



سازمان بنادر و دریانوردی به عنوان تنها مرجع حاکمیتی کشور در امور بندری، دریایی و کشتی رانی 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.





نهمین همایش بین المللی سواحل، بنادر و سازه های دریایی
ICOPMAS 2010
 10-8 آذر ماه (تهران)



بررسی تأثیر نحوه شکست موج بر جریان عبوری از روی موج شکن و تپه های دریایی مستغرق

یاور پاداشی ، کارشناس ارشد عمران-سازه های دریایی ، دانشگاه هرمزگان ، yavarpadashi86@gmail.com ،
 مجتبی تجزیه چی ، استادیار ، دانشگاه هرمزگان ، m.tajziehchi@hormozgan.ac.ir

کلید واژه: موج شکن مستغرق، تپه دریایی مستغرق، جریان ناشی از موج، شکست موج

مقدمه

امروزه موج شکن های مستغرق بطور فزاینده ای در نواحی ساحلی جهت محافظت از خطوط ساحلی در برابر فرسایش مورد استفاده قرار گرفته اند. کارکرد اصلی موج شکن های مستغرق در نواحی ساحلی، کاهش انرژی موج در اثر شکست موج و مستهلک نمودن انرژی آن پیش از رسیدن به ساحل همراه با حفظ منظره طبیعی ساحل می باشد. بهبود دانش موجود در مورد تأثیرات موج شکن های مستغرق روی امواج و جریان های دریایی سبب انجام محاسبات دقیق تر در زمینه های تعیین نحوه و میزان جابجایی رسوبات دریایی در حضور اینگونه سازه ها می شود. همچنین این سازه ها نقش مهمی در حفظ اکوسیستم منطقه و ایجاد محیطی مناسب و حفاظت شده برای جانداران و ماهی ها ایفا می کنند.

حفاظت از سواحل در برابر فرسایش همواره یکی از مسائل مهم و پیش روی مهندسان سواحل بوده است. این پدیده در شهرهای ساحلی مجاور دریا های بزرگ و همچنین در محدوده بنادر دارای اهمیت بسیاری می باشد. در انتخاب روش های متفاوت حفاظت از سواحل، شدت و جهت فرسایش عامل تعیین کننده است. بطوریکه در شرایطی که فرسایش ساحل عمدتاً در جهت عمود بر ساحل می باشد، آن دسته از روش های سازه ای که در آنها از سازه های موازی ساحل استفاده می شود (مانند انواع موج شکن ها)، نسبت به روش های مانند تغذیه ماسه ساحلی کارایی بیشتری خواهند داشت و در حفاظت از ساحل مفیدتر خواهند بود.

یکی از روش های سازه ای موج شکن های مستغرق می باشند. همانند موج شکن های سنتی دارای تاج نمایان، موج شکن مستغرق نیز نوعی موج شکن سنگریزه ای می باشد با این تفاوت که تراز تاج آن پایین تر از سطح متوسط آب (MWL) بوده و مهمترین مزیت آن حفظ چشم انداز طبیعی ساحل می باشد. عملکرد این سازه ها در حفاظت از ساحل به این ترتیب می باشد که امواج بلند (مرتفع) که عامل اصلی در انتقال رسوبات می باشند با رسیدن به موج شکن به دلیل کاهش عمق، اصطکاک کف و افزایش پارامتر تیزی موج خواهند شکست. شکست امواج باعث ایجاد آشفستگی شدید در سطح آب می شود و در نتیجه همین تولید آشفستگی، بخش زیادی از انرژی موج مستهلک می شود. در ادامه امواج کوتاه تری تشکیل می شوند که از روی موج شکن عبور خواهند کرد.

علاوه بر این موج شکن مستغرق همانند فیلتری عمل می کند که ارتفاع امواج عبوری از روی آن از مقدار مشخصی تجاوز نمی کند. بدین ترتیب بدون اینکه چشم انداز طبیعی ساحل تغییر کند شرایط بسیار مناسبی برای انجام فعالیت های دریایی همچون موج سواری، شنا، ماهیگیری و... فراهم می شود و در نهایت رشد صنعت گردشگری را نیز در پی خواهد داشت.

تأثیر موج شکن های مستغرق روی پروفیل ساحل بستگی به عبور موج از روی سازه و جریان ناشی از موج پشت سازه دارد. تعداد زیادی از روش های تجربی و همچنین مدل سازی های عددی و تحلیلی جهت تخمین میزان عبور امواج از روی موج شکن مستغرق توسط محققین مختلف صورت گرفته است. اما میزان تحقیقات انجام شده در مورد بررسی جریان ناشی از موج پشت این سازه ها بسیار کم بوده است.

Gourlay [2] چند آزمایش برای اندازه گیری خیزاب موج و جریان روی تپه های دریایی مستغرق انجام داد. او طی این مطالعات آزمایشگاهی مشاهده کرد که جریان ناشی از موج روی تپه های دریایی با افزایش ارتفاع موج برخوردی و پررنگی موج مشابه با آنچه برای خیزاب موج رخ می دهد، زیاد می شود. در این تحقیق وی تنها تپه دریایی با عرض تاج زیاد را مورد مطالعه قرار داد و تأثیر عرض تاج های کوتاه تر، زبری سطح و نفوذپذیری سازه در نظر گرفته نشد.

همچنین Symonds و همکاران [3] یک مدل تحلیلی برای جریان ناشی از موج روی تپه های دریایی کم عمق ارائه نمودند. آنها خیزاب موج و جریانهای در امتداد تپه را که بوسیله شکست موج روی وجه رو به دریای تپه تشکیل می شوند را به عنوان تابعی از ارتفاع موج برخوردی و عمق آب روی تپه دریایی در نظر گرفتند. آنها یک مدل تئوریک خطی تولید کردند که نشان می داد چگونه قدرت نسبی جریانها و خیزاب بستگی به هندسه تپه دارد.

