

*

در این تحقیق اثر امواج مایل بر پایداری پوزه یک موج شکن توده سنگی سکویی بررسی شد. پژوهش حاضر با استفاده از روش مدل فیزیکی در حوضچه موج مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری وزارت جهادسازندگی صورت پذیرفت. امواج تأیید شده به مدل فیزیکی موج شکن در تمام آزمایشها نامنظم و طیف انرژی موج مربوط از نوع JONSWAP بود. آزمایشها با تولید امواج در دو جهت 23° و 68° نسبت به خط مرکزی موج شکن (CL) با محدوده‌ای از ارتفاعات عمده موج، پرپود اوج ۱۲ ثانیه و تعداد ۱۰۰۰ موج اولیه و ۱۰۰۰ موج ثانویه انجام شدند. نیم رخهای پوزه موج شکن قبل و بعد از اجرای هر آزمایش با یکدیگر مقایسه و اعداد آسیب مربوط به آنها محاسبه شدند. داده های حاصل به طور مجزا برای نمایش تأثیر ارتفاع موج، مدت طوفان و نیز زاویه تابش موج بر روی پایداری پوزه موج شکن ترسیم شدند. محدوده‌های با اعداد آسیب یکسان برای جهت تابش موج 68° ترسیم و روند جابجایی این محدوده ها با تغییر ارتفاع عمده موج مورد بررسی قرار گرفت. با افزایش ارتفاع عمده موج تابشی در هر دو جهت 23° و 68° ، مقادیر اعداد آسیب افزایش و در نتیجه با افزایش ارتفاع عمده موج تغییر شکل پوزه افزایش می یافت.

: امواج مایل - پوزه موج شکن - موج شکن سکویی - مدل فیزیکی

می توان از محدوده وسیعتری از دانه بندی استفاده کرد. به گونه‌ای که امکان طراحی براساس خروجی واقعی سنگ معدن و به عبارتی استفاده از محدوده وسیعی از سنگهای آرمور فراهم می شود [۱].

پایداری پوزه موج شکنها به دلیل شرایط خاص قرارگیری آنها در قسمتهای عمیقتر نسبت به بدنه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بر اثر شکست امواج بر روی پوزه یک موج شکن، سرعتهای بالا و به واسطه آن نیروهای بزرگی اعمال می‌شوند. برای موجی با جهت معین، تنها سطح محدودی از پوزه موج شکن واکنش بالایی را نشان می‌دهد. این محدوده در سمت بادپناه نقطه تماس بردار عمود جبهه موج با سطح

رایجترین نوع موج شکنهای اجرا شده در سراسر دنیا موج شکنهای توده سنگی می باشند. موج شکنهای توده سنگی را می‌توان از نظر پایداری به دو دسته موج شکنهای ایستا (استاتیکی) و پویا (دینامیکی) تقسیم بندی کرد. در موج شکنهای توده سنگی ایستا تغییر شکل سازه مجاز نیست. یعنی این سازه‌ها پس از احداث نباید دچار تغییر شکل شوند. اما در نوع پویا تغییر شکل سازه مجاز است. یعنی این سازه‌ها پس از برخورد امواج تغییر شکل می دهند و به یک حالت پایدار نهایی می رسد. بنابراین این نوع موج شکنها را موج شکنهای شکل پذیر نیز می نامند. در موج شکنهای شکل پذیر

$$\frac{H}{\Delta D} < 3 \quad \text{برای پوزه؛}$$

$$\frac{H}{\Delta D} < 3/5 \quad \text{برای بدنه ای که در معرض امواج مایل بلند است.}$$

