

ارزیابی تأثیر مشخصات هندسی پایه بر عملکرد موج شکن شمعی در معرض امواج دریا با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی

مهرداد شوکتیان بیرق^۱، دکتر علیرضا مجتهدی^۲، دکتر حمید احمدی^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های دریایی، دانشگاه تبریز؛ m.shokatian.s@gmail.com

^۲ استادیار، دانشگاه تبریز؛ mojtabehedi@tabrizu.ac.ir

^۳ استادیار، دانشگاه تبریز؛ h-ahmadi@tabrizu.ac.ir

چکیده

موج شکن‌ها، سازه‌هایی هستند که برای محافظت از سواحل در برابر برخورد امواج ساخته می‌شوند. موج شکن‌های شمعی از جمله موج شکن‌های باز هستند که تبعات زیست‌محیطی کمتری نسبت به شکل مرسوم موج شکن‌ها (موج شکن‌های توده‌سنگی) دارند. بررسی اندرکنش امواج و موج شکن شمعی می‌تواند درک بهتری برای طراحی این سازه‌ها در اختیار مهندسين قرار بدهد. در این تحقیق برای بررسی رفتار موج شکن شمعی در برابر امواج از نرم‌افزار FLOW-3D که بر پایه روش‌های دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) استوار است، استفاده شده‌است. در تحقیق حاضر از پارامتر ضریب عبور و بازتاب موج، برای بررسی کارایی موج شکن شمعی بهره گرفته شده‌است. برای این منظور موج شکن شمعی، در نرم‌افزار شبیه‌سازی شده‌است. به منظور صحت‌سنجی نتایج عددی، از نتایج آزمایشگاهی استفاده شده‌است. در ادامه تأثیر پارامترهای سرعت جریان، عمق نسبی و زاویه قرارگیری پایه‌های موج شکن، بر ضریب عبور موج در برابر امواج منظم خطی مطالعه گردیده‌است. همچنین ضریب بازتاب موج برای موج شکن مورد مطالعه، تحت بارگذاری امواج نامنظم تولید شده با طیف (P-M) Pierson-Moskowitz، ارزیابی شده‌است. تأثیر شکل مقطع پایه‌ها با دو مقطع دایره‌ای و مربعی بر ضریب بازتاب موج بررسی گردیده‌است. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که در مدل موج شکن مورد مطالعه مقطع مربعی برای پایه‌های موج شکن از عملکرد بهتری در قیاس با مقطع دایره‌ای برخوردار است.

کلمات کلیدی: عملکرد موج شکن، ضریب عبور موج، ضریب بازتاب موج، FLOW-3D

۱- مقدمه

سواحل دائماً تحت تأثیر امواج می‌باشند. امواج باعث آبشستگی و تغییر خط ساحلی در طول زمان می‌شود که این امر احداث سازه‌ها و امکانات ساحلی را در این مناطق بدون حفاظت از آن عملاً غیر ممکن می‌کند. یکی از انواع سازه‌های حفاظت از سواحل در مقابل برخورد امواج، موج شکن-ها می‌باشند. یکی از متداول‌ترین نوع موج شکن‌ها، موج شکن توده‌سنگی است. این نوع از موج شکن‌ها محیط ساحلی را به طور کامل محافظت می‌کنند. این در حالی است که در بسیاری از موارد برای حفاظت از تأسیسات ساخته شده در سواحل نیاز است که امواج برخوردی به ساحل نه به صورت کامل بلکه به صورت جزئی مستهلک گردد. بنابراین احداث چنین سازه‌هایی برای حفاظت از سواحل همیشه ضروری نیست. ساخت موج شکن‌های توده‌سنگی علاوه بر این که هزینه‌های ساخت بالایی دارد، با قطع کامل جریان و حرکت آب مشکلات زیست‌محیطی نیز به همراه دارد. به این منظور می‌توان از موج شکن‌های باز همچون موج شکن شمعی که به صورت یک یا چند ردیف از شمع‌ها در برابر امواج قرار می‌گیرند، استفاده نمود. این نوع موج شکن‌ها، مقداری از انرژی موج برخوردی به سازه موج شکن را مستهلک می‌کنند. یعنی وقتی موج به موج شکن برخورد می‌کند قسمتی از موج بازتاب می‌گردد و بخشی نیز از موج شکن عبور کرده و به سمت ساحل انتشار می‌یابد. بنابراین لازم است تأثیر متقابل امواج و این نوع از موج شکن‌ها را بر یکدیگر مورد مطالعه قرار داد تا بتوان کارایی این نوع موج شکن‌ها را در شرایط محیطی مختلف مورد بررسی قرار داده و عملکرد آن‌ها را بهبود بخشید. Wiegel [۱]، موج شکن شمعی را برای اولین بار پیشنهاد نمود. او مطالعات مدل را روی ارتفاع موج منتقل شده از میان یک ردیف از پایه‌های استوانه‌ای با فرض این که بخشی از قدرت منتقل شده از میان سازه‌ی شمعی با ناحیه‌ی فضای خالی بین شمع‌ها متناسب است، انجام داد. Grüne و Kohlhasse [۲]، ضریب عبور موج را برای دیوارهای عمودی شکافدار به صورت تابعی از تخلخل، شکل دیوار و جهت موج برخوردی مورد مطالعه آزمایشگاهی قرار دادند. Rai و Abdul Khader [۳]، جنبه‌های هیدرولیکی پایه‌های استوانه‌ای با فاصله‌ی نزدیک به هم به عنوان موج شکن را با توجه به پارامترهایی چون فاصله استوانه‌ها، قطر استوانه، تیزی موج و عمق آب نسبی مطالعه نمودند. Mani [۴]، عبور و بازتاب موج از یک و دو ردیف از شمع‌های عمودی را به صورت آزمایشگاهی بررسی نمود. Ahmed و Schlenkhof [۵]، عملکرد هیدرولیکی موج شکن نفوذپذیر با دو دیوار عمودی شکافدار در برابر امواج منظم با فرکانس‌های مختلف را به صورت نیمه تحلیلی و عددی با استفاده از نرم‌افزار FLOW-3D مطالعه کردند. Dentale و همکاران [۶]، میزان بالاروی موج و همچنین میزان بازتاب موج از موج شکن توده‌سنگی

با لایه آرمور بتنی تتراپاد تحت امواج نامنظم و با استفاده از نرم افزار FLOW-3D مطالعه نمودند. Yagci و همکاران [۷]، با استفاده از یک مدل فیزیکی، به بررسی عملکرد و کارایی موج شکن شمعی با نه پایه در دوردیف پرداختند. در این تحقیق عملکرد یک موج شکن شمعی با نه پایه در برابر امواج منظم و نامنظم، برای بررسی تأثیر پارامترهای محیطی و هندسی پایه ها مطالعه گردیده است.

