



مرکز بررسی و مطالعات دریایی

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



## بررسی تغییر شکل موج شکن‌های شکل پذیر

دکتر وحید چگینی - مهندس فرشادیشربی - مهندس پیمان آق تومان - مهندس سیدمحمدحسینی بندرآبادی  
مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری

### چکیده

بطور کلی سازه‌های مختلف حفاظت ساحل بر اساس پارامتر بی بعدی بنام عدد پایداری طبقه بندی می‌شوند. بر اساس این عدد، موج شکن‌های سنگریزه‌ای را می‌توان بدو دسته سنتی و شکل پذیر تقسیم بندی نمود. در اثر برخورد امواج با سازه سنگریزه‌ای الگوی جریان پیچیده‌ای که غیر ماندگار و غیر یکنواخت است نتیجه می‌گردد. بطور کلی مطلوب است که موج شکن بنحوی احداث شود که با میدان جریان سازگاری داشته باشد، بعبارت دیگر دانه بندی و وزن سنگ آرمور چنان باشد که منجر به تنظیم مجدد پروفیل سازه شده و بارهای هیدرودینامیک وارده به حداقل برسد.

موج شکن موسوم به Mass armoured breakwater نوعی موجی شکن شکل پذیر (Reshaping breakwater) می‌باشد که لایه حفاظتی آن از محدوده وسیعی از اندازه‌های سنگ تشکیل شده است. این سازه در اثر برخورد امواج دچار تغییر شکل شده، بطوری که پروفیل آن پس از وقوع طوفان طرح به یک پروفیل پایدار تبدیل می‌شود. در این مقاله نتایج تحقیقات آزمایشگاهی انجام شده در مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری جهادسازندگی بر روی موج شکن مزبور ارائه می‌گردد. با استفاده از این نتایج نقش پارامترهایی نظیر ارتفاع و پریود موج و مدت طوفان بر پروفیل نهایی سازه تشریح می‌شود. همچنین مقایسه‌ای بین نتایج حاصله و نتایج برنامه BREAKWAT صورت می‌گیرد.

### ۱- مقدمه

موج شکن‌های سنگریزه‌ای به دو دسته تقسیم می‌شوند:

۱- موج شکن‌های پایدار (Stable breakwaters)

۲- موج شکن‌های S شکل (S-Shaped breakwaters) یا سکویی (Berm) که همچنین موج شکن‌های شکل پذیر (Reshaping) نیز نامیده می‌شوند.

سازه‌های پایدار ایستا سازه‌هایی هستند که در آنها هیچ آسیبی تحت شرایط طرح مجاز نبوده و یا تنها به مقدار کمی مجاز است. آسیب به معنی جابجایی واحدهای آرمور است. جرم واحدهای مجزا باید به اندازه کافی زیاد باشد تا بتواند در شرایط طرح در مقابل نیروهای موج ایستادگی کند. موج شکن‌های صندوقه‌ای و سنگریزه‌ای سنتی در این دسته قرار دارند. این سازه‌ها با نسبت عدد پایداری  $H / \Delta D < 4$  طبقه‌بندی می‌شوند. و با معیار آسیب بررسی می‌گردند. در رابطه فوق  $H$  ارتفاع موج،  $\Delta$  چگالی نسبی و  $D$  قطر اسمی آرمور می‌باشند.

سازه‌های پایدار پویا سازه‌هایی هستند که در آنها تغییر شکل پروفیل اولیه مجاز است. واحدهای سازه در اثر عمل موج تا بوجود آمدن پروفیل پایدار جابجا می‌شوند تا آنجا که ظرفیت انتقال خالص به صفر برسد. سازه‌های پایدار پویا با پارامتر طراحی "پروفیل" بررسی شده و بطور تقریبی با عدد پایداری  $H / \Delta > 6$  طبقه‌بندی می‌شوند.

محدوده میانی گذر از حالت پایداری ایستا به پایداری پویا مشکل‌ترین ناحیه برای بررسی است. در این محدوده می‌یابد هر دو معیار پایداری سنگهای مجزا و ظرفیت انتقال در طول شیب را به حساب آورد. موج شکن‌های S شکل یا شکل پذیر معمولاً در این ناحیه قرار دارند.

## ۲- موج شکن سنگریزه‌ای سنتی

موج شکن‌های سنگریزه‌ای سنتی بر اساس معیار "آسیب" طراحی می‌شوند. اجزاء اصلی این موج شکن معمولاً عبارتند از:

- لایه آرمور اولیه
- لایه آرمور ثانویه
- لایه فیلتر
- هسته
- سکوی پنجه

## ۳- موج شکن‌های سنگریزه‌ای شکل پذیر

خرابی تعداد زیادی از سازه‌های موج شکن نوع سنتی در سالهای اخیر منجر به ارزیابی دقیق فرایند فیزیکی اندرکنش موج - سازه شده است.

