

مقایسه اثر پارامترهای محیطی و سازه‌ای مؤثر بر تغییر شکل و پایداری هیدرولیکی بدنه موج‌شکن‌های سکویی  
شکل‌پذیر

امیرارسلان کرمی متین، حسن اکبری و مهدی شفیعی‌فر

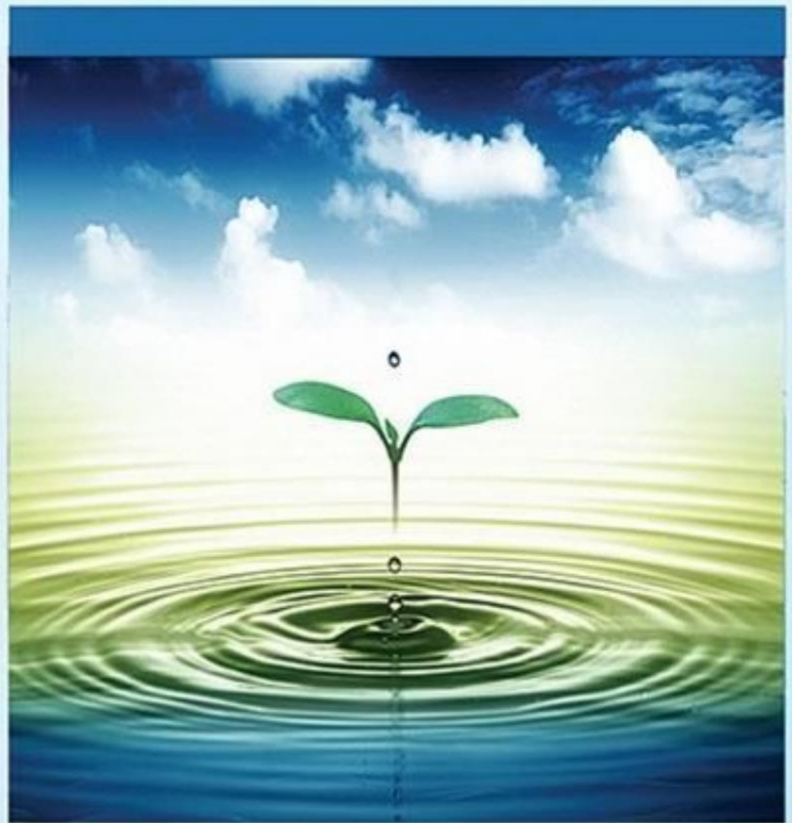
دوره ۵، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۸، صفحات ۲۲۶ - ۲۳۸

Vol. 5(3), Autumn 2019, 226 - 238

DOI: 10.22034/jewe.2019.195915.1328

**Effect Comparison of Environmental and  
Structural Parameters Affecting on Deformation  
and Hydraulic Stability of Reshaping Berm  
Breakwaters**

Karami Matin A.A., Akbari H. and Shafieefar M.



[www.jewe.ir](http://www.jewe.ir)

OPEN ACCESS

ارجاع به این مقاله: کرمی‌متین ا.ا.، اکبری ح. و شفیعی‌فر م. (۱۳۹۸). مقایسه اثر پارامترهای محیطی و سازه‌ای مؤثر بر تغییر شکل و پایداری هیدرولیکی بدنه موج‌شکن‌های سکویی شکل‌پذیر. مجله محیط‌زیست و مهندسی آب، دوره ۵، شماره ۳، صفحات: ۲۲۶-۲۳۸.

**Citing this paper:** Karami Matin A.A., Akbari H. and Shafieefar M. (2019). Effect comparison of environmental and structural parameters affecting on deformation and hydraulic stability of reshaping berm breakwaters. J. Environ. Water Eng., 5(3), 226-238. DOI: 10.22034/jewe.2019.195915.1328.

## مقایسه اثر پارامترهای محیطی و سازه‌ای مؤثر بر تغییر شکل و پایداری هیدرولیکی بدنه موج‌شکن‌های سکویی شکل‌پذیر

امیر ارسلان کرمی متین<sup>۱</sup>، حسن اکبری<sup>۲\*</sup> و مهدی شفیع‌فر<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>دانش‌آموخته کارشناسی ارشد سازه‌های دریایی، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

<sup>۲</sup>استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

<sup>۳</sup>استاد، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه علوم و فناوری ایران، تهران، ایران

\*نویسنده مسئول: [akbari.h@modares.ac.ir](mailto:akbari.h@modares.ac.ir)

### مقاله اصلی

تاریخ دریافت: [۱۳۹۸/۰۵/۰۵]

تاریخ بازنگری: [۱۳۹۸/۰۷/۱۷]

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۸/۰۷/۳۰]

### چکیده

موج‌شکن‌های سکویی دسته‌ای از موج‌شکن‌های توده سنگی شکل‌پذیر هستند که در اثر برخورد امواج دریا دچار فرسایش و تغییر شکل شده تا نیم‌رخ سمت دریا به یک حالت پایدار برسند. یکی از مهم‌ترین پارامترهای حاکم بر پایداری موج‌شکن‌های سکویی، عرض فرسایش یافته سکو است. اگر میزان فرسایش عرض سکو از عرض اولیه بیش تر شود، سازه دچار خرابی خواهد شد. پژوهش حاضر با استفاده از مدل‌سازی آزمایشگاهی به منظور مقایسه تأثیر پارامترهای محیطی و سازه‌ای بر مقدار عرض فرسایش یافته سکو صورت گرفت. نتایج نشان داد که بیش از ۹۰٪ تغییر شکل سازه در ۳۰۰۰ موج ابتدایی رخ داد. همچنین، تأثیر تراز قرارگیری سکو بر فرسایش سکوی موج‌شکن سکویی نسبت به پارامترهای عمق آب و عرض سکو، به مراتب کم تر بوده و تغییرات عرض سکو روی فرسایش مقطع سازه نسبت به سایر پارامترها تأثیرگذارتر بود. طوری که میزان کاهش فرسایش مقطع موج‌شکن سکویی با افزایش ۲۰٪ عرض سکو بیش تر از افزایش ۴۵٪ تراز سکو بود. اگرچه می‌توان در صورت عدم دسترسی به مصالح سنگی با اندازه مناسب، برای اجرای ساده‌تر و کاهش هزینه‌های اجرایی، برای تأمین پایداری سازه، به جای افزایش عرض سکو، تراز سکو را نیز افزایش داد.

**واژه‌های کلیدی:** پایداری؛ تراز سکو؛ عرض فرسایش یافته سکو؛ عرض سکو؛ موج‌شکن‌های سکویی.

## ۱- مقدمه

(B)، شتاب ثقل (g)، چگالی آب ( $\rho_w$ )، لزجت سینماتیکی سیال ( $\nu$ )، چگالی مصالح سنگی ( $\rho_a$ )، شیب اولیه سازه ( $\alpha$ )، قطر اسمی مصالح آرمور ( $D_{n50}$ ) و زاویه برخورد موج به سازه ( $\psi$ ) اشاره کرد. تاکنون پژوهشگران متعددی در زمینه پایداری و عرض فرسایش یافته موج‌شکن‌های سکویی و عوامل مؤثر بر آن تحقیق نموده‌اند. نتیجه بعضی از پژوهش‌های آزمایشگاهی این پژوهشگران ارائه یک رابطه تجربی برای محاسبه فرسایش عرض سکوی سازه بوده است. از جمله این پژوهش‌ها می‌توان به Moghim and Alizadeh (2014) اشاره نمود.