در این تحقیق جریان ناشی از موج عبوری بر روی موج شکن های مستغرق بر اساس مدل تحلیلی Massel و Brinkman [1] مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است. مدل تحلیلی مذکور مورد بازنگری و با استفاده از داده های آزمایشگاهی ارائه شده توسط Gourlay [2] [صحت سنجی شده است. مدل تحلیلی مورد بحث برای تپه های دریایی با شیب های رو به دریای 1:30 تا 1:80 ارائه شده و در این تحقیق کاربرد مدل مذکور برای موج شکن های مستغرق با شیب وجه رو به دریای تندتر (1:1) مورد بررسی قرار می گیرد. بدست آوردن جریان عبوری با توجه به اینکه شکست در روی وجه شیب دار رو به دریای موج شکن یا بر روی تاج موج شکن حادث می شود، صورت گرفت. برای کدنویسی از نرم افزار Matlab استفاده شده است. ارزیابی ها نشان داد این مدل برای شیب های تند نیز مناسب است.

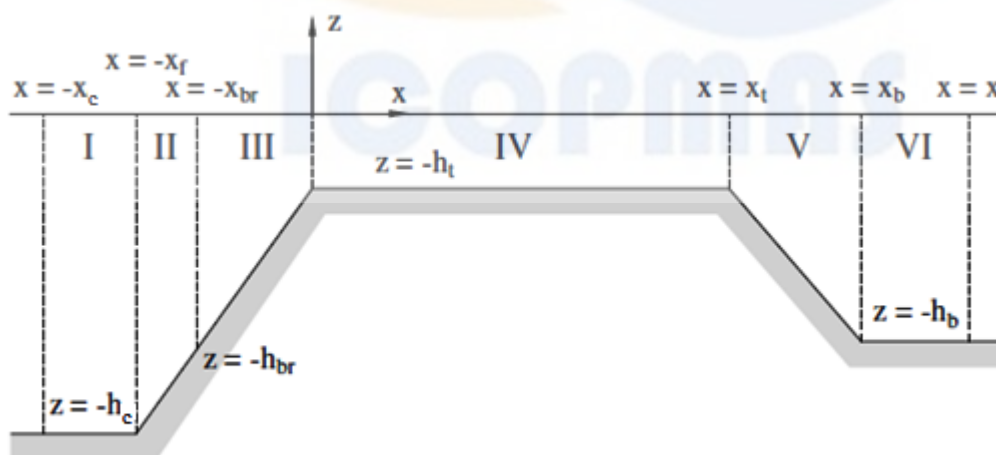
توصیف و تحلیل مدل

Massel و Brinkman [1] یک روش تحلیلی برای مدلسازی خیزاب و جریان روی تپه های مرجانی مستغرق ارائه کردند. آنها این مدل را برای شیب های 1:30 تا 1:80 در نظر گرفته بودند؛ آنها همچنین فرض کردند طول تپه مرجانی به اندازه کافی طولانی می باشد تا شرایط را برای شکست موج فراهم سازد. ارتفاع موج روی تپه مرجانی مقدار ثابتی به عنوان کسری از عمق آب روی تپه یا همان عمق استغراق در نظر گرفته شد. مدل، تأثیر هندسه تپه مرجانی بر روی خیزاب و جریان ناشی از موج را بیان می کرد. با این وجود، این مدل بوسیله داده های آزمایشگاهی یا میدانی مورد ارزیابی و صحت سنجی قرار نگرفته است.

این مدل روش تحلیلی برای محاسبه جریان ناشی از موج بر روی هندسه ساده تپه های دریایی است. در آن فرض شده است که رابطه عمق و فاصله در روی شیب موج شکن رابطه ای خطی است. ارتفاع خیزاب و سرعت جریان تعیین شده و وابستگی آنها به هندسه موج شکن (شامل شیب وجه رو به دریا، عرض تاج موج شکن) و نیروهای ناشی از امواج نشان داده شده است.

حرکت موج یکی از عوامل بسیار مهم دینامیکی در تعیین مشخصات هیدرودینامیکی، مورفولوژی و تغییرات بیولوژیکی تپه های مرجانی و موج شکن های مستغرق به شمار می رود. به طور عمومی سه پروسه در تعیین هیدرودینامیک تپه های دریایی و موج شکن های مستغرق به نامهای 1- شکست موج و اثر کم شدن عمق آب بر موج 2- خیزاب موج 3- جریان ناشی از موج¹ وجود دارد. بخصوص مطالعات آزمایشگاهی زیادی نشان داده است که جریانهای تولید شده به وسیله شکست موج که بر روی بالای تپه منتقل می شوند، باعث شستشوی لاگونهای پشت تپه های دریایی می شوند و تأثیر زیست محیطی دارند [1].

در شکل 1، یک موج شکن مستغرق دور از ساحل یا تپه مرجانی ساده شده در مقطع عرضی نشان داده شده است. فرض شده است که حتی در جذرهای بسیار پایین، موج شکن نمایان نیست و در آب مستغرق است. برای سادگی فرض شده که حرکت موج مانا² باشد [1].



شکل 1) نمودار تعاریف پارامترهای تپه دریایی مستغرق استفاده شده در مدل تئوریکی

¹ - Wave-induced flow

² - Stationary

h_t عمق آب روی تاج موج شکن و h_{br} عمق آب در هنگام شکست موج روی موج شکن است. در این مدل تحلیلی با استفاده از معادله پیوستگی و مومنتوم و فرضیات ساده کننده شامل مانا بودن حرکت موج، ناچیز بودن مؤلفه UdU/dx در معادله مومنتوم و ثابت بودن سرعت ذره سیال معادله خیزاب جریان به شکل معادله (1) ارائه شده است:

$$\frac{d^2 \zeta(x)}{dx^2} + R(x) \frac{d\zeta(x)}{dx} + Q(x) = 0 \quad (1)$$

که در آن $R(x)$ و $Q(x)$

$$R(x) = \frac{2}{h(x)} \frac{dh(x)}{dx} \quad (2)$$

$$Q(x) = -\frac{1}{h(x)} \left(\frac{dF(x)}{dx} + \frac{F(x)}{h(x)} \frac{dh(x)}{dx} \right)$$