سازه موج شکن سنگریزه‌ای شکل پذیر را می‌توان بمتابه یک سازه سنگریزه‌ای توصیف نمود که معمولاً از محدوده وسیعی از اندازه‌های سنگی تشکیل شده است. این سازه در اثر اندرکنش با موج تغییر شکل داده بطوریکه پس از وقوع طوفان طرح، پروفیل آن به یک پروفیل پایدار تبدیل می‌شود. در قرن گذشته این نوع سازه

بطور گسترده مورد استفاده قرار گرفته است و تجربیات بدست آمده نشان می دهد که نسبت به سازه های سنتی با هزینه بسیار کمتری ساخته می شود.

بیشتر تحقیقات انجام شده در زمینه سیستم پایدار پویا بر روی سواحل شنی و ماسه ای انجام شده است (Kemp ۱۹۶۰ میلادی، Watts، ۱۹۶۴، Van Hijum و Pilarczyk، ۱۹۸۲، Gourlay، ۱۹۸۰ و دیگران). اخیراً Hall (۱۹۸۷)، Baird، Hall (۱۹۸۴) و Van der Meer، Pilarczyk (۱۹۸۷)، Sume و همکاران (۱۹۹۵) و Juhl (۱۹۹۵ میلادی) در این زمینه مطالعاتی نموده اند.

#### ۴- تحقیقات انجام شده در مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری

##### ۴-۱- برپایی مدل فیزیکی

آزمایشات مدل فیزیکی در فلوم موج مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری جهادسازندگی با طول ۳۳ متر، عرض ۱ متر و عمق ۱/۸ متر انجام شد. فلوم یاد شده به دستگاه مولد موج ساخت مؤسسه هیدرولیک دانمارک (DHI) مجهز است. دستگاه مولد موج مزبور قادر به تولید امواج منظم و نامنظم است. کنترل دستگاه مزبور بوسیله نرم افزار (Wave Synthesizer (WS) انجام می شود که به کمک آن می توان امواج باطیف های استاندارد یا هر طیف دلخواه دیگر را تولید نمود. بمنظور شبیه سازی شرایط بستر دریا که معمولاً در طبیعت وجود دارد، کف فلوم در جلو مدل با شیب های ۱:۴۰ و ۱:۱۰۰ ساخته شد (شکل ۱).

شکل (۲) مقطع موج شکن آر مور شده توده ای مورد آزمایش را نشان میدهد. محل قرارگیری مدل همراه با مقطع عرضی فلوم در شکل (۱) نمایش داده شده اند. بمنظور جلوگیری از انعکاس امواج سرریزه شده در پشت موج شکن از انتهای فلوم، از یک جاذبه موج ساحلی ساخته شده از مصالح شنی در انتهای فلوم استفاده شد (شکل ۳).

##### ۴-۲- دستگاههای اندازه گیری

ثبت ارتفاع موج در فلوم موج از موارد با اهمیت است. بمنظور دستیابی به این مهم، سطح آب در زمان انجام آزمایشات با بکارگیری چند دستگاه اندازه گیری ارتفاع موج (Wave gauge) ثبت گردید. این ترازهای آب در فواصل زمانی مشخص حاصل می گردد و بصورت سریهای زمانی (Time series) قابل نمایش است. شکل (۳) پلان فلوم موج مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری جهادسازندگی را نشان میدهد. همانطور که ملاحظه می شود با استفاده از دو دیواره جداکننده، فلوم به سه قسمت مجزا تقسیم شده است. بمنظور بدست آوردن ارتفاع شاخص موج (HS) از دستگاه اندازه گیری ارتفاع (WG) شماره ۷ در فلوم استفاده گردید. در انتهای این فلوم از یک ساحل سنگریزه ای با شیب تقریبی ۱:۸ استفاده شده است. محاسبه نشان میدهد که وجود این ساحل سنگی موجب استهلاک موج و جلوگیری از انعکاس آن میشود بطوری که انعکاس موج از این ساحل حدوداً برابر ۱۵٪ خواهد بود (مرجع ۷). طبق توصیه Goda (۱۹۷۶) این WG در فلوم A باید باندازه کافی با سازه و پاروی موج ساز فاصله داشته باشد. با توجه به اینکه موج ایجاد شده در

فلوم A یک موج پیشرونده (Progressive Wave) است، انتظار می‌رود که ارتفاع موج بطور تقریبی در نقاط مختلف این فلوم یکسان باشد. در فلوم B که سازه در آن قرار دارد، بمنظور اندازه‌گیری ارتفاع آب در نقاط مختلف (جلوی پارو، روی شیب‌ها و جلوی سازه) چند دستگاه اندازه‌گیری ارتفاع موج (WG) قرار داده شد. بمنظور تخمین تغییرات ضریب انعکاس موج (بروش Goda). محل WG‌ها در برخی آزمایشات تغییر نمود. شکل (۲) مربوط به آزمایشات ۱۰۰۳ تا ۱۰۱۶ می‌باشد.

