



کاهش تلاطم در مخازن آب با دیواره‌های قائم و افقی با استفاده از مدل عددی انسیس

علی نومیری^۱، امیر خسروجردی^{۲*} و علی صارمی^۳

(۱) دانشجوی دکتری گروه مهندسی آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

(۲) استادیار گروه مهندسی آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

(۳) استادیار گروه مهندسی آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

* ایمیل نویسنده مسئول: khosrojerdi@srbiau.ac.ir

چکیده:

زمینه و هدف: مخازن باید کاربری خود را پس از زمین لرزه‌های بزرگ حفظ و نیازهای حیاتی را رفع نماید و از سوی دیگر همین سازه‌ها باید به گونه‌ای رفتار کنند که در هنگام زلزله خود باعث آسیب رساندن نشود. از اینرو استفاده از بافل‌ها یکی از روش‌های مناسب برای کاهش نیروهای اینرسی زلزله می‌باشند. ایده اصلی در سیستم‌های بافل‌ها، کاهش فرکانس سازه و رساندن آن به مقداری کمتر از فرکانس‌های حاوی انرژی غالب زلزله می‌باشد. بافل‌های نصب شده درون مخازن آب می‌تواند در زمان زلزله مقدار قابل توجهی از شتاب زلزله را در بدنه و تاج مخزن کاهش دهند.

روش پژوهش: برای بررسی تاثیر دیواره‌های قائم و افقی نصب شده در مخازن ذخیره آب، با بکارگیری مدل عددی انسیس فلوئنت، جریان آب درون مخازن شبیه‌سازی شد. دو تیغه‌ی قائم و افقی برای این هدف طراحی شد. برای کاهش خطای اندازه‌گیری در حل معادله جریان آب، از دو نوع مثلث و مربعی با سازه‌های مختلف استفاده شد. در نهایت به ازای شبیه‌سازی مدل عددی با در نظر گرفتن مش‌های مختلف، خطای مش در محاسبات برآورد شد. همچنین برای راستی آزمایشی مقادیر و نتایج بدست آمده از مدل عددی، مقادیر ارتفاع موج در مخزن در حالت بدون دیواره‌ی افقی با مطالعه‌های گذشته مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفت. بنابراین، با افزایش شتاب زلزله در مدل عددی، مشخصات جریان به ازای شرایط مختلف مدل‌سازی عددی مورد بررسی قرار داده شد. جابجایی تاج مخزن و همچنین پارامتر بیشینه تنش برشی دیواره‌ها در تاج مخازن در مدل‌های عددی برآورد. همچنین مقدار شتاب در نقاط مختلف مخزن در زمان زلزله در گذر زمان از مدل عددی در حالت با و بدون دیواره استخراج شد. همچنین بعضی از پارامترهای هیدرولیکی در جهت مقایسه بین مدل‌های موجود دیواره و عدم وجود دیواره استخراج شد و از جمله این پارامترها می‌توان به ارتفاع موج در طول زمان اشاره نمود.

یافته‌ها: مقایسه‌ها بین مدل عددی انجام شده و مطالعات آزمایشگاهی گذشته نشان داد که مدل عددی ارائه شده در تحقیق حاضر دارای خطای محاسباتی قابل قبولی است و ارتفاع موج تشکیل شده در آزمایش‌های بدون دیواره در طول زمان در مخزن در زمان زلزله، دارای همخوانی قابل قبولی با مدل‌های آزمایشگاهی می‌باشد. همچنین نتایج بررسی مش‌بندی نشان داد که مش مربعی دارای خطای کمتری نسبت به مش مثلثی می‌باشد و با کاهش اندازه‌ی این مش، مقدار متوسط ۱۱/۲ درصد، خطا کاهش پیدا خواهد کرد. علاوه بر این، نتایج تحلیل مش نشان می‌دهد که خطای مش مربع در مقایسه با شکل مثلثی تقریباً ۱۱،۲ درصد است. بنابراین مش مربعی به عنوان مش مورد نظر در جهت حل معادله جریان آب در مدل عددی در نظر گرفته شد. نتایج اولیه دیواره‌های نصب شده افقی و قائم درون مخازن نشان داد، به ازای حضور دیواره‌ها تلاطم آب درون مخزن در زمان زلزله به صورت چشمگیر کاهش پیدا خواهد کرد. همچنین پارامترهای از جمله جابجایی دیواره مخزن و تنش موجود در دیواره‌ها و شتاب مایع درون مخزن به صورت چشم‌گیری در طول زمان کاهش پیدا خواهند کرد. همچنین نوسانات این پارامترها در طول زمان کاهش پیدا خواهند کرد. نتایج نشان می‌دهد که تجهیز کردن مخازن به دیواره‌های قائم و افقی تاثیر چشمگیری در بالا بردن ضریب ایمنی دیواره مخازن آب دارد. همچنین تانک‌های آب با دیواره‌های قائم نسبت به دیواره‌های افقی میزان جذب انرژی بیشتری را دارند و تاثیر این دیواره بر کاهش ارتفاع امواج درون مخزن و همچنین تاثیر کاهنده بیشتری در میزان جابجایی در مخزن در زمان زلزله را دارد.

نتیجه‌گیری: نتایج مدل عددی کالیبره شده با داده‌های آزمایشگاهی نشان داد، مخزن مجهز به بافل قائم نیروی کنترلی و میرایی بیشتری نسبت به بافل افقی ایجاد می‌کند و عملکرد مناسبتری نسبت به دیواره‌های افقی دارد و تلاطم سطح سیال مایع و به طبع فشار وارد به دیواره را کاهش می‌دهند. در نهایت به ازای افزایش ارتفاع آب در مخازن، می‌توان بیان نمود که میزان جذب انرژی توسط دیواره قائم و همچنین دیواره افقی نسبت به آزمایش‌های با ارتفاع کمتر آب، بیشتر است. همچنین مقایسه‌ها در طول زمان برای مقادیر عددی استخراج شده از مدل برای مقادیر جابجایی، تنش برشی و همچنین شتاب ایجاد شده در مایع در طول زمان در مدل‌های با دیواره نصب شده به مراتب در زمان کمتری به حالت اولیه بر می‌گردند در حالی که مدل‌های بدون دیواره زمان زیادی برای برگشت به حالت ایمن اولیه نیاز دارند.

کلید واژه: مخزن، موج زلزله، استهلاک انرژی، نیروی هیدرودینامیک، مدل عددی

مناسب، نتایج قابل قبولی ارائه می‌کند، (Aghayari and Salhzadeh, 2020).

بحث محاسبه فشار هیدرودینامیکی آب بر روی مخازن تحت تاثیر حرکت هارمونیک افقی زمین اولین بار توسط وسترگاد (Aghayari and Salhzadeh, 2020) مطرح شد. او فشارهای حجمی ایجاد شده در پشت یک سد صلب را با محدودیت هایی محاسبه کرد. پس از وی کوتسویو به بررسی این مساله پرداخت و نشان داد که حل وسترگاد تنها برای ارتعاشاتی با فرکانسهای کمتر از فرکانسهای طبیعی مخزن صادق است (Aghayari and Salhzadeh, 2020).

هارون، با بررسی تاثیر تراکم پذیری آب بر پاسخ فشار هیدرودینامیک مخزن نشان داد که برای سیال تراکم پذیر حل وسترگاد در کلیه فرکانسهای بارگذاری صادق است. لیکن در سدهای بلند تاثیر تراکم پذیری آب بر پاسخ نیروی هیدرودینامیک در فرکانسهای بالا قابل توجه است. هاوسنر و هارون از جمله افرادی هستند که در زمینه مدل سازی عددی مطالعات زیادی را انجام داده اند، (Haroun, 1983).

