### مطالعه آزمایشگاهی تاثیر تاریخچه بارگذاری امواج نامنظم بر روند فرسایش نیمرخ موجشکنهای سکویی شکل پذیر تغییر شکل یافته

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

<sup>۱</sup> دانش آموخته کارشناسی ارشد سازههای دریایی، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست دانشگاه تربیت مدرس؛ a.karamimatin@modares.ac.ir ۲ استاد سازههای دریایی، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست دانشگاه تربیت مدرس؛ shafiee@modares.ac.ir ۳ استادیار سازههای دریایی، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست دانشگاه تربیت مدرس؛ Akbari.h@modares.ac.ir

چکیدہ	اطلاعات مقاله
موجشکنهای سکویی دستهای از موجشکنهای شکلپذیر هستند که بر اثر برخورد امواج، نیمرخ سمت دریای آنها دچار تغییر شکل شده و نهایتا شکل پایداری به خود می گیرند. یکی از مهم ترین معیارهای کنترل پایداری این موجشکن ها،	<i>تاریخچه مقاله:</i> تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۸/۱۵
عرض فرسایش یافته سکوی سازه است. در اغلب مطالعات، عرض فرسایش یافته تحت اثر یک موج طرح مشخص و بر مبنای فرض عدم تغییر شکل اولیه موجشکن حاصل میگردد. حال اینکه در شرایط واقعی ممکن است موجشکن پیش	تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۱۱/۲۸
از اعمال موج طرح، موجهایی با دوره بازگشتهای کمتر را نیز تجربه کرده باشد که در میزان تغییر شکل نهایی آن موثر	کلمات کلیدی:
باشد. از اینرو تحقیق حاضر با استفاده از مدل های آزمایشگاهی دو بعدی در فلوم موج آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه	موجشكن سكويي شكل پذير
تربيت مدرس با هدف بررسي تاثير شرايط امواج بر ميزان فرسايش نيمرخ تغيير شكل يافته سازه انجام شده و نتايج آن	نيمرخ تغيير شكل يافته
با آزمایشهای مبتنی بر فرض عدم تغییر شکل نیمرخ اولیه مقایسه شده است. در مجموع ۳۰ آزمایش در این تحقیق	امواج نامنظم
انجام شده است که امواج برخوردی به سازه از نوع امواج نامنظم و طیف انرژی استفاده شده، طیف JONSWAP با γ	مدل آزمایشگاهی
برابر ۳/۳ بوده است. همچنین در تحقیق حاضر از قطر اسمی سنگدانه آرمور ۲ سانتی متر و ضریب دانه بندی ۱/۶	عرض فرسایش یافته سکو
استفاده شده است. از نتایج مهم این دسته از آزمایشها میتوان به این امر اشاره نمود که در شرایط محیطی و سازهای	
آزمایشهای تحقیق حاضر، در موجشکنهای سکویی پایدار استاتیکی و پایدار دینامیکی، هر چه ترکیب ارتفاع و پریود	
موج بزرگتر باشد، تاثیر امواج برخوردی قبلی در ایجاد تغییر شکل روی مقطع تغییر شکل یافته کمتر میشود.	

# **Experimental Study Effects of Irregular Wave Parameters on Berm Recession of deformed profile Berm Breakwaters**

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

<sup>1</sup> M.Sc. of Civil Engineering, Department of Civil and Environmental Eng., Tarbiat Modares University <sup>2</sup>Professor of Civil Engineering, Department of Civil and Environmental Eng., Tarbiat Modares University <sup>3</sup>Assistant Professor of Civil Engineering, Department of Civil and Environmental Eng., Tarbiat Modares University

#### ARTICLE INFO

ABSIKA

Article History: Received: 6 Nov. 2018 Accepted: 17 Feb. 2019

Keywords: Reshaping Berm Breakwater Deformed profile Irregular Waves Experimental Modeling Berm Recession

#### ABSTRACT

Berm breakwater is a type of reshaping rubble mound breakwaters that its seaside profile can be reshaped under severe wave attack. The final berm recession is an important criterion to check the berm width as well as the stability of these breakwaters. Berm recession due to a design wave is usually determined by means of empirical equations derived from experiments. Initial sections with no recession have been assumed in most of these experiments. However, in a real condition, a berm breakwater may experience many of waves before experiencing a design wave condition. The wave history and possible recessions before a stormy condition may affect the final reshaped profile. This subject is therefore investigated in the present study by means of performing 2D tests in the hydraulics laboratory at Tarbiat Modares University. In addition, the effects of wave parameters on the hydrodynamic response of berm breakwaters are evaluated performing 30 tests in the wave flume. In all experiments, irregular waves have been generated based on JONSWAP spectrum wave with  $\gamma$  factor of 3.3 and the median stone diameter and gradation are selected as 2 cm & 1.6 respectively. Based on the measurements, the berm recession (in both statically and dynamically stable berm breakwaters) increases by increasing the wave height and wave period. In addition, once the design wave height rises and exceeds a threshold level, the impact of previous waves on the final reshaped profile will be decreased.

۱ – مقدمه

معمولا موجشکن بر اساس عدد بدون بعدی به نام عدد پایداری (H<sub>0</sub>) دسته بندی می شوند که به شکل زیر تعریف می شود [۲]:

$$H_0 = \frac{H_s}{\Delta D_{n50}} \tag{1}$$

که در آن  $H_s$  ارتفاع موج مشخصه بر اساس تحلیل فرکانسی (در دوردست) (m)،  $\Delta = \Delta_s$  مقاوری نسبی قطعات آرمور است که به صورت 1 –  $\frac{\rho_a}{\rho_w} = \Delta$  تعریف میشود که در آن  $\rho_a = \beta_a$  چگالی اشباع با صورت 1 –  $\frac{\rho_a}{\rho_w}$  و  $\frac{\rho_a}{m^3}$  و  $\frac{\rho_a}{m^3}$  آب ( $\frac{kg}{m^3}$ ) است.  $D_{n50}$  قطر اسمی سنگدانههای آرمور (m) است. از آنجا که پریود موج در اسمی سنگدانههای آرمور (m) است. از آنجا که پریود موج در پایداری موج شکنهای سکویی تاثیر به سزایی داشته و تاثیر این پارامتر در عدد پایداری در نظر گرفته نشده است، لذا فن در میر [7] پارامتر بدون بعد  $H_0$  که شاخص پایداری نامیده میشود و اثر پریود موج را نیز در نظر می گیرد، به صورت رابطه (۲) ارایه نموده است:

$$H_0 T_0 = \frac{H_s}{\Delta D_{n50}} \times T_m \sqrt{\frac{g}{D_{n50}}}$$
(7)

