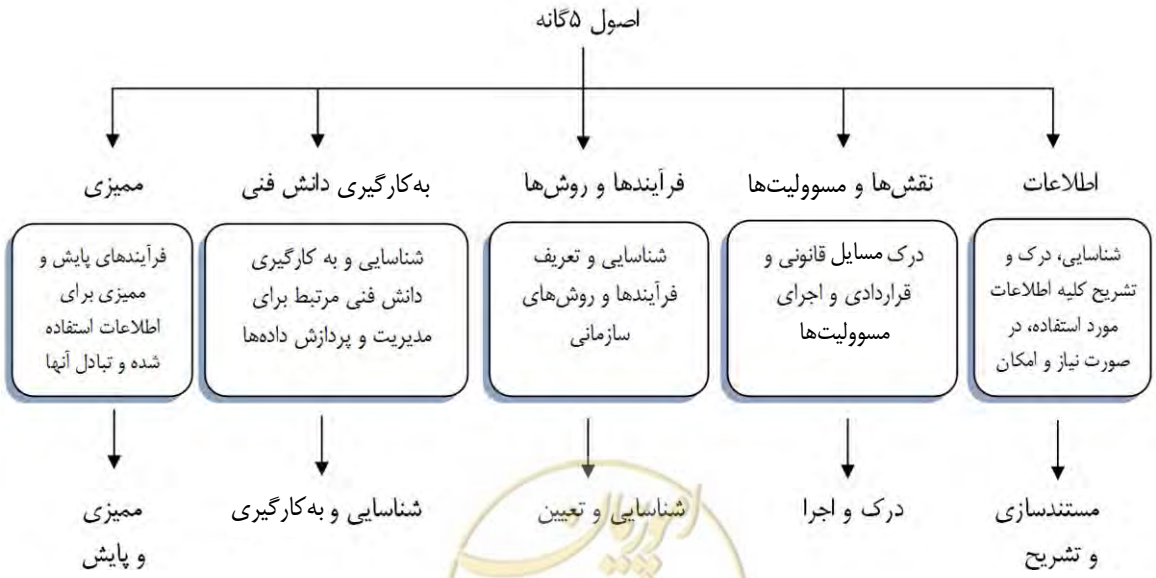
- **کیفیت داده‌ها:** شامل عوامل مرتبط با محل اندازه‌گیری و هم‌چنین مواردی از جمله صحت‌سنجی دستگاه است. برای افزایش کیفیت داده‌ها، به ابزارهای دقیق با کیفیت بسیار بالا نیاز می‌باشد. این پارامتر هم‌چنین به نرخ نمونه‌برداری (سرعت ثبت داده) بستگی دارد. برای نمونه ثبت پارامترهای موج با نرخ فرکانس ۱ هرتز نمی‌تواند امواج کوتاه را نمایش دهد.
- **کمیت داده‌ها:** این مورد به طور مستقیم بر روی هزینه تاثیرگذار است. برای برخی از اندازه‌گیری‌ها، راهنماهای مناسبی وجود دارد که به طور مشخص به توضیح میزان یا کمیت مورد نیاز برای ثبت داده‌ها می‌پردازد. البته هنوز ابهاماتی در این زمینه وجود دارد، به ویژه درمورد طول مدت اندازه‌گیری. برای ارزیابی کمیت داده‌ها باید بین عوامل متعددی از جمله هزینه، اهمیت داده‌ها، قابلیت اطمینان ابزار اندازه‌گیری و متغیرهای طبیعی، نوعی تعادل برقرار شود.

مدل مفهومی انتخاب روش مناسب برای ثبت و به اشتراک گذاشتن اطلاعات بین سرمایه‌گذاران یا کارفرمایان پروژه، شامل پنج اصل مهم است که می‌توانند برای اداره موفق سازه‌های ساحلی به کار روند. این پنج اصل در شکل (۶-۶) نشان داده شده‌اند.

## ۶-۳-۳- تعیین بازه‌های زمانی بین پایش‌ها

بازه زمانی بین دوره‌های پایش با توجه به ریسک مربوط به مکانیزم خرابی، اجزای سازه‌ای، شرایط پی و معیارهای طراحی، از پیش تعیین می‌شود. زمان‌بندی عملیات پایش برای مکانیزم‌های مختلف متفاوت است.

در حالت کلی، بهتر است که تعداد دفعات بازرسی، بهینه شود. لازم به ذکر است که تمام برداشت‌های میدانی، دارای سطح یکسانی از جزییات نمی‌باشند. بدین ترتیب که معمولا متولیان بنادر تمایل دارند که بازرسی‌های مکرر با جزییات اندک و هم‌چنین برداشت‌های اندک با جزییات بیش‌تر را انجام دهند. استفاده از تجربیات گذشته در مورد سازه‌های مشابه نیز برای تخمین بازه زمانی بین دوره‌های پایش مناسب می‌باشد. در صورتی که در برنامه پایش مشخص شده باشد که بخش‌هایی از سازه بهتر از حد انتظار کار کرده‌اند، می‌توان دوره بعدی پایش را با فاصله زمانی بیش‌تری انجام داد. در ادامه روش‌های مختلفی از تعیین بازه زمانی بین پایش‌ها ارائه شده است.




**شکل ۶-۶- پنج اصل مدیریت داده‌ها**

omoorepeyman.ir

### ۶-۳-۳-۱- بازرسی دوره‌ای

در این شیوه، بازرسی‌ها در بازه‌های زمانی منظمی که در مرحله طراحی مشخص شده‌اند، انجام می‌شود. حداقل بازه زمانی منطقی، بر اساس تغییر فصل‌ها انتخاب می‌شود و می‌تواند ۶ یا ۱۲ ماه نیز در نظر گرفته شود. به‌طور مثال کرانه کانال و رودخانه را به طور عموم بعد از زمستان یا فصل بارندگی بازرسی می‌کنند.

برداشت‌های سالانه باعث می‌شود که کارکنان مربوط همواره از وضعیت سازه آگاه بوده و پیوستگی داده‌های ثبت شده نیز رعایت شود. در صورتی که مکانیزم خرابی شناخته شده و تابعی از زمان باشد (مثلا نشست)، بازه‌های زمانی ممکن است برابر با چند سال نیز انتخاب شوند. بازرسی باید طوری برنامه‌ریزی شود که قبل از رسیدن شرایط سازه‌ای به مقدار حداقل نشان داده شده در منحنی کارکرد سازه (شکل ۶-۲)، این عملیات انجام شده باشد.

در سال‌های اولیه پس از اجرای سازه ساحلی نیز برخی از برنامه‌های پایش انجام می‌شود تا از کارکرد قابل قبول سازه، اطمینان حاصل گردد. هم‌چنین پس از وقوع طوفان‌های شدید برای نمونه هنگامی که ارتفاع موج ناشی از طوفان به ۷۵ درصد مقدار موج طرح برسد و یا این‌که جریان رودخانه به حد بحرانی برسد، عملیات پایش صورت می‌گیرد. مقدار آستانه مورد استفاده با توجه به شرایط طراحی و دوره بازگشت مربوط و هم‌چنین خصوصیات خرابی سازه تعیین می‌شود. در حالت ایده‌آل، انجام پایش برای شرایط بارگذاری محیطی باید به صورت پیوسته انجام شود. به جز در شرایط بسیار خاص، پیشنهاد می‌شود که اجزای مستغرق سازه‌های سنگی هر ۵ سال یکبار و یا پس از هر طوفان شدید یا جریان سریع به طور کامل بازرسی می‌شوند. افزون بر این، بازرسی‌های سالیانه از قسمت‌های بالایی سازه که بالای سطح آب قرار دارند، می‌تواند اطلاعاتی راجع به احتمال خرابی در قسمت مستغرق سازه فراهم کند.

### ۶-۳-۳-۲- بازرسی با توجه به کاربری

در صورتی که خرابی‌ها عمدتا وابسته به کاربری و یا بارگذاری سازه باشند، کاربری و یا بارگذاری تجمعی باید مبنای انجام بازرسی قرار گیرد. بدین ترتیب باید پس از وقوع تعدادی از رخدادها برای نمونه طوفان، بازرسی انجام شود.

برای نمونه در مورد پوشش‌های محافظ:

بار = بار هنگام کشند بالا (مد) + ارتفاع موج یا جریان سیلابی

در مهندسی ساحل، برنامه‌ریزی بازه‌های زمانی بازرسی مربوط به پدیده آبشستگی با توجه به زمان بارگذاری‌های قابل توجه تعیین می‌شود. این امر سبب می‌گردد، عملیات نقشه‌برداری دریایی معمولا پس از وقوع تعدادی از جریان‌های شدید انجام شود.

### ۶-۳-۳-۳- پایش بر مبنای شرایط

عملیات پایش می‌تواند به صورت چشمی توسط افراد با تجربه صورت گیرد تا بر اساس آن برای انجام برنامه پایش دقیق‌تر مبنایی مشخص گردد. پس از گذشت سالیان ابتدایی احداث بندر، کارآیی رضایت بخش سازه می‌تواند بیانگر این مطلب باشد که در صورت بیش‌تر کردن فواصل زمانی پایش نیز می‌توان عملکرد مناسبی از سازه به دست آورد. برای نمونه هر ۱۲ ماه یا هر ۲۴ ماه این کار صورت گیرد.

فراوانی انجام عملیات پایش که در طی عمر سازه تدقیق می‌شود، به عوامل زیر بستگی دارد:

- محل احداث سازه

omoorepeyman.ir

- نوع ساخت و ساز
- سطوح ریسک طراحی
- شرایط محیطی
- وضعیت پی

بازه‌های زمانی معمول برای انجام پایش در جدول (۶-۷) ارائه شده است.

## ۶-۳-۴- برداشت مقاطع سازه در بالای تراز سطح آب

روش‌های برداشتی که در این بخش به آنها اشاره می‌شود، شامل برداشت توپوگرافی به شیوه مرسوم و هم‌چنین بازرسی چشمی به ویژه در مورد وضعیت لایه آرمور می‌باشد. در هر دو روش باید دسترسی بر روی سازه امکان‌پذیر باشد که معمولا کاری دشوار است. در این شیوه تاکید بر روی تغییرات فیزیکی سازه‌ها و وضعیت پی آنها می‌باشد. برای نمونه با برداشت متوالی تراز مقطع سازه‌ای می‌توان مقدار نشست و جابجایی سنگ‌های آرمور را تخمین زد. اغلب روش‌هایی که در ادامه توضیح داده می‌شوند، برای سازه‌های بزرگ مناسب هستند درحالی‌که روش‌های چشمی و عکس‌برداری برای سازه‌های کوچک و به خصوص سازه‌های واقع در رودخانه و کانال نیز کاربرد دارند.

**جدول ۶-۷- برنامه زمانی بازه‌های انجام پایش**

| نوع بازرسی | بازه زمانی مبنای پایش |
|---|---|
| موقعیت کل سازه (تغییرات ناشی از ژئوتکنیک) | بازدید چشمی شش ماهه تا برداشت میدانی ۱۲ ماهه |
| هندسه سازه | ۱۲ ماه |
| موقعیت هر کدام از سنگ‌های آرمور | ۱۲ ماه |
| شکل، اندازه و وضعیت آرمورها | ۱۲ ماه برای هر کدام از سنگ‌ها |
| پی‌ها، آبشستگی و ... | بازدید چشمی ۶ ماهه تا برداشت میدانی ۱۲ ماهه |
| غواصی و بازرسی با دستگاه‌های صوتی | ۵ سال و یا وارد آمدن آسیب به لایه‌های بالایی |
| بازرسی چشمی سازه قدیمی | بر مبنای شرایط |
| پس از وقوع طوفان شدید یا دوره‌های بلند مدت یخبندان | بر اساس رخداد یک پدیده |
| بازرسی‌های چشمی هنگامی که پرسنل برای منظور دیگری در منطقه حضور دارند و زمان کافی هم دارند | بر مبنای وجود منابع |
| بازرسی‌های چشمی پس از گزارش یک مشکل برای نمونه سقوط درخت در رودخانه | بر مبنای رخداد یک حادثه |

### ۶-۳-۴-۱- برداشت چشمی

برداشت چشمی اجزای سازه‌ای واقع در بالای سطح آب توسط این روش‌ها انجام می‌شود:

- راه رفتن بر روی سازه
- مشاهده از محل زمین‌های پیرامونی سازه
- مشاهده سازه از ناحیه آبی پیرامون سازه به کمک دوربین چشمی
- مشاهده از روی قایق یا هواپیما

omoorepeyman.ir

### ۶-۳-۴-۲- تخریب لایه آرمور

روش‌های ساده و ارزانی برای بازرسی میدانی این مورد وجود دارد که عبارتند از:

- شمارش تعداد قطعات آرمور شکسته
- پاشیدن رنگ بر روی ترک‌ها و جابجایی‌های مشکوک
- استفاده از متر برای اندازه‌گیری فاصله بین نقاط مشخص بر روی سازه
- اندازه‌گیری سطح تراز موقعیت‌های مشکوک به جابجایی
- مستندسازی مستمر به کمک عکس‌برداری از سازه از یک زاویه ثابت

وضعیت و در نتیجه عملکرد لایه‌های آرمور به اندازه، شکل و بافت سطح قطعات آرمور بستگی دارد. به کمک روش‌های بازرسی چشمی می‌توان سنگ‌هایی که در معرض خرابی قرار دارند را تشخیص داد.

به کمک فرآیند پایش چنین مواردی تشخیص داده می‌شوند:

- **حفره‌ها:** سوراخ‌هایی که بین قطعات آرمور طراحی شده به وجود می‌آید.
- **قطعات آرمور ترک خورده:** شامل تمام ترک خوردگی‌هایی که در محل[1] رخ داده‌اند.
- **قطعات آرمور کوچک:** شامل تمام سنگ‌های کوچک‌تر از مقدار حدی تعیین شده می‌باشند.
- **قطعات آرمور ناپایدار:** سنگ‌هایی که تحت اثر موج و جریان آب حرکت می‌کنند.

قفل و بست بین لایه‌های آرمور را می‌توان به دو روش ارزیابی کرد:

الف- قطعات آرمور ناپایدار، قطعاتی هستند که توسط امواج طوفانی به آسانی جابجا می‌شوند. این قطعات معمولا تحت این شرایط گرد گوشه یا ساییده شده‌اند. البته در سازه‌های تازه ساخت، چنین جابجایی‌های طبیعی و موقتی وجود دارند.

ب- پارامتر دیگری که در ارزیابی قفل و بست قطعات آرمور مورد استفاده قرار می‌گیرد، عدد هماهنگی[2] می‌باشد. این پارامتر متوسط تعداد سنگ‌های در تماس با یک قطعه آرمور می‌باشد. این عدد تابعی از قطر سنگ‌ها (D85/D15) بوده و احتمالا برای سنگ‌های آرمور با دانه‌بندی محدود (به ۶-۳-۱-۴ مراجعه شود) کاربرد داشته و برای اطمینان از یکپارچگی اندازه سنگ‌های لایه آرمور استفاده می‌شود.