(3)

$$F(x) = -\frac{1}{\rho g} \frac{dS_{xx}}{dx}$$

(4)

همچنین سرعت جریان به شکل معادله (5) ارائه شده است.

$$U(x) = \frac{F(x)}{r_*} - \frac{h(x)}{r_*} \frac{d\zeta(x)}{dx} \quad (5)$$

$$r_* = \frac{c_f |u_w|}{2g}$$

(6)

$$|u_w| = \frac{1}{2} [u(x = -x_{br}) + u(x = 0)] \quad (7)$$

$$u(x) = \frac{gkH}{2w} \frac{1}{\cosh(kh)} \quad (8)$$

k خیزاب روی موج شکن، S_{xx} مؤلفه عمودی تنش تشعشی، ρ چگالی سیال، g شتاب ثقل، Γ^* ضریب اصطکاک و c_f عامل اصطکاک مابین $0/2$ تا $0/1$ متغیر است، $x_{br} = -(h_{br} - h_t)/m$ فاصله نقطه شکست از لبه موج شکن، m شیب وجه رو به دریای موج شکن، u_w مقدار سرعت ذره سیال ناشی از کف که برای سادگی ثابت و مقدار آن برابر سرعت متوسط در نقطه شکست و لبه موج شکن فرض شده است، k عدد موج، $w = 2\pi/T$ فرکانس زاویه‌ای، T دوره تناوب موج و U سرعت جریان است [1].

با توجه به شکل 1، در این مدل معادله خیزاب و سرعت برای شش ناحیه به صورت تحلیلی محاسبه شده است. در ناحیه I عمق آب ثابت فرض شده است؛ در فقدان شکست موج و اصطکاک کف، گرادیان تنش تشعشی (ds_{xx}/dx) ناچیز می‌باشد. در ناحیه II گرادیان تنش تشعشی جزئی است. در روی شیب موج شکن (ناحیه III) و در روی تاج موج شکن (ناحیه IV) شکست موج و گرادیان تنش تشعشی وجود دارد. و با توجه به اینکه در این مطالعه تأثیر نحوه شکست موج در میزان جریان عبوری از روی موج شکن مستغرق بررسی شده، در مورد این دو ناحیه تحقیق شده است. در ادامه معادله خیزاب و جریان برای دو ناحیه III روی شیب موج شکن و IV روی تاج موج شکن به صورت ذیل بررسی شده است. نواحی V و IV به ترتیب همانند نواحی II و I هستند.

حل معادله خیزاب و جریان در روی شیب موج شکن (ناحیه III)

این ناحیه در فاصله $-x_{br} < x < 0$ و $-h_{br} < z < 0$ قرار دارد. فرض شده است که در عمق آب h_{br} موج شروع به شکست می‌نماید. برای تعیین نقطه شکست و عمق آب بر روی این نقطه، ارتفاع شکست موج به شکل معادله (9) ارائه شده است:

$$H_{br} = 0.575m^{0.031} \left(\frac{H_0}{L_0}\right)^{-0.254} H_0$$

(9)

$$h_{br} = 0.614m^{-0.124} \left(\frac{H_0}{L_0}\right)^{-0.124} H_0$$

(10)

H_0 ارتفاع موج در آب عمیق، L_0 طول موج در آب عمیق، H_{br} ارتفاع شکست موج است. شکست موج می‌تواند به ناحیه III (روی شیب موج‌شکن) محدود شود و یا می‌تواند تا ناحیه IV (روی تاج موج‌شکن) ادامه پیدا کند. برای یافتن مقدار متناظر خیزاب در ناحیه III ابتدا تنش تشعشی S_{xx} با فرض آب کم عمق تعیین شده است.

$$S_{xx} = \frac{3}{16} \rho g H^2(x) \quad (11)$$

برای مدل‌سازی ارتفاع موج متغیر $H(x)$ بالای شیب سواحل بر اساس پیشنهاد Dally و همکاران [4] در استهلاك انرژی موج بر روی شیب‌های یکنواخت به صورت زیر استفاده شده است.

$$H^2(x) = \left[\left(\frac{h(x)}{h_{br}}\right)^\beta (1 + \alpha) - \alpha \left(\frac{h(x)}{h_{br}}\right)^2 \right] H_{br}^2$$

(12)

$$\alpha = \frac{K \Gamma_3^2}{m \left(\frac{5}{2} - \frac{K}{m}\right)} \left(\frac{H_{br}}{h_{br}}\right)^{-2}$$

(13)

$$\beta = \frac{K}{m} - \frac{1}{2}$$

(14)

و در آن عمق آب $h(x) = h_t - mx$ ، ضریب نقصان بی بعد و Γ_3 ضریب موج بی‌بعد و پایدار برای کف‌های شیب‌دار است. ضریب K و Γ_3 کنترل‌کننده استهلاك انرژی است تا هنگامی که ارتفاع موج پایدار شده باشد. بر طبق تحقیق Dally و همکاران [4] مقدار K مابین 0/1 و 0/275 است و دامنه کاربردپذیری Γ_3 در حدود 0/35 تا 0/5 است.