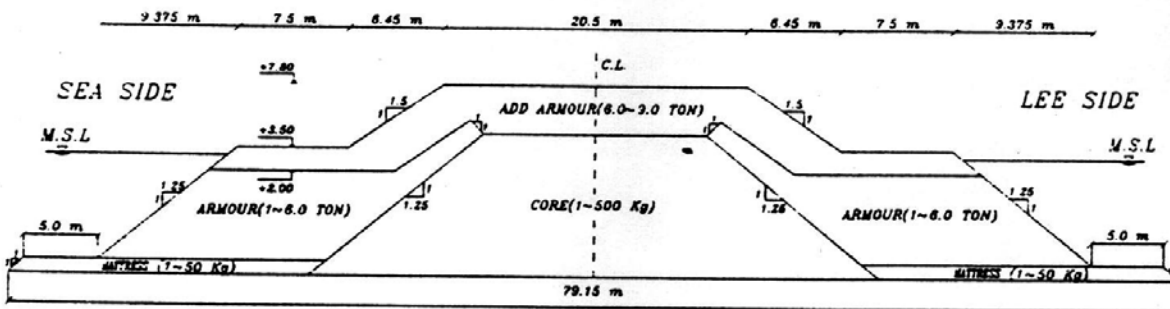
$$\frac{H}{\Delta D} < 4/5 \quad \text{برای بدنه ای که در معرض امواج تیز است.}$$

مدل پوزه موج شکن در حوضچه امواج مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری وزارت جهادسازندگی با ابعاد ۲۷m طول، عرض ۱۶m و عمق ۱m برپا باشد. مقطع پوزه موج شکن در شکل ۱ نشان داده شده است.

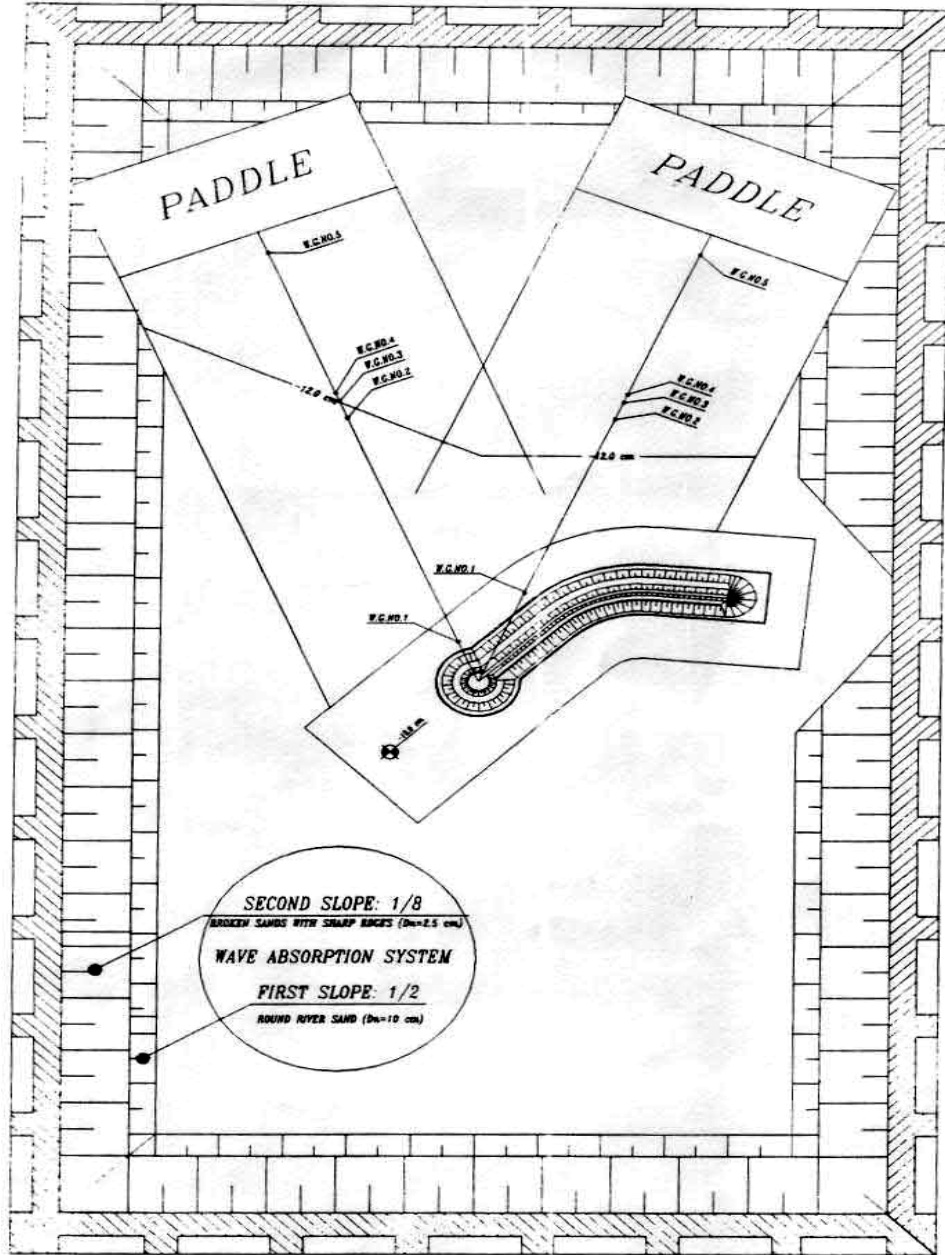
مدل پوزه موج شکن با در نظر گرفتن ابعاد حوضچه موج و آثار مقیاسی، با مقیاس $\lambda = 50$ ساخته شد. در ساخت مدل از سنگهایی با وزن مخصوص (اشباع با سطح خشک) $2/1 \text{ g/cm}^3$ استفاده شد [۴]. مدل پوزه موج شکن و بدنه آن با مقیاس انتخاب شده بر روی مدل بستر برپا شد، همچنین مصالح ساخت مدل برای بالشتک، هسته، لایه آرمور اصلی و آرمور اضافی، مطابق با مقیاس، تهیه و دانه بندی شد [۶]. جاذبههای موج برای کاهش تأثیر امواج بازتابی از مدل و دیواره‌های اطراف حوضچه بر روی تابشی، در اطراف حوضچه طراحی و احداث شدند. شکل ۲ جانمایی مدل پوزه موج شکن را در حوضچه امواج نشان می دهد.