نتایج پژوهشی نشان داد که برخلاف نظر Hall and Kao (1991) که فرسایش عرض سکوی تابعی از عدد پایداری نشان داده بودند، فرسایش عرض سکوی به شدت وابسته به پارامتر تشابه شکست است (Sayao 1998). Andersen and Burchard (2010) تعداد بسیار زیادی آزمایش روی مدل موج‌شکن‌های سکویی همگن انجام دادند. بر اساس پارامترهای مهمی که برای توصیف تغییر شکل به کار می‌روند، یک رابطه نیمه تجربی ارائه نمودند. این رابطه با تعداد زیادی از داده‌های آزمایشگاهی سازه‌های پایدار استاتیکی و دینامیکی، کالیبره و صحت‌سنجی شد.

نتایج پژوهش دیگری در ایران نشان داد از جمله پدیده‌هایی که در فرآیند تغییر شکل سازه تأثیر دارد، جریان‌های ایجادشده در داخل سازه در اثر پر و خالی شدن محیط متخلخل در طول بالاروی و پایین‌روی موج روی سازه و حرکت جریان از داخل به سمت خارج سازه در طول پایین‌روی است (Moghim et al. 2011).

Andersen et al. (2012) نیم‌رخ تغییر شکل یافته موج‌شکن‌های سکویی را مورد مطالعه قرار دادند. بر اساس مطالعات آزمایشگاهی گسترده‌ای که انجام شد، نتیجه گرفتند که رابطه پیشنهادی Torum et al. (2003) در زمینه برآورد عمق نقطه تقاطع نیم‌رخ تغییر شکل یافته و نیم‌رخ اولیه، برآورد دست‌پایینی است و آن را اصلاح نمود.

پس از ارائه مفهوم شکل‌پذیری در موج‌شکن‌ها، این سازه‌ها با ابعاد بزرگ‌تر در نیم‌رخ و مصالح سنگی کوچک‌تر طراحی شده و مورد آزمایش قرار گرفتند. به‌طور معمول این سازه‌ها به‌صورت مقطع دوزنقه‌ای شکل طراحی می‌شدند؛ اما باگذشت زمان قسمت بالایی از نیم‌رخ سازه که نیروی زیادی به آن وارد نمی‌شد، از نیم‌رخ حذف شد. در نهایت لایه سنگی در جلوی نیم‌رخ سازه که شبیه به یک سکو بود، باقی ماند. در واقع سکو یک توده سنگی حجیم است و اجازه تغییر شکل دارد تا حد قابل توجهی انرژی امواج برخوردکننده را جذب نموده و نیروهای دینامیکی ناشی از امواج را کاهش دهد. این سازه‌ها موج‌شکن‌های سکویی شکل‌پذیر نامیده می‌شوند (Lykke Andersen 2006).

نیم‌رخ سمت دریای موج‌شکن‌های سکویی در اثر برخورد امواج دریا دچار تغییر شکل و فرسایش شده و این حالت ادامه می‌یابد تا نیم‌رخ سازه به تعادل برسد. یکی از مهم‌ترین پارامترهای حاکم بر رفتار موج‌شکن‌های سکویی و تغییر شکل آن‌ها، عرض فرسایش یافته سکو ( $Re_c$ ) است. اگر میزان فرسایش یا پسرقت عرض سکو از عرض اولیه بیش‌تر شود، سازه دچار آسیب شده و خرابی در آن رخ می‌دهد. به‌همین دلیل معیار کنترل‌کننده پایداری این سازه‌ها فرسایش عرض سکو بوده و برآورد این پارامتر از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. با توجه به این‌که عرض فرسایش یافته سکو از مهم‌ترین پارامترها در طراحی موج‌شکن‌های سکویی است، مطالعه‌ی عوامل مؤثر بر پایداری، فرسایش عرض سکو و تعیین عرض بهینه آن از اهمیت به‌سزایی برخوردار است.

طبق پژوهش‌های محققین مختلف در گذشته، متغیرهای زیادی در عرض فرسایش یافته سکو مؤثر است که می‌توان به پارامترهای ارتفاع موج ( $H_s$ )، پررود امواج (T)، تعداد امواج (N)، عمق آب پای سازه (d)، ضریب دانه‌بندی مصالح آرمور ( $f_g$ )، تراز سکو از سطح ایستابی ( $h_b$ )، عرض اولیه سکوی موج‌شکن

<sup>1</sup> Recession

پریود موج پرداختند. مشاهدات نشان داد که تأثیر ارتفاع موج از پریود موج بیش‌تر است (یک‌مرتبه). همچنین پارامتر بدون بعد جدیدی برای لحاظ کردن اثر توأم ارتفاع و پریود موج پیشنهاد نمودند. با توجه به آنکه پارامترهای مختلفی بر عرض فرسایش یافته موج‌شکن‌های سکویی تأثیر داشته و تاکنون مقایسه‌ای بین پارامترهای سازه‌ای و محیطی مؤثر صورت نگرفته است، لذا به نظر می‌رسد تحقیق در این زمینه ضرورت دارد. هدف از انجام این پژوهش، مقایسه بین سه پارامتر عرض سکو، عمق آب و تراز سکو از سطح ایستایی است تا مشخص شود کدام عامل تأثیر بیشتری دارد. همچنین با توجه به نتایج تحقیق، راهکارهایی برای اجرای کم‌هزینه‌تر و ساده‌تر با توجه به شرایط معادن سنگ‌های در دسترس ارائه شده است.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- محدوده پارامترهای محیطی و سازه‌ای

به‌منظور تعیین محدوده پریود و ارتفاع امواج باید به‌صورت هم‌زمان چند پارامتر را کنترل نمود. یکی از مسائل قابل‌توجه در انتخاب پریود و ارتفاع امواج، محدوده تیزی امواج است. بهتر است تیزی امواج حاصل از ترکیب این دو پارامتر، در محدوده پیشنهادی Van Der Meer (1988) ( $0.015 < S_{op} < 0.07$ ) قرار گیرند. (Andersen and Burchard (2010) پیشنهاد کردند که ارتفاع و پریود امواج طوری تنظیم شوند که تیزی امواج در محدوده بین  $0.1$  تا  $0.054$  قرار گیرد. انتخاب این دو پارامتر باید به‌گونه‌ای باشد که در پریودهای موجود، با حداقل تعداد ارتفاع موج بتوان هم محدوده پیشنهادی تیزی موج و هم بیشترین اعداد پایداری ( $H_0H_0T_0$ ) را پوشش داد. مقدار قطر اسمی سنگ‌دانه آرمور به‌منظور تأمین شکل‌پذیری استاتیکی و دینامیکی موج‌شکن سکویی، به‌اندازه‌ای خواهد بود که عدد پایداری بین  $1.5$  تا  $4$  و شاخص پایداری ( $H_0T_0$ ) در بازه  $60$  تا  $100$  قرار گیرد. لذا یک قطر اسمی برای آرمور با توجه به نکات گفته‌شده انتخاب شد که برابر  $m$   $0.2$  است.

برای انتخاب پارامتر عمق آب باید محدودیت‌های مختلف از جمله ارتفاع فلوم موج آزمایشگاه، حداقل عمق

رابطه‌ای که توسط Andersen and Burchard (2010) ارائه شده بود، با تغییرات کمی اصلاح شد. رابطه جدید بر اساس پارامترهای سازه‌ای و محیطی مختلف از جمله ضریب دانه‌بندی، تراز سکو از سطح ایستایی، پارامتر پایداری، عمق آب، تعداد امواج، جهت برخورد موج و زاویه شیب جلوی سازه است (Andersen et al. 2014).

