



بررسی جابه‌جایی مخازن هوایی آب تحت اثر پدیده تلاطم با استفاده از تحلیل عددی

محمدعلی لطف‌اللهی یقین^۱، عباس ضرغامی قوریجان^{۲*}

چکیده

هنگامی که مخزنی شامل سیال مایع تحت تحریکی نظیر زلزله واقع می‌شود مایع درون آن شروع به نوسان نموده که در نتیجه آن تنش و نیرویی از طرف مایع به ظرف محتوی آن اعمال می‌گردد. این حرکت نوسانی که به اصطلاح تلاطم سیال خوانده می‌شود در اثر تغییر عوامل مؤثر در آن می‌تواند اثرات مختلفی بر سازه یا مخزن متحرک داشته باشد. با توجه به اهمیت بررسی این موضوع و از طرفی نظر به مطالعات اندک انجام یافته در زمینه مخازن هوایی، در این تحقیق، به تحلیل یک مخزن استوانه‌ای با استفاده از نرم‌افزار آباکوس پرداخته شده است. بدین منظور، در بخش اول از تحقیق، مخزن هوایی استوانه‌ای به همراه ارتفاع‌های مختلفی از آب مدل شده و به بررسی اثر تلاطم آب (شرایط غیر صلب) پرداخته شده است. در بخش دوم، با صرف نظر از اثر تلاطم آب، مخزن مورد نظر در ارتفاع‌های نظیر بخش قبل به صورت صلب مدل و آنالیز شده است. پس از هر مرحله از تحلیل، جابه‌جایی‌های سازه استخراج و بررسی شده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که در شرایط غیر صلب، با افزایش ارتفاع آب مخزن، جابه‌جایی سازه کمتر می‌شود. به عبارت دیگر سازه پایدارتر می‌شود در نتیجه بحرانی‌ترین و پایدارترین حالت پایداری سازه به ترتیب در سیال با ارتفاع $\frac{1}{5}$ ارتفاع کلو مخزن پر می‌باشد؛ اما در حالت صلب به دلیل عدم یکنواختی تغییرات این پارامتر، بحرانی‌ترین و پایدارترین حالت پایداری

در شرایط مخزن پر و ارتفاع $\frac{3}{5}$ ارتفاع کل می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: مخزن هوایی، تلاطم آب، پاسخ سازه، نرم‌افزار آباکوس

۱- استاد گروه مهندسی عمران، دانشگاه تبریز

۲- کارشناسی ارشد مهندسی عمران-سازه دانشگاه آزاد اسلامی واحد مراغه

* نویسنده مسئول: zarghami.abbas@yahoo.com

۱- مقدمه

مخازن ثابتی که تحت تحریک نوسانی قرار می‌گیرند نظیر منابع ذخیره آب از دو منظر متفاوت و در دوشاخه از علوم مطرح می‌گردد. یکی از این مباحث علم هیدرودینامیک است که به این اثر از دید هیدرودینامیکی پرداخته، تنها بحث سیال و نحوه رفتار سیالاتی آن را مطرح می‌سازد. منظر یا دیدگاه دیگر به این موضوع از طریق هیدرواستاتیست است که در آن تداخل یا تأثیر متقابل دینامیکی بین تغییر شکل‌های الاستیک مخزن و حرکت مایع درونی آن مدنظر قرار می‌گیرد. این دیدگاه از نظر ویژگی تداخل آن دارای ماهیتی پیچیده است لذا نیاز به دقت و بررسی بسیار دقیق‌تری دارد و تنها در مواردی مورد استفاده قرار می‌گیرد که به علت وجود سختی اندک یا ناچیز جداره ظرف یا سازه تشکیل‌دهنده مخزن، نتوان از فرض تداخل دینامیکی بین شکل‌های مخزن و حرکت مایع داخل آن، صرف‌نظر نموده و یا به عبارت دیگر نتوان ظرف محتوی مایع یا مخزن را صلب فرض کرد.