روزبهنانی و هجران، مدل سازی عددی اندرکنش موج- اجسام شناور را مورد بررسی و پژوهش قرار دادند. در این تحقیق، روش هیدرودینامیک ذرات کاملاً تراکم ناپذیر بر پایه تراکم پذیری مصنوعی را مورد بررسی و آزمایش قرار گرفت. ابتدا، معادلات حاکم دوبعدی با استفاده از روش تراکم پذیری مصنوعی کورین در چهارچوب مدل لاگرانژی نوشته شد و بر این اساس یک الگوریتم بر پایه-ی معادلات هیدرودینامیک برای ذرات هموار مناسب برای حل جریان های تراکم ناپذیر ارائه شد. برخلاف روش کلاسیک تراکم پذیر جزئی، روش فوق با مشکلات تقریب های شرایط تراکم ناپذیری که باعث ایجاد محدودیت در گام زمانی و نوسانات نادرست در میدان جریان می شود، مواجه نیست. این مطالعه نشان می دهد که روش هیدرودینامیک ذرات همواره بر پایه تراکم پذیری مصنوعی به کار گرفته شده برای حل مسائل جریان تراکم

حرکت جریان هیدرودینامیک درون مخازن در زمان زلزله همواره باعث ایجاد خسارات جانی و مالی شده است (Aghayari and Salhzadeh, 2020). مطالعات موج هیدرودینامیک نشان می دهد که به ازای افزایش شتاب خطی سیال ارتفاع امواج تشکیل شده در مخزن افزایش پیدا خواهد کرد. این امر موجب ایجاد تلاطم زیادی در سطح آب درون مخزن می گردد. با افزایش این تلاطم، امکان خسارت وارد شده به مخزن آب یا نفت، افزایش پیدا خواهد کرد. از این رو، ارایه ی راهکار مناسب برای جلوگیری از این خرابی لازم می باشد. استفاده کردن از تیغه های و موانع مختلف در مخزن، همواره باعث افزایش جذب مومنتوم جریان می شود که به طبع باعث کاهش سطح انرژی در سیال در زمان اعمال شتاب خطی و قایم حاصل از زلزله می باشد، (Roozbahani and Hejranfar, 2018). در این پژوهش راهکار استفاده از این تیغه ها در مخزن مستطیلی مورد بررسی قرار گرفت. برای بررسی این مورد از مدل عددی انسیس که مدل قوی و شناخته شده ای در شبیه سازی جریان می باشد استفاده شد. در این بخش ابتدا روش های موجود برای بررسی تلاطم در سطح جریان مورد بحث قرار داده شده است و در ادامه نتایج مهم مطالعاتی که با رویکردهای مختلف به بررسی این پدیده در مخازن آب و نفت پرداخته اند، مورد بحث و بررسی قرار داده خواهد شد.

مروری بر مطالعات عددی برای حل مساله تلاطم

با وجود تحقیقات زیادی که عموماً در مخازن ساده در زمینه تلاطم انجام شده است، روش های تحلیلی دقیق برای مخازن پیچیده و مرکب وجود ندارد. روش های تجربی، تست و شبیه سازی نیز مشکل، هزینه بر و محدود به یک یا دو مدل است و بدلیل تداخل جریان و یا تشکیل گردابه در سیال نیز ممکن است قابل انجام و اطمینان نباشد. روش های عددی ضمن مدل سازی راحت تر و نزدیک به واقعیت و همچنین در نظر گرفتن شرایط مرزی

ناپذیر سطح آزاد و اندرکنش موج-اجسام شناور از دقت و انعطاف پذیری خوبی برخوردار است و استفاده از مدل‌ها و روش‌های عددی می‌تواند به عنوان روش جایگزین برای مدل آزمایشگاهی ارائه شود، (Roobahani and Hejranfar, 2018).

کتابداری و همکاران، به شبیه‌سازی عددی شکست موج تنها بر روی ساحل شیب‌دار به روش هیدرودینامیک ذرات هموار نسبتاً تراکم‌پذیر پرداختند. در این پژوهش، برای شبیه‌سازی روند شکست موج تنها بر روی ساحل شیب‌دار، از یک مدل عددی بدون شبکه بنام هیدرودینامیک ذرات هموار نسبتاً تراکم‌پذیر استفاده شده است. این مدل دو بعدی بوده و سیال را به صورت کمی تراکم پذیر در نظر می‌گیرد و علاوه بر حل معادلات حاکم بر سیال لزج برای به دست آوردن میدان سرعت و چگالی، از حل معادله حالت برای بدست آوردن فشار استفاده می‌کند. این مسئله باعث کاهش حجم محاسبات نسبت به روش پایه مدل هیدرودینامیک ذرات هموار می‌شود. برای شبیه‌سازی آشفتگی سیال در شکست موج از مدل آشفتگی SPS که به وسیله شبیه‌سازی گردابه‌های بزرگ LES به دست آمده، استفاده شده است (Ketabdari et al., 2010). در این تحقیق، برای بررسی دقت مدل در شبیه‌سازی سطح آزاد ابتدا مدل‌سازی شکست سد انجام شد و نتایج مدل با نتایج آزمایشگاهی مارتین و همکاران مقایسه شد، (Martin et al., 1952). سپس برای معتبرسازی مدل آشفتگی، نتایج پدیده شکست سد توسط مدل با نتایج آزمایشگاهی ایسا مورد مقایسه قرار گرفت، (Issa, 2005). این مقایسه‌ها نشان داد که مدل تهیه شده ابزاری قوی جهت شبیه‌سازی رفتار جریان سیال آشفته است. در انتها تغییرات یک موج تنها در حال شکست بر روی ساحل شیب‌دار مدل‌سازی شده و نتایج مورد بحث قرار گرفت.

روش‌های عددی کمی برای رهگیری سطح آزاد آب هنگامی که موج به سمت ساحل حرکت می‌کند، وجود دارد. یکی از این روش عبارت است از MAC (Harlow

and Welch, 1965). اگرچه این روش طور موفقیت آمیزی برای شبیه‌سازی امواج به کار رفتند، (Chan and Street, 1970). ولی استفاده از شبکه بندی اوپلری، باعث ایجاد مشکلات زیادی در شبیه‌سازی شکست امواج و تغییرات ناگهانی سطح آزاد آب مانند پخش عددی به دلیل وجود ترم انتقال در معادلات ناویر-استوکس و یا استفاده از تعداد بسیار زیاد المان‌ها برای شبیه‌سازی شکست موج می‌شود. اخیراً روش‌های بدون شبکه بر پایه روش لاگرانژی به منظور غلبه بر این مشکلات توسعه پیدا کرده‌اند. از میان این روش، هیدرودینامیک ذرات هموار، به عنوان یک روش قدرتمند جای خود را در میان دیگر روش‌های عددی باز نموده است. در این روش ذرات در مختصات لاگرانژی حرکت می‌کنند و ترم انتقال در معادلات ناویر-استوکس به طور مستقیم به وسیله حرکت ذرات محاسبه شده بدون اینکه مشکل پخش عددی وجود داشته باشد. هیدرودینامیک ذرات هموار ابتدا برای مدل‌سازی‌های فضایی توسط لوسی و همچنین توسط موناگان ابداع گردید، (Monaghan, 1992). در ادامه، از این روش در زمینه‌های مختلف سیالاتی مثل مدل‌سازی‌ها جریان سیال برای به دست آوردن فشار هیدرودینامیک ذرات هموار نسبتاً تراکم‌پذیر، استفاده شد، (Morris et al., 1997) همچنین این روش برای بسیاری از شبیه‌سازی‌ها از جمله شکست سد، پیشروی موج (Monaghan, 1999)، شکست موج بر روی سازه (Colagrossi and Landrini, 2003) و شکست موج بر روی ساحل با شیب کم (Shao and Goloh, 2005) گسترش داده شد به طوری که اکنون برای بسیاری از مسائل پیچیده سطح آزاد آب به کار می‌رود، (Monaghan, 1992).