با توجه به موارد بالا خیزاب و سرعت جریان در روی شیب موج‌شکن به صورت زیر به دست می‌آید.

$$\zeta(x) = \frac{C_5}{mh(x)} - \frac{A}{m^2 \beta(\beta-1)} [h(x)]^{\beta-1} + \frac{B}{2m} x + C_6$$

(15)

$$U(x) = \frac{1}{r_*} \frac{3mH_{br}}{16} \left(\frac{H_{br}}{h_{br}}\right) \left[\beta(1 + \alpha) \left(\frac{h(x)}{h_{br}}\right)^{\beta-1} - 2\alpha \left(\frac{h(x)}{h_{br}}\right) \right]$$

$$- \frac{h(x)}{r_*} \left[C_5 [h(x)]^{-2} + \frac{A}{m\beta} [h(x)]^{\beta-2} + \frac{B}{2m} \right]$$

(16)

$$A = \frac{3m^2}{16} \left(\frac{H_{br}}{h_{br}}\right)^2 \frac{\beta^2(1 + \alpha)}{h_{br}^{\beta-2}}$$

$$(17) B = \frac{-3m^2}{4} \left(\frac{H_{br}}{h_{br}}\right)^2 \alpha$$

(18)

حل معادله خیزاب و جریان در روی تاج موج‌شکن (ناحیه IV)

این ناحیه در فاصله $z = -h_t$ و $0 < x < x_t$ قرار دارد. برای پیدا کردن مقدار خیزاب و جریان روی تاج موج‌شکن 2 حالت مختلف در نظر گرفته شده است. در حالت اول فرض شده است که پروسه شکست کاملاً محدود به ناحیه III است. از این رو در لبه $x=0$ موج پایدار است و

ارتفاع آن کوتاهتر از مقدار بحرانی متناظر با عمق آب ثابت است یعنی $H(0) < \Gamma_4 h_t$ ، که در آن Γ_4 یک ضریب ارتفاع موج پایدار برای h_t ثابت است. برای تخمین حداکثر ارتفاع موج نشکسته در ناحیه VI از ضریب موج پایدار بدون بعد Γ_4 استفاده شده است [1]:

$$\Gamma_4 = \left[\frac{\sqrt{1 + 0.01504 h_*^{-2.5}}}{0.1654 h_*^{-1.25}} \right]^2 \quad (19)$$

$$h_* = \frac{h_t}{gT^2} \quad (20)$$

برای یک رژیم پایدار، وقتی $H(0) < \Gamma_4 h_t$ امواج نمی‌شکنند بنابراین برای یک عمق آب ثابت، گرادیان تنش تشعشی بسیار ناچیز می‌شود یعنی $F=0$ و معادله (1) به شکل زیر حل می‌شود.

$$\zeta(x) = C_7 x + C_8 \quad (21)$$

$$U = -\frac{C_7 h_t}{r_*} \quad (22)$$

در حالت دوم پروسه شکست موج در ناحیه IV در روی تاج موج‌شکن تا وقتی که $H(0) > \Gamma_4 h_t$ باشد ادامه می‌یابد. بنابراین، ارتفاع موج هنوز هم از مقدار اولیه $H(0)$ تا رسیدن به شرایط پایدار در فاصله‌ای از لبه موج‌شکن کاهش خواهد یافت. در این حالت گرادیان ارتفاع موج و تنش تشعشی صفر نیستند. تغییرات ارتفاع موج $H(x)$ بالای عمق آب ثابت با مدل Dally و همکاران [4] ارائه شده است:

$$H^2(x) = \left[\left(\frac{H(0)}{h_t} \right)^2 - \Gamma_4^2 \right] \exp\left(-K \frac{x}{h_t}\right) + \Gamma_4^2 h_t^2 \quad (23)$$

با حل معادله (1) در این حالت خیزاب و سرعت به دست می‌آید.

$$\zeta(x) = C_7 x - M \exp\left(-K \frac{x}{h_t}\right) + C_8 \quad (24)$$

$$U = -\frac{C_7 h_t}{r_*} \quad (25)$$

$$M = \frac{3}{16} G h_t \quad (26)$$

$$G = \left(\frac{H(0)}{h_t} \right)^2 - \Gamma_4^2 \quad (27)$$

ضرایب C از شرایط مرزی ناچیز بودن خیزاب در دو انتها و پیوستگی جریان در سطح مقطع مرز نواحی تعیین می‌شوند. این ضرایب در مرجع [1] موجود می‌باشد.

اجرای مدل و ارزیابی

هدف اصلی از این مقاله بررسی یک مدل تحلیلی ارائه شده توسط Massel و Brinkman [1] برای محاسبه جریان ناشی از موج عبوری بر روی موج‌شکن مستغرق می‌باشد. مدل تحلیلی مذکور مورد بازنگری و با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی Gourlay [2] صحت‌سنجی شده است. مدل تحلیلی مورد استفاده برای تپه‌های دریایی با شیب‌های رو به دریای 1:30 تا 1:80 ارائه شده و در این تحقیق کاربرد مدل مذکور برای موج‌شکن‌های مستغرق با شیب وجه رو به دریای تندتر (1:1) مورد بررسی قرار می‌گیرد. تحلیل جریان عبوری از روی موج‌شکن مستغرق برای دو حالت شکست موج بر روی وجه شیب‌دار رو به دریا و روی تاج موج‌شکن صورت می‌گیرد. برای تشخیص اینکه شکست در روی وجه شیب‌دار رو به دریای موج‌شکن یا بر روی تاج موج‌شکن حادث می‌شود از پارامتر نسبت استغراق $(S = (h_t + \zeta) / H_t)$ استفاده شده است. همچنین میزان جریان عبوری از روی موج‌شکن تابعی از ارتفاع شکست موج روی موج‌شکن مستغرق می‌باشد در مدل تحلیلی مذکور نحوه محاسبه ارتفاع شکست موج بر روی تاج موج‌شکن بیان نشده است بنابراین در روی تاج موج‌شکن روشهای مختلفی برای تخمین ارتفاع شکست

موج ارائه شده است. در نهایت جریان عبوری روی موج‌شکن برای دو حالت شکست در روی وجه شیب‌دار رو به دریا و در روی تاج موج‌شکن محاسبه شده و با مقادیر آزمایشگاهی مورد مقایسه قرار گرفته است.

