Archive OF SID

سازمان بنادر و دریانوردی به عنوان تنها مرجع حاکمیتی کشور در امور بندری، دریایی و کشتی‌رانی بازرگانی به منظور ایفای نقش مرجعیت دانشی خود و در راستای تحقق راهبردهای کلان نقشه جامع علمی کشور مبنی بر "حمایت از توسعه شبکه‌های تحقیقاتی و تسهیل انتقال و انتشار دانش و سامان‌دهی علمی" از طریق "استانداردسازی و اصلاح فرایندهای تولید، ثبت، داوری و سنجش و ایجاد بانک‌های اطلاعاتی یکپارچه برای نشریات، اختراعات و اکتشافات پژوهشگران"، اقدام به ارایه این اثر در سایت SID می‌نماید.

سازمان بنادر و دریانوردی

مرکز بررسی اطلاعات علمی

ICOPMAS

www.SID.ir

Archive of SID

سایش سواحل و روشهای پایدار نمودن آنها

دکتر محمد دیباج‌نیا

بخش مهندسی عمران دانشگاه توکیو

۱ـ مقدمه

انجام بسیاری از پروژه‌های عمرانی در دوران رشد سریع اقتصادی کشورهای صنعتی نظیر ژاپن باعث از بین رفتن بخش قابل توجهی از سواحل آنها شده است .بعنوان مثال فقط در فاصله پانزده ساله بین سالهای ۱۹۷۸ تا ۱۹۹۲ مساحتی برابر ۲۳۹۵ هکتار از سواحل ماسه‌ای کشور ژاپن از بین رفته است. اگر سواحل شنی را هم به آن بیافزاییم، در طول همین مدت ۲/۵ متر از پهنای این سواحل کاسته شده و بعبارت دیگر سواحل شن و ماسه‌ای ژاپن بطور میانگین در هر ۶ سال ۱ متر پسروی داشته‌اند. اینک پس از پایان دوران جهش اقتصادی و فراهم آمدن فراغت نسبی در این ممالک، و متأسفانه تنها پس‌از از بین رفتن سواحل ماسه‌ای، لزوم و اهمیت وجود آنها روشن شده و مسئله بازیابی سواحل از دست رفته و پایدار نمودن سواحل ماسه‌ای موجود مورد توجه روزافزون قرار گرفته است.

بطور کلی جابجایی رسوب در آبهای نزدیک ساحل تحت اثر عمل امواج و جریانهای موجود در این ناحیه صورت می‌گیرد. در این مقاله پس از اشاره‌ای مختصر به امواج و جریانهای موجود در منطقه نزدیک ساحل، بحث کوتاهی درباره چگونگی حرکت رسوب (ماسه) در آن منطقه و اثر آن بر شکل بستر دریا و خط ساحل خواهیم داشت. سپس به بیان علل سایش (Erosion) و پسروی (Recession) سواحل ماسه‌ای و پیامدهای آن می‌پردازیم. در پایان به روشهای جلوگیری از سایش سواحل، و مزایا و معایب هر یک از آنها اشاره خواهیم نمود.

۲ـ امواج و جریانها در نزدیکی ساحل

امواج دریا معمولا در اثر وزش باد ایجاد شده و شروع به انتشار و پیشروی در دریا می‌نمایند تا به ساحل نزدیک شوند. با نزدیک شدن امواج به ساحل، عمق آب نیز بتدریج کم می‌شود که این امر بروز دو پدیده مهم که باعث تغییر ارتفاع موج می‌شوند را بدنبال دارد. یکی پدیده تغییر راستای پیشروی موج است که به آن پیچش موج (wave retraction) می‌گوییم (شکل ۱). این پدیده شبیه به پدیده انکسار نور است و علت آن اینست که سرعت پیشروی یک موج تابع عمق آب بوده و با کاهش عمق کم میشود. دوم پدیده افزایش ارتفاع موج در اثر

www.SID.ir

Archive of SID

کم شدن عمق آب است که آن را ژرفاکاستگی موج (wave shoaling) می‌نامیم. این پدیده ناشی از رسیدن حرکت موج به بستر دریا بوده و نهایتاً باعث ناپایدار ی‌و شکسته شدن موج می‌شود و نیاز به توضیح بیشتری دارد.

در اثـــر حـــرکت مـــوج، هـــر یک از ذرات آب در مـــداری بـــه نـــوسان درمـــی‌آید. در آبـــهای عـــمیق (ژرفاب،deepwater)، مدار حرکت ذرات آب به هنگام گذر یک موج پیشرونده (wave progressive) تقریبا بشکل دایره‌ٔ است که قطر آن بطرف پایین (داخل آب) کاهش می‌یابد و در عمقی برابر با نصف طول آن موج تقریبا به صفر می‌رسد (شکل ۲). بنابراین حرکت ذرات آب محدود به لایه‌ای در سطح آب بوده و گذر یک موج اثری بر بستر دریا و رسوبهای آنجا نخواهد داشت. همچنین شکل موج بصورتی متقارن و کمابیش خطی (linear) بوده که با توابع سینوسی قابل بیان است. با پیشروی موج بطرف ساحل و کم شدن عمق آب حرکت موج با بستر دریا برخورد نموده و ذرات آب تا مجاورت بستر دریا در مدارهای بیضی شکل به حرکت در می‌آیند. در نتیجه با کم شدن عمق آب ارتفاع موج افزایش یافته (ژرفاکاستگی موج) و موج غیر خطی (nonlinear) می‌شود. بعلاوه شیب سینه موج (wave front) نیز بتدریج زیاد شده و موج از حالت تقارن خارج می‌شود. افزایش ارتفاع و شیب سینه موج تا ناپایدار شدن آن ادامه یافته و نهایتا به شکست موج (wave breaking) می‌انجامد. موج شکنا (breaking wave, breaker) سپس بطور متلاطم و کف آلود ضمن ادامه پیشروی بطرف ساحل، انرژی و در نتیجه ارتفاع خود را تا رسیدن به ساحل از دست می‌دهد (زوال موج، wave decay) (شکل ۳). به طور خیلی تقریبی می‌توان اینگونه در نظر گرفت که شکست موج در نقطه‌ای که نسبت ارتفاع موج به عمق آب به حدود ۰/۸ می‌رسد اتفاق افتاده، و این نسبت تا رسیدن موج به ساحل حفظ می‌شود.

حرکت نوسانی موج در آبهای ساحلی جریانهای ثابتی را نیز بوجود می‌آورد. برای ساده تر شدن مسئله، ساحلی مستقیم با شیب بستر یکنواخت که در آن خطوط هم تراز بستر دریا همگی موازی با خط ساحل هستند را در نظر بگیرید. دو نوع جریان می‌تواند در این ساحل وجود داشته باشد، یکی عمود بر ساحل و دیگری موازی با ساحل، ابتدا حالتی که امواج در راستای عمود بتدریج بزرگ و ناپایدار شده و می‌شکنند. موج شکنا علاوه بر حرکت نوسانی خود، حجم آب نسبتا زیادی را از بالا (سطح آب) با خود به سوی ساحل می‌برد. اصل پیوستگی ایجاب می‌کند که این حجم آب مجدداً به دریا برگردد. بنابراین جریان ثابتی در زیر سطح آب و از ساحل به طرف دریا (بطور کلی در خلاف جهت پیشروی موج شکنا) ایجاد می‌شود که به آن جریان بازگشتی (return flow) یا جریان زیرکش (underflow) می‌گویند (شکل ۴ـالف).

حال اگر راستای پیشروی امواج منطبق بر عمود بر خط ساحل نبوده و بعبارت دیگر امواج بطور مایل به ساحل نزدیک شوند، علاوه بر جریان بازگشتی، جریان دیگری نیز به موازات خط ساحل پدید می‌آید. این جریان بطور خلاصه ناشی از وجود انرژی موج در امتداد موازی ساحل و میرایی این مؤلفه در ناحیه زوال موج است و به آن جریان موازی ساحل (longshore current) گفته می‌شود(شکل ۴ـب).

جریان بازگشتی و جریان موازی ساحل هر دو در ناحیه زوال موج پدید می‌آیند و از فرایندهای ناشی از شکست موج هستند. در حالت کلی که شکل ساحل و بستر دریا بسادگی فوق نیست در آبهای ساحلی جریانهای ساحلی (nearshore currents) دیگری مانند چرخاب ساحلی (nearshore circulation) و

www.SID.ir

Archive of SID

جریان بُر (rip current) و علاوه بر آن‌ها جریانهای دریایی، و جریانهای ناشی از جزر و مد و ... نیز وجود داردند شکل (۴-ج). لکن در تعیین شکل بستر دریا و خط ساحل، نقش جریان بازگشتی و جریان موازی ساحل از همه چشمگیرتر است که در بخش بعدی شرح داده می‌شود.

۳-چگونگی حرکت رسوبها در آبهای ساحلی

در اینجا نیز برای ساده‌تر نمودن مسئله، ابتدا ساحلی مستقیم که در آن خطوط هم تراز بستر دریا همگی به موازات خط ساحل هستند را با امواجی که در راستای عمود بر خط ساحل به آن نزدیک می‌شوند در نظر می‌گیریم. همانطور که قبلا گفته شد در آبهای با عمقی بیش از نصف طول موج، حرکت موج تقریبا به بستر دریا نمی‌رسد. وقتی که موج به آبهای کم عمقتر وارد شود، ذرات آب در مجاورت بستر دریا نیز کم کم به حرکت درآمده و بجلو و عقب می‌روند و هر چه عمق آب کمتر شود سرعت و دامنه حرکت آنها افزایش می‌یابد. هنگامی که سرعت مداری ذرات آب در مجاورت بستر دریا (near-bottom orbital veloctiy) و در نتیجه تنش برشی ای که بر بستر دریا وارد می‌نماید از حد معینی که به آن تنش بحرانی می‌گویند بیشتر می‌شود، رسوبهای بستر دریا نیز شروع به حرکت می‌کنند. به عمقی که در آن رسوبها شروع به حرکت نمایند ژرفای بحرانی (critical water depth) گفته می‌شود. مادامی که امواج به صورت خطی و متقارن هستند، حرکت رسوبها بجلو و عقب مساوی بوده و انتقال خالص رسوب (net transport) وجود ندارد. همگام با افزایش ارتفاع موج در اثر ژرفاکاستگی، ویژگیهای غیر خطی آن نیز تقویت شده و سرعت مداری ذرات آب و مقدار رسوبی که حرکت بجلو و عقب حمل می‌کنند نابرابر می‌شود که این امر همانگونه که در شکل ۵ نشان داده شده است موجب پیدایش انتقال خالص رسوب به یک طرف می‌گردد.

تعیین نرخ انتقال خالص رسوب (net transport rate) و جهت آن بحث مفصل دیگری می‌طلبد که از حوله این مقاله خارج است. در اینجا فقط به این نکته اشاره می‌نماییم که در هنگام تلاطم دریا، در محدوده قبل از نقطه شکست که در آنجا ارتفاع موج به حداکثر خود رسیده است سرعت مداری ذرات آب در مجاورت بستر دریا بقدری شدید، غیر خطی و نامتقارن است که می‌تواند مقدار رسوب قابل توجهی را به طرف ساحل براند. از طرف دیگر پس از نقطه شکست یعنی در ناحیه زوال موج، علاوه بر حرکت نوسانی امواج، جریان بازگشتی یا زیرکش از طرف ساحل به سوی دریا وجود دارد. وجود جریان زیرکش باعث می‌شود که انتقال خالص رسوب در منطقه موج از ساحل به طرف دریا صورت گیرد. بدین بدین ترتیب در دریای طوفانی که امواج بزرگ به ساحل حمله می‌نمایند، ماسه موجود در ساحل توسط جریان زیرکش شسته شده و به سوی دریا برده میشود و در حوالی نقطه شکست پشته (bar) انباشته می‌گردد (شکل ۶). شکل مقطع بستر دریا در این حالت را مقطع سایشی (erosional profile) یا مقطع طوفانی (storm profile) می‌نامند و مشخصه آن پسروی ساحل و وجود پشته در حوالی نقطه شکست است. سواحلی که مورد حمله امواج با ارتفاع متفاوت واقع می‌شوند یا اختلاف سطح آب در آنها بین هنگام جزر و مد زیاد است، نقطه شکست موج نیز در آنها متغیر بوده و ممکن است بیش از یک پشته داشته باشند.

از طرف دیگر هنگامی که دریا آرام است معمولا امواج بلند (امواج با تواتر طولانی، long waves) و کم

www.SID.ir

Archive of SID

ارتفاع به سوی ساحل می‌آیند. سرعت مداری ذرات آب در مجاورت بستر دریا و نیز چریان زیرکش ناشی از شکست اینگونه امواج ضعیف بوده و لذا انتقال خالص رسوب بتدریج و فقط به طرف ساحل انباشته شده و تشکیل یک شانه (berm) می‌دهد (شکل ۶). به شکل مقطع بستر دریا در این حالت مقطع انباشتی (accretional profile) یا مقطع شانه‌دار (berm profile) گفته می‌شود. در مقایسه با مقطع سایشی که هنگام تلاطم دریا و در طول یکی دو هفته پدید می‌آید، مقطع انباشتی نیاز به یک مدت چند ماهه برای شکل‌گیری دارد. در عمل نیز معمولا دوره تلاطم دریا کوتاه بوده و دریای آرام برای مدت طولانی تری ادامه می‌یابد و مقاطع سایشی و انباشتی متناوبا بطور سالانه تکرار می‌شوند بنحوی که مقطع میانگین سالانه یک ساحل تقریبا ثابت است.

اگر چه این بحث را با فرض پیشروی امواج در راستای عمود بر خط ساحل آغاز نمودیم، لکن باید توجه نمود که جهت پیشروی امواجی که بطور مایل به ساحل نزدیک می‌شوند نیز در اثر پدیده پیچش موج، بتدریج به راستای عمود بر ساحل نزدیک شده و عملا بیش از چند درجه با آن تفاوت ندارد. بنابراین بحث حاضر در مورد حرکت رسوب در اثر عمل امواج در حالت کلی نیز صادق بوده و غالبا تحت عنوان حرکت رسوب در راستای عمود بر خط ساحل (cross-shore sediment transport) مطرح می‌شود. همانطور که در بالا اشاره شد، پسروی یا سایش ساحل در اثر این عمل امواج پدیده‌ای موقتی بوده و مقطع بستر دریا هنگام آرامش دریا مجددا در طول سال ترمیم می‌گردد.