اکثر مخازن هوایی به‌عنوان بناهای ضروری در نظر گرفته می‌شوند بنابراین حتی بعد از زلزله‌های شدید باید کارآیی خود را حفظ کنند. در دهه‌های گذشته، خرابی‌های متعددی ناشی از زلزله برای مخازن هوایی گزارش شده است. چندین مخزن که بعضی از آن‌ها حتی برای بارهای لرزه‌ای طراحی شده بودند خسارت متوسط تا شدیدی متحمل شده‌اند و بعضی از آن‌ها کاملاً فروریخته‌اند. خرابی نوعاً به سازه‌های نگهدارنده محدود می‌شود تا به خود مخزن. چنین وقایعی منجر به گسترش مطالعه روی خصوصیات دینامیکی مخازن هوایی و پاسخ لرزه‌ای آن‌ها شده است. در واقعیت تحقیقات اندکی روی پاسخ غیر ارتجاعی لرزه‌ای چنین سازه‌هایی انجام شده است. این موضوع تا حدی مربوط به فقدان نتایج آزمایشگاهی روی چنین سازه‌هایی و تا حدی مربوط به پیچیدگی مسئله است. مشکلات موجود در تحلیل مخازن هوایی از عوامل فوق‌نشأت می‌گیرند:

(۱) اندرکنش سیال-سازه بین مایع و پوسته مخزن و بین مخزن و سازه نگهدارنده نیازمند یک تحلیل گسترده است. تعریف مدل‌ها برای جایگزینی مایع واقعی توسط یک سیستم مکانیکی با استفاده از روش‌های تحلیلی اساس انجام آنالیزهای موجود است. برای مخازن با ظرفیت بالا باید روش‌های عددی مثل روش عناصر محدود جهت مدل‌سازی اندرکنش بین مخزن انعطاف‌پذیر و مایع مورد استفاده قرار گیرد.

(۲) از آنجایی که خرابی مخازن هوایی، هنگام زلزله، مربوط به پایه‌هایی است که تغییر شکل‌های غیر ارتجاعی را تجربه کرده‌اند بنابراین پایه‌های نگهدارنده باید در حالت بعد از ارتجاعی تحلیل شوند؛ بنابراین رفتار هیستریزس اعضای بادبندی و رفتار چرخه‌ای غیر ارتجاعی تیرها و ستون‌ها بایستی مورد مطالعه قرار گیرد.

(۳) تنوع زیاد شکل‌های هندسی مخزن و پایه، تحلیل‌ها و روش‌های متفاوتی را برای هر مورد الزام می‌کند. در نتیجه تحلیل مخازن هوایی نیازمند یک سابقه قوی در چندین موضوع در تحلیل سازه‌ای و دینامیک سیالات است.

(۴) اثرات پیچشی روی چنین سازه‌هایی که در زلزله‌های گذشته مشاهده شده است نمی‌تواند مورد بررسی قرار گیرد مگر اینکه یک تحلیل سه‌بعدی به کار گرفته شود. در زمینه‌ی مخازن هوایی مطالعات کمی انجام یافته است و تحقیق در این زمینه از دهه گذشته بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. Shirimali و همکاران پاسخ لرزه‌ای مخازن هوایی فولادی را که با بالشتک‌های الاستومتری خطی ایزوله شده‌اند تحت زلزله واقعی بررسی کردند. دو نوع مخزن ایزوله در نظر گرفته شده بود که در آن‌ها بالشتک فلزی در کف و بالای پایه فولادی قرار داشت. جرم پیوسته مایع مخزن به‌عنوان جرم متمرکز در نظر گرفته شده است. بر اساس نتایج این تحقیق سیستم ایزوله برای مخزن دارای پایه با سختی بیشتر کارا تر خواهد بود (Shirimali and Jangid 2003). رحیم‌زاده و همکاران با استفاده از روش اجزاء محدود