در تحقیق حاضر، با بکارگیری مدل عددی انسیس فلو، شرایط جریان سلسله امواج تشکیل شده حاصل از تغییر شتاب هیدرودینامیکی در مخزن مستطیلی شبیه‌سازی شد. در ادامه با ارزیابی مدل عددی استفاده شده با داده‌های آزمایشگاهی، راهکارهای از جمله اضافه کردن موانع

روشهای ردگیری حجم (Volume-Tracking Method)

در این نوع روش‌ها، سطح تماس بصورت دو حجم سیال که به هم پیوسته، بدست می‌آید. هر ناحیه بوسیله نشانه‌های آن سیال، مکان‌یابی می‌شود. در ذیل دو نوع از این روشها توضیح داده شده است:

الف) روش نشانه و سلول (Marker and Cell) این روش یکی از قدیمی‌ترین روشهای ردیابی حجم است که هارلو و ولج آنرا ابداع نموده‌اند. در این روش ابتدا یک سری ذرات مجازی در داخل مایع پخش گردیده‌اند و در نتیجه در هر لحظه، مناطقی از محدوده حل که حاوی این ذرات باشند، به عنوان حجم مایع و مناطقی که این ذرات در آنجا به پایان می‌رسند، نشان دهنده سطح آزاد مایع می‌باشد. این روش توانایی حل مسائل پیچیده زیادی را دارد که در مطالعات هرت و شانون، چان و استریت، نیکولز و هرت و دوبل کارایی آن اثبات شده است، (Housner, 1963).

ب) روش حجم سیال (Volume of Fluid, VOF) این روش بر اساس جزء حجمی سیال بنا شده است و یکی از روشهای ردیابی حجم است که به اندازه روشهایی مثل روش نشانه و سلول (MAC) قدرتمند است ولی حجم و حافظه قدرت کمتر از هوش محاسباتی را می‌طلبد، مشکلات مذکور را نداشته و توانایی زیادی در دفع اغتشاشات و مکانیابی سیال دارد و نیز کمبودهای روشهای گسسته را ندارد (Housner, 1963). در این روش فرض می‌شود که در هر سلول یک مقدار برای هر یک از ویژگی‌های سیال از قبیل سرعت، فشار، دما و... بدست می‌آید. بنابراین مقدار هریک از این خواص با حل چندین باره معادلات سایر خواص بدست می‌آید.

مدل هارون یکی از اول روش‌های تحلیلی بررسی تغییرات سطح سیال در امواج هیدرودینامیک مدل هارون می‌باشد. هارون در سال ۱۹۸۳ با استفاده از تعاریف حساب تغییرات و تعریف یک تابع برای محیط سیال و با استفاده از روش عددی و تکنیکهای المان محدود و المان مرزی اقدام به محاسبه میزان فشار وارده بر دیوار حاصل از تحریک مخزن نمود و جزییاتی همچون تاثیر تنش‌های

افقی عمودی در مخزن، مورد استفاده گرفت. در نهایت تاثیر این موانع با بررسی امواج هیدودینامیک تشکیل شده ارزیابی شد. در این پژوهش در جهت کنترل پارامترهای تخریب کننده، از باله-های افقی و قائم استفاده شد. به نظر می‌رسد، استفاده از این باله‌ها تاثیر قابل ملاحظه‌ای در کاهش شتاب سیال در زلزله خواهد داشت و می‌توان با قبول هزینه کمی در زمان طراحی ضریب اطمینان ساخت مخازن آب و نفت را به صورت قابل قبولی افزایش داد.

روش تحقیق

در این قسمت اطلاعاتی در رابطه مدل عددی استفاده شده، ارایه شده است. همچنین در ادامه معادلات حاکم بر این پدیده مورد بحث قرار گرفت و عوامل تاثیرگذار بر افزایش و کاهش ارتفاع موج درون مخازن در زمان زلزله مورد بحث و بررسی قرار گرفت.

روشهای محاسباتی برای حل مساله تلاطم

الف) روشهای ردگیری سطح (Surface-Tracking Method) در این روش یک نقطه از سطح آزاد سیال در نظر گرفته می‌شود و در طول زمان، تغییرات ارتفاع بر اساس تابعی از زمان و مکان آن سیال نمایش داده می‌شود. رابطه (۱) تابع زمانی تغییرات سطح سیال را در زمان نمایش می‌دهد.

(۱)

$$\frac{\partial h}{\partial t} + u \frac{\partial h}{\partial x} = v$$

در این رابطه u و v به ترتیب سرعت افقی و عمودی نقطه مورد نظر در سیال می‌باشند.

ب) روش ردگیری ذره (Particle-Tracking Method) در این روش با در نظر گرفتن یک سری نقاط روی سطح آزاد و بیان پارامتری مکان نقطه که به عنوان مثال در دو بعد بوسیله x_p و y_p مشخص می‌گردد و نیز بیان سرعت نقطه به وسیله u_p و v_p می‌توان با استفاده از معادلات لاگرانژ و با انتگرال گیری صریح، مکان این نقاط را در هر لحظه تعیین نمود.

(۴)

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0$$

(۵)

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial(uv)}{\partial x} = -\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] + \rho g + F$$

در این رابطه P فشار استاتیکی، μ لزجت دینامیکی و F نیروی مونتوم می‌باشد.

(۶)

$$\frac{\partial}{\partial t} (r_a \rho_a) + \frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0$$

در این رابطه ρ_a چگالی سیال به ازای حجم اشغال شده است می‌باشد. همچنین Γ_a درصد حجم سیال به حجم کل حجم کنترل در نظر گرفته شده می‌باشد.

مدل اختلاطی VOF: مدل حجم سیال بر اساس

تئوری جریان چند فازی پیشنهاد گردیده است. اما در واقع یک مدل چند سیاله نیست و تنها یک سیال ساده به عنوان سیال اصلی به مدل حجم سیال معرفی می‌گردد. بنابراین برای جریان سیالات به صورت آب و ذرات جامد تنها یک سری از معادلات مونتوم به صورت مشترک بین ذرات جامد و آب حل گردیده و کسر از حجم هر کدام از سیالات که سلولهای محاسباتی را اشغال می‌نمایند، تعیین می‌گردد. در هر سلول مجموع کسرهای حجمی آب و هوا برابر ۱ می‌باشد. از بارزترین ویژگی‌های جریان با سطح مشترک، وجود یک مرز مشترک خاص بین دو سیال است، و در مواردی به کار می‌رود که دو سیال غیر محلول با یکدیگر در تماس باشند. این مدل در صنعت کاربرد بسیار وسیعی دارد.

مدل های مورد مطالعه: در این مطالعه از سه مدل

هندسی در مدل عددی استفاده شد. علت استفاده از این مدل‌ها به خاطر نبود شرایط طراحی مشابه در تحقیق‌های گذشته و همچنین ساده بودن طراحی آن اشاره کرد. برای بررسی تاثیر تحریک خطی مخزن، مخزنی با اندازه ۰/۶ متر طول، ۰/۶ متر عرض و ۰/۴ متر ارتفاع استفاده شد.

عمودی هیدرواستاتیک و اثرات سقف مخزن را مورد بررسی قرار داد. وی سپس مدلی را پیشنهاد کرد که در آن سه جرم متمرکز به نمایندگی از جرم صلب آب، جرم متلاطم آب و اثر اندرکنش سازه و آب استفاده شده است. هارون فشار حاصل از مد اول تلاطم آب را به صورت زیر بدست آورد:

(۲)

$$P(R, \theta, z) = 0.37 \rho R \cos(\theta) \frac{\cosh\left(\frac{1.84z}{R}\right)}{\cosh\left(\frac{1.84H}{R}\right)} S_a$$

در این رابطه، H ارتفاع آب، ρ چگالی مایع، θ زاویه‌ی اولیه حرکت موج در مخزن، R شعاع داخلی مخزن و S_a مقدار طیفی شتاب مشابه فرکانس نوسان اصلی که توسط موج زلزله پدیدار می‌شود می‌باشد. این فرکانس را از رابطه زیر می‌توان بدست آورد.

