



Research Article

Providing suggest relation for optimizing base shear in fluid storage tanks using proposed Hs functions.

Mehran Iranpour Mobareke ^{1*}, Hamidreza Mirzakhani ², Seyed Abolghasem Shaddel ³

1*-Assistant Professor, Civil Engineering, Islamic Azad Branch of Lenjan, Esfahan, Iran

2- MSC Student, Civil Engineering, Islamic Azad Branch of Lenjan, Esfahan, Iran

3-MSC Student, Civil Engineering, Hakim Sabzewari University

Received: 07 March 2025; Revised: 14 April 2025; Accepted: 15 April 2025; Published: 22 May 2025

Abstract

Today, the use of ground concrete tanks for storage various type of fluids has become increasingly developed . Since these tanks are susceptible to environmental damage such as corrosion and contamination, the design of these tanks must be continuous and uninterrupted operation during and after an earthquake. They also prevent water contamination during possible accidents. Factors affecting the design of tanks include efficiency, durability, safety, cost, and passive defense factors. The first step in designing a tank with a specific volume is to determine the dimensions, which in Publication 123 recommends a length-to-width ratio of 3 to 2 for rectangular concrete tanks with a fixed and specific volume, in the absence of other technical limitations. With the recommended ratio and fixed volume, there are many choices for height. Now the main question is which height for fixed volume should be considered in the design so that the lowest base shear coefficient is obtained in addition to observing the factors affecting the design. The answer to this question is the main topic of this article. For this purpose, a base height function called the Hs function is proposed. The proposed function is a criterion for the range of suitable geometric dimensional ratios. It limits the number of height ratio choices. Therefore, by performing fewer calculations, the base shear coefficient can be evaluated and its optimal value applied in the design.

Keywords: Base shear coefficient, lateral force, base shear, geometric dimensions, Hs Function

Cite this article as: Iran pour mobarakeh, M., MIRZAKHANI, H. and Shaddel, S. A. (2025). Providing suggest relation for optimizing base shear in fluid storage tanks using proposed Hs functions. Civil and Project, 7(3), -. <https://doi.org/10.22034/cpj.2025.511069.1351>

ISSN: 2676-511X / **Copyright:** © 2025 by the authors.

Open Access: This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Journal's Note: CPJ remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



نشریه عمران و پروژه

<http://www.cpjournals.com/>

ارائه روابط پیشنهادی بهینه سازی برش پایه در مخازن ذخیره سیالات با استفاده از توابع پیشنهادی H_s

مهران ایران پور مبارکه^{۱*}، حمید رضا میرزاخانی^۲، سید ابوالقاسم شاددل^۳

- ۱- استاد یار، گروه مهندسی عمران واحد لنجان، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران
- ۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران واحد لنجان، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران
- ۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی عمران - سازه، دانشگاه حکیم سبزواری

تاریخ دریافت: ۱۷ اسفند ۱۴۰۳؛ تاریخ بازنگری: ۲۵ فروردین ۱۴۰۴؛ تاریخ پذیرش: ۲۶ فروردین ۱۴۰۴؛ تاریخ انتشار آنلاین: ۰۱ خرداد ۱۴۰۴

چکیده

امروزه استفاده از مخازن بتنی زمینی برای ذخیره سازی انواع سیالات، توسعه روزافزونی یافته است. از آنجا که این مخازن مستعد قرارگیری با آسیب‌های محیطی نظیر خوردگی و آلودگی می‌باشند طراحی این مخازن باید به گونه‌ای باشند تا موقع حوادث احتمالی، علاوه بر عملکرد مداوم و بدون وقفه هنگام و پس از زلزله از آلودگی آب نیز جلوگیری نمایند. فاکتورهای تاثیرگذار بر طراحی مخازن شامل کارایی، دوام، ایمنی، هزینه و فاکتور پدافند غیر عامل می‌باشند اولین گام برای طراحی مخزن با حجم مشخص تعیین ابعاد می‌باشد که در نشریه ۲۳ برای مخازن بتنی مکعب مستطیلی با حجم ثابت و مشخص در صورت نداشتن محدودیت‌های فنی دیگری نسبت طول به عرض ۳ به ۲ توصیه شده است. با نسبت توصیه شده و حجم ثابت انتخاب‌های زیادی برای ارتفاع وجود دارد. حال سوال اصلی این است که کدام ارتفاع برای حجم ثابت در طراحی لحاظ شود تا علاوه بر رعایت فاکتورهای موثر بر طراحی کمترین ضریب برش پایه بدست آید پاسخ به این سوال موضوع اصلی این مقاله است. برای این منظور یک تابع ارتفاع مبنا با عنوان تابع H_s پیشنهاد می‌گردد. تابع پیشنهادی معیاری برای محدوده نسبت‌های هندسی مناسب می‌باشد. و باعث می‌شود تعداد انتخاب نسبت‌های ارتفاعی محدود شود لذا با انجام محاسبات کم‌تری می‌توان ضریب برش پایه را ارزیابی و مقدار بهینه آن را در طراحی اعمال نمود.