افقی شتاب زمین باعث اعمال فشارهای هیدرودینامیکی به دیواره مخزن می‌شود. این فشار شامل فشارهای ضربه‌ای و فشارهای نوسانی می‌باشد. فشارهای ضربه‌ای در اثر ارتعاش دیوار مخزن رخ می‌دهد و پریودی برابر با پریود ارتعاش مخزن دارد؛ و فشارهای نوسانی از انتقال ارتعاشات ضربه‌ای به سیال ایجاد شده و به صورت امواج سطحی در سیال ظاهر می‌گردند. فشار هیدرودینامیکی به وجود آمده در اثر تحریکات زلزله، موجب ایجاد نیروهای برشی و لنگر خمشی و در نتیجه تنش‌های حلقوی فشاری و کششی و تنش‌های برشی قابل توجهی در پوسته مخزن می‌شود که چنانچه اطلاع کاملی از مقادیر آن‌ها در دست نباشد مخازن طراحی شده دچار تخریبات قابل توجهی می‌گردد. حصول اطمینان از عملکرد قابل قبول این سازه‌ها در زمان وقوع زلزله، به لحاظ پیچیدگی رفتاری آن‌ها نیاز به تحقیقات بیشتر را می‌طلبد.

۳- تئوری

روش‌های برخورد با مسائل اندرکنش جامد و سیال بسیار متنوع و گسترده می‌باشد که در حالت کلی می‌توان آن‌ها را به سه گروه؛ الف) روش جر مافزوده، ب) روش اوپلری- لاگرانژی، ج) روش لاگرانژی- لاگرانژی تقسیم‌بندی نمود.

در روش جرم افزوده مقداری از جرم سیال در سطح مشترک سیال و سازه به سازه اضافه شده و با این جرم افزوده، سازه آنالیز دینامیکی می‌گردد. در این روش، سازه انعطاف‌پذیر در نظر گرفته شده و در خیلی از موارد از تراکم‌پذیری و سختی سیال صرف‌نظر می‌گردد. این روش نسبتاً ساده بوده و برای سازه‌های دوبعدی و سه‌بعدی قابل استفاده می‌باشد. لیکن نتایج با درصدی از خطا همراه خواهد بود.

در روش اوپلری- لاگرانژی، هدف حل معادلات حاکم بر محیط سازه و سیال می‌باشد. معادله حاکم بر

رفتار دینامیکی مخازن هوایی بتنی با تأکید بر پاسخ لرزه‌ای آن‌ها را مورد بررسی قرار دادند. سیال درون مخزن با المان‌های سیال مبتنی بر پتانسیل نرم‌افزار ADINA مدل شده است. نتایج تحلیل‌های مدی برای مخزن با ارتفاع‌های مختلفی از سیال ارائه شد (رحیم‌زاده رفویی، سلطانی، و محمدی ۱۳۸۴). R. Livaoglu و همکاران ده سازه را با استفاده از تکنیک‌های مدل‌سازی مکانیکی و المان محدود که در آن‌ها از روش جرم افزوده برای اندک‌ش سازه-سیال استفاده شده بود برای چهار گروه بستر خاک آنالیز نمودند. بر پایه این تحقیق مدل تک جرمی نسبت به سایر مدل‌ها مقادیر برش پایه و لنگر واژگونی کمتری دارد (Livaoglu and Dogangun 2006).

در تحلیل‌های تاریخچه زمانی، تأثیر پارامترهای مختلف از قبیل محتوای فرکانسی رکورد و میزان پر و خالی بودن مخزن روی پارامترهایی مانند برش پایه، لنگر واژگونی، فشار هیدرودینامیک و ارتفاع امواج سطحی بررسی شده است. اثر خاک بر رفتار مخازن هوایی، اثر سختی و نرمی خاک روی مخازن نیمه‌پر و همچنین تأثیر رفتار غیرخطی خاک نیز تحت مطالعه قرار گرفته است.

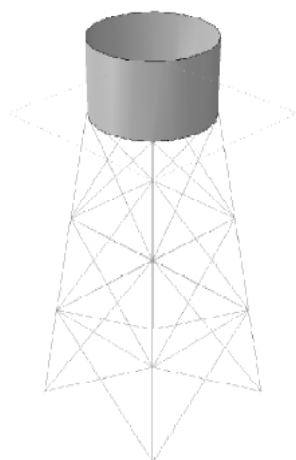
با توجه به آنچه ذکر شد در این تحقیق، به بررسی اثرات تلاطم عرضی آب در مخزنی با شکل استوانه و در حالات صلب و غیر صلب می‌باشد. در این تحقیق منظور از مدل غیر صلب، مخزنی است که رفتار آن با فرض سیال و پدیده تلاطم تحت مطالعه قرار گرفته است؛ و سازه صلب مخزنی است که به جای سیال، وزنه‌هایی در داخل مخزن مدل شده که در نتیجه آن اثر تلاطم حذف شده است.

