Archive of SID

مهندسی عمران شریف، تابستان (۱۴۰۰)
دوره‌ی ۲ - ۳۷، شماره‌ی ۱/۲، ص. ۱۱۳-۱۱۹، (یادداشت فنّی)

Research Note

شبیه‌سازی عددی تولید موج در یک تانک دارای حرکت دیواره و کف

حامد اختری شیشوان * **(دکتری)**
ایرج میرزایی (استاد)
نادر پورمحمود (استاد)
گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه ارومیه
سلیمان حمزه‌پور (کارشناسی ارشد)
گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه غیرانتفاعی علم و فن، ارومیه، ایران

در تحقیق حاضر مطالعات شبیه‌سازی عددی پدیده‌ی سونامی انجام گرفت. هدف از تحقیق پیش‌بینی مشخصات موج سونامی هنگام رسیدن به ناحیه‌ی ساحلی بود. در این تحقیق با در نظر گرفتن آب دریا به صورت سیال لزج و همچنین در نظر گرفتن معادلات ناویر ـ استوکس برای آب کم عمق به عنوان معادلات حاکم به همراه روش کسر حجم سیال برای شبیه سازی سطح آب در نرم افزار، امواج سونامی مدل سازی شد. تولید موج با شبیه‌سازی یک تانک که یک بار دیواره‌ی سمت چپ آن و بار دیگر کف آن نوسان می‌کند، ایجاد شد. این کار توسط نرم‌افزار فلوئنت صورت گرفته است؛ در ادامه تأثیر زاویه‌های دیواره‌ی جانبی لرزان برروی موج‌های تولیدی بررسی شده است. نتایج شبیه‌سازی، افزایش قابل توجه ارتفاع موج را در اثر زاویه‌دار کردن دیواره‌ی نوسانی نمایش می‌دهد. هم‌چنین اثرات دیواره‌ی پایینی لرزان در آخر بررسی شده است.

aktari1362hamed@gmail.com
i.mirzaee@urmia.ac.ir
n.pormahmod@urmia.ac.ir
solymanmahabadi17@gmail.com

واژگان کلیدی: سونامی، تانک آب، موج، شبیه‌سازی عددی.

۱. مقدمه

امواج نامنظمی که در دریاها شکل می‌گیرند، حاصل برایند تعداد زیادی موج منظم هستند که دارای زمان تناوب، جهت، دامنه و فاز متفاوت‌اند. تراز نامنظم سطح آب ناشی از این امواج، برایند تعدادی موج منظم است که دامنه و فاز ثابتی دارند، ولی انتخاب دامنه و فازشان اتفاقی است. به منظور طراحی سازه‌های دریایی و محاسبه‌ی نیروهای ناشی از میدان امواج بر این سازه‌ها، به در دست داشتن مشخصات موج طرح نیاز است. به منظور دستیابی به خواص امواج، در یک مدت زمان محدود وضعیت موج ثبت می‌شود. بعد از ثبت موج در یک زمان محدود، تراز سطح آب به‌دست آمده به یک دوره‌ی زمانی طولانی‌تر و در عین حال منطقی تعمیم داده می‌شود. باید ثبت امواج در شرایط مختلف صورت پذیرد تا خصوصیات امواج در ناحیه‌ی مورد نظر به شکل بهتری لحاظ شوند. برای این منظور معمولاً از بویه‌های شناور بر روی آب، استفاده می‌شود. داده‌های ثبت شده با این روش، باعث ایجاد برش عمودی از تغییرات تراز سطح آب می‌شود.[۱]

ژنگ و همکارانش[۲]، روش جدیدی را برای شبیه‌سازی غیرخطی امواج دریا ارائه کردند. در روش ارائه شده توسط ژنگ، ترمی غیرخطی که در برگیرنده‌ی اثر تاریخچه‌ی امواج در شکل‌گیری هر موج است، به ترم خطی موج اضافه می‌شود. هم‌چنین باید توجه داشت که در روش شبیه‌سازی غیرخطی موج که توسط ژنگ ارائه شده است، پروفیل موج به‌دست آمده دارای خصوصیات توزیع نرمال نیست. زیرا ترم غیرخطی موج دارای خصوصیات توزیع نرمال نیست. در تحقیق ژنگ و همکارانش، روش شبیه‌سازی غیرخطی ژنگ، نیروی موج را به شکل واقع‌بینانه‌تری نسبت به روش‌های شبیه‌سازی خطی ارائه کرده است.

ولی‌پور و همکارانش[۳]، با نگرش جدیدی میزان خستگی خطوط لوله‌ی فراساحلی واقع بر دهانه‌ی آزاد را محاسبه کردند. آنها در کارشان روش جدیدی به‌منظور شبیه‌سازی غیرخطی موج ارائه دادند. در این روش جدید شبیه‌سازی غیرخطی، با اعمال اصلاحاتی در معادلات غیرخطی ژنگ سعی شده است تا توزیع پروفیل موج به‌صورت یک توزیع نرمال یا گاوسی ارائه شود.

استفاده از روش اجزای مرزی به منظور بررسی پروفیل موج در سطح آزاد و حل معادلات سطح آزاد و هم‌چنین به‌کارگیری روش اویلری-لاگرانژی و حذف ناپایداری‌های عددی در این روش بسیار حائز اهمیت است. لانگت ـ هیگینس و ککلت[۴] از اولین محققانی بودند که در این زمینه امواج سطحی غیرخطی را به کمک روش المان مرزی بررسی کردند. آنان در کار خویش اولین بار از روش اویلری ـ لاگرانژی برای ارتقای سطح آزاد استفاده کردند. لین[۵] در رساله‌ی دکتری خویش امواج تولید شده به وسیله‌ی موج‌ساز را هم به صورت تحلیلی و هم به کمک روش المان مرزی بررسی کرد. او نتایج را با نتایج حاصل از داده‌های تجربی مقایسه کرد. رایو و همکاران[۶] با استفاده از روش المان مرزی

