



مرکز ملی پژوهش‌ها و نوآوری‌های دریایی

سازمان بنادر و دریانوردی به عنوان تنها مرجع حاکمیتی کشور در امور بندری، دریایی و کشتی‌رانی بازرگانی به منظور ایفای نقش مرجعیت دانشی خود و در راستای تحقق راهبردهای کلان نقشه جامع علمی کشور مبنی بر "حمایت از توسعه شبکه‌های تحقیقاتی و تسهیل انتقال و انتشار دانش و سامان‌دهی علمی" از طریق "استانداردسازی و اصلاح فرایندهای تولید، ثبت، داوری و سنجش و ایجاد بانک‌های اطلاعاتی یکپارچه برای نشریات، اختراعات و اکتشافات پژوهشگران"، اقدام به ارایه این اثر در سایت SID می‌نماید.



سازمان بنادر و دریانوردی



## بررسی اثر موج شکن های مستغرق بر تغییر ارتفاع امواج با مدل سازی دو بعدی به روش المان مرزی

حمیدرضا حسن زاده، کارشناس ارشد سازه های دریایی، دانشگاه هرمزگان  
دکتر علی اصغر گلشنی، استادیار پژوهشی مرکز ملی اقیانوس شناسی

### 1- پیشگفتار

بکارگیری سازه های مستغرق در دریا به عنوان موج شکن در مهندسی سواحل و بنادر در طی سالهای اخیر مورد توجه ویژه ای قرار گرفته است. با ساخت چنین موج شکن هایی آب دریا خیلی راحت با آب درون حوضچه تشکیل شده پشت موج شکن، تداخل پیدا کرده و در نتیجه از بوجود آمدن یک حوضچه تقریباً محبوس که باعث ممانعت از چرخه طبیعی آب شود، جلوگیری می شود. همچنین این نوع موج شکن جهت ممانعت از فرسایش خط ساحلی و نیز استفاده در سواحل توریستی گزینه مناسبی به حساب می آید.

طبیعی است که با افزایش عمق آب، سطح مقطع موج شکن های با مقطع منشوری نیز افزایش چشمگیری می یابد که متقابلاً باعث افزایش زیاد هزینه می گردد. لذا باید به فکر مقطع جدیدی از موج شکن بود تا ضمن داشتن کارایی موردنظر جهت کاهش انرژی امواج، در هزینه های ساخت و ساز آن نیز صرفه جویی و ملاحظات اقتصادی رعایت گردد. بدین منظور محققان دانشگاه Tottori ژاپن، A.Kimura [1] و Y.Matsumi بررسی هایی روی مقطع جدیدی از موج شکن که روی تاج آن بریدگی به شکل مستطیل وجود داشت را انجام دادند. آنها هم از روش عددی المان مرزی و هم مدلسازی فیزیکی جهت تحقیقات خود استفاده کردند و در نهایت به این نتیجه رسیدند که وجود بریدگی در تاج موج شکن ضمن آنکه باعث کاهش هزینه می شود، تاثیر منفی در کارایی موج شکن جهت کاهش انرژی امواج ندارد.

در این تحقیق نیز سعی بر آن است تا ضمن اینکه اثر بریدگی بر روی تاج موج شکن با دیگر اشکال هندسی به روش المان مرزی مورد بررسی قرار می گیرد، تاثیر تداخل موج شکن نیز مورد توجه قرار گیرد. همچنین شرایط مرزی و بعضی از پارامترهای حل مسئله متفاوت از کار ذکر شده در بالا نظر گرفته شده است.

### 2- شرایط مرزی

در این بخش مسئله مقدار مرزی مربوط به تئوری امواج آب به طور خلاصه مورد بررسی قرار می گیرد. فرض می شود که سیال غیر لزج و تراکم ناپذیر باشد. همچنین جریان به صورت غیر چرخشی در نظر گرفته می شود. در نتیجه پتانسیل سرعت  $\phi$  باید معادله لاپلاس را ارضاء کند.

$$\nabla^2 \phi = \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} = 0 \quad (1)$$

شرط مرزی سطح آزاد آب، یعنی در  $y = 0$  با ترکیب دو شرط مرزی سینماتیک و دینامیک سطح آزاد آب در حالت خطی، به صورت زیر خواهد بود.