واژگان کلیدی: ضریب برش پایه، نیروی جانبی، برش پایه، ابعاد هندس - تابع H_s

۱- مقدمه

چنانچه محاسبات طراحی مخازن ذخیره سیال بتنی به درستی انجام نگردد، علاوه بر اتلاف منابع مالی، خطرات زیست محیطی و آلودگی در اثر نشت سیال‌های خطرناک را نیز به همراه خواهد داشت. جهت کاهش موارد مطرح شده استفاده از آیین نامه‌ها و نشریه‌های تدوین شده الزامی می‌باشند و استفاده از آیین نامه‌های مربوطه با به کارگیری دانش فنی گزینه مناسب برای ارائه یک طرح مناسب می‌باشد. در حالت کلی می‌توان برای بررسی رفتار مخازن ذخیره سیالات از روش تحلیلی، عددی، مدل‌سازی نرم افزاری و نتایج آزمایشگاهی استفاده نمود. استفاده از روش تحلیلی بخاطر دقت بالا، در دسترس پذیر بودن و هزینه کم یکی از راهکارهای مورد استفاده در فرایند طراحی می‌باشد. در تحلیل مخازن با فرض رفتار صلب دیوار مخازن و تئوری موج خطی، رفتار مخازن تحت تحریکات افقی مورد مطالعه قرار می‌گیرد. در این مدل سیال درون مخزن به دو بخش جرم موج و جرم سخت تقسیم بندی می‌شود. جرم سخت که در قسمت تحتانی سیال و در تماس با کف مخزن فرض شده، به صورت سخت به مخزن متصل است و با آن حرکت می‌کند. جرم موج در قسمت بالایی سیال و نزدیک به سقف مخزن فرض شده که نماینده نوسانات سطحی سیال است. نوسانات سطحی سیال، به عنوان مولفه موج شناخته می‌شود و می‌تواند نقش موثری در افزایش برش پایه و ایجاد جابجایی نسبی در دیوار مخازن داشته باشد. یک روش تحلیل، استفاده از روش استاتیکی معادل است در این روش ضریب برش پایه محاسبه می‌شود و بر اساس آن طراحی مخزن انجام می‌شود. این ضریب وابسته به چهار پارامتر تحت عنوان شتاب مبنای طرح، ضریب اهمیت، ضریب بازتاب و ضریب رفتار می‌باشد که ضریب برش پایه به صورت معکوس به ضریب رفتار و بصورت مستقیم به سه ضریب دیگر وابسته است. در این بین تنها ضریبی که انتخابی نیست ضریب بازتاب است که این ضریب نیز متأثر از دوره تناوب می‌باشد. دوره تناوب نیز تابعی از نسبت ابعادی مخزن می‌باشد. با اینکه ابعاد هندسی مخازن نیز تابعی از حجم می‌باشند ولی نسبت های ابعاد هندسی برای یک حجم معین محدودیتی از لحاظ تئوری ندارند. و فقط در نشریه ۱۲۳ در صورت عدم محدودیت‌های دیگر، برای مخازن مکعب مستطیلی نسبت طول به عرض ۳ به ۲ جهت اقتصادی بودن طرح توصیه شده است. با این قید و با حجم ثابت، سناریوهای مختلفی برای انتخاب ارتفاع وجود دارد که علاوه بر رعایت قید توصیه‌ای نشریه، حجم خواسته شده را نیز نتیجه می‌دهد. در واقع نسبت های طول به عرض ۳ به ۲ زیادی، با ارتفاع متناظر می‌توان پیدا نمود تا حجم معین خواسته شده حاصل گردد. حال سوال این است که از بین این ترکیبات نسبتی هندسی کدام یک با فرض یکسان بودن تمام شرایط دیگر، منجر به کمترین ضریب برش پایه می‌گردد پاسخ این سوال هدف اصلی این پژوهش می‌باشد برای این منظور با استفاده از نسبت های توصیه‌ای نشریه ۱۲۳ و با حجم مشخص مخزن، ابتدا یک ارتفاع مبنای یا ارتفاع معیار توسط تابع پیشنهادی که در ادامه بصورت کامل توضیح داده می‌شود بدست می‌آید. و سپس محاسبات با استفاده از روابط موجود و به صورت تحلیلی، برای بدست آوردن ضریب برش پایه انجام می‌شود با مقایسه نتایج، حالتی که کمترین مقدار نیروی جانبی را در نتیجه حداقل ضریب برش پایه نتیجه بدهد انتخاب می‌گردد و این انتخاب بعنوان نتیجه فاز صفر در ادامه مسیر فازهای بعدی طراحی استفاده می‌گردد.