۲- مدل سازی عددی موج شکن شمعی مورد مطالعه

۲-۱- معرفی پارامترهای هیدرولیکی

کارایی یک موج شکن شمعی، با پارامترهایی به نام ضریب عبور موج و ضریب بازتاب موج سنجیده می شود. ضرایب عبور و بازتاب موج به ترتیب از روابط ۱ و ۲ محاسبه می شود:

$$C_t = \frac{H_t}{H_i} \quad (1)$$

$$C_r = \frac{H_r}{H_i} \quad (2)$$

در روابط فوق H_i ، ارتفاع موج برخوردی به سازه، H_t ، ارتفاع موج عبوری از سازه موج شکن و H_r ارتفاع موج بازتابیده از سازه موج شکن می باشد.

۲-۲- مدل سازی فیزیک مسئله با استفاده از نرم افزار FLOW-3D

استفاده از آزمایش جهت بررسی مسائل مربوط به اندرکنش آب و سازه امری متداول و بسیار مفید جهت فراگیری و نیز به دست آوردن نتایج قابل اطمینان در این زمینه، می باشد. ولی با توجه به زمان بر و به ویژه هزینه بر بودن کارهای آزمایشگاهی استفاده از روش های حل عددی می تواند یکی از راه های کم هزینه برای مطالعه رفتار سیال باشد. در این تحقیق از نرم افزار دینامیک سیالاتی FLOW-3D برای بررسی اندرکنش امواج با موج شکن شمعی استفاده شده است. نرم افزار FLOW-3D با توجه به این که از سلول های مکعب مستطیلی (شبه سازه یافته) برای تعیین محدوده محاسباتی استفاده می کند، لذا برای گسسته سازی معادلات حاکم بر حرکت سیال از روش تفاضل محدود استفاده می کند. معادلات پیوستگی، اندازه حرکت و روش استفاده شده برای مدل سازی جریان سطح آزاد در این نرم افزار به شرح زیر است.

۲-۲-۱- معادله پیوستگی

در نرم افزار FLOW-3D، معادله پیوستگی برای سیالات غیر قابل تراکم مانند آب، به صورت رابطه ۳ می باشد:

$$\frac{\partial}{\partial x}(uA_x) + R \frac{\partial}{\partial y}(vA_y) + \frac{\partial}{\partial z}(wA_z) + \xi \frac{uA_x}{x} = \frac{R_{SOR}}{\rho} \quad (3)$$

در رابطه فوق V_F کسر حجمی^۱، ρ دانسیته سیال، R_{SOR} چگالی منبع جرم هستند. مؤلفه های سرعت (u, v, w) در جهت (x, y, z) هستند. A_x ، A_y و A_z کسرهای سطحی^۲ جریان به ترتیب در جهت های x ، y و z است و مقدار ضریب ξ و R بستگی به نوع سیستم مختصات دارد [۸].

۲-۲-۲- معادله اندازه حرکت

معادلات حرکت برای مؤلفه های سرعت سیال (u, v, w) در سه جهت معادلات ناویر-استوکس با چند عبارت اضافه شده در رابطه ۴ بیان می شود.

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left\{ uA_x \frac{\partial u}{\partial x} + vA_y R \frac{\partial u}{\partial y} + wA_z \frac{\partial u}{\partial z} \right\} - \xi \frac{A_y v^2}{xV_F} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + G_x + f_x - b_x - \frac{R_{SOR}}{\rho V_F} (u - u_w - \delta u_s) \\ \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left\{ uA_x \frac{\partial v}{\partial x} + vA_y R \frac{\partial v}{\partial y} + wA_z \frac{\partial v}{\partial z} \right\} - \xi \frac{A_y uv}{xV_F} &= -\frac{1}{\rho} \left(R \frac{\partial p}{\partial x} \right) + G_y + f_y - b_y - \frac{R_{SOR}}{\rho V_F} (v - v_w - \delta v_s) \\ \frac{\partial w}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left\{ uA_x \frac{\partial w}{\partial x} + vA_y R \frac{\partial w}{\partial y} + wA_z \frac{\partial w}{\partial z} \right\} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + G_z + f_z - b_z - \frac{R_{SOR}}{\rho V_F} (w - w_w - \delta w_s) \end{aligned} \quad (4)$$

در این روابط (G_x, G_y, G_z) شتاب بدنه، (f_x, f_y, f_z) شتاب های لزجت، (b_x, b_y, b_z) افت جریان در محیط های متخلخل می باشد. در ضمن $U_w = (u_w, v_w, w_w)$ سرعت مؤلفه منبع و $U_s = (u_s, v_s, w_s)$ سرعت سیال در سطح منبع نسبت به خود منبع است [۸].