نکته مهم در مورد امواجی که بطور مایل به ساحل نزدیک می‌شوند وجود جریان موازی ساحل است. این جریان اگر چه خیلی شدید نیست، لکن می‌تواند رسوبی که از پیش در اثر عمل امواج‌به حرکت درآمده است را براحتی با خود در راستای موازی ساحل حمل نماید. پدیده حمل رسوب توسط جریان موازی ساحل را انتقال رسوب در راستای موازی ساحل (longshore sediment transport یا littoral sediment transport) و رسوب حمل شده را رانه ساحلی (littoral drift) می‌نامند (شکل ۷).

در بسیاری از سواحل، همیشه امواج از جهت کمابیش معینی به ساحل نزدیک می‌شوند بنحوی که جریان موازی ساحل همواره در یک جهت در جریان است. بنابراین در این سواحل رانه ساحلی بطور پیوسته در یک جهت وجود داشته و در دراز مدت می‌تواند تغییرات قابل توجهی در شکل ساحل ایجاد نماید. نمونه‌هایی از این تغییرات در شکل ۸ نشان داده شده است.

۴-علل سایش و پسروی ساحل

اگر چه ساییده شدن یک ساحل باعث پسروی آن می‌شود ولی پسروی یک ساحل لزوما ناشی از سایش آن نیست. مثلا فعالیتهای تکتونیکی و یا حتی استخراج بیش از حد آبهای زیرزمینی و گاز طبیعی در یک منطقه ممکن است منجر به نشست زمین و پیشروی دریا در خشکی شود. احتمال دارد که پیشروی آب دریای خزر نیز به همین دلیل باشد. همچنین گرم شدن سطح کره زمین در سالهای اخیر باعث انبساط و افزایش حجم آب اقیانوسها و بالا آمدن سطح آب آنها شده است که اگر به همین صورت ادامه یابد سرزمینهای پست دنیا نظیر بنگلادش را در معرض خطر غرق شدن قرار خواهد داد.

www.SID.ir

Archive of SID

علت سایش یک ساحل در دراز مدت را باید در کسر بودجه رسوب در آن ساحل جستجو نمود. اگر چه رسوبهای بستر دریا به شرحی که در بخش قبل گذشت همواره در حرکت بوده و ممکن است همراه با رانه ساحلی محل خود را ترک نمایند، لکن در بسیاری از سواحل جهان رسوبهای حمل شده از طریق رودخانه‌ها و یا سواحل بالا دست جای این رسوبها را پر نموده و با حفظ تعادل بین روسوبهای ورودی و خروجی، از کسر بودجه رسوب و نتیجتا سایش آن سواحل جلوگیری می‌کنند. ضمن این که سواحلی نیز وجود دارند که طبیعتا دچار کسر بودجه رسوب بوده تا رسیدن به یک وضعیت تعادل، همواره ساییده خواهند شد. یا ممکن است ساحلی مواجه با "ازدیاد بودجه رسوب" بوده و رسوبها همواره در آنجا انباشته شوند.

همانطور که در مقدمه مقاله ذکر گردید، انجام بسیاری از پروژه‌های عمرانی در طی قرن جاری باعث ساییده شدن سواحل زیادی شده است. ساخت سدها یکی از این نوع پروژه‌ها هستند. احداث سد باعث ته نشین شدن رسوبهای حمل شده توسط رودخانه درپشت سد و نرسدن آنها به دریا می‌شود. بدین ترتیب جلوی یکی از منابع مهم تغذیه رسوب گرفته شده و سواحل زیردست با کسر بودجه رسوب مواجه گردیده و ساییده می‌شوند. ضمن اینکه رسوب ته‌نشین شده برای خود سد نیز مشکل آفرین بوده و عمر مفید آن را کوتاه می‌نماید.

ساختن بندر و برخی دیگر از سازه‌های ساحلی نیز می‌تواند موجب سایش سواحل اطراف گردد. مثلا ساختن یک دیواره عمود بر خط ساحل در ساحلی که جریان موازی با ساحل دارد پیوستگی رانه ساحلی را مانع شده و همانگونه که در شکل ۹ نشان داده شده است باعث انباشت رسوب در طرف بالا دست دیواره و سایش ساحل پایین دست آن می‌شود.

ساختن این دیواره در واقع ساحل بالادست را با افزایش بودجه رسوب و ساحل پایین دست را با کسر بودجه رسوب مواجه ساخته است و اگر دیواره بقدری دراز باشد که رانه ساحلی نتواند آن را دور بزند، سایش ساحل پایین دست همچنان ادامه خواهد یافت.

نمونه‌ای از سایش ساحل در اثر احداث یک بندر در شکل ۱۰ نشان داده شده است. در این مثال، رانه ساحلی که در یک جهت غالب وجود دارد در اثر ساختن بندر متوقف شده و پیوستگی آن برهم خورده است. معمولا برای جلوگیری از انباشته شدن رسوب در داخل بندر و نیز تامین عمق کافی برای رفت و آمد شناورها سعی می‌شود که دهانه بندر در خارج از منطقه شکست امواج قرار گیرد. این امر باعث می‌شود که رانه ساحلی به طور کلی متوقف شده و نتواند بندر را دور بزند و در نتیجه سایش سواحل پایین دست بندر ادامه یافته و به ترتیب نشان داده شده در شکل پیشروی می‌نماید.

ناگفته نماند که ساختن بندر در سواحلی که رانه ساحلی ندارند نیز باعث سایش و تغییر شکل ساحل می‌شود ولی تغییر شکل حاصله پس از رسیدن به یک وضعیت تعادلی متوقف خواهد شد. برای مثال به شکل ۱۱ نگاه کنید. در این شکل موج شکن اصلی بندر برای تامین آرامش آب داخل بندر در آبهای دور از ساحل امتداد داده شده است. این امر باعث می‌شود که حرکت رسوب به سوی ناحیه آرام تحت پوشش این موج شکن از طرف خارج از این ناحیه صورت پذیرد. در نتیجه ساحل خارج از ناحیه تحت پوشش موج شکن ساییده شده و رسوب مربوطه در داخل ناحیه مزبور انباشته می‌گردد. این پدیده تا رسیدن ساحل به وضعیت تعادلی جدید آن ادامه می‌یابد.

www.SID.ir

Archive of SID

سایش ساحل همگام با پیشروی ساختمان یک موج شکن نیز صورت می‌گیرد که مراحل مختلف آن در شکل ۱۲ خلاصه شده است. در این شکل جهت امواج در راستای عمود بر ساحل در نظر گرفته شده است تا رانه ساحلی وجود نداشته باشد. در این حالت نیز تغییر شکل ساحل پس از اتمام ساختمان موج شکن و رسیدن ساحل به وضعیت تعادلی جدید آن متوقف خواهد شد. به این ترتیب ملاحظه می‌شود که نقش رانه ساحلی در سایش سواحل از سایر عوامل مهمتر بوده و برهم زدن تعادل و پیوستگی آن باعث سایش دائمی سواحل پایینَ دست می‌گردد (شکل ۱۳).

۵ـ اهمیت وجود سواحل ماسه‌ای

مانند بسیاری از مواهب دیگر، اهمیت وجود سواحل ماسه‌ای نیز هنگام از بین رفتن آنها معلوم شده است. سواحل ماسه‌ای حداقل سه وظیفه مهم را انجام می‌دهند که عبارتند از: تصفیه آب دریا، حفاظت از ساحل در مقابل سوانح، و تأمین محیط همزیستی انسان با دریا. در این بخش اشاره مختصری به هر یک از این وظایف می‌نماییم.

تصفیه آب در سواحل ماسه‌ای توسط آبزیانی که در داخل بستر ماسه‌ای زندگی می‌کنند، باکتریهای موجود در آنجا، و نیز عمل هوادهی صورت می‌گیرد. آبزیانی که در کف دریا در داخل ماسه زندگی می‌کنند از مواد آلی تغذیه نموده و سپس آنرا دفع می‌نمایند. فرایند جذب و دفع مواد آلی توسط این موجودات موجب کاهش مقدار COD (اکسیژن شیمیایی مورد نیاز) آب دریا می‌شود که میزان آن بستگی به نوع آبزی و شکل ساحل دارد. از طرف دیگر موجودات میکروسکوپی مانند انواع باکتریها با تجزیه مواد آلی نقش بسیار مهمی در تمیز کردن آب دریا دارند. این موجودات میکروسکوپی به مقدار زیادی در داخل بستر ماسه‌ای موجود هستند. در بعضی مناطق که سطح نسبتا زیادی از ساحل ماسه‌ای در اثر جز و مد متناوبا در معرض هوا و در زیر آب قرار می‌گیرد، تجزیه مواد آلی توسط باکتریهای هوازی به وفور انجام می‌شود. در سواحل ماسه‌ای، امواج بر روی شیب طبیعی بستر دریا می‌شکنند و بهنگام شکستن کف آلود شده و مقادیر زیادی هوا از این طریق در آب وارد می‌شود و اکسیژن لازم برای فعالیت آبزیان و تجزیه مواد آلی تأمین می‌گردد.

نقش ساحل ماسه‌ای در حفاظت از خشکی در شکل ۱۴ نشان داده شده است. وجود بستر شیبدار ماسه‌ای باعث می‌شود که امواج شکسته شوند و انرژی موج کمتری به خط ساحل می‌رسد. با ساییده شدن ساحل، عمق آب نیز زیاد شده و امواج بزرگتری بدون آنکه شکسته شوند تا خط ساحل پیشروی نموده و به تأسیسات موجود در آنجا آسیب می‌رسانند.

همگام با پیشرفت اقتصادی هر کشور، معمولا شهرها متراکم شده و مردم برای رفع خستگی به تفریحات موجود در خارج از شهرها رو می‌آورند. سواحل ماسه‌ای امکان انجام انواع گوناگون تفریحات دریایی لذت بردن انسان از دریا را فراهم می‌نمایند.

www.SID.ir

Archive of SID

۶ـ روشهای جلوگیری از سایش سواحل

به طور کلی روشهای جلوگیری از سایش سواحل را می‌توان به دو دسته روشهای نرم و روشهای سخت تقسیم نمود. در روشهای نرم سعی بر آن است که با جایگزین نمودن ماسه از دست رفته، مثلا با ماسه‌ریزی (Beach nourishment, Beach fill) یا با ایجاد کنارگذر ماسه (Sand bypass)، شکل ساحل را حفظ کرده و یا پیوستگی رانه ساحلی را مجددا برقرار نمود. در روشهای سخت سعی می‌شود که با ساختن سازه‌های مناسبی از سایش ساحل جلوگیری گردد. این سازه‌ها بنوبه خود به دو دسته تقسیم می‌شوند. دسته اول سازه‌هایی هستند که از پیشروی سایش در خشکی جلوگیری کرده و در واقع ساحل را زره بندی می‌نمایند و به آنها سازه‌های محافظ می‌گویند. دسته دوم سازه‌هایی هستند که با تغییر دادن امواج و جریانها در نزدیکی ساحل، سعی بر کند نمودن فرایند سایش، طولانی‌تر نمودن عمر ماسه ریخته شده در محل، و یا تأمین پهنای ساحل ماسه‌ای دارند و آنها را سازه‌های پایدار کننده می‌خوانند. دیوار ساحلی (Seawall) و سنگچین (Revetment) از سازه‌های دسته اول هستند در حالیکه رانه‌گیر (Groin)، موج شکن جدا (Detached breakwater)، هدلند (Headland)، و آبسنگ مصنوعی (Artificial reef) در زمره سازه‌های دسته دوم قرار می‌گیرند.

اساس منطقی روشهای نرم، یعنی جبران نمودن ماسه از دست رفته، بسیار ساده و سازگار با طبیعت است و در صورت دسترسی به ماسه لازم، استفاده از این روشها مطلوب‌تر می‌باشد. لکن این روشها نیاز به مراقبت و کنترل مستمر داشته و ملاحظات اقتصادی در بعضی موارد آنها را غیر قابل توجیه می‌نماید. مثلا ماسه ریخته شده در یک ساحل ممکن است با متلاطم شدن دریا پس از چند روز شسته و برده شود که این مسئله در اذهان عمومی پذیرفتنی نیست. در مواردی قوانین و مقررات امکان بکارگیری روشهای نرم را نمی‌دهند. مثلا در کشور ژاپن مدیریت سواحل بعهده وزارت راه، وزارت عمران، و وزارت کشاورزی و شیلات است. هنگام ساختن یک بندر ماهیگری، ایجاد کنارگذر ماسه و انتقال ماسه انباشته شده از ساحل بالادست به ساحل پایین دست با استفاده از پمپ بهترین روش برای جلوگیری از سایش ساحل پایین دست آن است. لکن تداخل محدوده کاری دو وزارتخانه عمران و کشاورزی و شیلات مانع از انجام این کار می‌شود. همچنین بعضی مناطق اصولا با کمبود ماسه مواجه بوده و بکارگیری روشهای نرم در آنجا ممکن نیست. در مناطقی مانند ایالت فلوریدای آمریکا که سواحل آن دارای جاذبه توریستی بوده و حفظ آنها به صورت طبیعی مهم است، عمدتا از روشهای نرم استفاده می‌شود.

