

بررسی تأثیر توأم عرض و عمق آبخور موج شکن شناور پانتونی روی ضریب انتقال موج با استفاده از مدل سازی عددی

محمد نقوی^{۱*} و محمد علی لطف‌اللهی یقین^۲

چکیده

در این پژوهش تأثیر توأم پارامترهای مختلف سازه‌ای مانند عرض و آبخور موج شکن شناور پانتونی بر روی ضریب عبور موج بررسی شده است. برای یافتن تأثیر توأم عرض و عمق آبخور موج شکن شناور روی ضریب عبور موج، سه آبخور ۰/۸، ۱ و ۱/۲ متر و پنج عرض ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶، ۰/۸، ۱/۲ و ۱/۴ متر بررسی شد. تحلیل‌ها برای دوره‌های زمانی با میانگین ۰/۲، ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۴ ثانیه و محدوده ارتفاع موج ۰/۲ تا ۱/۲ متر انجام شد. با توجه به تحلیل‌های انجام شده با نرم‌افزار ANSYS AQWA و نشان داد که ضریب انتقال موج با افزایش عرض و آبخور موج شکن شناور به طور محسوسی کاهش می‌یابد به طوری که ضریب انتقال موج از ۰/۸۸ برای موج شکنی به عرض ۰/۴ متر و آبخور ۰/۸ به ۰/۳۴ برای موج شکن به عرض ۱۲ متر و آبخور ۱/۲ رسیده است.

واژه‌های کلیدی: پارامترهای سازه‌ای، ضریب انتقال موج، موج شکن شناور پانتونی، ANSYS AQWA.

ارجاع: نقوی م. و لطف‌اللهی یقین م. ع. ۱۳۹۴. بررسی تأثیر توأم عرض و عمق آبخور موج شکن شناور پانتونی روی ضریب انتقال موج با استفاده از مدل سازی عددی. مجله پژوهش آب ایران. ۱۷: ۴۳-۵۰.

۱- کارشناس ارشد مهندسی عمران، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز.

۲- استاد گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز.

* نویسنده مسئول: naghavil71@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۵/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۹/۱۲

مقدمه

از آنجا که درصد زیادی از جمعیت جهان در مناطق ساحلی پراکنده شده‌اند و از نظر اقتصادی وابستگی زیادی به دریا دارند، ضرورت ایجاد منطقه‌ای آرام و محافظت شده در برابر پدیده‌های دریایی از قبیل موج و طوفان برای پهلوگیری شناورها و سایر فعالیت‌های مرتبط با دریا مطرح می‌شود (آژرن، ۲۰۰۹).

یکی از روش‌های حفاظت از سواحل برای جلوگیری از حمله موج و فرسایش ساحل و یا ایجاد محیطی آرام در محدوده‌ای از دریا، استفاده از موج‌شکن شناور است. موج‌شکن‌های شناور به‌عنوان جایگزینی مناسب و اقتصادی برای موج‌شکن‌های سنتی به ویژه در بنادر ماهی‌گیری، بنادر بازسازی شده و بنادر تفریحی با توجه به هزینه سنگین موج‌شکن‌های ثابت و نیز مدت زمان طولانی اجرای آن‌ها مطرح هستند (مورالی و مانی، ۱۹۹۷).

موج‌شکن‌های شناور زمانی کاربرد اصلی خود را نشان دادند که برای بعضی از مناطق ساحلی با عمق زیاد احتیاج به محافظت در مقابل امواج در یک حد نسبی بود و احتیاج به محافظت صد در صد با موج‌شکن‌های سنتی نبود. در این مواقع هزینه ساخت موج‌شکن‌های ثابت با افزایش عمق با نرخ زیادی افزایش می‌یافت و با توجه به غیراقتصادی بودن طرح‌های سنتی، موج‌شکن‌های شناور بررسی شدند.

یکی از معمول‌ترین انواع موج‌شکن‌های شناور که عملکرد ثابت شده و مؤثری دارد نوع پانتونی است (دریمر و همکاران، ۱۹۹۱). موج‌شکن شناور پانتونی سازه‌ای شناور و منشوری است که با سیستم مهاری در کف دریا ثابت شده است.

کاربرد عمده موج‌شکن‌های شناور در استهلاک انرژی امواج است. موج‌شکن‌های شناور مشابه سایر موج‌شکن‌ها، انرژی موج را با کاهش ارتفاع موج در سمت دریا کاهش داده و سبب حفاظت محدوده سمت ساحل می‌شوند. در برخورد موج با سازه، بخشی از موج بازتاب شده، قسمتی در اثر آشفتگی و شکست مستهلک شده و به انواع دیگری از انرژی تبدیل می‌شود و بخشی نیز از سازه عبور می‌کند. ارتفاع موج عبوری به‌عنوان معیاری برای تخمین عملکرد موج‌شکن شناور به کار می‌رود، به این ترتیب که ارتفاع موج عبوری به ارتفاع موج تابشی پارامتر هیدرولیکی

ضریب عبور موج است که تعیین کننده عملکرد و راندمان سازه است.