### ۶-۳-۴-۳- روش‌های مبتنی بر عکس‌برداری

تصاویر داده‌هایی ارزان قیمت هستند که برای پایش سازه‌ها به کار می‌روند. در ادامه دو نوع از روش‌های عکس‌برداری که برای پایش قسمت‌های روسازه به کار می‌روند، توضیح داده شده است.

#### - عکس‌برداری مقایسه‌ای

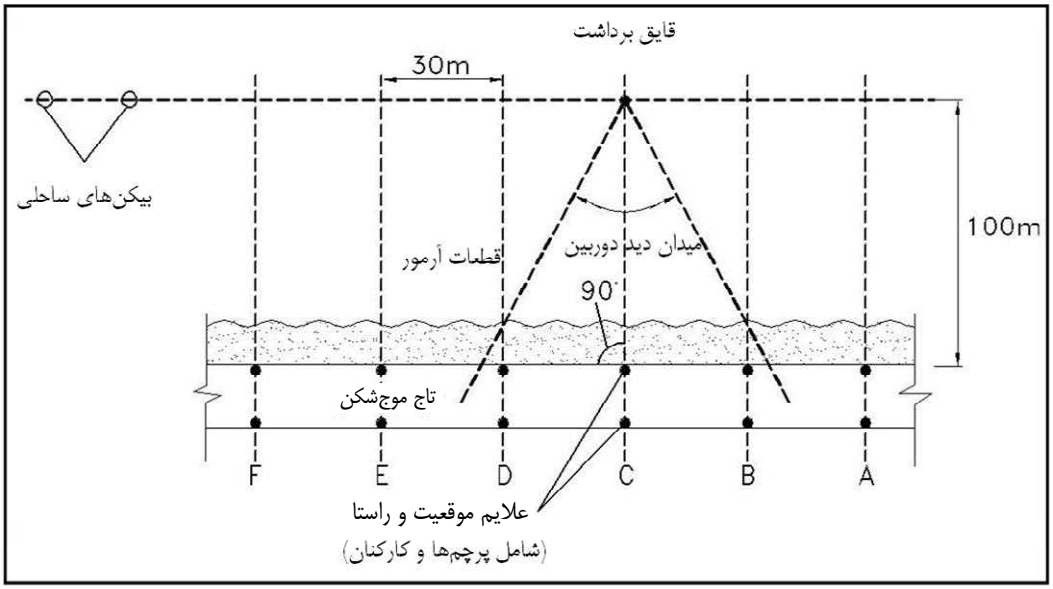
معمول‌ترین روش پایش با استفاده از تصاویر، عکس‌برداری مقایسه‌ای است. تصاویری که در هر عملیات برداشت از یک زاویه ثابت گرفته شده‌اند، برای تشخیص تغییرات رخ داده استفاده می‌شوند. ارزش و دقت این روش به مکانی که از آنجا عکس‌برداری

1- In situ
2- Co-ordination number

omoorepeyman.ir

شده، میدان دید و کیفیت تصاویر بستگی دارد. این روش برای رودخانه‌ها و کانال‌ها که در آنها می‌توان از سازه‌های کرانه مقابل عکس‌برداری کرد، بسیار مناسب می‌باشد. عکس‌برداری هوایی مزیت‌های زیادی نسبت به عکس‌های زمینی دارد. برای نمونه با این شیوه می‌توان به ساختگاه‌های دور از ساحل که دسترسی به آنها از راه زمینی دشوار است، دسترسی پیدا کرد. هم‌چنین می‌توان در شرایط دریایی طوفانی نیز عکس‌برداری را انجام داد. یکی از ایراد عکس‌برداری هوایی این است که تنها برای تشخیص تغییرات عمده سازه‌ای قابل استفاده‌اند و تغییرات جزیی حتی پس از بزرگ‌نمایی تصاویر دور از نظر خواهند ماند.

پرکاربردترین زاویه برای برداشت عکس از سازه‌های شیب‌دار همچون رویه موج‌شکن‌ها یا پوشش‌های محافظ، زاویه عمود بر سطح رویه شیب‌دار است. البته این کار نیازمند آن است که دوربین در ارتفاع بالاتری نسبت به سطح آب قرار داشته باشد که گاه دشوار می‌باشد. در روش Kluger برای برداشت عکس از موج‌شکن، یک قایق به فاصله ۱۰۰ متری و به موازات موج‌شکن حرکت کرده و در فواصل ۳۰ متری تصاویری برداشت می‌کند. برای آن‌که قایق در یک راستای مستقیم و به موازات موج‌شکن حرکت کند دو بیکن ساحلی[1] به عنوان راهنما به کار می‌روند. در صورت به کارگیری GPS دیگر نیازی به این بیکن‌ها نخواهد بود (شکل ۶-۷).




**شکل ۶-۷- برداشت عکس‌های مقایسه‌ای از موج‌شکن توسط یک قایق**

**- فتوگرامتری**

روش‌های فتوگرامتری[2] به ویژه برای برداشت نیمرخ سازه‌های توده‌سنگی و پایش حرکت قطعات آرمور در این نوع سازه‌ها به کار می‌رود. تاکنون این روش عمدتا برای موج‌شکن‌های با قطعات آرمور بتنی با موفقیت مورد استفاده قرار گرفته است. با این حال می‌توان آن‌را برای قطعات آرمور سنگی نیز به کار برد.

بدین ترتیب که تصاویر هوایی با کیفیت و در سطوح نزدیک به زمین را با اطلاعات برداشت زمینی تلفیق کرده و یک مدل کامپیوتری برپا کرد تا نمای سه بعدی و واقعی از محدوده مورد مطالعه حاصل شود. با تکرار عکس‌برداری با در نظر گرفتن نقاط

1- Shore Beacon
2- Photogrammetry

omoorepeyman.ir

کنترلی مرجع یکسان، اطلاعات مورد نیاز برای مقایسه تصاویر به دست می‌آید (Kendall, 1989; Hughes et al, 1985a, 1995b). در این روش بهتر است تصاویر برداشتی از هوا در فواصل ۱۰۰ تا ۲۰۰ متری در امتداد موج‌شکن برداشته شوند. هم‌چنین برای به حداقل رسیدن سایه‌ها و وجود نور کافی توصیه می‌شود تصاویر بین ۱۰ صبح تا ۲ بعد از ظهر برداشت گردند. همپوشانی تصاویر متوالی در این نوع روش باید دست کم ۶۰ درصد باشد.

### ۶-۳-۴-۴- برداشت توپوگرافی از راه خشکی

اندازه‌گیری موقعیت سازه‌ها نسبت به یک سامانه‌ی مرجع خارجی نیازمند تجهیزات مرسوم مهندسی از جمله ترازسنج، دوربین نقشه برداری و GPS می‌باشد. جنبه‌های نقشه‌برداری مرتبط با سازه‌های حفاظت سواحل عبارتند از:

- انجام و تفسیر اندازه‌گیری‌ها
- برداشت ترازهای مختلف
- تعیین نقاط کنترلی و مرجع
- تنظیم و جابجا کردن خطوط اجرایی نیمرخ سازه‌ها

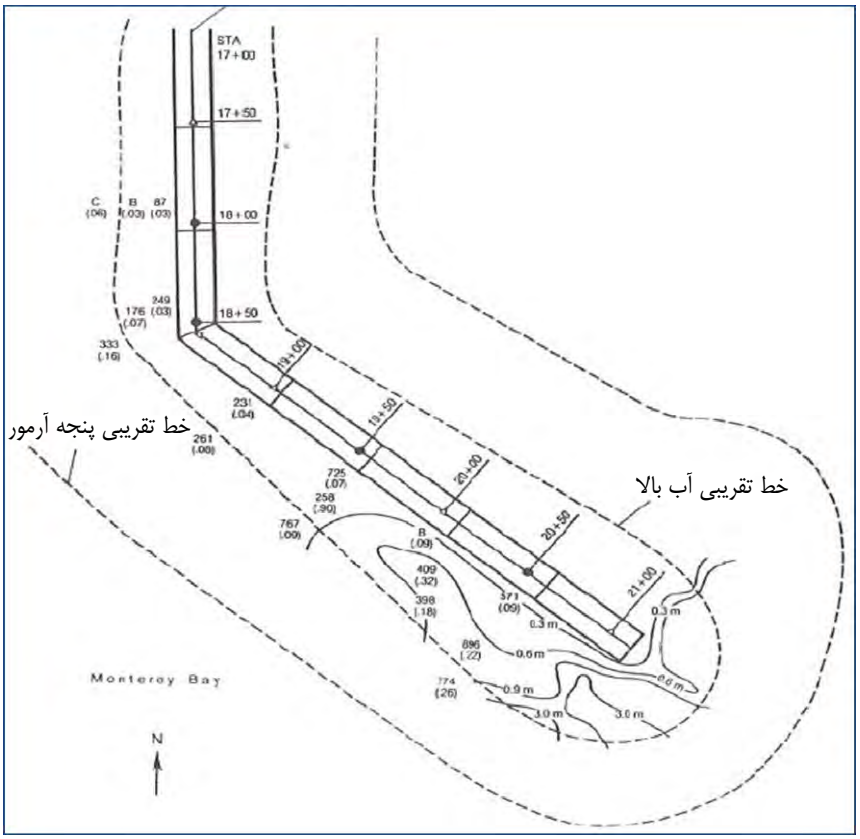
تکنیک‌های انجام عملیات نقشه‌برداری برای تعیین موقعیت نقاط مرجع، ارتفاع عوارض واقع بر روی اجزای سازه‌ای اصلی، نقاط کنترلی مورد نیاز برای اندازه‌گیری‌های فتوگرامتری و نقاط واقع بر خط پروژه به کار می‌روند.

برداشت‌های ترازسنجی نیز برای تخمین مقدار نشست و دیگر جابجایی‌های تاج موج‌شکن و قطعات آرمور، نشست موضعی و فرسایش یا انباشت رسوب در پای موج‌شکن صورت می‌گیرد. نمونه‌ای از برداشت‌های مربوط به خطوط دارای نشست مساوی (هم نشست) لایه آرمور سنگی در یک موج‌شکن در شکل (۶-۸) نشان داده شده است.

به منظور برداشت نیمرخ سازه حفاظت سواحل باید مراحل زیر انجام شوند:

- تخمین فاصله مکانی برداشت نیمرخ سازه با توجه به دقت مورد نیاز، پیچیدگی سازه و منابع در دسترس. این مقدار با توجه به پیچیدگی سازه ممکن است بین ۵ تا ۳۰۰ متر باشد ولی معمولا وقتی در حد ۲۰-۱۰ متر باشد کفایت می‌کند.
- نیمرخ‌ها در راستای عمود بر تاج موج‌شکن و یا خط پروژه برداشت شوند.
- انجام اندازه‌گیری نیمرخ. دقت برداشت‌ها نباید از $D_{n50}$ کم‌تر باشد تا بتوان نتایج ثبت شده را با نتایج حاصل از مدل‌های هیدرولیکی مقایسه کرد.

omoorepeyman.ir




**شکل ۶-۸- خطوط دارای نشست مساوی (هم نشست) لایه آرمور سنگی در یک موج‌شکن**

- خطوط نیمرخ حاصل از عملیات‌های نقشه‌برداری مختلف با یکدیگر مقایسه شوند.
- در سازه‌های خیلی بزرگ که دسترسی افراد بر روی آنها مشکل است، می‌توان از دیگر تجهیزات نقشه‌برداری برای اندازه‌گیری تراز و غیره استفاده کرد.

## ۶-۳-۵- برداشت‌های زیر آبی

بخش چشمگیری از تخریب‌های سازه‌ای ممکن است در زیر آب صورت گیرد به ویژه در نزدیکی سطح آب که ضربه و آسیب ناشی از موج به بزرگ‌ترین مقدار خود می‌رسد. در یک سازه موج‌شکن معمولا پنجه آن بیش‌تر در معرض آسیب قرار دارد. به منظور تحلیل کارآیی مقاطع مستغرق سازه، باید هم آسیب‌های جزیی و هم آسیب‌های عمده شناسایی شوند. یکی از روش‌های ایمن اما محدود برای اندازه‌گیری نیمرخ عمقی شیب سازه، استفاده از جرثقیل یا ماشین هیدرولیکی قرار گرفته بر فراز تاج سازه یا کرانه ساحل می‌باشد. البته توانایی و کارآیی این روش وابسته به راحت بودن دسترسی ماشین بر روی سازه می‌باشد.

omoorepeyman.ir

### ۶-۳-۵-۱- عمق‌سنجی به کمک مبدل‌های تک جهتی[1] و چند جهتی[2]

تجهیزات برداشت صوتی توپوگرافی بستر مانند عمق‌سنج‌های تک جهتی ابزاری قابل اطمینان برای تخمین شکل سازه‌های مستغرق و بستر دریا در مجاورت آنها می‌باشند. البته این روش به طور مستقیم اطلاعاتی در زمینه خرابی‌های سازه‌ای فراهم نمی‌کند ولی می‌توان با استفاده همزمان آن با دیگر روش‌ها، توصیفی کامل از شرایط سازه به دست آورد.

هنگام تهیه نقشه‌های توپوگرافی بستر دریا توجه به سه پارامتر بسیار مهم می‌باشد:

- موقعیت نقطه در صفحه افق
- عمق نقطه
- تراز آب در زمان برداشت

معمولا برداشت‌هایی که توسط عمق‌سنج‌های تک جهتی انجام می‌شوند در امتداد خطوط موازی در محدوده مورد نظر صورت می‌گیرند. این خطوط یا مسیرهای برداشت تا جایی که امکان دارد باید عمود بر خطوط تراز بستر در نظر گرفته شوند. فاصله این خطوط برای نقشه‌برداری سازه‌ها معمولا نباید از ۱۰ متر بیش‌تر باشد.

مشکلاتی که در این روش وجود دارد مربوط به مواقع دریای متلاطم و هم‌چنین مناطق با دامنه کشندی کوچک می‌باشد. در هنگام دریای مواج، علاوه بر مشکلات دریانوردی، دقت دستگاه نیز به علت نوسانات سطح آب پایین می‌آید. در مناطق دارای دامنه کشندی کوچک نیز نمی‌توان قسمت‌هایی از سازه که در نزدیکی سطح آب مستغرق هستند را برداشت نمود.

