



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.



سازمان بنادر و دریانوردی





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



ارزیابی تحلیلی اثر جهت موج بر انعکاس از موج شکن های حفره دار

ایمان ورجاوند، دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی عمران دانشگاه تهران، ivarjavand@ut.ac.ir
 محمد جواد کتابداری، دانشیار، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، mjketabdari@yahoo.com

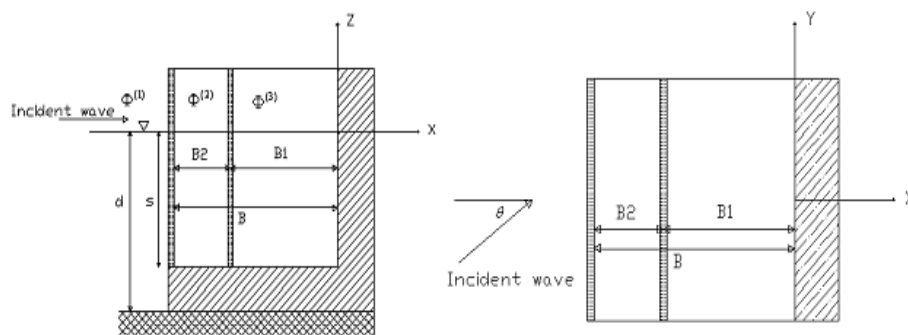
کلید واژه: انعکاس موج، موج شکن های حفره دار، امتداد موج ورودی، امتداد بهینه

خلاصه

موج شکن، سازه ای است که می تواند یک ناحیه امن را در بندرگاه برای بارگذاری و بارگیری کشتی ها فراهم آورد. از میان انواع موج شکن ها، موج شکن های حفره دار برای مستهلک کردن انرژی امواج نزدیک ساحل قابلیت بسیار بالایی دارد. در این مطالعه یک مدل اصلاح شده بر اساس راه حل کلی ارائه شده توسط Li و همکاران (2003) برای محاسبه پتانسیل موج ورودی، عبور کرده و منعکس شده از این موج شکن ارائه شده است. در این مدل پارامتر امتداد موج ورودی در نظر گرفته شده است. این پارامتر نقش مهمی در انعکاس و رد شدگی موج از دیواره های موج شکن و در واقع در کارایی این نوع موج شکن ایفا می کند. امتداد بهینه موج که در آن کمترین انعکاس از موج شکن اتفاق می افتد برای موج شکن محاسبه شده است. نتایج بدست آمده می تواند برای انتخاب نوع و جانمایی موج شکن های حفره دار در دریا با توجه به شرایط خاص محیطی به عنوان دستورالعمل مورد استفاده قرار گیرد.

مقدمه

این مطالعه به بررسی اثر امتداد امواج منظم بر روی انعکاس از موج شکن های حفره دار می پردازد. محیط سیال به سه زیر ناحیه تقسیم شده و برای هر ناحیه روش بسط توابع ویژه مورد استفاده قرار گرفته است. به علاوه فرض شده است که امواج ورودی دارای امتداد های مختلف باشند تا بتوان از این طریق امتدادی که کمترین انعکاس را داشته باشد، بدست آورد. بسیاری از محققان اندرکنش امواج و سازه های متخلخل را مورد بررسی قرار داده اند. در این میان مدل های آزمایشگاهی اندکی به این کار اهتمام داشته اند (مانند [1]، [2]، [3] و [4]). روش های تحلیلی محاسبه ضریب انعکاس برای موج شکن های حفره دار با استفاده از روش بسط توابع ویژه در گذشته توسط تعدادی از محققین گسترش یافته اند. Madsen در سال 1983 یک روش تحلیلی برای انعکاس امواج خطی آب کم عمق از دیواره های قائم متخلخل ارائه کرد [5]. Isaacson و همکاران (2000) یک آنالیز تحلیلی را برای انعکاس موج از یک موج شکن با دیواره جلوی حفره دار، دیواره انتهایی غیر قابل نفوذ و یک هسته پر از سنگ انجام دادند [6]. در این راه حل های تحلیلی فرض بر این بوده که دیواره جلویی حفره دار از کف شروع شده و تا بالای سازه ادامه یابد. شکل (1) دید از بالا و دید عرضی چنین موج شکنی را در دو صفحه XZ و XY نشان می دهد. در این موج شکن ضخامت دیواره های متخلخل در مقابل طول موج ناچیز است، لذا از آن صرف نظر می گردد.