در سال‌های اخیر به استفاده از این موج‌شکن‌ها توجه زیادی شده است زیرا که در مقایسه با موج‌شکن‌های ثابت دارای مزایای بیشتری هستند، در ادامه به چند مورد از آن اشاره می‌شود.

۱- اقتصادی بودن هزینه ساخت که این مورد با افزایش عمق آب محسوس‌تر است.

۲- در مناطقی که بستر دارای شرایط ژئوتکنیکی نامناسب است، یک سازه بزرگ مانند موج‌شکن معمولی سبب ایجاد فشار زیادی روی بستر می‌شود که مشکلاتی مانند نشست زیاد خاک بستر را به دنبال دارد، پس استفاده از موج‌شکن شناور می‌تواند یک راه حل مناسب باشد.

۳- مناطقی که دارای تغییرات مورفولوژیک و رسوب‌گذاری‌های شدید باشند استفاده از موج‌شکن شناور می‌تواند یک راه حل مناسب باشد.

۴- مناطقی که دارای تغییرات جزر و مدی زیادی هستند. موج‌شکن شناور قابلیت وفق شدن با تغییرات جزر و مدی و عمق آب دریا را دارد.

۵- برای حفاظت از حیات دریا و نگهداری از سیستم زیست‌محیطی، موج‌شکن‌های شناور در چرخه آب، انتقال رسوبات و مهاجرت ماهی‌ها دخالت کمی دارند و از این نظر از موج‌شکن‌های معمولی بهتر هستند.

۶- در مواردی که شیب کف دریا زیاد است، استفاده از موج‌شکن سنتی از نظر هزینه ساخت غیراقتصادی است، پس استفاده از موج‌شکن شناور می‌تواند یک راه حل مناسب باشد.

۷- برای ساخت موج‌شکن‌ها شناور مدت زمان کمتری نسبت به موج‌شکن ثابت نیاز است.

با مرور برخی از پژوهش‌هایی که تا به حال در مورد موج‌شکن‌های شناور انجام شده است، دیده می‌شود که بیشتر پژوهش‌های انجام شده در زمینه راندمان موج‌شکن‌های شناور، به‌صورت کارهای آزمایشگاهی بوده است. در این پژوهش سعی شده است علاوه بر بررسی راندمان موج‌شکن با استفاده از مدل‌سازی عددی، به ارزیابی تأثیر پارامتر سازه‌ای مانند عرض و عمق آبخور موج‌شکن بر روی ضریب موج پرداخته شود. اطلاعات و تجربیات عملی کم در زمینه طراحی و اجرای موج‌شکن‌های

ρ چگالی آب و ν ویسکوزیته آب است. با توجه به تشابه ابعادی می‌توان این رابطه را به صورت زیر نوشت:

$$\frac{F}{\rho u^2 D^2} = f\left(\frac{t}{T}, \frac{uT}{D}, \frac{uD}{\nu}, \frac{D}{L}\right) \quad (2)$$

که در این رابطه uT/D پارامتر کولگان-کارپنتر^۱ (KC) بیان کننده اهمیت اثر نیروی کششی^۲، uD/ν عدد رینولدز^۳ و D/L پارامتر تفرق^۴ (نشان دهنده اهمیت پدیده تفرق است) است.

کل نیروهای موج وارد بر سازه شامل نیروهای موج موجود ناشی از موج‌های برخوردی روی سازه، نیروی متفرق از موج‌های برخوردی توسط سازه و نیروهای منتشر شده موج که ناشی از موج‌های تولیدی توسط حرکات بدنه در سطح آزاد است، می‌باشد.

بر این اساس و با توجه به اندازه اعضا برای محاسبه نیروهای وارد به بدنه شناور دو تئوری هیدرودینامیکی، معادلات موريسون و معادلات تفرق قابل استفاده است.

معادله موريسون^۵

موريسون (۱۹۵۰) روشی برای محاسبه نیروی ناشی از موج روی اعضای کوچک ($D/L < 0.2$) ارائه کرد. در معادله موريسون فرض می‌شود که نیروهای درگ و اینرسی به صورت خطی با هم جمع می‌شوند. دامنه کاربرد معادله موريسون زمانی است که اندازه عضوهای سازه در مقایسه با طول موج کوچک باشد (سورسن، ۱۹۹۷). اساس این معادله بر آن است که چون قطر سازه نسبت به طول موج کوچک است، شکل و مشخصات موج در اثر برخورد به سازه تغییر نمی‌کند. این معادله، کل نیروی وارد بر سازه در واحد طول را مجموع دو نیروی ناشی از شتاب ذرات سیال و نیروی درگ معرفی می‌کند:

$$F = \frac{\rho}{4} \pi C_M D^2 \dot{u} + \frac{\rho}{2} C_D D |u| u \quad (3)$$

که در این رابطه F نیروی وارد بر جسم در واحد طول، C_M ضریب اینرسی، D قطر عضو، \dot{u} شتاب ذره، C_D ضریب کششی و u سرعت ذره است.