۲-۲-۳- روش حجم سیال

روش حجم سیال برای مدل سازی جریان های سطح آزاد به کار می رود. نرم افزار FLOW-3D از این روش برای مدل سازی جریان های سطح آزاد استفاده می کند. زمانی که جریان داری سطح آزاد است، تمام سلول ها پر از سیال نیستند و تعدادی از سلول ها که در سطح جریان قرار دارند نیمه پر می باشند. وضعیت سیال به وسیله کمیت تابع حجم سیال $F(x, y, z, t)$ ، که بیانگر جزئی از سلول است که توسط سیال پر شده است، بیان می شود و رابطه ۵ را ارضا می کند [۸].

$$\frac{\partial F}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left[\frac{\partial}{\partial x}(FA_x u) + R \frac{\partial}{\partial y}(FA_y v) + \frac{\partial}{\partial z}(FA_z w) \right] + \xi \frac{FA_x u}{x} = F_{DIF} + F_{SOR} \quad (5)$$

¹ Fractional Volume
Fractional Area

در رابطه فوق، F_{DIF} به وسیله رابطه ۶ تعریف می‌شود.

$$F_{DIF} = \frac{1}{v_F} \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left(v_F A_x \frac{\partial F}{\partial x} \right) + R \frac{\partial}{\partial x} \left(v_F A_y \frac{\partial F}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_F A_z \frac{\partial F}{\partial z} \right) + \xi \frac{v_F A_x F}{x} \right\} \quad (6)$$

در رابطه فوق ضریب پخش به صورت $v_F = \frac{c_F \mu}{\rho}$ تعریف می‌شود. c_F یک ضریب ثابت است که معکوس آن معادل عدد آشفتگی اشمید می‌باشد. تابع حجم سیال (F)، بین صفر و یک تغییر می‌کند. بدین ترتیب با وجود یک سیال، در صورتی که $F=1$ باشد در این صورت سلول محاسباتی به طور کامل شامل سیال است و در صورتی که $F=0$ شود سلول محاسباتی خالی از سیال است [۸].

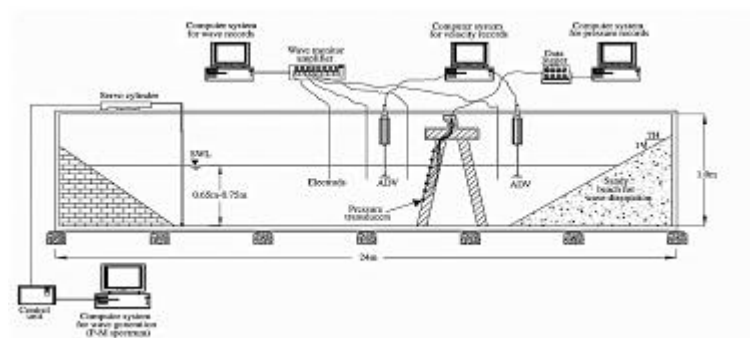
۲-۴ معرفی مشخصات فیزیکی موج‌شکن مورد مطالعه

در این تحقیق، عملکرد یک موج‌شکن شمعی با نه پایه مطابق با نتایج حاصل از کار تجربی Yagci و همکاران [۷] مورد مطالعه قرار گرفته‌است. این آزمایش در داخل یک فلوم موج‌ساز به ابعاد $1 \times 1 \times 24$ (شکل ۱)، صورت گرفت. سازه موج‌شکن در برابر امواج منظم خطی و امواج نامنظم با طیف موج Pierson-Moskowitz قرار داشت.

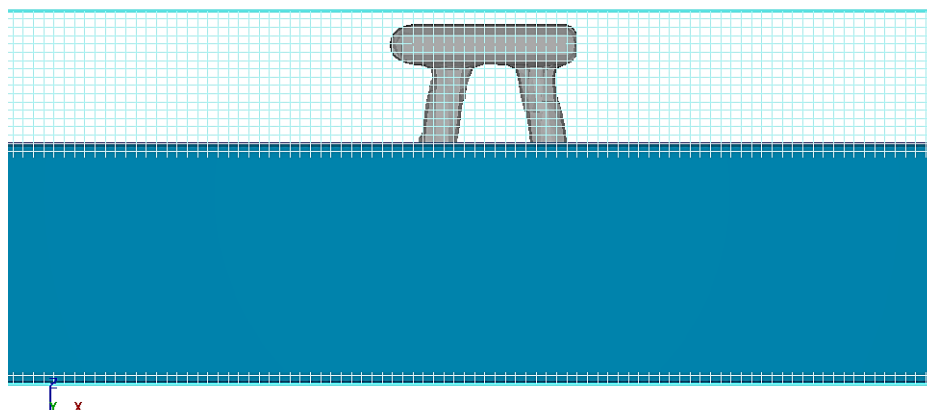
برای کاهش زمان حل مسأله فلوم موج به ابعاد $1 \times 1 \times 12$ در نرم‌افزار شبیه‌سازی شده‌است. برای مدل‌سازی جریان آشفته نیز در تمام شبیه‌سازی‌ها از مدل آشفتگی RNG استفاده شده‌است. در شکل ۲ مدل شبیه‌سازی شده تحقیق Yagci و همکاران [۷]، در شبکه مش‌بندی در داخل محدوده محاسباتی و در حضور آب و از نمای جانبی نشان داده شده‌است. مشخصات مش‌بندی محدوده محاسباتی در جدول ۱ آمده است. با توجه به فیزیک مسأله همان‌طور که در شکل ۳ نشان داده شده‌است، برای X_{min} ، شرط مرزی موج، برای X_{max} ، شرط مرزی Outflow، برای Y_{min} ، Y_{max} و Z_{min} ، شرط مرزی Wall و برای Z_{max} از شرط مرزی Symmetry استفاده شده‌است.