شکل (1): نمای بالا و نمای کنار موج شکن حفره دار دولایه به همراه هندسه مربوطه

آنالیز مدل و راه حل تحلیلی

فرض می شود موجی که با سازه برخورد می کند دارای ارتفاع H ، فرکانس زاویه ای ω و امتداد انتشار θ با محور x ها باشد. همچنین فرض می گردد که سیال غیر لزج و غیر چرخشی است. با این تقسیم بندی محیط موج شکن، سه ناحیه وجود دارد. ناحیه (1) $-d \leq z \leq 0, x \leq -B (B = B_1 + B_2)$ ، ناحیه (2) $-s \leq z \leq 0, -B \leq x \leq -B_1$ و ناحیه (3) $-s \leq z \leq 0, -B_1 \leq x \leq 0, -s \leq z \leq 0$. معادلات پتانسیل در نواحی مختلف موج شکن عبارتند از: برای ناحیه (1): $\nabla^2 \Phi^{(1)} = 0$ برای $-B_1 \leq x \leq 0, -s \leq z \leq 0$ و $-B \leq x \leq -B_1, -\infty \leq y \leq \infty$ ؛ برای ناحیه (2): $\nabla^2 \Phi^{(2)} = 0$ برای $-d \leq z \leq 0, x \leq -B, -\infty \leq y \leq \infty$ و $-B \leq x \leq -B_1, -s \leq z \leq 0$ ؛ برای ناحیه (3): $\nabla^2 \Phi^{(3)} = 0$ برای $-s \leq z \leq 0, -B_1 \leq x \leq 0, -\infty \leq y \leq \infty$. شرایط مرزی برای ناحیه (1) عبارتند از:

$$g \frac{\partial \Phi^{(1)}}{\partial z} - \omega^2 \Phi^{(1)} = 0, z = 0$$

$$\frac{\partial \Phi^{(1)}}{\partial z} = 0, z = -d \quad (1)$$

شرایط مرزی برای نواحی (2) و (3) به شکل زیر می باشند:

$$g \frac{\partial \Phi^{(m)}}{\partial z} - \omega^2 \Phi^{(m)} = 0, z = 0$$

$$\frac{\partial \Phi^{(m)}}{\partial z} = 0, z = -s, m = 2, 3 \quad (2)$$

شرایط مرزی را برای دیواره غیر قابل نفوذ انتهایی موج شکن به شکل زیر داریم:

$$\frac{\partial \Phi^{(3)}}{\partial x} = 0, x = 0 \quad (3)$$

محققان متعددی بر روی تعیین شرط مرزی دیواره متخلخل کار کرده اند. به نظر می رسد شرط مرزی پیشنهادی توسط Sollit و Cross (1972) دارای کارآمدی بالاتری در بیان خصوصیات سیال، در گذر از دیواره های متخلخل باشد [7]. این معادله به شکل زیر است:

$$\frac{\partial U}{\partial t} = -\frac{\nabla P}{\rho} - f\omega U - C_m \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} \frac{\partial U}{\partial t} \quad (4)$$

U بردار سرعت، ρ چگالی سیال، P فشار دینامیکی، ω فرکانس زاویه ای حرکت موج و ε ، f و C_m نسبت تخلخل، ضریب مقاومت تخلخل شده و ضریب جرم افزوده محیط متخلخل می باشند. می دانیم که ضرایب f و C_m فقط از طریق آزمایش تعیین می شوند. معادله (4) منجر به معادله زیر برای بیان اثر دیواره حفره دار می باشد.

$$\frac{\partial \Phi^0}{\partial x} = \frac{\partial \Phi^b}{\partial x} = ikG(\Phi^0 - \Phi^b)$$

$$G = \frac{\varepsilon}{kb\Omega} = G_r + iG_i \quad (5)$$

$$\Omega = f - i(1 + C_m \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon})$$