(2)

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} = -g \frac{\partial \phi}{\partial y}$$

با توجه به اینکه مؤلفه قائم سرعت در بستر دریا برابر صفر است، برای بستر افقی شرط مرزی به صورت زیر خواهد بود.

$$\frac{\partial \phi}{\partial n} = 0 \quad (3)$$

برای موجی با بسامد زاویه ای  $\omega$ ، پتانسیل سرعت و تغییرات ارتفاع سطح آزاد آب به صورت هارمونیک به شکل زیر قابل بیان هستند.

$$\phi = \phi(x, y)e^{-i\omega t} \quad \eta = \eta(x, y)e^{-i\omega t} \quad (4)$$

با جایگزینی روابط (4) در روابط (1)، (2) و (3)، و تبدیل معادلات از حوزه زمانی به حوزه فرکانسی، روابط (1)، (3) بدون تغییر باقی مانده و رابطه (2) به صورت زیر تبدیل می شود.

$$\frac{\partial \phi}{\partial y} = \frac{w^2}{g} \phi \quad (5)$$

در حل مسائل پتانسیل امواج آب، در شرایطی که حوزه مورد مطالعه در جهت افقی مسدود نمی شود، باید شرط مرزی مناسب برای زمانی که X به سمت بینهایت میل می کند، در نظر گرفته شود. برای این منظور شرط مرزی شعاعی<sup>1</sup> مورد استفاده قرار می گیرد.

$$\lim_{kx \rightarrow \pm\infty} \left( \frac{\partial}{\partial x} \mp ik \right) (\bar{\phi} - \phi_0) = 0 \quad (6)$$

که در آن  $\phi_0$  پتانسیل سرعت موج تابشی است.

$$\phi_0 = \frac{-iga \cosh k(y+h)}{w \cosh kh} e^{ik} \quad (7)$$

با استفاده از این شرط مرزی، مرزهای حوزه در بینهایت به حدی دور از مبدا مختصات قرار می گیرند که امواج پس از برخورد به آنها به درون حوزه منعکس نگردند. [2]

فرض می کنیم مقاومت در برابر نیروهای وارد به سازه متخلخل زیاد بوده و تخلخل را نسبتاً کوچک در نظر می گیریم. در این حالت قانون دارسی در مورد جریان در محیط متخلخل برقرار است. فرض می کنیم که فشار سیال در ترازهای نزدیک به هم در جهت قائم به صورت خطی تغییر کند. مؤلفه قائم سرعت در دو سر یک المان بدون تغییر مانده و می توان آن را بر حسب اختلاف فشار دو سر المان بیان کرد.

$$\Delta P = P^- - P^+ \quad (9) \quad \phi_y^- = \phi_y^+ = \frac{b}{\mu} \Delta P \quad (8)$$

در روابط فوق  $\mu$  ضریب لزجت دینامیکی سیال است. b نیز ثابت محیط متخلخل (ضریب اصطکاک) و تابع جنس محیط متخلخل می باشد. علامت های + و - بیانگر مقادیر دو سر المان می باشد.

از آنجا که معادله خطی شده برنولی، فشار هیدرودینامیکی P را به پتانسیل سرعت  $\phi$  مربوط می سازد، خواهیم داشت:

$$P = -\rho \phi_t \quad (10)$$

که در آن  $\rho$  چگالی سیال است. با جایگزینی رابطه (10)، رابطه (8) به صورت زیر بازنویسی می شود.

$$\phi_y^- = \phi_y^+ = -\frac{\rho b}{\mu} \Delta \phi_t \quad (11)$$

مجدداً با تبدیل این رابطه از حوزه زمان به حوزه فرکانس، شرط مرزی روی سازه متخلخل به صورت زیر بیان می گردد.

$$\phi_y^- + (\phi_0)_y^- = \phi_y^+ + (\phi_0)_y^+ = iGk \Delta \phi \quad (12)$$