#### ۳-۴- پارامترهای مربوط به موج

در انجام کلیه آزمایشات از امواج نامنظم (طیف JONSWAP) استفاده شد. آزمایشات بنحوی صورت گرفتند که معرف طوفانهایی با پریودهای حداکثر (Peak periods) ۱۶، ۱۴، ۱۲ ثانیه، ارتفاعهای شاخص موج (Significan wave heights) ۸، ۶، ۴ متر در ژرفاب (Deep water) و مدت طوفان (Storm duration) ۳ و ۶ ساعت در طبیعت باشند.

#### ۴-۴- مصالح مورد استفاده در ساخت مدل

منحنی دانه بندی مصالح مورد استفاده در ساخت مدل موج شکن در شکل (۴) نشان داده شده است. با توجه به وزن مخصوص سنگهای آرمور مدل موج شکن و رابطه (۱)، قطر اسمی سنگهای آرمور (Dn50) معادل ۳/۳۲ سانتی متر بدست آمد.

$$D_{n50} = (M_{50}/\rho_a)^{1/3} \quad (1)$$

بطوریکه در رابطه فوق جرم سنگ آرمور معادل ۵۰ درصد منحنی دانه بندی و وزن مخصوص سنگ آرمور است.

نسبت D15 / D85 مصالح مدل ۱/۱۱ بدست آمد، که در این رابطه D85 و D15 بترتیب قطرهای سنگ مربوط به ۸۵ درصد و ۱۵ درصد منحنی دانه بندی اند.

#### ۵-۴- پروفیل برداری

در پایان هر آزمایش پروفیل مقطع موج شکن با استفاده از دستگاه (PG) Point Gage، برداشت شد. سه مقطع جداگانه که در فواصل ۲۵ سانتی متری از یکدیگر قرار داشتند در نظر گرفته شد. این مقاطع بترتیب با خطوط ۱-۲، ۱-۳ و ۲-۳ در شکل (۵) مشخص شده اند. قرائت مقادیر با استفاده از PG در فواصل ۳ سانتی متری روی هر مقطع انجام شد.

#### ۴-۶- سرریزی موج

هنگامی که امواج به سازه می‌رسند از سازه بالا رفته و اگر به حد کافی مرتفع باشند آب قابل توجهی از روی سازه عبور می‌کند، بطوریکه تاج سازه را شسته و از سازه سرریز می‌شود. در آزمایشات انجام شده سرریزی موج (Wave overtopping) از روی موج شکن مجاز بود. این بدان معناست که سرریزی موج از روی سازه در شرایط بحرانی طرح مشکلی در جهت بهره برداری از آن ایجاد نمی‌کند. در آزمایشات انجام شده مشخص گردید که بازاء امواج با ارتفاع شاخص حداکثر، سرریزی موج از روی سازه قابل توجه است. این سرریزی موجب جاری شدن سنگهای لایه فیلتر قسمت تاج سازه، جابجا شدن سنگهای لایه آرمور در سمت بندر و نیز ایجاد اغتشاشات و موج در قسمت بندر (پشت سازه) می‌شود.

#### ۴-۷- تغییر شکل سازه

تغییر شکل سازه پس از انجام هر آزمایش با استفاده از معیار عدد پایداری (Stability number) اندازه گیری شد. بطوریکه عدد پایداری عبارتست از:

$$S = \frac{A_e}{D^2 n_{50}} \quad (2)$$

در رابطه فوق  $A_e$  سطح تخریب (شکل ۶) می‌باشد.

میانگین پروفیل‌های برداشت شده در سه مقطع در مورد یکی از آزمایشات برای طوفانهای ۳ و ۶ ساعته (بترتیب ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ موج) در شکل (۷) نشان داده شده است. مقادیر  $S$  بدست آمده از آزمایشات در جدول (۱) آورده شده اند.

#### ۵- مقایسه نتایج با برنامه BREAKWAT

نتایج حاصله از آزمایشات با نتایج برنامه BREAKWAT (مؤسسه دلفت هلند) مقایسه شد. پروفیل مقطع موج شکن مقایسه نتایج نشان داد که پروفیل‌های برداشت شده تطابق خوبی با پروفیل‌های حاصل از برنامه مزبور دارند. تنها استثناء مشاهده شده بین پروفیل‌های فوق عدم وجود راس تیز در پروفیل حاصل از برنامه B.W، در پروفیل بدست آمده از آزمایشات اخیر است. احتمالاً این اختلاف ناشی از دو علت است. اول آنکه برنامه B.W حاصل از مجموعه آزمایشات انجام شده بر روی سازه‌های سنگریزه ای پروفیل مقطع موج شکن شکل پذیری بوده است که در آنها سرریزی موج مجاز نمی‌باشد. بعلاوه بنظر میرسد تشکیل راس تیز بیشتر در مورد سازه‌های دارای قطر اسمی کوچک نظیر سواحل ماسه ای و شنی صادق باشد تا موج شکن‌های سنگریزه ای با آرمورهای بزرگ سنگی.

مقایسه نتایج یکی از آزمایشات انجام شده با خروجی برنامه B.W در شکل (۸) نشان داده شده است.