عمق‌سنج‌های چند جهتی دارای کیفیت و فرکانس ثبت بالاتری بوده و اندازه‌گیری‌های دقیق‌تری را به ویژه برای نیمرخ موج‌شکن‌ها به دست می‌دهد. این مبدل‌ها[3] بر روی شناور نصب شده و صوت را در راستای رو به پایین منتشر می‌کنند. تعداد زوایای ارسال امواج صوتی بین ۶۰ تا ۱۰۰ و با گام‌های ۱/۵ درجه‌ای می‌باشد که در مجموع محدوده‌ای ۹۰ تا ۱۵۰ درجه‌ای را پوشش می‌دهد. به کمک این ابزار می‌توان قسمت‌های مستغرق شیب سازه‌های توده سنگی را به خوبی برداشت کرد.

### ۶-۳-۵-۲- مبدل‌های صوتی برداشت جانبی[4]

این ابزار به یک قایق که به صورت موازی با سازه در حال حرکت است، متصل می‌شوند و وضعیت سازه‌ی زیر آب را برداشت می‌کنند. از مزیت‌های این روش می‌توان به محدوده پوششی بزرگ و سرعت بالای برداشت داده‌ها اشاره کرد.

هنگام برداشت اطلاعات، وضعیت امواج و سرعت قایق بر روی کیفیت داده‌ها تاثیر می‌گذارند. برای ثبت داده‌ها با دقت ۱ متر باید قایق با سرعت کم‌تر از ۱ متر بر ثانیه حرکت کند. معمولا دستگاهی با فرکانس ۵۰۰ کیلو هرتز، می‌تواند تغییرات ایجاد شده در محل قطعات آرمور را بخوبی شناسایی کند.

1- Single-Beam Transducer
2- Multi-Beam Transducers
3- Transducer
4- Side-Scan Sonar

omoorepeyman.ir

### ۶-۳-۵-۳- برداشت سازه‌های مستغرق توسط سامانه‌های سنجش از راه دور[1]

روش هوایی LIDAR (تشخیص و مسافت‌یابی به شیوه نوری)[2] نوعی فن‌آوری برداشت مبتنی بر لیزر است که می‌تواند برای ثبت شیب سازه‌های بالای سطح آب و هم‌چنین زیر آب به کار رود. البته کیفیت خروجی‌های این روش آنقدر بالا نیست که بتواند برای نمونه جابجایی قطعات آرمور را مشخص کند. با این حال مشکلات بزرگ مقیاس در رابطه با شیب لایه آرمور و حفره‌های ناشی از آبشستگی به کمک این روش قابل تشخیص هستند. البته کاربرد این روش محدود به مناطقی است که آب شفافیت کافی دارد؛ زیرا نفوذ LIDAR تا عمقی برابر با ۲ برابر عمق شفافیت[3] امکان پذیر است.

### ۶-۳-۵-۴- برداشت‌های زیر بستر

هدف از این نوع برداشت‌ها، تشخیص مشکلات مرتبط با پی سازه‌ها پس از عملیات ساخت می‌باشد. برای نمونه، نشست ناشی از گسیختگی خاک بستر را می‌توان با برداشت لرزه‌ای تشخیص داد. این ابزار برای تخمین ضخامت لایه‌های سنگی و نوع پوشش سطحی بستر و هم‌چنین محل گسیختگی‌های زیر لایه بستر به کار می‌رود.

### ۶-۳-۵-۵- بازرسی‌های چشمی زیر آب

هنگامی که شرایط محیطی اجازه بدهد می‌توان برای ارزیابی عوارض سازه‌های مستغرق از غواص استفاده کرد. البته باید غواص‌ها با نشانه‌های آسیب‌دیدگی و خرابی آشنایی کافی داشته باشند. این روش به علت وجود رسوبات معلق در آب دارای محدودیت در میدان و فاصله دید غواص می‌باشد و معمولا غواص نمی‌تواند بیش‌تر از ۳ متر از سازه را در هر لحظه رویت کند.

هم‌چنین گیاهان روییده بر روی قطعات آرمور سنگی، مشاهدات را محدود می‌کنند و تشخیص آرمورهای جابجا شده و آسیب دیده را سخت‌تر می‌سازند. بدین ترتیب غواص در هر روز کاری می‌تواند به طور متوسط تا ۵۰ متر مربع را بازرسی کند.

تعداد افراد مورد نیاز برای انجام این شیوه نقشه‌برداری حداقل سه نفر است که شامل یک نفر غواص اصلی، یک نفر غواص کمکی و یک نفر ناظر می‌شود. بهترین زمان برای انجام این عملیات، در هنگام مهکشند می‌باشد و به ویژه در زمان کشند سکون[4] که سرعت جریان آب به کم‌ترین مقدار خود می‌رسد.

## ۶-۴- شیوه ارزیابی وضعیت و عملکرد سازه حفاظت ساحلی

ارزیابی داده‌های پایش به منظور تعیین برنامه زمان‌بندی و ملاحظات نگهداری سازه، انجام می‌شود. بدین منظور مراحل زیر باید مورد توجه قرار گیرند:

- چگونه باید داده‌های پایش را ارزیابی نمود؟

---

1- Remote Sensing
2- Light Detection And Ranging (LIDAR)
3- Secchi Depth
۴- Slack time: زمان کشند سکون؛ منظور زمانی است که کشند از حالت جزر به مد یا به عکس، در حال تغییر است. برای نمونه هنگام مد ممکن است سرعت جریان به درون یک خور ۵۰ cm/s و هنگام جزر نیز سرعت خروج آب از خور ۵۰ cm/s بر ثانیه باشد ولی در زمان سکون که این دو در حال تبدیل به یکدیگر هستند این سرعت به حداقل خود می‌رسد.

omoorepeyman.ir

- آیا نیاز به اقدام پیشگیرانه یا مراقبتی می‌باشد؟
- چگونه می‌توان سود اقتصادی حاصل از اقدام اصلاحی و یا ضررهای ناشی از عدم انجام آن را تخمین زد؟
- چگونه اقدامات نگهداری مورد نیاز تعریف می‌شوند؟
- چه زمانی می‌توان بازه زمانی بین پایش‌ها را افزایش داد؟

### ۶-۴-۱- ارزیابی داده‌های پایش

نتایج بازرسی‌های چشمی بستگی زیادی به شخص بازرس دارد و ممکن است یک سازه مشخص، از دید دو نفر مختلف، دارای وضعیت‌های گوناگونی باشد. با مقایسه نتایج برداشت‌های مختلف توپوگرافی و هیدروگرافی می‌توان نتایج مدل‌های عددی را کنترل کرده و تغییرات لازم را در مراحل طراحی اعمال کرد. هم‌چنین می‌توان تخمین مناسبی از آسیب، گسترش آسیب دیدگی در سازه و خطر خرابی آن داشت. مهم‌ترین جنبه‌هایی که در ارزیابی داده‌های پایش به کار می‌روند در جدول (۶-۸) ارائه شده است. در این جدول به تغییرات شرایط سازه‌ای در مقیاس‌های مختلف اشاره شده است.

### ۶-۴-۲- ارزیابی عملکرد سازه حفاظت ساحلی

بازبینی ملزومات نگهداری سازه‌ها باید بر اساس شرایط کارکرد سازه صورت گیرد و برای این کار باید به پنج پرسش زیر پاسخ داده شود:

- آیا عملکرد و پایداری هیدرولیکی سازه مناسب و کافی می‌باشد؟
- آیا سازه نیازمندی‌های ایمنی و بهداشت عمومی را برآورده می‌کند؟
- آیا سازه تاثیر معکوسی بر روی پدیده‌های موضعی مانند انتقال رسوب دارد؟
- آیا عملکرد سازه در حال افت و زوال است؟
- آیا کاهش کارآیی سازه تا پیش از دوره تعمیر بعدی یا دوره بازرسی آتی به پایین‌تر از سطح قابل قبول می‌رسد؟

به منظور ارزیابی آسیب و خرابی سازه‌های ساحلی می‌توان از معیارهای ارائه شده در جدول (۶-۹) استفاده شود.

**جدول ۶-۸- خروجی‌های حاصل از مقایسه وضعیت سازه‌های سنگی در طول زمان**

| مورد اندازه‌گیری شده | وضعیت چند نقطه از سازه در طول زمان |
|---|---|
| سطح ۱- موقعیت | نشست پی، تغییر در راستای سازه اجرا شده |
| سطح ۲- هندسه | تحکیم سازه، مقایسه نیمرخ رویه شیب‌دار سازه که منجر به محاسبه پارامتر خرابی ناشی از آبشستگی آرمور (Sd) می‌شود. |
| سطح ۳- ترکیب سازه | از دست رفتن و یا حرکت سنگ‌های آرمور، لغزش کلی لایه‌های آرمور، حفره‌هایی که نیاز به تعمیر دارند. |
| سطح ۴- وضعیت اجزای سازه‌ای | گرد شدن قطعات آرمور و از دست رفتن مصالح، که منجر به تجدید نظر در مقدار $D_{n50}$ و شرایط موج طرح می‌گردد هم‌چنین اندازه‌گیری امواج که منجر به ارزیابی مجدد پارامتر پایداری آرمور $Hs/(\Delta D_{n50})$ می‌گردد. علاوه بر این مقدار پارامتر خرابی اندازه‌گیری شده و طراحی Sd را نیز می‌توان مقایسه کرد. |

omoorepeyman.ir

**جدول ۶-۹- نگهداری یک سازه ساحلی بر اساس کارآیی عملکرد آن**

| گام | توضیح |
|---|---|
| **مراحل ۱ تا ۳ اقدامات اولیه هستند که تنها یک بار انجام می‌شوند (یا زمانی که ملزومات کارکردی سازه تغییر کند).** | |
| ۱ | تعیین نیازمندی‌های مربوط به کارآیی سازه برای هر عملکرد مورد انتظار از آن و هم‌چنین تعیین اجزای سازه‌ای مورد نیاز با توجه به نیازمندی‌های طراحی |
| ۲ | تعیین معیار کارآیی عملکرد سازه |
| ۳ | تعیین نیازمندی های سازه ای- مشخص کردن سطح آسیب دیدگی مجاز تا قبل از دوره تعمیر |
| **مراحل ۴ تا ۶ در صورت نیاز تکرار می‌شوند.** | |
| ۴ | الف- بازرسی سازه<br>ب- ارزیابی سازه‌ای |
| ۵ | ارزیابی عملکردی |
| ۶ | الف- بازبینی نیازمندی‌های سازه‌ای مرتبط با نیازمندی‌های کارکردی مورد نظر<br>ب- تخمین حداقل زمان مجاز پیش از دوره نگهداری<br>ج- نگهداری اجزای مهم سازه‌ای |

تعیین سطح عملکرد یک سازه در حال خرابی در ابتدا بسیار مشکل می‌باشد، اما باید آن را به ملزومات طراحی مربوط که در جدول (۶-۱۰) ارائه شده است، مرتبط ساخت. ملزومات عملکردی با توجه به کارکرد سازه تغییر می‌کنند. برای نمونه، اگر تراز تاج پوشش محافظ ساحلی که برای کنترل سیلاب در نظر گرفته شده است به علت آسیب آرمورها کاهش یابد، ممکن است به سیلابی شدن پسکرانه بیانجامد.

### ۶-۴-۲-۱- تقسیم سازه به اجزای سازه‌ای و فواصل مختلف

کارکرد یک سازه می‌تواند در قسمت‌های مختلف از طول آن تغییر کند. تقسیم کردن سازه در فواصل مختلف برای تسهیل در مدیریت نگهداری سازه انجام می‌شود. معیار اساسی که در تعیین این فواصل نقش دارد، تغییرات در مشخصه‌های اجرایی سازه می‌باشد. نمونه‌هایی از این نوع تغییرات شامل تغییر در نوع اجرا، تغییر در نوع یا اندازه سنگ، تغییر در ابعاد مقطع یا هندسه، و مقاطع تعمیر شده می‌باشد. آنچه در نهایت ملاک تعیین فواصل مورد نظر می‌شود، یکنواخت بودن کارکرد و شیوه اجرای سازه در طول مورد نظر است. در حالت کلی، فواصل نهایی باید بین ۶۰ تا ۱۲۰ متر بوده و قسمت انتهایی نیز همواره به عنوان یک قسمت جداگانه در نظر گرفته شود. برای قسمت‌های مختلف در نظر گرفته باید از سامانه‌ی شماره‌گذاری مناسبی استفاده شود تا مدیریت آنها آسان شود.

**جدول ۶-۱۰- طبقه‌بندی‌های سازه‌ای و عملکردی متداول**

| محل کارکرد سازه | طبقه‌بندی ملزومات عملکردی | نوع سازه | طبقه‌بندی خرابی سازه | اثر خرابی سازه بر روی کارآیی آن بر اساس نیازهای طراحی |
|---|---|---|---|---|
| بندرگاه | ناوبری بندری<br>استفاده‌های بندری | موج‌شکن | نمایان شدن مغزه، از دست رفتن قطعات آرمورهای سنگی | افزایش روگذری یا انتقال موج<br>افزایش تلاطم امواج که بر روی شناورها تاثیر می‌گذارند |
| کرانه رودخانه | کنترل فرسایش<br>ناوبری | پوشش محافظ | نمایان شدن مغزه، از دست رفتن آرمور، آسیب دیدن تاج سازه | در هنگام رخداد جریان‌های سریع، کرانه رودخانه در معرض فرسایش قرار می‌گیرد.<br>مخاطرات ناوبری |
| کانال کشتیرانی | استفاده از دهانه کانال<br>استفاده از مسیر کانال | موج‌شکن<br>بند ساحلی | از دست رفتن تماس و قفل و بست بین سنگ‌های آرمور<br>از دست رفتن قطعات آرمور | مشکل کشتیرانی |

omoorepeyman.ir

**ادامه جدول ۶-۱۰- طبقه‌بندی‌های سازه‌ای و عملکردی متداول**

| محل کارکرد سازه | طبقه‌بندی ملزومات عملکردی | نوع سازه | طبقه‌بندی خرابی سازه | اثر خرابی سازه بر روی کارآیی آن بر اساس نیازهای طراحی |
|---|---|---|---|---|
| مدیریت رسوب | انتقال رسوب موازی ساحل<br>رسوب‌گذاری<br>حفاظت بستر<br>کنترل فرسایش خط ساحل | آبشکن‌ها<br>موج شکن‌ها | کاهش کیفیت آرمورها، نمایان شدن مغزه، از دست رفتن قطعات آرمور | خرابی‌های سازه‌ای که به افزایش نرخ انتقال رسوب منجر می‌شوند<br>تغییر در الگوی جریان<br>افزایش فرسایش خط ساحل و پایین رفتن تراز ساحل |
| سازه‌های رودخانه | حفاظت در برابر آبشستگی | بندها<br>پایه پل‌ها | نمایان شدن مغزه، از دست رفتن قطعات آرمور سنگی | تحلیل رفتن سازه و فروپاشی آن<br>فرسایش پنجه و عدم پایداری |
| فرسایش ساحل و سیلابی شدن | کنترل فرسایش<br>کنترل سیلاب | پوشش محافظ | نمایان شدن مغزه، کاهش تعداد سنگ‌های آرمور، آسیب دیدن تاج سازه، از دست رفتن تماس و قفل و بست قطعات سنگی آرمور | افزایش فراوانی و محدوده وقوع سیلاب<br>فرسایش ساحل و تخریب اموال |

### ۶-۴-۲-۲- تعیین معیارهای کارآیی اجزای سازه‌ای

هنگامی که کارکرد هر کدام از اجزای سازه مشخص شد، در مرحله بعد باید سطح کارآیی هر کدام از آنها تعیین شود. این معیار باید بر اساس این‌که سازه چگونه در برابر رخداد طوفان مقاومت می‌کند به دست بیاید. در این مرحله باید از قضاوت مهندسی نیز علاوه بر علوم محض استفاده کرد. در این راستا، باید مشاهدات زیر صورت گیرند:

- تاریخچه سازه بازبینی شود.
- کنترل شود که آیا محدودیت‌های طراحی تغییر کرده‌اند یا این‌که بر اساس مشاهدات گذشته و ملزومات کارکردی نیاز به تغییر دارند یا خیر.
- با توجه به زمان‌های بحرانی وقوع طوفان، ملزومات طراحی برای هر کارکرد تعیین شوند.
- حساسیت کارکرد سازه و پایداری آن برای طیفی از وقایع تخمین زده شود.
- محدوده قابل قبول کارآیی برای هر رخداد و کارکرد تعریف شود.