پوزه و حول سطح ایستایی قرار دارد. معمولاً در طراحی پوزه موج شکنها، وزن قطعه آرمور را نسبت به بدنه موج شکن بیشتر در نظر می گیرند تا همان پایداری مقطع بدنه حاصل شود. علاوه بر آن شیب مربوط به پوزه موج شکن را می توان ملایمتر طراحی کرد، همچنین با افزایش قطر پوزه نیز پایداری بیشتر می شود.

گاهی از هر سه روش فوق برای افزایش پایداری پوزه استفاده می شود. بیشتر اوقات منحنی خسارت در خصوص پوزه نسبت به بدنه تیزتر است به گونه‌ای که پوزه موج شکن ممکن است دچار خسارت پیش رونده شود. این بدان معنا است که اگر پوزه و بدنه براساس سطح خسارت یکسانی طراحی شده باشند، هر گونه افزایش غیر منتظره در ارتفاع موج ممکن است سبب انهدام پوزه یا قسمتی از آن شود. این در حالی است که بدنه هنوز خسارت قابل قبولی را نشان می دهد [۲]. فرسایش پوزه و بدنه تحت اثر برخورد امواج مایل تا حد زیادی به وضعیت دریا وابسته است. فرسایش پوزه موج شکن برای شرایط دریایی خاص با میزان فرسایش زیر مقدار حدی بسیار ناچیز است اما با عبور از این مقدار حدی، فرسایش شدیدی ایجاد می شود. در نتیجه، ملاحظه و شناسایی این مقدار حدی در روند طراحی بسیار اهمیت دارد. بورخارت و فریگارد (۱۹۸۸) براساس نتایج آزمایشهای مدل فیزیکی و رفتار برخی از موج شکنها در نمونه واقعی، برای طراحی اولیه و با در نظر گرفتن آسیب متوسط، مقدار عدد پایداری $\frac{H}{\Delta D}$ را به صورت زیر پیشنهاد کردند [۳]:



مقطع پوزه موج شکن



پلان جانمایی مدل پوزة موج شکن در حوضچه امواج

ارتفاعات عمده موج (H_s)، پریود اوج موج 12 Sec (T_p) و 1000 موج اول و دوم تابشی انجام شدند.

ارتفاع امواج تابشی به پوزه موج شکن طی انجام تمام آزمایشها به وسیله گیجهای ارتفاع سنج موج ثبت و در برنامه نرم افزاری WS ذخیره شد (نحوه قرار گیری گیجهای ارتفاع سنج موج در شکل ۲ نشان داده شده است).

مقادیر ارتفاع عمده موج حاصل از اجرای آزمایشات برای 1000 موج اول و 1000 موج دوم تاییده شده به پوزه موج شکن در دو جهت تابشی 23° و 68° در جدول ۱ نشان داده شده است.