## ۶- نتیجه گیری

اهم نتایج حاصله از آزمایشات بشرح ذیل می باشند:

- ۱- موج شکن‌های مورد آزمایش تا حد رسیدن به پروفیل پایدار تغییر شکل می دادند.
- ۲- با افزایش ارتفاع موج تغییر شکل سازه برای یک مقطع خاص و در نتیجه عدد پایداری افزایش می یافت و سرریزی موج بیشتر مشاهده می شد.
- ۳- با افزایش پریود حداکثر موج (TP) برای ارتفاع موج ثابت معمولاً عدد پایداری افزایش می یافت.
- ۴- تغییر شکل سازه پس از تابیدن ۲۰۰۰ موج اول (معادل ۶ ساعت طوفان در طبیعت) تقریباً متوقف می شد و سازه به حالت تعادل می رسید، بطوریکه پس از ۱۰۰۰ موج اول (معادل ۳ ساعت طوفان در طبیعت) بیشترین تغییر شکل در سازه صورت گرفته و ۱۰۰۰ موج دوم چندان تغییری در پروفیل سازه ایجاد نمی کرد.
- ۵- نتایج آزمایشات با نتایج حاصل از برنامه BREAKWAT تا حد خوبی مطابقت می نمودند.

## تقدیر و تشکر

بدینوسیله از هیئت محترم سه نفری مجری احداث بنادر منطقه چابهار و خصوصاً جناب آقای مهندس سجادیپور مسئول محترم دفتر فنی هیئت که با تأمین هزینه های اجرائی مدل فیزیکی و جناب آقای دکتر طالقانی مشاور محترم هیئت که با حمایت های بی دریغشان امکان این پروژه تحقیقاتی را فراهم نمودند صمیمانه قدردانی و سپاسگزاری میشود.

The logo for ICOPMAS features a stylized sun or wave pattern in shades of blue and yellow, with the acronym 'ICOPMAS' written in a bold, blue, sans-serif font below it.