در این معادله Φ^0 و Φ^b پتانسیل را در بیرون سازه در $x=0$ و $x=b$ نشان می دهند. b ضخامت فیزیکی سازه متخلخل است. G یک پارامتر مختلط برای اثر تخلخل و k عدد موج است. برای اولین دیواره متخلخل، شرایط مرزی گفته شده را می توان به شکل زیر برای بخش متخلخل از $z=0$ تا $z=-s$ و بخش نفوذ ناپذیر انتهایی $z=-d$ تا $z=-s$ نوشت:

$$\Phi_x^{(1)} = \Phi_x^{(2)} = i\lambda_0 G_1 (\Phi^{(1)} - \Phi^{(2)}), \quad x = -B, -s \leq z < 0 \quad (6)$$

$$\Phi_x^{(1)} = 0, \quad x = -B, -d \leq z < -s \quad (7)$$

برای دیواره متخلخل دوم نیز داریم:

$$\Phi_x^{(2)} = \Phi_x^{(3)} = i\lambda_0 G_2 (\Phi^{(2)} - \Phi^{(3)}), \quad x = -B_1, -s \leq z < 0 \quad (8)$$

در معادلات بالا G_1 و G_2 پارامترهای تخلخل برای دیواره اول و دوم هستند. این پارامترها را فقط می توان از طریق آزمایش بدست آورد. λ_0, k_0 عدد موج برای دو بخش (داخل و خارج) مختلف از موج شکن هستند که از دو معادله $\omega^2 = gk_0 \tanh(k_0 d)$ و $\omega^2 = g\lambda_0 \tanh(\lambda_0 s)$ زیر بدست می آیند. با توجه به منظم بودن موج ورودی به موج شکن، پتانسیل به شکل زیر است:

$$\Phi^I = \frac{-igH}{2\omega} Z_0 \exp[ik_{0x}(x + B_1 + B_2)] \exp(ik_{0y}y) \quad (9)$$

که $k_0^2 = k_{0y}^2 + k_{0x}^2$ و $Z_0 = \frac{\cosh k_0(z+d)}{\cosh(k_0 d)}$ می باشد. در ناحیه (1) می توان با استفاده از تکنیک جداسازی متغیرها، پتانسیل را بدست آورد:

$$\Phi^{(1)} = \frac{-igH}{2\omega} \left\{ \begin{aligned} & Z_0 \exp[ik_{0x}(x + B_1 + B_2)] + Z_0 R_0 \exp[-ik_{0x}(x + B_1 + B_2)] + \\ & \sum_{m=1}^{\infty} R_m Z_m \exp[k_{mx}(x + B_1 + B_2)] \end{aligned} \right\} \exp(ik_{0y}y) \quad (10)$$

در معادله بدست آمده $Z_m = \frac{\cos k_m(z+d)}{\cos(k_m d)}$ برای $m=1,2,3,\dots$ و k_m, k_{mx} از معادلات $\omega^2 + gk_m \tan(k_m d) = 0$ و

$k_m^2 = k_{mx}^2 + k_{0y}^2$ بدست می آیند. R_m ضریب مجهول بسط نامیده می شوند. با همین روش، می توان فرم مناسب پتانسیل را نیز برای نواحی (2) و (3) بدست آورد:

$$\Phi^{(2)} = \frac{-igH}{2\omega} \left\{ \begin{aligned} & A_0 Y_0 \cos \lambda_{0x}(x + B_1) + C_0 Y_0 \sin \lambda_{0x}(x + B_1) + \\ & \sum_{n=1}^{\infty} A_n Y_n \cosh \lambda_{nx}(x + B_1) + \sum_{n=1}^{\infty} C_n Y_n \sinh \lambda_{nx}(x + B_1) \end{aligned} \right\} \exp(ik_{0y}y) \quad (11)$$

Archive of SID

$$\Phi^{(3)} = \frac{-igH}{2\omega} \left\{ D_0 Y_0 \cos \lambda_{0x} x + \sum_{n=1}^{\infty} D_n Y_n \cosh(\lambda_{nx} x) \right\} \exp(ik_{0y} y)$$