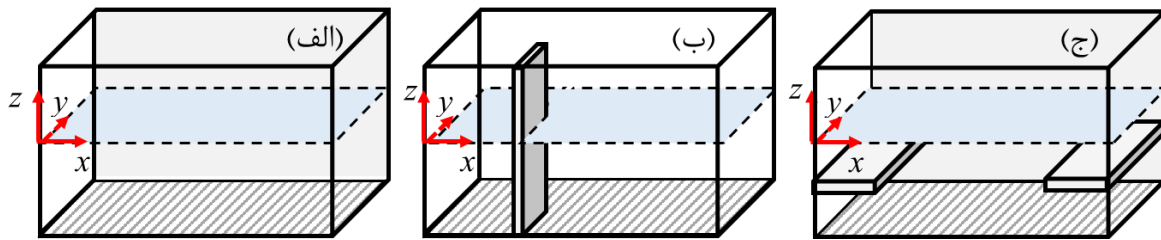
(۳)

$$w^2 = (1.84 \frac{g}{R}) \operatorname{tgh}\left(1.84 \frac{H}{R}\right)$$

نرم افزارهای مختلفی امروزه جهت تحلیل و بررسی جریان موجی تشکیل شده در مخازن و برآورد تنشها وجود دارد. متداولترین روشهای عددی قابل استفاده، روش اجزای مرزی و اجزای محدود می‌باشد که کاربرد روش اجزای مرزی در حل مسائل اندرکنشی معمولاً در ترکیب با روش اجزای محدود می‌باشد، (Hosseini and Hosseini, 2018).

معادلات حاکم: در مدل عددی انسیس، معادلات زیر

که به ترتیب معادله پیوستگی (۴)، معادله مونتوم (۵)، معادله پیوستگی مدل همگن (۶) و معادله بقای جرم با استفاده از بکارگیری اجزا و المان محدود در مدل عددی انسیس حل می‌شوند. لازم به ذکر است، در شبیه‌سازی سطح سیال از روش VOF در جهت حل معادلات در فصل مشترک سیال آب و هوا در مسیله تشکیل موج در مخازن در هنگام زلزله، استفاده شده است.



شکل ۱. مدل‌های هندسی مورد مطالعه، الف) مدل مخزن بدون مانع، ب) مدل مخزن با باله قائم، ج) مدل مخزن با باله افقی.

بدیهی است این افزایش، سبب طولانی‌تر شدن زمان حل مسأله خواهد شد. با حل مسأله برای دو حالت فوق مقایسه در هر حالت با نتایج آزمایشگاهی، اثر دو هندسه مدل شبکه بندی بررسی گردید. همچنین در شکل (۲-۲) شرایط مرزی حل مدل عددی در محیط نرم افزار نمایش داده شده است. لازم به ذکر است، از ارتفاع تابع ارتفاع آب در طول مخزن و همچنین فشار اتمسفر در سطح جریان برای حل معادله انرژی استفاده شد. همچنین برای تاثیر فاصله بلوک‌ها از کف مخزن و پیدا کردن بهترین آزمایشگاه در مدل‌های مختلف بلوک‌دار، فاصله‌ی بلوک تغییر داده شد. پس از انجام شبیه‌سازی، داده‌های هیدرولیکی و هیدرودینامیکی استخراج شد. در جدول (۱)، اطلاعات مدل‌های شبیه‌سازی شده همراه با برچسب آنها نمایش داده شده است. در معادله (۷) مشخصات موج در نظر گرفته شده به عنوان مرز ارتفاعی در مدل نرم‌افزاری نمایش داده شده است. در این رابطه، x بر حسب متر و t بر حسب ثانیه می‌باشد.

(۷)

$$x(t) = 0.005 \sin(4t)$$

لازم به ذکر است، منظور از L در برچسب طول و H نمایانگر بافل افقی و V نمایانگر بافل قائم می‌باشد.

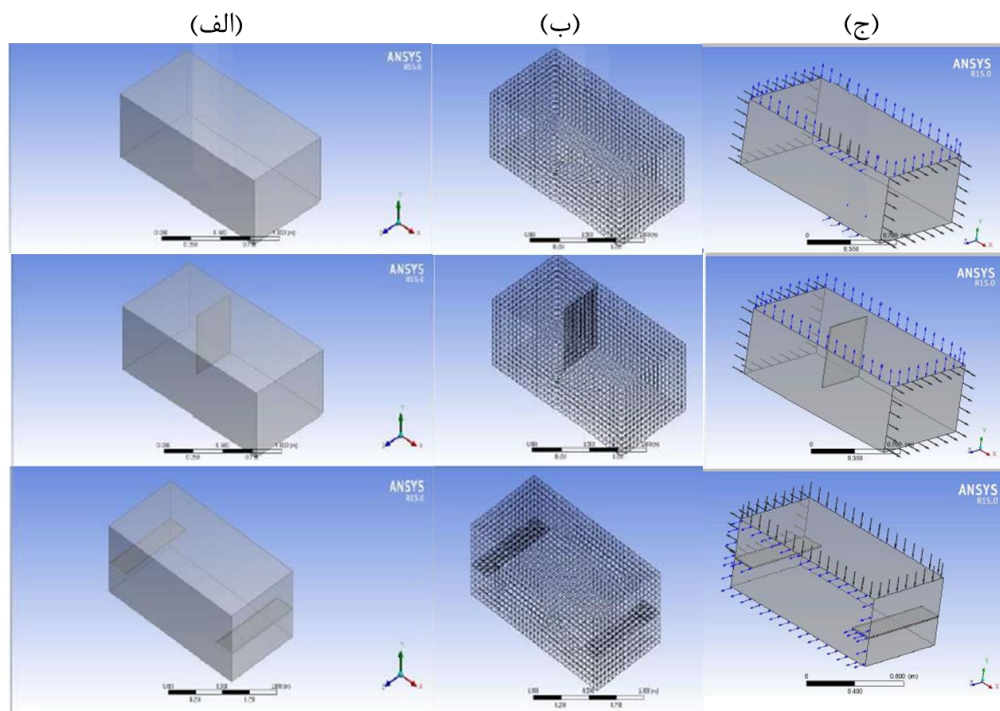
نتایج و بحث

در ابتدا این بخش، با در نظر گرفتن سطح آب در زمان مدلسازی موج در مخزن، سطح آب در مخزن با دیگر مطالعات حاضر مورد بحث و بررسی قرار داده می‌شود.

بر اساس نظر گوان (Guan et al., 2020)، به ازای افزایش طول مخزن قدرت و ارتفاع موج تشکیل شده در مخزن حاصل از شتاب زمین لرزه بیشتر خواهد شد. از این رو، طول و عرض مخزن در مدل‌های گوان و لیو یکسان در نظر گرفته شده است تا این تاثیر هندسه بر جریان حذف شود. همچنین، از مدل‌های با بلوک برای کامل کردن مطالعه گوان و همکاران استفاده شد. شایان ذکر است، در این پژوهش شرایطی در نظر گرفته شده که در مطالعه گوان (Guan et al., 2020) بررسی نشده بود. همچنین با توجه به طول کم باله‌های نصب شده در مخزن، پیش‌بینی می‌شد که عملکرد این باله‌ها نسبت به هزینه نصب آن، قابل دفاع باشد.

مدلسازی عددی مدل آزمایشگاهی مخزن مکعبی: در

شکل (۲-الف)، مدل‌های عددی استفاده شده در مدل عددی انسیس نمایش داده شده است. استفاده از شبکه بندی‌های نامناسب در مسائل عددی سبب بروز خطاهای فاحشی در نتایج حل می‌شود. در این تحقیق جهت تحلیل و گسسته‌سازی میدان جریان مدل مورد مطالعه از شبکه بندی ساختار نیافته استفاده شده است. شکل (۲-ب)، در مدل تحلیلی سازه به منظور رسیدن به اندازه شبکه بندی مناسب و بهینه از میان شبکه بندی‌هایی با اندازه متفاوت از آنالیز حساسیت بر روی شبکه بندی استفاده می‌شود. از مدل آشفتگی رینولدز جهت آنالیز حساسیت شبکه بندی استفاده شده است و می‌توان اندازه شبکه بندی بهینه را انتخاب کرد. در هر دو حالت، همان‌طور که مشاهده می‌شود طبق انتظار با کاهش حداکثر بعد المان‌ها و ریزتر شدن شبکه، تعداد المان‌های ایجاد شده افزایش می‌یابد.