که در آن  $G = \frac{\rho b w}{\mu k}$  عامل تخلخل نامیده می شود. [3]

## 2-1- حل عددی شرط مرزی در بینهایت

در اغلب مسائل تفرق و انعکاس امواج آب، حوزه سیال مورد مطالعه در جهت های افقی تا بینهایت گسترش می یابد. جهت بکارگیری روش های عددی، لازم است که مرزهای مصنوعی برای محدود کردن حوزه تعریف شوند. به طور کلی مرزهای مصنوعی باید بقدری از امواج پراکنده شده دور باشند که نه تنها شرط مرزی شعاعی در این مرزها ارضاء گردد، بلکه تغییر موقعیت مرزها تأثیر چشمگیری در نتیجه محاسبات نداشته باشد. به عبارت دیگر مرزهای مصنوعی جانبی باید به حدی دور باشند که امواج پس از رسیدن به آنها به درون حوزه منعکس نشوند.

روش حل مسئله مرزی در بینهایت، به طوری که شرط مرزی شعاعی را ارضاء نماید به طور خلاصه در زیر توضیح داده می شود. فرض می شود که عمق آب h در تمام حوزه مورد مطالعه ثابت بماند. در حالت سه بعدی، S را استوانه ای عمودی در نظر می گیریم که در ناحیه با عمق ثابت و دور حوزه سیال مورد مطالعه قرار گرفته است. این استوانه هر مقطع عرضی دلخواه می تواند داشته باشد. در این حالت حوزه سیال به دو بخش تقسیم می شود. یکی ناحیه درون استوانه (V) با پتانسیل سرعت ( $\phi$ ) و دیگری ناحیه خارج از استوانه که ( $V_\infty$ ) با پتانسیل سرعت ( $\phi_\infty$ )، روش عددی المان مرزی درون حوزه بکار گرفته می شود و پتانسیل سرعت  $\phi_\infty$  به صورت ترم های توابع

(Eigen) برای مسئله مقدار مرزی در حوزه  $V_\infty$  بیان می شود. روی استوانه S شرایط پیوستگی زیر باید برقرار باشد:

$$\left(\frac{\partial \phi}{\partial n}\right)_s = \frac{\partial \phi_\infty}{\partial n} \quad (14) \quad \phi_s = \phi_\infty \quad (13)$$

در مسائل دو بعدی، استوانه S به دو خط قائم در  $x = x^+$  و  $x = x^-$  تبدیل می شود که امواج پراکنده شده را در بر می گیرند. در این حالت مقدار  $\phi_\infty$  از رابطه زیر به دست خواهد آمد.

$$\phi_\infty = \alpha_0^\pm e^{ik_0^\pm |x|} \cosh k_0^\pm (y+h) + \sum_{m=1}^{\infty} \alpha_m^\pm e^{-k_m^\pm |x|} \cos k_m^\pm (y+h) + \begin{pmatrix} 0 \\ \phi_0 \end{pmatrix} \quad \begin{matrix} (x > x^+) \\ (x < x^-) \end{matrix} \quad (15)$$

که در آن h عمق آب و  $k_0$  و  $k_m$  به ترتیب ریشه های مثبت حقیقی و مجازی مثبت رابطه پراکندگی هستند.

$$k \tanh kh = \frac{w^2}{g} \quad (16)$$

در رابطه (15)،  $k_0^-$  برابر با  $k$  عدد موج تابشی خواهد بود. برای تشریح روش بکارگیری رابطه (15)، سیستم معادلات خطی برای  $\phi$  و  $\frac{\partial \phi}{\partial n}$  روی مرز حوزه داخلی به صورت زیر قابل بیان است.

$$[H : H_s] \begin{Bmatrix} \phi \\ \vdots \\ \phi_s \end{Bmatrix} = [G : G_s] \begin{Bmatrix} \frac{\partial \phi}{\partial n} \\ \vdots \\ \left(\frac{\partial \phi}{\partial n}\right)_s \end{Bmatrix} \quad (17)$$