۲- مؤلفه‌های نیروی زلزله وارد بر مخازن هوایی

به‌طور کلی هر سازه‌ای که به زمین اتکا داشته باشد حین زلزله تحت اثر شش مؤلفه حرکت زمین قرار می‌گیرد که شامل دو مؤلفه جانبی، یک مؤلفه قائم و سه مؤلفه پیچشی حول محورهای مختصات سازه می‌باشد. مؤلفه

جهت بررسی پاسخ سازه در این تحقیق، از نرم‌افزار اجزاء محدود آباکوس استفاده شده است. این نرم‌افزار یک مجموعه از برنامه‌های مدل‌سازی بسیار توانمند می‌باشد که مبتنی بر روش اجزاء محدود بوده و قابلیت حل مسائل از یک تحلیل خطی ساده تا پیچیده‌ترین مدل‌سازی غیرخطی را دارا می‌باشد. آباکوس دارای المان‌های بسیار گسترده‌ای می‌باشد که هر نوع هندسه‌ای را می‌توان به صورت مجازی توسط این المان‌ها مدل کرد.

سازه مورد مطالعه در این تحقیق، مخزن استوانه‌ای فولادی با ارتفاع ۵ متر و شعاع ۱۷۵ سانتی‌متر می‌باشد که یک‌بار در حالت طبیعی و در ارتفاع‌های مختلف و بار دیگر در حالت صلب آب مدل‌سازی می‌شود. مقطع انتخابی برای مخزن جنس Plate به ضخامت ۲ سانتی‌متر و پایه‌ها از جنس فولاد و از نوع Beam به شعاع ۷/۶۲ سانتی‌متر و به ضخامت ۱ سانتی‌متر لحاظ شده است. در شکل (۱) نمای اولیه منبع آب نشان داده شده است همچنین جدول (۱) مشخصات مخزن فلزی، بادبندها و پایه‌ها را نشان می‌دهد. در این مدل‌سازی، برای مونتاژ قطعات نوع dependent انتخاب شده است. لازم به ذکر است که برای توجیه عملکرد هیدرودینامیک آب از المان خاصی موسوم به Eos استفاده شده است که برای طراحی امواج سطحی بوده و نشان‌دهنده سرعت موج بر روی آب می‌باشد.



شکل (۱). نمای اولیه از سازه تحت مطالعه

محیط سیال با فرض سیال ایده‌آل همگن، غیر ویسکوز و غیر چرخشی به فرم معادله هلمهولتز به شکل زیر خواهد بود (نوایی نیا ۱۳۶۹).

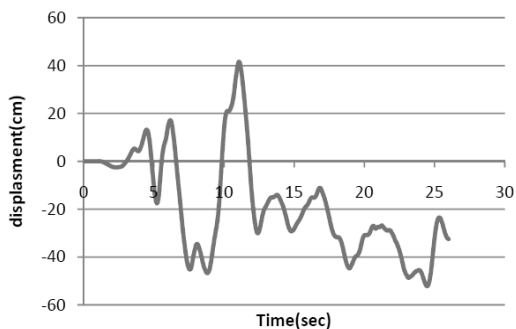
$$\nabla^2 \varphi = 1/C^2 \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2}$$

که در این رابطه φ تابع پتانسیل سرعت و یا تابع فشار و C سرعت امواج الاستیک می‌باشد. معادله فوق با فرض سیال تراکم‌ناپذیر به فرم معادله لاپلاس به شکل زیر درمی‌آید.