۲- مبانی مقاله

بررسی سابقه تاریخی موضوعات مرتبط با مخازن ذخیره سیالات بخاطر تمایز رفتار این گونه سازه ها با سازه های ساختمانی و پل ها از لحاظ زمانی و مکانی از درجه اهمیت بالایی برخوردار می باشد. از موارد تمایز این نوع سازه ها که توسط محققین مطرح شده می توان به موضوعاتی از قبیل فشار هیدرودینامیکی در بارگذاری لرزه ای در طراحی تعدادی از سد های بلند، تحلیل مخازن تحت تحریک ناشی از اثرات زلزله افقی روی رفتار دینامیکی مخازن آب و بدست آوردن پاسخ سیال در مخازن اشاره نمود. برای تحلیل این تفاوتها، ابتدا مدل های مکانیکی دو جرمی معادل بر مبنای سیستم جرم متمرکز و فنر به طوری که بتواند اثرات ناشی از فشار هیدرودینامیکی مایع ذخیره شده را شبیه سازی کند ارائه شدند. و با انجام برخی اصلاحات و در نظر گرفتن پارامترهای مؤثرتری بصورت فراگیر در بسیاری از آیین نامه ها و استانداردهای دنیا مورد استفاده قرار گرفتند. اما در سال ۱۹۶۴ زمین لرزه شدید آلاسکا باعث خسارات فراوان به مخازن گردید و نیاز به بررسی بیشتر در مورد نحوه رفتار مخازن ذخیره سیال تحت اثر زلزله احساس شد. ادوارد (۱۹۶۹) به عنوان اولین محقق اثر انعطاف پذیری دیواره مخزن در ایجاد نیروی هیدرودینامیک به دلیل حرکت افقی زمین ناشی از زلزله را در تحقیق خود لحاظ کرد. ولتسوس (۱۹۷۴) برای تخمین نیروی هیدرودینامیک وارد بر مخزن استوانه ای فولادی انعطاف پذیر پر، رفتار مخزن را به صورت یک سیستم یک درجه آزاد در نظر گرفت. همچنین فرض نمود مقطع مخزن در خلال ارتعاش دایروی باقی می ماند. او با این فرضیات توانست توزیع فشار هیدرودینامیک، برش پایه و لنگر واژگونی متناظر با مودهای ارتعاشی مفروض را بدست آورد. در انتها به این نتیجه رسید که اثر زلزله بر روی مخازن انعطاف پذیر به صورت قابل ملاحظه ای بزرگتر از مقدار وارد شده به مخازن صلب می باشد. ولتسوس و یانگ (۱۹۷۷) فرمول ساده شده ای برای بدست آوردن فرکانس طبیعی بنیادی پوسته مخزن استوانه ای فولادی پر از سیال، بدون سازه سقف با استفاده از روش رایلی ریتز ارائه کردند که بزرگی فشار به مقدار زیادی به انعطاف پذیری دیواره مخزن بستگی داشت. هارون (۱۹۸۰) رفتار دینامیکی مخازن استوانه ای فولادی را با استفاده از روش المان محدود مورد بررسی قرارداد. او در مطالعه خود اثر چندین پارامتر را مثل اثر تنش های حلقوی اولیه ناشی از فشار