در این معادلات $Y_n = \frac{\cos \lambda_n(z+s)}{\cos \lambda_n s}$ برای $n=1,2,3,\dots$ و λ_n ریشه مثبت معادله $\omega^2 = g \lambda_n \tan(\lambda_n s)$ است. λ_{nx} و λ_{0x} از معادلات

با D_n و C_n و $A_n, n=0,1,2,3,\dots$ و $R_m, m=0,1,2,\dots$ ضرایب مجهول بسط می آیند. $\lambda_n^2 = \lambda_{nx}^2 - k_{0y}^2$ و $\lambda_0^2 = \lambda_{0x}^2 + k_{0y}^2$ مطابق کردن شرایط دیواره های حفره دار در سازه بدست می آیند. با این کار در دیواره متخلخل میانی که $x = -B_1$:

(13)

$$\Phi_x^{(2)} = \Phi_x^{(3)}, x = -B_1, -s \leq z < 0$$

در معادله (13) با ضرب کردن طرفین در تابع Y_n و انتگرالگیری در امتداد z داریم:

(14)

$$\int_{-s}^0 \frac{\partial \Phi^{(2)}}{\partial x} Y_n dz = \int_{-s}^0 \frac{\partial \Phi^{(3)}}{\partial x} Y_n dz$$

اگر مود های محدود امواج ناپایدار در نظر گرفته شوند و بسط پتانسیل سرعت در دو طرف دیواره متخلخل دوم محدود به تعداد بزرگ $n = N$ ، با توجه به خاصیت تعامد توابع Y_n ، یکسری از معادلات خطی می توانند به فرم کلی زیر بدست آیند:

(15)

$$\{C_n\}_{N+1} = [b_{nm}]_{(N+1)(N+1)} \{D_n\}_{N+1}$$

b_{nm} یک ماتریس معلوم قطری است. تابع پتانسیل در $x = -B_1$ به صورت زیر بیان می گردد:

(16)

$$\Phi_x^{(3)} = i\lambda_0 G_2 (\Phi^{(2)} - \Phi^{(3)}), x = -B_1, \dots -s \leq z < 0$$

برای معادله بالا نیز اگر طرفین معادله را در Y_n ضرب کرده و در امتداد z انتگرال گیری کنیم خواهیم داشت:

$$\int_{-s}^0 i\lambda_0 G_2 \Phi^{(2)} Y_n dz = \int_{-s}^0 \left(i\lambda_0 G_2 \Phi^{(3)} + \frac{\partial \Phi^{(3)}}{\partial x} \right) Y_n dz \quad (17)$$

اگر بسط پتانسیل های سرعت در طرفین دیواره حفره دار به صورت تعداد محدود N بجای انتگرال گیری بکار رود، معادله (17) به فرم یکسری از معادلات خطی به شکل زیر بدست خواهد آمد:

$$\{A_n\}_{N+1} = [a_{nm}]_{(N+1)(N+1)} \{D_n\}_{N+1} \quad (18)$$

a_{nm} یک ماتریس معلوم قطری است. با بررسی و مطابقت شرایط مرزی در دیواره حفره دار جلویی در $x = -B$:

$$\Phi_x^{(1)} = \Phi_x^{(2)}, x = -B, -s \leq z < 0 \quad (19)$$

$$\Phi_x^{(1)} = 0, x = -B, -s \leq z < 0 \quad (20)$$

در معادله (19) باز هم طرفین را در تابع Z_m ضرب کرده و بر حسب z انتگرال گیری می کنیم. اگر مطابق بالا عمل کنیم به یک سری معادلات خطی دیگر به شکل زیر می رسیم:

(21)

$$[c_{mn}]_{(N+1)(N+1)} \{A_n\}_{N+1} + [d_{mn}]_{(N+1)(N+1)} \{C_n\}_{N+1} = \{R_m\}_{N+1} + \{e_m\}_{N+1}$$

ماتریس های c_{mn} ، d_{mn} و e_m ماتریس هایی معلوم هستند. به طور مشابه طرفین معادله (20) را در تابع Y_n ضرب کرده و بر حسب z انتگرال گیری می کنیم. با محدود کردن ضرایب بسط به تعداد N خواهیم داشت:

(22)

$$[f_{nn}]_{(N+1)(N+1)} \{A_n\}_{N+1} + [g_{nn}]_{(N+1)(N+1)} \{C_n\}_{N+1} = [h_{nn}]_{(N+1)(N+1)} \{R_m\}_{N+1} + \{t_n\}_{N+1}$$

ماتریس های f_{nn} ، g_{nn} ، h_{nn} و t_n ماتریس هایی معلوم هستند. با توجه به معادلات اندرکنش سیال با موج شکن حفره دار، مجهولات، چهار ضریب بسط A_n ، C_n ، R_m و D_n هستند که از معادلات خطی بیان شده در قبل بدست می آیند. در زیر فقط مجهول R_m ارائه شده و تعیین دیگر مجهولات و نحوه استفاده از آنها در تحلیل های هیدرودینامیکی به تحقیقات آتی موکول می شود.

(23)

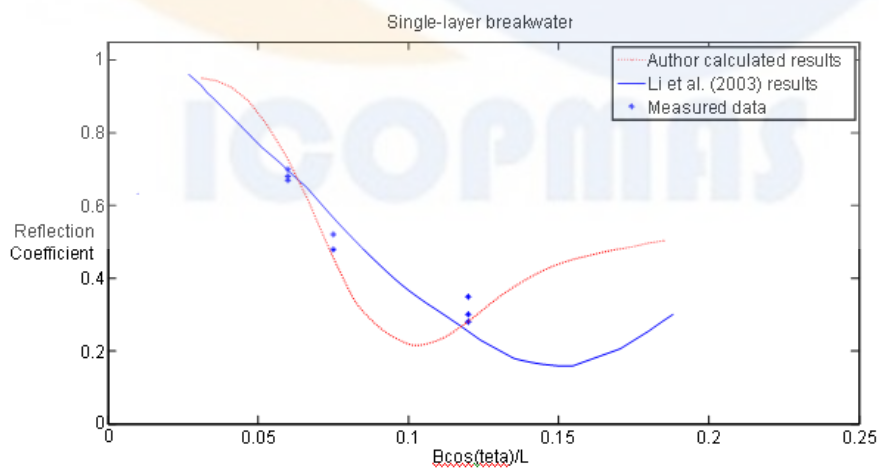
$$R_m = (c_{mn} + d_{mn} b_{nn} a_{nn}^{-1})(f_{nn} + g_{nn} b_{nn} a_{nn}^{-1} - h_{nm} c_{mn} - h_{nm} d_{mn} b_{nn} a_{nn}^{-1})^{-1} (-h_{nm} e_m + t_n)$$

با داشتن ضرایب A_n ، C_n ، R_m و D_n می توان پتانسیل را در هر نقطه از داخل موج شکن حل کرد. ضریب انعکاس همانطوری که از معادلات پتانسیل مشخص می شود، به شکل زیر است:

$$k_r = |R_0| \quad (24)$$

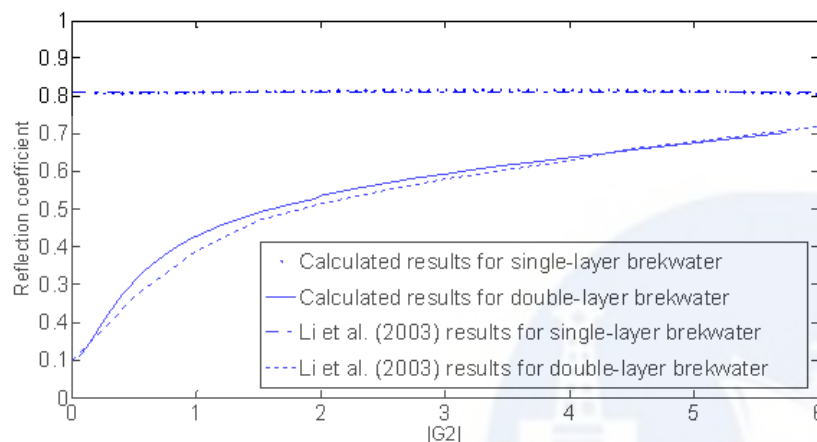
معتبر سازی مدل

نتایج محاسبه شده بر اساس مدل بالا با نتایج آزمایشگاهی و تحلیلی بدست آمده توسط Li و همکاران (2003) مقایسه شده اند [8]. شکل (2) مقایسه ای میان نتایج آزمایشگاهی و نتایج به دست آمده از برنامه را برای موج شکن منفرد حفره دار نشان می دهد. در این شکل، $\varepsilon = 0.4$ ، $kd = 1.05$ ، $\theta = 22.5^\circ$ است. همان طور که از شکل مشخص است منحنی به دست آمده از مدل به نتایج آزمایشگاهی بسیار نزدیک است ولی با نتایج Li و همکاران (2003) کمی تفاوت دارد.