$$\nabla^2 \varphi = 0$$

با حل معادلات فوق، رفتار سیال بر حسب متغیر فشار و یا تابع پتانسیل سرعت برای نقاط گرهی دلخواه ولی با مختصات ثابت در طول زمان فرموله می‌گردد. حل معادلات مذکور به روش‌های مختلف تحلیلی و نیمه‌تحلیلی توسط محققین مختلف مورد بررسی قرار گرفته که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به مراجع (شکیب و حسینی ۱۳۷۵، Houser 1963) اشاره نمود. از آنجا که در روش اولیری-لاگرانژی مجهول در محیط سیال، فشار و یا تابع پتانسیل سرعت و در محیط سازه، تغییر مکان گرهی المان می‌باشد دستگاه معادلاتی تشکیل می‌گردد که غیرمتقارن بوده و حل آن پیچیدگی‌های خاص خود را دارد (احمدی و قره‌باغی ۱۳۷۲). در روش لاگرانژی-لاگرانژی برخلاف روش اولیری-لاگرانژی به بررسی سرگذشت یک ذره در طول زمان پرداخته می‌شود. در این روش مجهول در محیط سازه و سیال تغییر مکان در نقاط گرهی المان بوده و از فرمول‌بندی یکسان برای محیط سازه و سیال استفاده می‌شود. این روش در مراجع (Wilson and Khalvati 1983, Hamdi 1978) به طور کامل برای سیالات بسط داده شده است.

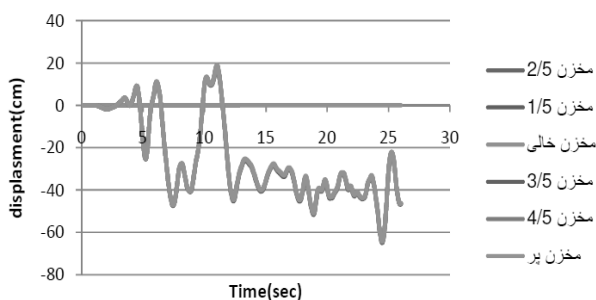
۴- مدل‌سازی سازه



شکل (۳). نمودار جابه‌جایی مخزن در حالت صلب در ارتفاع $\frac{1}{5}$ ارتفاع کل

بعد از انجام هر تحلیل توسط نرم‌افزار، حداکثر جابه‌جایی تراز مخزن استخراج و سپس این نتایج مورد بررسی قرار گرفته شد. به‌عنوان نمونه، نمودار جابه‌جایی مخزن نسبت به زمان در ارتفاع $\frac{1}{5}$ ارتفاع کل (حالت غیر صلب) و حالت صلب در اشکال (۲) و (۳) آورده شده است. با توجه به نمودارها می‌توان مشاهده کرد که در حالت غیر صلب بیشترین جابه‌جایی تراز مخزن برابر $64/8944$ سانتی‌متر و در حالت صلب $52/9424$ سانتی‌متر است که حالت صلب $18/42\%$ کمتر از حالت غیر صلب می‌باشد.

در شکل‌های (۴) و (۵) جابه‌جایی مخزن تحت تمام شرایط تحلیل آورده شده است:



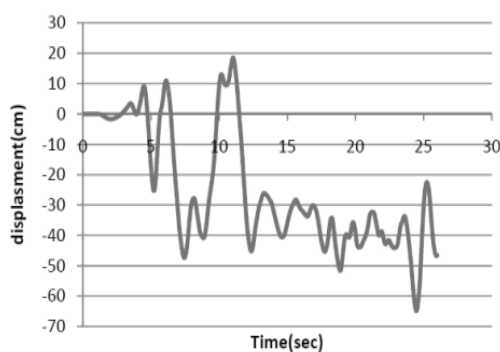
شکل (۴). نمودار جابه‌جایی مخزن در حالت غیر صلب در تمامی حالات تحلیل

جدول (۱). مشخصات مخزن فلزی و بادبندها و پایه‌ها

پارامتر	مخزن فلزی	پایه‌ها و بادبندها
مدول یانگ	2×10^6	2×10^6
تنش تسلیم	۲۴۰۰۳۶۰۰	۱۰۰۰۰۱۱۰۰۰۰
ضریب پواسون	۰/۳	۰/۳
کرنش پلاستیک	۰/۰۲	۰/۰۱