* نویسنده مسئول

تاریخ: دریافت ۱۳۹۸/۹/۱۶، اصلاحیه ۱۳۹۹/۷/۲۷، پذیرش ۱۳۹۹/۸/۱۸.
DOI:10.24200/J30.2020.54710.2663

www.SID.ir

Archive of SID

امواج خطی و غیرخطی به همراه پتانسیل جریان سطحی را بررسی کردند. ایشان هم‌چنین نتایج خود را برای امواج تولید شده در آب‌های با عمق متوسط نیز ارائه کردند. سلبی و همکاران[۷] در یک استخر موج سه‌بعدی امواج خطی و غیرخطی را با روش المان مرزی و روش اویلری ـ لاگرانژی شبیه‌سازی کردند. آنها برای از بین بردن ناپایداری‌های عددی در قسمت لاگرانژی مسئله از روش‌های هموارسازی و مش‌بندی مجدد استفاده کردند. گریلی و همکاران[۸] با استفاده از روش المان مرزی و روش اویلری ـ لاگرانژی پدیده‌ی شکست موج را به‌صورت عددی بررسی کردند. دامنه‌ی حل آنها بر پایه‌ی موج سه‌بعدی و با شکل اختیاری در کف دامنه بوده است. دومرماس و یو[۹] نیز با شبیه‌سازی امواج غیرخطی روش جدیدی برای ارتقا دادن سطح آزاد و حذف ناپایداری‌های عددی ارائه کردند.

اکبرپورجنت و راست‌گفتار[۱۰] تأثیر انتشار موج ناشی ازگسل مکران و وقوع زلزله با بزرگی‌های مختلف در طول گسل مکران را بر بندر جاسک بررسی کردند. هم‌چنین اکبرپور جنت و همکاران[۱۱] در تحقیقی به بررسی تأثیر انتشار موج سونامی ناشی از لغزش صفحات مکران بر خلیج‌چابهار پرداختند. در تحقیق آنها فرض شده است طول پروفیل اولیه‌ی موج سونامی برابر طول گسل مکران است و پس از شبیه‌سازی انتشار موج در خلیج‌چابهار در چندین نقطه‌ی اطراف خلیج‌چابهار بالاروی موج محاسبه و گزارش شده است.

استفاده از شبیه‌سازی عددی هزینه‌های ناشی ازکارهای آزمایشگاهی را تا حد زیادی کاهش می‌دهد و ضمناً می‌توان برای هندسه‌ها و مدل‌های پیچیده نیز از آن استفاده کرد.[۱۲-۱۳] امواج سونامی هر ساله در نقاط مختلف دریاها و اقیانوس‌های جهان رخ می‌دهند. این امواج با سرعت بسیار زیاد در جهات مختلف منتشر می‌شود و در صورت رسیدن به ساحل خسارات جبران‌ناپذیری را بر این مناطق و سازه‌ها و تأسیسات واقع در آنها وارد می‌کنند. پس درک این پدیده‌ی پیچیده و پیش‌بینی رفتار آن می‌تواند باعث کاهش خسارات وارده شود. در تحقیق حاضر مطالعات شبیه‌سازی عددی پدیده‌ی سونامی انجام گرفت. هدف از تحقیق پیش‌بینی مشخصات موج سونامی هنگام رسیدن به ناحیه‌ی ساحلی بود. در این تحقیق با در نظرگرفتن آب دریا به صورت سیال لزج و همچنین در نظرگرفتن معادلات ناویر ـ استوکس برای آب کم عمق به عنوان معادلات حاکم به همراه روش کسر حجم سیال برای شبیه سازی سطح آب در نرم افزار، امواج سونامی مدل سازی شد. تولید موج با شبیه‌سازی یک تانک که یک بار دیواره‌ی سمت چپ آن و بار دیگرکف آن نوسان می‌کند، ایجاد شد. این کار توسط نرم‌افزار فلوئنت صورت گرفته است؛ در ادامه تأثیر زاویه‌های دیواره‌ی جانبی لرزان برروی موج‌های تولیدی بررسی شده است. نتایج شبیه‌سازی، افزایش قابل توجه ارتفاع موج را در اثر زاویه‌دار کردن دیواره‌ی نوسانی نمایش می‌دهد. هم‌چنین اثرات دیواره‌ی پایینی لرزان در آخر بررسی شده است. در این مقاله، نحوه‌ی تولید و انتشار امواج سونامی تشریح و معادلات مربوطه تعریف شده است و روشی با استفاده از روش چندفازی برای شبیه‌سازی حرکت امواج در یک تانک که یک دیواره‌ی لرزان دارد، معرفی شده است.

۲. شبیه‌سازی عددی

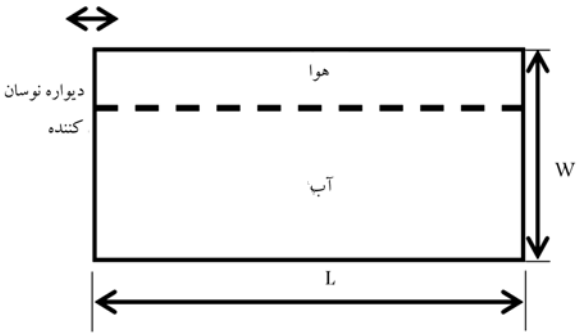
در تحقیق حاضر اقدام به شبیه‌سازی عددی پدیده‌ی موج آب بر روی سطح آزاد شده است. برای ساخت هندسه‌ی مدل از نرم‌افزار ۲.۴.۶ گمبیت[۱] استفاده شده است. هدف از این بخش نشان دادن دستورالعمل و حل یک جریان سیال آرام دوبعدی در یک تانک با حرکت نوسانی دیواره است. حرکت نوسانی دیواره می‌تواند موج‌هایی را درون تانک ایجاد کند. به‌خصوص زمانی که تانک با یک سیال پر شده باشد و به اتمسفر راه داشته باشد. موج‌های صاف می‌توانند توسط مجموعه‌یی از بسامدها و دامنه‌های مناسب تولید شوند. یکی از دیواره‌های تانک حرکت می‌کند. این کار یک حرکت سینوسی را ایجاد می‌کند.