در این رابطه زیرنویس S به مقادیر روی مرز مصنوعی S مربوط می شود. در حالتی که تعداد کل نقاط N و تعداد نقاط روی مرز S برابر M باشد، ماتریس های  $[H_s]$  و  $[G_s]$  دارای بعد  $N \times M$  و بردارهای  $\{\phi_s\}$  و  $\left\{\left(\frac{\partial \phi}{\partial n}\right)_s\right\}$  دارای M مؤلفه خواهند بود. با استفاده

از روابط (13) و (14)، بردارهای  $\{\phi_s\}$  و  $\left\{\left(\frac{\partial \phi}{\partial n}\right)_s\right\}$  بر حسب مجهولات  $\alpha_m$  ( $m = 0, 1, 2, \dots$ ) می توانند باز نویسی شوند.

البته طبیعی است که برای حل عددی دستگاه معادلات، تعداد کل ضرایب مجهول باید با تعداد نقاط روی مرز S برابر باشد. بنابراین بردارهای  $\{\phi_s\}$  و  $\left\{\left(\frac{\partial \phi}{\partial n}\right)_s\right\}$  به صورت زیر قابل بیان هستند.

$$\left\{\left(\frac{\partial \phi}{\partial n}\right)_s\right\} = [B]\{\alpha\} \quad (19) \quad \{\phi_s\} = [A]\{\alpha\} \quad (18)$$

به طوری که  $\{\alpha\}$  برداری با M مؤلفه شامل ضرایب مجهول و  $[A]$  و  $[B]$  ماتریس ضرایب با بعد  $M \times M$  هستند که از رابطه (15) به دست می آیند. با جایگزینی روابط (18) و (19) در رابطه (17) خواهیم داشت:

$$[H : H_s A] \begin{Bmatrix} \phi \\ \vdots \\ \alpha \end{Bmatrix} = [G : G_s B] \begin{Bmatrix} \frac{\partial \phi}{\partial n} \\ \vdots \\ \alpha \end{Bmatrix} \quad (20)$$

به طوری که

$$[G_s B] = [G_s][B] \quad (22) \quad [H_s A] = [H_s][A] \quad (21)$$

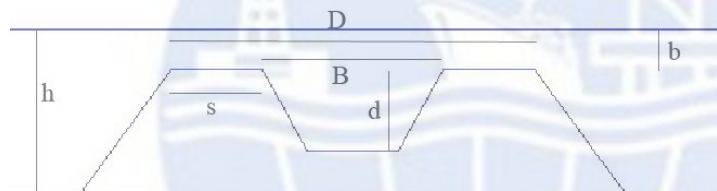
با بکارگیری سایر شرایط مرزی و حل دستگاه معادلات، مقادیر مجهول  $\{\phi\}$  یا  $\left\{\left(\frac{\partial\phi}{\partial n}\right)\right\}$  و نیز  $\{\alpha\}$  به دست می آیند و در ادامه

مقادیر  $\{\phi_s\}$  و  $\left\{\left(\frac{\partial\phi}{\partial n}\right)_s\right\}$  قابل محاسبه خواهند بود. [2]

### 3- معرفی مدل

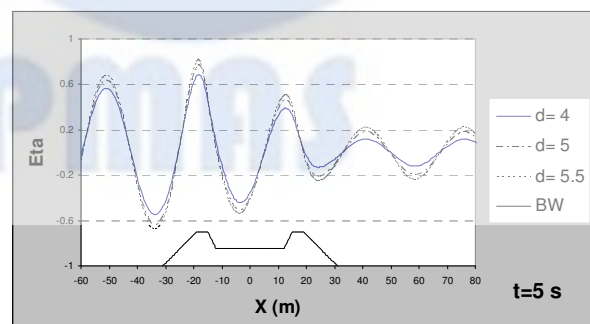
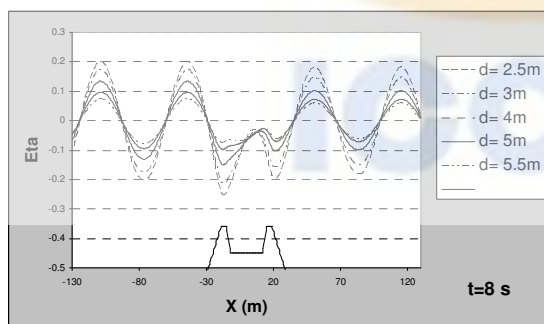
همانطور که در ابتدا نیز ذکر شد، هدف اصلی این تحقیق ارائه مقطع جدیدی از موج شکن مستغرق است تا ضمن کاهش سطح مقطع و در نتیجه کاهش هزینه، در کارایی اصلی موج شکن که کاهش انرژی امواج است خللی وارد نگردد. لذا بریدگی هایی روی سطح تاج موج شکن در نظر گرفته شده و تاثیر آن در حالات مختلف مورد بررسی قرار گرفته است.