تشخیص ناحیه شکست موج: همانطور که ذکر شد روابط حاکم بر جریان عبوری در دو حالت شکست روی شیب و روی تاج موج‌شکن با یکدیگر متفاوت بوده و مرز شاخص تفاوت دو حالت مذکور از اهمیت به سزایی برخوردار است برای تشخیص رخداد شکست موج در روی شیب موج‌شکن (ناحیه III) یا در روی تاج موج‌شکن (ناحیه IV) از پارامتر نسبت عمق استغراق $S = (h_t + \zeta) / H_i$ استفاده شده است [5]. h_t عمق آب روی تاج موج‌شکن، H_i ارتفاع موج برخوردی، ζ خیزاب روی موج‌شکن است. در حالت $S < 0.7$ امواج روی وجه شیب‌دار رو به دریای موج‌شکن مستغرق (ناحیه III) می‌شکنند و در حالتی که $S > 0.7$ امواج در روی تاج موج‌شکن مستغرق (ناحیه IV) شکسته می‌شوند. در نتیجه جریان عبوری با توجه به نحوه شکست موج و روابط مربوط به دست آمده و با مقادیر آزمایشگاهی مورد مقایسه قرار گرفته است. ارتفاع شکست موج در روی تاج موج‌شکن مستغرق (ناحیه VI): همانطور که ذکر شد میزان جریان عبوری از روی موج‌شکن تابعی از ارتفاع شکست موج روی موج‌شکن می‌باشد. در مدل تحلیلی مورد استفاده نحوه محاسبه ارتفاع شکست موج در روی شیب موج‌شکن مستغرق به صورت معادله (9) بیان شده است ولی نحوه محاسبه ارتفاع شکست موج در روی تاج موج‌شکن بیان نشده است. برای محاسبه ضرایب معادله‌های خیزاب و جریان در روی تاج موج‌شکن، ارتفاع شکست موج باید محاسبه شود که در این تحقیق برای محاسبه ارتفاع شکست موج در روی تاج موج‌شکن دو روش ذیل مورد بررسی قرار گرفته است.

روش پیشنهادی توسط Tajziehchi (روش A)

در این روش ارتفاع شکست موج به صورت نسبتی از عمق آب روی موج‌شکن در نظر گرفته شده است. این نسبت تحت عنوان پارامتر شکست به عنوان تابعی از نسبت استغراق در نظر گرفته شده است. Tajziehchi [6]، اصلاحاتی بر روی پارامتر شکست مدل استهلاکی Roelvink قبل از بکارگیری آن برای محاسبه ضریب انتقال انجام داد. در این روش مقدار پارامتر شکست γ برای هر تست آزمایشگاهی محاسبه شد تا اینکه ضریب انتقال محاسبه شده با مقادیر اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه توافق داشته باشد. بنابراین مقدار کالیبره شده پارامتر شکست به عنوان تابعی از نسبت استغراق برای بکارگیری در مدل استهلاکی Roelvink به صورت رابطه (28) ارائه شده است [6].

$$\gamma = -1.93 \frac{h_t}{H_i} + 2.89 \leq 1.5 \quad ; \quad \frac{h_t}{H_i} \leq 1.0 \quad (28)$$

$$\gamma = 0.75 \quad ; \quad \frac{h_t}{H_i} > 1.0$$

روش پیشنهادی توسط Johnson (روش B)

در این روش ارتفاع شکست موج به صورت نسبتی از عمق آب روی موج‌شکن در نظر گرفته شده است. این نسبت تحت عنوان پارامتر شکست به عنوان تابعی از نسبت استغراق در نظر گرفته شده است. Johnson [7] پارامتر شکست را برابر با مقدار ارائه شده آن در مدل Janssen و Battjes به عنوان پارامتر کالیبره برای استهلاک ناشی از عمق لحاظ کرد. او پارامتر کالیبره γ را طوری تعیین کرد که مقادیر اندازه‌گیری شده و محاسبه شده ضریب انتقال با هم توافق داشته و سرانجام تأمین کننده رابطه تجربی (29) برای γ بر روی موج‌شکن‌های مستغرق باشد [7].

$$1.55 \quad ; \quad h_t / H_i \leq 0.5$$

$$\gamma = 1.91 - 0.72 \frac{h_t}{H_i} \quad ; \quad 0.5 < h_t / H_i < 1.5 \quad (29)$$

$$0.8 \quad ; \quad h_t / H_i \geq 1.5$$

شرایط حدی

قبل از محاسبه جریان عبوری با استفاده از مدل تحلیلی، داده‌های آزمایشگاهی [2] از نظر وقوع روگذری موج با توجه به شرط حدی ذکر شده در ذیل مورد بررسی قرار گرفته است. ضمناً خیزاب بدست آمده از روابط مدل تحلیلی با توجه به مقدار حداکثر خیزاب محدود شده است. بررسی وقوع روگذری موج: در صورتی که $h_t > H_i / 2$ باشد، روگذری اتفاق نمی‌افتد. با توجه به این که در این تحقیق نحوه شکست موج در روی شیب یا در روی تاج موج‌شکن بر روی جریان عبوری مورد بررسی قرار گرفته است داده‌های آزمایشگاهی که در آنها روگذری اتفاق افتاده است مورد بررسی قرار نگرفته است.

بررسی خیزاب مدل با مقدار حداکثر خیزاب: محاسبه خیزاب در روی تاج موج شکن با استفاده از روابط مدل تحلیلی مورد بررسی نشان می‌دهد که خیزاب بدست آمده در روی تاج موج شکن به طور صعودی افزایش می‌یابد به همین علت مقدار خیزاب بدست آمده با توجه به شرایط حدی، موجود در تعدادی از تحقیقات مورد بررسی قرار گرفت و به خیزاب حداکثر محدود شد. در یک تحقیق، محاسبات عددی نشان می‌دهد حداکثر خیزاب در حدود 10 درصد ارتفاع امواج برخوردی می‌باشد [4]. در تحقیق دیگری از پارامتر عدد اورسل U_0 استفاده شده است؛ مدلسازی عددی و نتایج آزمایشگاهی نشان داده است که اگر در نسبت عمق استغراق بیشتر از $0/6$ ، $U_0 < 45$ باشد می‌توان از خیزاب صرف‌نظر کرد. در غیر اینصورت خیزاب محاسبه می‌شود و به خیزاب حداکثر محدود می‌شود [8].