شناور از یک سو و ظرفیت بالای کشور به خاطر وجود هزاران کیلومتر مرز آبی و لزوم رشد و توسعه حمل و نقل و صنایع دریایی و ایجاد مناطق جذب توریست و بنادر تفریحی از سوی دیگر، لزوم پژوهش و مطالعه در مورد موج‌شکن‌های شناور را روشن می‌کند.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش ابتدا با توجه به نیازمندی‌های لازم ابعاد کلی موج‌شکن شناور انتخاب شده و بعد از مشخص شدن ابعاد کلی موج‌شکن شناور، مدل‌سازی موج‌شکن شناور انجام شد و پس از آن تأثیر توأم عرض و آب‌خور موج‌شکن بر راندمان موج‌شکن شناور بررسی شد. تحلیل مسائل هیدرواستاتیکی و هیدرودینامیکی با نرم‌افزار ANSYS AQWA با توجه به قابلیت مدل‌سازی انواع سازه‌های شناور، تعیین نیروهای هیدرواستاتیکی و هیدرودینامیکی وارد بر بدنه‌های شناور، تعیین تراز سطح آب (تعیین ارتفاع موج عبوری) و پاسخ‌ها در جهت‌های مختلف انجام شد.

روابط حاکم بر موج‌شکن‌های شناور و روش‌های تحلیل

محاسبه نیروهای ناشی از موج به سبب تداخل و همراهی آن با بحث اندرکنش سازه و سیال می‌تواند پیچیده و مشکل شود. به طور اساسی بیشتر تئوری‌های دقیق تعیین این نیروها بر پایه تئوری‌های غیرخطی موج و نیز قبول تصادفی بودن امواج و شرایط محیطی دریاست و این فراگیری و عمومیت، موضوع را بیش از پیش مشکل می‌کند. با این حال بیشتر این تئوری‌ها و روش‌هایی که در دسترس است وابسته به بررسی‌های تحلیلی، تجربه‌های آزمایشگاهی و اندازه‌گیری‌های میدانی بوده و در کنار هم، نتایج به نسبت دقیق و قابل اطمینانی در پیش‌بینی بارهای وارد بر سازه دور از ساحل می‌دهند. همین امر و نیز تنوع ابعاد سازه‌های دریایی سبب شده است تا تئوری‌های مختلفی برای محاسبه نیروهای حاصل از امواج ارائه شود (سورسن، ۱۹۹۷).

به طور کلی نیروی ناشی از موج تابعی از پارامترهای زیر است:

$$F = f(t, T, D, L, u, \rho, \nu) \quad (1)$$

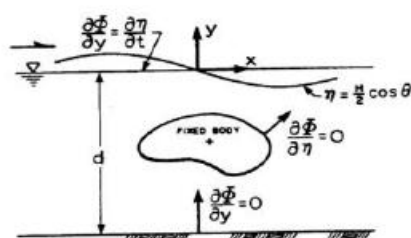
که در این رابطه t زمان، T زمان موج، D قطر عضوی که موج به آن برخورد می‌کند، L طول موج، u سرعت ذره‌ای،

1- Keulegan-Carpenter Parameter
2- Drag Force
3- Reynolds Number
4- Diffraction Parameter
5- Morison Equation

$$\nabla^2 \Phi = \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} = 0 \quad (5)$$

این معادله باید با توجه به شرایط مرزی موجود برای تمام نقاط جریان حل شود تا در نهایت تابع پتانسیل سرعت به دست آید. شرایط مرزی و مرزهای محیط یک جسم غوطه‌ور در آب را می‌توان مطابق شکل ۱ نشان داد. شرط دینامیکی در سطح آب:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial t} + g\eta + \frac{1}{2} \left[\left(\frac{\partial \Phi}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \Phi}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial \Phi}{\partial z} \right)^2 \right] = 0 \quad (\text{at } y = \eta) \quad (6)$$



شکل ۱ تعریف شرایط مرزی در تئوری تفرق (جورنی و ماسی، ۲۰۰۱)

شرط مرزی سینماتیکی در سطح آب:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial y} - \frac{\partial \eta}{\partial t} = 0 \quad (\text{at } y = 0) \quad (7)$$