۳. هندسه‌ی مسئله

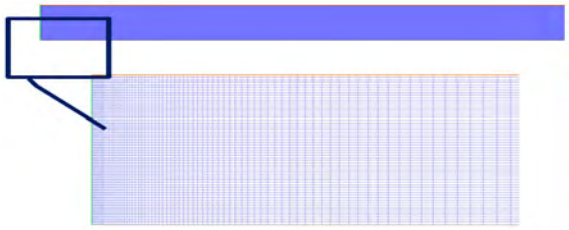
یک تانک مستطیلی به طول $L = ۱۵m$ و ارتفاع $W = ۰/۸m$ مانند شکل ۱ داریم. فرض می‌شود دیواره‌ی سمت چپ دارای حرکتی با تغییرات زمانی سینوسی است. دیواره‌ی بالایی به اتمسفر راه دارد، پس در فشار اتمسفر باقی می‌ماند. جریان آرام[۲] فرض می‌شود. شکل ۲ شبکه‌بندی را نشان می‌دهد؛ همچنان‌که ملاحظه می‌شود شبکه‌ها در نزدیکی دیواره‌های قائم بسیار ریزتر و در فاصله‌های دورتر نسبتاً بزرگ‌تر می‌شود.

به منظور رسیدن به عدد کورانت زیر ۲، اندازه‌ی گام زمانی لازم برای حل معادلات در این شبیه‌سازی ۰/۰۰۱ ثانیه در نظرگرفته شده است و تعداد گام زمانی را ۴۰۰۰ ثانیه انجام شد. برای سطح آزاد آب حدود ۸۵۱۳ سلول برای تصفیه ایجاد شد. برای تکمیل فرایند آماده‌سازی مدل عددی، مدل مش‌بندی پویا برای به‌کار بردن حرکت سینوسی متناوب بر روی دیواره استفاده شده است. این روش یک جریان را در سیال ایجاد می‌کند. مدل VoF هم همان‌طورکه ذکر شد برای تانک با سطح مرزی آب و هوا استفاده شده است و حرکت موجی شکل بر روی دیواره بررسی شده است. حرکت سینوسی دیواره با استفاده از تابع تعریف شده انتخاب می‌شود که از راهنمای نرم‌افزار فلوئنت استخراج شده است. یک UDF تنظیم شده برای این منظور ایجاد شده است. برای لرزش دیواره از معادله‌ی ۱ که از مرجع[۲] استخراج شده، استفاده شده است:

$$V = ۰/۰۳۷ \times \left[(۱ - e^{-۲/۳t}) \times ۷/۷۵cos(۷/۷۵t) + ۲/۳e^{-۲/۳t} sin(۷/۷۵t)\right] \quad (۱)$$



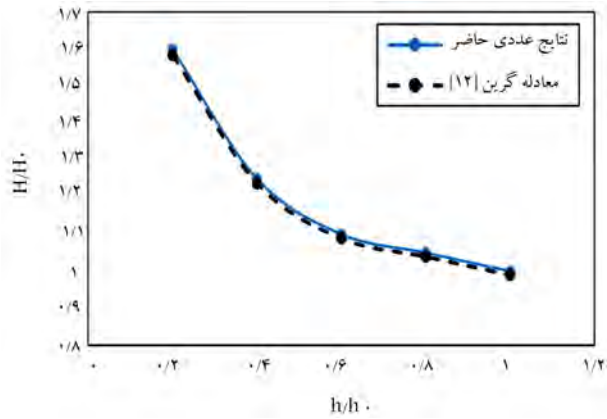
شکل ۱. هندسه‌ی تانک.



شکل ۲. شبکه‌بندی (نمای نزدیک از دیواره‌ی متحرک).

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳. مقایسه نتایج عددی حاضر با نتایج معادله گرین از حل تحلیلی.[۱۴]

۴. شرایط مرزی

در این مدل دیواره‌ی جانبی سمت راست[۳] و کف تانک[۴] را ثابت در نظر می‌گیریم و دیواره‌ی سمت چپ را مطابق شکل ۳ به‌صورت قائم[۵] به نوسان درمی‌آوریم. بالای تانک سطح آزاد[۶] در نظر می‌گیریم.

۵. مدل‌سازی عددی و معادلات حاکم

هدف از این تحقیق بررسی تأثیر زاویه‌ی دیواره‌ی نوسانی بر روی شدت موج‌های تولیدی است. برای این منظور دیواره‌ی نوسانی را به اندازه‌ی ۳۰ و ۴۵ درجه به سمت داخل و خارج تانک مایل و اثرات آن را بررسی خواهیم کرد. علاوه بر آن یک مانع افقی و یک‌بار هم یک مانع عمودی در سر راه حرکت موج قرار می‌دهیم و به بررسی فیزیک جریان و شکل‌گیری پدیده‌ی سونامی می‌پردازیم.

هم‌چنین در انتهای این بحث اثر دیواره‌ی پایینی متحرک را بر موج‌های تولیدی بررسی خواهیم کرد. در این بخش میدان جریان دوبعدی تراکم‌ناپذیر در یک تانک آب مدل‌سازی شده است. اهداف این بخش پیش‌بینی تأثیر تغییر زاویه‌ی دیواره‌ی نوسانی در شکل موج‌های تولیدشده و میدان فشار داخل آب است. برای نیل به اهداف ذکر شده، فرض شده است که در یک تانک مستطیلی به طول $L = ۱۵m$ و عرض $W = ۰/۸m$ شکل ۱، دیواره‌ی سمت چپ دارای حرکتی با تغییرات زمانی سینوسی ـ کسینوسی است. دیواره‌ی بالایی به اتمسفر راه دارد؛ بنابراین در فشار اتمسفر باقی می‌ماند. تانک را تا ارتفاع ۰/۵ متر از آب پر کرده‌ایم. جریان هم آرام فرض شده است. نوسان دیواره‌ی سمت چپ طبق معادله‌ی ۲ است.[۶] این معادله معمولاً برای شبیه‌سازی موج‌های حاصل از زمین‌لرزه در بستر دریا استفاده می‌شود:

$$V = ۰/۰۳۷\left[\left(۱ - e^{-۲/۳t}\right) \times ۷/۷۵cos\left(۷/۷۵t\right) + ۲/۳e^{-۲/۳t} sin\left(۷/۷۵t\right)\right] \qquad (۲)$$