هیدروستاتیک سیال، اثر کوپل کردن ارتعاش پوسته مخزن و تلاطم سیال و اثر انعطاف پذیری خاک را در نظر گرفت. هارون و هاوژنر (۱۹۸۱) با افزودن یک جرم و فنر به مدل های و سنر در مخازن استوانه ای فولادی، این مدل را برای دیواره انعطاف پذیر اصلاح کردند. بعلاوه هارون (۱۹۸۳) یک سری آزمایش روی سه نمونه مخزن استوانه ای ذخیره مایع با مقیاس کامل انجام داد تا فرکانس های طبیعی و شکل مودهای ارتعاش آنها را تعیین کند. این تحقیق به طور قابل توجهی برداشت محققین را از پاسخ دینامیکی مخازن ذخیره مایع بهبود بخشید و برای مهندسان ابزاری با سادگی و دقت کافی جهت برآورد این پاسخ ها فراهم آورد. تسکو و همکاران (۱۹۸۷) با استفاده از یک روش تحلیلی که فرکانس های اصلی پوسته انعطاف پذیر همراه با توده سیال صلب را به دقت پیش بینی می کند را ارائه کردند. این روش قابل کاربرد برای مخازن با نسبت ارتفاع به قطر ۱ و تا حدی پر، استفاده می شود. ولتسوس و یانگ (۱۹۹۲) رفتار دینامیکی پی های انعطاف پذیر مخازن ذخیره آب و اثر بلند شدگی آن را بررسی کردند. همدان (۲۰۰۰) در مقاله ای تحت عنوان رفتار لرزه ای مخازن ذخیره فولادی استوانه ای، به بررسی رفتار و دستورات عمل طراحی مخازن ذخیره استوانه ای فولادی که در معرض حرکت زمین قرار داشتن، پرداخت. او در این تحقیق به این نتیجه رسید که در موارد بسیاری، تفاوت در آیین نامه وجود دارد. در ادامه پژوهش ها، روش هایی برای محاسبه فرکانس های طبیعی و شکل مودهای ارتعاش آنها معرفی شدند و نتایج آنها در نشریات طراحی مخازن گنجانده شده اند. که در ایران نیز، نشریه ۱۲۳ تحت عنوان ضوابط و معیارهای طرح و محاسبه مخازن آب زمینی منتشر شد. در این نشریه مخازن بتنی بر حسب وضعیت استقرار در ارتفاع به دو دسته مخازن هوایی و زمینی طبقه بندی می شوند. این نشریات الگوهایی را برای تحلیل سیستماتیک ارائه داده اند و با مبنا قرار دادن آنها، محققین به بررسی رفتار این مخازن با تغییر پارامترهای موثر بر طراحی پرداختند. محمود حسینی و مهدی مهاجر (۲۰۰۰) به بررسی اثرات هندسه پی بر روی زمان تناوب مخازن ذخیره آب پرداختند و نتیجه گرفتن که دوره تناوب طبیعی سیستم به شدت وابسته به هندسه پی می باشد و هر گونه کاهش ابعاد پلان پی باعث افزایش دوره تناوب می شود و این امر در مورد مخازن استوانه ای با شدت بیشتری وابسته می باشد. کلانی و همکاران (۲۰۱۰) با