شرط مرزی کف دریا:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial y} = 0 \quad (\text{at } y = -d) \quad (8)$$

تابع پتانسیل باید شرایط مرزی بالا و چند شرط دیگر از جمله شرایط مرزی سینماتیکی روی سطح بدنه شناور نوسان کننده و شرایط انتشار را ارضا کند (جورنی و ماسی، ۲۰۰۱). بعد از اعمال شرایط مرزی، تابع پتانسیل به دست آمده و به کمک آن معادلات بیان کننده مشخصات مختلف موج از جمله نیمرخ سطح، سرعت موج، فشار محیط و حرکات ذرات به دست می‌آید. به کمک معادلات به دست آمده نیمرخ سطح آب در پشت موج شکن به دست می‌آید و می‌توان راندمان موج شکن شناور را به دست آورد.

بعد از محاسبه نیروهای به وجود آمده تحت پدیده‌های مختلف محیطی، تحلیل و ارزیابی سازه شناور در اثر این نیروها و پدیده‌ها بررسی می‌شود تا در نتیجه پاسخ سیستم

تئوری تفرق^۱

هنگامی که ابعاد سازه و اجزای آن در مقایسه با طول موج قابل ملاحظه و بزرگ باشد ($D/L > 0.2$) انتظار می‌رود که حضور سازه در میدان موج اطراف آن تغییرات و تلاطم‌های اضافی ایجاد کند، پس موج بعد از برخورد به سازه دچار تفرق خواهد شد و باید این پدیده در محاسبه نیروی امواج مدنظر قرار گیرد، به همین دلیل معادله موربسون اعتبار خود را از دست می‌دهد.

تئوری تفرقی که در تحلیل موج شکن‌های شناور مورد نظر در این پژوهش از آن استفاده شده است، تئوری تفرق سه‌بعدی است (اجسام شناور همگی سه‌بعدی هستند). روش‌های سه‌بعدی برای محاسبه نیروهای هیدرودینامیکی و حرکات سازه‌های ثابت یا شناور در امواج، براساس تئوری پتانسیل سه‌بعدی توسعه یافته‌اند. بررسی‌ها نشان می‌دهند که روش‌های تفرق سه‌بعدی می‌تواند برای بیشتر شکل‌های بدنه‌ای شناور به کار روند. بنابراین تئوری تفرق سه‌بعدی روش مناسبی برای تحلیل شناورها محسوب می‌شود. نیروی وارد از امواج به یک جسم شناور را می‌توان ناشی از سه عامل اصلی دانست:

(۱) نیروی ناشی از سیال ساکن با فرض نوسان جسم شناور
(۲) نیروی ناشی از امواج به جسم شناور با فرض ثابت بودن جسم شناور

(۳) نیروی ناشی از تفرق امواج هنگام برخورد امواج به جسم شناور ساکن

از آنجا که سیال غیرقابل تراکم و جریان سیال غیرچرخشی فرض می‌شود، میدان سیال با تابع پتانسیل تعریف می‌شود. این تابع که بر اساس سه عامل اصلی بیان شده، خود به سه تابع پتانسیل جزئی تقسیم می‌شود که از جمع آن‌ها تابع پتانسیل کلی به دست می‌آید:

$$\Phi = \Phi_r + \Phi_w + \Phi_d \quad (4)$$

که در این رابطه Φ_r پتانسیل ناشی از حرکت نوسانی جسم در آب ساکن^۲، Φ_w پتانسیل موج سالم برخوردی به جسم ساکن^۳ و Φ_d پتانسیل موج متفرق شده با فرض ثابت بودن جسم در سیال^۴ است.

این تابع پتانسیل باید در معادله لاپلاس صدق کند:

- 1- Diffraction Theory
- 2- Radiation wave potential
- 3- Incident wave potential
- 4- Diffraction wave potential

دوم، با استفاده از طیف وسیعی از عمق‌های آب قابل محاسبه است.

AQWA Hydrodynamic Diffraction همچنین می‌تواند فشار و بارگذاری اینرسی برای استفاده در تجزیه و تحلیل ساختاری بخشی از بدنه شناور در فرایند طراحی را تولید کند. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل تفرق را می‌توان بر روی مدل اجزاء محدود ANSYS Mechanical یا ANSYS ASAS برای ارزیابی بیشتر ساختاری و طراحی دقیق استفاده کرد و براساس آن تابع نگاشت به طور خودکار برای اختلاف مش بین مدل‌های هیدرودینامیک و المان محدود شکلی کسان ارائه می‌دهد.