از طرف دیگر باید توجه داشت که کار سازه‌های پایدار کننده در واقع توزیع مجدد ماسه موجود در ساحل است و این سازه‌ها ماسه اضافی به ساحل نمی‌آورند. لذا پیدایش ماسه در یک منطقه پس از ایجاد سازه‌ها مزبور به معنی کاهش ماسه در نقاط دیگری می‌باشد. در مواردی که این اثر منفی قبول نیست، بهتر است از ترکیبی از روشهای نرم و سخت استفاده نمود. با ذکر این مقدمه در اینجا فقط به معرفی روشهای سخت جلوگیری از سایش سواحل می‌پردازیم.

www.SID.ir

Archive of SID

۶-۱ دیوار ساحلی (Seawall)

دیوارهای ساحلی از ابتدایی‌ترین سازه‌هایی هستند که برای حفظ خشکی در مقابل خطر حمله امواج طوفانی و نیز جلوگیری از سایش سواحل ساخته شده‌اند. اشکال عمده این دیوارها ایجاد امواج ایستا (Standing waves) در جلوی آنها دراثر پدیده بازتابش موج است. ارتفاع موج کاملا ایستاده به دو برابر موج اصلی می‌رسد که می‌تواند برای رفت و آمد شناورها خطرناک باشد. به همین جهت معمولا لایه‌ای از سنگ یا بلوکهای بتنی (مانند تتراپاد) برای جذب انرژی موج و کاهش بازتابش آن، در جلوی دیوار تعبیه می‌شود. دیوارهای ساحلی در مواردی با شکست مواجه و خراب می‌شوند. در گذشته چنین تصور می‌شد که پیدایش امواج ایستا باعث بروز آبشستگی در پای دیوار و واژگون شدن آن می‌شود. ولی باید توجه نمود که دیوار ساحلی اگر چه خط ساحل و زمین پشت آنرا حفظ می‌کند، لکن تأثیری بر سایش بستر دریا توسط رانه ساحلی ندارد. لذا همانطور که در شکل ۱۵ نشان داده شده است، ادامه سایش بستر دریا در چنین مواردی موجب افزایش عمق آب در جلوی دیوار ساحلی می‌شود و در نتیجه امواج بلندتری می‌توانند به دیوار نزدیک شده و به آن آسیب برسانند.

۶-۲ رانه‌گیر (Groin یا Groyne)

منظور از رانه گیر سازه باریکی است که معمولا در راستای عمود بر خط ساحلی ساخته می‌شود و با سد کردن و به دام انداختن رانه ساحلی، باعث انباشت ماسه و پیدایش ساحل ماسه‌ای (شکل ۱۶) می‌گردد. به این ترتیب از سایش بیشتر ساحل جلوگیری شده و ساحل ماسه‌ای ایجاد شده می‌تواند از زمینهای پشت ساحل محافظت نماید. رانه‌گیرها معمولا به صورت یک مجموعه برای محافظت از یک منطقه ساخته می‌شوند و ماسه در طرف بالا دست آنها (یعنی طرفی که رانه ساحلی از آن می‌آید) انباشته شده و در طرف پایین دست هر رانه گیر نیز ناحیه کوچکی تحت پوشش سازه قرار می‌گیرد که ماسه می‌تواند در آنجا جمع شدود. همچنین بسته به شرایط طرح و محل، قسمتی از ساحل در فاصله بین دو رانه گیر ممکن است ساییده شود. در سواحلی که رانه ساحل ضعیف و حرکت رسوب در راستای عمود بر ساحل موجب سایش آنها شده باشد، ساختن رانه گیر مفید نخواهد بود.

عملکرد رانه‌گیرها بستگی به جهت جریان رانه ساحلی ندارد و شکل ساحل ایجاد شده ممکن است فقط در فصلهای مختلف تغییر نماید.رانه‌گیرها معمولاً از سنگ یا شمع‌های ورقه‌ای ساخته می‌شوند و ساختن آنها ساده است. پس از پر شدن فضای بین دو رانه‌گیر، رانه ساحلی می‌تواند سازه را دور بزند و به ساحل پایین دست برسد و لذا یک مجموعه رانه‌گیر فقط مقدار مشخصی ماسه را به دام می‌اندازد. لکن مادامی که فضای بین رانه‌گیرها در حال پر شدن از ماسه است، سایش ساحل پایین دست اجتناب ناپذیر خواهد بود. برای جلوگیری از این امر و آسیب نرسیدن به سواحل مجاور، می‌توان با ماسه ریزی فاصله بین رانه‌گیرها را از ابتدا پر نمود.

همانطور که در بخشهای قبل اشاره شد، رانه ساحلی عمدتا در منطقه زوال موج یعنی در فاصله بین نقطه شکست و خط ساحل جریان دارد. اگر رانه‌گیر بیش از حد دراز بوده و تا نقطه شکست برسد، جریان رانه ساحلی بکلی متوقف خواهد شد. لذا طول رانه‌گیرها را باید با توجه به موقعیت مورد نظر برای خط ساحل پس

www.SID.ir

Archive of SID

از اتمام پروژه و نیز پهنای منطقه زوال موج تعیین نمود. فاصله بین دو رانه‌گیر مجاور معمولا بسته به جهت امواج، بین ۲ تا ۳ برابر درازای رانه‌گیر در نظر گرفته می‌شود. برای امواج مایلتر این فاصله باید کمتر باشد تا از سایش بیش از حد ساحل بین دو رانه‌گیر جلوگیری شود. رانه‌گیرها از اولین روشهای پایدار نمودن ساحل هستند و اطلاعات و مدارک زیادی برای طراحی آنها وجود دارد.

۶-۳ موج شکن جدا (Detached breakwater)

ساختن رانه گیر در سواحلی که فقط رانه ساحلی موجب سایش آنها شده است مؤثر بوده و در سواحلی که حرکت رسوب در راستای عمود بر ساحل نیز شدید است، ماسه موجود در بین رانه‌گیرها ممکن است براحتی شسته شده و به نقاط دیگری برده شود. بنابراین در چنین مواردی لازم است که ساحل را در مقابل حمله امواج نیز محافظت نمود. در بحث خاضر، موج شکن جدا به موج شکنی گفته می‌شود که به موازات خط ساحل و در نزدیکی آن ساخته می‌شود و چون به ساحل متصل نیست آنرا موج شکن جدا می‌خوانند (شکل ۱۷)

موج شکنهای جدا ممکن است به وصورت تنها و یا مجموعه‌ای ساخته شوند و می‌توانند ساحل تحت پوشش خود را در مقابل امواج کم ارتفاع و امواج با ارتفاع متوسط محافظت نموده و نیز از انرژی تخریبی امواج بزرگ بکاهند. این موج شکنها با تغییر دادن اساسی الگوی امواج و جریانها در حوالی ساحل از پیدایش رانه ساحلی جلوگیری می‌نمایند و معمولا ماسه بهنگام آرامش نسبی دریا در منطقه آرام پشت آن‌ها انباشته شده و پیشروی ساحل را سبب می‌شود. در این حالت همانطور که در شکل ۱۸ نشان داده شده است چرخابهایی در پشت موج شکن جدا ایجاد می‌شوند و این چرخابها با حمل ماسه شکل خاصی به خط ساحل می‌دهند. در حالت کلی شکل خط ساحل پس از ساختن موج شکنهای جدا بستگی به درازای موج شکن، فاصله آن از ساحل، فاصله بین دو موج شکن، ارتفاع موج شکن، مقدار رسوب موجود در محل، شکل اولیه مقطع ساحل، و جهت امواج دارد و عمدتا می‌تواند به سه صورت باشد (شکل ۱۹). اگر فاصله موج شکن جدا از ساحل نسبتا زیاد بوده ولی طول آن نسبت به طول موج دراز نباشد، یک برآمدگی در خط ساحل ایجاد خواهد نمود و برای مجموعه موج شکن جدا شکل خط ساحل به صورت سینوسی در می‌آید. با نزدیک نمودن موج شکن به ساحل و یا افزایش طول آن این برآمدگی کم کم پیشرفت می‌کند تا به موج شکن برسد که در این حالت به آن تومبولو (می‌گویند). اگر مقدار رسوب موجود در محل کافی نباشد و یا طول موج شکن جدا بیش از حد کوتاه بوده و از ساحل خیلی دور باشد تغییری در شکل خط ساحل مشاهده نخواهد شد.

پیش بینی دقیق رفتار خط ساحل در اثر ساختن موج شکن جدا نیاز به شناخت عوامل متعددی دارد و کار ساده‌ای نیست و طراحی آنها بیشتر از روی تجربه صورت می‌گیرد. ساختن این موج شکنها بیشتر در ژاپن و سواحل مدیترانه‌ای اروپا رایج است و کارآیی آنها در ترمیم خط ساحل و ایجاد برآمدگی و تومبولو به ثبوت رسیده ات. در ژاپن معمولا موج شکن جدا را در عمق ۳ تا ۵ متر می‌سازند و درازای آنها معادل ۲ تا ۳ برابر طول موج در آن محل در نظر می‌گیرند. مطلوب است که فاصبله بین دو موج شکن مجاور کمتر از ۰/۴ و فاصله موج شکن از خط ساحل کمتر از ۰/۸ درازای موج شکن باشند. چون موج شکن جدا به ساحل متصل نیست ساختن آن مشکل است. این موج شکنها را می‌توان از سنگ با بلوکهای بتنی ساخت و در خیلی موارد نشست می‌کنند که برای جبران آن باید به تعداد سنگها یا بلوکها اضافه نمود. عیب عمده موج شکنهای جدا منظره نامطلوب

www.SID.ir

Archive of SID

آنهاست که زیبایی دریا را در نظر بیننده‌ای که در ساحل ایستاده باشد از بین می‌برد. همچنین طراحی نادرست می‌تواند باعث راکد ماندن آب پشت آنها و پایین آمدن کیفیت آب بشود. وجود موج شکن جدا انجام بعضی از تفریحات رایج دریایی مانند موج سواری و بادبان سواری را نیز غیر ممکن می‌نماید.

۶-۴ هدلند (Headland)

توجه به مسئله حفظ طبیعت و محیط کره زمین در سالهای اخیر موجب پیدایش انتظارات جدیدی از پروژه‌های عمرانی شده است. پروژه‌های پایدار نمودن سواحل نیز از این امر مستثنی نبوده و روشهایی در اولویت قرار گرفته‌اند که بتوانند علاوه بر حفظ خشکی و جلوگیری از ادامه سایش ساحل، کمترین تغییر را در طبیعت دریا و دورنمای آن و نیز در محیط زیست آبزیان ایجاد نمایند. هدلند و آبسنگ مصنوعی از این روشها هستند.

در طبیعت سواحلی وجود دارند که بین دو دماغه یا صخره سنگی که حدود یک دو کیلومتر از هم فاصله دارند قرار گرفته و در دراز مدت پایدار هستند. این سواحل را به خاطر شکل پلان آنها سواحل پاکتی (Poket beach) می‌نامند. در این سواحل همانطور که در شکل ۲۰ نشان داده شده است، رانه ساحلی توسط دماغه سنگی سد شده و خط ساحل بتدریج به موازات خط تاج امواج تغییر شکل می‌دهد. به این ترتیب جهت پیشروی امواج و خط ساحل بر هم عمود شده و جریان موازی ساحل و در نتیجه رانه ساحلی از بین می‌روند و ساحل به همان شکل باقی می‌ماند. در صورت تغییر جهت امواج، شکل خط ساحل نیز تغییر خواهد نمود ولی ماسه همچنان در داخل ساحل پاکتی محبوس خواهد ماند. البته باید طول دماغه‌ها به اندازه کافی دراز باشد تا رانه ساحلی نتواند آنها را دور بزند. نظریه ساختن هدلند برای پایدار نمودن ساحل از این سواحل پاکتی منشأ می‌گیرد.

هدلندها برای سواحلی که شیب بستر در آنها ملایم بوده و عمدتا توسط رانه ساحلی ساییده می‌شوند مناسب هستند. در بخش سوم این مقاله اشاره نمودیم که مقطع‌های سایشی و انباشتی متناوبا در یک ساحل تکرار می‌شوند. در اینجا باید اضافه کنیم که ممکن است در ساحلی شیب بستر دریا بسیار ملایم باشد و ذرات ماسه موجود در آن به اندازه کافی درشت باشند، و هر یک از این دو یا ترکیبی از آنها باعث شود که مقطع سایشی در آن ساحل محسوس نباشد. در چنین ساحلی حرکت رسوب در راستای عمود بر ساحل مشکل آفرین نبوده و فقط اختلال در پیوستگی رانه ساحلی می‌تواند موجب سایش شود.

یک هدلند از یک دیواره باریک عمود بر ساحل و یک کلاهک تشکیل می‌شود و به یک لنگر کشتی شباهت دارد. هدلند بدون کلاهک در واقع یک رانه‌گیر دراز است. معمولا رانه‌گیرها جریانهای ساحلی اطراف خود را به سوی دریا هدایت می‌کنند و باعث پیدایش جریانی شیبیه به جریان میان بر می‌شوند که ماسه را به دریا می‌برد. وجود کلاهک مانع پیدایش این جریان شده و باعث می‌شود که ماسه در داخل ساحل پاکتی محبوس بماند. همانطور که در شکل ۲۱ نشان داده شده است، با تزریق مواد رنگی در نزدیکی هدلند بدون کلاهک و هدلند کلاهک دار می‌توان اثر وجود کلاهک را بر روی جریان اطراف آن به خوبی مشاهده نمود.

در طراحی هدلند باید توجه نمود که این سازه نیز با سد نمودن رانه ساحلی باعث انباشت ماسه در بالادست و سایش ساحل پایین دست خود می‌شود و لذا باید با طرح نمودن یک گروه هدلند پایداری ساحل

www.SID.ir

Archive of SID

مورد نظر را تامین نمود. تعیین نسبت فاصله بین هدلندها و درازای آنها به طور کلی مانند رانه گیرها صورت می‌گیرد. اگر فاصله بین دو هدلند را با ℓ، طول کلاهک را با ℓ'، زاویه راستای امواج را با θ، و فاصله بین خط اولیه ساحل و دیوار ساحلی را با B نشان دهیم (شکل ۲۲) باید رابطه زیر برقرار باشد:

$$B - \frac{\ell - \ell'}{2} \tan \theta \geq B_o$$

در این رابطه B_o حداقل پهنای ساحل ماسه‌ای است که بیشتر از ۲۰ متر در نظر گرفته می‌شود. همچنین درازای هدلند باید از $(\ell - \ell') / 2 . \tan \theta$ خیلی بیشتر باشد تا رانه ساحلی نتواند آنرا دور بزند. از آنجا که هدلند با جلوگیری از رانه ساحلی انجام وظیفه می‌کند، از جنبه تئوریک باید تا نزدیکی ژرفای بحرانی مورفولوژیکی (عمقی که تغییرات بستر دریا هنوز در آن محسوس است و بعنوان مثال در سواحل ژاپن حدودا ۱۰ متر می‌باشد، closure depth) امتداد یابد. لکن وجود کلاهک باعث تضعیف جریانهای ساحلی اطراف آن شده و ماسه نمی‌تواند براحتی هدلند را دور بزند و لذا در عمل انتهای هدلند را با توجه به ملاحظات اقتصادی در عمق کمتری (۴ تا ۵ متر) قرار می‌دهند. فاصله بین هدلندها را معمولا بین ۱ تا ۲ کیلومتر در نظر می‌گیرند.