(Moghim and Andersen (2015) با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی (Lykke Andersen (2006) به بررسی تأثیر پارامترهای محیطی و سازه‌ای بر پایداری موج‌شکن‌های سکویی سخت شکل‌پذیر پرداختند. برای تخمین سطح فرسایش یافته سازه نسبت به نیم‌رخ اولیه، یک فرمول تجربی جدید بر اساس حداکثر شار تکانه موج برخوردی به سازه را ارائه نمودند. بزرگ‌ترین مزیت این رابطه نسبت به سایر روابط قبل، این است که برگرفته از رابطه بین نیروی موج با حداکثر شار تکانه موج است.

در اغلب مطالعاتی که در زمینه پایداری موج‌شکن‌های سکویی صورت گرفته است، عرض فرسایش یافته سازه تحت تأثیر یک موج طرح مشخص و بر مبنای فرض عدم تغییر شکل اولیه موج‌شکن حاصل می‌شود؛ اما در شرایط واقعی ممکن است سازه موج‌شکن پیش از اعمال موج طرح، موج‌هایی با دوره بازگشت‌های کم‌تر را نیز تجربه کرده باشد که در میزان تغییر شکل نهایی آن مؤثر باشد. لذا یک پژوهش آزمایشگاهی توسط Karami matin et al. (2019) به‌منظور مطالعه تأثیر شرایط امواج بر میزان فرسایش نیم‌رخ تغییر شکل یافته سازه انجام شد. نتایج این پژوهش با آزمایش‌های مبتنی بر فرض عدم تغییر شکل نیم‌رخ اولیه مقایسه شد. نتایج نشان داد که در موج‌شکن‌های پایدار دینامیکی (در یک شرایط محیطی و سازه‌ای مشخص)، نیم‌رخ‌هایی که امواج قبلی برخوردی دارای  $H_0\sqrt{T_0}$  بیش‌تری هستند، فرسایش کم‌تری توسط امواج بزرگ‌تر بعدی در آن‌ها ایجاد می‌شود.

(Moghim et al. (2011) ضمن مطالعه تأثیر پارامترهای مختلف مؤثر بر فرسایش موج‌شکن‌های سکویی، به مقایسه‌ی تأثیر پارامترهای ارتفاع موج و

سازه فرض شد. همچنین وزن مخصوص مصالح این لایه برابر  $2550 \text{ kg/m}^3$  و جنس مصالح از نوع سنگ‌های رسوبی است. برای اجرای لایه هسته در مدل آزمایشگاهی موج‌شکن سکویی، از مصالح با وزن تقریبی کمتر از  $0.1$  وزن مصالح لایه آرمور استفاده شد. مصالح به‌کاربرده شده در لایه هسته، ماسه شسته شده با قطر اسمی حدود  $1/8 \text{ mm}$  و با وزن مخصوص  $\text{kg/m}^3$   $1800$  است. در تعیین حدود دانه‌بندی مصالح به شرایط معادن کشور توجه شده و با توجه به مصالح خروجی از معادن کشور که اغلب در محدوده عریض قرار دارند، پارامتر ضریب دانه‌بندی مصالح آرمور برابر  $1/6$  در نظر گرفته شد. برای به حداقل رساندن اثر لزجت (گرانروی) بر اساس توصیه (Van Der Meer (1988) عدد رینولدز  $Re = \frac{D_{n50} \sqrt{gH_s}}{\nu}$  (قطر اسمی مصالح آرمور است) در محدوده  $10^4 < Re < 4 \times 10^4$  در نظر گرفته شد. در جدول (۱) حدود تغییرات پارامترهای محیطی و سازه‌ای ارائه شده است.

جدول ۱- محدوده تغییر پارامترهای محیطی و سازه‌ای مدل سازه

Table 1 Range of sea state and structural parameters in model of structure

پارامتر	نماد	محدوده تغییرات
ارتفاع امواج	$H_s$	تا $6.1 \text{ (cm)}$
پریود اوجی موج	$T_p$	تا $10.1$
عرض اولیه‌ی سکوی موج‌شکن	$B$	تا $1.5$ تا $20 \text{ (cm)}$
عمق آب پای سازه	$d$	تا $30$ تا $20 \text{ (cm)}$
قطر اسمی سنگ‌دانه آرمور	$D_{n50}$	تا $2 \text{ cm}$
تراز سکوی از سطح ایستایی	$h_b$	تا $13$ تا $5 \text{ (cm)}$

## ۲-۲- مدل‌سازی آزمایشگاهی

آزمایش‌ها در فلوم موج دانشگاه تربیت مدرس انجام شد که طول، عرض، و عمق این فلوم به ترتیب  $16$ ،  $1$ ، و  $m$  می‌باشد. در این پژوهش امواج تابشی به مقطع سازه در تمام آزمایش‌ها از نوع امواج نامنظم با طیف انرژی JONSWAP است. شکل (۱) تصویری از فلوم موج را نشان داده است. در طول کانال  $4$  حسگر ارتفاع‌سنج نوع مقاومتی استفاده شد که می‌تواند تغییر ارتفاع سطح آب را با دقت  $1 \text{ mm}$  ثبت کنند.

آب جهت جلوگیری از شکست امواج، حداقل عمق آب برای جلوگیری از اثرات مقیاس، پوشش دادن تیزی امواج در محدوده پیشنهادی (Van Der Meer (1988) و حداکثر عمق آب برای جلوگیری از سرریزی موج از روی موج‌شکن مدنظر قرار گیرد. با در نظرگیری فرضیه‌ها و کنار هم گذاشتن نکات گفته‌شده، عمق آب  $25 \text{ cm}$  انتخاب گردید.

بر اساس توصیه (PIANC(2003) عرض سکوی موج‌شکن سکویی باید به اندازه‌ای باشد که پس از تغییر شکل سکو در اثر موج طرح، حداقل دو تا چهار سنگ در انتهای سکو به‌صورت تخریب نشده باقی بماند. لذا لازم است مقدار فرسایش عرض موج‌شکن سکویی از یکی از روابط ارائه‌شده توسط پژوهش‌گران مختلف، محاسبه شده و به آن حداقل  $2$  تا  $4$  برابر قطر سنگ با توجه به حساسیت پروژه اضافه شود (PIANC 2003). در خصوص عرض بهینه سکوی موج‌شکن، پراکندگی قابل‌توجهی بین نتایج وجود دارد. لذا مقادیر فرسایش عرض سکو از روش‌های مختلف محاسبه شده و مقدار  $2D_{n50}$  با آن جمع گردید و با میانگین‌گیری بین این اعداد، مقدار عرض اولیه سکو  $25 \text{ cm}$  انتخاب شد. به‌منظور بررسی تأثیر تغییرات عرض سکو روی تغییر شکل نیم‌رخ موج‌شکن سکویی شکل‌پذیر، آزمایش‌ها با سه عرض متفاوت  $20$ ،  $25$  و  $30 \text{ cm}$  (مقداری کمتر و بیش‌تر از عرض اولیه سکو) انجام شدند.

در موج‌شکن‌های سکویی، تراز سکو معمولاً به لحاظ مسائل اجرایی، حداقل هم‌تراز سطح ایستایی و یا بالاتر از آن هستند. در ضمن این تراز باید به‌گونه‌ای انتخاب گردد که هم امکان اجرای باکیفیت خوب فراهم شود و هم در طول زمان بهره‌برداری بتوان به‌آسانی سکو را مورد بازدید قرارداد. توصیه می‌شود ارتفاع سکو حداقل برابر یک سنگ آرمور از تراز طراحی آب بالاتر باشد (Lykke Andersen 2006). با در نظر گرفتن توصیه‌های موجود، تراز سکو در تحقیق حاضر برای سه حالت متفاوت  $5$ ،  $9$  و  $13 \text{ cm}$  تنظیم شد.