AQWA Hydrodynamic Time Response قابلیت تحلیل‌های دینامیکی برای انجام ارزیابی عملکرد یکپارچه سازه‌های شناور در حوزه زمان را فراهم می‌کند. طیف گسترده‌ای از اتصالات فیزیکی مانند خطوط مهاری برای مهار کردن شناورها ارائه شده است. علاوه بر این، شبیه‌سازی محیط دریا ممکن است با گنجاندن اثرات سرعت رو به جلو انجام شود. اثرات رانش آهسته و شرایط موج دورا ممکن است بررسی شود (انسیس آکوا، ۲۰۱۰).

برای مدل‌سازی و تحلیل هیدرودینامیکی موج‌شکن شناور پانتونی، ابتدا با استفاده از ویرایشگر موجود در AQWA (v13.0) یک سیستم جدید هیدرودینامیک در Workbench ایجاد شده است. در این بخش مشخصات هندسه سازه شامل وزن، ممان اینرسی جرمی، سختی و ... تعریف شده و مش به طور خودکار روی جسم در مدل تولید می‌شود. تراکم آن بر اساس تیرانس خرابی و حداکثر اندازه المان است. تیرانس خرابی رفتار جزئیات کوچکی که با مش در نظر گرفته شده است را کنترل می‌کند. اگر جزئیات کوچک‌تر از این تیرانس باشد آنگاه دهانه یک المان منفرد می‌تواند افزایش یابد در غیر این صورت اندازه مش در این ناحیه برای اطمینان از شکل مش کاهش خواهد یافت. تیرانس خرابی نمی‌تواند بزرگ‌تر از $0/6$ حداکثر اندازه المان باشد. اندازه المان بیشینه، مقدار بیشینه المانی که تولید خواهد شد را کنترل می‌کند. در AQWA این به بیشینه فرکانس موجی که می‌تواند در تجزیه و تحلیل تفرق استفاده شود وابسته است. اگر یک بیشینه فرکانس موج خاص مورد نظر باشد آنگاه این را می‌توان به جای بیشینه فرکانس مجاز مشخص کرد و همراه با بیشینه اندازه المان محاسبه خواهد شد. اگر اندازه المان کوچک‌تری

به‌عنوان خروجی نتایج تحلیل به دست آید.

تاکنون روش‌های تحلیل مختلف و متنوعی در کتاب‌ها و مقالات معرفی شده‌اند که هر کدام برای نوع خاصی از سازه تحت شرایط خاص (از قبیل درجات آزادی و محدودیت‌های اعمال شده بر آن، درجات مختلف پیچیدگی سازه، ...) مناسب هستند. به طور کلی دو روش برای تحلیل اجسام شناور وجود دارد:

۱- تحلیل دامنه فرکانس^۱

۲- تحلیل دامنه زمان^۲

روش اول به طور عمومی برای ارزیابی موج انتقالی موج شکن به کار می‌رود در حالیکه از هر دو روش می‌توان برای به دست آوردن نیروی مهارها و تنش‌های داخلی استفاده کرد (چگینی، ۱۳۷۷). هرچند استفاده از روش تحلیل در حوزه فرکانس به دلیل سهولت محاسبات و زمان کمتر توصیه می‌شود و علاوه بر این در روش تحلیل در حوزه فرکانس، ورودی‌ها و خروجی‌ها محسوس‌تر و برای کاربر در دسترس‌تر هستند.

معرفی نرم‌افزار ANSYS AQWA و ارزیابی عملکرد صحیح آن

ANSYS AQWA مجموعه ابزارهای مهندسی برای بررسی اثرات موج، باد و جریان روی سازه‌های دریایی فراساحل شناور و ثابت مانند شناورها، مخزن و سیستم‌های (FPSO)، سکوه‌های پایه کششی (TLPs)، کشتی‌ها و موج‌شکن‌ها را فراهم می‌کند.

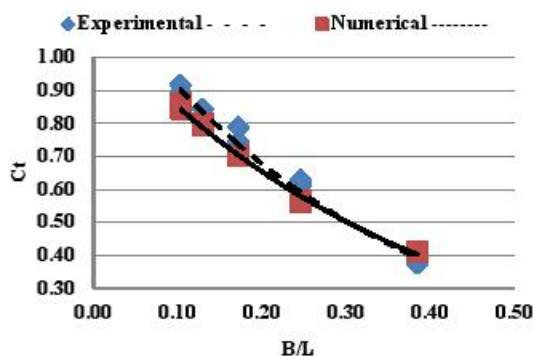
AQWA Hydrodynamic Diffraction یک محیط یکپارچه برای توسعه پارامترهای هیدرودینامیکی اولیه مورد نیاز برای انجام حرکات پیچیده و تجزیه و تحلیل پاسخ فراهم می‌کند. تشعشع^۳ سه‌بعدی خطی و تحلیل تفرق ممکن است با جسم‌های زیاد انجام شود، بنابراین در نظر گرفتن اثرات متقابل هیدرودینامیکی که بین اجسام رخ می‌دهد ضروری است. این در حالی است که این مدل در درجه اول برای سازه‌های شناور طراحی شده است، بعد آن ممکن است جسم‌های ثابتی مانند موج‌شکن‌ها یا سازه‌های مبتنی بر جاذبه در مدل گنجانده شود. نیروهای موج مرتبه دوم از طریق ماتریس‌های تابع انتقال درجه