استفاده از تحلیل استاتیکی غیرخطی به بررسی رفتار مخازن بتنی پرداختند و به منظور ساده سازی در تحلیل از مدل سازی از اثرات اندرکنش سازه و سیال صرف نظر و اثر سیال را به صورت فشار هیدرواستاتیکی در نظر گرفتند و با تغییر پارامترهای هندسی و مشخصات مصالح به محاسبه ضریب رفتار مخازن پرداختند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که ضریب رفتار ناشی از شکل پذیری برای مخازن بتنی مدفون را می‌توان حدود ۳ در نظر گرفت. همچنین با توزیع دقیق جرم مایع مخزن بر روی دیواره‌ها بر اساس توابع فشار و مقایسه پاسخ آن با نتایج جرم افزوده متمرکز به اتفاق نظر رسیدند که برش پایه در روش پیشنهادی نسبت به روش آیین نامه‌ای کاهش می‌یابد بر اساس مطالعات انجام شده نشان داده شد که قسمتی از جرم مایع ذخیره شده هماهنگ با دیواره‌های صلب مخزن حرکت می‌کند در حالی که قسمتی دیگر از آن با زمان تناوبی به مراتب بزرگتر در قسمت بالای مخزن ارتعاش می‌کند. حاتمی برق و امید تبریزی (۲۰۲۱) پاسخ لرزه ای مخازن مستطیلی و استوانه ای بتنی تحت زلزله های حوزه نزدیک و دور بررسی کردند. ابعاد مخازن به گونه ای انتخاب شد که در ارتفاع مشخصی از سیال ذخیره شده، حجم سیال در دو مخزن تقریباً با یکدیگر برابر باشد. نتایج به دست آمده از این مطالعه نشان داد که شکل هندسی مخازن می‌تواند اثر قابل توجهی بر پاسخ آن داشته باشد و اختلاف پاسخ لرزه ای مخازن با دو شکل مستطیلی و استوانه ای بیشتر در پاسخ های قسمت سخت دیده می‌شود. این پاسخ ها در مخزن استوانه ای کمتر از مخزن مستطیلی و تابع مشخصات بار وارد بر آن است. محل ساخت مخزن از جهت نزدیکی به گسل می‌تواند در پاسخ بخش موج آن موثر باشد به طوریکه بیش از دو برابر پاسخ های این بخش را افزایش می‌دهد. محمدی و همکاران (۲۰۲۲) به بررسی نظری، عددی و آزمایشگاهی فرکانس‌ها و میرایی تلاطم در مخازن استوانه‌ای دارای جدا سازهای حلقوی و قطاعی پرداختند. و با مقایسه نتایج تجربی تلاطم غیرخطی و نتایج نظری مانند روابط کاهش لگاریتمی برای شناسایی میرایی غیرخطی جدا سازها معیاری برای معادل سازی میرایی جدا سازها بدست آوردند که با استفاده از این معیار می‌توان میرایی الزام شده را تامین نمود. امید نصب (۲۰۲۳) آیین نامه ۲۸۰۰ را مورد بررسی قرار داده است و نتیجه گرفت که هر ویرایش آن ضریب رفتار متفاوتی را برای مخازن ارائه نموده است و در ویرایش آخر دو ضریب رفتار گنجانده شده است، که این دو مقدار وابسته به نوع مخازن به لحاظ مدفون و غیر مدفون بودن آنها می‌باشد و در نتیجه ضریب برش پایه نیز متفاوت می‌شود. مالیکا و همکاران (۲۰۱۶) عملکرد لرزه ای مخازن آب با تغییر ارتفاع نصب مخازن را بررسی کردند و نتیجه گرفتند که تغییرات یک متری در ارتفاع نصب باعث تغییر قابل ملاحظه ای در پاسخ لرزه ای نمی‌گردد و ضریب برش پایه مخزن برای حالت نیمه پر بیشتر از حالت مخزن پر از آب می‌باشد. فایده و همکاران^۱ (۲۰۲۲) به ارزیابی ضریب رفتار کاهش پاسخ برای مخازن بتن مسلح پرداختند و نتیجه گرفتند که ضریب رفتار کاهش پاسخ به جرم آب، پیکر بندی مخازن، منطقه لرزه خیزی وابسته می‌باشد و افزایش ارتفاع نصب برای مخازن هوایی باعث کاهش ضریب رفتار می‌شود. آویناش و همکاران^۲ (۲۰۲۳) ضمن بررسی تاریخچه مخازن، بیشتر بر روی نقش و انواع جدا سازهای پایه و اثر آنها روی ضریب برش پایه مطالعاتی را انجام دادند و نشان دادند که جدا سازهای پایه باعث کاهش ضریب برش پایه، و کاهش تغییر جایابی می‌شوند. در مقالاتی که به بررسی برش پایه به شیوه‌ای غیر از آیین نامه‌ها پرداخته‌اند معمولاً محافظه کار بودن آیین نامه را نتیجه‌گیری کرده‌اند هر چند از حیث بهره برداری این نتیجه گیری مناسب است ولی به لحاظ اقتصادی به صرفه نمی‌باشد. با توجه به اهمیت موضوع، این تحقیق به بررسی سیستماتیک نسبت ابعادی هندسی مخازن بتنی مدفون می‌پردازد. برای بررسی سیستماتیک تمام عوامل موثر بر ضریب برش پایه ثابت در نظر گرفته می‌شود و فقط اثر ابعاد هندسی در یک حجم معلوم و ثابت مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این بررسی ابتدا ارتفاع مبنا بر اساس حجم مورد تقاضا و بر اساس تابع H_s پیشنهادی بدست می‌آید و سپس نسبت ابعادی عرض مخزن به ارتفاع مبنا، و نسبت ابعادی عرض به ارتفاع های کمتر و بیشتر از ارتفاع مبنا بدست می‌آیند و با انجام محاسبات ضرایب برش پایه در حجم ثابت و نسبت های ابعادی عرض به ارتفاع مختلف بدست می‌آیند. این موضوع باعث کاهش استفاده مصالح مورد استفاده در سطوح دیوارها بخاطر حداقل شدن سطوح و همچنین انتخاب ارتفاع بهینه می‌گردد.