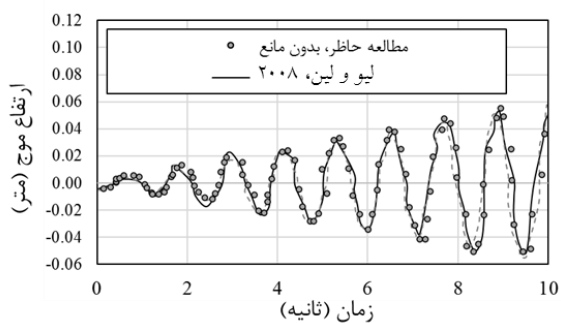


شکل ۲. مدل‌های هندسی در نظر گرفته شده در این پژوهش، (الف) مدل هندسی، (ب) مش‌بندی، مرزهای هیدرلیکی در نظر گرفته شده.

جدول ۱. مدل‌های در نظر گرفته شده در شبیه‌سازی در مدل نرم افزاری انسیس

شماره	وضیعت بلوک	برچسب	فواصل بلوک‌ها از کف یا دیواره مخزن
۱	بدون بلوک	N-B	*
۲	با بلوک	HB-0.2H	فاصله ۰/۲ طول مخزن از کف مخزن
۳	با بلوک	HB-0.3H	فاصله ۰/۳ طول مخزن از کف مخزن
۴	با بلوک	HB-0.5H	فاصله ۰/۵ طول مخزن از کف مخزن
۵	با بلوک	VB-0.2L	فاصله ۰/۲ طول مخزن از دیواره مخزن
۶	با بلوک	VB-0.3L	فاصله ۰/۳ طول مخزن از دیواره مخزن
۷	با بلوک	VB-0.5L	فاصله ۰/۵ طول مخزن از دیواره مخزن

همخوانی قابل قبولی برخوردار می‌باشد و مدل عدد در نظر گرفته شده می‌تواند خطایی قابل قبول محاسباتی را ارائه دهد.



شکل ۳. مقایسه ارتفاع موج در مدل‌ها آزمایشگاهی و عددی مختلف

اعتبار سنجی مدل‌سازی عددی: در این مرحله کالیبراسیون و اعتبار سنجی مدل‌سازی عددی با نتایج مدل لیو (Liu and Lin, 2008) در حالت بدون مانع در مخزن استفاده شد. در این روش سطح آب در مخزن در زمان-های مختلف با آزمایش‌های لیو و همچنین مدل عددی گوان (Guan et al., 2020)، مورد مقایسه قرار داده شد. لازم به ذکر است، از مدل تحریکی خطی استفاده شد. در شکل (۳) نتایج این مقایسه نمایش داده شده است. همانطور که مشخص است، به ازای زمان‌های مختلف، ارتفاع آب در مخزن با مدل‌های مطالعات قبلی از

جدول ۲. مقایسه مش‌بندی استفاده شده

نوع مش بندی	آزمایش	وضعیت	مربعات خطا سطح آب در		ارتفاع سطح آب در	
			بالاترین قسمت در طول زمان اعمال موج	خطا (%)	بالاترین قسمت در زمان اعمال موج (سانتیمتر)	خطا (%)
مربعی	N-B	بدون بلوک	۰/۸۸	۰/۸۴	۲/۹۲	۲/۸۲
مثلثی	N-B	بدون بلوک	۰/۸۸	۰/۷۲	۲/۹۲	۲/۷۴

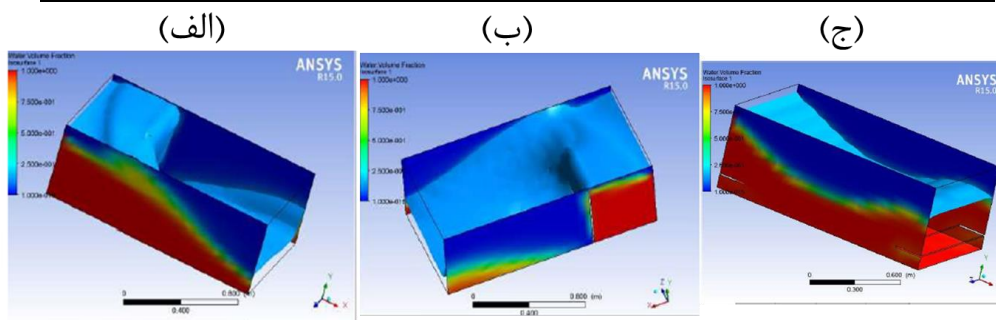
اثر الگوی جریان آشفتگی: در تحقیق حاضر سعی شد که با بررسی پارامترهای مختلف، دو مدل فیزیکی و عددی در جزئیات بیشتری با هم انطباق داشته باشند، یا به عبارتی مدلسازی عددی به بهترین شکل کالیبره شده باشد. بنابراین با توجه به وجود جریان آشفتگی شبیه‌سازی از مدل‌های عددی $k-\omega$ و $k-\epsilon$ استفاده شد و نتایج حاصل از تحلیل دو مدل آشفتگی کالیبره گردیده شد. بنابراین مناسب‌ترین مدل که نتایج نزدیک مدل آزمایشگاهی است، به صورت جدول (۳) انتخاب شد.

پروفیل سطح آب: در شکل (۴) پروفیل سطح آب در مخزن برای مدل‌های عددی دارای بلوک، نمایش داده شده است. لازم به ذکر است، با استفاده از پروفیل سطح آب در مخزن، و همچنین میزان شتاب آب درون مخزن مقایسه‌ای در جهت تاثیر نصب مانع در مخازن، فراهم شده است که در ادامه به آن اشاره خواهد شد.

شبکه‌بندی مناسب: مش‌بندی یا شبکه بندی در هر دو حالت مختلف انجام پذیرفت و بر اساس این دو حالت آنالیز حساسیت در جدول (۲) نمایش داده شد. همان طور که مشاهده می‌شود طبق انتظار با کاهش حداکثر بعد المان‌ها و ریزتر شدن شبکه، تعداد المان‌های ایجاد شده افزایش می‌یابد. با حل مسأله برای دو حالت فوق و مقایسه با نتایج آزمایشگاهی، اثر دو هندسه مدل شبکه‌بندی بررسی گردید همان‌طور که در جدول (۲) دیده می‌شود، نتایج ارتفاع سطح آب در بالاترین قسمت در زمان اعمال موج، مش‌بندی مربعی شده دارای تفاوت محسوس‌تری بوده و تطابق بهتری با نتایج آزمایشگاهی دارد. بنابراین کفایت شبکه‌بندی مدل‌سازی نوع دو کاملاً مورد تأیید قرار گرفت. بنابراین شبکه‌بندی حالت دوم مربعی به عنوان شبکه‌بندی نهایی مدل انتخاب شده است.