1 Frequency Domain Analysis

2 Time Domain Analysis

3 Radiation

در شکل ۳ نتایج به دست آمده از فروزنده (۱۳۸۴) و نتایج حاصل از نرم‌افزار ANSYS AQWA برای عرض ۲/۴ متر آورده شده است. در این نمودار B عرض موج‌شکن شناور و L طول موج برخوردی براساس دوره‌های زمانی میانگین موج برخوردی است.



شکل ۳ مقایسه ضریب عبور موج (Ct) بین نتایج نرم‌افزار با فروزنده (۱۳۸۴) برای موج شکن شناور با عرض ۲/۴ متر

همان‌طور که دیده می‌شود هماهنگی خوبی بین خروجی‌های نرم‌افزار ANSYS AQWA با خروجی‌های مرجع مذکور دیده می‌شود. تفاوت‌هایی که بین نتایج دیده می‌شود با توجه به خطاهایی که در یک کار عددی (فرضیات ساده کننده در نظر گرفته شده مثل بدون لزجت در نظر گرفتن سیال، غیرچرخشی بودن سیال و ...) و همچنین خطاهای یک کار آزمایشگاهی (مانند خطای دستگاه اندازه‌گیری کننده، کالیبره نبودن آن‌ها، شرایط محدود فلوام موج و ...) وجود دارد طبیعی به نظر می‌رسد.

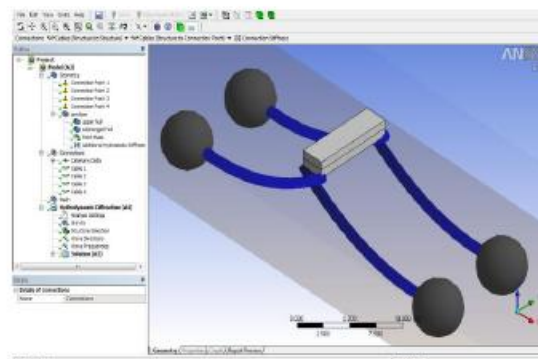
نتایج و بحث

برای یافتن تأثیر توأم عرض و عمق آب‌خور موج‌شکن شناور پانتونی روی ضریب عبور موج، سه آب‌خور ۰/۸، ۱ و ۱/۲ متر و پنج عرض ۲/۴، ۴/۸، ۷/۲، ۹/۶ و ۱۲ متر مورد بررسی قرار گرفت.

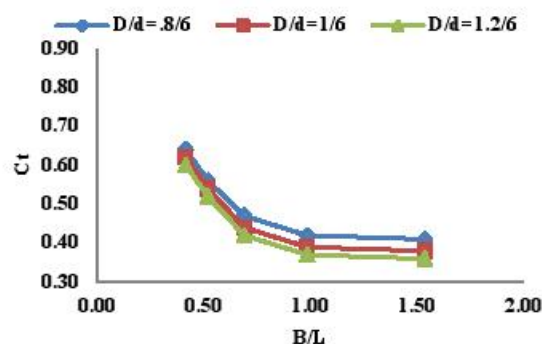
تحلیل‌ها برای دوره‌های میانگین ۰/۲، ۰/۳، ۰/۴ و ۰/۵ ثانیه انجام شده است. محدوده ارتفاع موج برخوردی از ۰/۲ تا ۱/۲ متر و ارتفاع موج شکن ۱/۶ متر و عمق آب برابر ۶ متر در نظر گرفته شده است. در این مدل‌سازی‌ها برای امواج نامنظم دریا، از طیف جانسواپ استفاده شده است. دلیل استفاده از این طیف این است که اکثر موج‌شکن‌های شناور در محیط‌های غیر از دریاها آزاد و توسعه یافته استفاده می‌شوند. همچنین عمومیت بخشیدن به نتایج