$$U_0 = \frac{gT^2 H_0}{(\zeta_{\max} + h_t)^2} = \frac{gT^2}{H_0} \left(\frac{H_0}{\zeta_{\max} + h_t} \right)^2$$

$$(30) \quad \frac{\zeta_{\max}}{H_0} = 0 \text{ for } U_0 \leq 45$$

$$(31) \quad \frac{\zeta_{\max}}{H_0} = .0017U_0^{0.75} \text{ for } U_0 > 45$$

$$(32)$$

مقایسه نتایج با مدل آزمایشگاهی

در این بخش به نحوه اجرای مدل تحلیلی و صحت سنجی عملکرد مدل در شرایط مدل آزمایشگاهی پراخته شده است. مقایسه صورت گرفته بر اساس سه شاخص آماری متفاوت انجام شده است که عبارتند از: مربع ضریب همبستگی R^2 ، شاخص ویلموت I_w و تابع خطا ε [6] که برای تایید مدل ارائه شده بکار گرفته شده‌اند:

$$R^2 = \frac{[\sum_{k=1}^N (X_{mk} - \bar{X}_{mk})(X_{ck} - \bar{X}_{ck})]^2}{\sum_{k=1}^N (X_{mk} - \bar{X}_{mk})^2 \sum_{k=1}^N (X_{ck} - \bar{X}_{ck})^2}$$

$$(33)$$

$$I_w = 1 - \frac{\sum_{k=1}^N (X_{ck} - X_{mk})^2}{\sum_{k=1}^N (|X_{ck} - \bar{X}_m| + |X_{mk} - \bar{X}_m|)^2}$$

$$(34)$$

$$\varepsilon = \left[\frac{\sum_{k=1}^N (X_{ck} - X_{mk})^2}{\sum_{k=1}^N X_{mk}^2} \right]^{1/2} \quad (35)$$

که X_c مقادیر محاسبه شده، X_m مقادیر اندازه‌گیری شده و پارامترهای باردار نشانه مقادیر میانگین می‌باشند. بهترین توافق ما بین مقادیر محاسبه شده توسط مدل و مقادیر آزمایشگاهی هنگامی حاصل می‌شوند که مربع ضریب همبستگی R^2 و شاخص ویلموت I_w مقداری مساوی با یک و تابع خطا ε مقدار صفر را کسب کنند.

به منظور ارزیابی و صحت سنجی عملکرد مدل از داده‌های آزمایشگاهی تولید شده توسط Gourlay [2] در فلوم موج با عرض 6 متر و دارای طول تقریبی 30 متر در درون یک حوضچه موج سه بعدی استفاده شده است این تپه دریایی افقی با عرض تاج 15 متر (x_t) و شیب رو به دریای تند (1:1) ساخته شده است. داده‌های آزمایشگاهی در جدول 1 ذکر شده است.

جدول 1) داده‌های آزمایشگاهی برای تپه دریایی ساخته شده در آزمایشگاه توسط Gourlay

H_0 (mm)	H_t (mm)	T(s)	h_t (mm)	Test No
25	24	1.48	50	1
50	46	1.48	50	2

³ - Ursell number

⁴ - Squared Correlation Coefficient

⁵ - Wilmott Index

⁶ - Error Function

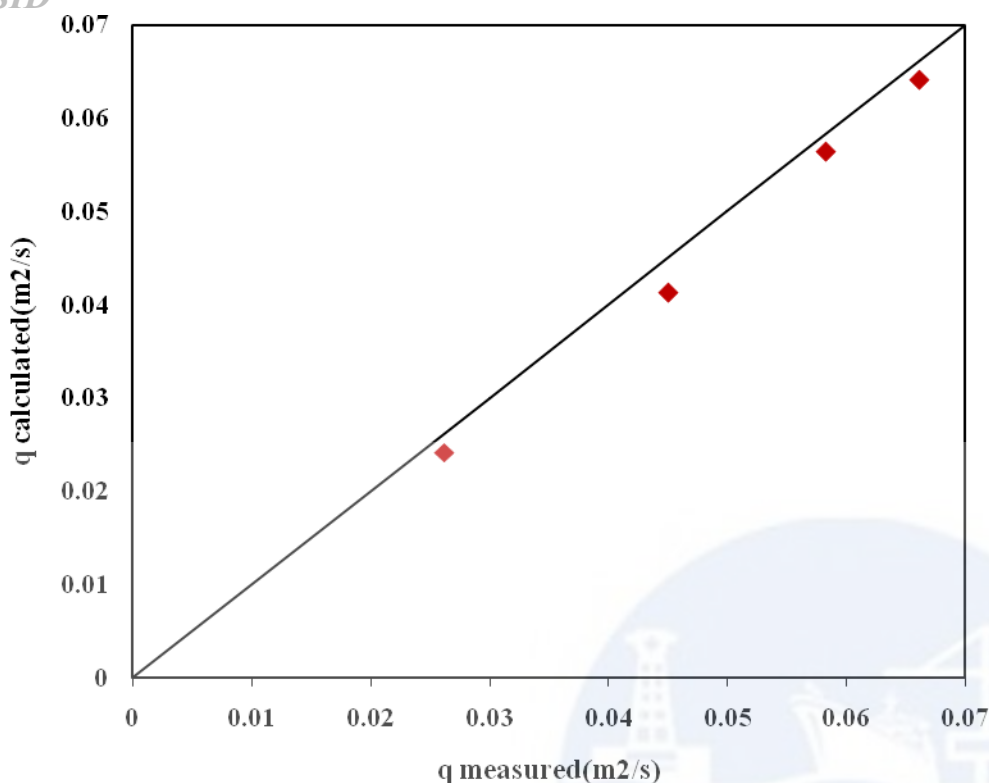
87	80	1.48	50	3
124	114	1.48	50	4
158	146	1.48	50	5
44	40	1.48	100	6
78	72	1.48	100	7
116	106	1.48	100	8
156	143	1.48	100	9
176	161	1.48	100	10
141	131	1.1	100	11
134	133	2.2	100	12
127	118	1.48	15	13
127	118	1.48	30	14
128	118	1.48	75	15