در شکل ۲۳ یکی از موارد استفاده از هدلند نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود ساختن یک بندر موجب سایش ساحل پایین دست آن شده است و منطقه آسیب دیده با گذشت زمان گسترش می‌یابد احداث یک هدلند اگر چه از پیشروی این سایش جلوگیری می‌نماید ولی موجب پیدایش منطقه سایش جدیدی خواهد شد. لذا در عمل لازم است که هدلندها به صورت گروهی طرح شوند و حتی الامکان بطور همزمان ساخته شده و امتداد یابند.

۶-۵ آبسنگ مصنوعی (Artificial reef)

آبسنگ مصنوعی در واقع یک موج شکن زیرآبی است که پهنای تاج آن خیلی زیاد بوده و نقش آن در پایدار نمودن ساحل بسیار شبیه به موج شکن جدا می‌باشد (شکل ۲۴). در مقایسه با موج شکن زیرآبی که عمق آب بالای تاج آن باید کم باشد تا امواج انرژی خود را از دست بدهند، پهنای زیاد تاج آبسنگ مصنوعی زوال تدریجی امواج را موجب شده و امکان بیشتر در نظر گرفتن عمق آب بالای تاج را می‌دهد. لذا آبسنگ مصنوعی معمولا کوتاه بوده و ضریب بازتابش امواج از آن کم است (کمتر از ۲۰٪) در مقایسه با موج شکن جدا، آبسنگ مصنوعی در زیر سطح آب قرار دارد و تقریبا هیچ تاثیر نامطلوبی بر منظره دریا و زیبایی آن ندارد. همچنین نه تنها مانع انجام تفریحات دریایی نمی‌شود، بلکه رونق بیشتر این تفریحات را در منطقه آرام آبی ایجاد شده می‌رود. در مواردی ممکن است که لایه محافظ روی آبسنگ که از سنگ یا بلوکهای بتنی ساخته می‌شود مانند چراگاههای مصنوعی عمل نموده و صید ماهی یا آبزیان دیگر را رونق ببخشد.

اثرات ساخت آبسنگ‌های مصنوعی در شکل ۲۵ خلاصه شده است. در سواحلی که شیب ملایمی ندارند و یا سواحل ساییده شده است، امواج می‌توانند به خط ساحل حمله نموده و به تاسیسات موجود آسیب برسانند. آبسنگ مصنوعی با تعدیل انرژی امواج باعث کاهش یافتن بالاگذر موج از روی دیوار ساحلی می‌شود. همچنین با کاهش دادن رانه ساحلی از سایش بیشتر ساحل جلوگیری می‌نماید. در سواحل مصنوعی که با ماسه‌ریزی ایجاد شده‌اند باید بنحوی از حرکت ماسه به سوی دریا جلوگیری نمود و آبسنگ مصنوعی به خوبی این وظیفه را انجام می‌دهد. شکست امواج بر روی آبسنگ مصنوعی جریانی را به طرف ساحل ایجاد

www.SID.ir

Archive of SID

می‌نماید که از میان دو آبسنگ به دریا برمی‌گردد و از رکود آب و کاهش کیفیت آن جلوگیری می‌شود.

مانند موج شکن‌های جدا، آبسنگ های مصنوعی نیز الگوی جریانهای ساحلی را تغییر می‌دهند. شکل جریان حاصله بستگی به ابعاد آبسنگ‌ها و فاصله آنها از یکدیگر و از خط ساحل دارد. بنابراین باید این اندازه‌ها را طوری انتخاب نمود که جریان تأمین کننده هدف مورد نظر ایجاد گردد. در شکل ۲۶ پارامترهای مربوط به طراحی آبسنگ های مصنوعی نشان داده شده‌اند. بررسی حالتهای مختلف طراحی آبسنگ‌ها پایدار نمودن ساحل و انباشته شدن ماسه در پشت آبسنگ باشد، الگوی جریان نشان داده شده در شکل ۲۷-a که منجر به ایجاد برآمدگی در خط ساحل می‌شود مطلوب است. برای این منظور باید فاصله بین دو آبسنگ را طوری در نظر گرفت که در محدوده $0.25L < W_r < L_r$ قرار گیرد و درازای آبسنگ را نسبت به فاصله آن از خط ساحل و براساس $Y < L_r < 4Y$ تعیین نمود. پهنای تاج آبسنگ (B) را حدود ۱ تا ۱/۵ برابر طول موج در ژرفاب (L_0) و عمق آب بالای تاج را کمتر از ۱/۳ برابر ارتفاع موج در ژرفاب (H_0) در نظر می‌گیرند. بهتر است که پای آبسنگ در ژرفای بحرانی مورفولوژیکی قرار گیرد و شیب جلوی آن ۱/۳ تا ۱/۵ باشد.

همانطور که از شکل ۲۷ نیز معلوم می‌شود، الگوی جریان ایجاد شده در پشت آبسنگ نسبت به تغییر پارامترها مختلف بسیار حساس بوده و لذا در طراحی آبسنگ‌های مصنوعی باید بسیار دقت نمود. نظریه ساختن آبسنگ‌های مصنوعی نسبتاً جدید است و پیش‌بینی عملکرد آنها بر اساس نتایج آزمایشگاهی صورت می‌گیرد. هنوز داده‌های کافی که در عمل بدست آمده باشند برای قضاوت در مورد میزان کارآیی آبسنگ‌های مصنوعی وجود ندارد. در مناطقی که اختلاف سطح آب قرار گیرد و یا از ان بیرون بزنند.

نمونه‌هایی از بکارگیری آبسنگ مصنوعی برای پایدار نمودن ساحل در شکل ۲۸ نشان داده شده است. بر خلاف حالت موج‌شکن جدا، برآمدگی خط ساحل به آبسنگ نمی‌چسبد و لذا رانه ساحلی کاملاً متوقف نخواهد شد. در سواحل مصنوعی که با ماسه‌ریزی ایجاد می‌شوند بهتر است آبسنگ‌های مصنوعی بصورت پیوسته برای جلوگیری از رفتن ماسه به دریا ساخته شوند، و لازم است که دو رانه‌گیر یا هدلند نیز در دو طرف ساحل مزبور برای جلوگیری از حرکت ماسه به موازات ساحل تعبیه گردد.

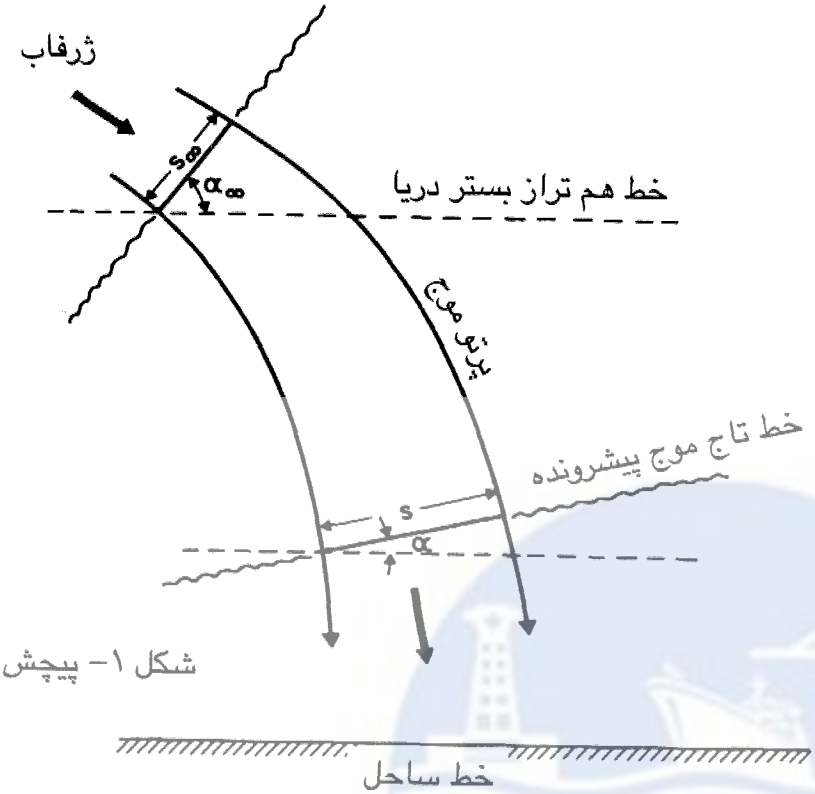
۷ـ نتیجه

در این مقاله اشاره مختصری به امواج و جریانهای موجود در منطقه نزدیک ساحل، چگونگی حرکت ماسه در آبهای ساحلی و اثر آن بر شکل بستر دریا و ساحل داشتیم. همچنین علل سایش و پسروی سواحل ماسه‌ای و پیامدهای آن مورد بحث قرار گرفت و سپس روشهای جلوگیری از سایش سواحل و مزایا و معایب هر یک از آنها معرفی گردید.

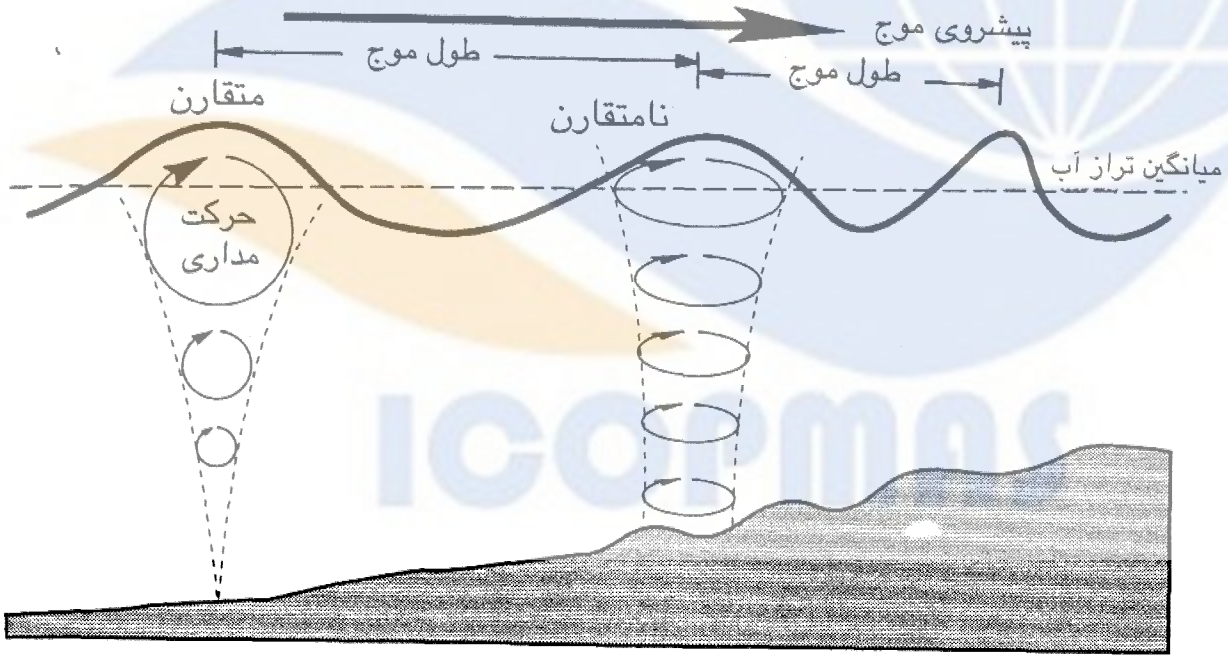
انتخاب روش پایدار نمودن یک ساحل بستگی به وضعیت فعلی آن ساحل و نیز عوامل اجتماعی و اقتصادی دارد و برای هر دو مورد باید جداگانه بررسی صورت گیرد. بطور کلی بکارگیری روشهای نرم مانند ماسه‌ریزی یا ایجاد کنارگذر ماسه مطلوب‌تر است. مخصوصا در مورد بنادر، ایجاد کنار گذر ماسه می‌تواند از میزان رسوب گذاری در داخل بندر و در نتیجه حجم لایروبی نیز بکاهد. از میان روشهای سخت، ساختن هدلند از جنبه‌های مختلف قابل توصیه می‌باشد. در مواردی که حرکت رسوب در راستای عمود بر ساحل نیز وجود دارد، طرحی مرکب از آبسنگ‌های مصنوعی و هدلند موفق و سازگار با طبیعت خواهد بود.