### ۶-۴-۳- ارزیابی وضعیت آرمور

مناسب‌ترین راه برای تعیین خرابی آرمور، محاسبه پارامتر تخریب ($S_d$) می‌باشد. این کار را می‌توان با مقایسه نیمرخ اندازه‌گیری شده از دیدگاه وضعیت فیزیکی، راستا و سطح مقطع مربوط به سازه موجود و شرایط مورد انتظار سازه‌های مشابهی که با مصالحی با همان کیفیت ساخته شده‌اند، انجام داد.

در اغلب موارد، سطح خرابی $S_d$ = ۳-۲ قابل قبول است، اما می‌توان از سطوح بالاتری در حد $S_d$ = ۵-۴ نیز استفاده کرد. این امر به عمر مفید مورد انتظار از سازه بستگی دارد. در سازه‌های توده سنگی از آنجایی که آسیب‌دیدگی‌ها تا حدی تحمل می‌شود، پیش از نابودی کامل کارکرد سازه نباید خرابی را لزوما به معنای عدم کارآیی سازه به حساب آورد.

راهکار پیشنهادی برای ارزیابی سازه‌ای لایه‌های آرمور بدین ترتیب می‌باشد:

- ترکیب بارهای محیطی طراحی تعریف شود ($H_s$، $T_m$ و SWL)
- شرایط گسیختگی مانند مقدار $S_d$ برای تعیین بازسازی‌های مورد نیاز تعریف گردد.

omoorepeyman.ir

- وضعیت آسیب بحرانی سازه بر حسب $S_d$ متناظر با هر کدام از اجزای سازه‌ای تعیین شود تا بر اساس آن دوره‌های تعمیر و نگهداری مشخص شوند.
- اهمیت هرکدام از حالت‌های خرابی برای هر قسمت سازه‌ای و اثر آن در کارآیی کلی سازه مشخص شود.
- طرح کلی قسمت‌های مختلف سازه و وضعیت آنها مشخص شود: برای نمونه تاج، بدنه، پوزه[1] (قسمت انتهایی سازه)، پنجه
- ابعاد سطح مقطع نیمرخ در کل طول سازه ساحلی برداشت شود.
- نیمرخ اندازه‌گیری شده با نیمرخ نظری و چون ساخت مقایسه شود.
- نیمرخ برداشت شده به منظور تعیین نرخ رشد خرابی با برداشت‌های پیشین مقایسه شود.
- با استفاده از روش‌های طراحی موجود برای هر نیمرخ $S_d$ محاسبه شود.
- نتایج به صورت نقشه در آمده و مناطق آسیب دیده بر روی آن شناسایی شوند.
- مناطقی که به آستانه خرابی مجاز رسیده‌اند برای برنامه نگهداری انتخاب شوند.
- روند خرابی را بر اساس برداشت‌های انجام شده به صورت نموداری در آورده و رابطه آن با شرایط بارگذاری مشخص شود.
- روند خرابی پروژه‌ها بر اساس احتمال وقوع طوفان‌ها با استفاده از روش پیش‌بینی پیشرفت خرابی Melby محاسبه شود (به بخش‌های ۶-۳-۱-۶ مراجعه شود).
- تخمین زده شود که چه موقع آسیب دیدگی بر روی کارآیی سازه تاثیر می‌گذارد.
- زمانی که لایه فیلتر نمایان می‌شود (به بیان دیگر زمانی که قسمتی از لایه بالایی آن برداشته می‌شود)، تعیین گردد.
- عمر باقی‌مانده از سازه با توجه به الگوی خرابی‌ها و شرایط طراحی تعیین شود.
- احتمال رسیدن شرایط سازه به حد آستانه خرابی تا پیش از دوره برداشت بعدی محاسبه شود.

### ۶-۴-۳-۱- توصیف آسیب‌های معمول در سازه‌های توده سنگی

به منظور ارزیابی عددی وضعیت آرمورها برخی از تعاریف استاندارد که از بازرسی‌های چشمی به دست آمده‌اند در ادامه و هم‌چنین در جدول (۶-۱۱) ارائه شده‌اند (USACE، ۲۰۰۳):

**- گودشدگی[2] یا افت تراز تاج سازه**

گود شدگی به علت ایجاد فرورفتگی (یا شکاف) در تاج یک سازه توده سنگی رخ می‌دهد که ممکن است تا زیر لایه آرمور هم ادامه یابد. این نقص به علت جابجایی قطعات آرمور اتفاق می‌افتد. برای این‌که این شکاف به عنوان گودشدگی محسوب شود باید در کل عرض تاج گسترش یافته باشد. افت تراز تاج سازه نیز ممکن است به دلیل پی ضعیف و یا مشکلات سازه‌ای بدنه موج‌شکن باشد.

1- Round Head
2- Breaching

omoorepeyman.ir

**- نمایان شدن[1] و اتلاف[2] مصالح مغزه (یا لایه‌های فیلتر)**

مصالح نمایان شده مغزه به علت برخورد و اثر امواج از راه حفره‌های بین لایه آرمور، شسته می‌شوند. این پدیده ممکن است سبب حرکت و جدا شدن قطعات آرمور گردد.

**- اتلاف قطعات آرمور[3]**

- **جابجایی**[4] قطعات آرمور مهم‌ترین پدیده‌ای است که در نزدیکی سطح آب به علت نیروی دینامیکی موج و نیروهای برآ[5] رخ می‌دهد. اتلاف موضعی قطعات آرمور (تا ۴ یا ۵ قطعه) باعث ایجاد شدن فرورفتگی در بدنه موج‌شکن می‌شود. اگرتعداد قطعات از این مقدار بیش‌تر شود، به عنوان آسیب‌دیدگی شیب سازه محسوب می‌گردد.
- **نشست**[6] ممکن است در امتداد طولی و یا عرضی سازه رخ دهد. دلایل آن نیز تحکیم خاک و یا نشست لایه‌های زیرین مغزه و یا خاک می‌باشد.
- **ایجاد پل**[7] وقتی رخ می‌دهد که لایه‌های فیلتر نشست کرده ولی لایه آرمور بالایی در تراز اولیه خود یا نزدیک به موقعیت اولیه خود باقی بماند.

**- از بین رفتن تماس و قفل و بست قطعات آرمور**

«تماس» قطعات آرمور به صورت لبه به سطح، لبه به لبه و سطح به سطح بین آنها می‌باشد. «قفل و بست» نیز به درگیر شدن فیزیکی قطعات آرمور با قطعات کناری خود گفته می‌شود. در برخی از انواع آرمورهای بتنی ممکن است اجازه حرکت آزادانه برخی قطعات آرمور داده شود که باید در یادداشت‌های مربوط به بازرسی سازه، این مورد ثبت شود.

**جدول ۶-۱۱- راهنمای رتبه‌بندی آسیب‌های وارد بر لایه آرمور**

| رتبه‌بندی آسیب سازه‌ای (از دیدگاه نگهداری) | توضیح |
|---|---|
| آسیب جزیی یا بدون آسیب دیدگی<br>(نیاز به اقدام ویژه‌ای ندارد) | حرکت جزیی قطعات آرمور در برخی نقاط<br>نشست سازه به میزان کم‌تر از $\frac{1}{4}$ قطر سنگ<br>پستی و بلندی بر روی شیب بیرونی سازه به میزان کوچک‌تر از $\frac{3}{4}$ ضخامت لایه آرمور (ناشی از جابجایی آرمورها)<br>هرگونه پل که بر روی حفره‌های کوچک‌تر از $\frac{1}{2}$ قطر آرمور ایجاد می‌شود. به شرط آن‌که مصالح زیر آن از دست نرفته باشد. |
| آسیب متوسط<br>(نیازمند تعمیر است) | اتلاف قطعات آرمور که باعث ایجاد حفره‌هایی به بزرگی یک آرمور در بدنه سازه شود.<br>در برخی نقاط مصالح مغزه و قابل مشاهده باشند اما همچنان قطعات آرمور از اتلاف آنها جلوگیری کنند.<br>پل‌هایی به اندازه قطعات آرمور بر روی سازه مشاهده شود.<br>قطعات آرمور از دست بروند یا در مناطقی از کل سازه جابجا شوند.<br>حفره‌ها آنقدر بزرگ باشند که مصالح لایه فیلتر بتواند بیرون بیاید. |
| آسیب عمده<br>(نیازمند بازسازی است) | قطعات آرمور به صورت کامل جابجا شوند یا از دست بروند.<br>حفره‌ها آنقدر بزرگ باشند که مصالح لایه فیلتر و مغزه به راحتی بیرون بیایند.<br>مصالح لایه فیلتر به صورت آشکارا بیرون بیاید.<br>قطعات آرمور به طور کامل جابجا شود به گونه‌ای که سازه از هم باز شود. |

1- Core Exposure
2- Core Loss
3- Armor Loss
4- Displacement
5- Lift Force
6- Settling
7- Bridging

omoorepeyman.ir

**- افت کیفیت قطعات سنگی آرمور**

چهار نوع افت کیفیت در قطعات آرمورهای سنگی به شرح زیر می‌باشد:

- **گرد شدگی**[۱] قطعات آرمور سنگی، سنگریز[۲] و قطعات آرمور بتنی تیزگوشه که به علت جابجایی‌های کوچک دوره‌ای یا سایش رخ می‌دهد. بدین ترتیب پایداری لایه آرمور به دلیل کاهش تماس لبه به سطح و لبه به لبه بین قطعات، کاهش می‌یابد.
- **فرسایش**[۳] سطح آرمور به اتلاف مصالح از سطح بیرونی قطعات آرمور گفته می‌شود که به علت تماس مکانیکی بین قطعات آرمور، تمرکز تنش در لبه‌ها یا خرابی سنگ یا بتن به علت واکنش‌های شیمیایی در آب دریا، دوره‌های یخ زدگی و غیره رخ می‌دهد.
- **ترک‌خوردگی**[۴] به ترک‌های آشکار بر روی سطح قطعات آرمور سنگی یا بتنی گفته می‌شود که ممکن است تا درون آرمور نیز نفوذ کنند. این ترک‌ها در قطعات باریک آرمور بتنی خطرناک‌تر هستند.
- **قطعه شدن**[۵] سنگ آرمور که معمولا پس از گسترش ترک و تا رسیدن به مرحله دو نیم شدن سنگ رخ می‌دهد.

**- مشکلات شیب**

هنگامی که قطعات آرمور جدا می‌شوند و یا نشست کلی رخ می‌دهد، شکل و زاویه شیب جانبی تغییر می‌کند. این مساله به دو شکل رخ می‌دهد:

- **تیزشدن شیب**[۶] هنگامی رخ می‌دهد که شیب سازه بیش‌تر از مقدار طراحی یا ساخته شده اولیه شود. این مساله نشانگر رخداد گسیختگی بر روی شیب سازه توده سنگی می‌باشد.
- **لغزش**[۷] به اتلاف کلی قطعات آرمور از روی شیب به پایین آن گفته می‌شود. این امر به دلیل مشکلات موجود در پنجه سازه (برای نمونه آبشستگی) رخ می‌دهد.

## ۶-۴-۴- بررسی گزینه‌های مدیریتی پایش

پس از تکمیل ارزیابی‌ها، مدیران سازه باید مطابق انتخاب‌های زیر نسبت به انجام عملیات نگهداری تصمیم‌گیری کنند:

- هیچ‌گونه تعمیر یا جایگزینی مورد نیاز نیست و تا دوره پایش بعدی باید صبر کنند.
- تعمیر یا جایگزینی نباید صورت گیرد اما پایش تکمیلی برای وضعیت سازه‌ای یا محیطی باید صورت گیرد.
- قبل از تصمیم‌گیری، بازرسی دقیق‌تری صورت گیرد.
- تعمیر یا جایگزینی موقت یا اضطراری انجام شود.
- اقدام تعمیراتی یا جایگزینی دائمی صورت پذیرد.

---

1- Rounding
2- Riprap
3- Spalling
4- Cracking
5- Fracturing
6- Slope Steepening
7- Sliding

omoorepeyman.ir

- اقدام به توسعه یک سازه جدید (بازرسی شده یا جایگزین) شود.
- اقدام به برچیدن و تخریب سازه گردد.

لزوم انجام عملیات تعمیر یا بازسازی را می‌توان با توجه به نشانه‌های زیر تشخیص داد:

- آسیب وارده، ناشی از رخداد طوفان و یا رویدادهای دیگر مانند زمین‌لرزه یا برخورد شناور به سازه می‌باشد.
- بازرسی‌های دوره‌ای نشان می‌دهند که خرابی پیشرفت داشته تا جایی که عملکرد سازه به خطر افتاده است.
- پایش کارآیی سازه نشان می‌دهد که سازه کارکرد برنامه‌ریزی شده را برآورده نمی‌کند.
- به علت دست کم گرفتن بارهای طراحی، سازه دچار آسیب جدی شده است.
- عملکرد مورد نظر سازه به علت تغییر در کاربری یا سرویس‌های دیگر، در طراحی در نظر گرفته نشده است.

## ۶-۵- نگهداری، ترمیم و علاج‌بخشی

### ۶-۵-۱- ملاحظات عمومی نگهداری

تاکنون دستورالعمل‌های مرتبط با نگهداری در مرحله تعمیر و بازسازی نسبت به مرحله ساخت، کم‌تر مورد بررسی و توجه قرار گرفته‌اند. زیرا آسیب یا خرابی‌های وارده معمولا به صورت موضعی و خاص بوده و در مورد هر نوع سازه، نیازمند در نظر گرفتن تمهیدات ویژه می‌باشد.