جدول ۳. مقایسه مدل آشفتگی در پارامتر جابجایی سطح آب در مخزن

مدل عددی	مدل آشفتگی	ارتفاع سطح آب در بالاترین قسمت		ارتفاع سطح آب در بالاترین قسمت	
		خطا (%)	در زمان اعمال موج (سانتیمتر)	خطا (%)	در زمان اعمال موج (سانتیمتر)
N-B	k-ε	۰/۸۸	۰/۸۲	۲/۹۲	۲/۸۰
N-B	k-ε	۰/۸۸	۰/۷۵	۲/۹۲	۲/۷۸

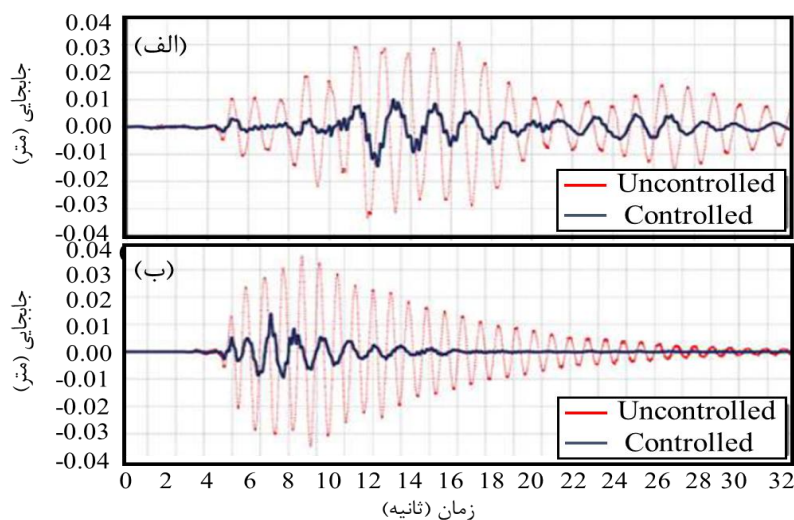


شکل ۴. پروفیل سطح آب در مدل‌های عددی

سقف مخزن، برش مخزن، شتاب اصلی مخزن، جابجایی نسبی بین دو تراز سقف مخزن، بیشینه تنش معادل و خصوصیات دینامیکی مخزن می‌باشند، که در زیر مورد ارزیابی و مطالعه قرار گرفته‌اند.

تحلیل عملکرد دینامیکی بافل قائم و افقی بر جابجایی سقف مخزن: تجهیز مخزن مورد مطالعه به سیستم بافل، به میزان قابل توجهی جابجایی بالاترین سطح زیر سازه مخزن را کاهش می‌دهد. برای بیان بهتر رفتار سازه، نمودار تاریخچه زمانی جابجایی سقف نشان داده شده است، شکل (۵). براساس این شکل، می‌توان به کارایی فوق العاده سیستم بافل قائم در کنترل جابجایی بالاترین سطح زیرسازه مخزن پی برد. همچنین نتایج جدول (۴)، نشان می‌دهد که استفاده از بلوک قائم و بلوک افقی بستگی به جایگاه آن قرار دارد. برای مثال بیشتر کاهش سقف مخزن در بلوک‌های افقی برای آزمایش HB-0.2L اتفاق می‌افتد در حالی که برای بلوک‌های قائم بیشترین کاهش نسبت به مخزن بدون بلک برای مخزنی با مشخصات بلوک HV-0.3H می‌باشد. این بدان معناست که با نصب بلوکها در ۳۰ درصد ارتفاع کل مخزن میتوان تا حد قابل قبولی از جابه جای سطح آب در زیر سقف مخزن جلوگیری نمود.

تحلیل عملکرد دینامیکی مخزن مجهز به بافل قائم و افقی: ایده اصلی در سیستم‌های بافل، کاهش فرکانس سازه و رساندن آن به مقداری کمتر از فرکانس‌های حاوی انرژی غالب زلزله می‌باشد. به منظور مقایسه تأثیر بافل قائم و افقی با احتساب بهینه‌ترین محل بکارگیری بافل افقی و قائم، عملکرد این دو مستهلک کننده مورد تحلیل قرار گرفت. بر روی رفتار دینامیکی سازه، آنالیز تاریخچه زمانی روش مناسب‌تری به نظر می‌آید و بر اساس این روش می‌توان اثرات اتلاف انرژی سیستم بافل را مشاهده کرد. بنابراین در این قسمت، عملکرد مخزن مورد مطالعه برای دو حالت سازه بدون سیستم بافل و سازه مجهز به بافل قائم و افقی، تحت رکورد زلزله طبس $0.15g$ نشان داده شده‌اند. با توجه به این که بیشینه پاسخ سازه تنها در یک لحظه اتفاق g با شتاب بیشینه می‌افتد. لذا بررسی عملکرد سیستم بافل در طول زمان زمین لرزه صرفاً از دیدگاه میزان تأثیر آن در کاهش بیشینه پاسخ سازه برای قضاوت درباره عملکرد آن لازم است ولی کافی نیست. به همین منظور علاوه بر معیار بیشینه پاسخ سازه، معیار جذب میانگین مربعات پاسخ سازه نیز در طول مدت آنالیز، مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است. نتایج مورد مقایسه در تحلیل مخزن مورد مطالعه شامل جابجایی



شکل ۵. تاریخچه زمانی جابجایی بالاترین سطح زیر سازه مخزن برای حالت‌های کنترل نشده و کنترل شده تحت زلزله:

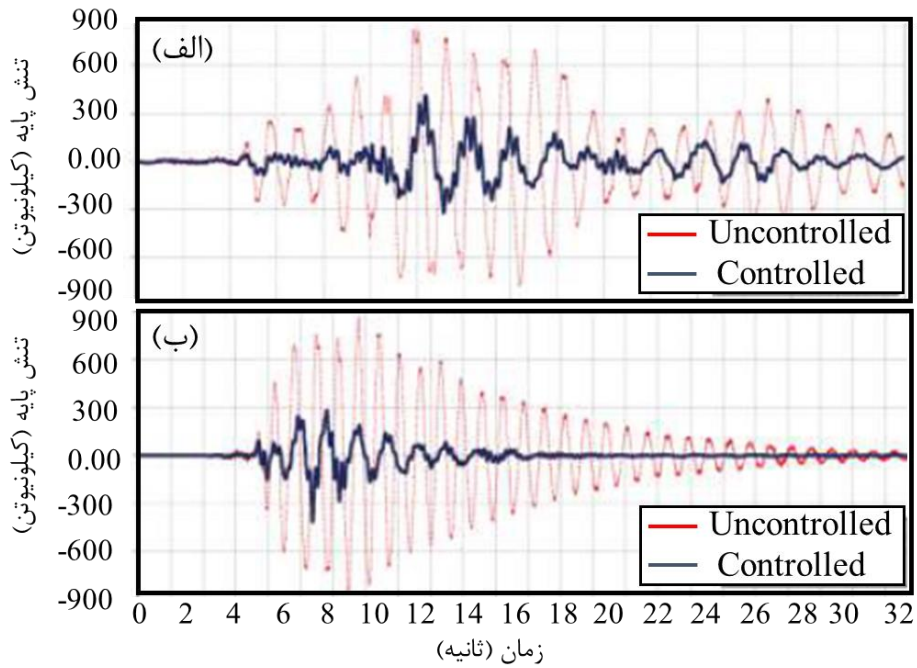
الف) مجهز به بافل افقی، ب) مجهز به بافل قائم.

جدول ۴. مقایسه جابجایی سقف مخزن با بافل افقی با تراز ارتفاعی ۰/۲، ۰/۳ و ۰/۵ از کف مخزن و یا دیوار مخزن

شماره مدل	برچسب	ارتفاع سطح آب در بالاترین قسمت		ارتفاع سطح آب در بالاترین قسمت		خطا (%)
		مدل	مدل	خطا (%)	مدل	
		آزمایشگاهی	عددی	آزمایشگاهی	عددی	
۲	HB-0.2H	۰/۴۱	۱/۱۷	۹۵/۶۴	۱/۵۵	۵۳/۵۹
۳	HB-0.3H	۰/۸۲	۱/۱۷	۲۹/۹۱	۱/۸۳	۴۵/۲۰
۴	HB-0.5H	۰/۸۸	۱/۱۷	۲۴/۷۸	۱/۷۴	۴۷/۹۰
۵	VB-0.2L	۰/۸۸	۱/۱۷	۲۴/۷۸	۱/۸۲	۴۵/۵۰
۶	VB-0.3L	۰/۵۱	۱/۱۷	۶۵/۴۱	۱/۶۸	۴۹/۷۰
۷	VB-0.5L	۰/۹۰	۱/۱۷	۲۳/۰۷	۱/۸۹	۴۳/۴۱