جدول ۱: مشخصات مش‌بندی محدوده محاسباتی در نرم‌افزار FLOW-3D

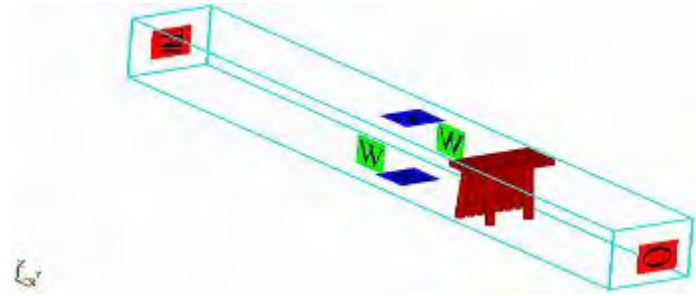
اندازه مش (سانتی متر)	تعداد مش	
۳/۳	۳۶۰	جهت X
۳	۳۳	جهت Y
۳	۳۳	جهت Z
۲۹۴۰۳۰		مجموع



شکل ۱: طرح فلوم موج‌ساز و موج‌شکن آزمایش Yagci و همکاران [۷]



شکل ۲: مدل سازی موج شکن مورد مطالعه در نرم افزار FLOW-3D

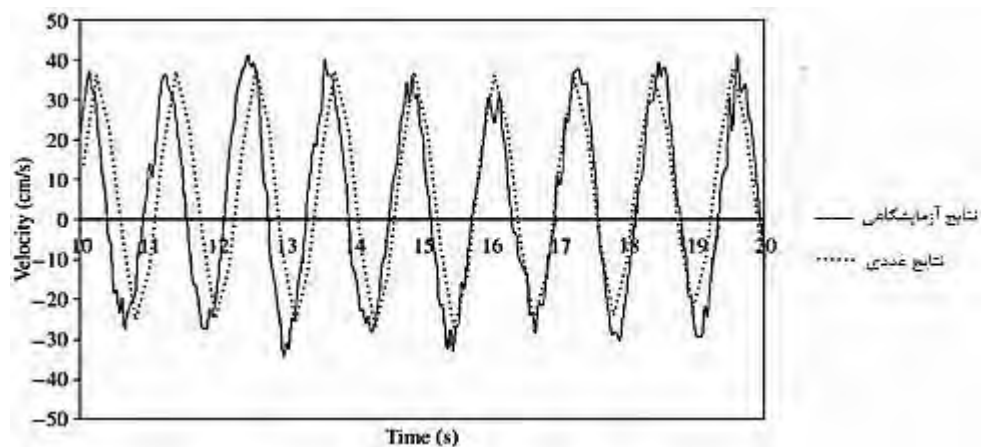


شکل ۳: اعمال شرایط مرزی در شش وجه محدوده محاسباتی

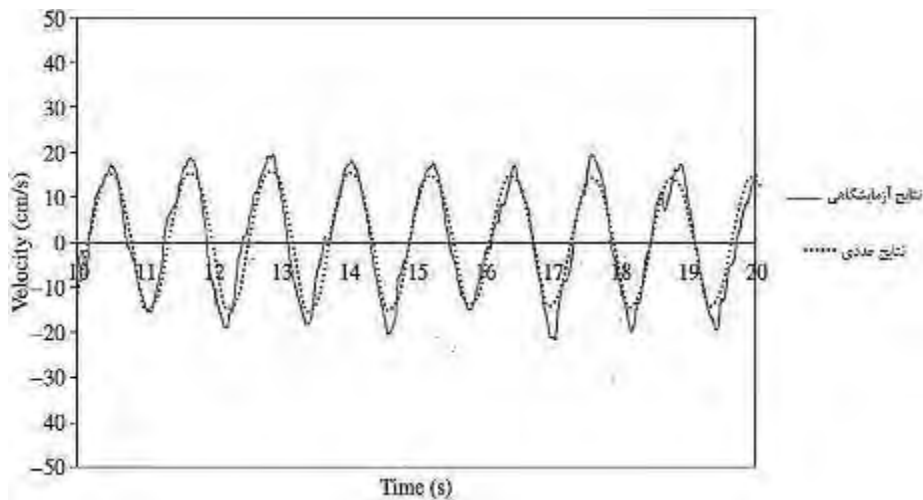
۴- نتایج و بحث

۴-۱- صحت سنجی نتایج عددی

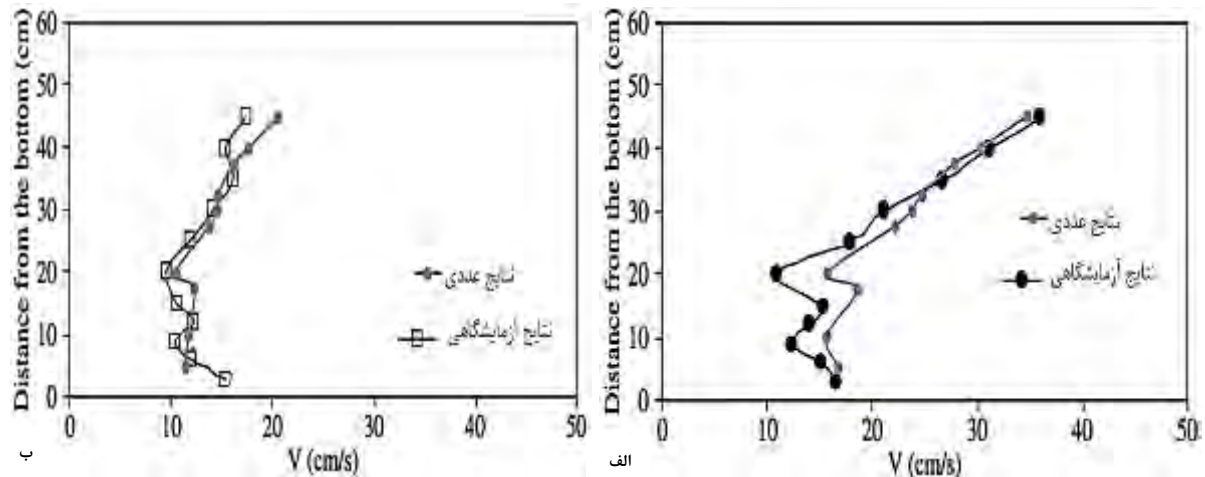
در این تحقیق با توجه به نتایج تجربی، برای موج منظم با ارتفاع موج 0.166 متر و با دوره تناوب $1/2$ ثانیه، سرعت ذرات سیال سنجیده شده است. اشکال ۴ و ۵ به ترتیب مقایسه میان نتایج آزمایشگاهی و نتایج عددی حاصل از نرم افزار FLOW-3D برای سرعت در راستای x (راستای انتشار موج) و z (راستای نوسان سطح آب) را نشان می دهند. نتایج به دست آمده مطابقت مناسب را میان نتایج آزمایشگاهی و نتایج عددی نشان می دهد. در شکل ۶ تغییرات سرعت نسبت به عمق نشان داده شده است. شکل ۶-الف مقایسه نتایج آزمایشگاهی و عددی سرعت نسبت به عمق را در جلوی سازه موج شکن و برای موج برخوردی نشان می دهد. شکل ۶-ب مقایسه بین نتایج آزمایشگاهی و عددی سرعت را در پشت سازه و برای موج عبوری نمایش می دهد. مقایسه بین هر دو نوع نتایج مطابقت مناسب را میان آنها نشان می دهد. در ضمن مقایسه میان سرعتها در نزدیک بستر در جلو و پشت سازه موج شکن نشان می دهد که سازه موج شکن کمترین دخالت را می تواند در انتقال رسوب داشته باشد.