در حالت کلی معادلات حاکم بر جریان سیالات شامل معادله‌ی پیوستگی و معادلات ناویر ـ استوکس هستند که به قرار زیرند:

$$\vec{\nabla}.\vec{u} = ۰ \qquad (۳)$$

$$\rho\frac{D\vec{u}}{Dt} = -\vec{\nabla}p + \mu\nabla^{۲}u \qquad (۴)$$

۱.۵. مدل حجم سیال[۷]

تعیین سطح مشترک دو فاز سیال در بسیاری از مسائل هیدرودینامیکی مطرح است. در این مدل فرض بر این است که دو یا چند فاز مختلف با هم مخلوط نمی‌شوند. متغیرهای هر فاز متناسب با کسر حجمی هر فاز در حجم کنترل (سلول محاسباتی) هستند. در هر حجم کنترل مجموع کسرهای حجمی تمام فازها برابر ۱ است. نسبت حجمی هر فاز در حجم کنترل برابر درصد حجم (سلول) اشغال شده توسط هر فاز است. به عبارتی اگر a_q کسر حجمی سیال q در یک سلول باشد، سه حالت وجود خواهد داشت، اگر $a_q = ۰$ در سلول سیال q وجود ندارد. اگر $a_q = ۱$، سلول توسط سیال q پر شده است. اگر $۰ \prec \alpha_q \prec ۱$، بخشی از سلول با سیال q پر شده است. بر اساس مقدار a_q سیال در هر حجم کنترل در محدوده‌ی جریان محاسبه می‌شود. در این مدل معادله‌ی تکانه برای هر نقطه از جریان حل می‌شود. معادله‌ی پیوستگی نیز در حجم‌های کنترل به‌منظور تعیین سطح مشترک دو فاز مورد استفاده قرار می‌گیرد. معادله‌ی پیوستگی برای فاز سیال q عبارت است از:

$$\frac{\partial\alpha_q}{\partial t} + u_i\frac{\partial}{\partial x_i}\left(\alpha_q\right) + u_j\frac{\partial}{\partial x_j}\left(\alpha_q\right) + u_k\frac{\partial}{\partial x_k}\left(\alpha_q\right) = ۰ \qquad (۵)$$

در حل معادله‌ی فوق، شرط $a_q = ۱$ برای پر بودن حجم کنترل از سیال مورد نظر و در سلول خالی از سیال $a_q = ۰$ در نظر گرفته می‌شود. از روش‌های مختلف vof نرم‌افزار فلوئنت می‌توان به طرحواره‌ی اویلری صریح[۸] و ضمنی[۹]، اشاره کرد که برای شبکه‌های نامنظم دقت مناسبی دارد و برای تعیین سطح مشترک دو سیال از درون‌یابی خطی استفاده می‌کند. در این مطالعه با درنظرگرفتن جریان دو فازی از این الگو استفاده شده است.

۶. بررسی استقلال نتایج از شبکه‌بندی

برای بررسی استقلال نتایج از مش‌بندی چهار شبکه‌بندی با اندازه‌های مختلف را انتخاب کردیم که اندازه‌ی شبکه‌ها به صورت زیر است: (۱۰۰ × ۷۵) و (۱۵۰ × ۱۰۰) و (۲۰۰ × ۱۳۰) و (۲۳۰ × ۱۵۰) و (۲۵۰ × ۱۷۰) برای این چهار شبکه‌بندی نحوه‌ی شکل‌گیری موج پس از گذشت ۴ ثانیه را رسم نموده و با همدیگر مقایسه کردیم و نتایج نشان می‌دهد که برای شبکه‌بندی‌های (۲۳۰ × ۱۵۰) و (۲۵۰ × ۱۷۰) نتایج تفاوت چندانی باهمدیگر ندارند؛ در واقع با ریزترکردن شبکه از ابعاد (۲۳۰ × ۱۵۰) دقت نتایج فرقی نمی‌کند و فقط زمان اجرای برنامه و حجم محاسبات افزایش می‌یابد. بنابراین، شبکه به ابعاد (۲۳۰ × ۱۵۰) به‌عنوان مدل بهینه انتخاب می‌شود و در طول مراحل آتی این مقاله مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۷. نتایج

۱.۷. اعتبارسنجی

ارتفاع موج از مهم‌ترین مشخصه‌های آن است. در یک منطقه‌ی محلی با توجه به

www.SID.ir

Archive of SID

توپوگرافی کف دریا، جهت‌گیری و سطح جزر و مد و بزرگی امواج می‌تواند بسیار متفاوت باشد. ارتفاع موج در طول مسیر از آب عمیق به کم عمق و تحت اثر تغییر شیب ساحل به‌طور چشمگیری تغییر می‌کند. برای معتبرسازی مدل نتایج تغییر ارتفاع موج با رابطه‌ی گرین که همان نظریه‌ی موج آب کم عمق است، مقایسه شده‌اند. رابطه‌ی گرین به صورت زیر قابل بیان است:[۱۴]

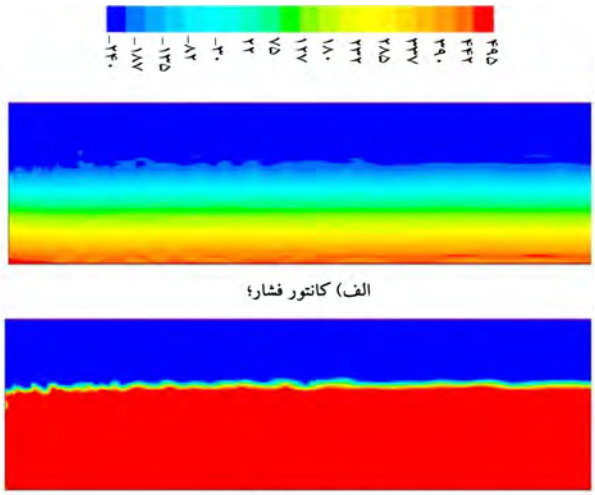
$$\frac{H}{H_\circ} = \left(\frac{h_\circ}{h}\right)^{1/4} \qquad (۶)$$

در این رابطه H ارتفاع موج، h عمق آب و زیرنویس صفر نشان‌دهنده‌ی مقادیر در مقطع مرجع (آب عمیق) است. شکل ۳ نتایج تغییرات ارتفاع موج بین مدل حاضر و نظریه‌ی آب کم‌عمق را با هم مقایسه می‌کند. بر اساس این مقایسه خطایی حدود ۳ درصد بین نتایج مدل با رابطه‌ی گرین وجود دارد. بنابراین، می‌توان گفت که سازگاری مناسبی بین نتایج مدل و نظریه وجود دارد.