۵- نتایج و بحث

پس از مدل‌سازی مخزن هوایی در نرم‌افزار آباکوس، به تحلیل آن پرداخته می‌شود. تحلیل سازه را می‌توان در دو بخش تقسیم‌بندی کرد در بخش اول، مخزن هوایی در حالت طبیعی و در ارتفاع‌های مختلف آب که شامل: مخزن خالی، و ارتفاع‌های $\frac{1}{5}$ ، $\frac{2}{5}$ ، $\frac{3}{5}$ و $\frac{4}{5}$ ارتفاع کل آب و مخزن پر می‌باشد. در این بخش چون حالت طبیعی در نظر گرفته می‌شود بنابراین شرایط تلاطم در ارتفاع‌های ذکر شده بر پایداری سازه اثرگذار خواهد بود. در بخش دوم، به‌جای شرایط طبیعی آب از حالت صلب استفاده می‌شود به‌طوری‌که در این حالت شرایط تلاطم آب در نظر گرفته نمی‌شود و ارتفاع‌های مختلف آب به‌صورت وزنه‌هایی مدل‌سازی می‌شود.

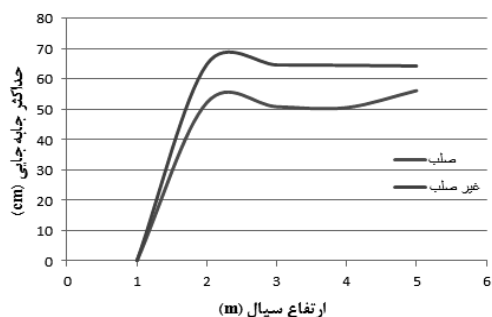


شکل (۲). نمودار جابه‌جایی مخزن در حالت غیر صلب در $\frac{1}{5}$ ارتفاع کل

به ترتیب بحرانی‌ترین و پایدارترین حالت ممکن هستند از این‌رو ضروری است که جهت عملکرد بهتر این سازه‌ها، ارتفاع سیال داخل مخزن را افزایش داد.

همچنین نمودار حالت صلب نشان می‌دهد که از ارتفاع $\frac{1}{5}$ ارتفاع کل تا ارتفاع $\frac{3}{5}$ ارتفاع کل تراز مخزن روند نزولی داشته ولی از ارتفاع $\frac{3}{5}$ ارتفاع کل به بعد مقدار جابه‌جایی حداکثر با شیب تندی تا ارتفاع $\frac{4}{5}$ ارتفاع کل افزایش یافته است و از این ارتفاع به بعد این افزایش با شیب ملایم‌تری همراه است.

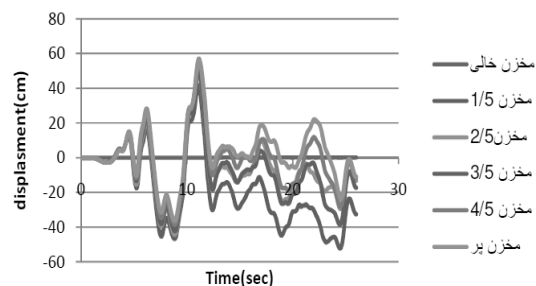
نکته دیگری که از روی نمودار شکل (۶) دریافت می‌شود اثر تلاطم عرضی آب در افزایش جابه‌جایی نیاز است چراکه مقادیر این پارامتر در حالت غیر صلب همواره بیشتر از حالت صلب بوده و تفاوت محسوسی دارد حتی کمترین مقدار این پارامتر در حالت غیر صلب از بیشترین مقدار حالت صلب $۱۲/۳۰$ بیشتر است.