که در آن T<sub>0</sub> پارامتر بدون بعد شده پریود موج، T<sub>m</sub> پریود میانگین موج و g شتاب ثقل است. پارامتر  $H_0T_0$  توسط فن در میر [۲] با مفهوم این که اثر ارتفاع و پریود موج روی سازه دارای مرتبه یکسان هستند، ارایه گردیده است. برای ترکیب پارامترهای ارتفاع و پریود موج در سازههای شکل پذیر از پارامترهایی مثل تیزی موج (Som) و پارامتر H<sub>0</sub>T<sub>0</sub> (Stability Index) می توان استفاده کرد که پارامتر اول با در نظر گرفتن نسبت مستقیم ارتفاع موج و نسبت معکوس پریود موج در قالب طول موج، تاثیر احتمالی پریود را در نظر گرفته و پارامتر دوم با تاثیر مستقیم ارتفاع و پریود موج، بحث انرژی وارده از سوی موج را مورد بررسی قرار داده است. طبق بررسیهای صورت  $(H_0\sqrt{T_0})$  گرفته توسط مقیم و همکاران پارامتر بدون بعد جدیدی ( معرفی شده است. مقیم و همکاران پارامتر  $H_0\sqrt{T_0}$  را برای لحاظ کردن مناسب اثر توام پارامتر ارتفاع و پریود امواج در موجشکنهای توده سنگی شکل پذیر پیشنهاد نمودند. از این پارامتر می توان نتیجه گرفت که اثر ارتفاع امواج یک مرتبه بیشتر از پریود موج است. همچنین با به کارگیری این پارامتر جدید، شاخصهای ارزیابی مناسبی برای نتایج به دست آمده در برابر دادههای آزمایشگاهی مقیم و همکاران[۳] و نتایج تحقیق لیک اندرسن [۱] به دست آمده است. در موجشکنها از متغیرهای مختلفی برای توصیف رفتار سازه استفاده می شود. در سازههای پایدار ایستا، بررسی رفتار سازه و توصیف آن با معيار آسيب انجام مىشود كه اين معيار ممكن است جابه جايى دیواره تاج سازه یا تعداد سنگهای جابهجا شده باشد. اما در سازههای پایدار دینامیکی مانند موجشکنهای سکویی شکل پذیر از معیارهای متفاوتی نسبت به سازههای پایدار ایستا مانند نیمرخ تغییر شکل يافته، عرض فرسايش يافته سكو (Rec)، طول ينجه تغيير يافته ( $\Delta R$ ) و عمق فرسایش یافته (  $h_f$  ) برای توصیف رفتار سازه استفاده ( می گردد. در بین پارامترهای گفته شده، عرض فرسایش یافته سکو مهم ترین پارامتر برای بررسی پایداری سازه به شمار میرود. اگر مقدار فرسایش سکو از عرض موجود بزرگتر باشد(Rec> B )، خرابی در سازه اتفاق میافتد. به همین دلیل معیار کنترل کننده پایداری این سازهها فرسایش عرض سکو بوده و تخمین فرسایش عرض سکوی موجشکن سکویی از اهمیت بالایی برخوردار است. شکل ۱ پارامترهای مورد استفاده در توصیف رفتار موجشکنهای سکویی شکل یذیر را نشان میدهد [۴].



شکل ۱- نمایش پارامترهای مختلف مورد استفاده در توصیف رفتار موج شکن سکویی [۴]

محققین مختلفی تا کنون روی تغییر شکل و پایداری موج شکنهای سکویی شکل پذیر تحقیق کرده اند و روابط تجربی مختلفی برای محاسبه فرسایش عرض سکوی موجشکن سکویی ارایه نموده اند. از تحقیقات این پژوهشگران میتوان به مقیم و همکاران[۳]، هال و کائو[۵]، فن در میر [۶]، لایسو و داسکالوف [۷]، سیگوردارسون و همکاران[۸]، شکاری و شفیعیفر[۹] ، سیگوردارسون و فن درمیر[۱۰] و مقیم و علیزاده [۱۱] اشاره نمود. لازم به ذکر است که در تحقیقاتی که تاکنون روی فرسایش موجشکنهای سکویی صورت گرفته است (مانند مواردی که اشاره شد)، مقطع اولیه مدل موجشکن بدون تغییر شکل و فرسایش بوده و عرض فرسایش یافته سکوی سازه با فرض عدم تغییر شکل مقطع اندازه گیری شده است. در حالی که در نمونه ی اصلی (پروتوتیپ) ممکن است سازه، قبل از موجهای با دوره بازگشت طولانی، موجهایی با دوره بازگشت کوتاهتر تجربه کرده ( در نیمرخ سازه تحت تاثیر امواج با دوره بازگشت کوتاهتر تغییرشکل هایی رخ داده باشد) و در واقع ادامه تغییرشکل نیمرخ سازه با شرایط دریایی متفاوتی روبرو شده باشد.

هال و کائو[۵] با انجام آزمایشهایی روی موجشکن سکویی همگن، تاثیر سنگهای گردگوشه و ضریب دانه بندی لایه آرمور را روی عرض فرسایش یافته مورد مطالعه قرار دادند. یکی از نتایج تحقیقات این دو محقق این بود که با افزایش ضریب دانه بندی آرمور و درصد سنگهای گردگوشه، میزان فرسایش عرض سکو افزایش می یابد.

فن در میر [۶] با انجام تحقیقات آزمایشگاهی به بررسی تاثیر قطر اسمی سنگ آرمور روی فرسایش عرض موجشکن سکویی پرداخت. در این آزمایشها ۴ قطر متفاوت برای سنگدانه ها درنظر گرفت و مشاهده نمود که با افزایش قطر اسمی سنگدانه های آرمور، مقدار فرسایش عرض موجشکن کاهش می یابد.

لایسو و داسکالوف[۷] مطالعه آزمایشگاهی روی نیمرخ فرسایش یافته موجشکن سکویی همگن با ضرایب دانه بندی مختلف آرمور انجام دادند و مشاهده نمودند که دانه بندی آرمور تاثیر قابل توجهی در پایداری و تغییر شکل سکوی موجشکن سکویی دارد. طبق نتایج این تحقیق، کمترین مقدار فرسایش عرض سکو در ضریب دانه بندی ۱/۲ و بیشترین آن در ضریب دانه بندی ۲/۴۶ اتفاق افتاده است. از دیگر نتایج مهم این مطالعه، این بوده است که در محدوده ضریب

دانه بندی بین ۲/۴۶ تا ۴/۴، شیب تغییرات عرض فرسایش یافته سکو کاهش می یابد.

سیگوردارسون و همکاران[۸] با انجام مطالعات آزمایشگاهی روی موجشکن سکویی ایسلندی، رابطهای برای تخمین فرسایش عرض سکو پیشنهاد نمودند. نتایج این تحقیق نشان دهنده تاثیر بسیار کم ضریب دانه بندی آرمور و عمق آب روی فرسایش عرض سکو است. از محدودیت های این تحقیق میتوان به عدم درنظر گرفتن تعدادی از پارامترهای محیطی وسازهای موثر در پایداری موجشکن سکویی اشاره نمود.

مقیم و همکاران[۳] با انجام مطالعات آزمایشگاهی روی موجشکنهای سکویی شکل پذیر دو هدف را در تحقیق خود دنبال نمودند. یکی از اهداف این تحقیق، بررسی اثرات ارتفاع و تعداد امواج، پریود امواج، عمق آب، عرض سکو و تراز سکو از سطح ایستابی روی فرسایش عرض موجشکن سکویی و هدف دیگر مطالعه پدیده تغییرشکل موجشکن سکویی شکل پذیر و تحلیل مکانیزم این سازه قبل و بعد از تغییر شکل و شناخت جریانهای ایجاد شده در اثر اندرکنش موج و سازه بوده است.

شکاری و شفیعیفر [۹] در یک تحقیق آزمایشگاهی تاثیر پارامترهای مختلف محیطی و سازهای بر پایداری موجشکن سکویی شکل پذیر را بررسی نمودند. از نتایج مهم این آزمایشها میتوان به تاثیر پارامتر عرض سکوی موجشکن سکویی در دانه بندیهای متنوع در کاهش میزان فرسایش عرض سکوی موجشکن است. همچنین با استفاده از مشاهدههای به دست آمده از این آزمایشها، پارامترهای کلیدی نیمرخ تغییرشکل یافته سمت دریا شامل ارتفاع و طول پله ناحیه ترسیب شده، عمق نقطه تقاطع نیمرخهای اولیه و تغییرشکل یافته و ارتفاع انتقال بررسی شدهاند.