همانطور که ذکر شد، بررسی جریان عبوری از روی موج‌شکن مستغرق برای دو حالت شکست موج بر روی وجه شیب‌دار رو به دریا و روی تاج موج‌شکن صورت می‌گیرد. روابط حاکم بر جریان عبوری در دو حالت شکست روی شیب و روی تاج موج‌شکن با یکدیگر متفاوت است. همچنین میزان جریان عبوری از روی موج‌شکن تابعی از ارتفاع شکست موج روی موج‌شکن می‌باشد. در مدل تحلیلی مورد بررسی [1] نحوه محاسبه ارتفاع شکست موج بر روی تاج موج‌شکن بیان نشده است در این حالت از روش A,B برای محاسبه عمق شکست و ارتفاع شکست موج استفاده شده است. در نهایت جریان عبوری بر روی وجه شیب‌دار رو به دریا و تاج موج‌شکن محاسبه شده و با مقادیر آزمایشگاهی مورد ارزیابی قرار گرفته است.

الف- ارزیابی نتایج محاسبه شده توسط مدل در صورتی که شکست در روی وجه شیب‌دار موج‌شکن رخ دهد:

شکل 2، مقایسه مقادیر محاسبه شده و آزمایشگاهی را در مورد جریان عبوری نشان می‌دهد. این نمودار برای داده‌هایی است که در آنها شکست در روی شیب موج‌شکن (ناحیه III) رخ داده است، بدینگونه که پارامتر نسبت استغراق در این داده‌ها کمتر از 0.7/ شده است ($S < 0.7$). شاخصهای آماری شامل مربع ضریب همبستگی و شاخص ویلموت 0/99 است و تابع خطا 0/052 است. محاسبات شاخصهای آماری مناسبی را نشان می‌دهد. در این شکل از 4 داده آزمایشگاهی به ترتیب با شماره‌های 3، 9، 10، 15 (جدول 1) که در آنها پارامتر نسبت عمق استغراق کمتر از 0/7 بوده، استفاده شده است.

ICOPMAS



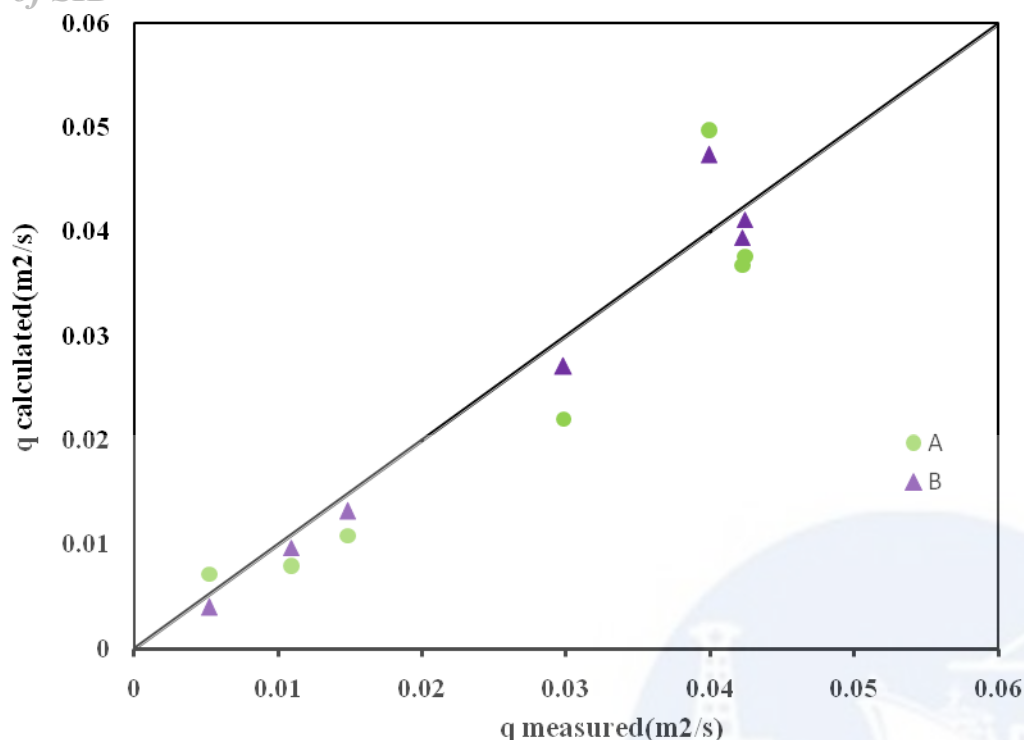
شکل 2) مقایسه مقادیر جریان عبوری محاسباتی و آزمایشگاهی در صورت شکست موج در روی شیب موج شکن

ب- ارزیابی نتایج محاسبه شده توسط مدل در صورتی که شکست در روی تاج موج شکن رخ دهد:

در داده‌هایی که پارامتر نسبت استغراق در آنها بزرگتر از $0/7$ ($S > 0.7$) شده است، شکست موج در روی تاج موج شکن (ناحیه IV) رخ می‌دهد. در این حالت برای محاسبه شاخص عمق شکست و ارتفاع شکست موج از روش A,B استفاده شده است، سپس به محاسبه جریان عبوری از روی تاج موج شکن مستغرق با توجه به روابط مربوط، برای هر روش پرداخته شده است. در شکل 3، به مقایسه مقادیر محاسباتی (دو روش A,B) و آزمایشگاهی در مورد جریان عبوری برای داده‌هایی که شکست در روی تاج موج شکن رخ داده، پرداخته شده است. در این شکل از 7 داده آزمایشگاهی به ترتیب با شماره‌های 1، 2، 6، 7، 8، 11، 12 (جدول 1) که در آنها پارامتر نسبت عمق استغراق بیشتر از $0/7$ بوده، استفاده شده است. همچنین در جدول 2 به مقایسه شاخص‌های آماری دو روش A,B در مورد جریان عبوری پرداخته شده است.