قطر اسمی مصالح لایه فیلتر در آزمایش‌های انجام‌شده ثابت بوده و برابر  $1 \text{ cm}$  در نظر گرفته شد. ضخامت این لایه برابر  $4 \text{ cm}$  هم در وجه جلویی و هم در وجه پشتی

### ۳- یافته‌ها و بحث

در این قسمت ابتدا تعداد امواج برخوردی موردنیاز برای مطالعه پایداری هیدرولیکی سازه (مدت‌زمان تعادل مقطع سازه) تعیین شد. سپس تأثیر پارامترهای عمق آب پای سازه، عرض سکو و تراز سکو از سطح ایستایی بر پایداری موج شکن سکویی بررسی خواهد شد. پس از تجزیه و تحلیل کمی و کیفی نحوه تأثیر پارامترها، به مقایسه‌ی تأثیر پارامترهای اشاره‌شده پرداخته می‌شود.

#### ۳-۱- تعیین مدت‌زمان تعادل مقطع سازه

یکی از عوامل بسیار مؤثر بر پایداری موج‌شکن‌های شکل‌پذیر، مدت طوفان است. این عامل به‌صورت پارامتر بدون بعد شده تعداد امواج بیان شده است. برای تعیین مدت‌زمان تعادل سازه شش آزمایش انجام شد که نتایج این آزمایش‌ها در شکل (۳) نشان داده شده است. شکل (۳) نشان می‌دهد که با افزایش تعداد امواج برخوردی به سازه، میزان فرسایش عرض سکو افزایش یافته، اما باگذشت زمان از سرعت آن کاسته شده و مقطع سازه درنهایت به یک تعادل نسبی می‌رسد که در آن نرخ تغییر فرسایش بسیار کاهش می‌یابد. به‌طوری‌که میزان رشد فرسایش در ۳۰۰۰ موج اول، حدود ۹۲٪ عرض اولیه سکو و در ۳۰۰۰ موج برخوردی دوم (پس از ۳۰۰۰ موج اول) حدود ۸٪ است. با توجه به آنکه هیچ‌گاه نمی‌توان ادعا کرد که پس از رسیدن به حالت تعادل، دیگر تغییر شکل در سازه رخ نمی‌دهد. ملاکی که برای تعیین مدت‌زمان آزمایش یا مدت‌زمان تعادل سازه در نظر گرفته شده، رسیدن به ۹۰٪ تغییر شکل است. به این منظور مقطع سازه را تحت برخورد امواجی با تعداد بین ۵۰۰ تا ۶۰۰۰ قرار داده و بعد از هر برخورد، نیمرخ تغییر شکل یافته را برداشت نموده و این عمل تا زمانی که دو عرض فرسایش یافته متوالی تفاوت ناچیزی داشته باشند ادامه می‌یابد. سپس با توجه به عرض فرسایش یافته نهایی، تعداد امواجی که باعث ۹۰٪ فرسایش و تغییر شکل نهایی شده، به‌عنوان مدت‌زمان تعادل مقطع سازه در نظر گرفته می‌شوند.



شکل ۱- تصویری از فلوم موج آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه تربیت مدرس

Fig. 1 Wave flume at Hydraulic Laboratory of Tarbiat Modares University

برای ثبت و برداشت نیمرخ سازه قبل و بعد از برخورد امواج از ترازسنج نصب‌شده در بالای فلوم استفاده شد. برداشت نیمرخ در فواصل ۱ cm انجام شد تا بتوان جابه‌جایی سنگ‌دانه‌ها را به‌خوبی برداشت نمود. در جدول (۲) مشخصات مصالح مورد استفاده در مدل آزمایشگاهی موج‌شکن سکویی ذکر شده و در شکل (۲) تصویری از مدل سازه نمایش داده شده است.

جدول ۲- مشخصات مصالح استفاده‌شده در مدل آزمایشگاهی

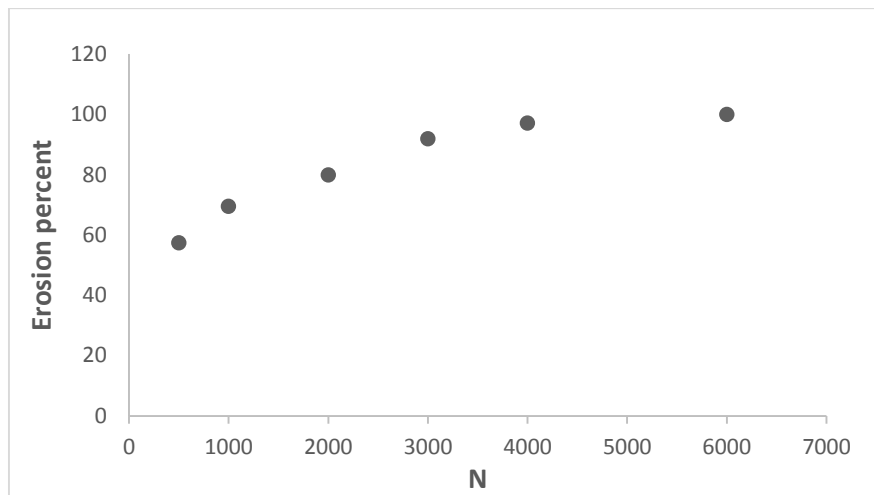
Table 2 Material properties in experimental model

لایه آرمور	لایه فیلتر	لایه هسته	
0.02	0.01	0.0018	قطر اسمی
1.6	1.75		توزیع دانه‌بندی
2550	2550	1800	چگالی ( $kg/m^3$ )



شکل ۲- مقطعی از مدل اجراشده از موج‌شکن سکویی داخل فلوم موج

Fig. 2 Cross-section model of berm breakwater in wave flume



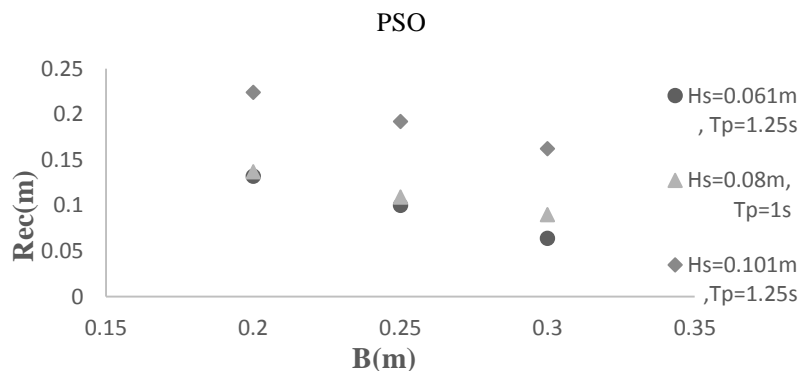
شکل ۳- درصد فرسایش عرض سکو در هر تعداد موج نسبت به حالت نهایی برای یک ترکیب ثابت ارتفاع و پریود موج

Fig. 3 berm recession percentage in different number of waves in comparison to ultimate state for a invariable combination of wave height and period wave

سازه، عرض فرسایش یافته سکو کاهش می‌یابد. در واقع فرسایش عرض سکو با افزایش عرض اولیه کاهش می‌یابد؛ به گونه‌ای که افزایش ۴۰٪ عرض اولیه سکو، به طور متوسط حدود ۳۸٪ فرسایش را کاهش داده است. همچنین با توجه به شکل (۴) بازدهی افزایش عرض سکو در کاهش فرسایش عرض سازه، برای امواج با ارتفاع و پریود بزرگ‌تر، به مراتب بیش‌تر است.