شکل (۶). مقایسه حداکثر جابه‌جایی مخزن در تمامی شرایط تحلیل برای حالات صلب و غیر صلب

۶- نتیجه‌گیری

در این تحقیق، یک مخزن هوایی با استفاده از نرم‌افزار آباکوس در دو حالت تحت تحلیل قرار گرفت. در حالت اول، مخزن در شرایط طبیعی و در ارتفاع‌های مختلفی از آب (غیر صلب) مدل‌سازی گردید. در حالت دوم از اثر تلاطم آب صرف‌نظر شد و ارتفاع‌های مختلف آب به‌صورت وزنه‌هایی مدل‌سازی شد. در کل شش تحلیل برای شرایط غیر صلب و شش تحلیل برای



شکل (۵). نمودار جابه‌جایی مخزن در حالت صلب در تمامی حالات تحلیل

همان‌طور که گفته شد پس از پایان هر مرحله از آنالیز مقدار حداکثر جابه‌جایی مخزن استخراج شد که در جدول (۲) این مقادیر آورده شده است.

جدول (۲). حداکثر جابه‌جایی مخزن در کلیه شرایط تحلیل برای حالات صلب و غیر صلب

شرایط مخزن	غیر صلب (cm)	صلب (cm)
مخزن خالی	۰/۱۱۱	۰/۱۱۱
$\frac{1}{5}$ ارتفاع کل	۶۴/۸۹۴۴	۵۲/۲۴۹۴
$\frac{2}{5}$ ارتفاع کل	۶۴/۶۷۴۳	۵۰/۸۹۰۷
$\frac{3}{5}$ ارتفاع کل	۶۴/۵۴۳	۵۰/۵۹۲۴
$\frac{4}{5}$ ارتفاع کل	۶۴/۳۲۱۱	۵۶/۲۰۱۴
مخزن پر	۶۴/۲۰۲۳	۵۷/۱۷۱۲

جهت داشتن دیدی بهتر از روند تغییرات جابه‌جایی می‌توان از نمودار نشان داده‌شده در شکل (۶) استفاده کرد. با توجه به نمودار مربوط به حالت غیر صلب می‌توان مشاهده کرد که در ارتفاع $\frac{1}{5}$ ارتفاع کل بیشینه مقدار تغییر مکان جانبی ثبت شده است و از این ارتفاع به بعد با افزایش ارتفاع آب، جابه‌جایی تراز مخزن روند نزولی دارد. به عبارت دیگر با ازدیاد سیال داخل مخزن، پاسخ نیاز سازه کمتر شده و سازه پایدارتر می‌شود لذا می‌توان نتیجه گرفت ارتفاع $\frac{1}{5}$ ارتفاع کل و مخزن پر