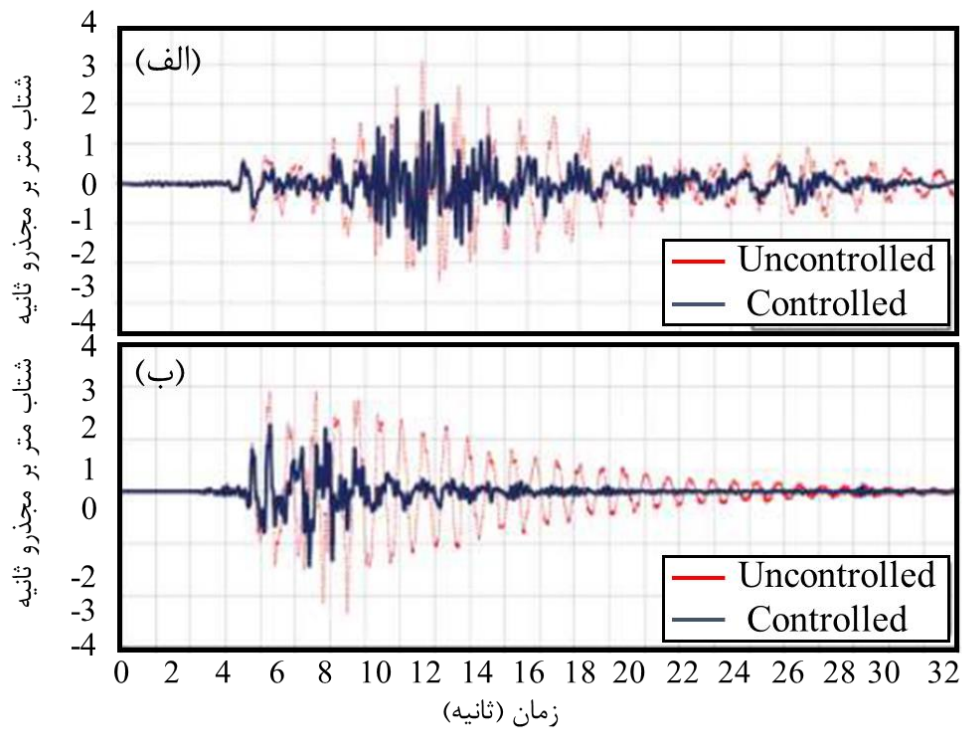
مخزن را فراهم سازد. در جدول (۵) درصد کاهش مقادیر برش مخزن و شتاب حرکت سقف مخزن را بر اساس معیارهای پیشینه و جذر میانگین مربعات پاسخ، برای دو حالت سازه بدون سیستم بافل و سازه مجهز به بافل قائم و افقی، تحت رکورد زلزله طیس با $0.15g$ نشان داده شده اند. همان طور که مشاهده می‌شود، تجهیز سازه مخزن به سیستم بافل، شتاب پیشینه برش مخزن را به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد. برای بیان بهتر رفتار سازه، نمودار تاریخچه زمانی برش، برای دو حالت کنترل نشده و کنترل شده، در شکل (۶) نمایش داده شده است. بر اساس این شکل، می‌توان به کارایی مناسب بافل قائم در کنترل برش مخزن پی برد. همچنین در شکل (۷)، نمودار تاریخچه زمانی شتاب سقف مخزن نمایش داده شده است. مقایسه بین مدل بدون بلوک و با بلوک قائم در حالت ماکزیمم کاهش نشان می‌دهد، که اضافه کردن بلوک در مخزن می‌تواند به میزان قابل توجهی از شتاب سقف مخزن در زمان زلزله بکاهد.

تحلیل عملکرد دینامیکی بافل قائم و افقی بر کنترل تنش وارد بر دیوار مخزن و شتاب امواج: تنش برشی (برش پایه) وارد بر دیواره مخزن در تراز بستر یکی از پارامترهای مهم در حفظ ایمنی و یکپارچگی سازه مخزن می‌باشد. برش پایه زیاد در تراز بستر باعث آسیب‌هایی از قبیل خرابی جانبی در نتیجه پلاستیک شدن خاک فونداسیون می‌شود و نهایتاً ممکن است پایین دیواره‌های مخزن دچار ترک خوردگی و نشست مواد مضر و آلودگی محیط زیست شود. کمینه نمودن این پارامتر از پاسخ مخزن می‌تواند یک معیار مؤثر در فرایند کنترل لرزه ای مخزن مورد مطالعه باشد و در طراحی مخازن جدید، باعث افزایش طول عمر مفید و بهینه شدن سازه می‌گردد. همچنین شتاب سقف مخزن یکی از جنبه‌های مهم در حفظ ایمنی و کارایی مخزن می‌باشد. با توجه به این که شتاب زیاد در تراز سقف مخزن عمدتاً باعث تخریب و سرویس‌دهی مخزن را مختل کند، اما کمینه نمودن این پارامتر از پاسخ مخزن می‌تواند یک معیار مؤثر در فرایند کنترل لرزه ای مخزن مورد مطالعه باشد و سطح ایمنی



شکل ۶. تاریخچه زمانی برش مخزن برای حالت های کنترل نشده و کنترل شده تحت زلزله:

الف) مجهز به بافل افقی، ب) مجهز به بافل قائم



شکل ۷. تاریخچه زمانی شتاب در سقف مخزن برای حالت های کنترل نشده و کنترل شده تحت زلزله:

الف) مجهز به بافل افقی، ب) مجهز به بافل قائم

جدول ۵. مقایسه شتاب و تنش برشی سقف مخزن با بافل افقی و قائم

شماره مدل	برچسب	ماکزیمیم تنش برشی کیلو نیوتن	درصد کاهش (%)	ماکزیمیم شتاب سقف مخزن	
				درصد کاهش (%)	متر بر مجذور ثانیه
۱	N-B	۸۱۸	۴۹/۳۱	۳/۰۹	۲۳/۹۴
۳	HB-0.3H	۴۱۵/۹۵		۱/۹۹	
۱	N-B	۸۱۸	۴۵/۵۰	۳/۰۹	۳۵/۶
۵	VB-0.2L	۴۱۴/۶۷		۲/۳۵	

نتیجه گیری

(۵) بکارگیری بافل‌ها به دلیل کاهش نیروی زلزله می‌تواند

به عنوان راه حلی جهت بهسازی مخازن استفاده گردد. البته جهت اقتصادی بودن طرح جهت استفاده در صنعت نحوه قرارگیری بافل‌ها به نحوی که تلاطم را به کمترین مقدار خود برساند، مورد نیاز می‌باشد.

(۶) عملکرد بافل‌ها کاهش تلاطم و افزایش پریود طبیعی سازه می‌باشد.

(۷) افزایش شتاب مخزن، نسبت چگالی دو سیال و نسبت لزجت آن‌ها باعث افزایش چشمگیر نیروی وارد بر دیوارها می‌شود که می‌تواند صدمات زیادی بر سازه مخزن وارد کند. که با اضافه کردن بافل‌ها می‌توان مقدار نیرو و نوسانات سیال را کاهش داد.

(۸) در مناطق لرزه خیز دو نیروی موج و زلزله جزو نیروهای غالب طراحی می‌باشند.

از مهمترین نتایج به دست آمده در این پژوهش می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

(۱) به دلیل کاهش تأثیر کشش سطحی سیال و همچنین مشارکت بیشتر آب در فرایند تلاطم، با افزایش عمق آب در مخزن، مقدار میرایی برای مخازن کاهش می‌یابد.

(۲) بافل‌های قائم نسبت به بافل‌های افقی در فرکانس یکسان، نیروی کنترلی و ضریب میرایی بزرگتری تولید می‌کنند.

(۳) ترکیب فشارهای هیدرواستاتیک و هیدرودینامیک در اثر حرکت‌های افقی و قائم زمین منجر به تنش‌های کششی عمودی بزرگ می‌گردد.