لیک اندرسن و بورخارد[۱۲] آزمایشهایی روی مدل موجشکنهای سکویی همگن انجام دادند و بر اساس پارامترهای مهمی که برای توصیف تغییر شکل به کار میروند، یک رابطه نیمه تجربی ارایه نمودند. این رابطه با تعدادی از دادههای آزمایشگاهی سازههای پایدار استاتیکی و دینامیکی کالیبره و صحت سنجی شد.

مطلبی[۱۳] با انجام مطالعه آزمایشگاهی به بررسی اثر قطر اسمی سنگدانه های آرمور در پایداری موجشکنهای سکویی پرداخته است. نتایج نشان داد که عرض سکو یکی از عوامل تاثیرگذار در فرسایش عرض به شمار میرود و تقریبا همان اثر قطر اسمی سنگدانه را داشته و می توان با کاهش ۲۰٪ در قطر اسمی و افزایش ۲۰٪ در عرض سکو همان درصد فرسایش را از سازه انتظار داشت

لیک اندرسن و همکاران[۱۴] رابطهای که توسط لیک اندرسن و بورخارد[۱۲] ارایه شده بود، با تغییرات کمی اصلاح نمودند و رابطه جدید بر اساس پارامترهای سازهای و محیطی مختلف از جمله ضریب

دانه بندی، تراز سکو از سطح ایستابی، پارمتر پایداری، عمق آب، تعداد امواج، جهت برخورد موج و زاویه شیب جلوی سازه است. مقیم و لیک اندرسن[۱۵] با استفاده از دادههای آزمایشگاهی لیک اندرسن[۱] به بررسی تاثیر پارامترهای محیطی و سازهای بر پایداری موجشکنهای سکویی سخت شکلپذیر پرداختند و برای تخمین سطح فرسایش یافته سازه نسبت به نیمرخ اولیه، یک فرمول تجربی جدید بر اساس حداکثر شار تکانه موج برخوردی به سازه ارایه 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.

بر رحت از رابط بین نیروی بوی با عدا غر ساز علی بری بست. مروری بر پژوهشهای گذشته نشان می دهد که مطالعاتی که در زمینه فرسایش موجشکنهای سکویی صورت گرفته، تحت اثر یک موج طرح مشخص و با فرض عدم تغییر شکل اولیه سازه بوده است؛ در حالی که ممکن است در نمونههای اصلی، قبل از موج طرح، سازه موجشکن موجهایی با دوره بازگشت کوتاهتر (شرایط امواج متفاوت) را تجربه کرده باشد که این مسئله میتواند باعث تغییر در عرض فرسایش یافته و تغییر شکل نیمرخ موجشکنهای سکویی شود. لذا با توجه به اینکه تاکنون تحقیقی در این زمینه انجام نشده است، به نظر می رسد تحقیق و بررسی در این زمینه انجام نشده است، به انجام مطالعه آزمایشگاهی حاضر، مطالعه تاثیر شرایط امواج نامنظم (ارتفاع موج، پریود موج و مدت طوفان) بر فرسایش نیمرخ تغییر شکل یافته موج شکنهای سکویی شکل پذیر و مقایسه نتایج آن با فرسایش یافته موج شکنهای سکویی شکل پذیر و مقایسه نتایج آن با فرسایش سازه است.

۲- مدلسازی آزمایشگاهی و روش انجام کار

مطالعه آزمایشگاهی حاضر به بررسی پایداری و فرسایش نیمرخ تغییر شکل یافته موجشکنهای سکویی شکل پذیر با استفاده از مدل آزمایشگاهی دو بعدی پرداخته است. آزمایشها در فلوم موج فلوم دارای ۱۶ متر طول، یک متر عرض و یک متر عمق است. سامانه مولد موج آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه تربیت مدرس از نوع مولد موج آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه تربیت مدرس از نوع پیستونی است. این سامانه موج ساز پیستونی، توانایی تولید امواج منظم و نامنظم با طیفهای مختلف را دارد.در این تحقیق، امواج تابشی به مقطع سازه در تمام آزمایشها از نوع امواج نامنظم با طیف انرژی JONSWAP است. شکل (۲) تصویری شماتیک از فلوم موج را نمایش داده است. در طول کانال ۴ حسگر ارتفاع سنج نوع مقاومتی استفاده شده است که میتوانند تغییر ارتفاع سطح آب را

با فرکانس ۱۰ هرتز و دقت یک میلیمتر ثبت کنندکه چیدمان آنها بر اساس روش Mansard بوده است.

برای نصب تجهیزات روی فلوم یک جفت ریل ثابت در امتداد طولی و بالای فلوم قرار گرفته است و برای عملیات نیمرخ برداری از یک

تراز سنج استفاده شده است که بر روی ارابه قرار دارد و این ارابه قابلیت حرکت روی فلوم را دارد. برای ثبت و برداشت نیمرخ سازه قبل و بعد از برخورد امواج از تراز سنج نصب شده در بالای فلوم استفاده شده است (شکل ۳) برداشت نیمرخ سازه در یک مقطع که مقطع وسط مدل است انجام می گرفت. برداشت نیمرخ در فواصل ۱ سانتیمتر انجام شد تا بتوان جابه جایی سنگدانه ها را به خوبی برداشت نمود. در جدول ۱ مشخصات مصالح مورد استفاده در مدل آزمایشگاهی موجشکن سکویی ذکر شده و در شکل ۴ مقطعی از مدل سازه نمایش داده شده است.

## ۳- حدود تغییرات پارامترهای سازهای و محیطی و پارامترهای بدون بعد

مطالعه آزمایشگاهی تحقیق حاضر با هدف بررسی تاثیر شرایط امواج نامنظم بر پایداری نیمرخ تغییر شکل یافته موجشکن سکویی که شامل سه پارامتر تعداد امواج، ارتفاع موج و پریود موج است، انجام شده است. به منظور تعیین محدوده پریود و ارتفاع امواج باید به صورت هم زمان چند پارامتر را کنترل نمود. بنابراین باید در خصوص انتخاب محدوده ارتفاع و پریود امواج دقت و بررسی ویژهای داشت. یکی از مسایل قابل توجه در انتخاب پریود و ارتفاع امواج، محدوده تیزی امواج است. ارتفاع و پریود موج باید به گونهای درنظر گرفته شوند که تیزی امواج حاصل از ترکیب این دو پارامتر، در محدوده پیشنهادی فن در میر [۲]، یعنی  $0.07 < \mathrm{S}_{\mathrm{op}} < 0.07$  ، قرار بگیرند. اندرسن و بورخارد [۱۲] پیشنهاد کردند که ارتفاع و پریود امواج طوری تنظیم شوند که تیزی امواج در محدوده بین ۰/۰۱ تا ۰/۰۵۴ قرار بگیرد. مطلبی و شفیعی فر در مطالعه آزمایشگاهی خود ارتفاع امواج را در محدوده ۵/۷ تا ۹/۱ سانتی متر و بازه پریود امواج را در بازه ۱/۲۶ تا ۱/۳۷ ثانیه انتخاب نمودند. مقیم و همکاران نیز ارتفاع امواج را در بازه ۴/۵ تا ۱۰/۸سانتی متر و پریود امواج را در محدوده ۱/۲۷ تا ۱/۹۸ ثانیه انتخاب کردند.