### ۳-۲- تأثیر عرض اولیه سکو بر پایداری سازه

به منظور بررسی تأثیر پارامتر عرض اولیه سکو بر عرض فرسایش یافته آن، آزمایش‌های مختلفی با سه ترکیب موج و سه عرض اولیه متفاوت انجام شد. شکل (۴) تأثیر عرض اولیه سکو بر عرض فرسایش یافته را در ترکیب‌های مختلف ارتفاع و پریود امواج نشان می‌دهد. با توجه به شکل (۴) با افزایش عرض اولیه سکوی



شکل ۴- تأثیر عرض اولیه سکو بر عرض فرسایش یافته سکوی موج شکن سکویی

Fig. 4 Effect of berm width on berm recession

آن‌ها در برابر نیروی هیدرودینامیکی امواج برخوردی بیش‌تر شده و باعث کاهش فرسایش عرض سکو خواهد شد.

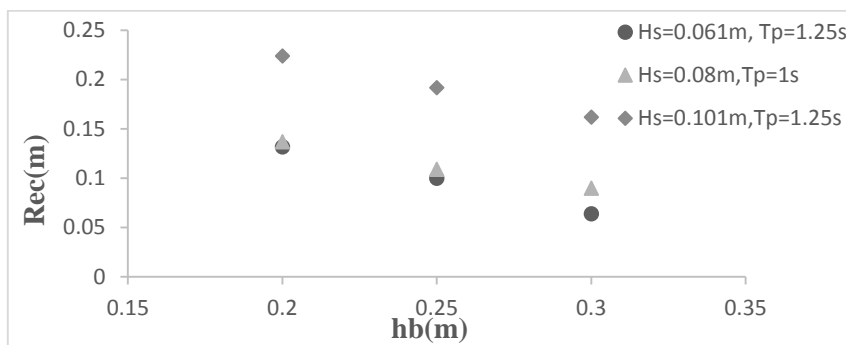
### ۳-۳- تأثیر تراز سکو از سطح ایستابی

در این آزمایش‌ها به جز تراز قرارگیری سکو، بقیه پارامترها از جمله عمق آب پای سازه ثابت در نظر گرفته شد. در این آزمایش‌ها سه مقدار مختلف ۵، ۹ و

دلیل کاهش فرسایش این است که با افزایش عرض سکوی سازه، حجم توده متخلخل سکوی سازه در برابر امواج برخوردی بیش‌تر شده و امواج تابشی با توده سنگی بزرگ‌تری روبه‌رو خواهند شد. این مسئله باعث افزایش جذب انرژی موج و استهلاک بیش‌تر آن می‌شود. در نتیجه نیروهای وارد بر مصالح سنگی کاهش می‌یابند. همچنین می‌توان گفت با افزایش عرض سکو، وزن مصالح سنگی و در نتیجه پایداری

(۵) تأثیر تراز سکو را بر عرض فرسایش یافته موج شکن سکویی نشان می‌دهد.

۱۳ cm (مقداری کمتر و بیش تر از تراز اولیه سکو) برای تراز سکو از سطح ایستابی اختصاص یافت. شکل



شکل ۵- تأثیر پارامتر تراز سکو از سطح ایستابی بر عرض فرسایش یافته موج شکن سکویی

Fig. 5 Effect of berm elevation on berm recession

#### ۳-۴- تأثیر پارامتر عمق آب

یکی از عوامل تأثیرگذار بر پایداری موج شکن سکویی، عمق آب پای سازه است. به منظور بررسی اثر عمق آب پای سازه، سه مقدار مختلف ۲۰، ۲۵ و ۳۰ cm برای عمق آب پای سازه اختصاص یافت. نکته حائز اهمیت در انجام این دسته از آزمایش‌ها این بود که تراز سکو از سطح ایستابی به نحوی تغییر نماید که تراز سکو در انجام آزمایش‌ها مقدار ثابت ۰/۰۹ m باقی بماند. شکل (۶) تأثیر عمق آب پای سازه بر مقدار عرض فرسایش یافته سازه را نشان می‌دهد.

با توجه به شکل (۶)، عمق آب پای سازه پارامتر بسیار مؤثری در پایداری موج شکن سکویی است. به گونه‌ای که با افزایش عمق آب پای سازه در شرایط مشابه امواج برخوردی، به مقدار فرسایش عرض سکو افزوده می‌شود. شکل (۶) نشان می‌دهد ۴۰٪ افزایش عمق آب، به طور متوسط فرسایش عرض سکو را به اندازه حدود ۲۴٪ افزایش داده است. افزایش عرض فرسایش یافته سکو در اثر افزایش عمق آب را می‌توان با دلایل مختلف توجیه نمود. با افزایش عمق آب پای سازه، طول موج افزایش یافته و با افزایش طول موج، چگالی انرژی موج زیاد می‌شود. زیاد شدن چگالی انرژی موج بیان کننده‌ی افزایش نیروی دینامیکی وارد بر سازه است، در نتیجه مقدار فرسایش عرض سکو بیشتر می‌شود. دلیل دیگر آن این است که با افزایش عمق آب، طول بازوی مقاوم مصالح سنگی سکو که در معرض برخورد امواج تابشی

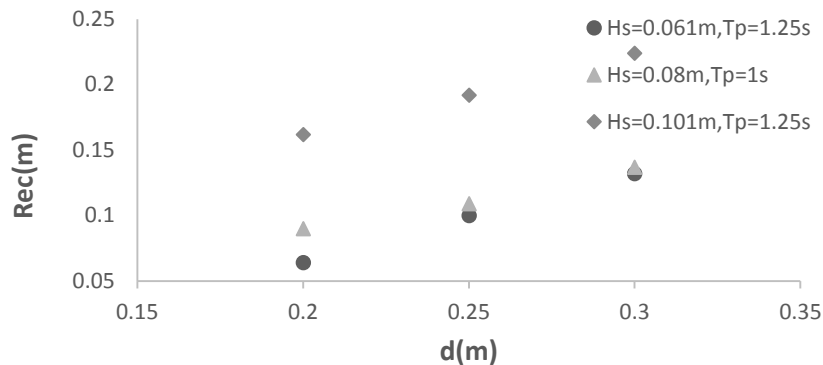
با توجه به شکل (۵) تراز سکو از سطح ایستابی پارامتری مؤثر در پایداری سکوی موج شکن سکویی است. با توجه به داده‌های شکل (۵)، در یک شرایط محیطی ثابت، با افزایش تراز سکو، میزان فرسایش عرض سکوی سازه کاهش می‌یابد و عکس آن نیز صادق است. دلیل این امر آن است که با افزایش تراز سکو، حجم مصالح سنگی قرار گرفته در سکوی موج شکن افزایش می‌یابد. این مسئله باعث افزایش تخلخل توده سنگی قرار گرفته در معرض امواج تابشی شده و در نتیجه زوال و استهلاک انرژی امواج بیشتر می‌شود. در واقع با افزایش حجم مصالح سنگی، استهلاک انرژی امواج بیشتر شده و نیروهای دینامیکی وارد بر سنگ‌دانه‌های مغروق در آب بر اثر کاهش میدان سرعت جریان، کاهش می‌یابد. دلیل دیگر کاهش عرض فرسایش یافته در اثر افزایش تراز سکو این است که با افزایش تراز سکو، وزن ناشی از مصالح سنگی اضافه شده به سکوی سازه باعث افزایش نیروی مقاوم در برابر امواج برخوردی (افزایش پایداری مقطع سازه) به سازه می‌شود. این افزایش نیرو به این معنی است که جابه‌جایی و فرسایش دانه‌های سنگی برای امواج تابشی مشکل‌تر است.