(۴) موقعیت قرارگیری این دیواره‌های مستهلک کننده در

نحوه عملکرد آنها موثر بوده است. به این ترتیب با

قرار دادن این دیواره‌ها نزدیک سطح آب اثر بافل‌ها بر

کاهش تلاطم مایع قابل توجه بوده است.

Reference:

- Aghayari, J., Salehzadeh, D. (2020). Dynamic modeling and identification of turbines of Abbaspour hydropower plant based on field tests. *Journal of Dam and Hydroelectric Power Plant*. 7 (25), 773-763. [In Persian].
- Hosseini, S., Hosseini, N. (2018). Numerical Modeling of Underground Explosion and Response of Buried Structures using Coupled Eulerian-Lagrangian Method. *Advanced Defense Sci. & Technol.* 2018, 04, 325-336. [In Persian].
- Roozbahani, F., Hejranfar, K. (2018). Numerical Simulation of Wave-Floating Bodies Interaction Using a Truly Incompressible SPH Method with Artificial Compressibility Approach. *Journal of Solid and Fluid Mechanics*. 8 (1), 241-252. [In Persian].
- Chan, R. K. C., & Street, R. L. (1970). A computer study of finite-amplitude water waves. *Journal of computational physics*, 6 (1), 68-94.

- Colagrossi, A., & Landrini, M. (2003). Numerical simulation of interfacial flows by smoothed particle hydrodynamics. *Journal of computational physics*, 191 (2), 448-475.
- Guan, Y., Yang, C., Chen, P., & Zhou, L. (2020). Numerical investigation on the effect of baffles on liquid sloshing in 3D rectangular tanks based on nonlinear boundary element method. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, 12, 399-413.
- Haroun, M. A. (1983). Vibration studies and tests of liquid storage tanks. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 11 (2), 179-206.
- Harlow, F. H., & Welch, J. E. (1965). Numerical calculation of time-dependent viscous incompressible flow of fluid with free surface. *The physics of fluids*, 8 (12), 2182-2189.
- Hirt, C. W., & Nichols, B. D. (1981). Volume of fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries. *Journal of computational physics*, 39 (1), 201-225.
- Housner, G. W. (1963). The dynamic behavior of water tanks. *Bulletin of the seismological society of America*, 53 (2), 381-387.
- Issa, R. (2005). Numerical assessment of the smoothed particle hydrodynamics gridles method for incompressible flows and its extension to turbulent flows. The University of Manchester (United Kingdom).
- Ketabdari, M. J., Saghi, H., & Rezaei, H. (2010). Comparison of staggered and collocated grids for solving Navier-Stokes equations. In 5th National Congress on Civil Engineering.
- Liu, D., & Lin, P. (2008). A numerical study of three-dimensional liquid sloshing in tanks. *Journal of Computational physics*, 227 (8), 3921-3939.
- Martin, J. C., Moyce, W. J., Penney, W. G., Price, A. T., Thornhill, C. K. (1952). Part IV. An experimental study of the collapse of liquid columns on a rigid horizontal plane. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*, 244 (882), 312-324.
- Monaghan, J. J. (1992). Smoothed particle hydrodynamics. *Annual review of astronomy and astrophysics*, 30 (1), 543-574.
- Monaghan, J. J., & Kos, A. (1999). Solitary waves on a Cretan beach. *Journal of waterway, port, coastal, and ocean engineering*, 125 (3), 145-155.
- Morris, J. P., Fox, P. J., & Zhu, Y. (1997). Modeling low Reynolds number incompressible flows using SPH. *Journal of computational physics*, 136 (1), 214-226.
- Shao, S., & Gotoh, H. (2005). Turbulence particle models for tracking free surfaces. *Journal of Hydraulic Research*, 43 (3), 276-289.



Print ISSN: 2251-7480
Online ISSN: 2251-7400

Journal of
**Water and Soil
Resources Conservation
(WSRCJ)**

Web site:

<https://wsrcj.srbiau.ac.ir>

Email:

iawwsrj@srbiau.ac.ir
iawwsrj@gmail.com

**Vol. 12
No. 2 (46)
Winter 2023**

Received:
2022-01-22

Accepted:
2022-06-16

Pages: 51-64



Reduction of Turbulence Reduction in Water Tanks with Vertical and Horizontal Walls Using Ansys Numerical Model

Ali Nomiri¹, Amir Khosrojerdi^{2*} and Ali Saremi³

- 1) PhD Student Water Engineering Departments Islamic Azad university, Science and research Branch, Tehran, Iran.
 - 2) Assistance Prof. Water Engineering Departments Islamic Azad university, Science and research Branch, Tehran, Iran.
 - 3) Assistance Prof. Water Engineering Departments Islamic Azad university, Science and research Branch, Tehran, Iran.
- * Corresponding author email: khosrojerdi@srbiau.ac.ir

Abstract:

Background and Aim: Tanks structures must maintain their applications after large earthquakes, and on the other hand, these structures must behave in a way that does not cause damage during an earthquake. Therefore, the application of the baffles is one of the suitable methods to tackle with earthquake inertial forces. The main idea in baffle systems is to reduce the frequency of the structure and bring it to a value less than the frequencies containing the dominant earthquake energy. Baffles installed inside water tanks can reduce a significant amount of earthquake acceleration in the body and crest of the tank during an earthquake.

Method: In order to investigate the effects of the vertical and horizontal plates adjusted through the reservoir tanks, the flow characteristics were simulated by employing the CFD (Ansys Fluent). Two vertical and horizontal plate were designed for this purpose. To decreasing the error of mesh sizes, the different mesh sizes with different types of the meshes were employed and the results of the simulation were compared together to find out the suitable mesh geometry. Moreover, to validate the numerical model, the height of the water waves was compared by the past literature to make sure of the suitable numerical model. Thus, by increasing the earthquake accelerin in the numerical model, the flow properties were investigated according to the different conditions of the numerical modeling.. Displacement and shear stress at the top of the tanks were measured through the numerical models due to different tests condition in controlled and uncontrolled statuses. Furthermore, the conducted acceleration through the tank liquid was measured over the time for different numerical models. Some hydraulic parameters were considered for comparison through the discussion section such as water surface elevation so these parameters were extracted from the numerical results by the software advices.

Results: The comparison between numerical results and past studies indicated that the presented numerical model has acceptable error and the elevation of the water waves through the tanks has good agreement with experimental pasts models through the literatures. Furthermore, the results of the mesh analysis showed that the error of the square mesh is approximately 11.2 percent compared to the triangular shape. As a result, the squire mesh with less sizes were considered to solve the flow's equation through the numerical model. The initial results of the vertical and horizontal baffles illustrated that presence of the baffles can significantly reduce the fluctuation of the displacement, shear stress and liquid acceleration over the time. And the agitations of tests function over the time were tended to the less values compared by the initial time. The results indicate that equipping the tanks with baffle systems has a good performance on safety and improving the dynamic behavior of the tanks and this approach has a significant effect on the displacement and acceleration responses of the studied tank. Tanks with vertical baffles will perform better due to higher energy absorption. Also, as the water depth in the reservoir increases, the amount of energy dissipation for the reservoirs were decreased.

Conclusion: The results of the numerical model calibrated with experimental data showed that the tank equipped with the vertical baffle produces more control force and damping than the horizontal baffle and has a better performance than the horizontal walls, furthermore, they reduce the pressure on the wall. Also, the results indicate that equipping the tanks with baffle systems can increase the safety through the tanks and improving the dynamic behavior of the tanks. Finally, the tanks with vertical baffles had better perform to absorption of the energy. Also, as the water depth in the reservoir increases, the amount of energy dissipation for the reservoirs were decreased. Comparison over the time among the extracted data from numerical model showed that due to passed time, the fluctuation of the investigated parameters such as displacement and shear stress of the top of the tank attained less values which can show that the controlled tank has much stability along the earthquakes.

Keywords: Tanks, Earthquake wave, Energy Deprecation, Hydro dynamic Force, Numerical model