حوضچه امواج به دستگاه موج نامنظم ساخت مؤسسه هیدرولیک دانمارک (DHI) مجهز است. کنترل دستگاه، ثبت نوسانات سطح آب و تحلیلهای مربوط، به وسیله برنامه نرم افزاری WS^1 صورت می گیرد [۵]. این نرم افزار قادر به تولید امواج با طیفهای استاندارد یا هر طیف دلخواه است.

برای بررسی تأثیر امواج مایل بر پایداری پوزه موج شکن، امواج نامنظم با طیف انرژی موج جانسواپ^۲ در دو جهت $\beta = 23^\circ$ و $\beta = 68^\circ$ نسبت به خط مرکزی موج شکن (C.L) به مدل تابانده شد. همچنین آزمایشها با محدوده‌ای از

مقادیر ارتفاع عمده موج در پای پوزه موج شکن

	()	()	()	
۱۰۰۰	۴/۶	۲/۳	68°	۱
۲۰۰۰	۴/۴	۲/۲		۲
۱۰۰۰	۵/۴	۲/۷		۳
۲۰۰۰	۵/۶	۲/۸		۴
۱۰۰۰	۶/۶	۳/۳		۵
۲۰۰۰	۶/۸	۳/۴		۶
۱۰۰۰	۴/۲	۲/۱	23°	۷
۲۰۰۰	۴/۲	۲/۱		۸
۱۰۰۰	۵/۶	۲/۸		۹
۲۰۰۰	۵/۸	۲/۹		۱۰
۱۰۰۰	۷	۳/۵		۱۱
۲۰۰۰	۶/۸	۳/۴		۱۲
۱۰۰۰	۷/۴	۳/۷		۱۳
۲۰۰۰	۷/۶	۳/۸		۱۴

1. Wave synthesizer
2. JONSWAP

این مقاطع پس از اصابت ۱۰۰۰ موج اول و ۱۰۰۰ موج دوم ترسیم و با نیم رخهای مرجع مقایسه و سطوح فرسایش یافته محاسبه شدند. در شکل ۳ نمای سه بعدی مقاطع پوزه موج شکن برای مقایسه نیم رخ ۱۰۰۰ موج اول و دوم با نیم رخ مرجع برای یک مقطع انتخابی نشان داده شده است.

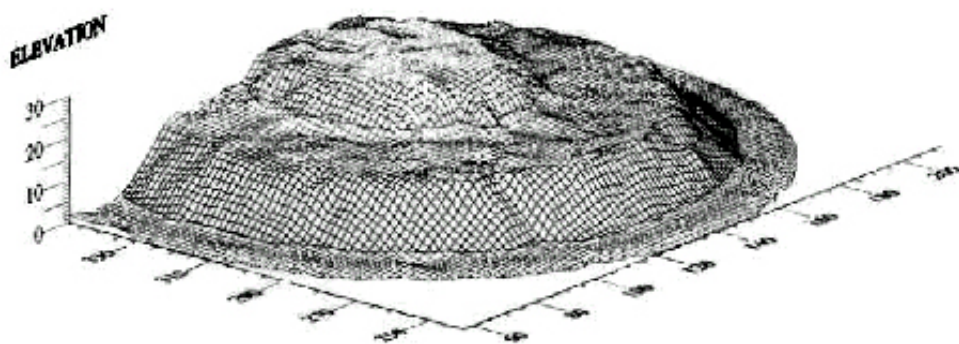
پس از محاسبه سطوح فرسایش یافته مقادیر اعداد آسیب (S_d) برای تمام آزمایشها محاسبه و در نمودارهایی برحسب پارامتر α ترسیم شدند؛ شایان ذکر اینکه، زاویه α زاویه ای است که هر یک از ۳۶ مقطع پوزه موج شکن با خط مرکزی می سازد.

تأثیر ارتفاع عمده موج (H_s) بر عدد آسیب (S_d) برای دو جهت موج تابشی ۲۳° و ۶۸° در نمودار ۱ نشان داده شده است.

پوزه موج شکن به محدوده‌هایی با مقادیر S_d یکسان برای جهت امواج تابشی ۶۸° تقسیم بندی شد. تأثیر تغییر ارتفاع عمده موج (H_s) در جابجایی این محدوده ها نیز مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۵).