شکل ۴: مقایسه بین نتایج آزمایشگاهی [۷] و نتایج عددی حاصل از نرم افزار برای سرعت در راستای x

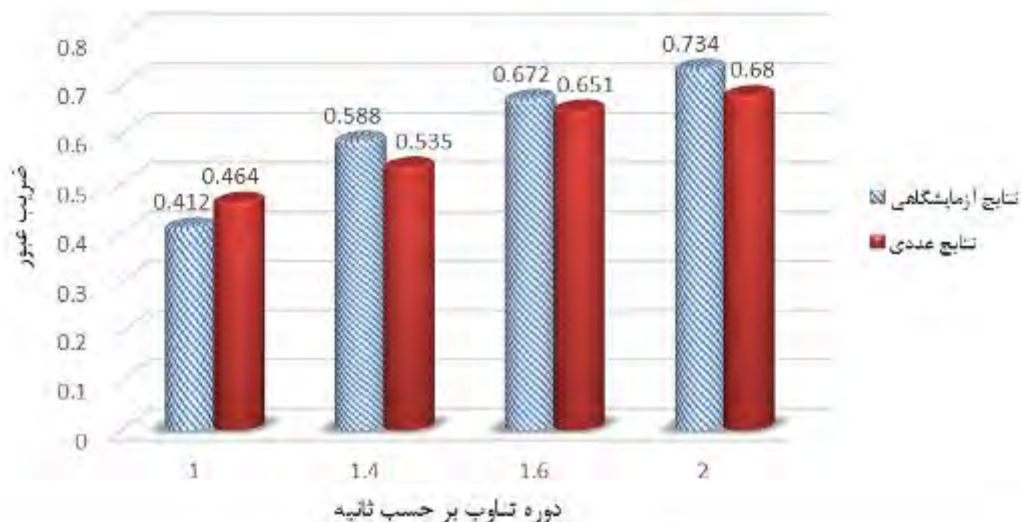


شکل ۵: مقایسه بین نتایج آزمایشگاهی [۷] و نتایج عددی حاصل از نرم افزار برای سرعت در راستای z



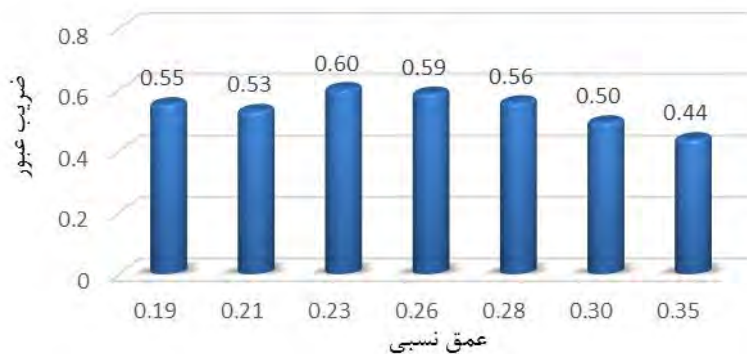
شکل ۶: مقایسه تغییرات سرعت نسبت به عمق بین نتایج عددی و آزمایشگاهی [۷]. الف) برای موج برخوردی، ب) برای موج عبوری

شکل ۷ تغییر پارامتر ضریب عبور را نسبت به دوره تناوب موج و نیز مقایسه نتایج عددی و نتایج آزمایشگاهی را نشان می دهد. نتایج بدست آمده با خطای حداکثر ۷ درصد قابل قبول به نظر می رسد. همچنین این شکل نشان می دهد، موج شکن برای امواج با دوره تناوب کمتر کارایی بیشتری نسبت به امواج با دوره تناوب بزرگ تر دارد.



شکل ۷: مقایسه نتایج عددی و نتایج آزمایشگاهی [۷] ضریب عبور موج نسبت به دوره تناوب موج