#### ۶-۵-۱-۱- تغییر در شرایط طراحی

معمولا پارامترهای اصلی طراحی (مانند ارتفاع موج، تراز آب و درصد وقوع طوفان) از هنگام ساخت تا مرحله انجام تعمیرات، ثابت باقی می‌مانند. البته در این مورد استثناهایی نیز وجود دارد، برای نمونه، تغییر اقلیم امواج به دلیل ساخت یک موج‌شکن دور از ساحل یا تغییر عمق آب ناشی از فرسایش پنجه یا تغییر تراز متوسط آب. حتی ممکن است پارامترهای فرض شده اولیه، در مراحل بعدی دقیق‌تر شوند. طراحان مرحله تعمیر و بازسازی باید اطلاعات ثبت شده در زمینه کارآیی سازه را جمع‌آوری کرده و کارآیی سازه‌های مشابه موجود را نیز توسط آنها مورد بررسی قرار دهند.

#### ۶-۵-۱-۲- اصول اولیه برنامه‌ریزی تعمیر

هر عملیات تعمیر یا بازسازی در نوع خود منحصر به فرد است. بنابراین، دستورالعمل زیر تنها به صورت کلی برای سازه‌ها قابل اعمال می‌باشد.

- **معیار طراحی اصلی بازبینی شود:** در این رابطه نقشه‌های چون ساخت نیز از اهمیت بالایی برخوردارند.
- **علت مشکلات پیش آمده تعیین شود:** البته در بیش‌تر مواقع این علل آشکار هستند؛ برای نمونه رخداد طوفان. ولی در برخی موارد نیز به راحتی قابل تشخیص نیستند. در این زمینه اطلاعات جمع‌آوری شده درمرحله پایش بسیار ارزشمند هستند. البته باید به این نکته توجه شود که خرابی‌های رخ داده ممکن است ناشی از مجموعه‌ای از علل باشد.
- **وضعیت سازه موجود** با نقشه‌های چون ساخت مقایسه شده و تفاوت‌ها مشخص گردند. بدین ترتیب می‌توان محل خرابی‌ها و نقاط محتمل برای آسیب دیدگی را شناسایی کرد.

omoorepeyman.ir

- **راه حلی برای مشکل به وجود آمده طرح‌ریزی گردد:** در صورت امکان چند راهکار پیشنهاد شده و هزینه مربوط به هر کدام از آنها به طور جداگانه محاسبه شود. در مورد عملیات‌های بزرگ تعمیر و بازسازی به کارگیری مدل‌های فیزیکی نیز اجتناب ناپذیر خواهد بود که سهم اندکی در هزینه کلی پروژه خواهند داشت.
- **برنامه تعمیر طراحی شود:** این برنامه به حل مشکل بدون انجام تغییرات اساسی منجر می‌شود. در صورتی که سازه از ابتدا دست پایین طراحی شده باشد، خرابی‌های به وجود آمده مستلزم اعمال طرح بازسازی اساسی خواهد بود که هزینه بالایی نیز خواهند داشت.

### ۶-۵-۱-۳- استفاده دوباره از مصالح موجود

به منظور انجام عملیات تعمیر و نگهداری لایه آرمور سه گزینه وجود دارد:

- استفاده از سنگ‌های آرمور موجود
- استفاده از سنگ‌های آرمور جدید
- پایدار ساختن سنگ‌های آرمور موجود

از آنجایی که سنگ‌های آرمور قابلیت استفاده دوباره دارند، در صورت نیاز می‌توان آنها را از جای خود برداشته و در موقعیت جدید مورد نظر قرار داد. البته در صورت نیاز به تامین آرمورهای جدید برای انجام عملیات تعمیر باید آنها را دوباره از معدن حمل کرد. این روش برای کارهای کوچک با مقادیر اندک سنگ آرمور به صرفه نمی‌باشد. مساله دیگری که باید به آن توجه کرد توانایی دسترسی ماشین‌آلات بر روی سازه ساخته شده است که در برخی موارد این کار دیگر امکان پذیر نمی‌باشد.

### ۶-۵-۱-۴- دسترسی وکارگاه تعمیرات

وجود دسترسی مناسب کارگاه تعمیراتی به طرف سازه و بر روی آن بسیار حیاتی می‌باشد و باید در مرحله طراحی سازه‌های توده‌سنگی به دقت در نظر گرفته شود.

دسترسی در ابتدای مرحله ساخت سازه، اغلب از روی لایه مغزه یا لایه فیلتر صورت می‌گیرد. به محض اتمام عملیات ساخت، این روش دسترسی دیگر قابل استفاده نبوده و محدودیت‌هایی ایجاد می‌شود.

وضعیت جانمایی محوطه‌های پیرامون سازه اجرا شده، پس از بهره‌برداری ممکن است تغییرات زیادی کرده باشد که به نوبه خود باعث اعمال محدودیت در هنگام انجام عملیات تعمیر می‌شود.

## ۶-۵-۲- تعمیر و علاج‌بخشی سازه‌های حفاظت ساحلی دارای آرمور سنگی

نگهداری سازه‌های توده سنگی شامل دو بخش اصلی می‌باشد:

- **ترمیم** که به معنی بهبود وضعیت قسمت‌هایی از سازه است که دچار آسیب ناشی از طوفان، باد، جریان، برکشند طوفان، ضربه یا لرزش زمین‌لرزه شده‌اند.
- **علاج بخشی یا مقاوم سازی** که به معنی اصلاح اجزای سازه‌ای تخریب شده برای رسیدن به وضعیت اولیه آنها یا ارتقای مقاومت سازه برای تحمل بارهای طراحی بزرگ‌تر می‌باشد.

omoorepeyman.ir

تعمیر سازه‌های توده سنگی شامل بازسازی مجدد سازه یا جایگزینی سنگ‌های آرمور با مصالح جدید می‌باشد. در برخی از موارد نیز از ملات بتنی یا آسفالتی استفاده می‌شود. در ادامه برخی از ملاحظاتی که باید هنگام برنامه‌ریزی یک طرح تعمیر مربوط به یک سازه دارای آرمور سنگی در نظر گرفت، ارائه شده‌اند:

- عملیات تعمیر در مورد سازه موجود توده سنگی صورت می‌گیرد که تحت اثر طوفان دچار افت تراز تاج و یا تغییر شیب شده باشد.
- آرمورهای بالایی ممکن است با آرمورهای لایه فیلتر آمیخته شده باشند.
- تغییردادن شیب لایه آرمور به منظور برآورده کردن شرایط طراحی بسیار دشوار است.
- تنظیم و اجرای شیب جدید برای پنجه سازه بسیار مشکل تر از ساخت مجدد کل سازه پنجه است.
- ساخت مقطع انتقالی بین قسمت تعمیر شده و قسمت‌های بدون تغییر رویه شیب‌دار باید بدون ایجاد ضعف در لایه آرمور صورت گیرد.
- تعمیر شیب لایه آرمور ممکن است شامل به کارگیری ترکیبی از ابعاد و انواع مختلف سنگ باشد.
- برای آغاز عملیات تعمیر، معمولا ضرورت دارد ابتدا بخشی یا تمام قسمت آسیب دیده لایه آرمور برداشته شود. در نتیجه بخشی از لایه فیلتر به صورت موقت نمایان شود.
- تعمیرهای موضعی لایه آرمور نیازمند به کارگیری تجهیزات ویژه‌ای می‌باشد که گاهی ممکن است به دلیل در دسترس نبودن یک شیوه اجرایی اقتصادی، اندکی به تعویق بیفتد.
- در برخی موارد برای تعمیر سازه از تزریق بتن یا قیر استفاده می‌شود. این شیوه تعمیر به ویژه در مواردی به کار می‌رود که ابعاد سنگ آرمور کوچک بوده و نتوانند پایداری کافی فراهم کنند و سنگ‌های بزرگ‌تر نیز در دسترس نباشد.

با توجه به حدود خرابی و آسیب دیدگی سازه، عملیات تعمیر از تنظیم موضعی دوباره سنگ‌ها تا جایگزینی کلی سازه تغییر می‌کند. راهکارهای مورد استفاده برای تعمیر سازه توده سنگی در جدول (۶-۱۲) ارائه شده است.

**جدول ۶-۱۲- راهکارهای مختلف تعمیر سازه‌های توده سنگی**

| ناحیه دارای مشکل | راهکارها |
|---|---|
| تعمیر شیب و تاج سازه | درزگیری (اصلاح سطح آرمور توسط جایگذاری مصالح کوچک‌تر)، تسطیح دوباره<br>اضافه کردن سنگ آرمور<br>بازسازی لایه آرمور<br>افزایش تراز تاج<br>مدفون سازی آرمورهای موجود |
| تعمیر پنجه و پی | بازسازی پنجه<br>کنترل آبشستگی<br>افزودن سکو یا ترانشه برای پنجه |
| تعمیر مغزه و پر کردن حفره ها | استفاده از بلوک‌های پیش‌ساخته<br>استفاده از روکش برای فیلتر (ژئوتکستایل)<br>استفاده از ملات |
| آسیب ناشی از گسیختگی | جایگزینی سازه اصلی<br>برداشت کامل سازه موجود |

omoorepeyman.ir

## ۶-۵-۳- شیوه‌های تعمیر

### ۶-۵-۳-۱- لایه آرمور

به طور کلی چهار نوع اقدام تعمیری برای لایه آرمور می‌توان انجام داد:

- جایگزینی موردی قطعات شکسته شده یا بیرون آمده آرمور سنگی یا بتنی
- قراردادن سنگ‌های جدید بر روی لایه آرمور موجود
- جایگزینی لایه‌های آرمور
- بازسازی کلی سازه

### ۶-۵-۳-۲- جایگزینی موردی یا موضعی قطعات شکسته شده یا بیرون آمده آرمور سنگی یا بتنی

هنگامی که تعداد سنگ‌های آرمور لایه فوقانی که جابجا شده‌اند یا آسیب دیده‌اند، کم‌تر از ۵ درصد تعداد کل باشد، اغلب می‌توان آنها را با قطعات مشابه جایگزین کرد. جایگزینی موضعی یا موردی این قطعات هزینه کم‌تری نسبت به تعمیر کلی سازه در پی خواهد داشت، زیرا زمان انجام این عملیات کم‌تر بوده و هزینه مصالح و جابجا کردن سنگ‌های آرمور موجود کم می‌باشد. ولی از سوی دیگر قیمت تمام شده به ازای هر سنگ بسیار بیش‌تر از انجام تعمیر کلی است که این موضوع به دلیل هزینه تجهیزات و ماشین‌آلات مورد نیاز می‌باشد. در این گونه خرابی‌ها معمولا آرمورهای موجود در حوالی تراز آب دچار مشکل می‌شوند و باید با جرثقیل‌ها و بیل‌های مناسب آنها را جایگزین کرد.

معمولا پیش از شروع عملیات ترمیم، سنگ‌های آرمور موجود از ناحیه آسیب دیده برداشته می‌شوند و حفره‌های قرار گرفته در بالای تراز آب ساکن با سنگ آرمورهای جدید جایگزین می‌گردند. هنگام جایگذاری و تنظیم کردن نیمرخ جدید باید از قفل و بست مناسب سنگ‌ها اطمینان حاصل شود.

اما در خرابی های رخ داده در زیر سطح آب، کار کمی دشوارتر است و نمی‌توان سنگ‌های آرمور را به سادگی برداشت و نیمرخ طراحی را بازسازی کرد. در عوض، می‌توان تنها سنگ‌های آرمور جدید را درون و اطراف حفره‌های به وجود آمده قرار داد تا با اعمال جابجایی اندک به آنها، مقطع سازه تقویت شود.

در مورد آرمورهای بتنی دو روش تعمیر زیر پیشنهاد گردیده است:

- **روش تعمیر نقطه‌ای:**[1] در این روش قطعات آرمور آسیب دیده از روی شیب سازه برداشته شده و با قطعات جدید جایگزین می‌شوند. مساله قابل توجه در روش تعمیر نقطه‌ای، تامین قفل و بست مناسب بین قطعات جدید و قدیمی می‌باشد.
- **روش شکاف V شکل:**[2] در این روش که کمی دشوارتر است، از نقطه آسیب دیدگی تا بالای رویه شیب‌دار (تاج سازه)، قطعات آرمور موجود به صورت نیمرخی v شکل برداشته می‌شوند به گونه‌ای که مقطع برداشه به تدریج با نزدیک شدن به تاج سازه، عریض‌تر می‌شود. سپس قسمت برداشت شده با قطعات آرمور جدید یا قطعات آرمور سالم موجود پر می‌شود.

1- Spot Repair Method
2- V-notch Method

omoorepeyman.ir

### ۶-۵-۳-۳- پنجه و سکوی سازه

در مورد ناپایداری پنجه که ناشی از آبشستگی موج و جریان می‌باشد باید مصالح پنجه را اصلاح کرد. برای این کار می‌توان مصالح جدید بر روی پنجه موجود اضافه کرد و قسمت شسته شده را با مصالح پر نمود.

موثرترین شیوه برای تعمیر سکوی مستغرق، افزودن مصالح بر روی تراز بالای سکو می‌باشد. در صورتی که آسیب وارد شده به سکو اندک باشد، می‌توان از سنگ‌های موجود استفاده کرد و در غیر این صورت باید سکو را با آرمورهای بزرگ‌تر تقویت نمود. هم‌چنین مصالح پراکنده شده سکوی موج‌شکن باید جمع‌آوری شوند تا مشکلی برای عملیات ناوبری شناورها و بقیه فعالیت‌ها به وجود نیاورند.

### ۶-۵-۳-۴- پر کردن حفره‌ها

تمام سازه‌های توده‌سنگی با توجه به نوع مقطع تا حدی نفوذپذیر هستند. این حفره‌ها سبب جذب انرژی موج، کاهش بالاروی و روگذری موج و کاهش امواج بازتابی می‌گردند و در کل به پایداری سازه کمک می‌کنند. با نشست سازه و جابجایی سنگ‌های آرمور، این حفره‌ها کوچک‌تر می‌شوند. و به عکس، در صورت شسته شدن مصالح مغزه توسط موج، حفره‌های کوچک در طی زمان بزرگ‌تر می‌گردند. در صورت بروز این مشکل باید تا جایی که امکان دارد حفره‌های تا قطر یک متر را با مصالح ملات و درزگیر پر نمود. البته باید توجه داشت که به خاطر عدم انجام پژوهش‌های کافی در این زمینه، هنوز رفتار بلند مدت این مصالح در سازه‌های توده سنگی به روشنی مشخص نشده است.