ارتفاع امواج انتخابی بهتر است که در محدوده ۴ تا ۱۲ سانتی متر باشد؛ چون در امواج با کمتر از ۴ سانتی متر احتمال به وجود آمدن اثرات مقیاس وجود دارد و در امواج با ارتفاع زیاد در محل پاروی مولد موج به دلیل به وجود آمدن تغییر مکانهای بزرگ، آشفتگی در سطح امواج تولید شده ایجاد می شود و می تواند داده های برداشت شده را فاقد اعتبار نماید.

انتخاب این دو پارامتر باید به گونهای صورت بگیرد که در پریودهای موجود، با حداقل تعداد ارتفاع موج بتوان هم محدوده پیشنهادی تیزی موج و هم بیشترین  $H_0T_0$ ,  $H_0$  را پوشش داد. با توجه به آن که عدد پایداری برای موجشکن های سکویی شکل پذیر در محدوده بین ۱/۵ تا ۴ و 100 >  $H_0T_0$  که است، ارتفاع و پریود موج طوری در نظر گرفته شوند که علاوه بر پوشش دادن گستره

پیشنهادی تیزی موج، اعداد بدون بعد ذکر شده نیز پوشش داده شوند. البته به منظور حصول بازههای ذکر شده باید قطر اسمی سنگدانهها را نیز مد نظر قرار داد.

کاهش بیش از حد عمق آب منجر به شکست موج قبل از رسیدن به پای سازه شده و ممکن است حداکثر ارتفاع موج در نظر گرفته شده نتواند خود را به پای سازه برساند. به همین دلیل و همچنین در نظر گرفتن محدوده تیزی امواج، عمق آب ۲۵ سانتی متر انتخاب شد. حداکثر ارتفاع مشخصه موج مدل سازی شده ۱۰/۱ سانتی متر است که با توجه به ضریب شکست (نسبت ارتفاع موج در حال شکست به عمق آب) حدود ۶٫۰ برای موج نامنظم، این موج در عمق ۲۵ سانتی متری، بصورت نشکسته است. لازم به توضیح است که به هرحال با توجه به نامنظم و تصادفی بودن امواج تولید شده، امکان شکل گیری امواجی بزرگتر از موج مشخصه و یا پروفیل های ناپایدار در سری امواج، و متعاقبا شکست موج بصورت مقطعی وجود دارد. از طرف امواج، و متعاقبا شکست موج بصورت مقطعی وجود دارد. از طرف ادکر است، احتمال شکست این امواج نیز کم تر خواهد بود. اذکر است، احتمال شکست این امواج نیز کم تر خواهد بود.

میر [۲] عدد رینولدز  $\operatorname{Re}=rac{D_{n50}\sqrt{\mathrm{gH_s}}}{v}$  (  $D_{n50}$ قطر اسمی مصالح آرمور است. است) در محدوده  $10^4 > \mathrm{Re} > 10^4$  در نظر گرفته شده است. در این رابطه، عبارت دوم در صورت کسر معرف سرعت جریان است.

اگر این رابطه برای شرایط محیطی و سازه ای صدق نماید، اثر لزجت به حداقل می سد. بر اساس تحقیقاتی که فن در میر [۲] انجام داد، برای عدد رینولدز در محدوده ذکر شده، اثرات مقیاس تقریبا بی اثر است و یا به حداقل می سد. همچنین ژنسن و کلینتینگ [۱۶] نتیجه گرفتند که اگر عدد رینولدز از ۲۰۰۰ بیشتر شود، اثرات مقیاس بی تاثیر است. در آزمایشهای انجام شده در این تحقیق، مقدار عدد رینولدز بین<sup>4</sup>01× 1.56 تا <sup>4</sup>01×2 قرار گرفته است. به همین دلیل در تحقیق آزمایشگاهی حاضر، اثرات مقیاس ناشی از لزجت قابل صرف نظر کردن است.

اگرچه امواج نامنظم بوده و لزوما از تئوری غیرخطی خاصی تبعیت نمی کنند، لیکن با فرض ارتفاع مشخصه موج، عدد اورسل نمی کنند، لیکن با فرض ارتفاع مشخصه موج، عدد اورسل (29.6)  $\frac{HL^2}{c^3} = \frac{HL^2}{c^3}$ ، تئوری استوکس بر موج منظم معادل تک فرکانسی حاکم است.  $\frac{d}{L_0}$ ، تئوری استوکس بر موج منظم معادل تک فرکانسی حاکم است. شود، در طی انتشار با توجه به پارامترهای هیدرودینامیکی با شرایط واقعی و غیرخطی تطبیق می یابد [۴]. لیکن بر اساس طیف موج، امواج نامنظم در آزمایشگاه در محل موج ساز تولید می شوند و طی انتشار تا پای سازه، سوج مواقعی تطبیق پیدا می کند و در واقع پایداری موج شکن تحت امواج غیر خطی نامنظم بررسی و مدل سازی شده است.



شکل ۲- تصویری شماتیک از فلوم موج آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه تربیت مدرس



شکل ۳- تصویری از دستگاه تراز سنج



شکل ۴- مقطعی از مدل آزمایشگاهی اجرا شده از موجشکن سکویی داخل فلوم موج

6			0, 1
لايه هسته	لايه فيلتر	لايه آرمور	مشخصه
•/••\X	•/• )	•/•٢	قطر اسمی سنگدانه [m]
ماسه شسته شده	١/٧۵	۱/۶	ضریب منحنی دانه بندی [-]
۱۲۰۰	۲۵۵۰	100.	جرم مخصوص [kg/m <sup>3</sup> ]

جدول ۱- مشخصات و ویژگیهای مصالح مورد استفاده در مدل آزمایشگاهی موجشکن سکویی

در جداول ۲ و ۳ حدود تغییرات پارامترهای با بعد و بدون بعد شده مورد استفاده در تحقیق آزمایشگاهی حاضر ارایه گردیده است.

#### ۴- بررسی و تحلیل نتایج آزمایشها

در این قسمت نخست به بررسی تاثیر پارامترهای تعداد امواج (مدت طوفان)، ارتفاع موج و پریود موج بر پایداری موجشکنهای سکویی پرداخته و سپس به مطالعه تاثیر شرایط امواج نامنظم بر فرسایش نیمرخ تغییر شکل یافته که شامل ارتفاع موج، پریود موج و مدت طوفان است، پرداخته خواهد شد و نتایج آن با آزمایشهای تغییر شکل مستقیم به دست آمده از نیمرخ اولیه (آزمایشهای اثر مدت طوفان، ارتفاع و پریود موج روی پایداری و تغییر شکل سازه) مقایسه شده است.

#### ۴-۱- تاثیر پارامتر تعداد امواج (مدت طوفان)

یکی از عواملی که تاثیر قابل توجهی بر پایداری موجشکنهای شکل پذیر دارد، مدت طوفان است. این عامل به صورت پارامتر بدون بعد شده تعداد امواج بیان شده است. اصولا فلسفه طراحی یک موجشکن شکل پذیر، تغییر شکل آن در اثر طوفان طرح به صورت یک نیمرخ 8 شکل و حفظ پایداری این نیمرخ پس از طوفان طرح است.