شکل (1) مقطع شماتیک یک موج شکن مستغرق را با یک بریدگی دوزنقه ای شکل نشان می دهد. همانطور که ملاحظه می گردد در این شکل h عمق آب، b غرق شدگی موج شکن، d عمق حفره، B عرض حفره، S عرض تاج های طرفین و D عرض کلی تاج موج شکن است. شیب دو طرف سازه برابر 1:2 و شیب درون حفره 1:1 در نظر گرفته شده است.



شکل (1) - مقطع شماتیک موج شکن مستغرق با بریدگی دوزنقه ای شکل

همانطور که قبلاً ذکر شد، در حل مسئله به روش المان مرزی شرط شعاعی در مرزهای جانبی استفاده گردیده است. با توجه به خاصیت این شرط، محل قرارگیری مرزهای جانبی به صورت سعی و خطا بدست می آید و باید به حدی دور باشد که در صورت جابجایی آن، تغییری در نتایج مشاهده نگردد. بدین منظور حوزه هایی با طول های متفاوت مدلسازی شد و در نهایت حوزه ای به طول 300 متر (از -150 تا +150) برای ادامه کار مورد نظر قرار گرفت. اندازه المان ها برابر 1 متر در نظر گرفته شده و عمق آب h نیز در اکثر مدلها برابر 8 متر می باشد. برای محاسبه ضریب انتقال از نسبت ارتفاع موج در فاصله 20 متری از پاشنه سمت ساحل به ارتفاع موج در فاصله 40 متری از پاشنه سمت دریا محاسبه گردیده است. تغییرات ارتفاع موج ورودی H محدود به این بود که موج روی شیب ورودی سازه نشکند. جهت محاسبات کامپیوتری روش المان مرزی نیز از زبان برنامه نویسی Visual Fortran استفاده شده است.



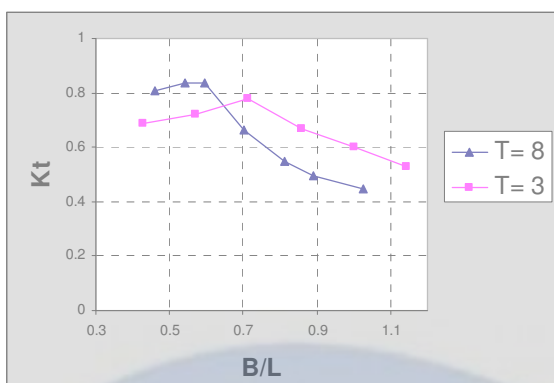
شکل (2) - تغییرات ارتفاع موج هنگام عبور از موج شکن

### 4- بررسی نتایج

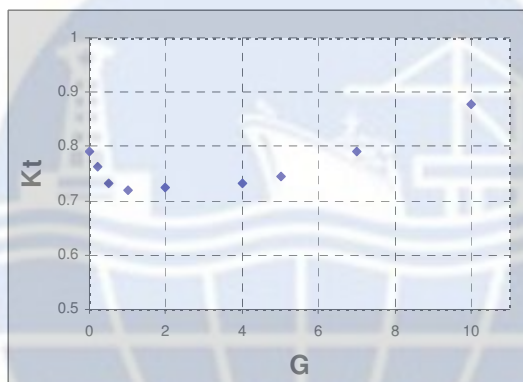
شکل (2) چگونگی تغییرات ارتفاع موج هنگام عبور از بالای موج شکن را نشان می دهد. همانطور که ملاحظه می گردد تغییرات سطح آزاد آب موج با دوره تناوبهای 5 و 8 ثانیه و برای حالت متفاوت در عمق حفره دوزنقه ای رسم گردیده است. ملاحظه می گردد که هنگامی که موج از روی شیب سمت دریای موج شکن بالا می رود، به علت کاهش عمق آب، ارتفاع موج افزایش می یابد. سپس با