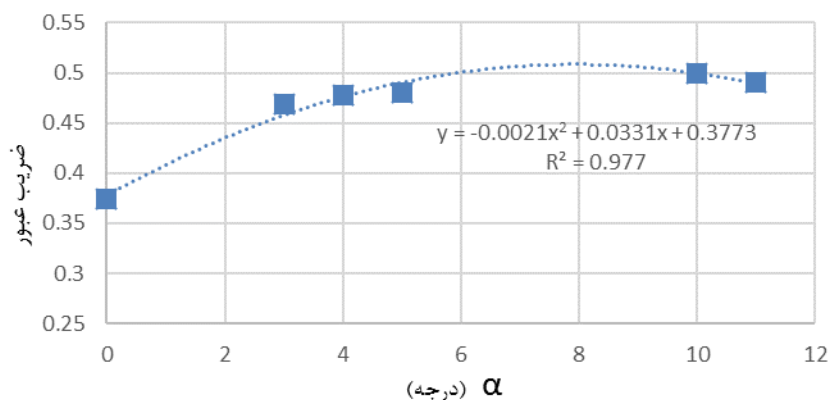
نمودار شکل ۸، مقایسه فشار دینامیکی ناشی از امواج نامنظم بر روی سازه موج شکن را نسبت به فاصله از بستر، در دو حالت آزمایشگاهی و بررسی عددی، نشان می دهد. فشار دینامیکی نشان داده شده در شکل ۸ نماینده میانگین ۵ درصد بیشینه فشارهای دینامیکی در لحظات مختلف، چه در نتایج آزمایشگاهی و چه در نتایج عددی، می باشد. موج اعمال شده به سازه با استفاده از طیف P-M و با مشخصات دوره تناوب پیک ۱/۶۷ ثانیه و ارتفاع موج مشخصه ۰/۱۲ متر تعریف شده است. نتایج بدست آمده از نرم افزار در اعماق بالای ۰/۱ متر تطابق خوبی با نتایج آزمایشگاهی دارد ولی در عمق ۰/۰۲ متر میزانی اختلاف بین نتایج عددی و آزمایشگاهی دیده می شود. این امر می تواند به دلیل شرایط آزمایشگاهی باشد. وجود ناهمواری در بستر فلوام موج ساز می تواند باعث ایجاد آشفتگی هایی در نزدیک بستر شود که نهایتاً افزایش فشار در این ناحیه را منجر می شود. همچنین می تواند به علت خطای محاسباتی توسط نرم افزار به دلایل مختلف باشد. ولی در اعماق بالاتر این اثر دیگر نمایان نمی باشد و نتایج تطابق خوبی با هم دارند.



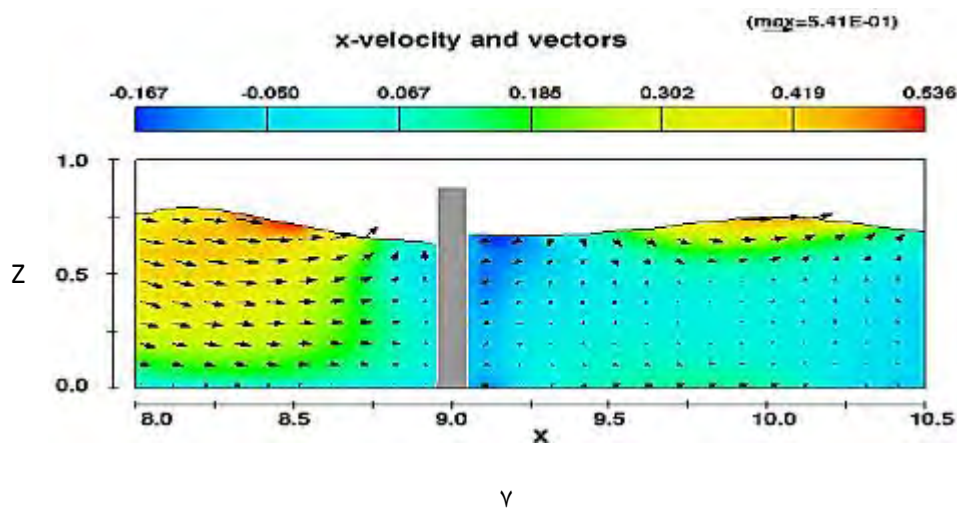
شکل ۱۰: تغییرات ضریب عبور نسبت به تغییر عمق نسبی

۴-۲-۳- اثر زاویه قرارگیری پایه‌های موج‌شکن در برابر امواج

پایه‌های موج‌شکن مورد مطالعه Yagci و همکاران [۷]، با زاویه ۱۱ درجه نسبت به محور Z قرار داده شده‌اند. نمودار شکل ۱۱ تأثیر تغییر زاویه پایه‌های موج‌شکن نسبت به محور Z (α) در حالتی که پایه‌ها حول محور Y پادساعتگرد دوران می‌کنند را بر روی ضریب عبور موج‌شکن نمایش می‌دهد. موج برخوردی به صورت منظم خطی با ارتفاع ۰/۱۵ متر و دوره تناوب ۱ ثانیه در عمق ۰/۶۵ متر، تعریف شده‌است. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود، با افزایش زاویه α ، میزان ضریب عبور نیز افزایش می‌یابد. در ضمن کمترین میزان عبور موج در حالتی رخ می‌دهد که زاویه α صفر درجه باشد و پایه‌ها به صورت قائم در برابر امواج قرار گیرند. شکل ۱۲ تأثیر موج‌شکن را بر روی استهلاك امواج برخوردی به سازه در حالتی که $\alpha=0$ می‌باشد، نشان می‌دهد.



شکل ۱۱: اثر تغییر زاویه پایه‌ها نسبت به محور Z بر روی ضریب عبور



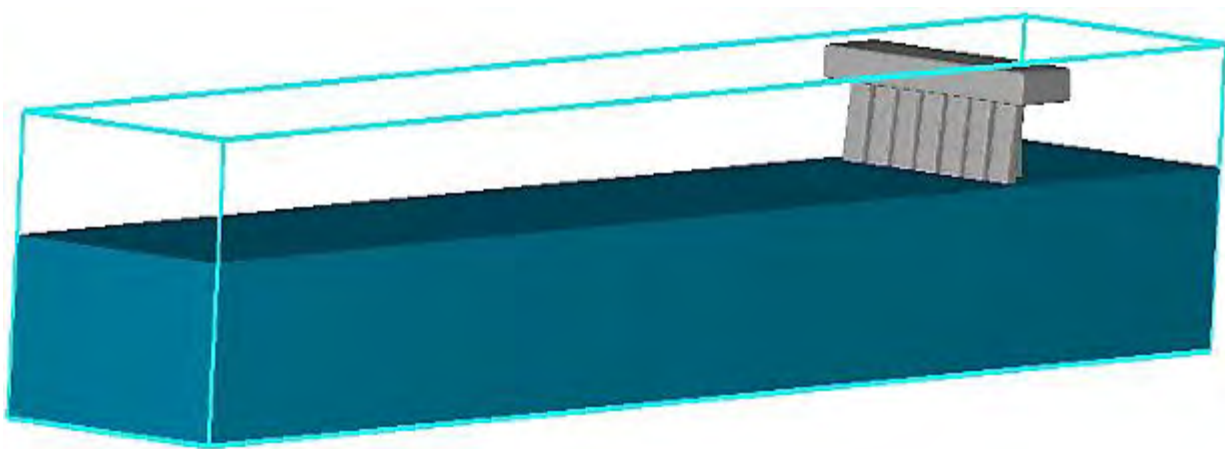
شکل ۱۲: اثر موج شکن شمعی بر روی موج برخوردی ($\alpha=0$)