جدول 2) مقایسه شاخصهای آماری روشهای A,B در مورد جریان عبوری

شاخص آماری	روش A	روش B
R^2	0/88	0/95
I_w	0/99	0/99
ε	0/19	0/12



شکل 3) مقایسه مقادیر جریان عبوری محاسباتی (دو روش A, B) و آزمایشگاهی در صورت شکست موج در روی تاج موج شکن

نتایج

در این مقاله جریان ناشی از موج عبوری بر روی موج شکن های مستغرق بر اساس یک مدل تحلیلی [1] مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است. مدل تحلیلی مذکور مورد بازنگری و با استفاده از داده های آزمایشگاهی [2] صحت سنجی شده است. مدل تحلیلی مورد استفاده برای تپه های دریایی با شیب های رو به دریای 1:30 تا 1:80 ارائه شده و در این تحقیق کاربرد مدل مذکور برای موج شکن های مستغرق با شیب وجه رو به دریای تندتر (1:1) مورد بررسی قرار گرفته است. تحلیل جریان عبوری از روی موج شکن مستغرق برای دو حالت شکست موج بر روی وجه شیب دار رو به دریا و روی تاج موج شکن صورت گرفت.

به منظور صحت سنجی عملکرد مدل، نتایج آن با داده های آزمایشگاهی مقایسه شد. مقایسه جواب های محاسبه شده و آزمایشگاهی موارد زیر را در مورد مدل نشان می دهد:

- وقتی شکست در روی شیب موج شکن رخ می دهد، مقایسه مقادیر محاسباتی و آزمایشگاهی در مورد جریان عبوری شاخص های آماری مناسبی را نشان می دهد. وقتی شکست در روی تاج موج شکن رخ می دهد برای محاسبه شاخص عمق شکست و ارتفاع شکست موج از روش A, B استفاده شده است سپس جریان عبوری محاسبه شده است. در این حالت نیز مقایسه مقادیر محاسباتی و آزمایشگاهی در مورد جریان عبوری شاخص های آماری مناسبی را نشان می دهد.
- محاسبات انجام شده نشان داد که این مدل برای موج شکن های با شیب تند نیز قابل استفاده و مناسب است. ضمناً این مدل تا به حال با هیچ داده آزمایشگاهی، مقایسه نگردیده بود که در این مقاله با استفاده از داده های آزمایشگاهی، جریان عبوری محاسبه شده و با مقادیر آزمایشگاهی جریان عبوری مورد مقایسه قرار گرفته است. قابل ذکر است که وقتی پارامتر بدون بعد نسبت عمق استغراق $S < 0.7$ و شکست در روی شیب موج شکن (ناحیه III) رخ می دهد شاخص های آماری مناسبتری برای جریان عبوری نسبت به وقتی که $S > 0.7$ و شکست در روی تاج موج شکن (ناحیه IV) رخ می دهد بدست می آید. ضمناً وقتی $S > 0.7$ و شکست در روی تاج موج شکن (ناحیه IV) رخ می دهد، دو روش A, B مورد مقایسه قرار گرفته است.
- محاسبات انجام شده با این مدل نیز نشان داد که جریان عبوری با افزایش در میزان ارتفاع موج برخوردی (H_i) برای یک مقدار مشخصی از دوره تناوب موج (T) و عمق آب روی تاج موج شکن (h_t)، افزایش پیدا خواهد کرد.
- محاسبات انجام شده با این مدل نیز نشان داد که سرعت در روی شیب موج شکن به طور صعودی افزایش می یابد و سرعت در روی تاج موج شکن مقدار ثابتی است. فقط در لبه موج شکن مقداری افزایش سرعت داریم که به علت فروآب موج در نقاط ابتدایی لبه موج شکن است که با توجه به ثابت بودن دبی و کاهش عمق آب به علت فروآب قابل توجیه است. در حل تحلیلی Massel فرض

Archive of SID
شده بود که خیزاب و فروآب موج نسبت به عمق آب محل بسیار کوچک است به طوری که $\xi(x) \approx h(x)$ و می توان در مدلسازی انجام شده در این تحقیق خیزاب و فرو آب موج در محاسبه عمق در نظر گرفته شده است به همین سبب کاهش عمق به علت فروآب، باعث افزایش سرعت شده است.
با توجه به نتایج بدست آمده مدل تحلیلی مورد بررسی را برای شیبهای تند نیز می توان به کار برد.

مراجع

- [1]- Massel, S.R., Brinkman, R.M. (2001), Wave-induced setup and flow over shoals and coral reefs, Oceanologia, Institute of Oceanology, Polish Academy of sciences, 373-388.
- [2]- Gourlay, M.R. (1996a), Wave setup on coral reefs. 1 . set-up and wave-generated flow on an idealized two dimensional horizontal reef, Journal of Coastal Engineering, 27, 161-193.
- [3]- Symonds, G., and Black, K.P., and Young, I.R. (1995), Wave-driven flow over shallow reefs, Journal of Geophysical Research, Vol.100, No.C2, 2639-2648.
- [4]- Dally, W.R., and Dean, R.G. (1985), Wave height variation across beaches of arbitrary profile, J.Geophys. Res, 90, 11917-11927.
- [5]- Gourlay, M.R., Colleter, G. (2005), Wave-generated flow on coral reefs-analysis for two dimensional horizontal reef-tops with steep faces, Coastal Engineering, 52, 353-387.
- [6]- Tajziehchi, M. (2006), Experimental and numerical modeling of wave-induced current and wave transformation in presence of submerged breakwaters, Phd. Thesis, University of New South Wales Australia.
- [7]- Johnson, H.K. (2006), Wave modeling in the vicinity of submerged breakwaters, Journal of Coastal Engineering, 53,39-48.
- [8]- Massel, S.R., Gourlay, M.R. (2000), On the modeling of wave breaking and set-up on coral reefs, journal of coastal engineering, 39, 1-27.