www.SID.ir

Archive of SID



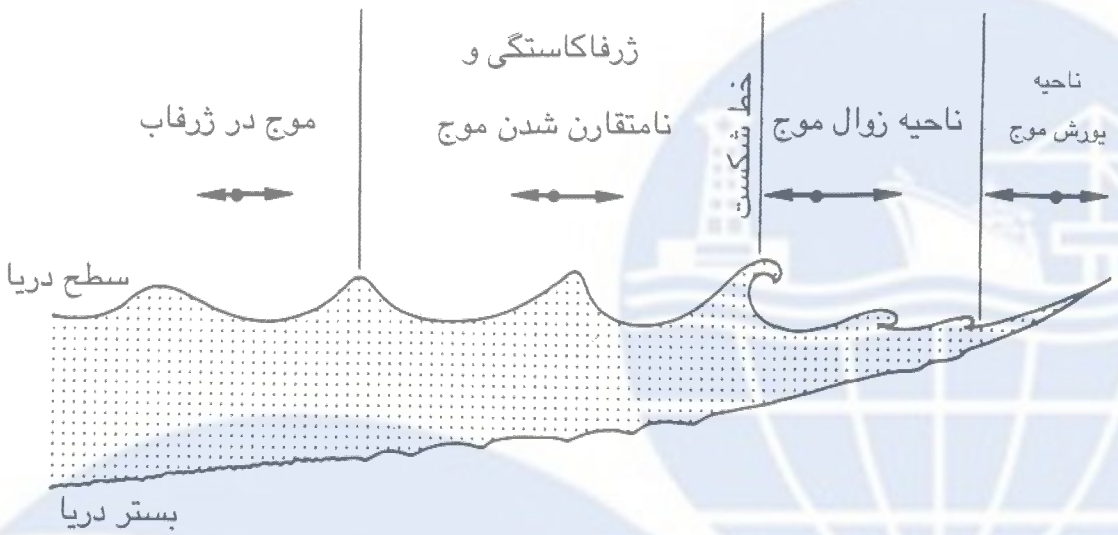
شکل ۱- پیچش امواج در اثر تغییر عمق آب



شکل ۲- با نزدیک شدن موج به ساحل، طول موج کاهش و ارتفاع آن افزایش می یابد و شکل موج نامتقارن می گردد. حرکت مداری ذرات آب نیز تا بستر دریا می رسد.

www.SID.ir

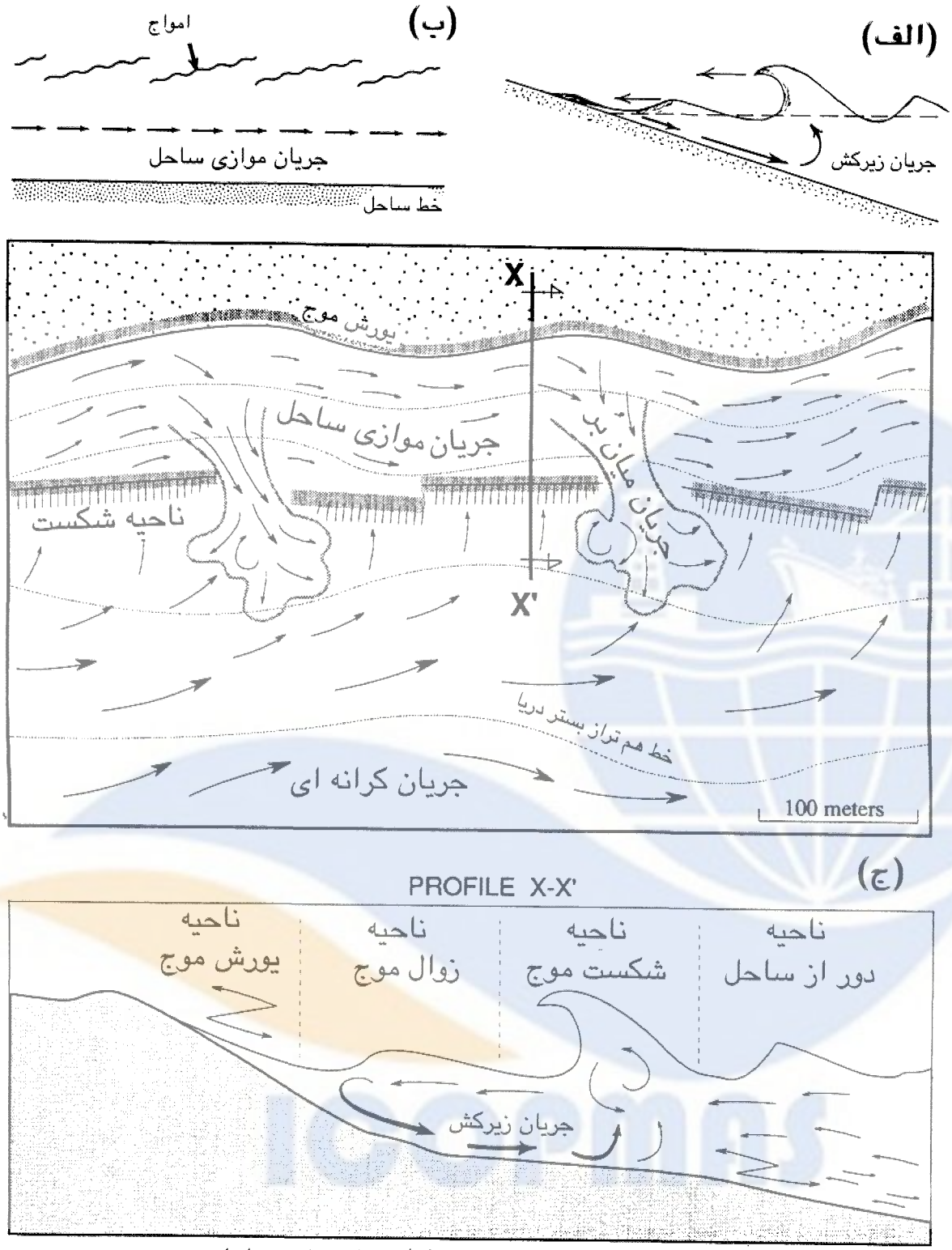
Archive of SID



شکل ۳- ژرفاکاستگی، شکست، و میرایی موج

www.SID.ir

Archive of SID

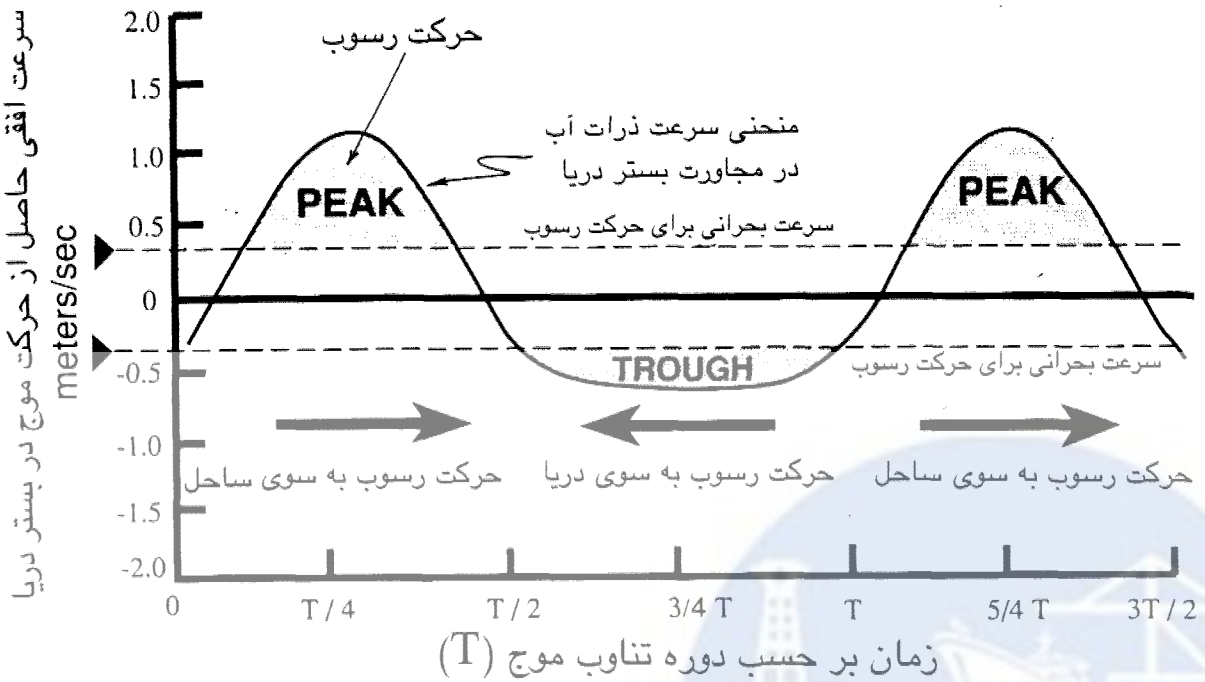


شکل ٤- (الف) جریان زیرکش (ب) جریان موازی ساحل

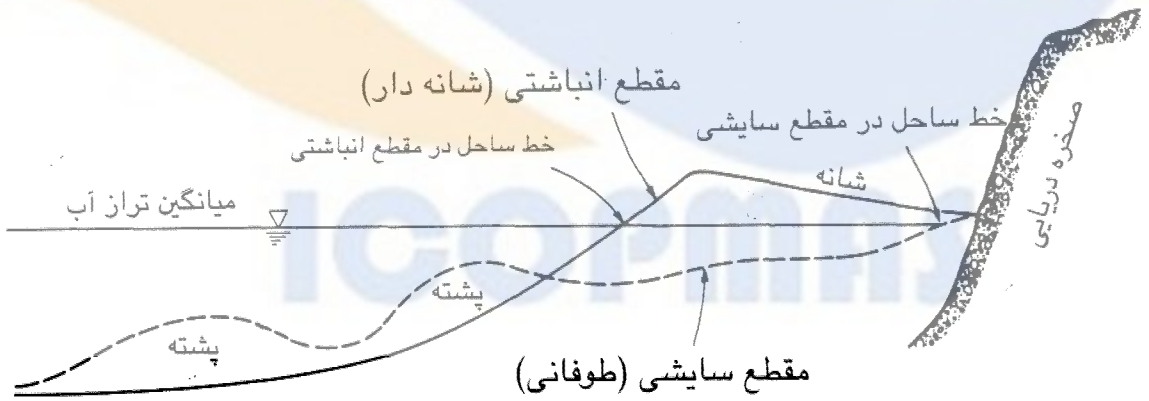
(ج) جریانهای حاصل از عمل امواج و غیره در حالت کلی

www.SID.ir

Archive of SID



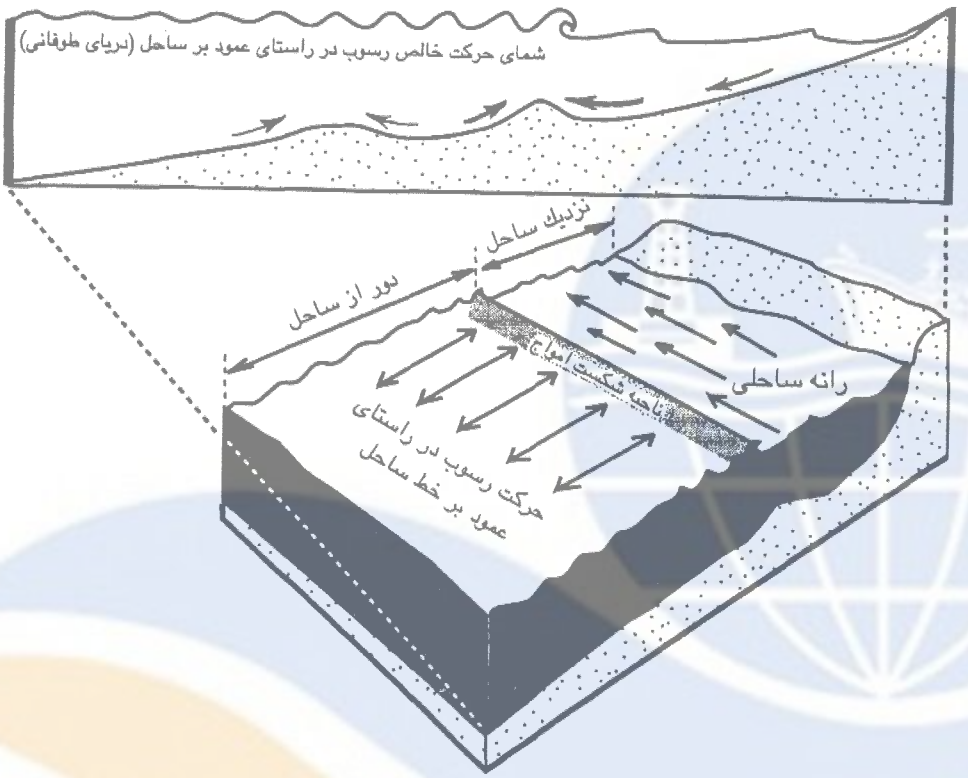
شکل ٥- نابرابری سرعت و مدت حرکت ذرات آب به جلو و عقب در مجاورت بستر دریا موجب پیدایش انتقال خالص رسوب در یك جهت می شود.