بنابراین در این تحقیق، مدلی عددی برای تحلیل حرکت امواج بر اساس حل عددی معادلات ناویر ـ استوکس برای سیال لزج و اعمال شرایط مرزی مناسب ساخته شد. رابطه‌ی تحلیلی موجود یعنی مدل تحلیلی گرین برای حالت‌های بسیار ساده از جمله شیب کف و دیواره‌ی ثابت کاربرد دارد. بنابراین نوآوری کار حاضر نسبت به مدل تحلیلی این است که به بررسی تغییرات موج پیچیده از جمله تغییرات غیرتدریجی و نوسانی می‌پردازد.

۲.۷. تانک دارای یک دیواره‌ی نوسانی قائم

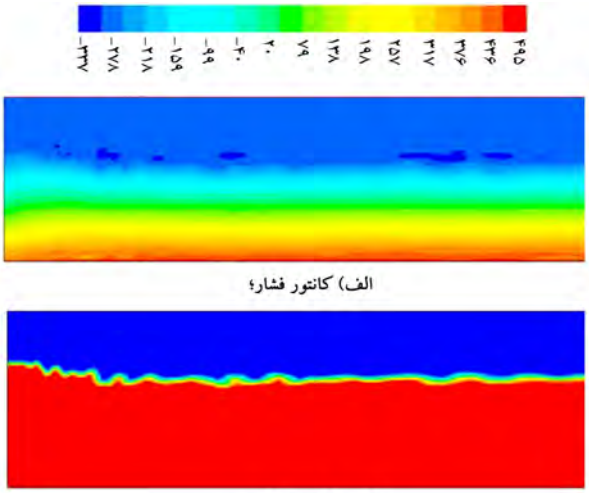
در قسمت نتایج ابتدا یک تانک با دیواره‌های کناری قائم را شبیه‌سازی و تشکیل موج را در آن بررسی می‌کنیم. شکل‌های ۴ تا ۸ کانتور فشار و سطح آب را در پنج زمان ۰٫۵، ۱٫۰، ۱٫۵، ۲٫۰ و ۴٫۰ ثانیه برای یک تانک ساده نشان می‌دهد. چنان‌که مشخص است در زمان‌های اولیه موج‌های کوچکی وجود دارند و با گذشت زمان شدت موج‌ها بیشتر می‌شود. فشار در انتهای تانک بیشینه است و با آمدن به سمت بالا، کاهش می‌یابد. این نشان می‌دهد که تغییرات فشار هیدرواستاتیکی به‌خاطر ارتفاع سیال وجود دارد.



الف) کانتور فشار؛

ب) تغییرات سطح آب.

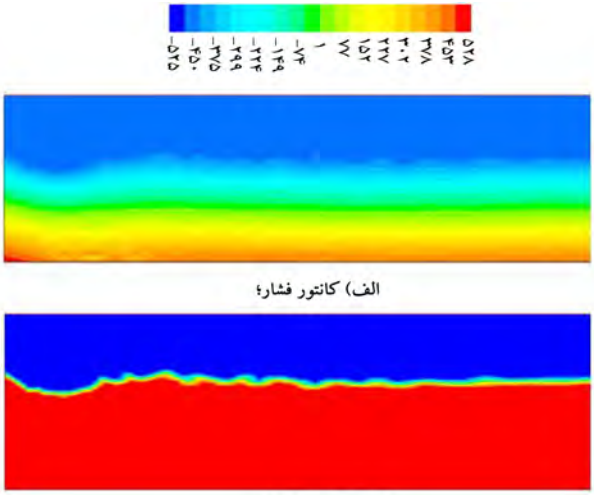
شکل ۴. تانک دارای یک دیواره‌ی نوسانی قائم در سمت چپ در لحظه‌ی $t = ۰٫۵s$.



الف) کانتور فشار؛

ب) تغییرات سطح آب.

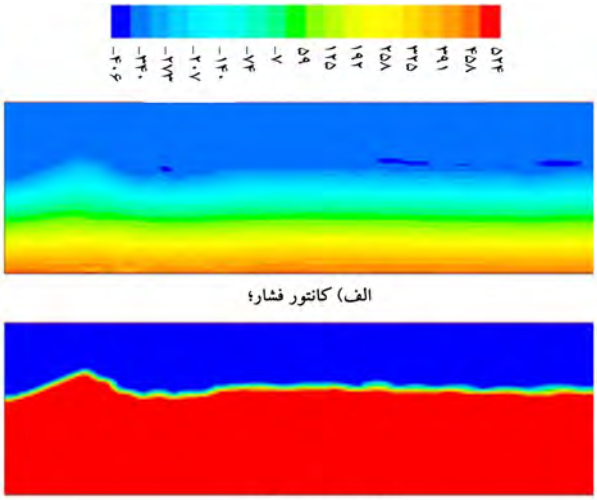
شکل ۵. تانک دارای یک دیواره‌ی نوسانی قائم در سمت چپ در لحظه‌ی $t = ۱s$.



الف) کانتور فشار؛

ب) تغییرات سطح آب.

شکل ۶. تانک دارای یک دیواره‌ی نوسانی قائم در سمت چپ در لحظه‌ی $t = ۱٫۵s$.