رسیدن به حفره و افزایش عمق، ارتفاع موج کم شده و بار دیگر با رسیدن به تاج سمت ساحل موج شکن و کاهش مجدد عمق، ارتفاع موج کمی افزایش می یابد و پس از عبور کامل از موج شکن به ارتفاع ثابتی می رسد.

به طور کلی افت انرژی توسط دو عامل تخلخل سازه و گذر سیال از میان محیط متخلخل تحت تاثیر قرار می گیرد. هنگامی که عامل تخلخل  $G$  به سمت صفر میل می کند، یعنی صفحه ناتراوا می شود، سیالی وجود ندارد که از ناحیه متخلخل عبور کند، بنابراین هیچ افت انرژی نخواهیم داشت. از سوی دیگر هنگامی که  $G$  به سمت بی نهایت میل می کند، گذر سیال از میان صفحه متخلخل به بیشترین حد خود می رسد، اما چون صفحه به شکل گذرا در آمده است، باز هم افت انرژی صفر می شود. در حالتی که مقدار تخلخل و گذر سیال از محیط متخلخل به یک حالت متعادل رسیده باشند، حداکثر مقدار افت انرژی را خواهیم داشت. شکل (3) تغییرات ضریب انتقال را در برابر عامل تخلخل  $G$  نشان می دهد. همانطور که ملاحظه می گردد با افزایش  $G$  از مقدار صفر (حالت ناتراوا) ضریب انتقال موج کاهش می یابد. اما پس از رسیدن به حالت بهینه که تقریباً برابر  $G = 1$  است، مجدداً با افزایش مقدار  $G$  ضریب انتقال موج نیز افزایش می یابد و به سمت مقدار 1 میل می کند.

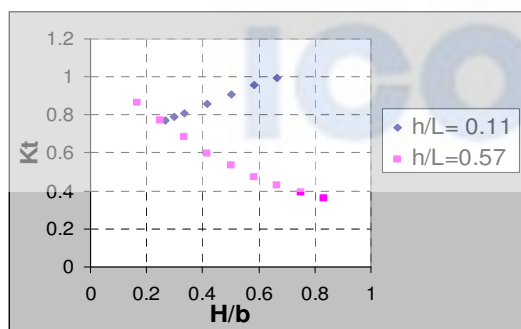


شکل (4)- تغییرات ضریب انتقال نسبت به تغییرات عرض حفره ذوزنقه ای

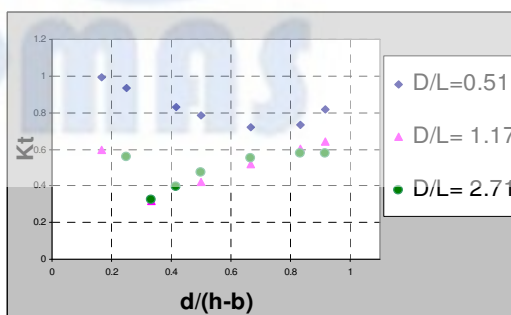


شکل (3)- تغییرات ضریب انتقال در برابر عامل تخلخل  $G$

شکل (4) تاثیر عرض حفره ذوزنقه ای را بر ضریب انتقال نشان میدهد. در نمودار مقدار ضریب انتقال در برابر پارامتر بدون بعد  $(B/L)$  برای دو حالت موج با دوره تناوب های 3 و 8 ثانیه نشان داده شده است. برای هر دو دوره تناوب روند صعودی- نزولی تقریباً یکسانی در مقدار ضریب انتقال مشاهده می گردد. بنابراین با توجه به این نمودار می توان نتیجه گرفت که بدون در نظر گرفتن سایر نتایج ضریب انتقال موج به پارامتر بدون بعد  $(B/L)$  بستگی دارد.