با توجه به شکل (۵) افزایش ۹۰٪ در فاصله تراز سکو، به طور متوسط فرسایش عرض سکو را به اندازه ۲۴٪ کاهش داده است. نتیجه‌ای که می‌توان از این شکل گرفت این است که فاصله تراز سکو تأثیر اندکی بر فرسایش عرض موج شکن سکویی دارد.



امواج برخوردی در عمق‌های بیش‌تر نسبت به عمق‌های کم‌تر، سهل‌تر است.

قرار دارند، به دلیل شیب‌دار بودن سکو، کاهش می‌یابد. لذا فرسایش و جابجا کردن مصالح سنگی سکو برای



شکل ۶- تأثیر عمق آب پای سازه بر عرض فرسایش یافته سکو

Fig. 6 Effect of water depth on berm recession

پیدا نمود. در واقع با کاهش عمق آب، طول موج کاهش یافته و به تبع آن تیزی موج نیز کاهش می‌یابد. شکست امواج برخوردی در پای سازه با تیزی کم‌تر، زوال انرژی کم‌تری در مقایسه با امواج با تیزی بیش‌تر، تجربه خواهند کرد. لذا تخریب و فرسایش مقطع موج شکن بیش‌تر خواهد شد.

### ۳-۵- مقایسه بین پارامترهای مؤثر بر پایداری

عرض سکو، عمق آب و تراز سکو از سطح ایستابی جزء پارامترهای مؤثر در پایداری و تغییر شکل موج شکن‌های سکویی هستند. با تحلیل نتایج تأثیر این سه پارامتر بر پایداری موج شکن‌های سکویی شکل‌پذیر، مشاهده شد که میزان تأثیر این عوامل روی افزایش یا کاهش عرض فرسایش یافته سازه، متفاوت است. لذا به نظر می‌رسد که باید مقایسه‌ای بین این سه پارامتر صورت بگیرد و مشخص شود که کدام عامل تأثیر بیش‌تری روی عرض فرسایش یافته سکو دارد.

#### ۳-۵-۱- عرض سکو و عمق آب

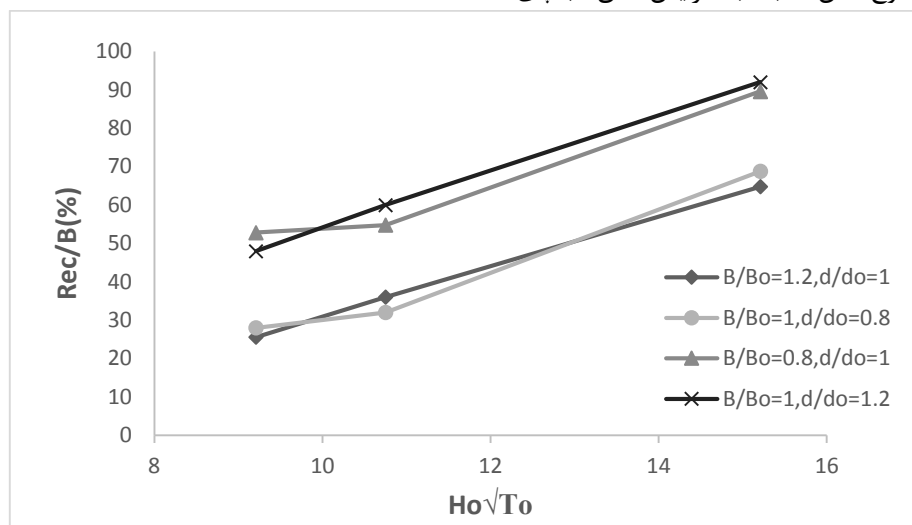
شکل (۷) مقایسه‌ای بین تأثیر پارامترهای عرض سکو و عمق آب برای ترکیب امواج با ارتفاع و پریود مختلف را نشان می‌دهد. با توجه به شکل (۷) در یک شرایط محیطی ثابت، تأثیر عرض سکو بیش‌تر از عمق آب است. به عبارت دیگر ۲۰٪ افزایش عرض سکو نسبت به ۲۰٪ کاهش عمق آب در کاهش عرض فرسایش یافته تأثیر بیش‌تری دارد، به گونه‌ای که مقدار عرض فرسایش

همچنین با زیاد شدن عمق آب پای سازه، شار مومنتوم بیشینه رسیده به پای سکوی موج شکن افزایش یافته؛ لذا نیروی هیدرودینامیکی وارد بر توده‌ی سنگی سازه افزایش خواهد یافت. همین امر باعث رشد فرسایش سکو خواهد شد. لازم به ذکر است که به‌طور معمول موج شکن‌هایی که در کشور ایران ساخته می‌شوند، دارای شرایط آب نیمه عمیق یا متوسط (  $0.05 < \frac{d}{L} < 0.5$  ) هستند (Shekari and Shafieefar 2013).

مدل‌های آزمایشگاهی پژوهش حاضر نیز دارای شرایط آب نیمه عمیق است، لذا می‌توان گفت در شرایط محیطی و سازه‌ای تحقیق حاضر، تأثیر افزایش عمق آب در افزایش عرض فرسایش یافته سکو در شرایط آب نیمه عمیق صادق است. اگرچه تحقیق آزمایشگاهی (Motalebi 2010) نشان داد که تغییر عمق آب در فرسایش عرض سکو در شرایط آب کم عمق و نیمه عمیق مؤثر بوده و در شرایط آب عمیق تأثیر آن کاسته شده و در واقع بسیار کم تأثیر است. با توجه به نتایج این پژوهش و تحقیق (Motalebi 2010) به نظر می‌رسد افزایش شار تکانه بیشینه در اثر افزایش عمق آب در شرایط آب کم عمق و نیمه عمیق اتفاق می‌افتد و در شرایط آب عمیق تأثیر چندانی در ایجاد فرسایش مقطع موج شکن سکویی ندارد. دلیل این تحلیل را می‌توان در تأثیر عمق آب در شکست موج پای سازه

سازه به اندازه ۲۰٪ دارد، به گونه‌ای که مقدار فرسایش سکو به‌طور میانگین حدود ۱۲٪ بیش‌تر شده است.

یافته به‌طور میانگین حدود ۱۵٪ کاهش یافته است. همچنین در این شکل دیده می‌شود که کاهش ۲۰٪ در عرض سکو، تأثیر بالاتری در افزایش عرض فرسایش یافته سکوی موج‌شکن نسبت به افزایش عمق آب پای



شکل ۷- نمودار تغییرات درصد عرض فرسایش یافته نسبت به  $H_0\sqrt{T_0}$  در شرایط تغییر عرض سکو و عمق آب  
Fig. 7 Percentage of berm recession in different  $H_0\sqrt{T_0}$  for various water depths and berm widths

به‌عبارت‌دیگر افزایش عرض سکو به‌اندازه ۲۰٪ نسبت به ۴۵٪ افزایش تراز سکو در کاهش عرض فرسایش یافته سکو مؤثرتر است. طوری که مقدار فرسایش سکو به‌طور میانگین حدود ۱۷٪ کم‌تر شده است.