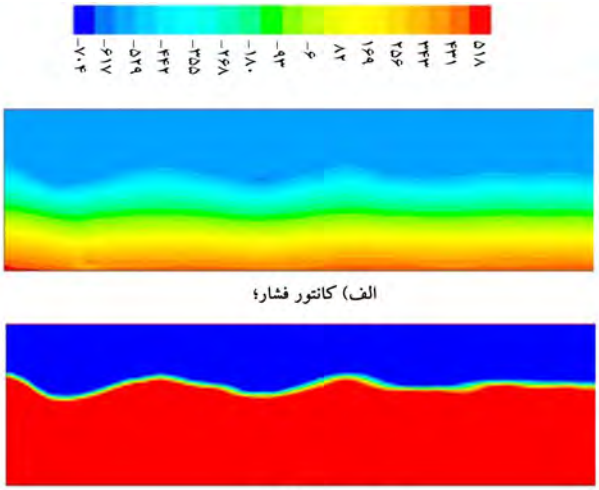
الف) کانتور فشار؛

ب) تغییرات سطح آب.

شکل ۷. تانک دارای یک دیواره‌ی نوسانی قائم در سمت چپ در لحظه‌ی $t = ۲s$.

www.SID.ir

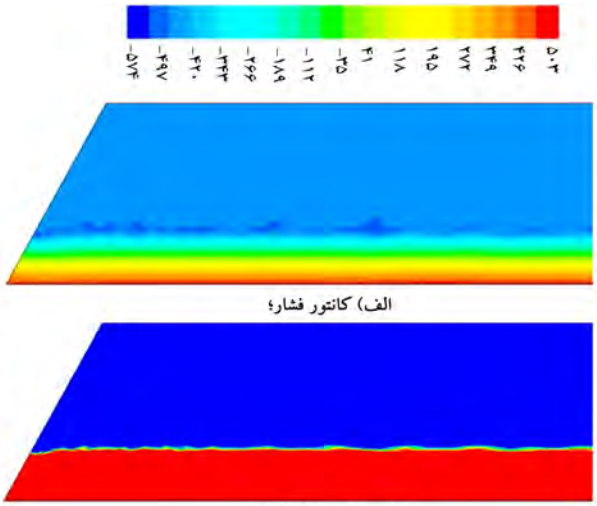
Archive of SID



الف) کانتور فشار؛

ب) تغییرات سطح آب.

شکل ۸. تانک دارای یک دیواره‌ی نوسانی قائم در سمت چپ در لحظه‌ی $t = ۴s$.



الف) کانتور فشار؛

ب) تغییرات سطح آب.

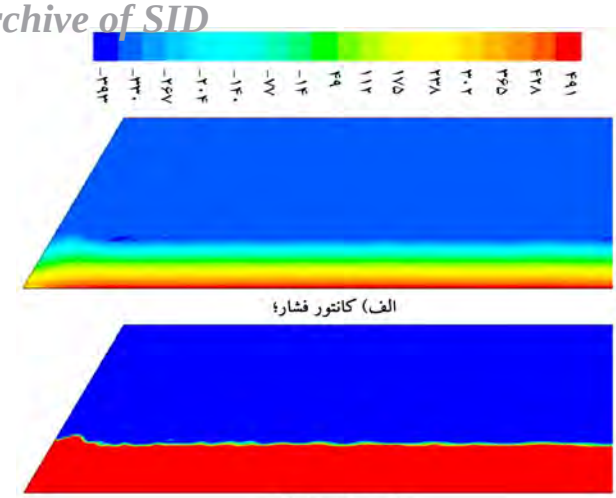
شکل ۹. تانک دارای یک دیواره‌ی نوسانی با زاویه‌ی ۳۰- درجه نسبت به قائم در لحظه‌ی $t = ۰/۵s$.

۳.۷. تانک دارای یک دیواره‌ی نوسانی با زاویه‌ی ۳۰- درجه نسبت به قائم

در این قسمت با زاویه‌دار کردن دیواره‌ی چپ می‌خواهیم اثر دیواره‌ی نوسانی مایل را بر تغییرات فشار و سطح آب تانک مطالعه کنیم. با توجه به شکل‌های ۹ تا ۱۳ و هم‌چنین شکل‌های مربوط به قسمت قبل، مشاهده می‌شود که با مایل شدن دیواره‌ها به طرف داخل به اندازه‌ی ۳۰ درجه نسبت به قائم اندازه‌ی موج‌های تولیدی افزایش می‌یابد و هم‌چنین کانتورهای فشار به‌صورت خطوط تقریباً افقی در می‌آیند.

۴.۷. تانک دارای دیواره‌ی افقی (کف) نوسانی در پایین

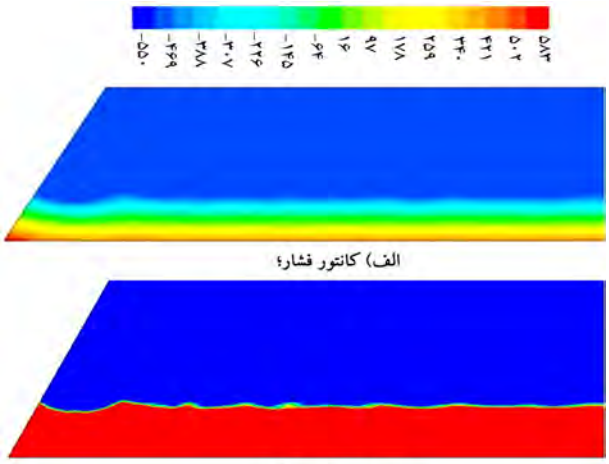
با توجه به شکل‌های ۱۴ تا ۱۶ مشاهده می‌شود که در صورتی که دیواره‌ی پایینی متحرک باشد، امواج نامنظم و ریزی در سطح آب به وجود می‌آیند. در این حالت نیز فشار در انتهای تانک بیشینه است و با آمدن به سمت بالا، کاهش می‌یابد. شدت امواج در این حالت نسبت به حالت‌های قبل بسیار ضعیف‌تر است.



الف) کانتور فشار؛

ب) تغییرات سطح آب.