برای تعیین مدت زمان تعادل مقطع سازه شش آزمایش در یک شرایط ثابت ارتفاع و پریود موج انجام شده که نتایج این آزمایشها در شکل ۵ نشان داده شده است. تعداد امواج برخوردی به سازه بین ۵۰۰ تا ۶۰۰۰ انتخاب شده است. همانطور که در شکل ۵ مشاهده میشود با افزایش تعداد امواج برخوردی به سازه، میزان فرسایش عرض سکو افزایش یافته اما با گذشت زمان از سرعت آن کاسته شده و مقطع سازه در نهایت به یک تعادل نسبی میرسد که در آن نرخ

تغییر فرسایش بسیار کم میشود. نکته حائز اهمیت در اینجا این است که هیچگاه نمی توان ادعا نمود که پس از رسیدن به حالت تعادل، نرخ تغییرات فرسایش در سازه به صفر رسیده و دیگر تغییر شکل و فرسایش در سازه رخ نمی دهد. لذا هر چه تعداد امواج تابیده شده به سازه بیشتر شود، باز هم تغییرات محدودی در تغیر شکل سازه مشاهده خواهد شد. ملاکی که برای تعیین مدت زمان آزمایش سازه مشاهده خواهد شد. ملاکی که برای تعیین مدت زمان آزمایش تغییر شکل نهایی است. به این منظور مقطع سازه را تحت برخورد امواجی با تعداد بین ۵۰۰ تا ۲۰۰۰ 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 می یابد. سپس با توجه به عرض فرسایش یافته نهایی، تعداد امواجی که باعث ۹۰ درصد فرسایش و تغییر شکل نهایی شده، به عنوان مدت زمان تعادل مقطع سازه در نظر گرفته می شوند.

با توجه به شکل ۵ بیشترین تغییر شکل در ۵۰۰ موج اولیه اتفاق افتاده و میزان فرسایش عرض سکو تا ۳۰۰۰ موج افزایش یافته و پس از آن نرخ رشد فرسایش بین ۳۰۰۰ موج تا ۴۰۰۰ موج بسیار کاهش یافته و بین ۴۰۰۰ و ۶۰۰۰ موج، فرسایش عرض سکو اختلاف بسیار ناچیزی دارد. بنابراین با توجه به تفاوت بسیار کم فرسایش عرض سکو بین ۲۰۰۰ و ۶۰۰۰ موج، فرسایش ناشی از برخورد ۹۰۰۰ موج به عنوان حد نهایی تغییر شکل و فرسایش به اینکه در برخورد ۳۰۰۰ موج به مقطع سازه، تغییر شکل و فرسایش سازه به بیش از ۹۰ درصد حد نهایی( که همان ۶۰۰۰ موج است) می رسد، ۳۰۰۰ موج به عنوان مدت زمان تعادل در نظر گرفته شده است.

با توجه به شکل ۵، بیش از ۵۰ درصد تغییر شکل مقطع مدل موج شکن سکویی شکل پذیر در ۵۰۰ موج اول رخ داده است. پس از تغییر شکل مقطع سازه در ۵۰۰ موج اول، شیب مصالح سنگی نیمرخ موجشکن سکویی در روند امواج برخوردی بعدی، تغییر یافته و ملایم تر می گردد. این تغییر شیب به مرور زمان باعث می شود توده سنگی مصالح به سمت جلو حرکت نماید و در واقع مقطع فرسایش یافته، توده طویل تری برای جذب انرژی امواج برخوردی فراهم کند. این امر باعث می شود که زوال انرژی امواج بیشتر شده و در نهایت ضریب انعکاس سازه کاهش می یابد. در واقع ضریب انعکاس سازه در روند برخورد موج تغییر یافته و با افزایش تعداد امواج برخوردی کاهش می یابد. متوسط ضریب انعکاس اندازه گیری شده از مقطع در حال فرسایش، در آزمایش های تحقیق حاضر بین ۱۰ تا ۳۰ درصد بوده است.

شکل ۶ مقایسهای بین نیمرخهای تغییر شکل یافته تحت تاثیر تعداد امواج برخوردی مختلف برای یک ترکیب ثابت ارتفاع و پریود موج را نشان میدهد. در این شکل نیمرخهای تغییر شکل یافته موجشکن سکویی برای ۶ آزمایش که درآن تعداد امواج مختلف است، رسم شدهاند. نکتهای که از این شکل میتوان دریافت، این است که بیشترین میزان تغییر شکل در اوایل طوفان و برخورد ۵۰۰ موج ابتدایی اتفاق میافتد. بنابراین میتوان گفت ظرفیت فرسایش پذیری سازه در برخورد چند صد موج اول زیاد است.

#### ۴-۲- پارامتر ارتفاع موج

شکل ۷ مقدار عرض فرسایش یافته سکوی سازه را در ارتفاعهای مختلف با دو پریود اوجی ۱/۲۵ و ۱/۱ ثانیه نشان میدهد. در این آزمایشها عرض سکو ۲۵ سانتیمتر، ارتفاع سکو از سطح ایستابی ۹ سانتیمتر، عمق آب پای سازه ۲۵ سانتیمتر، قطر اسمی مصالح آرمور ۲ سانتیمتر و تعداد امواج برخوردی ۳۰۰۰ بوده است. نتایج شکل ۷ نشان دهندهی این است که ارتفاع موج برخورد کننده پارامتر بسیار موثری در پایداری موجشکنهای سکویی است. به طوری که در یک پریود ثابت با افزایش پارامتر ارتفاع موج، مقدار فرسایش عرض سکو افزایش مییابد. با ثابت ماندن پریود موج، هر چه ارتفاع موج برخوردی بزرگتر باشد، انرژی امواج که با توان دوم ارتفاع موج رابطه مستقیم داشته افزایش مییابد. لذا با افزایش انرژی موج که معرف قدرت و توانایی موج برای جابجایی سنگدانهها و تخریب سازه موجشکن است، مقدار عرض فرسایش یافته بیشتر میشود.

شکل ۸ نیمرخهای تغییر شکل یافته موجشکن سکویی با سه ارتفاع موج مختلف و یک پریود ثابت را نمایش میدهد. در این سه آزمایش پریود اوجی موج برابر ۱/۲۵ ثانیه است. با توجه به نیمرخهای ترسیم شده مشاهده میشود که ارتفاع موج پارامتر بسیار موثری در میزان تغییر شکل موجشکنهای سکویی است و با افزایش ارتفاع موج مقدار عرض فرسایش یافته سکو و مقدار مساحت فرسایش یافته افزایش می یابد.

محدوده تغييرات	نماد	پارامتر
۶/۱ تا ۱۰/۱ سانتیمتر	H <sub>s</sub>	ارتفاع موج
۱ تا ۱/۵ ثانیه	T <sub>p</sub>	پريود اوجي موج
۲۵ سانتیمتر	В	عرض اولیهی سکوی موجشکن
۲۵ سانتیمتر	d	عمق آب پای سازہ
۲ سانتیمتر	$D_{n50}$	قطر اسمی سنگدانه آرمور
۵۰۰ تا ۶۰۰۰	Ν	تعداد امواج
١:١/٢۵	-	شیب جلوی سازه در بالا و پایین سکو

#### جدول ۲- حدود تغییرات پارامترهای محیطی و سازهای مدل آزمایشگاهی موجشکن مورد مطالعه

جدول ۳- حدود تغییرات پارامترهای بدون بعد

حدود تغييرات	پارامتر
۳/۲۵ تا ۱/۹۷	H <sub>o</sub>
۲۶/۳۸ تا ۱۷/۴۴	T <sub>0</sub>
۸۵/۷۳ ت ۳۴/۳۵	H <sub>0</sub> T <sub>0</sub>
۰/۰۶۸ تا ۶۶۰	S <sub>op</sub>
۱/۵۶ تا ۲	Re(÷10000)