شکل (2): مقایسه نتایج آزمایشگاهی و نتایج برنامه، همچنین مقایسه نتایج برنامه با نتایج Li و همکاران [8]

شکل (3) ضریب انعکاس از موج شکن های حفره دار تک و دو لایه را نسبت به پارامتر اثر تخلخل دومین دیواره حفره دار نشان می دهد. برای این شکل $B \cos \theta / L = 0.4$ و $\theta = 30^\circ, kd = 1.60, q = 0.5, G_1 = 1.0 \exp(0i), B_2/B = 0.5$ شده بسیار به نتایج بدست آمده از نتایج Li و همکاران (2003) نزدیک هستند. با توجه به نتایج آزمایشگاهی و تحلیلی در دسترس به نظر می رسد که هر دو نتایج محاسبه شده توسط مدل و Li و همکاران (2003) همخوانی خوبی داشته و قابل قبول می باشند و می توانند برای پیش بینی ضریب انعکاس از موج شکن های حفره دار بکار روند.

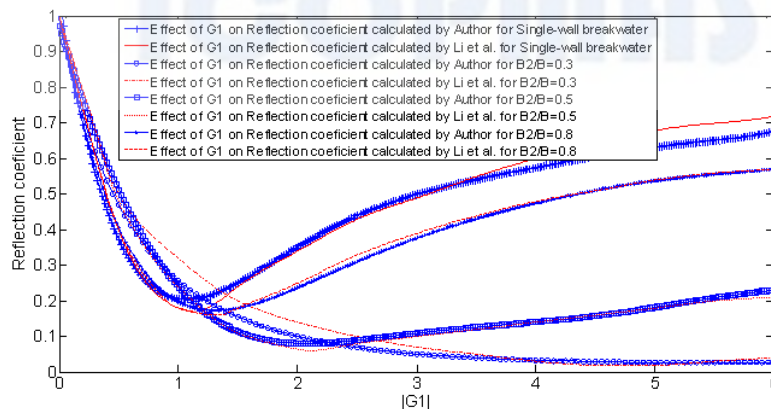


شکل (3): مقایسه نتایج مدل با نتایج Li و همکاران [8]

ضریب انعکاس را می توان بر حسب پارامترهای دیگری بیان کرد [3]:

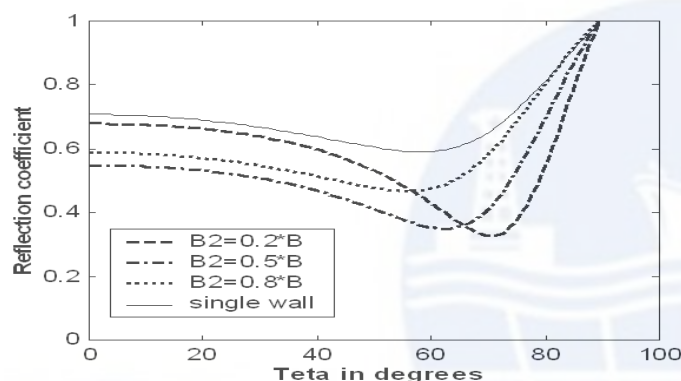
$$K_r = f\left(\frac{d}{L}, \frac{B}{L}, \frac{H_I}{L}, \varepsilon, q\right) \quad (28)$$