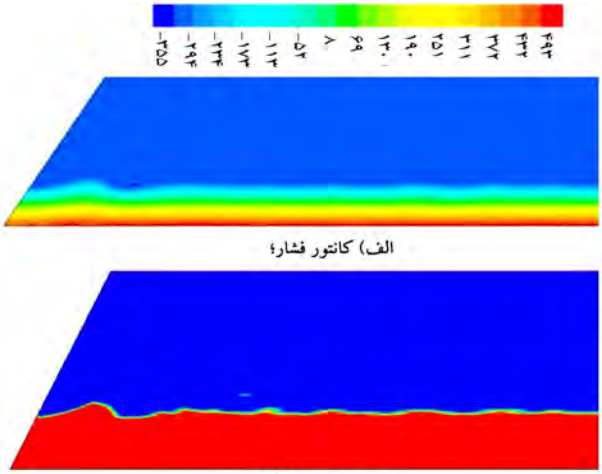
شکل ۱۰. تانک دارای یک دیواره‌ی نوسانی با زاویه‌ی ۳۰- درجه نسبت به قائم در لحظه‌ی $t = ۱s$.



الف) کانتور فشار؛

ب) تغییرات سطح آب.

شکل ۱۱. تانک دارای یک دیواره‌ی نوسانی با زاویه‌ی ۳۰- درجه نسبت به قائم در لحظه‌ی $t = ۱/۵s$.



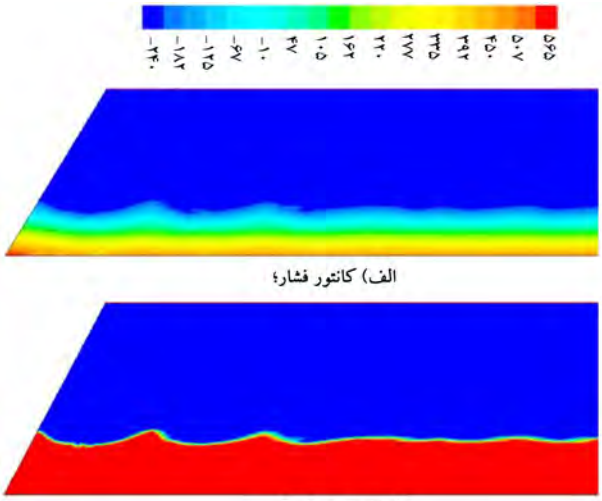
الف) کانتور فشار؛

ب) تغییرات سطح آب.

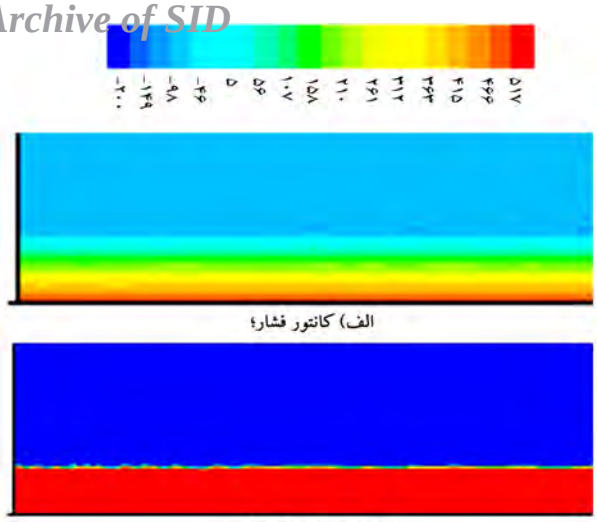
شکل ۱۲. تانک دارای یک دیواره‌ی نوسانی با زاویه‌ی ۳۰- درجه نسبت به قائم در لحظه‌ی $t = ۲s$.

www.SID.ir

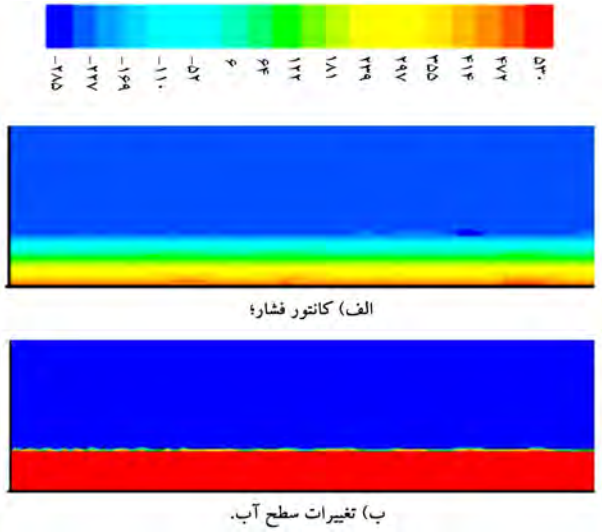
Archive of SID



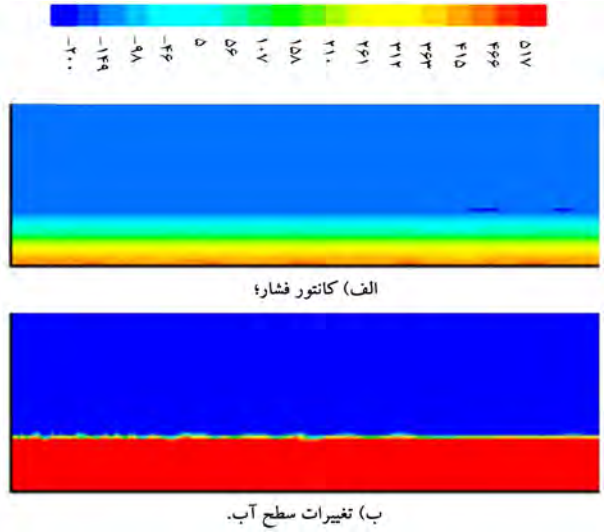
شکل ۱۳. تانک دارای یک دیواره‌ی نوسانی با زاویه‌ی ۳۰- درجه نسبت به قائم در لحظه‌ی $t = ۴s$.



شکل ۱۶. تانک دارای کف نوسان کننده در لحظه $t = ۱/۵s$.