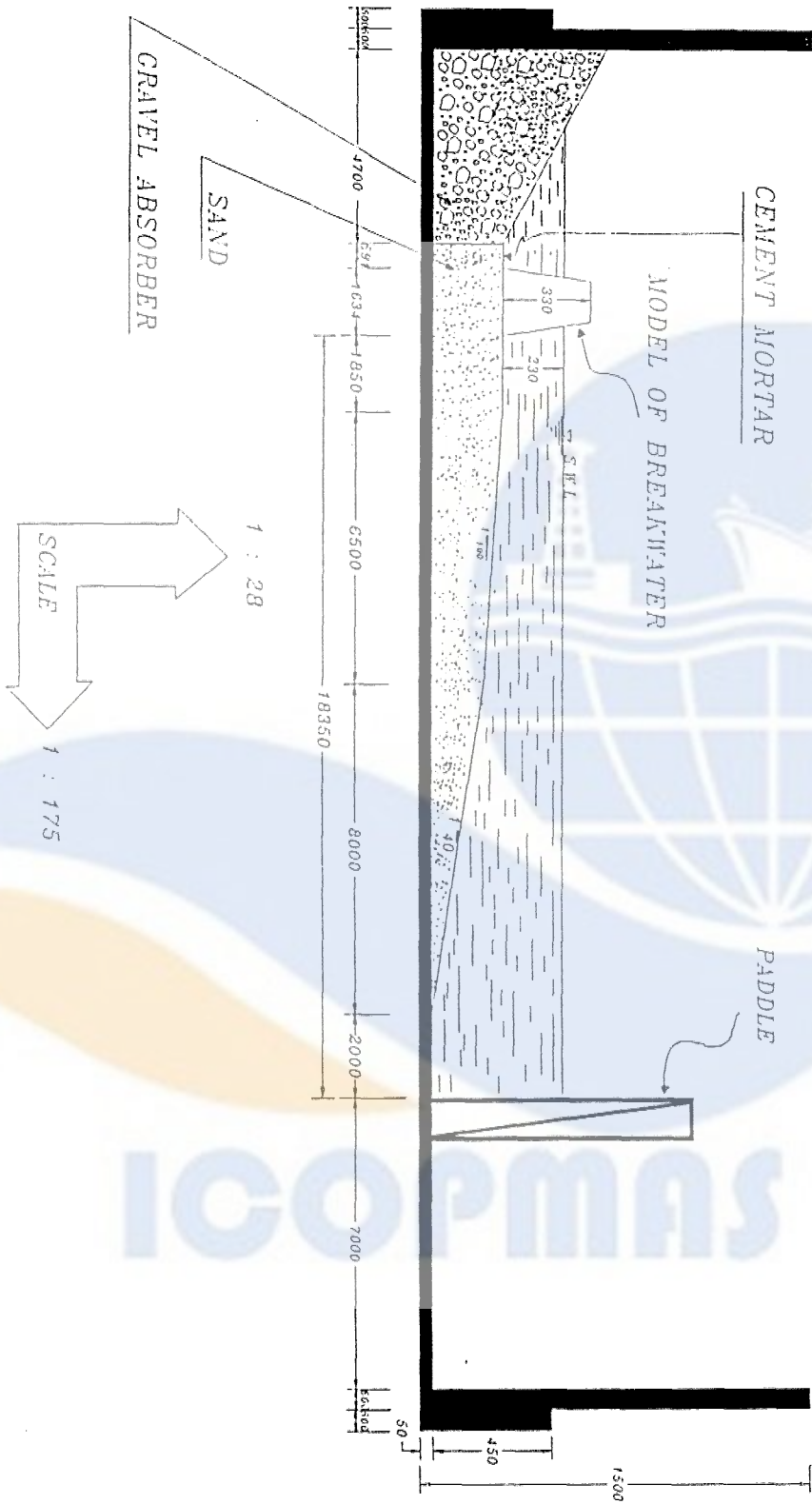
- 1- Baird, W.F. and Hall K.R.: "*The Design of Breakwaters Using Quarried Stones*". Proc. of the 19th ICCE, Houston, USA, Chapter 173, 1984.
- 2- Goda, Y. and Suzuki, Y.: "*Estimation of Incident and Reflected Waves in Random Wave Experiments*", Proc. 15th Int. Conf. on Coastal Eng., ASCE, Honolulu, Eng., Univ. of Queensland, Australia, 1980.
- 3- Gourlay, K. R.: "*A Study of the Stability of Rubble Mound Breakwaters.*", Ph.D. Thesis, The Univ. of New South Wales, School of Civil Eng., Sydney, Australia, May 1987.
- 4- Hall, K.R. "*A Study of the Stability of Rubble Mound Breakwaters.*", Ph.D. Thesis, The Univ. of New South Wales, School of Civil Eng., Sydney, Australia, May 1987.
- 5- Juhl, J. and Jensen, O.J.: "*Features of Berm Breakwaters and Practical Experience*", 4th Int. Conf. on Coastal and Port Eng. in Developing Countries, Sept. 1995, R.J., Brazil.
- 6- Kemp, P.H.: "*The Relationship Between Wave Action and Beach Profile Characteristics.*", Proc. 7th Int. Conf. on Coastal Eng., The Hague, 1960, pp. 262-278.
- 7- Seelig, W.N. and Ahrens, J.P.: "*Estimation of Wave Reflection and Energy Dissipation Coefficients for Beaches, Revetments, and Breakwaters*", TP 81-1, U.S. Army, Corps of Engineers, Coastal Eng. Research Center, Fort Behaviour, Va., Feb. 1981. 40 pages.
- 8- Sume, V., Onsoy, H. and Yuksek, O.: "*Dynamic Design of Breakwaters*", 4th Int. Conf. on Coastal and Port Eng. in Developing Countries, Sept. 1995, R.J. Brazil.
- 9- Van Hijum, E. and Pilarczyk, K.w.: "*Equilibrium Profile and Longshore Layers-Deterministic and Probabilistic Design*", Delft Hydraulics Communication 378, 1987, 34 pages.
- 10- Van Hijum, E. and Pilarczyk, K.W. "*Equilibrium Profile and Longshore Transport of Coarse Material under Regular and Irregular Wave Attack*", Delft Hydraulics, Publication No. 274, The Netherlands, 1982.
- 11- Watts, G.M.: "*Laboratory Study of Effects of Varying Wave Periods on Beach Profile*", Tech. Memorandum No. 53, US Army Waterways Experiment Station. Sept. 1964.



جدول ۱- مقادیر کد دست آمده از آزمایشات

مقطع	Tp (s)		۱۲.		۱۴		۱۶	
	Hs (m)							
۹	۸	اولین امواج	۲۶۰۴۷/۲	۲۳/۶	۲۷۸۹۳/۹	۲۵/۳	۳۳۸۰۶/۲	۳۰/۶
		دومین امواج	۳۵۵۷۹/۰	۳۲/۲	۳۷۸۳۲/۷	۳۴/۳	۳۴۴۸۵/۹	۳۱/۲
	۶	اولین امواج	۲۴۰۰۲/۴	۲۱/۷	۲۷۲۴۶/۳	۲۴/۷	۲۹۳۵۹/۹	۲۶/۶
		دومین امواج	۲۴۲۸۶/۹	۲۲/۰	۳۱۵۲۸/۳	۲۸/۶	۲۹۸۹۳/۸	۲۷/۱
	۴	اولین امواج	۹۶۷۰/۹	۸/۸	۱۱۳۷۷/۱	۱۰/۳	۱۳۵۷۵/۲	۱۲/۳
		دومین امواج	۱۱۰۷۲/۲	۱۰/۰	۱۳۳۶۳/۳	۱۲/۱	۱۶۳۵۵/۲	۱۴/۸