در این رابطه d عمق آب قبل از سازه، L طول موج، B عرض داخلی موج شکن، H_I ارتفاع موج ورودی به موج شکن، ε تخلخل هندسی دیواره جلویی موج شکن و q نسبت ارتفاع آب داخل اتاقک موج شکن به عمق آب در جلوی موج شکن می باشد. به هر حال به نظر نویسندگان این مطالعه، پارامتر دیگری که بر ضریب انعکاس از موج شکن و ضرایب بسط پتانسیل تأثیر دارد، زاویه ورودی موج نسبت به موج شکن θ است. در ادامه، به تأثیر این پارامتر بر روی ضریب انعکاس و پتانسیل در داخل موج شکن می پردازیم و تعیین خواهیم کرد که یک موج شکن با شرایط ثابت هندسی و هیدرولیکی در چه زاویه ای کمترین انعکاس را دارد. شکل (4) مقایسه دیگری از نتایج مدل را با نتایج تحلیلی Li و همکاران (2003) نشان می دهد. همخوانی موجود بسیار خوب است گرچه در مورد $\frac{B_2}{B} = 0.3$ توجه بیشتری نیاز است. به هر حال همخوانی کلی واضح است.



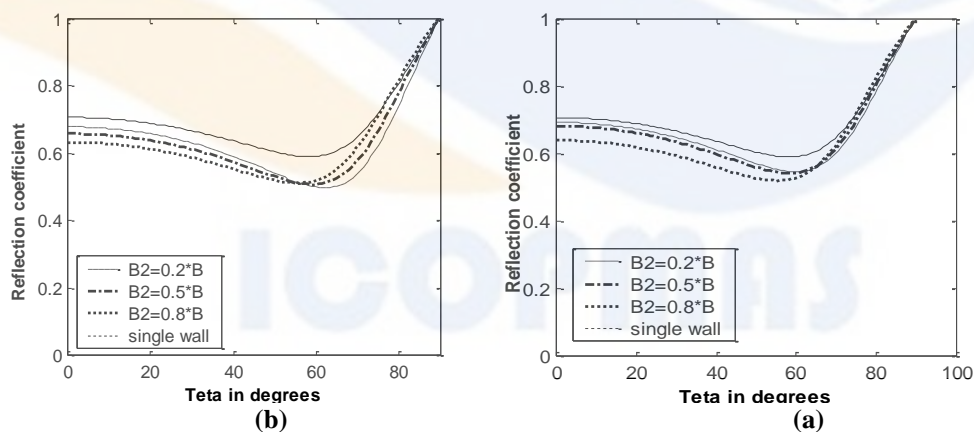
شکل (4): مقایسه نتایج مدل با نتایج Li و همکاران [8]

شکل (5) ضرایب انعکاس را برای مقادیر مختلف $\frac{B_2}{B}$ نسبت به امتداد موج ورودی بر اساس نتایج مدل برای موج شکن های حفره دار تک لایه و دولایه نشان می دهد. در این شکل همانطور که مشاهده می شود ضریب انعکاس k_r هنگامی که θ به 90° درجه می رسد برابر واحد می گردد. این موضوع با حس فیزیکی همخوانی عالی دارد یعنی در این حالت موج موازی دیواره جلوی موج شکن عبور می کند و ارتفاع موج ورودی و خروجی با یکدیگر برابر هستند. برای این نوع موج شکن حداقل ضریب انعکاس در $60^\circ \leq \theta \leq 70^\circ$ رخ می دهد که برای طراحی موج شکن حفره دار در برابر امواج دریا حائز اهمیت است. همانطور که مشاهده می شود با افزایش پارامتر $\frac{B_2}{B}$ ، ضریب انعکاس مینیمم، افزایش یافته و زاویه مربوط به این ضریب انعکاس مینیمم، کاهش می یابد. البته این روال برای ضریب انعکاس در حالت $\theta = 0$ وجود ندارد. موج شکن منفرد برای این مساله دارای ضریب انعکاس بالاتری نسبت به موج شکن های دولایه در تمامی زوایای ورودی می باشد.



شکل (5): ضریب انعکاس از موج شکن های حفره دار تک لایه و دولایه برای $kd = 1.60, q = 0.5, \frac{B_2}{B} = [0.2, 0.5, 0.8], |G_1| = 1.0, |G_2| = 0.5$

شکل (6) نیز مساله بالا را برای مقادیر دیگری از $|G_2|$ نشان می دهد.