شکل ۱۴. تانک دارای کف نوسان کننده در لحظه $t = ۰/۵s$.



شکل ۱۵. تانک دارای کف نوسان کننده در لحظه $t = ۱/۰s$.

۸. نتیجه‌گیری

در این مطالعه، تولید موج در یک تانک روباز ساده با یک دیواره‌ی نوسانی عمودی مدل‌سازی شد و نتایج عددی همراه با خصوصیات جریان سیال درون آن با استفاده از نرم‌افزار فلوئنت استخراج شد. نتایج عددی به‌دست‌آمده با نتایج تحلیلی موجود مقایسه شد که توافق خوبی را نشان می‌دهد. یافته‌های اصلی این تحقیق به شرح زیر است:

- در نقاط دوردست از شیب تغییری در ارتفاع موج ایجاد نمی‌شود.
- در زمان‌های اولیه شروع حرکت موج، امواج کوچک وجود دارد و امواج با گذشت زمان شدیدتر می‌شوند.
- با مورب کردن دیواره‌ی قائم به اندازه‌ی ۳۰ درجه، تولید موج افزایش می‌یابد. هم‌چنین خطوط جریان و فشار به شکل خطوط تقریباً افقی درمی‌آیند.
- در حالت دیواره‌ی پایینی نوسانی تغییرات سطح آب تانک بسیار ناچیز است. هم‌چنین به‌صورت کاملاً واضح مشاهده می‌شود که امواج ضعیفی شکل می‌گیرند و نوسانات فشار کوچک‌اند. در واقع می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که نوسان دیواره‌ی پایینی تانک، نفوذ تکانه کمتری در آب تانک دارد و نوسانات ایجاد شده توسط آن بهتر و بیشتر توسط نیروهای لزجی آب مستهلک می‌شود و در این حالت آب به‌عنوان یک جاذب عالی عمل می‌کند. علت این رفتار آب می‌تواند به این سبب باشد که صفحه‌ی پایینی نیروی نوسانی را به کل حجم آب وارد می‌کند و نیروی واردشده از آب بر صفحه معادل کل وزن آب است که این نیرو یک نیروی مقاومتی است.
- در حالت دیواره‌ی جانبی نوسانی، نیروی نوسانی به کل حجم آب وارد نمی‌شود، بلکه به لایه‌های مختلف وارد می‌شود و در ضمن نیروی واردشده بر صفحه‌ی جانبی مؤلفه‌یی از وزن سیال آب است؛ بنابراین نیروی مقاومتی و استهلاکی در مقابل نیروی نوسانی کمتر است.
- با افزایش زمان تناوبی، ارتفاع موج نیز افزایش می‌یابد.

www.SID.ir

Archive of SID

پانوشت‌ها

1. Gambit
2. laminar
3. right wall
4. button wall
5. moving wall
6. pressure outlet
7. volume of fluid (VoF)
8. Euler implicit
9. Euler explicit

منابع (References)

1. Holthuijsen, L.H. "Waves in oceanic and coastal waters", Chapter 2 & 3, Cambridge University Press, UK, (2007).
2. Zheng, X.Y., Moan, T. and Quek, S.T. "Non-gaussian random wave simulation by two-dimensional fourier transform and linear oscillator response to morison force", *J. of Offshore Mech. And Arctic Engrg.*, **129**, pp. 327-334 (2007).
3. Valipour, A., Zoroufi, M. and Yeganeh-Bakhtiary, A. "Wave and current induced cumulative fatigue damage assessment for offshore pipeline on free span", *27th Int. Conf. on Offshore Mech. and Arctic Engrg*, Estoril, Portugal, pp. 293-299, (2008).
4. Longuet-Higgins, M. and Cokelet, E.D. "The deformation of steep surface waves on water: I. a numerical method of computation", *Proc. R. Soc. London*, **350**(A), pp. 1-26 (1976).
5. Lin, W.M. "Nonlinear motion of the free surface near a moving body", PhD Thesis, Massachusetts Institute of Technology, Dept. of Ocean Engineering, USA, (1984).
6. Ryu, S., Kim, M.H. and Lynett, P.J. "Fully nonlinear wave-current interactions and kinematics by a BEM-based numerical wave tank", *Computat. Mech*, **32**(4-6), p. 336 (2003).
7. Celebi, M.S., Kim, M.H. and Beck, R.F. "Fully nonlinear 3-D Numerical Wave Tank simulation", *J. Ship Res.*, **42**(1), pp. 33-45 (1998).
8. Grilli, S.T., Guyenne, P. and Dias, F. "A fully nonlinear model for three-dimensional overturning waves over arbitrary bottom", *Int. J. of Numer. Methods in Fluids*, **35**(7), pp. 829-867 (2001).
9. Dommermuth, D.G. and Yue, D.K.P. "Numerical simulation of nonlinear axisymmetric flows with a free surface", *J. of Fluid Mech*, **178**, pp. 195-219 (1987).
10. Akbarpour Jannat, M.R. and Rastgoftar, E., "Numerical modeling of tsunami waves associated with worst earthquake scenarios of the makran subduction zone in the Jask Port, Iran", *J. Persian Gulf*, **6**(22), pp. 35-48 (2015).
11. Asano, T., "Tsunami Akbarpour Jannat, M.R., Rastgoftar, E. and assessment for inundation risk management at chabahar bay facilities in Iran", *Int. J. Coastal & Offshore Eng.*, **1**(2), pp. 27-39, (2017).
12. Hassanzadeh, Karimi Sadaghiyani, O., Soufi Boubakran, M. and A. "Energy and exergy analysis of parabolic trough collectors," *Int. J. of Heat and Tech.*, **36**(1), pp. 147-158 (2018).
13. Rahimi, M. and Alielahi, H. "Numerical study of 1D and 2D seismic response of sedimentary basins: Case study of Persian gulf bridge", *Sharif Journal-Civil Engineering*, **35**(2), pp. 97-109 (In Persian) (2019).
14. Dean R.G. and Dalrymple, R.A., "Water wave mechanics for engineers and scients", London: Word Scientific Publishing Co. (1993).

www.SID.ir