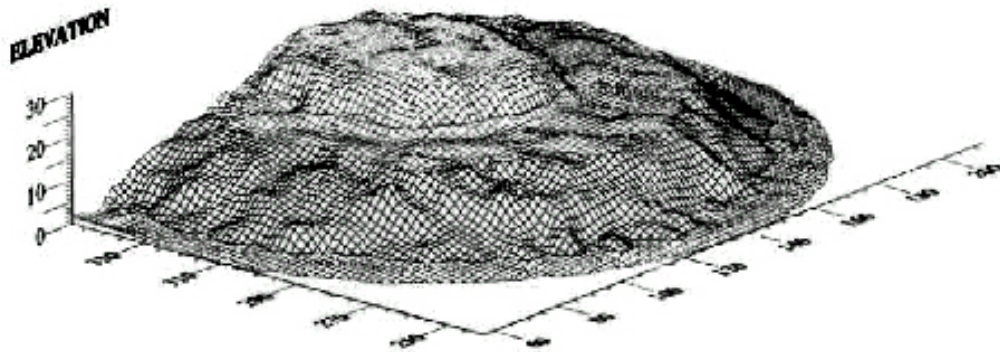
برای مشخص کردن میزان تغییر شکل پوزه موج شکن در اثر برخورد امواج، نیم رخ پوزه قبل و در پایان هر آزمایش به وسیله دستگاه الکترونیکی نیم رخ سنج^۱ انجام شد. قرائت نقاط نیم رخ پوزه موج شکن در فواصل ۳cm و در عرصه‌ای به ابعاد ۱۶۰×۱۱۰cm صورت گرفت. دستگاه فوق براساس هدایت الکتریکی سیال بین الکتروود دستگاه و سطح مورد نظر عمل کرده و تغییرات سطح را به صورت تغییرات ولتاژ نشان می‌دهد. برای رسم نیم رخها این مقادیر ولتاژ به مقادیر ارتفاعی متناظر تبدیل و در جداول مخصوص ثبت شدند.

نیم رخ های تغییر شکل یافته و نقشه‌های خطوط کانتور پوزه موج شکن برای تمام آزمایشها به وسیله برنامه نرم افزاری Surfer ترسیم و مقایسه شدند (شکل‌های ۳ و ۴). سپس ناحیه‌ای از پوزه موج شکن که تغییر شکل یافته بود، مشخص و به تعداد ۳۶ مقطع تقسیم شد. برای تمام آزمایشها، نیم رخهای