برای بخش یا بدنه خاصی لازم باشد، آنگاه با افزودن یک یا تعدادی مش می‌توان آن را اصلاح کرد. در تحلیل‌های اولیه سیستم بدنه به صورت یک جسم صلب در نظر گرفته شده، به طوری که بدنه دارای شش درجه آزادی حرکت است. ماتریس جرم در معادله حرکت شامل جرم کلی بدنه است. مقادیر جرم اضافه ناشی از شتاب و حرکت نسبی سازه و سیال اطراف آن هم برای هر شش درجه آزادی در ماتریس جرم گنجانده می‌شود. شرایط مرزی در نظر گرفته شده برای مدل‌سازی موج شکن شناور شامل شرط مرزی دینامیکی و سینماتیکی سطح آزاد آب، شرط مرزی بستر و شرط مرزی سینماتیکی روی سطح جسم شناور است (رابطه‌های ۶، ۷ و ۸). در مدل‌سازی سازه موج شکن شناور پانتونی، وزن مخصوص آن طوری در نظر گرفته شده که عمق آب‌خور مورد نظر را برای آزمایش‌ها تأمین کند. برای اتصال سازه شناور به بستر دریا از کابل‌های الاستیک خطی استفاده شده است. این نوع از کابل ساده است، به طوری که یک حالت ارتجاعی فقط کششی دارد که در آن کشش متناسب با اضافه طول است. اضافه طول ممکن است در طول آنالیز تغییر کند. سازه‌هایی که کابل به آن متصل است یک نیرو با راستا و مقدار مختلف تجربه می‌کنند. اندازه این نیرو که معادل کشش کابل است از حاصلضرب طول در سختی به دست می‌آید.

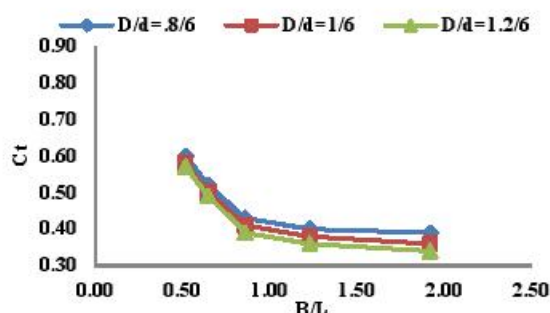
برای صحت‌سنجی نرم‌افزار، یک موج‌شکن شناور پانتونی (دقیقاً مطابق با شرایط (فروزنده، ۱۳۸۴) از جنس آلومینیم با طول ۸/۵ متر، عرض ۲/۴ متر، ارتفاع ۱/۶ متر و آب‌خور ۱ متر در آبی به عمق ۶ متر با استفاده از طیف JONSWAP مدل شده است. شکل ۲ مشخصات یک نمونه از مدل عددی نرم‌افزار ANSYS AQWA را نشان می‌دهد.



شکل ۲ نمونه موج شکن مدل شده با استفاده از نرم‌افزار ANSYS AQWA



شکل ۷ تغییرات ضریب عبور موج نسبت به B/L به ازای آبخوره‌های مختلف برای عرض ۹/۶ متری موج‌شکن شناور



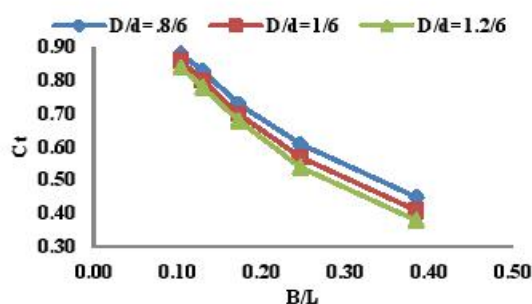
شکل ۸ تغییرات ضریب عبور موج نسبت به B/L به ازای آبخوره‌های مختلف برای عرض ۱۲ متری موج‌شکن شناور

نتیجه‌گیری

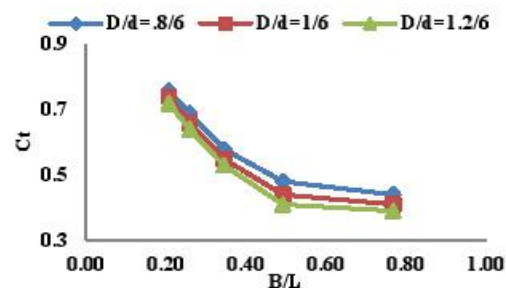
همان‌طور که مشاهده شد، افزایش آبخور سازه موج‌شکن شناور سبب می‌شود تا ضریب عبور موج کاهش یابد. دلیل کاهش این است که بیشتر انرژی موج در قسمت‌های بالایی ارتفاع ستون آب متمرکز شده است بنابراین با افزایش آبخور، قسمت فوقانی موج که انرژی بیشتری در آنجا متمرکز شده در مقابل سازه قرار گرفته و میزان بیشتری از انرژی موج منعکس می‌شود و با افزایش میزان انعکاس انرژی موج، انرژی کمتری از موج‌شکن عبور کرده و ضریب عبور موج کاهش می‌یابد (با فرض اینکه هیچ گونه اتلافی وجود نداشته باشد: $K_T^2 + K_R^2 = 1$ پس با افزایش ضریب انعکاس ضریب عبور موج کاهش می‌یابد). دلیل این کاهش را از نگاه افزایش عرض می‌توان چنین عنوان کرد که هرچه عرض سازه کمتر شود موج‌شکن شناور به جای قرار گرفتن در برابر امواج و جلوگیری از عبور انرژی موج، نوسانات خود را با حرکت موج هماهنگ کرده و اجازه عبور انرژی موج را می‌دهد، اما در حالتی که عرض سازه زیاد شود موج‌شکن در برابر عبور انرژی از خود واکنش نشان داده و مانع عبور انرژی موج می‌شود. همچنین با افزایش عرض و عمق آبخور سازه شناور