شکل ٦- مقطع های سایشی و انباشتی متناوبا تکرار می شوند

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۷- حرکت رسوب در راستای عمود بر ساحل و به موازات ساحل

www.SID.ir

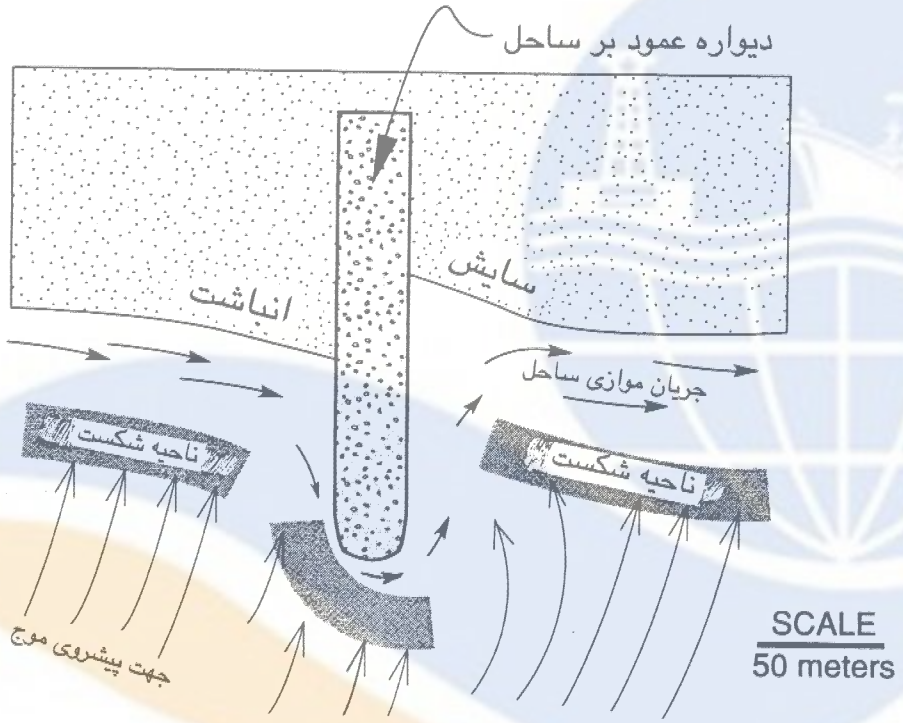
Archive of SID

شکل ۸- رانه ساحلی که از جنوب به طرف شمال در جریان است،

با رسیدن به دهانه خور و آرام شدن جریان، رسوب خود را بر جاگذاشته و یك زبانه ماسه ای (sand spit) می سازد(C). با افزایش طول این زبانه، محل دهانه خور نیز همه ساله تغییر می نماید.

www.SID.ir

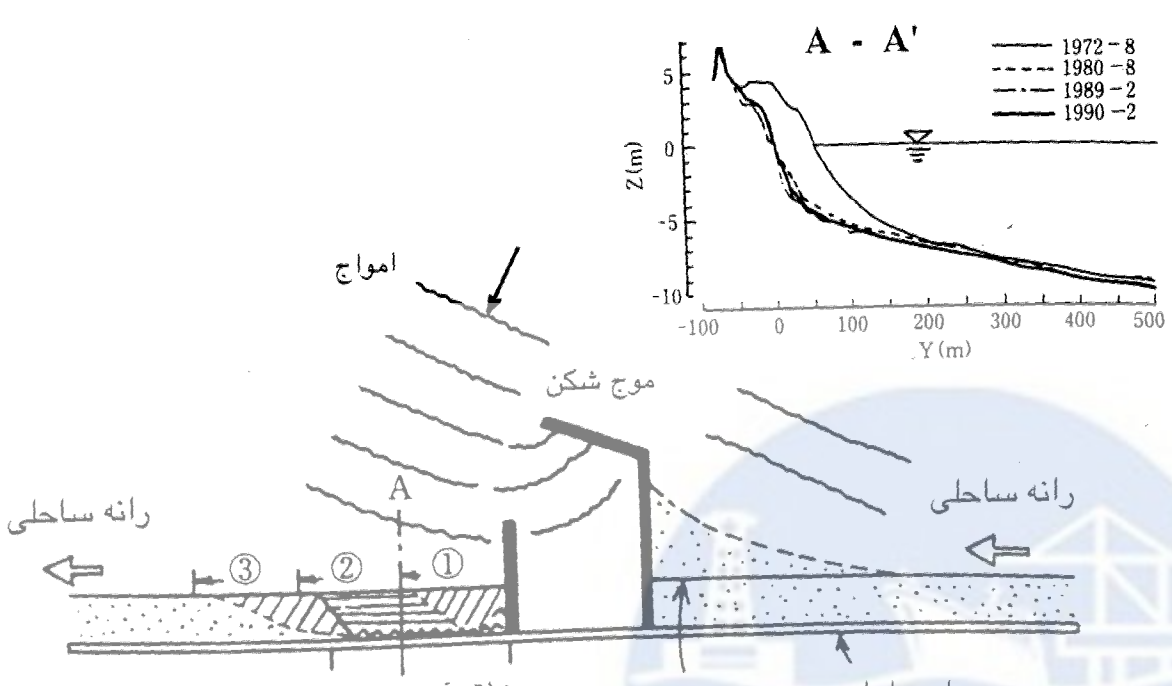
Archive of SID



شکل ۹- تغییر شکل خط ساحل در اثر احداث یك دیواره عمود بر آن

www.SID.ir

Archive of SID

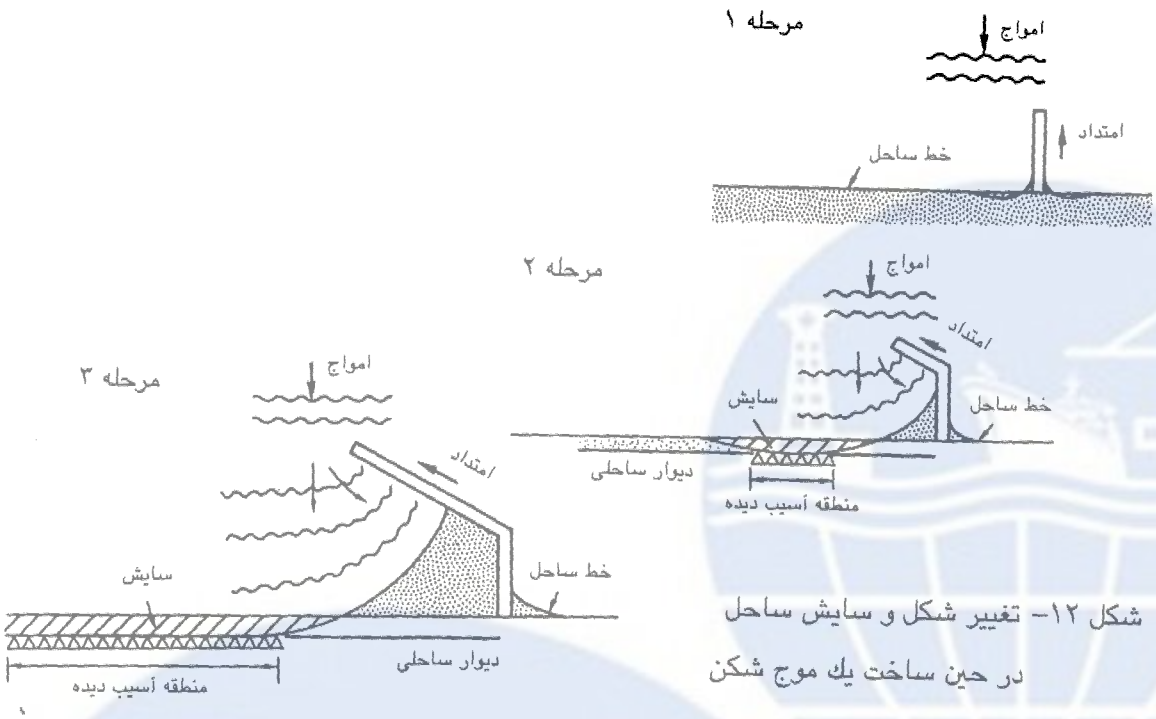


شکل ۱۰- پیشروی سایش در ساحل پایین دست یك بندر

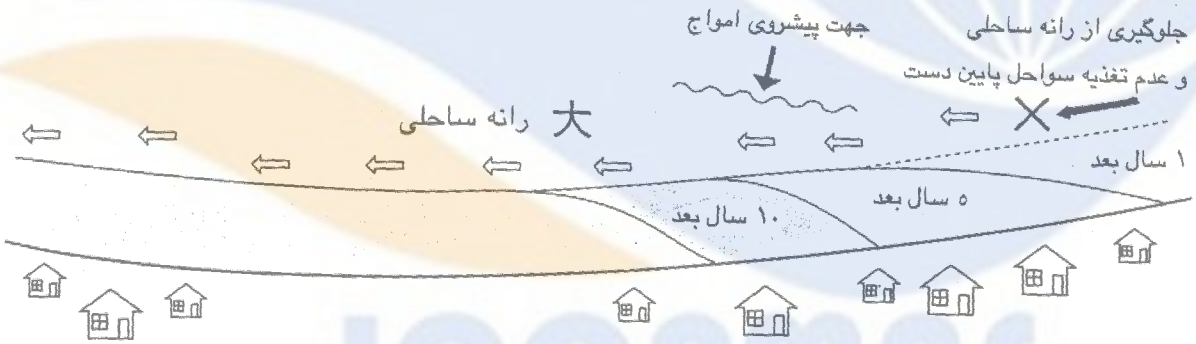
شکل ۱۱- تغییر شکل و سایش ساحل
در منطقه تحت پوشش موج شکن

www.SID.ir

Archive of SID



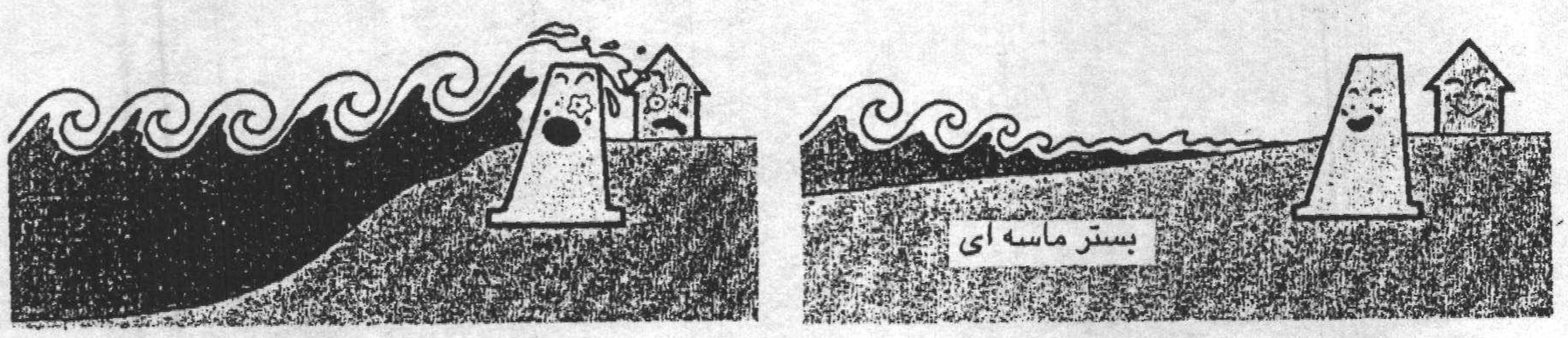
شکل ۱۲- تغییر شکل و سایش ساحل
در حین ساخت یك موج شکن



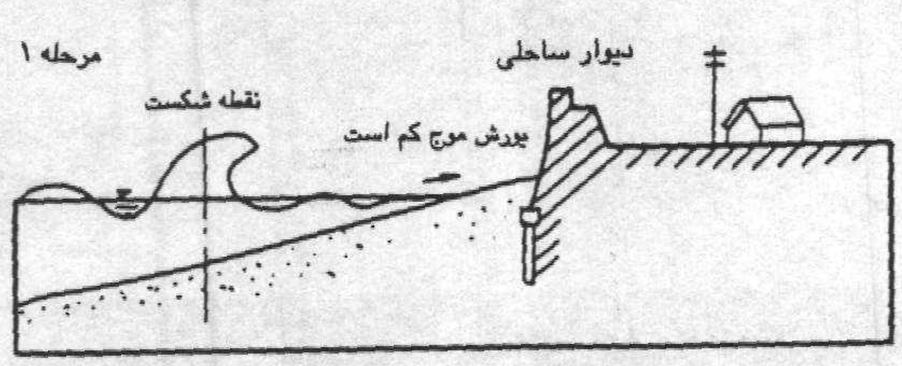
شکل ۱۳- سواحل پایین دست با پیشروی سایش، یکی پس از دیگری در معرض خطر قرار می گیرند.

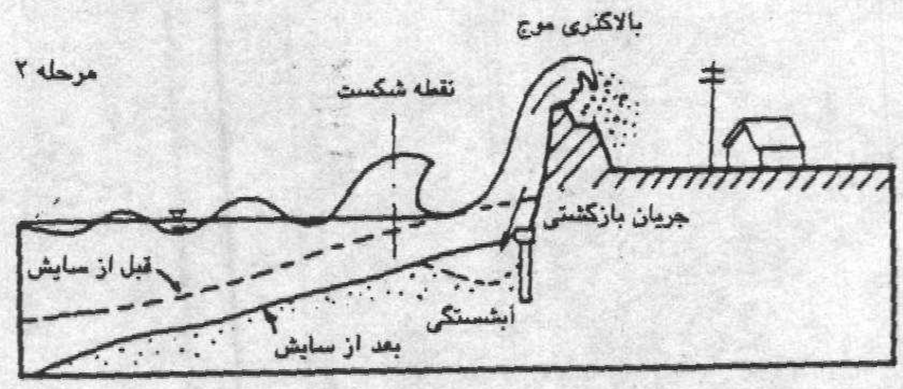
www.SID.ir

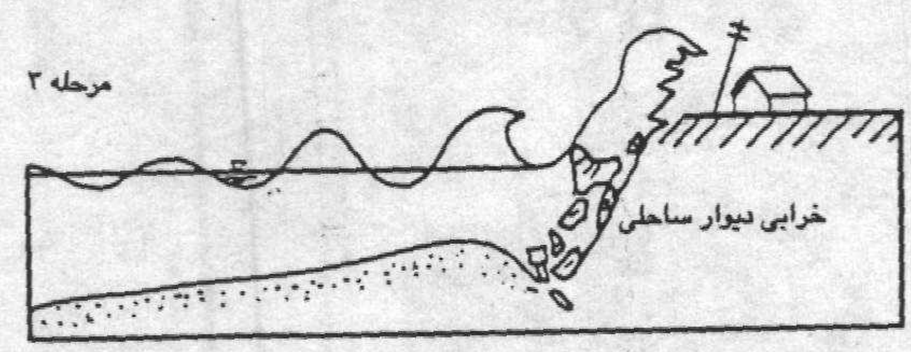
Archive of SID



شکل ۱۴- ساحل ماسه ای از رسیدن امواج به تأسیسات واقع در خشکی جلوگیری می کند.







شکل ۱۵- مکانیزم خراب شدن دیوارهای ساحلی.

www.SID.ir

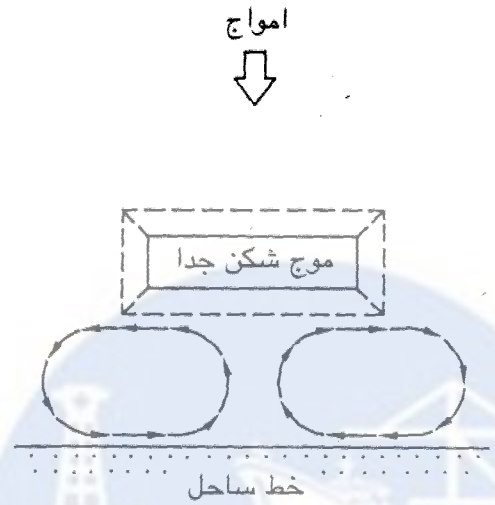
Archive of SID

شکل ۱۶- نمونه ای از یك مجموعه رانه گیر.