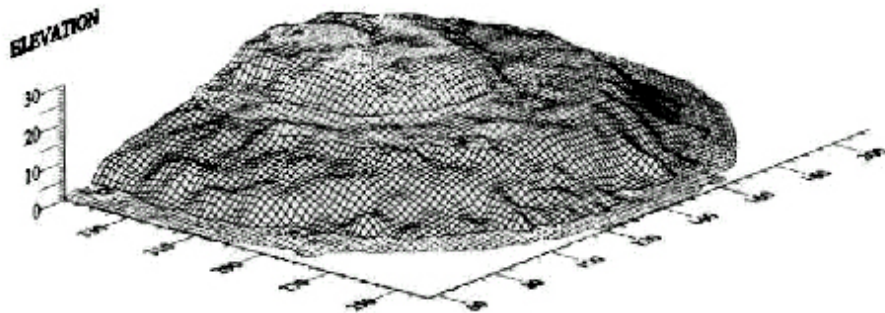
الف- نیم رخ مرجع؛

1. Profile indicator



ب- پس از اصابت ۱۰۰۰ موج اول؛

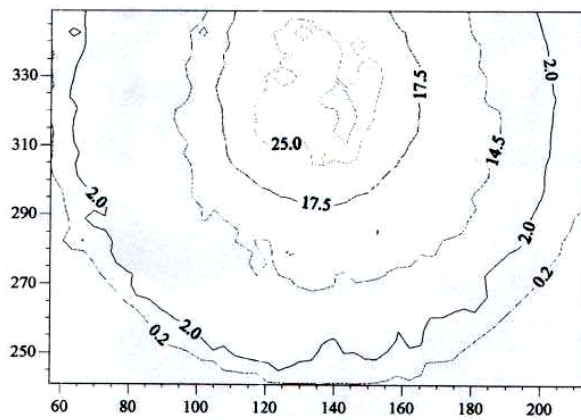
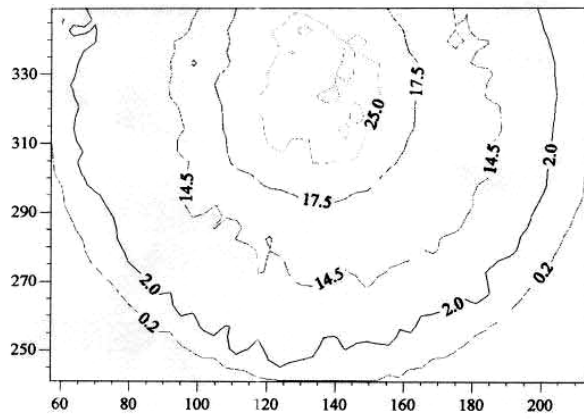
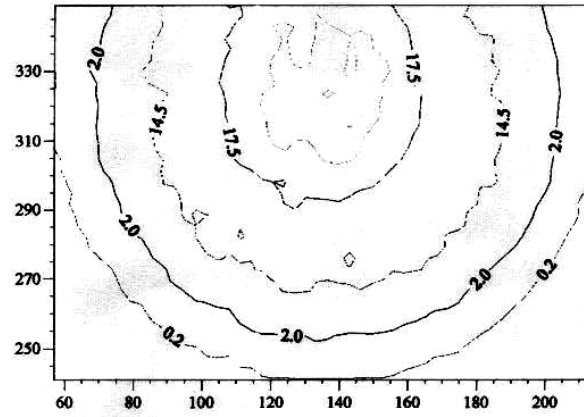
$$H_s = ۶۶ \text{ cm}$$