حاصله از مدل‌ها، از پارامترهای بدون بعد استفاده شده است تا بتوان نتایج حاصل از مدل عددی با مقیاس مشخص را به سایر مقیاس‌ها تعمیم داد.

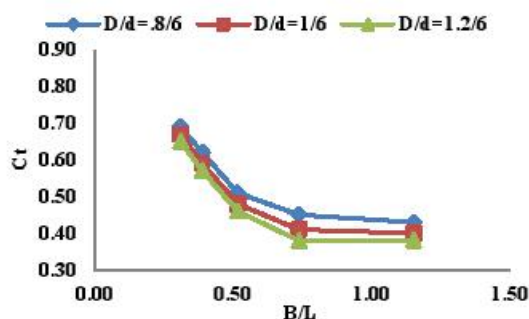
در شکل ۴ تا ۸ میزان ضریب عبور موج‌شکن شناور برای عرض‌ها و عمق آبخورهای مختلف رسم شده است. در این نمودارها D عمق آبخور، d عمق آب، L طول موج، B عرض موج‌شکن و Ct ضریب عبور موج شناور است. با افزایش عرض و آبخور سازه شناور پانتونی وزن سازه شناور افزایش می‌یابد. افزایش وزن سازه سبب می‌شود که دوره طبیعی سازه افزایش یابد و از زمان موج تابشی دورتر شود. بنابراین موج‌شکن شناور از حالت تشدید فاصله گرفته و ضریب عبور موج کاهش می‌یابد.



شکل ۴ تغییرات ضریب عبور موج نسبت به B/L به ازای آبخوره‌های مختلف برای عرض ۲/۴ متری موج‌شکن شناور



شکل ۵ تغییرات ضریب عبور موج نسبت به B/L به ازای آبخوره‌های مختلف برای عرض ۴/۸ متری موج‌شکن شناور



شکل ۶ تغییرات ضریب عبور موج نسبت به B/L به ازای آبخوره‌های مختلف برای عرض ۷/۲ متری موج‌شکن شناور

پانتونی، وزن سازه شناور افزایش می‌یابد. افزایش وزن سازه سبب می‌شود که زمان طبیعی سازه افزایش یافته و از زمان موج تابشی دورتر شود، بنابراین موج‌شکن شناور از حالت تشدید فاصله گرفته و ضریب عبور موج کاهش می‌یابد. در ضمن با افزایش عرض سازه پایداری استاتیکی و پایداری دینامیکی موج‌شکن شناور افزایش یافته و به دنبال آن ضریب عبور کاهش می‌یابد.

منابع

۱. چگینی و. ۱۳۷۷. راهنمای طراحی موج‌شکن‌ها. جلد دوم. شرکت جهاد تحقیقات آب و آبخیزداری.
۲. فروزنده ن. ۱۳۸۴. بررسی عملکرد موج‌شکن‌های شناور پانتونی با استفاده از مدل‌های فیزیکی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه صنعتی سهند تبریز. ۱۵۲ ص.
3. ANSYS. 2010. ANSYS AQWA. Release 13. Refrence Manual. 90 p.
4. Drimer N. Agnon Y. and Stiassnie M. 1991. A simplified analytical model for a floating breakwater in water of finite depth. Elsevier science published Ltd. 9 p.
5. Journee J. M. J. and Massie W. 2001. Offshore Hydrodynamics- First Edition. Delft University of Technology. 570 p.
6. Morison J. R. Obrien M. P. Johnson J. W. and Schaaf S. A. 1950. The force exerted by surface waves on piles. Petroleum Transactions. American Institute of Mining Engineers. 6 p.
7. Murali K. and Mani J. S. 1997. Performance of Cage Floating Breakwater. Journal of Waterway. Port, Coastal and Ocean Engineering. 8 p.
8. Ozeren Y. 2009. Experimental and Numerical Investigations of Floating Breakwater Performance. PhD. thesis. University of Mississippi. 391 p.
9. Sorensen R. M. 1997. Basic Coastal Engineering. chapman and hall Publishers. New York. 330 p.