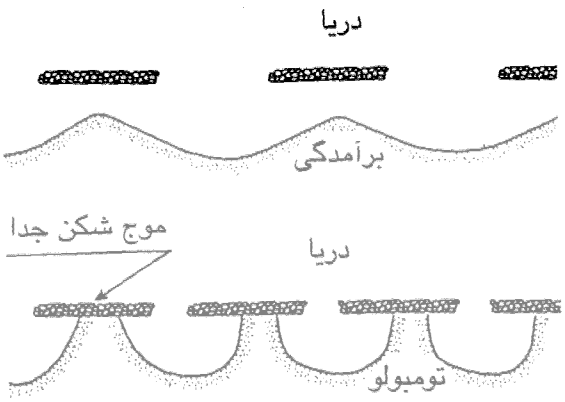
شکل ۱۷ - نمونه ای از یك مجموعه موج شکن جدا.

www.SID.ir

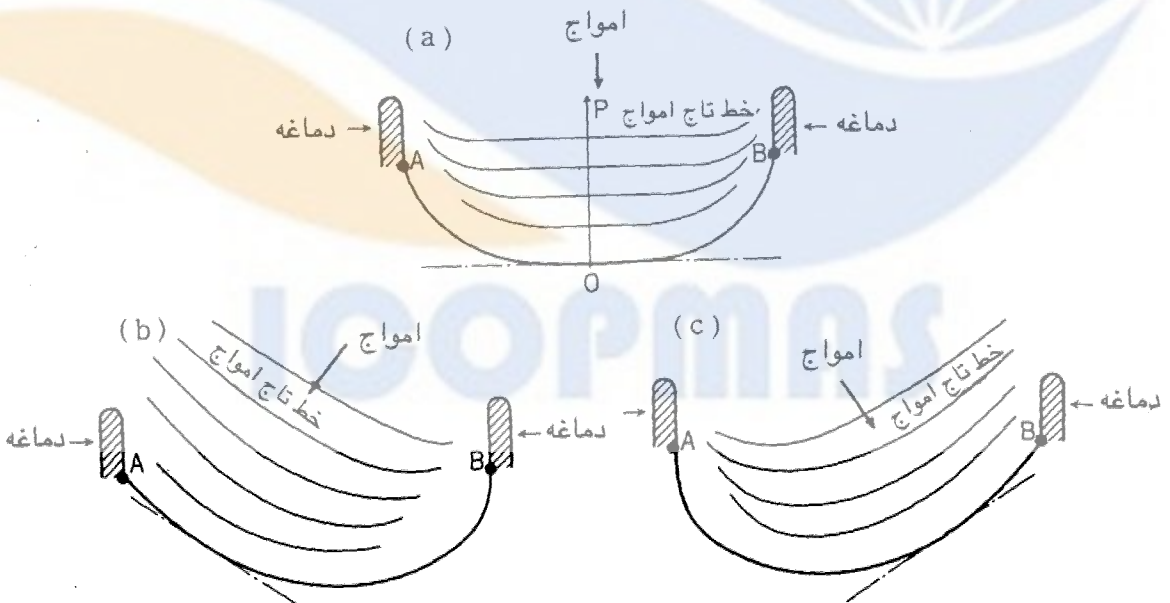
Archive of SID



شکل ۱۸- چرخاب پشت موج شکن جدا.



شکل ۱۹- شکل های مختلف خط ساحل

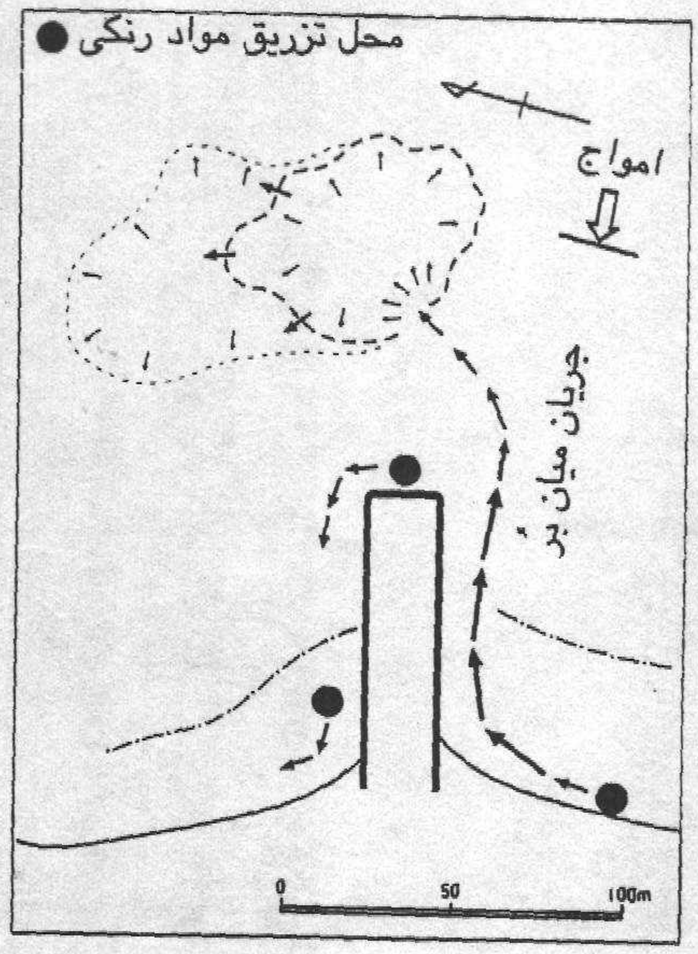


شکل ۲۰- ساحل پاکتی و وابستگی شکل آن به جهت امواج.