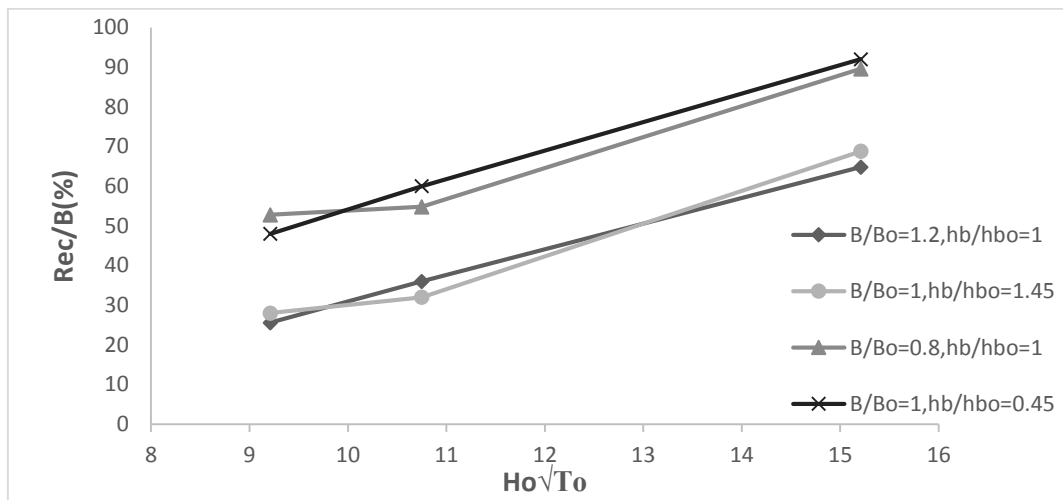
مطلب حائز اهمیت مقایسه‌ی عرض سکو و تراز سکو آن است که اگرچه حساسیت فرسایش عرض سکو به تغییرات پارامتر عرض سکو نسبت به تراز سکو، بیشتر و قابل‌توجه‌تر است و به نظر می‌رسد که برای کاهش عرض فرسایش یافته، افزایش عرض سکو نسبت به افزایش تراز سکو، راه‌حلی مناسب‌تر است، اما برخلاف تصور، بالا بردن تراز سکو از سطح ایستابی راهکاری مناسب‌تر و کم‌هزینه‌تر است. علت چنین راهکاری این است که با افزایش تراز سکو، فرسایش عرض سکوی موج‌شکن کاهش یافته و در نتیجه عرض اولیه کوچک‌تری برای اجرای موج‌شکن سکوی لازم است. در واقع تأثیر کاهش عرض اولیه سکوی سازه در تقلیل هزینه‌های ساخت و سهولت اجرا بسیار بیش‌تر از افزایش هزینه برای بالا بردن تراز سکو است. این مسئله به‌ویژه در موج‌شکن‌هایی که در عمق زیاد اجرا می‌شوند، مهم‌تر خواهد شد. چراکه حجم مصالح عرض سکو در طول چندین کیلومتری موج‌شکن به دلیل

نکته‌ی مهم در مقایسه فوق این است که فرسایش عرض سکو به تغییرات عرض سکو نسبت به عمق آب حساسیت بیش‌تری دارد؛ بنابراین در موج‌شکن‌هایی که در نزدیکی سواحل (شرایط آب کم‌عمق و شرایط آب نیمه عمیق) ساخته می‌شوند، نمی‌توان از عرض‌های کمتری برای سکو استفاده کرد. به‌عبارت‌دیگر در نزدیکی سواحل، سکوی سازه باید دارای یک حداقل عرض که هم پایداری مقطع حفظ شود و هم حجم مصالح به کمترین مقدار برسد (عرض بهینه)، باشد.

## ۲-۵-۳- عرض سکو و تراز سکو

شکل (۸) تغییرات درصد عرض فرسایش یافته موج‌شکن سکویی را به ازای تغییر عرض سکو و تراز قرارگیری سکو برای ترکیب امواج با ارتفاع و پریود مختلف نشان می‌دهد. در شکل (۸) مشاهده می‌شود که در یک شرایط محیطی ثابت، افزایش عرض سکو نسبت به افزایش تراز سکو باعث کاهش بیش‌تری در عرض فرسایش یافته موج‌شکن‌های سکویی می‌شود. همچنین می‌توان گفت کاهش عرض سکو نسبت به کاهش تراز سکو از تراز ایستابی، سبب افزایش بیش‌تری در فرسایش عرض سکو می‌شود.

شیب دار بودن سکوی سازه بسیار افزایش یافته و اجرای سخت تری دارد.



شکل ۸- نمودار تغییرات درصد عرض فرسایش یافته نسبت به  $H_0/\sqrt{T_0}$  در شرایط تغییر عرض سکو و تراز قرارگیری سکو  
Fig. 8 Percentage of berm recession in different  $H_0/\sqrt{T_0}$  for various berm widths and berm elevations

صورت وجود مشکل برای تأمین سنگ با اندازه‌های مناسب، می‌توان تراز سکو از سطح ایستایی را افزایش داد.

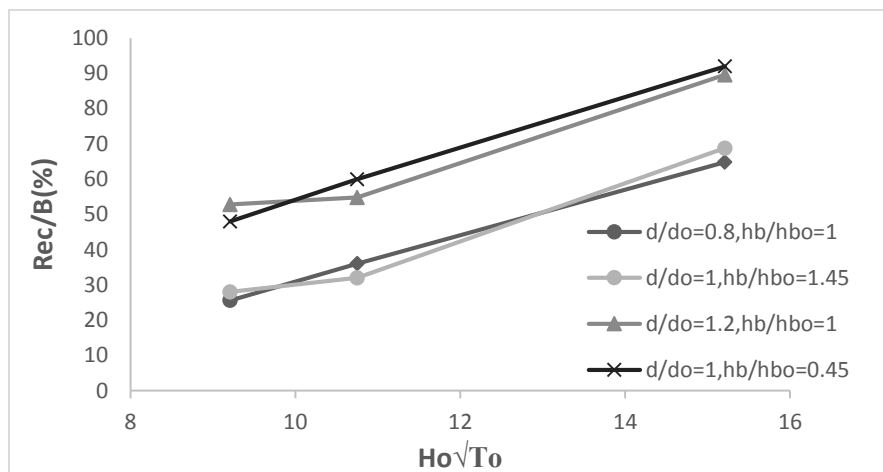
### ۳-۵-۳- عمق آب و تراز سکو

شکل (۹) مقایسه‌ی بین تأثیر دو پارامتر عمق آب و تراز سکو را نشان می‌دهد. طبق مشاهده‌ها، در یک شرایط محیطی ثابت، تأثیر عمق آب روی تغییرات عرض فرسایش یافته سکو تقریباً شبیه به اثر تراز سکو است و این نکته را می‌توان از شکل (۹) برداشت نمود. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود کاهش ۲۰٪ در عمق آب پای سازه تقریباً روندی شبیه به ۴۵٪ افزایش در تراز سکو از سطح ایستایی آب دارد و میزان عرض فرسایش یافته سکو در دو حالت تقریباً یکی است.

با توجه به نکاتی که در قسمت‌های قبل بیان شد، به نظر می‌رسد در تحلیل مقایسه این دو پارامتر نیز بتوان گفت افزایش تراز سکو راهکار مناسب‌تر و اقتصادی‌تری برای کاهش فرسایش سکو خصوصاً زمانی که عمق آب زیاد بوده و سازه در شرایط آب نیمه عمیق و عمیق قرار گرفته باشد، است.

در کنار راه‌کار ارائه‌شده، نکته‌ی مهم قابل اشاره‌ی وجود دارد. در موج شکن‌های سکویی ایسلندی، تراز سکو از سطح ایستایی نباید از یک حد نهایی بالاتر باشد. چون برای مقادیر بالاتر از این حد نهایی، از تأثیر بالا بردن تراز سکو روی کاهش فرسایش عرض سکو کاسته شده و در واقع تأثیر چندانی ندارد (Sigurdarson and Van Der Meer 2013). در نهایت می‌توان گفت باید برای طراحی و اجرای موج شکن‌های سکویی ایسلندی یک مقدار بهینه برای تراز سکو در نظر گرفته شود که به‌طور هم‌زمان پایداری سازه برقرار شده و حجم مصالح به حداقل مقدار ممکن برسد.