Downloaded from marine-eng.ir on 2025-07-06



شکل ۵- درصد فرسایش عرض سکو در هر تعداد موج نسبت به حالت نهایی برای یک ترکیب ثابت ارتفاع و پریود موج



#### ۴-۳- پارامتر پريود امواج

شکل ۹ مقدار عرض فرسایش یافته سکوی موجشکن سکویی برای ارتفاع و پریودهای مختلف امواج را نشان می دهد. در این آزمایشها عمق آب پای سازه ۲۵ سانتی متر، عرض سکوی سازه ۲۵ سانتی متر، تراز سکو از سطح ایستابی ۹ سانتی متر و تعداد امواج تابیده شده به سازه ۲۰۰۰ موج است. آنچه از شکل پیداست پریود موج پارامتر بسیار تاثیرگذاری در پایداری و تغییر شکل موجشکنهای سکویی است. با توجه به شکل ۹ میتوان دریافت که در یک ارتفاع ثابت موج، با افزایش پریود موج مقدار عرض فرسایش یافته سکو افزایش مییابد. با افزایش سریود موج در یک ارتفاع ثابت، انرژی موج برخوردی و طول موج افزایش مییابد. همچنین میتوان گفت که با افزایش پریود موج، نیروی ناشی از موج در مدت زمان طولانی تری به سازه وارد می شود و این مسئله باعث افزایش تغییر شکل و فرسایش سکو می شود.

ر یکی ۱۰ نیمرخهای تغییر شکل یافته موجشکن سکویی تحت اثر امواج با ارتفاع یکسان ۸ سانتیمتر و سه پریود اوجی مختلف را نشان میدهد. با توجه به نیمرخهای ترسیم شده مشاهده می گردد که پریود موج پارامتر بسیار تاثیر گذاری در میزان فرسایش و تغییر شکل سکوی موجشکن سکویی است و در یک ارتفاع ثابت موج با افزایش پریود موج مقدار فرسایش عرض سکو افزایش مییابد.

#### ۴-۴- تاثیر شرایط امواج روی فرسایش نیمرخ تغییر شکل یافته

در قسمتهای قبل تاثیر پارامترهای مختلف محیطی و سازهای بر پایداری و تغییر شکل نیمرخ موجشکنهای سکویی بررسی گردید. در این قسمت به منظور بررسی تاثیر شرایط امواج نامنظم بر فرسایش نیمرخ تغییر شکل یافته که شامل ارتفاع موج، پریود موج و مدت طوفان است، پرداخته خواهد شد. به عبارت دیگر در این دسته از آزمایشها پس از برخورد موج با یک ارتفاع و پریود مشخص و تعداد تغییر شکل نیمرخ با شرایط دریایی دیگر که دارای یک ارتفاع و پریود موج متفاوت و تعداد ۳۰۰۰ موج بوده است، به دست آمده است. ۹ آزمایش به منظور بررسی تاثیر شرایط امواج روی فرسایش نیمرخ تغییر شکل یافته سازه انجام شده و نتایج آن با آزمایشهای تغییر شکل مستقیم به دست آمده از اعمال موج به نیمرخ اولیه (آزمایشهای اثر ارتفاع و پریود موج روی تغییر شکل سازه) مقایسه

شکلهای ۱۱ و ۱۲ مقایسهی بین نیمرخ تغییر شکل یافته مستقیم از مقطع اولیه سازه و نیمرخهایی که موج با یک شرایط دریایی متفاوت بر مقطع تغییر شکل یافته تابیده شده است را نشان میدهد.

شکل ۱۱ مربوط به نیمرخهای موجشکنهای پایدار استاتیکی و شکل ۱۲ مربوط به نیمرخهای موجشکنهای  $(H_0T_0 < v \cdot)$ یایدار دینامیکی $(H_0T_0 > \gamma)$  است. برای انجام آزمایشها سه پريود اوجي ١، ١/٢٥ و ١/١ ثانيه و سه ارتفاع موج ٢/١، ٨ و ١٠/١ سانتی متر در نظر گرفته شده است. تعداد امواج در هر آزمایش ۳۰۰۰ موج، عمق آب پای سازه ۲۵ سانتیمتر، عرض سکو ۲۵ سانتیمتر، تراز سکو از سطح ایستابی آب ۹ سانتیمتر و قطر اسمی سنگدانهها برابر ۲ سانتیمتر بوده است. در نمودار ۱، -(0.061m, T=1s) (0.08m, T=1s) به این مفهوم است که ابتدا موجی با ارتفاع ۰/۰۶۱ سانتیمتر و پریود ۱ ثانیه برخورد نموده و سپس روی نیمرخ تغییر شکل یافته تحت اثر همین موج، موجی با ارتفاع ۰/۰۸ متر و پریود ۱ ثانیه به تعداد ۳۰۰۰ موج تابیده شده است. مفهوم (0.08m,T=1.25s)-(0.08m,T=1.25s) در نمودار ۲ به این صورت است که موجی به ارتفاع ۰/۰۶۱ متر و پریود ۱/۲۵ ثانیه به مقطع سازه برخورد نموده و سپس روی نیمرخ تغییر شکل یافته تحت اثر همین موج، موجی دیگر با ارتفاع ۰/۰۸ متر و پریود ۱/۲۵ ثانیه به تعداد ۳۰۰۰ موج برخورد کرده است. نمودارهای ۱ و ۲ در شکل ۱۱ نشان میدهند که در موجشکنهای پایدار استاتیکی، میزان فرسایش

مستقیم به دست آمده در اثر برخورد موج به مقطع اولیه سازه از فرسایش حالتی که موج روی نیمرخ تغییر شکل یافته تابیده شده است، به مراتب کمتر است.

در نمودار ۳ شکل ۱۲، -(0.08m ,T=1.25s)(0.061m, T=1.25s) (0.08m ,T=1.25s) (0.101m,T=1.25s) به این مفهوم است که ابتدا موجی با ارتفاع ۰/۰۶۱ سانتیمتر و پریود ۱/۲۵ ثانیه برخورد نموده و سپس روی نيمرخ تغيير شكل يافته تحت اثر همين موج، موجى با ارتفاع ١٠٨٨ متر و پريود ۱/۲۵ ثانيه به تعداد ۳۰۰۰ موج تابيده شده و پس از آن موجى با ارتفاع ١٠١٠ متر و پريود ١/٢٥ ثانيه به تعداد ٣٠٠٠ موج روی نیمرخ تغییر شکل یافته ای که تحت اثر ارتفاع ۰/۰۸ متر و پریود ۱/۲۵ ثانیه بوده است، برخورد کرده است. در واقع در این حالت به مقطع سازه ۹۰۰۰ موج تابیده شده است. در آزمایشهای مربوط به نمودارهای ۴ و۵ نیز ترتیب برخورد امواج از ارتفاع موج کم به زیاد است. با توجه به نیمرخهای شکل ۱۲ میتوان دریافت که در موجشكنهاى پايدار ديناميكى ميزان فرسايش مستقيم ايجاد شده در اثر برخورد موج به مقطع اولیه مدل موجشکن سکویی از فرسایش حالتی که موج روی نیمرخ تغییر شکل یافته تابیده شده است، به مراتب کمتر می باشد. مشاهده شد که این مسئله در موجشکنهای پایدار استاتیکی نیز صادق است.