ICOPMAS



شکل (۱) - مقطع عرضی قلوم موج و محل احداث مدل فیزیکی موج شکن



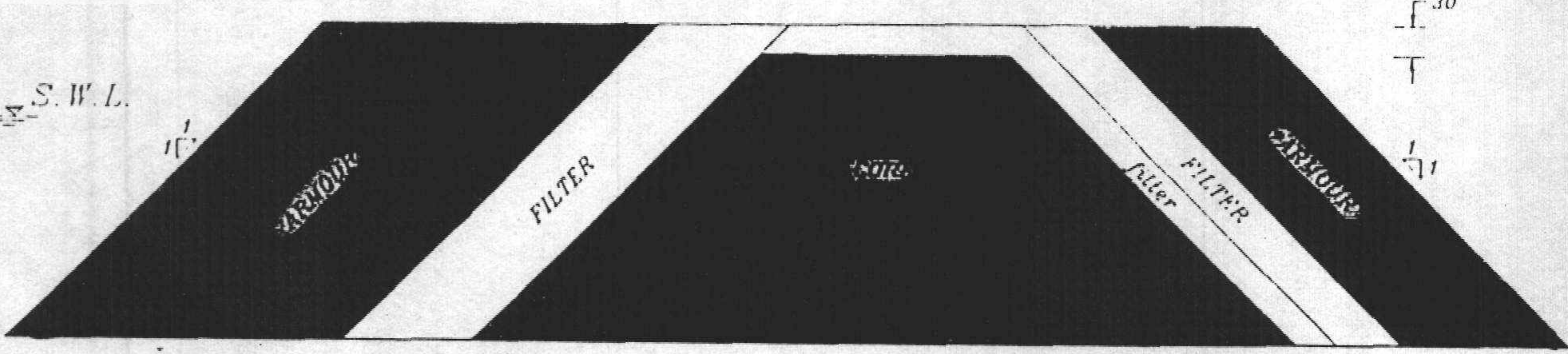
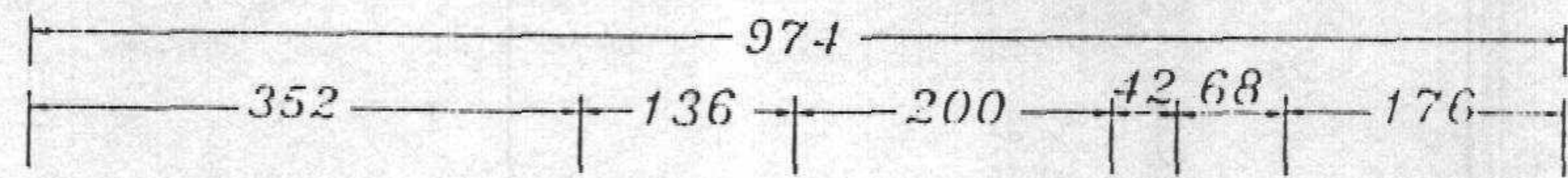
IGOPMAS

+100

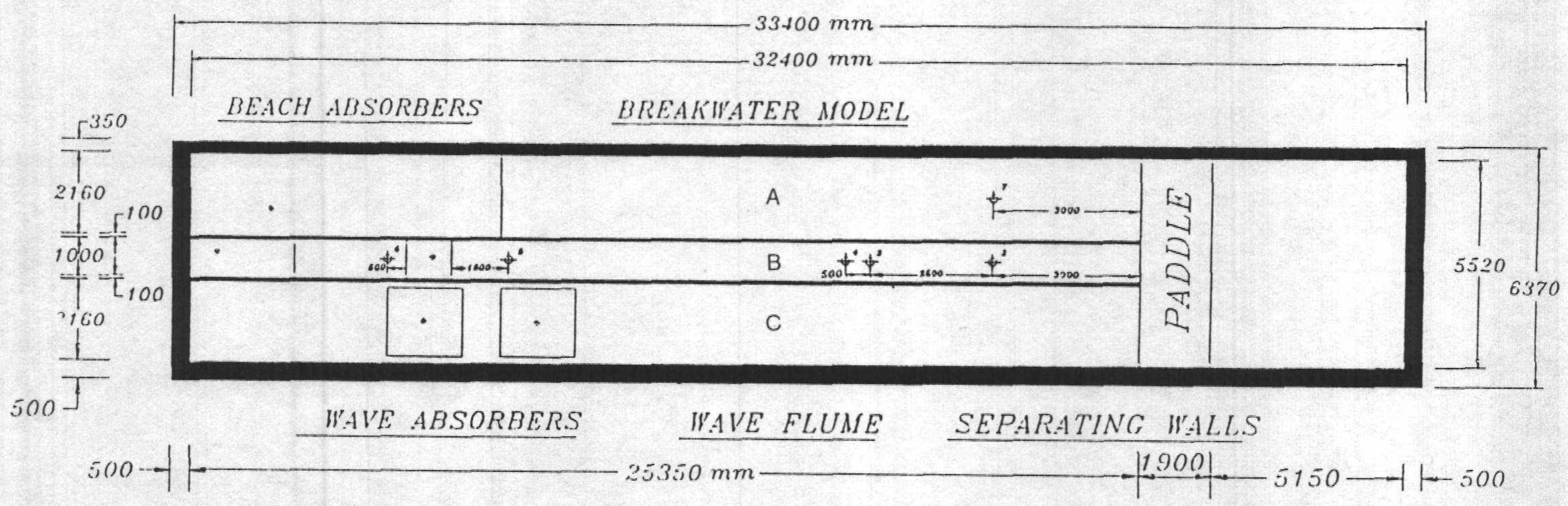
+000

S.W.L.