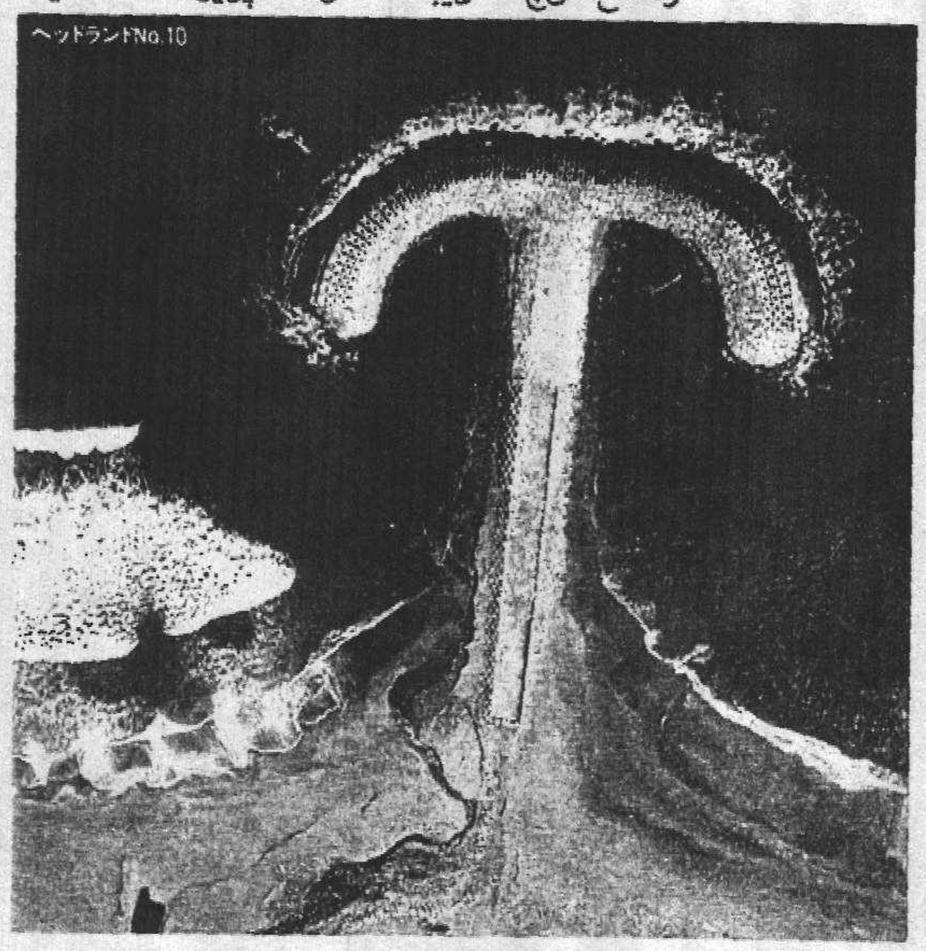
www.SID.ir

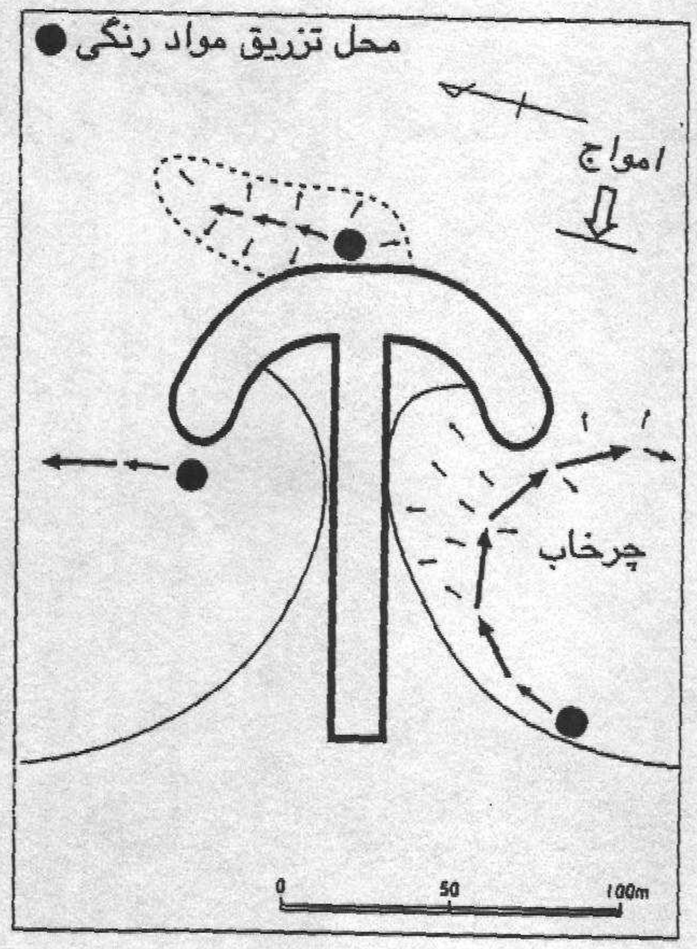
Archive of SID

ارتفاع موج: تقریبا ۱ متر پریود: ۱۰ ثانیه

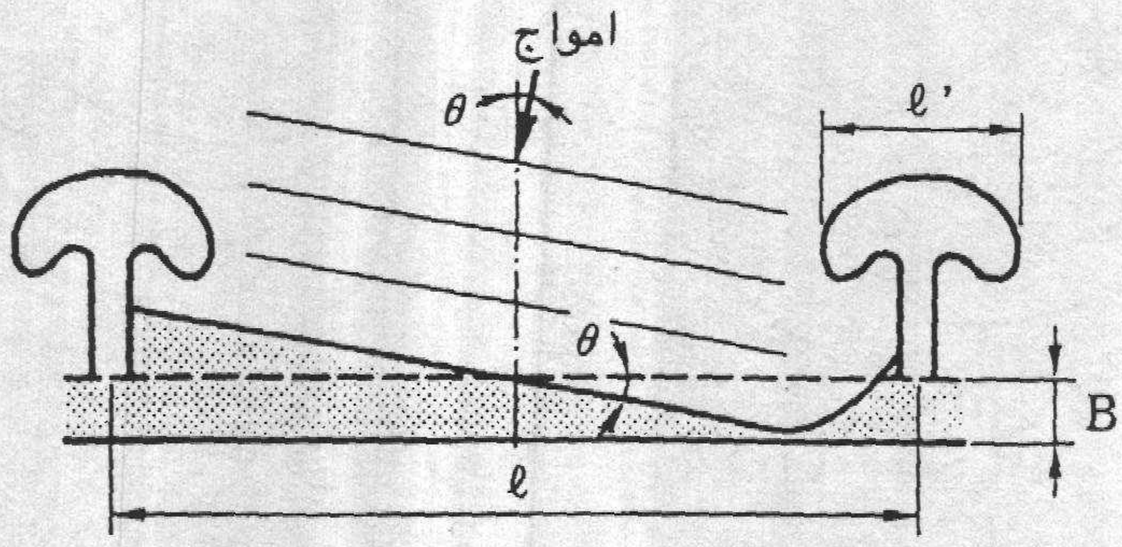


ارتفاع موج: تقریبا ۱ متر پریود: ۱۰ ثانیه





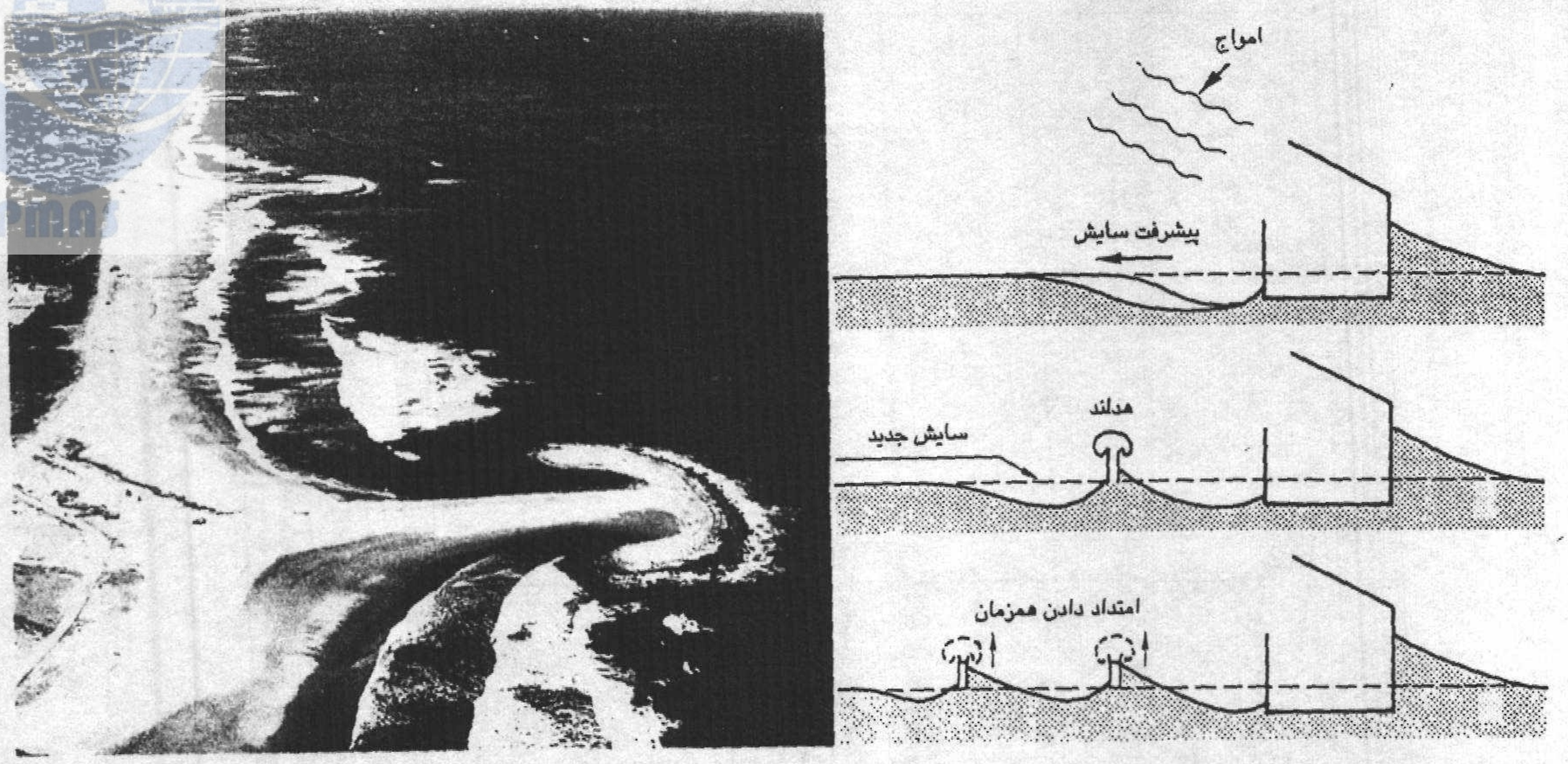
شکل ۲۱- نقش کلاهک هدلند در جلوگیری از بیرون رفتن ماسه.



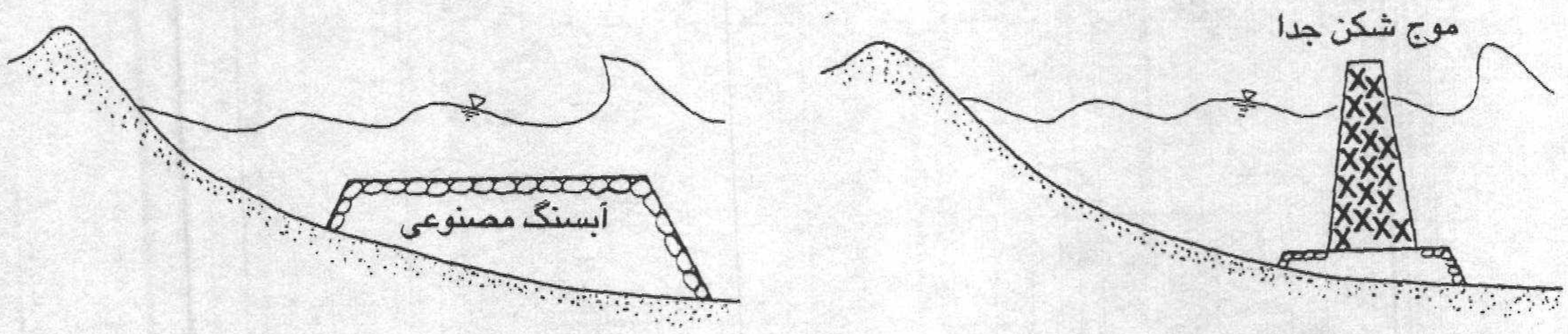
شکل ۲۲- پارامترهای مربوط به طراحی هدلند.

www.SID.ir

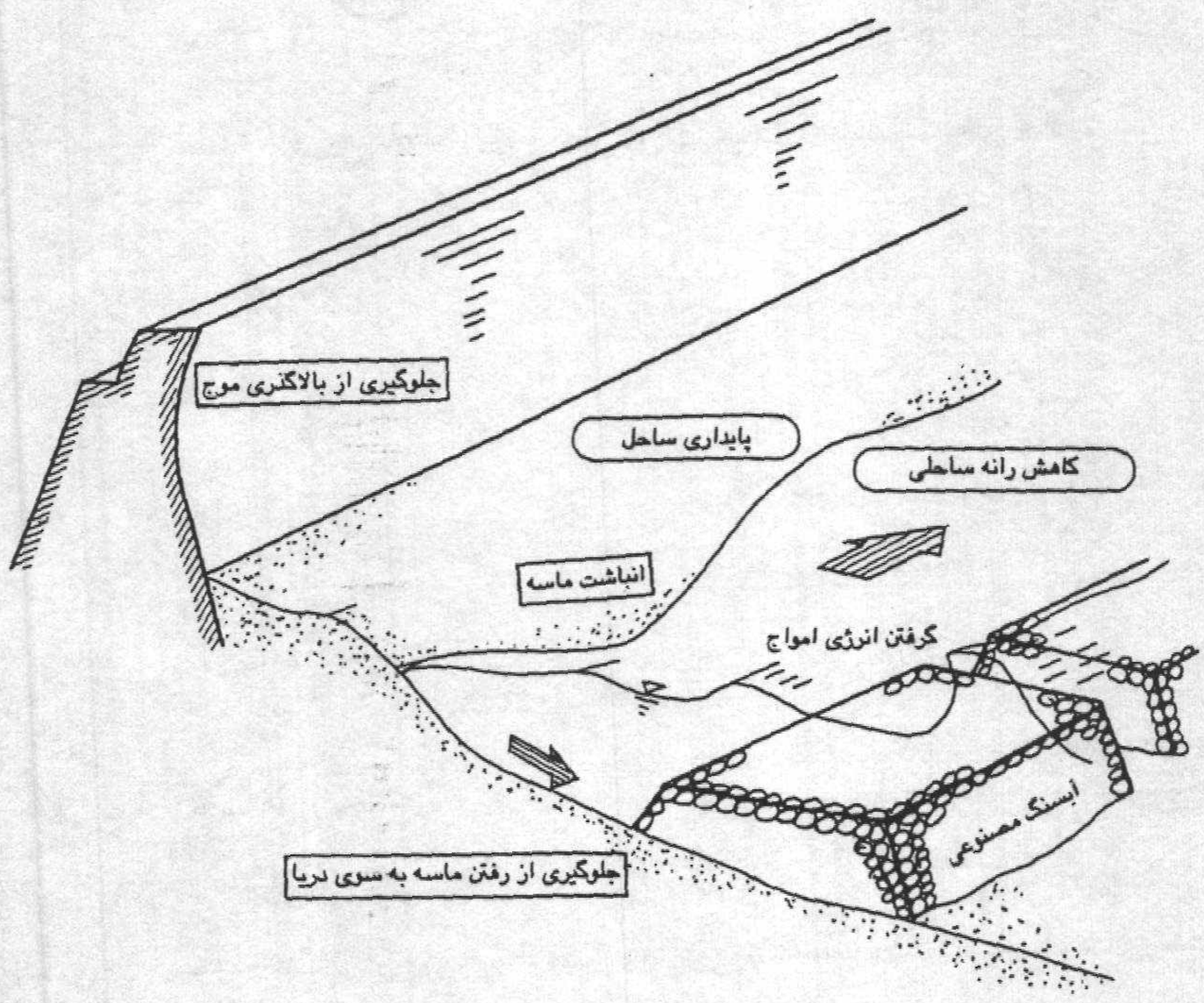
Archive of SID



شکل ۲۳- گروه هدلندها و لزوم همزمانی ساختن آنها.



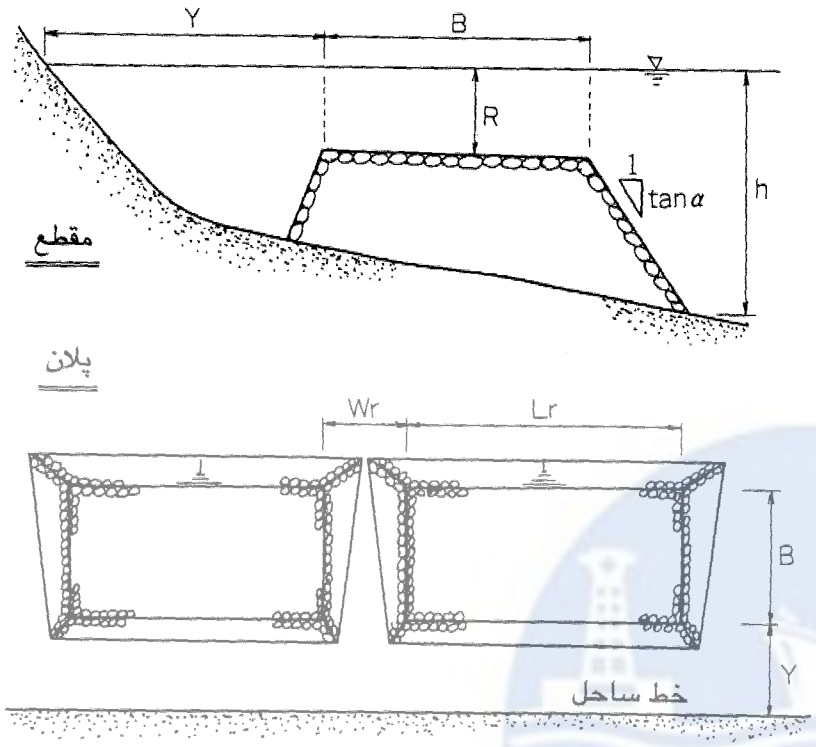
شکل ۲٤- مقایسه آبسنگ مصنوعی با موج شکن جدا.



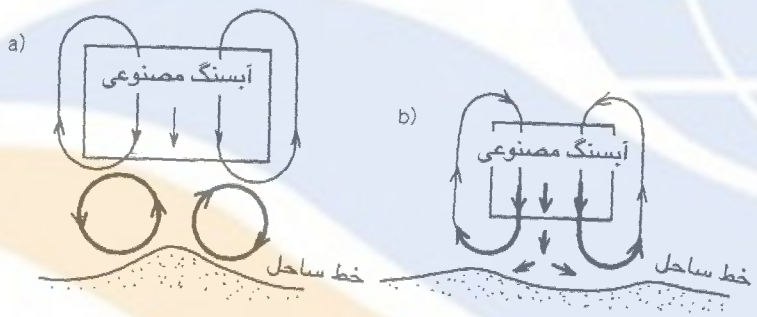
شکل ۲۵- فواید ساختن آبسنگ های مصنوعی.

www.SID.ir

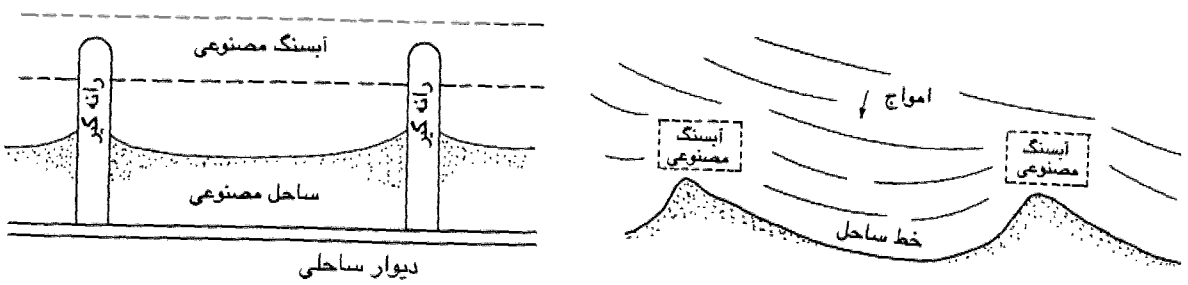
Archive of SID



شکل ۲۶- پارامترهای مربوط به طراحی آبسنگ های مصنوعی.



شکل ۲۷- الگوی جریان در پشت آبسنگ های مصنوعی.



شکل ۲۸- نمونه هایی از پایدار نمودن ساحل با استفاده از آبسنگ های مصنوعی.

www.SID.ir

Archive of SID

Coast Erosion and Stabilizing Techniques

M. Dibajnia, Ph.D.

Department of Civil Engineering – Tokyo University

Abstract

The implementation of many civil engineering projects during the fast financial development period of industrial countries like Japan has caused the destruction of a considerable part of their coasts. For instance, only in a fifteen-year period between 1978 and 1992, a 2,395-hectare area of Japanese sandy coasts has been destruction. If we add the gravelly coasts to this number during the same period, an strip of 2.5 meters has been reduced from these coasts. In other words, the sandy and gravelly coasts of Japan recede by an average of one meter every six years. Now, the financial growth period has passed and there is a relative relief in these countries, and the importance and necessity of the sandy coasts is now clear, unfortunately after the destruction, with the issue of restoring and stabilizing them is now the growing concern. In general, the sediment movement in the near-coastal waters occurs under the impact of waves and the currents of the area. In this article, after reviewing the above factors, a brief discussion follows about how the sediment (mainly pebbles) moves in that area and what impacts it has on the shape of seabed and coastline. Afterwards, the causes of erosion, sandy coasts recession and its consequences are discussed, and sandy coast erosion prevention techniques, their advantages and disadvantages are pointed out at the end.

Keywords: sandy coast recession; prevention techniques; sediment movement

www.SID.ir