۳-۴- ارزیابی عددی عملکرد موج شکن شمعی در معرض امواج نامنظم

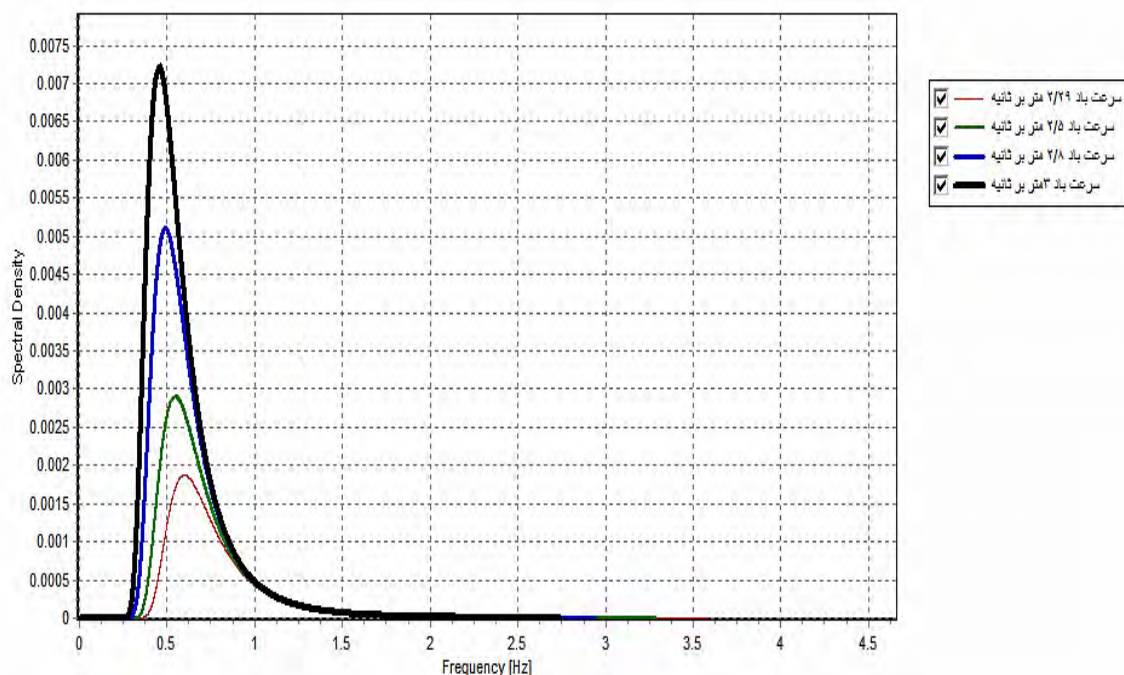
در این قسمت عملکرد موج شکن شمعی مورد مطالعه تحت امواج نامنظم بررسی می شود. امواج نامنظم اعمال شده به سازه توسط طیف P-M تعریف شده اند. این طیف برای شرایط دریایی کاملاً توسعه یافته می باشد. طیف حاصل به صورت رابطه ۷ بیان می شود. تنها پارامتر مجهول برای تعریف طیف P-M سرعت باد می باشد. در این رابطه $\omega_p = \frac{0.855g}{U_{10}}$ فرکانس زاویه ای مربوط به دوره تناوب پیک و U_{10} سرعت باد ۱۰ متر بالای تراز ایستایی آب می باشد.

$$E(\omega) = \frac{0.0081g^2}{\omega^5} \exp \left[-\frac{5}{4} \left(\frac{\omega_p}{\omega} \right)^4 \right] \quad (7)$$

به منظور مقایسه و بررسی تأثیر هندسه مقطع پایه ها بر عملکرد موج شکن شمعی مورد مطالعه با نه پایه در برابر امواج نامنظم، علاوه بر موج شکن شمعی با پایه های دایره ای، در حالتی که پایه ها با مقطع مربعی (با قطر یکسان با پایه های دایره ای) هستند نیز در نرم افزار مدل سازی گردید (شکل ۱۳). شکل ۱۴ طیف امواج اعمال شده به سازه موج شکن در هر دو حالت با پایه های مربعی و دایره ای را نشان می دهد. مشخصات امواج تولید شده ناشی از این طیف ها در جدول ۲ آمده است.