نتایج مدل‌سازی آزمایشگاهی (Motalebi 2010) نشان داده است که تأثیر افزایش قطر اسمی سنگ‌دانه در کاهش فرسایش عرض سازه از تراز سکو به مراتب بیشتر است. لذا در صورت دسترسی به معادن دارای سنگ‌های با قطر اسمی بالاتر، می‌توان در اجرای سازه به جای افزایش تراز سکو از سنگ‌های بزرگ‌تر استفاده کرده و تراز سکو از سطح ایستایی را کاهش داد. در



شکل ۹- نمودار تغییرات درصد عرض فرسایش یافته نسبت به  $H_0/\sqrt{T_0}$  در شرایط تغییر عمق آب و تراز سکو

Fig. 9 Percentage of berm recession in different  $H_0/\sqrt{T_0}$  for various water depths and berm elevations

۳- در شرایط موج یکسان، کاهش عمق آب، افزایش عرض سکو و افزایش تراز سکو منجر به کاهش میزان فرسایش سکو می‌شود. در این بین، تأثیر نسبی افزایش عرض سکو روی فرسایش سکوی موج‌شکن سکویی بیشتر است و اثر پارامتر تراز سکو نسبت به سایر پارامترها، به مراتب کمتر است. به گونه‌ای که ۲۰٪ افزایش عرض سکوی موج‌شکن در مقایسه با ۲۰٪ کاهش عمق آب، حدود ۱۵٪ و در مقایسه با ۴۵٪ افزایش تراز سکو حدود ۱۷٪ تأثیر بیشتری در کاهش فرسایش مقطع سازه دارد.

۴- از آنجایی که با افزایش تراز سکو، عرض اولیه‌ی موردنیاز سکو کاهش می‌یابد و به تبع آن اجرای سازه ساده‌تر و هزینه‌های اجرایی آن کمتر می‌شود، ممکن است در شرایطی که تأمین سنگ با اندازه مناسب ممکن نباشد، افزایش تراز سکو بر افزایش عرض سکو اولویت یابد.

#### ۴- نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با استفاده از مدل سازی آزمایشگاهی باهدف مقایسه تأثیر پارامترهای عرض سکو، تراز سکو از سطح ایستابی و عمق آب پای سازه بر پایداری هیدرولیکی و فرسایش بدنه موج‌شکن‌های سکویی انجام شد. نتایج حاصل شده از این پژوهش به شرح زیر است:

۱- با برخورد ۳۰۰۰ موج به سازه موج شکن سکویی، حدود ۹۲٪ تغییر شکل مربوط به برخورد ۶۰۰۰ موج رخ می‌دهد.

۲- با افزایش عمق آب، عرض فرسایش یافته سکو و شار مومنتوم ماکزیمم در شرایط آب متوسط و کم عمق افزایش می‌یابد. ولیکن در شرایط آب عمیق تأثیر چندانی در عرض فرسایش یافته و شار مومنتوم ماکزیمم ندارد.

#### References

- Andersen T. L. and Burcharth, H. F. (2010). A new formula for front slope recession of berm breakwaters. Coastal Eng., 57(4), 359-374.
- Andersen T. L., Van der Meer J. W., Burcharth H. F. and Sigurdarson S. (2012). Stability of hardly reshaping berm breakwaters. Coastal Eng. Proceed., 1(33), 17.
- Andersen T. L., Moghim M. N. and Burcharth H. F. (2014). Revised recession of reshaping berm breakwaters. Coastal Eng. Proceed., 1(34), 53.
- Hall K. R. and Kao J. S. (1991). A study of the stability of dynamically stable

- breakwaters. *Can. J. Civil Eng.*, 18(6), 916-925.
- Karami Matin A A., Shafieefar M. Akbari H. (2019). Experimental study effects of irregular wave parameters on berm recession of deformed profile berm breakwaters. *J. Marine Eng.*, 14 (28), 77-90 [In Persian].
- Motalebi A. (2010). Experimental study of investigating the influence of armor stone size in stability of berm breakwaters. PhD dissertation, Tarbiat modares University, Tehran, Iran [In Persian].
- Moghim M. N. Shafieefar M. Tørum, A. and Chegini V. (2011). A new formula for the sea state and structural parameters influencing the stability of homogeneous reshaping berm breakwaters. *Coastal Eng.*, 58(8), 706-721.
- Moghim M. N. and Alizadeh F. (2014). Hydraulic stability of reshaping berm breakwaters using the wave momentum flux parameter. *Coastal Eng.*, 83, 56-64.
- Moghim M. N. and Andersen T. L. (2015). Armor stability of hardly (or partly) reshaping berm breakwaters. *Coastal Eng.*, 104, 1-12.
- Lykke Andersen T. (2006). Hydraulic response of rubble mound breakwaters: scale effects-berm breakwaters. Aalborg University report 27, ISSN 0909-4296, Dissertation.
- PIANC, WG40. State-of-the-Art of Designing and Constructing Berm Breakwaters. Report of working group 40.2003.
- Sayao O. J. (1998). On the profile reshaping of berm breakwaters. *Coastal Struct.*, 99, 224-265.
- Shekari M. R. and Shafieefar M. (2013). An experimental study on the reshaping of berm breakwaters under irregular wave attacks. *Appl. Ocean Res.*, 42, 16-23.
- Sigurdarson S. and Van der Meer J. W. (2013). Design of berm breakwaters, recession, overtopping and reflection. *Proceedings of Coasts, Marine Structures and Breakwaters*. 18-20.
- Tørum A. Kuhnen F. & Menze, A. (2003). On berm breakwaters. stability, scour, overtopping. *Coastal Eng.*, 49(3), 209-238.
- Van der Meer J. W. (1988). Rock armored slopes and gravel beaches under wave attack. PhD dissertation, Delft University of Technology, Netherlands.

# Effect Comparison of Environmental and Structural Parameters Affecting on Deformation and Hydraulic Stability of Reshaping Berm Breakwaters

Amir Arsalan Karami Matin<sup>1</sup>, Hassan Akbari<sup>2\*</sup> and Mehdi Shafieefar<sup>3</sup>

<sup>1</sup>M.Sc., Department of Civil Engineering, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

<sup>2</sup>Assist. Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Health, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

<sup>3</sup>Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

\*Corresponding author: [akbari.h@modares.ac.ir](mailto:akbari.h@modares.ac.ir)

## Original Paper

Received: July 27, 2019

Revised: October 09, 2019

Accepted: October 22, 2019

## Abstract

Berm breakwaters are reshaping rubble mound breakwaters, which as a result of impact with wave attacks, the seaside profile of these breakwaters reach a stable condition after erosion and reshaping. Berm recession (Rec) is one of the most important parameters that should be controlled for designing a stable berm breakwater. Failure of a berm breakwater is typically defined when the berm recession exceeds the initial berm width. Based on experimental tests, the effect of sea state and structural parameters on berm recession was investigated in this study. The berm recession was recorded under different number of waves through performing 34 experiments. The results showed that a berm breakwater experiences more than approximately 90% of its final recession during exposing to the first 3000 waves. In addition, rising the berm elevation had less effect on reducing the berm recession in comparison with both increasing the berm width and decreasing the water depth. On the other hand, increasing the berm width was the most effective parameter in controlling the berm recession. So that, 20% increase in the berm width had a greater effect on decreasing the berm recession, than 45% increase in the berm elevation. By the way, especially in the absence of suitable stone materials, increasing the berm elevation can be yet a good alternative in order to design a stable structure with simple construction activities.

**Key word:** Berm Breakwaters; Berm Elevation; Berm Recession; Berm Width; Stability.