شکل (6) ضریب انعکاس از موج شکن های حفره دار تک و دولایه برای $kd = 1.60, q = 0.5, \frac{B_2}{B} = [0.2, 0.5, 0.8], |G_1| = 1.0$ (a) $|G_2| = 2.0$, (b) $|G_2| = 5.0$

نتایج مربوط به این شکل مانند نتایج شکل (5) می باشند. فقط مقدار مینیمم ضریب انعکاس در زاویه $55^\circ \leq \theta \leq 65^\circ$ صورت می پذیرد. ضمناً ضرایب انعکاس در حالت $\theta = 0$ دارای نظم بهتری بوده، بدین ترتیب که با کاهش نسبت $\frac{B_2}{B}$ برای موج شکن، ضریب انعکاس در $\theta = 0$ افزایش می یابد.

نتیجه گیری

مدلی برای پیش بینی پتانسیل یک موج خطی در داخل و خارج از یک موج شکن حفره دار توسعه داده شده است. با اصلاح مدل تحلیلی Li و همکاران (2003) و اجرای آن بر روی موج شکن های حفره دار، نشان داده شد که همخوانی خوبی بین نتایج مدل و نتایج تحلیلی و آزمایشگاهی وجود دارد. البته یک مقداری نیز اختلاف در نتایج تحلیلی برای موج شکن های حفره دار تک لایه وجود دارد. مطالعات نشان می دهد که اثر امتداد موج ورودی به موج شکن قابل ملاحظه بوده و بایستی بیشتر به آن پرداخته شود. مدل پیشنهادی در این مطالعه می تواند برای پیدا کردن امتداد بهینه، که در اثر آن موج دارای ضریب انعکاس کمتری داشته باشد به کار رود. آنچه که از این تحقیق نتیجه شده است این است که در زاویه ای میان 55 تا 70 درجه حداقل انعکاس را برای موج شکن های حفره دار دولایه و منفرد خواهیم داشت. با توجه به آنچه گفته شد می توان دریافت که اثر زاویه موج بر رفتار هیدرودینامیکی موج شکن، اثری پیچیده و در عین حال بسیار مهم است. به نظر می رسد همین زاویه موج یکی از پارامترهای مهم در بحث طراحی موج شکن های حفره دار باشد.

منابع و مآخذ

- [1]. CHEN, X.F.; LI, Y.C., and SUN, D.P., (2000). An Experimental Study of Wave Acting on Perforated Caisson. China Offshore Platform Vol. 16, No. 6, pp. 1-6 (in Chinese, with English abstract)
- [2]. CHEN, X.F.; LI, Y.C., and SUN, D.P., (2002). Regular Waves Acting on Double-layered Perforated Caissons. Proc. of 12th (2002) ISOPE, Vol. 3. ISOPE, USA, pp. 736-743.
- [3]. TANIMOTO, K., and YOSHIMOTO, Y., (1982). Theoretical and Experimental Study of Reflection Coefficient for Wave Dissipating Caisson with a Permeable Front Wall. Report of Port and Harbour Research Institute Vol. 21 No. 3, pp. 43-77.
- [4]. TERRET, F.L.; OSORIO, J.D.C., and LEAN, G.H., (1968). Model Studies of a Perforated Breakwater. Proc. 11th Conf. on Coastal Eng., vol. 3. ASCE, USA, pp. 1104-1120.
- [5]. MADSEN, P.A., (1983). Wave reflection from a vertical permeable wave absorber. Coastal Engineering Vol. 7, pp.381-396
- [6]. ISAACSON, M.; BALDWIN, J.; ALLYN, N., and COWDELL, S., (2000). Wave Interactions with Perforated Breakwater. Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering Vol. 126, pp. 229-235
- [7]. SOLLITT, C.K., and CROSS, R.H., (1972). Wave Transmission through Porous Breakwaters. Proc. 13th Conf. on Coastal Engineering. ASCE, USA, pp. 1827-1846.
- [8]. LI, Y.; DONG, G.; LIU, H., and SUN, D., (2003). The Reflection of Oblique Incident Waves by Breakwaters with Double-layered Perforated Wall. Coastal Engineering, pp. 47-60.

ICOPMAS