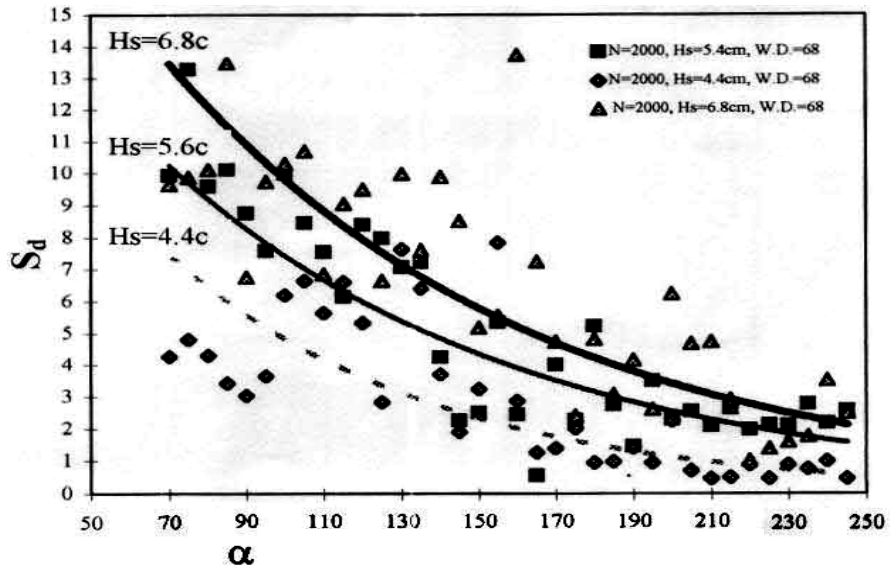
ج- پس از اصابت ۱۰۰۰ موج دوم؛

$$H_s = ۶۸ \text{ cm}$$

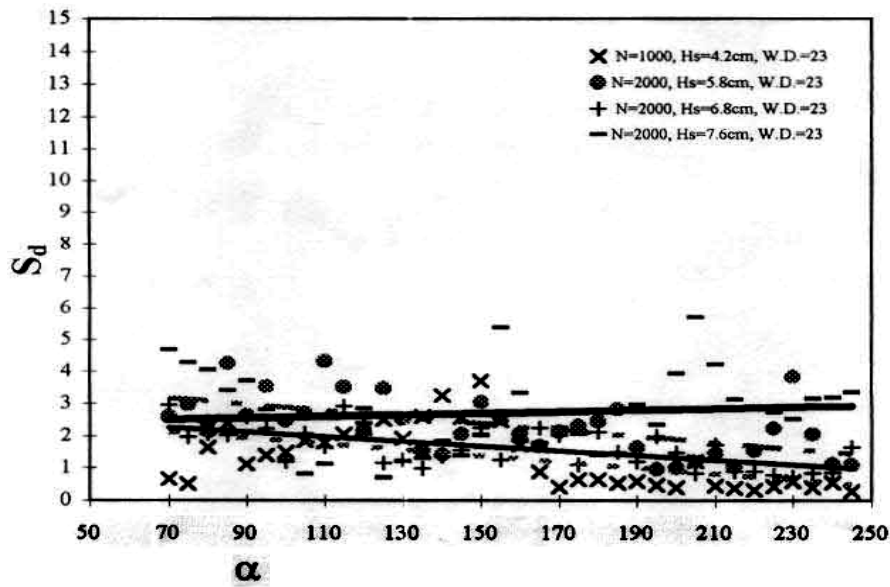
نمایش سه بعدی پوزة موج شکن



نقشه های خطوط ارتفاعی پوزۀ موج شکن

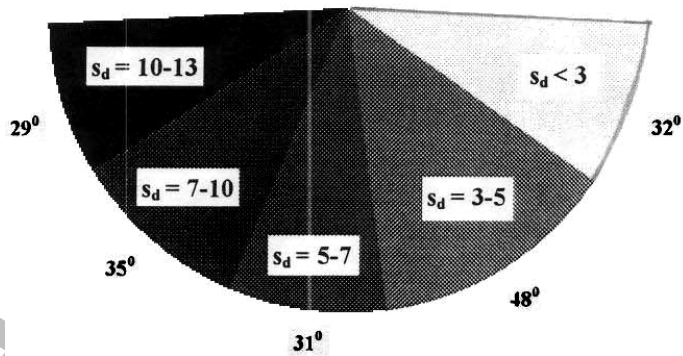
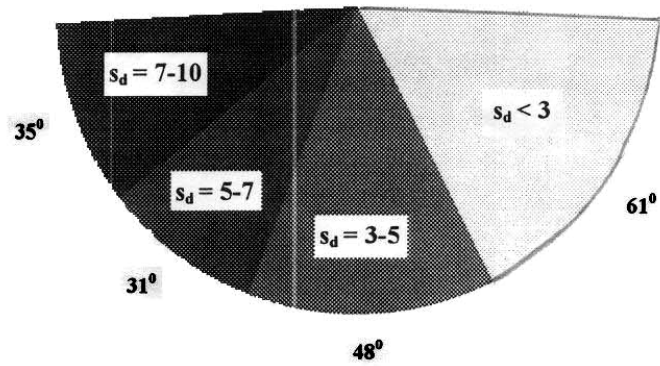
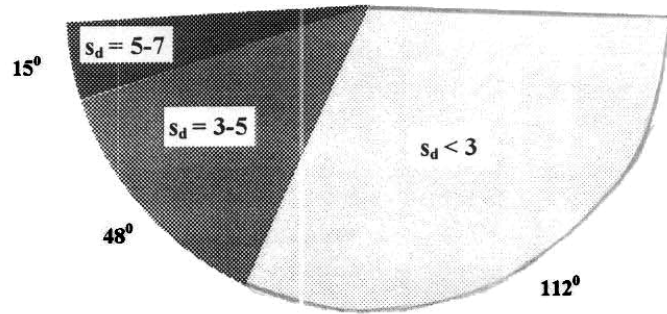


()



نمودار عدد پایداری بر حسب α برای ارتفاع های عمده موج مختلف

الف- جهت موج ۶۸؛ ب- جهت موج ۲۳ درجه؛



تقسیم بندی پوزة موج شکن با محدوده های عدد آسیب یکسان
 ارتفاع عمده موج؛ الف - $4/5\text{cm}$ ؛ ب - $5/6\text{cm}$ ؛ ج - $6/8\text{cm}$ ؛

۵- اگرچه مطابق شکل ۵ سطوح با مقادیر S_h یکسان با افزایش ارتفاع عمده موج تابشی ثابت می ماند؛ اما این سطوح با افزایش ارتفاع عمده موج به سمت باد پناه پوزه موج شکن منتقل می شوند.