شکل ۱۳: موج شکن شمعی مدل شده در نرم افزار با پایه های مربعی

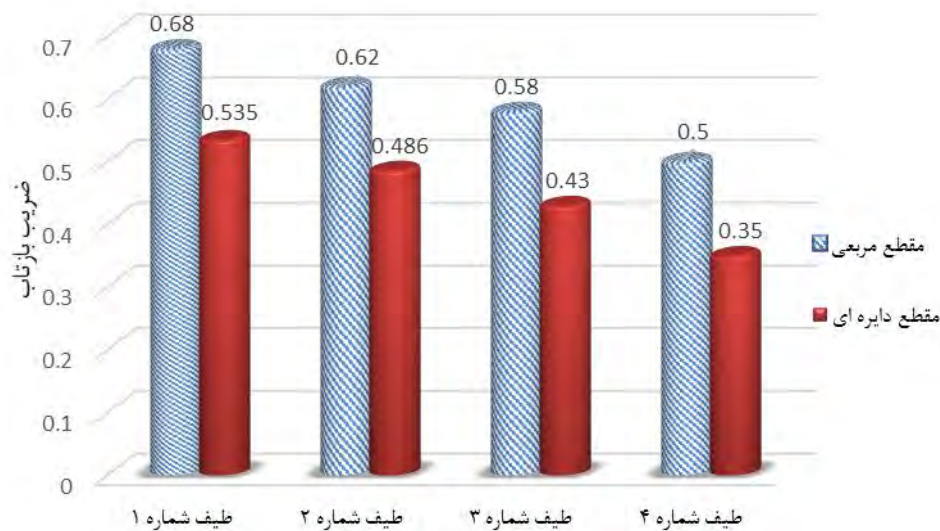


شکل ۱۴: طیف امواج نامنظم اعمال شده به سازه موج شکن با پایه های مربعی و دایره ای

جدول ۲: مشخصات امواج نامنظم اعمال شده به سازه موج شکن

شماره طیف موج	ارتفاع موج مشخصه (متر)	دوره تناوب پیک (ثانیه)	سرعت باد (متر بر ثانیه)
۱	۰/۱۲	۱/۶۷	۲/۲۹
۲	۰/۱۳۲	۱/۸۲	۲/۵
۳	۰/۱۶۶	۲/۰۴	۲/۸
۴	۰/۱۹۰	۲/۱۹	۳

برای محاسبه ضریب بازتاب موج از سازه موج شکن از روش سه نقطه‌ای Mansard و Funk [۹] استفاده شده است. نمودار شکل ۱۵ مقایسه ضریب بازتاب موج برای پایه‌های دایره‌ای مقطع مربعی را نشان می‌دهد. با توجه به نمودار ضریب بازتاب از پایه‌ها با مقطع مربعی، به طور میانگین ۳۳ درصد از ضریب بازتاب از پایه استوانه‌ای با مقطع دایره‌ای بیشتر است. در ضمن این نمودار نشان می‌دهد با افزایش انرژی طیف موج برخوردی به سازه موج شکن، میزان ضریب بازتاب در هر دو شکل پایه کاهش می‌یابد. جالب این که میزان کاهش ضریب بازتاب با افزایش انرژی طیف موج برای هر دو نوع پایه یکسان بوده و مستقل از شکل پایه‌ها است.



شکل ۱۵: مقایسه ضریب بازتاب از پایه‌ها با مقطع دایره‌ای و مربعی

۵- نتیجه‌گیری

نتایج به دست آمده از این تحقیق به شرح زیر می‌باشد:

- نتایج مربوط به بررسی‌های ضریب عبور موج حاکی از این موضوع است که افزایش سرعت جریان در راستای انتشار امواج برخوردی به موج شکن موجب افزایش ضریب عبور موج می‌شود. این نکته نشان‌دهنده عملکرد منفی جریان‌های ساحلی بر کارکرد موج شکن‌های شمعی در حفاظت از سواحل می‌باشد.
- نتایج به دست آمده مبین کاهش جزئی در ضریب عبور موج با افزایش پارامتر محیطی عمق نسبی می‌باشد. پیامد این کاهش جزئی در ضریب عبور موج مؤید عدم تأثیرپذیری کارایی موج شکن از پارامتر محیطی عمق نسبی می‌باشد.
- جهت رسیدن به بازدهی و کارایی حداکثری از موج شکن با مقطع دایره‌ای، زوایای مختلف قرارگیری پایه‌ها نسبت به امواج برخوردی به موج شکن مورد مطالعه قرار گرفت. خروجی نتایج بیانگر این موضوع بود که در حالتی که پایه‌های موج شکن کاملاً به صورت قائم در برابر امواج برخوردی قرار گیرند ضریب عبور موج کاهش قابل توجهی را پیدا می‌کند.
- در این مطالعه برای پیشنهاد مناسب‌ترین مقطع برای پایه، موج شکن مورد مطالعه با دو مقطع دایره‌ای و مربعی تحت بارگذاری امواج نامنظم مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش انرژی طیف موج برخوردی به سازه ضریب بازتاب موج کاهش می‌یابد.

میزان کاهش برای هر دو نوع موج شکن تقریباً یکسان بوده و مستقل از شکل مقطع پایه‌ها می‌باشد. در حالی که میزان بازتاب از موج-شکن با پایه‌های مربعی به طور میانگین ۳۳ درصد بیشتر از ضریب بازتاب از همان موج شکن با مقطع دایره‌ای است. لذا می‌توان گفت عملکرد موج شکن با مقطع مربعی در مقابل امواج بهتر از همان موج شکن با پایه‌های دایره‌ای می‌باشد.

مراجع

- [1] Wiegel, R. L., Closely Spaced Piles as a Breakwater, Dock and Harbor Authority, 1961.
- [2] Grüne, J., Kohlhasse, S., "Wave transmission through vertical slotted walls." Proceedings of 14th Coastal Engineering Conference, Copenhagen, 1974.
- [3] Abdul Khader, M. H., Rai, S.P., "Wave attenuation due to closely spaced circular cylinders.", Proceedings of the International Association for hydraulic Research, XIX Congress, New Delhi, 1981.
- [4] Mani, J. S., "Wave damping characteristics of Pile breakwaters." Proceedings of 3rd Conference on Dock and Harbour Engineering., India, 1989.
- [5] Ahmed, H., Schlenkhoff, A. "Numerical Investigation of Wave Interaction with Double Vertical Slotted Walls." World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Environmental, Ecological, Geological and Mining Engineering, Vol.8, pp.536-543, 2014.
- [6] Dentale, F., Donnarumma, G., Carratelli, P. E., "Numerical wave interaction with tetrapods breakwater." International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering., Vol. 6, pp. 2092-6782, 2014.
- [7] Yagci, O., Kirca, V.S.O., Kabdasli, M.S., Celik, A.O., Unal, N.E., Aydingakko, A., "An experimental model application of wavescreen: Dynamic pressure, water particle velocity, and wave measurements.", Coastal Engineering, Vol. 33, pp.1299-1321, 2006.
- [8] Flow Science Inc., FLOW-3D Theory Manual, Release 10.1.0, 2012.
- [9] Mansard, E.P.D. and Funke, E.R. "The measurement of incident waves and reflected spectra using a least square method." Proceedings of 17th Coastal Engineering Conference, Sydney, 1980.