## ۶-۵-۴- علاج‌بخشی و مقاوم‌سازی اساسی

### ۶-۵-۴-۱- قراردهی مصالح جدید بر روی لایه آسیب دیده آرمور

در صورت رخداد خرابی گسترده در لایه آرمور، می‌توان با افزودن یک لایه جدید به لایه موجود، تراز تاج و پایداری سازه را بالاتر برد. هزینه انجام این کار کم‌تر از برداشت لایه موجود و استقرار مصالح جدید به جای آن می‌باشد.

لایه جدید آرمور باید از راه زیر کنترل گردد:

**- قراردهی آرمور تک لایه‌ای**

برای استفاده از این آرمورهای تک لایه‌ای هیچ‌گونه ضریب پایداری وجود ندارد و نمی‌توان از ضریب پایداری آرمورهای دو لایه‌ای برای آنها استفاده کرد. در این‌گونه موارد می‌توان با انجام مدل فیزیکی یک طرح پایدار و بهینه به دست آورد.

**- قراردهی آرمور دو لایه‌ای**

به منظور به کار بردن این آرمورها می‌توان از ضرایب پایداری موجود استفاده کرد و یک سطح پایدار که در تماس با لایه فیلتر موجود است اجرا کرد. در صورت وجود سازه‌های بزرگ از مدل فیزیکی نیز باید استفاده کرد.

omoorepeyman.ir

**- قراردهی لایه آرمور با استفاده از مصالح غیرمشابه**

به طور عموم به استفاده از قطعات آرمور بتنی برای ترمیم سازه موجود توده سنگی اطلاق می‌شود. با افزودن این لایه بر روی لایه قبلی از راه قفل و بست یا جرم بیش‌تر یا هر دو مورد می‌توان پایداری سازه را بهبود بخشید.

**- سطح تماس آرمور جدید با آرمورهای موجود**

هنگام استقرار مصالح جدید باید بیش‌ترین قفل و بست بین این دو لایه به وجود بیاید. اغلب نیمرخ لایه فیلتر نامنظم می‌باشد. در برخی موارد سنگ‌های جدید را مستقیما بر روی لایه موجود قرار می‌دهند ولی گاهی باید سطح لایه موجود را برای دستیابی به یک دانه‌بندی یکنواخت دستکاری نمود.

**- قطعات آرمور پایین‌دست**

در صورت رخداد روگذری و انتقال موج، سنگ‌های آرمور پایین‌دست باید قفل و بست خوبی با سازه موجود داشته باشند زیرا در غیر این صورت ممکن است تاج موج‌شکن از وسط شکاف بردارد.

**- پنجه موج‌شکن**

لایه پنجه جدید باید دقیقا در محل خود اجرا گشته و به خوبی محافظت گردد. این کار ممکن است نیازمند ساخت یک پنجه جدید یا حفر ترانشه برای سازه باشد.

**- روش‌های اجرای سازه**

مراحل ساخت لایه رویی مشابه ساخت یک سازه جدید می‌باشد. بدین ترتیب که ابتدا از پنجه سازه شروع شده و سپس به سمت بالای سازه توده سنگی ادامه پیدا می‌کند.

**- پایداری ژئوتکنیکی**

بارهای اضافی ناشی از ساخت لایه جدید باید با در نظر گرفتن رواداری‌هایی در مراحل طراحی در نظر گرفته شوند.

**- پایداری هیدرودینامیکی**

در حالت کلی، سازه‌های بلندتر منجر به جذب نیروهای بزرگ‌تری می‌شوند.

### ۶-۵-۴-۲- جایگزینی لایه آرمور

یکی از گزینه‌های پرخرج اجرای لایه جدید، برداشت کامل لایه موجود و اجرای دوباره لایه آرمور در قسمتی از سازه می‌باشد. این کار هنگامی صورت می‌گیرد که سنگ‌های آرمور از دیدگاه سازه‌ای یا کارکردی دچار مشکل باشند. البته تنها باید وقتی به این روش روی آورد که آسیب وارد شده به سازه ناشی از ناپایداری قطعات آرمور باشد.

omoorepeyman.ir

اگرچه این روش بسیار پرهزینه می‌باشد، ولی در صورتی که جایگزینی یا ساخت مجدد لایه آرمور کم‌تر از هزینه‌های نگهداری آتی آن (در صورت عدم تعمیر اساسی) شود، اقدام به جایگزینی توجیه‌پذیر خواهد شد. در این مورد باید از آیین‌نامه‌های موجود در رابطه با ساخت یک سازه جدید استفاده کرد.

مساله مهم دیگر دفع مصالح آرمور موجود برداشته شده می‌باشد که موجب وارد آمدن هزینه‌های اضافی می‌شود. درصورت امکان باید این مصالح بازیافت شوند. البته یکی از گزینه‌ها استفاده از مصالح آسیب دیده یا کوچک در قسمت پنجه موج‌شکن می‌باشد به گونه‌ای که سکویی برای قراردهی سنگ‌های بر روی آن فراهم شود. مصالح آسیب دیده (به ویژه قطعات گردگوشه) عموما نباید به عنوان مصالح پرکننده لایه‌های فیلتر استفاده شوند.

omoorepeyman.ir

# پیوست ۱

## واژه‌نامه فارسی به انگلیسی

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

## الف

| | |
|---|---|
| اثر گازهای گلخانه‌ای | Greenhouse effect |
| احیای زمین | Land reclamation |
| ارتفاع موج شاخص | Significant wave height (Hs) |
| ارزیابی اثرهای زیست محیطی | Environmental Impact Assessment (EIA) |
| تغذیه ساحل | Beach nourishment |
| استحکام برشی | Shear strength |
| استقرار توده‌ای | Bulk placed |
| استقرار منفرد | Individually placed |
| اسکله | Pier |
| اظهارنامه زیست محیطی | Environmental Statement (ES) |
| انتقال رانه‌ای ناخالص | Gross litoral transport |
| انتقال رسوب موازی ساحل | Littoral Transport |
| انعطاف ناپذیر | Non-flexible |
| ایجاد پل | Bridging |
| آب بالای متوسط | Mean High Water (MHW) |
| آب پایین متوسط | Mean Low Water (MLW) |
| آبرو | Ditch |
| آبسنگ | Reef |
| آبشکن | Groin |
| آبگونگی | Liquefaction |
| آزمایش تراوایی هد هیدرولیکی | Head permeability test |
| آزمون افت میدانی | Field drop test |
| آزمون اندازه‌گیری نفوذ مخروط | Cone penetrometer |
| آزمون برش پره | Vane shear test |
| آزمون تراکم محصور نشده | Unconfined compression test |
| آزمون سه محوری تحکیم نیافته-زهکشی نشده | Unconsolidated-Undrained triaxial test |
| آزمون سه محوری سریع | Quick triaxial test |
| آند محافظ | Sacrificial anode |

omoorepeyman.ir

## ب

| | |
|---|---|
| بادبندی | Bracing |
| بادوام شده | Annealed |
| بارانداز | Wharf |
| بارج از کف بازشو | Split-hopper barge |
| بارج با عرشه تخت | Flat-top barge |
| بارج جرثقیل دار | Crane barge |
| بارج خود تخلیه | Self-unloading |
| بارج رانشی، یدک کش | Push barge |
| بازتابی | Reflective |
| بازسازی | Rehabilitation |
| بازیابی ساحل | Beach restoration |
| بالابرنده | Hoist |
| بالاروی موج | Wave runup |
| برکشند طوفان | Storm surge |
| بقایای مرجانی | Coral debris |
| بنچ مارک | Benchmark |
| بند | Dike (Dyke) |
| بهره | Interest |
| بهینه سازی تکاملی | Evolutionary Optimization |
| بیش تحکیم یافته | Overconsolidated |
| بیکن ساحلی | Shore beacon |

## پ

| | |
|---|---|
| پارامتر تحرک، پارامتر پویایی | Mobility Parameter |
| پارامتر تشابه شکست | Surf similarity parameter |
| پارامتر شکنا | Breaker parameter |
| پارامتر میزان خرابی | Damage level parameter |
| پاسخ سازه | Structure response |
| پایداری حفظ شده | Reserve stability |

omoorepeyman.ir

| | |
|---|---|
| پایش | Monitoring |
| پایین افتادگی سریع | Rapid drawdown |
| پراش، تفرق | Diffraction |
| پس‌پردازش | Post-processing |
| پشت شویی | Backwash |
| پشتریز | Backfill |
| پشتریز ماسه‌ای | Sand backfill |
| پشته | bar |
| پشته ارتباطی | Tombolo |
| پشته پیش‌آمده | Salient |
| پلی‌اتیلن با چگالی بالا | High Density Poly Ethylene (HDPE) |
| پوزه | Head |
| پوشش سنگچین | Revetment |
| پوکی توده‌ای | Bulk porosity |
| پوکی سنگ | Stone porosity |
| پیش‌تنیدگی | Prestressing |
| پیش‌کرانه | Foreshore |
| پیش‌یابی موج | Wave hindcasting |

## ت

| | |
|---|---|
| تحکیم اولیه | Primary consolidation |
| تراز آب حدی، تراز آب طراحی | Extreme Water Level |
| تراز برکشند معمولی | Normal surge elevation |
| تحکیم ثانویه | Secondary compression |
| تراکم نسبی | Relative compaction |
| تراکم‌پذیری | Compressibility |
| تراوا | Permeable |
| تراوایی | Permeability |
| تراوش | Seepage |
| ترک‌خوردگی | Cracking |

omoorepeyman.ir

| | |
|---|---|
| تسمه | Sling |
| تعمیر | Repair |
| تغییر شکل خمیری | Plactic deformation |
| تک رنگ | Monochromatic |
| تندباد | Hurricane |
| توپوگرافی بستر | Bathymetry |
| توربند ساحلی | Gabion |
| تورم | Inflation |
| تیزشدن شیب | Slope Steepening |
| تیزی موهومی موج | Fictitious wave steepness |
| تیفون | Typhoon |

## ج

| | |
|---|---|
| جام | Bucket |
| جداشدگی | Segregation |
| جداشدگی | Unraveling |
| جرثقیل کابلی | Wire-rope crane |
| جزیره مانعی | Barrier island |
| جلگه کشندی | Tidal flat |
| جلگه کشندی | Tidal flat coast |
| جوشش | Piping |

## چ

| | |
|---|---|
| چاهک | Sink |
| چاهک | Well |
| چاهک فشار شکن | Pressure relief well |
| چرخش | Tilting |
| چرخند | Cyclone |
| چگالی | Density |
| چگالی ظاهری | Apparent density |

omoorepeyman.ir

| | |
|---|---|
| چگالی غوطه‌وری نسبی | Relative buoyant density |
| چگالی نسبی | Relative density |
| چون ساخت | As-Built |

## ح

| | |
|---|---|
| حجم آب کشندی | Tidal Prism |
| حد تسلیم کشسانی | Elastic yield limit |
| حدود اتربرگ | Atterberg limits |
| حرکت توده‌ای سنگ‌ها | Rocking |
| حسگر | Sensor |
| حفره‌زایی | Cavitation |
| حوضچه رسوب‌گیر | Depositional Basin |

## خ

| | |
|---|---|
| خاک تراوا | Pervious soil |
| خاکریز ساحلی | Levee |
| خاکریز ساحلی | Coastal embankment |
| خلیج فارس | Persian Gulf |
| خلیج کوچک هلالی شکل | Crescent-shaped bay |
| خلیج مارپیچی | Spiral-shaped bay |
| خور دره غرقابی | Flooded-valley estuary |
| خیزآب باد | Wind setup |
| خیزآب موج | Wave setup |

## د

| | |
|---|---|
| دانه‌بندی گسترده | Wide grading |
| دانه‌بندی محدود | Narrow grading |
| درجا، در محل | In situ |

omoorepeyman.ir

| | |
|---|---|
| درصد آب | Water content |
| دریای مازندران | Caspian Sea |
| دسترسی طولانی | Long-reach |
| دستک | Jetty |
| دستک سرریز شکل | Weir Jetty |
| دستک‌های منحنی شکل | Curved Jetties |
| دستک‌های همگرا | Arrowhead Jetties |
| دوام | Durability |
| دیوار آب‌بند | Cutoff |
| دیوار حایل | Bulkhead |
| دیوار ساحلی | Sea wall |
| دیوار ساحلی قائم | Vertical-front seawall |
| دیواره تاج | Crown wall |

## ر

| | |
|---|---|
| راهنما | Guideline |
| رایزر | Riser |
| رگاب | Boiling |
| رواداری | Tolerance |
| روش تعمیر نقطه‌ای | Spot repair method |
| روش شکاف V شکل | V-notch method |
| روشویی جریان | Overwash |
| روگذری | Overtopping |
| رویدادهای دوره‌ای | Recurring events |
| ریخت‌شناسی | Morphology |

## ز

| | |
|---|---|
| زاویه قرار | Angle of repose |
| زمان کشند سکون | Slack time |
| زهکشی پنجه تراوا | Pervious toe drain |

omoorepeyman.ir

| | |
|---|---|
| زهکشی زیر سطحی | Underdrainage |
| زیر برش | Undercutting |
| زیرشویی | Undermining |

## ژ

| | |
|---|---|
| ژئوسنتتیک با نام غشای رسی | Geosynthetic Clay Liner (GCL) |
| ژئوسنتتیک نبافته | Needle-punched geosynthetic |
| ژئوسنتتیک، مصالح مصنوعی | Geosynthetic |
| ژئوگرید | Geogrid |
| ژئونت | Geonet |
| ژرفاکاستگی | Shoaling |

## س

| | |
|---|---|
| ساحل انتهای خلیج کوچک | Bayhead beach |
| ساحل پشته‌ای ارتباطی | Tombolo beach |
| ساحل پشته‌ای دهانه خلیج کوچک | Baymouth bar beach |
| ساحل پشته‌ای راس خلیج کوچک | Bayhead bar beach |
| ساحل پشته‌ای میان خلیجی | Mid bay bar beach |
| ساحل تلماسه‌ای نمایان | Exposed littoral dune |
| ساحل درون رفته | Pocket beach |
| ساحل دیواره‌ای | Scarp |
| ساحل زبانه‌ای | Spit beach |
| ساحل صخره‌ای نمایان | Exposed cliff coast |
| ساحل کاو | Concave beach |
| ساحل کنار خلیج کوچک | Bayside beach |
| ساحل کوژ | Convex beach |
| ساحل لجنی | Muddy coast |
| ساحل مانعی | Barrier beach |
| ساحل مرجانی | Coral coast |

omoorepeyman.ir

| | |
|---|---|
| ساحل مستقیم | Straight beach |
| ساحل موسمی | Monsoon coast |
| ساحل نیزاری | Marshy coast |
| سازگاری | Adaptability |
| سازگاری | Adaptation |
| سازه‌های حفاظتی غیرفعال | Passive protection structures |
| سازه‌های حفاظتی فعال | Active protection structures |
| سازه‌های وزنی بتنی | Concrete Gravity Structures |
| سایش | Abrasion |
| سردکشی شده | Cold-drawn |
| سرعت‌سنجی تصویری ذرات | Particle Image Velocimetry |
| سطح سرویس‌دهی | Service level |
| سکو خود بالابر | Self-elevating platform |
| سکوهای تراوش | Seepage berms |
| سکوی ساحلی | Beach berm |
| سکوی شناور | Floating platform |
| سلول رانه‌ای | Littoral cell |
| سنجش از راه دور | Remote sensing |
| سنگ آذرین | Igneous rock |
| سنگ دگرگونی | Metamorphic rock |
| سنگدانه‌ای | granular |
| سنگریز اولیه | Bund |
| سنگریز دانه‌بندی شده | Graded riprap |
| سنگریز نامنظم | Riprap |
| سیستم استنباط فازی | Fuzzy Inference System (FIS) |
| سامانه‌ی مختصات جهانی | Universal Transverse Mercator (UTM) |
| سیلابی شدن | Flooding |