شکل ۷- تاثیر ارتفاع موج بر عرض فرسایش یافته سکو برای دو پریود اوجی متفاوت



Downloaded from marine-eng.ir on 2025-07-06









شکل ۱۱– مقایسه نیمرخ تغییر شکل یافته از مقطع اولیه و نیمرخ حاصل از برخورد موج بر مقطع تغییر شکل یافته برای موجشکنهای پایدار استاتیکی

(0.08m,T=1s) به مقطع سازه تابیده شده است. در حالت دوم قبل از برخورد موج (0.101m,T=1.25s)، دو ترکیب موج (0.08m,T=1.25s) به سازه برخورد نموده است و این دو حالت با تغییر شکل مستقیم سازه تحت اثر برخورد موده است و این دو حالت با تغییر شکل مستقیم سازه تحت اثر برخورد می سازه برخورد موایش و این دو حالت با تغییر شکل مستقیم سازه تحت اثر برخورد موده است و این دو حالت با تغییر شکل مستقیم سازه تحت اثر برخورد موج (0.08m,T=1.25s) به سازه برخورد نموده است و این دو حالت با تغییر شکل مستقیم سازه تحت اثر برخورد موج (0.08m,T=1.25s) مستقیم سازه تحت اثر برخورد موج بای و این دو حالت با تغییر شکل مستقیم سازه تحت اثر برخورد موج بای حالت دوم با فرسایش مستقیم سازه کمتر از حالت اول سکو برای حالت دوم با فرسایش مستقیم سازه کمتر از حالت اول است. در واقع در موج شکنهای پایدار دینامیکی، نیمرخهایی که مواج قبلی برخوردی دارای  $H_0\sqrt{T_0}$  بیشتری هستند، فرسایش شکل ۱۴ نسبت بدون بعد فرسایش به دست آمده از تغییر شکل شکل از برخورد موج روی مقطع تغییر شکل یافته و تغییر شکل مستقیم سازه را نسبت به  $H_0\sqrt{T_0}$  نشان میده.

شکل ۱۳ تغییرات عرض فرسایش یافته بدون بعد شده را برای دو حالت تغییر شکل مستقیم سازه و تغییر شکل ناشی از برخورد موج حالت تغییر شکل مستقیم سازه و تغییر شکل ناشی از برخورد موج روی مقطع تغییر شکل یافته را نسبت به  $H_0\sqrt{T_0}$  در موج شکنهای پایدار استاتیکی (>  $H_0\sqrt{T_0}$  در موج شکنهای پایدار استاتیکی (>  $H_0\sqrt{T_0}$ ) با ۲۰ مشاهده می شود در موج شکنهای پایدار استاتیکی (>  $H_0\sqrt{T_0}$ ) با ۲۰ مشاهده می شود در موج شکنهای پایدار استاتیکی (>  $H_0\sqrt{T_0}$ ) با ۲۰ مشاهده می شود در موج شکنهای پایدار استاتیکی (>  $H_0\sqrt{T_0}$ ) با ۲۰ مشاهده می شود در موج شکنهای پایدار دینامیکی (14.5 ح  $H_0\sqrt{T_0}$ ) با افزایش  $\frac{15}{T_0}$  مقطع تغییر شکل ناشی از برخورد موج روی افزایش محل مستقیم سازه و تغییر شکل ناشی از برخورد موج روی استاتیکی نرخ کاهش فرسایش بیشتر است. در 15.07 =  $H_0\sqrt{T_0}$  در حوات در حالت اول قبل از برخورد موج دو در حالت اول قبل از برخورد موج (0.061m,T=1.258) و دو مرکیب موج (18.5m) و در  $H_0$ 



شکل ۱۲– مقایسه نیمرخ تغییر شکل یافته از مقطع اولیه و نیمرخ حاصل از برخورد موج بر مقطع تغییر شکل یافته برای موجشکنهای پایدار دینامیکی



شکل ۱۳– نسبت بدون بعد فرسایش به دست آمده از تغییر شکل ناشی از برخورد موج روی مقطع تغییر شکل یافته و تغییر شکل مستقیم سازه نسبت به H<sub>0</sub>\/T<sub>0</sub>



شکل ۱۴– نسبت بدون بعد فرسایش به دست آمده از تغییر شکل ناشی از برخورد موج روی مقطع تغییر شکل یافته و تغییر شکل مستقیم سازه نسبت به H<sub>0</sub>\/T<sub>0</sub>

سکو برای دو حالت ذکر شده، ۱۲ درصد کاهش یافته است. به عبارت دیگر می توان گفت در موجشکنهای پایدار استاتیکی و پایدار دینامیکی، هر چه ترکیب ارتفاع و پریود موج بزرگتر باشد ( هرچه $\sqrt{T_0}$  بزرگتر باشد)، تاثیر امواج برخوردی قبلی در ایجاد تغییر شکل روی مقطع تغییر شکل یافته کمتر می شود. نکته دیگری که می توان از شکل برداشت نمود این است که نسبت فرسایش عرض سکو برای بیشترین مقدار  $\sqrt{T_0}$  برابر ۱/۰۱ است که این تساوی سکو برای بیشترین مقدار  $\sqrt{T_0}$  برابر ۱/۰۱ است که این تساوی به این معنا است که در موج شکنهای پایدار دینامیکی برای بوده و تاریخچه زمانی موجهای قبلی تاثیر چندانی در عملکرد نهایی سازه نخواهد داشت. به بیان دیگر در این شرایط، مشخصه ارتفاع و پریود موج به گونهای است که تاثیر اعمال ۲۰۰۰ موج روی سازه در شکل ۱۴ فرسایش به دست آمده از تغییر شکل ناشی از برخورد موج روی مقطع تغییر شکل یافته با Rec<sub>2</sub> و فرسایش مستقیم به دست آمده با Rec<sub>1</sub> نمایش داده شده است. همانطور که در شکل دیده میشود در موجشکنهای پایدار استاتیکی و دینامیکی، با افزایش  $H_0\sqrt{T_0}$  اختلاف مقدار فرسایش عرض سکو برای دو حالت تغییر شکل مستقیم سازه و تغییر شکل ناشی از برخورد موج روی مقطع تغییر شکل یافته کم میشود. به گونهای که در موجشکنهای پایدار استاتیکی با ۱۲ درصد افزایش  $H_0\sqrt{T_0}$ ، اختلاف مقدار فرسایش عرض سکو برای دو حالت تغییر شکل مستقیم سازه و تغییر شکل ناشی از برخورد موج روی مقطع تغییر شکل یافته، تقریبا ۲۲ درصد کاهش یافته است. همچنین در موجشکنهای پایدار دینامیکی با حدود ۱۰ درصد افزایش  $H_0\sqrt{T_0}$ ، اختلاف مقدار

تغییر شکل نیافته با تاثیر اعمال این امواج روی سازه تغییر شکل یافته یکسان میباشد. دراین شرایط میتوان پیش بینی نمود که مدت طوفان تاثیر کمتری بر میزان فرسایش نهایی خواهد داشت. لازم به ذکر است که نتایج به دست آمده در تحقیق حاضر بر اساس شرایط محیطی و سازهای در نظر گرفته شده برای آزمایشهای صورت گرفته، دارای اعتبار بوده و قابل کاربرد است که به صورت زیر ارایه می گردد:

$$8.21 < H_0 \sqrt{T_0} < 17.77$$
  
 $500 < N < 6000$   
 $\frac{h_b}{D_{eve}} = 4.5$ 

$$\frac{D_{n50}}{D_{n50}} = 4.5 \tag{(7)}$$

$$\frac{d}{D_{n50}} = 12.5$$

$$\frac{B}{D_{n50}} = 12.5$$

۵- نتیجه گیری

مطالعه آزمایشگاهی تحقیق حاضر در فلوم موج با استفاده از مدل آزمایشگاهی دو بعدی به منظور بررسی تاثیر شرایط امواج نامنظم (شامل ارتفاع موج، پریود موج و مدت طوفان است) بر فرسایش نیمرخ تغییر شکل یافته موجشکنهای سکویی ، صورت گرفته است. نتایج حاصل شده از این تحقیق به شرح زیر است:

۱- ارتفاع موج، پریود موج و مدت طوفان عوامل بسیار تاثیرگذاری
 در پایداری موجشکنهای سکویی هستند و با افزایش هر سه پارامتر،
 میزان فرسایش عرض سکوی سازه زیاد می شود.