مهمترین نتیجه به دست آمده در این تحقیق و براساس بندهای ۴ و ۵ به صورت زیر است:

با تعیین مقدار عدد آسیب برای شرایط موج طرح، الزامی وجود ندارد که تمام سطوح پوزه با محدوده وزنی یکسان از لایه آرمور مسلح شوند. بنابراین محدوده وزنی قطعات آرمور مستقر در برابر حمله موج بالاترین وزن را دارند، همچنین با چرخش به سمت بادپناه و با در نظر گرفتن مقادیر S_h مربوط، وزن قطعات آرمور را می توان کاهش داد. این امر باعث کاهش حجم مصالح و در نتیجه کاهش هزینه اجرا می شود. ذکر این نکته ضروری است که کاهش وزن قطعات آرمور سمت باد پناه پوزه موج شکن باید با در نظر گرفتن جریانهای دریایی و میزان حمل مصالح ریز دانه به وسیله آنها مورد بررسی قرار گیرد.

از جناب آقای دکتر بهرام امینی پوری ریاست محترم مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری وزارت جهادسازندگی برای فراهم آوردن امکان اجرای این تحقیق در آزمایشگاه هیدرولیک پیشرفته آن مرکز، آقایان پیمان آق تومان و سید محمد حسینی بندرآبادی برای کمک در انجام آزمایشهای مدل فیزیکی و آقایان رحمت ا... خلیلی، مهران نقدعلی و مهدی علی وردلو برای همکاری در آزمایشهای مدل فیزیکی تقدیر و تشکر می شود.

براساس مشاهدات حین آزمایش، ترسیم نمودارها، شکلها و منحنیهای مورد تحلیل در این تحقیق، نتایج زیر به دست آمده است:

۱- براساس نمودارهای الف و ب از نمودار ۱، تغییر شکل پوزه و مقادیر عدد آسیب مربوط به زاویه تابش موج 68° بیشتر از زاویه تابش 23° است. یکی از دلایل آن می تواند شکست امواج روی بدنه موج شکن قبل از رسیدن به پوزه در جهت تابش 23° باشد. دلیل دیگر نیز می تواند تأثیر خطوط تراز بستر و توپوگرافی منطقه اطراف پوزه موج شکن بر نحوه شکست امواج باشد؛

۲- همچنین مقادیر اعداد آسیب برای 1000 موج دوم بیشتر از 1000 موج اول است. یعنی تغییر شکل پوزه با افزایش مدت طوفان بیشتر می شود. با توجه به اجزای چند آزمون شاهد و با تاباندن 1000 موج سوم به سازه مشاهده شد که تغییر شکل به حالت پایدار رسیده است.

۳- با افزایش ارتفاع عمده موج تابشی در هر دو جهت 23° درجه و 68° ، مقادیر اعداد آسیب افزایش یافته و در نتیجه با افزایش ارتفاع عمده موج، تغییر شکل پوزه افزایش می یابد؛

۴- با توجه به نمودار ۱ با افزایش فواصل زاویه ای مقاطع نسبت به خط مرکزی پوزه موج شکن (α) ، مقادیر S_h به صورت نمایی کاهش می یابند. یعنی با فاصله گرفتن از جهت تابش امواج به سمت باد پناه پوزه موج شکن، تغییر شکل کاهش پیدا می کند و بیشترین تغییر شکل در راستای تابش موج صورت می گیرد؛

[1] Manual on the use of rock in coastal and shoreline engineering; "CIRA special publication", 83. CUR report, A. A. B; 1997; p.154.
[2] Van der Meer J. W; Rock slopes and gravel beaches under wave attack, doctoral Thesis

Approved by Delft University of Technology; 1988.

[3] Burcharth, H. F; frigaard, P; On 3-Dimensional stability of reshaping breakwaters; Coastal engineering; 1988.

[4] Shore protection manual; U.S. Government printing office Washington, D.C. 204025., U.S. Army Coastal engineering research center, Kingmam building fort belvor, Virginia 22060; 1997.

[5] Hydraulic laboratory techniques, US Department of the Interior, Water and power resources service, US government printing office, Denver, Coplod; 1980.

[6] Jensen, O. J: A monograph on rubble mound breakwaters; 1984.

Archive of SID