## ش

| | |
|---|---|
| شاخاب کشندی | Tidal inlet |
| شاخص تراکم | Compression index |

omoorepeyman.ir

| | |
|---|---|
| شاخص میدانی | Field index |
| شبکه عصبی مصنوعی | Artificial Neural Network (ANN) |
| شبیه‌سازی گردابه‌های بزرگ | Large Eddy Simulation (LES) |
| شرایط موج با عمق محدود | Depth-limited wave |
| شمع سپری | Sheet pile |
| شناور تخلیه سنگ از کنار | Side- stone dumping |
| شناور فله‌بر | Dry-bulk vessel |
| شیرجه‌ای | Plunging |

## ص

| | |
|---|---|
| صحت‌سنجی | Validation |
| صفحه لرزشی | Vibrating floor |
| صندوقه | Caisson |

## ض

| | |
|---|---|
| ضریب تحکیم | Coefficient of consolidation |
| ضریب تراوایی فرضی | Notional permeability factor |
| ضریب مقیاس | Scale factor |

## ع

| | |
|---|---|
| عدد پایداری | Stability number |
| عدد هماهنگی | Co-ordination number |
| عرض پخش شدگی | Spreading width |
| عقب‌نشینی | Retreat |
| عمر سازه | Lifetime |
| عمق شفافیت | Secchi depth |
| عمق‌سنج | Echosounder |
| عمل‌آوری | Curing |

omoorepeyman.ir

| | |
|---|---|
| عمود بر ساحل | Cross-shore |

## غ

| | |
|---|---|
| غلطشی | Surging |

## ف

| | |
|---|---|
| فاز تفکیکی | Phase-resolved |
| فتوگرامتری | Photogrammetry |
| فرسایش انتهایی | Flanking |
| فرسایش پیشرونده | Progressive erosion |
| فرونشست | Subsidence |
| فشار برخاستی | Uplift pressure |
| فن‌آوری پیشرفته | High-tech |

## ق

| | |
|---|---|
| قراردهی میدانی | Field set-aside |
| قطر اسمی | Nominal diameter |
| قطعه شدن | Fracturing |
| قطعی | Deterministic |
| قفل و بست شدگی | Interlocking |
| قلاب بازشو | Quick-release hook |
| قلاب هیدرولیکی | Hydraulic grapple |

## ک

| | |
|---|---|
| کامیون کمپرسی | Dump truck |
| کرانه‌ی نزدیک | Shore face |
| کشند | Tide |
| کشند نجومی | Astronomical tide |

omoorepeyman.ir

| | |
|---|---|
| کشند هواشناختی | Meteorological tide |
| کف‌بند پنجه | Toe Apron |
| کفپوش سطحی | Surface blanket |
| کولاب | Lagoon |

## گ

| | |
|---|---|
| گرانش ویژه توده‌ای | Bulk specific gravity |
| گرد شدگی | Rounding |
| گردابه | Eddy |
| گمانه زنی | Boring |
| گودشدگی | Breaching |

## ل

| | |
|---|---|
| لایروب مکشی دارای محفظه | Trailing suction hopper dredger |
| لایه‌بندی شده | Stratified |
| لغزش | Sliding |
| لغزش‌های چرخشی در مصالح | Rotational slides |
| لودر چرخدار | Wheel loader |

## م

| | |
|---|---|
| مبدل تک جهتی | Single-beam transduce |
| مبدل چند جهتی | Multi-beam transducer |
| مبدل صوتی برداشت جانبی | Side-scan sonar |
| متوسط‌گیری در فاز | Phase-averaged |
| محافظ آبشستگی | Scour protection |
| محفظه سنگ | Rock tray |
| مدل‌سازی فرامیدانی | Far field modeling |
| مدل‌های تو در تو | Nested models |

omoorepeyman.ir

| | |
|---|---|
| مدل‌های شبکه‌ای | Network models |
| مدل‌های نوع حوضچه | Basin-type models |
| مدول کشسانی | Modulus of elasticity |
| آرمورچینی | Armoring |
| معادلات آب کم عمق غیر خطی | Nonlinear shallow water equations |
| معادلات توسعه یافته بوزینسک | Boussinesq type equations |
| معادلات میانگین‌گیری شده در عمق | Vertically averaged equations |
| معیار شیلدز | Shields criterion |
| مقاومت دست نخورده | Undisturbed strength |
| مقطع بازگشتی | Return section |
| مقیاس بزرگ | Macro-scale |
| مقیاس بندی | Scaling |
| مقیاس کوچک | Micro-scale |
| مقیاس متوسط | Meso-scale |
| مکانیابی | Positioning |
| ممان بالابرنده رو به جلو | Hoist moment over front |
| ممان بالابرنده رو به کنار | Hoist moment over side |
| منبع | Source |
| موازی ساحل | Longshore |
| موج دنباله‌ای | Wake wave |
| موج‌شکن توده سنگی | Rubble-mound breakwater |
| موج‌شکن جدا از ساحل | Detached breakwater |
| موج‌شکن دور از ساحل | Offshore Breakwater |
| موج‌شکن ساحلی | Coastal Breakwater |
| موج‌شکن شناور پانتونی | Pontoon floating breakwater |
| موج‌شکن شناور جعبه‌ای | Box floating breakwater |
| موج‌شکن شناور زنجیری | Tethered floating breakwater |
| موج‌شکن شناور صفحه‌ای | Mat floating breakwater |
| موج‌شکن مستغرق یا تاج کوتاه | Submerged or Low-Crested Breakwater |
| موج‌شکن‌های کرانه‌ای | Beach Breakwater |
| میزان خطر قابل قبول | Acceptable risk |

omoorepeyman.ir

## ن

| | |
|---|---|
| ناحیه با زهکشی نامطلوب | Poorly drained area |
| ناحیه سایه | Shadow zone |
| ناحیه شکست موج | Surf-zone |
| نسبت گرادیان | Gradient ratio |
| نشست | Settling |
| نشست آنی | Immediate settlement |
| نمایان شدن مغزه | Core exposure |
| نمایان، در معرض هجوم امواج | Exposed |
| نمایان، غیر غوطه‌ور | Emerged |
| نمودار خمیری | Placticity chart |
| نمونه اصلی | Prototype |
| نمونه‌های لوله‌ای شلبی | Shelby-tube samples |
| نمونه‌های میله‌ای | Jar samples |
| نیروی برآ | Lift force |
| نیروی پسا | Drag force |

## و

| | |
|---|---|
| واسنجی | Calibration |
| وزن مرده | Dead Weight Tonnage (DWT) |

## ها

| | |
|---|---|
| همبستگی | Correlation |
| همخوانی | Compatibility |
| همسانگرد | Isotropic |
| هیدروگرافی | Hydrography |

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

# پیوست ۲

## واژه‌نامه انگلیسی به فارسی

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

## A

| | |
|---|---|
| Abrasion | سایش |
| Acceptable risk | میزان خطر قابل قبول |
| Active protection structures | سازه‌های حفاظتی فعال |
| Adaptability | سازگاری |
| Adaptation | سازگاری |
| Angle of repose | زاویه قرار |
| Annealed | بادوام شده |
| Apparent density | چگالی ظاهری |
| Armoring | آرمورچینی |
| Arrowhead Jetties | دستک‌های همگرا |
| Artificial Neural Network (ANN) | شبکه عصبی مصنوعی |
| As-Built | چون ساخت |
| Astronomical tide | کشند نجومی |
| Atterberg limits | حدود اتربرگ |

## B

| | |
|---|---|
| Backfill | پشتریز |
| Backwash | پشت شویی |
| bar | پشته |
| Barrier beach | ساحل مانعی |
| Barrier island | جزیره مانعی |
| Basin-type models | مدل‌های نوع حوضچه |
| Bathymetry | توپوگرافی بستر |
| Bayhead bar beach | ساحل پشته‌ای راس خلیج کوچک |
| Bayhead beach | ساحل انتهای خلیج کوچک |
| Baymouth bar beach | ساحل پشته‌ای دهانه خلیج کوچک |
| Bayside beach | ساحل کنار خلیج کوچک |

omoorepeyman.ir

| | |
|---|---|
| Beach berm | سکوی ساحلی |
| Beach Breakwater | موج‌شکن‌های کرانه‌ای |
| Beach nourishment | تغذیه ساحل |
| Beach restoration | بازیابی ساحل |
| Benchmark | بنچ مارک |
| Boiling | رگاب |
| Boring | گمانه زنی |
| Boussinesq type equations | معادلات توسعه یافته بوزینسک |
| Box floating breakwater | موج‌شکن شناور جعبه‌ای |
| Bracing | بادبندی |
| Breaching | گودشدگی |
| Breaker parameter | پارامتر شکنا |
| Bridging | ایجاد پل |
| Bucket | جام |
| Bulk placed | استقرار توده‌ای |
| Bulk porosity | پوکی توده‌ای |
| Bulk specific gravity | گرانش ویژه توده‌ای |
| Bulkhead | دیوار حایل |
| Bund | سنگریز اولیه |

## C

| | |
|---|---|
| Caisson | صندوقه |
| Calibration | واسنجی |
| Caspian Sea | دریای مازندران |
| Cavitation | حفره‌زایی |
| Coastal Breakwater | موج‌شکن ساحلی |
| Coastal embankment | خاکریز ساحلی |
| Coefficient of consolidation | ضریب تحکیم |
| Cold-drawn | سردکشی شده |

omoorepeyman.ir

| | |
|---|---|
| Compatibility | همخوانی |
| Compressibility | تراکم‌پذیری |
| Compression index | شاخص تراکم |
| Concave beach | ساحل کاو |
| Concrete Gravity Structures | سازه‌های وزنی بتنی |
| Cone penetrometer | آزمون اندازه‌گیری نفوذ مخروط |
| Convex beach | ساحل کوژ |
| Co-ordination number | عدد هماهنگی |
| Coral coast | ساحل مرجانی |
| Coral debris | بقایای مرجانی |
| Core exposure | نمایان شدن مغزه |
| Correlation | همبستگی |
| Cracking | ترک‌خوردگی |
| Crane barge | بارج جرثقیل دار |
| Crescent-shaped bay | خلیج کوچک هلالی شکل |
| Cross-shore | عمود بر ساحل |
| Crown wall | دیواره تاج |
| Curing | عمل‌آوری |
| Curved Jetties | دستک‌های منحنی شکل |
| Cutoff | دیوار آب‌بند |
| Cyclone | چرخند |

## D

| | |
|---|---|
| Damage level parameter | پارامتر میزان خرابی |
| Dead Weight Tonnage (DWT) | وزن مرده |
| Density | چگالی |
| Depositional Basin | حوضچه رسوب‌گیر |
| Depth-limited wave | شرایط موج با عمق محدود |

omoorepeyman.ir

| | |
|---|---|
| Detached breakwater | موج‌شکن جدا از ساحل |
| Deterministic | قطعی |
| Diffraction | پراش، تفرق |
| Dike (Dyke) | بند |
| Ditch | آبرو |
| Drag force | نیروی پسا |
| Dry-bulk vessel | شناور فله‌بر |
| Dump truck | کامیون کمپرسی |
| Durability | دوام |

## E

| | |
|---|---|
| Echosounder | عمق‌سنج |
| Eddy | گردابه |
| Elastic yield limit | حد تسلیم کشسانی |
| Emerged | نمایان، غیر غوطه‌ور |
| Environmental Impact Assessment (EIA) | ارزیابی اثرهای زیست محیطی |
| Environmental Statement (ES) | اظهارنامه زیست محیطی |
| Evolutionary Optimization | بهینه سازی تکاملی |
| Exposed | نمایان، در معرض هجوم امواج |
| Exposed cliff coast | ساحل صخره‌ای نمایان |
| Exposed littoral dune | ساحل تلماسه‌ای نمایان |
| Extreme Water Level | تراز آب حدی، تراز آب طراحی |

## F

| | |
|---|---|
| Far field modeling | مدل‌سازی فرامیدانی |
| Fictitious wave steepness | تیزی موهومی موج |
| Field drop test | آزمون افت میدانی |
| Field index | شاخص میدانی |
| Field set-aside | قراردهی میدانی |

omoorepeyman.ir

| | |
|---|---|
| Flanking | فرسایش انتهایی |
| Flat-top barge | بارج با عرشه تخت |
| Floating platform | سکوی شناور |
| Flooded-valley estuary | خور دره غرقابی |
| Flooding | سیلابی شدن |
| Foreshore | پیش‌کرانه |
| Fracturing | قطعه شدن |
| Fuzzy Inference System (FIS) | سیستم استنباط فازی |

## G

| | |
|---|---|
| Gabion | توربند ساحلی |
| Geogrid | ژئوگرید |
| Geonet | ژئونت |
| Geosynthetic | ژئوسنتتیک، مصالح مصنوعی |
| Geosynthetic Clay Liner (GCL) | ژئوسنتتیک با نام غشای رسی |
| Graded riprap | سنگریز دانه‌بندی شده |
| Gradient ratio | نسبت گرادیان |
| granular | سنگدانه‌ای |
| Greenhouse effect | اثر گازهای گلخانه‌ای |
| Groin | آبشکن |
| Gross litoral transport | انتقال رانه‌ای ناخالص |
| Guideline | راهنما |

## H

| | |
|---|---|
| Head | پوزه |
| Head permeability test | آزمایش تراوایی هد هیدرولیکی |
| High Density Poly Ethylene (HDPE) | پلی‌اتیلن با چگالی بالا |
| High-tech | فن‌آوری پیشرفته |

omoorepeyman.ir

| | |
|---|---|
| Hoist | بالابرنده |
| Hoist moment over front | ممان بالابرنده رو به جلو |
| Hoist moment over side | ممان بالابرنده رو به کنار |
| Hurricane | تندباد |
| Hydraulic grapple | قلاب هیدرولیکی |
| Hydrography | هیدروگرافی |