شکل (6)- تغییرات ضریب انتقال نسبت به تغییرات ارتفاع موج ورودی



شکل (5)- تغییرات ضریب انتقال نسبت به تغییرات عمق حفره ذوزنقه ای

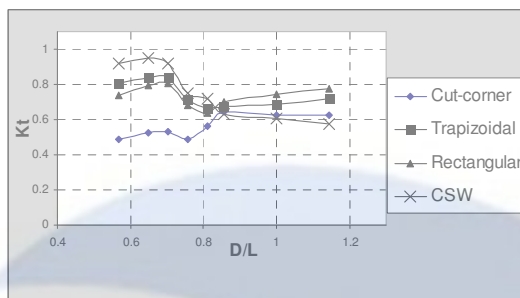
یکی دیگر از پارامترهای تاثیر گذار بر روی ضریب انتقال موج که در این تحقیق بررسی شده است مقدار عمق حفره ذوزنقه ای می باشد. در شکل (5) ضریب انتقال در برابر پارامتر بدون بعد  $d/(h-b)$  رسم شده است. همانطور که ملاحظه می گردد در ابتدا با افزایش مقدار  $d/(h-b)$  ضریب انتقال کاهش می یابد، اما پس از گذشتن مقدار  $d/(h-b)$  از یک مقدار بهینه، ضریب انتقال مجدداً به آرامی افزایش می

یابد. طبق نمودار بدست آمده مقادیر بهینه برای امواجی با دوره تناوب 3 و 5 ثانیه همخوانی خوبی با هم دارند. اما این مقدار برای موجی با دوره تناوب 8 ثانیه متفاوت است.

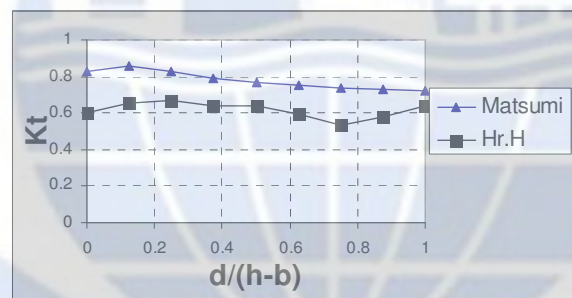
تأثیر ارتفاع موج ورودی بر انتقال موج نیز مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور امواجی با ارتفاعهای متفاوت از روی سازه عبور داده شد. تغییرات ضریب انتقال در برابر پارامتر بدون بعد  $H/b$  برای دو حالت آب با عمق میانه  $h/L=0/11$  و آب عمیق با  $h/L=0/57$  در شکل (6) نشان داده شده است.

همانطور که مشاهده می گردد، نوع تغییرات ضریب انتقال برای دو حالت آب عمیق و عمق میانه کاملاً متضاد یکدیگر است. لذا می توان نتیجه گرفت که تغییرات ارتفاع موج به تنهایی روی ضریب انتقال موثر نبوده و به طول موج ورودی وابسته است.

همانطور که قبلاً نیز ذکر شد، تأثیر وجود یک بریدگی روی تاج موج شکن مستغرق توسط Y. Matsumi و Kimura مورد بررسی قرار گرفته است. [1] به منظور کنترل نتایج بدست آمده در این تحقیق، مدلی مشابه یکی از مدل های Matsumi مجدداً مدلسازی شد. شکل (7) نتایج حاصل از کار Matsumi و این تحقیق را با هم به تصویر کشیده است. این نمودار تغییرات ضریب انتقال موج را نسبت به پارامتر بدون بعد  $d/(h-b)$  را برای مدلی با حفره مستطیلی به عرض  $B=70\text{cm}$  و  $s=15\text{cm}$  و عمق آب  $h=0/5\text{m}$  نشان می دهد. همانطور که مشاهده می گردد، منحنی تغییرات  $Kt$  برای دو مدل تقریباً خط سیر مشابهی را طی می کنند، با این تفاوت که نتایج بدست آمده در این تحقیق کمی پایین تر از نتایج Matsumi قرار دارد.