-230



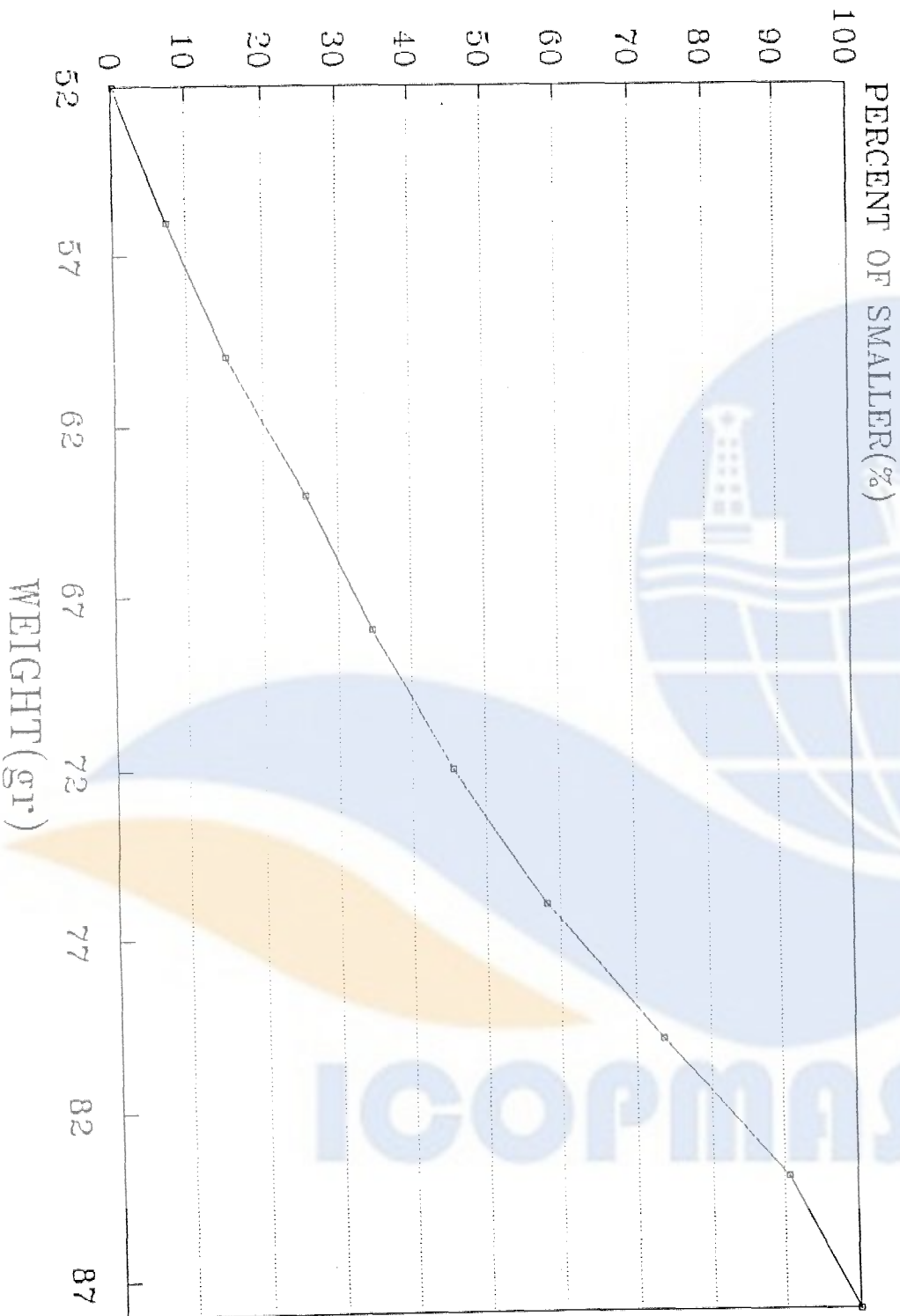
شکل (۲) - مقطع عرضی موج شکن آرمور شده توده‌ای مورد آزمایش



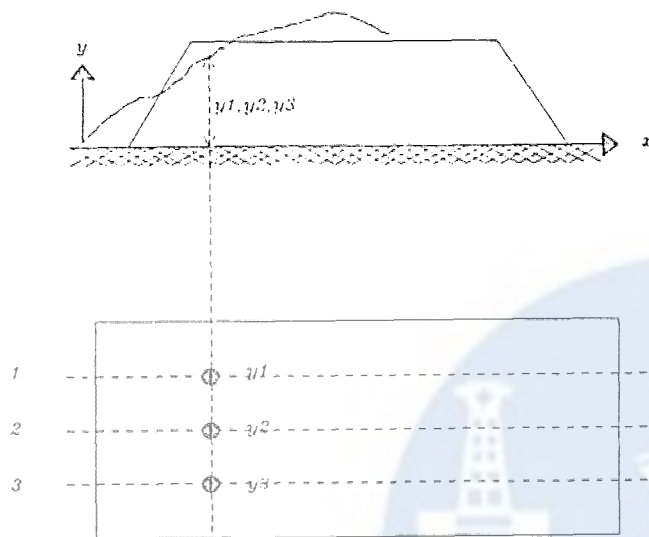
شکل (۳) - پلان فلوم موج مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری

⊕ LOCATION OF WAVE HEIGHT METERS

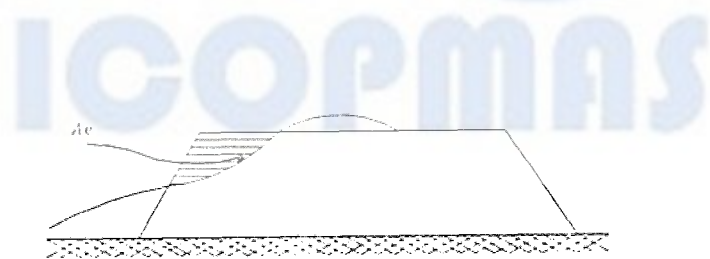
# Weight Distribution Curve



شکل (۴) - منحنی داده‌بندی مصالح مورد استفاده در ساخت مدل موج شکن



شکل (۵) - مقطع و پلان موج شکن و نمایش ارتفاعهای قرائت شده برای تغییر شکل سازه



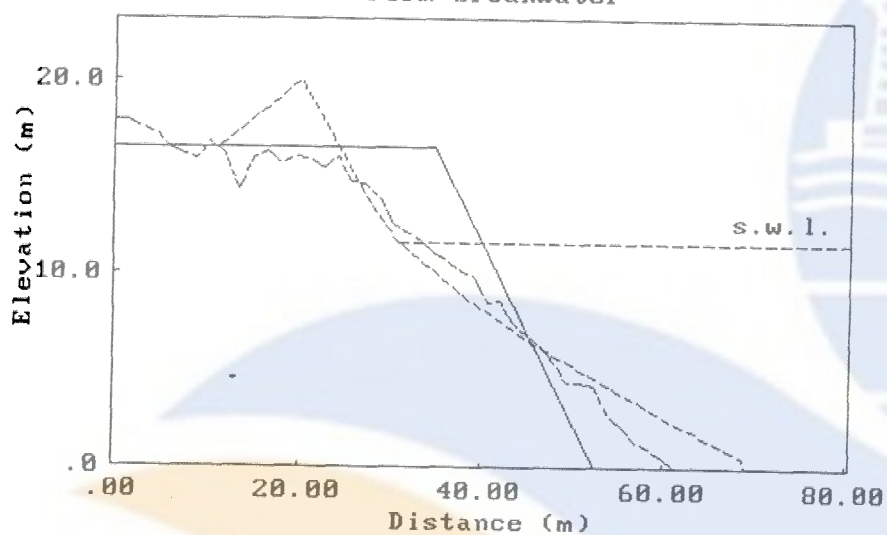
شکل (۶) نمایش مقطع موج شکن و تعریف سطح تخریب

# Waves chs.: Tip=14 s, Dur.=3 h



شکل (۷) - میانگین پروفیل‌های برداشت شده در سه مقطع در یکی از آزمایشات انجام شده برای ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ موج

## Dynamically stable profile Berm breakwater



- No. 2
- - - No. 3
- · - No. 4

۱۲ مقطع سازه قبل از تغییر شکل

۱۳ خروجی برنامه B. W. پس از تغییر شکل سازه

۱۴ مقطع سازه پس از انجام آرنایش

شکل (۸) - مقایسه نتایج یکی از آزمایشات انجام شده با خروجی برنامه BREAKWAT

ICOPMAS

## Studying Shape Changes in the Reshaping Breakwaters

V. Chegini, Ph.D. – F. Yasrebi, Eng. – P. Ahgtooman, Eng. – S. M. Hussein  
Bandarabadi, Eng.

Soil Conservation and Watershed Management Research Institute

### Abstract

In general, different coast preserving constructions are categorized based on a dimensionless parameter known as the strength number. Based on this number, the grit breakwaters are divided into two categories of traditional and reshaping. When the waves hit the grit constructions, an intricate stream pattern will be originated, which is not steady or uniform. It is generally favorable to build the breakwaters in such a way to be compatible with the stream field. In other words, the grading and the weight of the armor stones should be in such a way to lead into the realignment of the construction profiles and minimize the incurred hydrodynamic loads. Breakwaters known as "mass armored breakwaters" are reshaping breakwaters, with a conservation layer made from a vast size range of stone. This construction reshapes when hit by waves, in a way that its profile stabilizes after a storm. In this article, the results of the lab experiments done in the Jihad's Soil Conservation and Watershed Management Research Institute on the aforesaid breakwater are presented. By using these results, the roles of the parameters such as wave height and period, and storm length on the final construction profile are depicted. In addition, there is a comparison between the produced results and the outcomes of the BREAKWAT program.

**Keywords:** reshaping breakwaters; profile; strength number