## I

| | |
|---|---|
| Igneous rock | سنگ آذرین |
| Immediate settlement | نشست آنی |
| In situ | درجا، در محل |
| Individually placed | استقرار منفرد |
| Inflation | تورم |
| Interest | بهره |
| Interlocking | قفل و بست شدگی |
| Isotropic | همسانگرد |

## J

| | |
|---|---|
| Jar samples | نمونه‌های میله‌ای |
| Jetty | دستک |

# L

| | |
|---|---|
| Lagoon | کولاب |
| Land reclamation | احیای زمین |
| Large Eddy Simulation (LES) | شبیه‌سازی گردابه‌های بزرگ |
| Levee | خاکریز ساحلی |
| Lifetime | عمر سازه |
| Lift force | نیروی برآ |

omoorepeyman.ir

| | |
|---|---|
| Liquefaction | آبگونگی |
| Littoral cell | سلول رانه‌ای |
| Littoral Transport | انتقال رسوب موازی ساحل |
| Long-reach | دسترسی طولانی |
| Longshore | موازی ساحل |

## M

| | |
|---|---|
| Macro-scale | مقیاس بزرگ |
| Marshy coast | ساحل نیزاری |
| Mat floating breakwater | موج‌شکن شناور صفحه‌ای |
| Mean High Water (MHW) | آب بالای متوسط |
| Mean Low Water (MLW) | آب پایین متوسط |
| Meso-scale | مقیاس متوسط |
| Metamorphic rock | سنگ دگرگونی |
| Meteorological tide | کشند هواشناختی |
| Micro-scale | مقیاس کوچک |
| Mid bay bar beach | ساحل پشته‌ای میان خلیجی |
| Mobility Parameter | پارامتر تحرک، پارامتر پویایی |
| Modulus of elasticity | مدول کشسانی |
| Monitoring | پایش |
| Monochromatic | تک رنگ |
| Monsoon coast | ساحل موسمی |
| Morphology | ریخت‌شناسی |
| Muddy coast | ساحل لجنی |
| Multi-beam transducer | مبدل چند جهتی |

## N

| | |
|---|---|
| Narrow grading | دانه‌بندی محدود |

omoorepeyman.ir

| | |
|---|---|
| Needle-punched geosynthetic | ژئوسنتتیک نبافته |
| Nested models | مدل‌های تو در تو |
| Network models | مدل‌های شبکه‌ای |
| Nominal diameter | قطر اسمی |
| Non-flexible | انعطاف ناپذیر |
| Nonlinear shallow water equations | معادلات آب کم عمق غیر خطی |
| Normal surge elevation | تراز برکشند معمولی |
| Notional permeability factor | ضریب تراوایی فرضی |

## O

| | |
|---|---|
| Offshore Breakwater | موج‌شکن دور از ساحل |
| Overconsolidated | بیش تحکیم یافته |
| Overtopping | روگذری |
| Overwash | روشویی جریان |

## P

| | |
|---|---|
| Particle Image Velocimetry | سرعت‌سنجی تصویری ذرات |
| Passive protection structures | سازه‌های حفاظتی غیرفعال |
| Permeability | تراوایی |
| Permeable | تراوا |
| PERSIAN GULF | خلیج فارس |
| Pervious soil | خاک تراوا |
| Pervious toe drain | زهکشی پنجه تراوا |
| Phase-averaged | متوسط‌گیری در فاز |
| Phase-resolved | فاز تفکیکی |
| Photogrammetry | فتوگرامتری |
| Pier | اسکله |
| Piping | جوشش |
| Plactic deformation | تغییر شکل خمیری |

omoorepeyman.ir

| | |
|---|---|
| Placticity chart | نمودار خمیری |
| Plunging | شیرجه‌ای |
| Pocket beach | ساحل درون رفته |
| Pontoon floating breakwater | موج‌شکن شناور پانتونی |
| Poorly drained area | ناحیه با زهکشی نامطلوب |
| Positioning | مکانیابی |
| Post-processing | پس‌پردازش |
| Pressure relief well | چاهک فشار شکن |
| Prestressing | پیش‌تنیدگی |
| Primary consolidation | تحکیم اولیه |
| Progressive erosion | فرسایش پیشرونده |
| Prototype | نمونه اصلی |
| Push barge | بارج رانشی، یدک کش |

## Q

| | |
|---|---|
| Quick triaxial test | آزمون سه محوری سریع |
| Quick-release hook | قلاب بازشو |

## R

| | |
|---|---|
| Rapid drawdown | پایین افتادگی سریع |
| Recurring events | رویدادهای دوره‌ای |
| Reef | آبسنگ |
| Reflective | بازتابی |
| Rehabilitation | بازسازی |
| Relative buoyant density | چگالی غوطه‌وری نسبی |
| Relative compaction | تراکم نسبی |
| Relative density | چگالی نسبی |
| Remote sensing | سنجش از راه دور |

omoorepeyman.ir

| | |
|---|---|
| Repair | تعمیر |
| Reserve stability | پایداری حفظ شده |
| Retreat | عقب‌نشینی |
| Return section | مقطع بازگشتی |
| Revetment | پوشش سنگچین |
| Riprap | سنگریز نامنظم |
| Riser | رایزر |
| Rock tray | محفظه سنگ |
| Rocking | حرکت توده‌ای سنگ‌ها |
| Rotational slides | لغزش‌های چرخشی در مصالح |
| Rounding | گرد شدگی |
| Rubble-mound breakwater | موج‌شکن توده سنگی |

## S

| | |
|---|---|
| Sacrificial anode | آند محافظ |
| Salient | پشته پیش‌آمده |
| Sand backfill | پشتریز ماسه‌ای |
| Scale factor | ضریب مقیاس |
| Scaling | مقیاس بندی |
| Scarp | ساحل دیواره‌ای |
| Scour protection | محافظ آبشستگی |
| Sea wall | دیوار ساحلی |
| Secchi depth | عمق شفافیت |
| Secondary compression | تحکیم ثانویه |
| Seepage | تراوش |
| Seepage berms | سکوهای تراوش |
| Segregation | جداشدگی |
| Self-elevating platform | سکو خود بالابر |
| Self-unloading | بارج خود تخلیه |

omoorepeyman.ir

| | |
|---|---|
| Sensor | حسگر |
| Service level | سطح سرویس‌دهی |
| Settling | نشست |
| Shadow zone | ناحیه سایه |
| Shear strength | استحکام برشی |
| Sheet pile | شمع سپری |
| Shelby-tube samples | نمونه‌های لوله‌ای شلبی |
| Shields criterion | معیار شیلدز |
| Shoaling | ژرفاکاستگی |
| Shore beacon | بیکن ساحلی |
| Shore face | کرانه‌ی نزدیک |
| Side- stone dumping | شناور تخلیه سنگ از کنار |
| Side-scan sonar | مبدل صوتی برداشت جانبی |
| Significant wave height (Hs) | ارتفاع موج شاخص |
| Single-beam transduce | مبدل تک جهتی |
| Sink | چاهک |
| Slack time | زمان کشند سکون |
| Sliding | لغزش |
| Sling | تسمه |
| Slope Steepening | تیزشدن شیب |
| Source | منبع |
| Spiral-shaped bay | خلیج مارپیچی |
| Spit beach | ساحل زبانه‌ای |
| Split-hopper barge | بارج از کف بازشو |
| Spot repair method | روش تعمیر نقطه‌ای |
| Spreading width | عرض پخش شدگی |
| Stability number | عدد پایداری |
| Stone porosity | پوکی سنگ |
| Storm surge | برکشند طوفان |

omoorepeyman.ir

| | |
|---|---|
| Straight beach | ساحل مستقیم |
| Stratified | لایه‌بندی شده |
| Structure response | پاسخ سازه |
| Submerged or Low-Crested Breakwater | موج‌شکن مستغرق یا تاج کوتاه |
| Subsidence | فرونشست |
| Surf similarity parameter | پارامتر تشابه شکست |
| Surface blanket | کفپوش سطحی |
| Surf-zone | ناحیه شکست موج |
| Surging | غلطشی |

## T

| | |
|---|---|
| Tethered floating breakwater | موج‌شکن شناور زنجیری |
| Tidal flat | جلگه کشندی |
| Tidal flat coast | جلگه کشندی |
| Tidal inlet | شاخاب کشندی |
| Tidal Prism | حجم آب کشندی |
| Tide | کشند |
| Tilting | چرخش |
| Toe Apron | کف‌بند پنجه |
| Tolerance | رواداری |
| Tombolo | پشته ارتباطی |
| Tombolo beach | ساحل پشته‌ای ارتباطی |
| Trailing suction hopper dredger | لایروب مکشی دارای محفظه |
| Typhoon | تیفون |

## U

| | |
|---|---|
| Unconfined compression test | آزمون تراکم محصور نشده |
| Unconsolidated-Undrained triaxial test | آزمون سه محوری تحکیم نیافته–زهکشی نشده |
| Undercutting | زیر برش |

omoorepeyman.ir

| | |
|---|---|
| Underdrainage | زهکشی زیر سطحی |
| Undermining | زیرشویی |
| Undisturbed strength | مقاومت دست نخورده |
| Universal Transverse Mercator (UTM) | سامانه‌ی مختصات جهانی |
| Unraveling | جداشدگی |
| Uplift pressure | فشار برخاستی |

## V

| | |
|---|---|
| Validation | صحت‌سنجی |
| Vane shear test | آزمون برش پره |
| Vertical-front seawall | دیوار ساحلی قائم |
| Vertically averaged equations | معادلات میانگین‌گیری شده در عمق |
| Vibrating floor | صفحه لرزشی |
| V-notch method | روش شکاف V شکل |

## W

| | |
|---|---|
| Wake wave | موج دنباله‌ای |
| Water content | درصد آب |
| Wave hindcasting | پیش‌یابی موج |
| Wave runup | بالاروی موج |
| Wave setup | خیزآب موج |
| Weir Jetty | دستک سرریز شکل |
| Well | چاهک |
| Wharf | بارانداز |
| Wheel loader | لودر چرخدار |
| Wide grading | دانه‌بندی گسترده |
| Wind setup | خیزآب باد |
| Wire-rope crane | جرثقیل کابلی |

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

## منابع و مراجع


۱- سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور وقت (معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس‌جمهور)، معاونت امور فنی، دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله، (۱۳۸۵)، نشریه‌های ۱-۳۰۰ تا ۱۱-۳۰۰

۲- خسرو مشتریخواه و عبدالرضا محبی (۱۳۷۸)، «فرهنگ جامع دریایی»، وزارت راه و ترابری، مرکز تحقیقات و آموزش

۳- سازمان بنادر و دریانوردی (۱۳۸۸)، «دایره المعارف جامع دریایی و بندری»

4- CERC 2006, “Coastal Engineering Manual,” Coastal Engineering Research Center (CERC), US Army Corps of Engineers

5- OCDI 2002, “Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan,” The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan [OCDI], Tokyo, Japan

6- CERC 1995, “Design of Coastal Revetments, Seawalls, and Bulkheads,” Coastal Engineering Research Center (CERC), US Army Corps of Engineers

7- CERC 1984, “Shore Protection Manual,” Coastal Engineering Research Center, US Army Corps of Engineers

8- CIRIA 2007, “The Rock Manual. The Use of Rock in Hydraulic Engineering,” London

9- Scottish Natural Heritage 2000, “A Guide to Managing Coastal Erosion in Beach-dune Systems,” Appendices 1&2.

10- Silvester, R. and Hsu, J. R. C. 1999, “Coastal Stabilization,” Advanced Series on Ocean Engineering – Vol. 14

11- Hughes, S. A. 1999, “Physical Modes and Laboratory Techniques in Coastal Engineering,” Advanced Series on Ocean Engineering – Vol. 7

12- Fredsoe J. and Deigaard, R. 1997, Mechanics of Coastal Sediment Transport, Advanced Series on Ocean Engineering – Vol 3

13- Kamphuis, J. W. 2000, “Introduction to Coastal Engineering and Management,” Advanced Series on Ocean Engineering – Vol. 16

14- IAPH 2001, “Guidelines for Port Planning and Design,” IAPH Port Planning and Construction Committee

15- Godfrey, P.S. 1996, “Control of Risk. A guide to the systematic management of risk from construction,” SP125, CIRIA, London

16- Humphreys, B., Coates, T., Watkins, M. and Harrison, D. 1996, “Beach recharge materials – demand and resources,” Report 154, CIRIA, London

17- Environment Agency 1999, “Waterway bank protection: a guide to erosion assessment and management,” R & D Publication 11, The Stationary Office

18- Hemphill, R. W. and Bramley, M. E. 1989, “Protection of river and canal banks,” CIRIA report, Butterworths, London

19- PIANC 1987, “Guidelines for the design and construction of flexible revetments incorporating geotextiles for inland waterways,” InCom Working Group 04, Supplement to PIANC Bulletin No 57, Brussels

20- El-Hawary, F. 2001, “The Ocean Engineering Handbook,” Boca Raton, CRC Press LLC

21- Hudspeth, R. T. 2006, “Waves and Wave Forces on Coastal Structures,” Advanced Series on Ocean Engineering – Vol. 21


omoorepeyman.ir

22- Sorensen, R. M. 2006, “Basic Coastal Engineering”, Department of Civil and Environmental Engineering, Lehigh University, Bethlehem, Pennsylvania
23- Kay, R. and Alder, J. 1999, “Coastal Planning and Management,” Taylor & Francis Group, London

omoorepeyman.ir

**Islamic Republic of Iran**
**Vice Presidency For Strategic Planning and Supervision**

# Guidelines on Design & Construction of Coastal Protection Structures

# No. 629


Office of Deputy for Strategic Supervision
Department of Technical Affairs

Ministry of Energy
Bureau of Engineering and Technical Criteria for Water and Wastewater

**nezamfanni.ir**

**http://seso.moe.org.ir**

**2013**


omoorepeyman.ir

**این نشریه**

با عنوان «راهنمـای طراحـی و اجـرای سـازه‌ای حفاظت سواحل» با ارائه مجموعه‌ای کامـل و جـامع از روش‌های متداول و مناسب حفاظت از سواحل بـا توجه به شرایط سواحل ایـران، بـه منظـور اسـتفاده متخصصان، پژوهش‌گران و مشاوران در پروژه‌هـای پژوهشی و اجرایی می‌باشد.

در تهیه این راهنما با بهره‌گیـری از تجربیـات و آخرین منابع و دستاوردهای مراکز علمی و تحقیقاتی داخل و خارج کشـور، مجموعـه‌ای از مناسـب‌تـرین روش‌های سازه‌ای حفاظت سواحل، همراه با اصـول طراحـی و ملاحظـات اجرایـی و بهـره‌بـرداری و نگهداری ارائه شده است.

omoorepeyman.ir