شکل (8) - تغییرات ضریب انتقال در برابر پارامتر  $(D/L)$  برای چهار حالت حفره ذوزنقه ای، مستطیلی، پلکانی و بدون حفره



شکل (7) - مقایسه تغییرات ضریب انتقال نسبت به تغییرات عمق حفره مستطیلی با نتایج Matsumi

در این تحقیق سعی بر این بوده است تا علاوه بر تأثیر وجود حفره روی تاج موج شکن، در مورد شکل هندسی و تأثیر پارامترهای مختلف آن بر موج نیز تحقیق شود. بدین منظور تغییرات ضریب انتقال موج برای حالت های بریدگی به شکل های مستطیلی، ذوزنقه ای (TSW)، پلکانی و مقطع بدون بریدگی (CSW) در برابر پارامتر بدون بعد  $(D/L)$  در شکل (8) آورده شده است. برای هر مقدار  $(D/L)$ ، تمامی پارامترهای مربوط به موج و موج شکن برای دو حالت حفره مستطیلی و ذوزنقه ای کاملاً مشابه بوده با این تفاوت که شیب های درون حفره ذوزنقه ای به حالت عمودی در می آیند. در حالت پلکانی نیز میزان عرض بریدگی از هر طرف موج شکن برابر با نصف عرض حفره ذوزنقه ای حالت مشابه در نظر گرفته شده است، تا مقدار کاهش سطح مقطع موج شکن برای هر دو حالت برابر باشد. تمامی شرایط هندسی سازه برای دو حالت TSW و CSW نیز به جز عمق حفره  $d$  یکسان هستند.

در پایان همانطور که ملاحظه می گردد وجود حفره نه تنها تأثیر منفی بر کارایی موج شکن ندارد (و در بعضی مواقع حتی باعث کاهش بیشتر انرژی موج می شود)، بلکه باعث میزان قابل توجهی کاهش در سطح مقطع سازه نیز می گردد که این مسئله صرفه جویی اقتصادی خوبی در هزینه های ساخت و اجرای سازه را به همراه خواهد داشت.

### مراجع:

[1] - Y. Matsumi & A. Kimura, Performance of submerged breakwater with gap on its crest surface for wave attenuation, Inigo J. Losada, Coastal structures '99, Vol 2, page.697

[2] - P.L.F. Liu & J.A. Liggett, Application of boundary element methods to problem of water waves, Banerjee & Shaw, Developments in boundary element methods - Vol2

[3] - فرهاد دارابی نیا، تأثیر تخلخل موج شکن های مستغرق بر روی تفرق امواج، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی دانشگاه

تهران، شهریور ماه 1377

## **Effect of Submerged Breakwaters on Waves Height Change Based on a Two-Dimensional Model using Boundary Element**

*Hamid Reza Hassanzadeh, MSc offshore structures, Hormozgan University*

*Dr. Ali AsgharGolshani, associate professor of National Center for Oceans Studies*

### **Abstract**

Utilization of submerged structures at sea as the breakwater has drawn much attention in coastal engineering and port affairs. By means of such breakwaters, sea water can easily pour into the water of the basins at the back of breakwater and this mixture prevents the formation of a locked basin which stops normal cycle of water. Furthermore, this breakwater is an ideal solution to stop erosion in shorelines that also function for tourism targets. Normally, when water depth starts to increase, breakwaters' cross section increases remarkably which, in turn, increases costs. Therefore, solutions must help to design a cross-section for breakwaters that can act efficiently and save energy and cost. This article aims to conduct a study on the effects of breakwater porosity. Also, boundary conditions and certain other parameters are going to be taken into account. In other words, this article seeks to introduce a smaller cross-section for submerged breakwaters in order to not only reduce likely costs but also improve breakwater's efficiency.

***Keywords: submerged breakwater, cost, efficiency, cross section***