۲- موجشکنهای پایدار استاتیکی (14.5 >  $H_0\sqrt{T_0}$ ) و موجشکنهای پایدار دینامیکی (14.5 <  $H_0\sqrt{T_0}$ ) هرچه ترکیب موجشکنهای پایدار دینامیکی (14.5 <  $H_0\sqrt{T_0}$ ) هرچه ترکیب ارتفاع و پریود موج بزرگتر باشد، تاثیر امواج برخوردی قبلی در ایجاد تغییر شکل روی مقطع تغییر شکل یافته کاهش مییابد و در واقع مستقیم سازه و تغییر شکل ناشی از برخورد موج روی مقطع تغییر شکل شکل یافته کم میشود و در موجشکنهای پایدار استاتیکی نرخ مستقیم سازه و تغییر شکل ناشی از برخورد موج روی مقطع تغییر شکل مستقیم سازه و تغییر شکل ناشی از برخورد موج روی مقطع تغییر شکل ناشی از برخورد موج روی مقطع تغییر شکل یافته کم میشود و در موجشکنهای پایدار استاتیکی نرخ استاتیکی با ۲۱ درصد افزایش  $T_0\sqrt{T_0}$  ، اختلاف مقدار فرسایش عرض سکو برای دو حالت تغییر شکل استقیم سازه و تغییر شکل استایکی با ۲۱ درصد افزایش ته میرد می در موجشکنهای پایدار دینامیکی با ناشی از برخورد موج روی مقطع تغییر شکل یافته ، تقریبا ۲۲ درصد کاهش یافته است. همچنین در موجشکنهای پایدار دینامیکی با ناشی از درخورد موج روی مقطع تغییر شکل یافته مقدار فرسایش عرض کاهش یافته است. همچنین در موجشکنهای پایدار دینامیکی با ناشی از درصد افزایش  $T_0\sqrt{T_0}$  ، اختلاف مقدار فرسایش حدود ۱۰ درصد افزایش از  $H_0\sqrt{T_0}$  ، اختلاف مقدار فرسایش مرض کاهش یافته است. همچنین در موجشکنهای پایدار دینامیکی با ناشی از درخورد موج روی مقطع تغییر شکل مستقیم سازه و تغییر شکل می مورض در موجشکنهای پایدار دینامیکی با ناشی از درخورد موج روی مقطع تغییر شکل یافته ، تقریبا ۲۲ درصد کاهش یافته است. همچنین در موجشکنهای پایدار دینامیکی با درم در دو حالت ذکر شده، ۱۲ درصد کاهش یافته است.

۳- در موجشکنهای پایدار دینامیکی، نیمرخهایی که امواج قبلی برخوردی دارای H<sub>0</sub>√T<sub>0</sub> بیشتری هستند، فرسایش کمتری توسط امواج بزرگتر بعدی در آنها ایجاد میشود.

+ در موجشکنهای پایدار دینامیکی برای  $16 < H_0 \sqrt{T_0}$ ، مدت طوفان تاثیر کمتری در میزان فرسایش دارد؛ لذا تاثیر امواج برخوردی قبلی در ایجاد تغییر شکل روی مقطع تغییر شکل یافته ناچیز است .در این ترکیب موج، تغییر شکل نهایی سازه را میتوان با دقت خوبی با اعمال ۲۰۰۰ موج محاسبه نمود و نیازی به منظور نمودن تاریخچه تغییر شکل سازه نیست. از طرف دیگر به منظور محاسبه تغییر شکل یافته نهایی در شرایط  $16 > M_0 \sqrt{T_0}$  با دست این ترکیب موج، تغییر مود و نیازی به منظور نمودن تاریخچه با اعمال ۲۰۰۰ موج محاسبه نمود و نیازی به منظور نمودن تاریخچه سازه با دول سازه نیست. از طرف دیگر به منظور محاسبه تغییر شکل یافته نهایی در شرایط  $16 > M_0 \sqrt{T_0}$  با در این ترکیب مورد تا مقادیر تغییر شکل یافته انوا وایه منظور گردد تا مقادیر تغییر شکل، دور از واقع و در خلاف جهت اطمینان حاصل نشود.

8- مراجع

1- Lykke Andersen T. Hydraulic Response of Rubble Mound Breakwaters: scale effects-berm breakwaters. Aalborg University report 27, ISSN 0909-4296, Dissertation. 2006.

2-Van Der Meer JW. Rock slopes and gravel beaches under wave attack: Delft hydraulics; 1988.

3- Moghim MN, Shafieefar M, Tørum A, Chegini V. A new formula for the sea state and structural parameters influencing the stability of homogeneous reshaping berm breakwaters. Coastal Engineering. 2011 Aug 31;58(8):706-21.

4- PIANC MarCom WG 40, 2003. State-of-the-Art of Designing and Constructing BermBreakwaters. PIANC, Brussels.

5- Hall K, Kao JS. A study of the stability of dynamically stable breakwaters. Canadian Journal of Civil Engineering. 1991;18(6):916-25.

6- Van der Meer JW. Stability of the seaward slope of berm breakwaters. Coastal Engineering. 1992;16(2):205-34.

7- Lissev N, Daskalov K, editors. Berm type breakwater—an alternative solution for new east breakwater for Port of Burgas. Varna conference; 2000. 8- Sigurdarson S, Van Der Meer JW, Burcharth HF, Sørensen JD, editors. Optimum safety levels and design rules for the Icelandic-type berm breakwater. The International Conference of Coastal Structures; 2007.

9- Shekari MR, Shafieefar M. An experimental study on the reshaping of berm breakwaters under irregular wave attacks. Applied Ocean Research. 2013 Aug 31;42:16-23.

10- Sigurdarson S, Van der Meer JW. Design of berm breakwaters, recession, overtopping and reflection. Proceedings of Coasts, Marine Structures and Breakwaters. 2013:18-20.

11- Moghim MN, Alizadeh F. Hydraulic stability of reshaping berm breakwaters using the wave momentum flux parameter. Coastal Engineering. 2014 Jan 31;83:56-64.

Coastal Engineering Proceedings. 2014 Oct 28;1(34):53

15- Moghim MN, Andersen TL. Armor stability of hardly (or partly) reshaping berm breakwaters. Coastal Engineering. 2015 Oct 31;104:1-2.s

16- Jensen OJ, Klinting P. Evaluation of scale effects in hydraulic models by analysis of laminar and turbulent flows. Coastal engineering. 1983;7(4):319-29. 12- Andersen TL, Burcharth HF. A new formula for front slope recession of berm breakwaters. Coastal Engineering. 2010;57(4):359-74.

13- Motalebi A. Experimental study of investigating the influence of armor stone size in stability of berm breakwaters (Doctoral dissertation, Master thesis, Tarbiat modares University).

14- Andersen TL, Moghim MN, Burcharth HF. Revised recession of reshaping berm breakwaters.