۷- منابع

- شرایط صلب انجام شد که پس از هر تحلیل مقدار جابه‌جایی حداکثر تراز مخزن استخراج گردید که با بررسی این مقادیر نتایج زیر حاصل شد:
- ۱- با بررسی نمودارهای جابه‌جایی تراز مخزن در ارتفاع‌های مختلف غیر صلب نتیجه می‌شود که بیشترین جابه‌جایی مخزن در ارتفاع $\frac{1}{5}$ ارتفاع کل و برابر با $64/8944$ سانتی‌متر است که در لحظه $24/48$ ثانیه ثبت شده است. با افزایش ارتفاع آب در داخل مخزن به دلیل کاهش اثر تلاطم عرضی سیال، جابه‌جایی تراز مخزن رفته‌رفته کاهش پیدا می‌کند و سازه پایدارتر می‌شود. به عبارت دیگر افزایش سیال، از پاسخ نیاز سازه می‌کاهد و موجب عملکرد بهتر سازه می‌شود.
- ۲- با توجه به نمودارهای تراز مخزن در حالت صلب استنباط کی شود که بیشترین جابه‌جایی در حالت مخزن پر و به میزان $57/1712$ سانتی‌متر و در لحظه $11/12$ ثانیه می‌باشد و با کاهش ارتفاع تا $\frac{3}{5}$ ارتفاع کل میزان جابه‌جایی تراز مخزن کاهش می‌یابد و از این ارتفاع تا $\frac{1}{5}$ ارتفاع کل آب جابه‌جایی تراز مخزن افزایش می‌یابد ولی این افزایش جابه‌جایی به مراتب کمتر از حالت مخزن پر بوده و به میزان $52/2496$ سانتی‌متر است.
- ۳- با توجه به اینکه در شرایط غیر صلب، با افزایش ارتفاع سیال مقدار تغییر مکان جانبی نیاز کاهش می‌یابد می‌توان نتیجه گرفت که جهت عملکرد بهتر این نوع سازه‌ها و کمینه کردن مقادیر پاسخ نیاز سازه، ارتفاع آب داخل مخزن تا حد امکان بیشتر باشد.
- ۴- مقدار حداقل تغییر مکان در حالت غیر صلب و بیشینه مقدار این پارامتر هر دو در حالت مخزن پر روی داده است ولی با این وجود مقدار این پارامتر در شرایط غیر صلب $12/30\%$ از حالت صلب بیشتر است که این نشان‌دهنده تأثیرات زیاد تلاطم عرضی آب در رفتار مخزن می‌باشد.
- ۵- مقادیر حداکثر و حداقل تغییر مکان جانبی نیاز در حالت غیر صلب به ترتیب $1/14$ و $1/23$ مقادیر نظیر شرایط صلب می‌باشد.
- احمدی، محمدتقی، و بهرام قره‌باغی. ۱۳۷۲. تحلیل اندرکنش دینامیکی سد و مخزن به روش اویلر-لاگرانژ. موسسه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله ۳: ۷۲-۹۳.
- رحیم‌زاده رفویی، فیاض، و حمید سلطانی محمدی. ۱۳۸۴. بررسی رفتار لرزه‌ای مخازن هوایی بتنی، دومین کنفرانس بین‌المللی بتن و توسعه، ایران، تهران.
- شکیب، حمزه، و مازیار حسینی. ۱۳۷۵. تحلیل و بررسی رفتار مخازن هوایی آب تحت تأثیر نیروی زلزله لرزه‌ای. موسسه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله ۹۶: ۷۵-۱۱.
- نوایی‌نیا، بهرام. ۱۳۶۹. تحلیل هیدرودینامیکی سد و مخزن به روش لاگرانژی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
- Houser, George. W. 1963. the dynamic behaviour of water tanks . Bulletin of Seismological Society of America. 53: pp. 381-387.
- Hamdi, Mohamed Ali. 1978. A displacement method for the analysis of vibrations of coupled fluid-structure systems. International Journal for Numerical Methods in Engineering 13(1):139-150.
- Livaolgu, Ramazan., AdemDogangun. 2006. simplified seismic analysis procedure s for elevated tanks considering fluid-structure-soil interaction. Journal of fluid structure 22: 412-439.
- Shirimali, M.K., Jangid R.S. 2003. Earthquake response of isolated elevated liquid storage tanks. Journal of construction steel research 59 :1267-1288.
- Wilson, Edward.L., and Mehdi Khalvati. 1983. Finite elements for dynamic analysis of fluid-structures systems. Int.53: 381-387.

The Study On Displacement Of Elevated Water Tanks under The Effect Sloshing Phenomenon Using Numerical Analysis

Mohammad Ali Lotfollahi Yaghin¹, Abbas Zarghami Qurijan^{2,*}

Abstract

When a tank with fluid is placed under excitation like earthquake the fluid to oscillate and then effect of this oscillatory motion, tension force is applied to the liquid container. This oscillatory motion, so-called fluid turbulence, can have various effects on mobile tank or structure as a result of changing in factors.

This research focuses on analysis of transverse turbulence of water in the airy tanks at different heights of water during the earthquake occurrence, and also compares these states with ABAQUA software when the water is modeled as a rigid body. In this study, after doing analysis displacement of structure was extracted. According of results of this research, when the tank is full, it has the lowest displacement and it

has also maximum displacement when the tank becomes at a rate of $\frac{1}{5}$ total height of the tank. In conclusion, the most critical state for structure is when the water is the lowest.

Keywords: *Elevated tank, Sloshing, Response of Structure, ABAQUS Software*

1- Professor, Department of Civil Engineering, Tabriz University

2- Msc, Civil Engineering, Structures, Islamic Azad University, Maraghe Branch

* Corresponding Author: zarghami.abbas@yahoo.com