¹ Fayed et al

² Avinash et al

³ H_s Function

۳- روش تحقیق

در این بخش روش طراحی مخزن بتنی مدفون ذخیره سیالات مورد بررسی قرار می‌گیرد. با توجه به بند نشریه ۱۲۳ در خصوص انتخاب ابعاد مخازن در پلان، توصیه شده است نسبت طول به عرض ۳ به ۲ در صورت عدم محدودیت های دیگری انتخاب شود. برای ارتفاع مخازن، فاکتور های ترجیح بتن ریزی یکپارچه، سهولت اجرا نیز دارای اهمیت می باشند. با این حال محدودیتی بعنوان یک ارتفاع مبنا یا معیار قید نشده است. برای مشخص شدن موضوع فرض می شود حجم مورد تقاضا ۴۸ متر مکعب می باشد. و هیچ گونه محدودیتی برای بدست آوردن این حجم وجود نداشته باشد. طراح می تواند با طول ۸ متر، عرض ۵/۳۳ متر و ارتفاع ۱ متر، طول ۶ متر، عرض ۴ متر و ارتفاع ۲ متر و انتخاب های زیاد دیگری حجم مورد تقاضا را ساخت می باشد. حال سوال اینست که کدام یک از انتخاب های ممکن که حجم خواسته شده را ایجاد می کند و در ضمن ضریب برش پایه و نیروی جانبی کمتری را نیز نتیجه می دهد. برای پاسخ به این پرسش ابتدا بر اساس تابع H_s پیشنهادی $H_s = \sqrt[3]{\frac{V}{6}}$ (نگارندگان ۲۰۲۵) و با استفاده از حجم مورد تقاضا یک ارتفاع مبنا محاسبه می شود با بدست آوردن ارتفاع مبنا انتخاب های ارتفاع مبنا به قسمی محدود شده که نتیجه آن با مقایسه دو حالت کمتر و بیشتر از ارتفاع معیار می توان ضریب برش پایه بهینه را بدست آورد که باعث کاهش و صرفه جویی در مصالح مورد استفاده نیز می گردد. برای بدست آوردن مقادیر عددی جهت مقایسه نتایج، حجم مخزن مورد تقاضا ۴۸ متر مکعب در نظر گرفته می شود قابل ذکر است که عدد ۴۸ به هیچ وجه از کلیت مسئله نمی کاهد و برای تمام مخازن با حجم های مورد تقاضا که مسائل پدافند غیر عامل و سایر محدودیت های دیگر آنها رعایت شده باشد صادق است. همچنین برای مقایسه عددی نتایج، فرض می شود محل قرار گیری مخزن مورد تقاضا در منطقه ای است که خاک آن نوع ۳ و خطر زلزله خیزی آن زیاد می باشد. محاسبات برای یک ارتفاع که در اینجا ۱ متر در نظر گرفته شده است و کمتر از ارتفاع مبنای ۲ متر می باشد، با تشریح جزئیات انجام شده است و برای دو مورد دیگر از نمودارهای شکل ۱ و ۲ که بر مبنای روابط مورد استفاده از نشریه ۱۲۳ ترسیم شده اند استفاده می شوند. خلاصه نتایج آنها جهت مقایسه در جدول ۱ ارائه می گردد. محاسبات تحلیلی بر اساس روابط ۱ تا ۳۴ در ادامه آورده می شوند. نسبت جرم موج و جرم سخت به وزن کل آب به ترتیب در رابطه ۱ و ۲ آورده شده اند. نسبت ارتفاع بخش موج به ارتفاع کل در رابطه ۳ تعریف شده است. فرکانس و دوره تناوب بخش موج به ترتیب از رابطه ۴ و ۵ محاسبه می شوند. از رابطه پیشنهادی ۶، جهت تعیین ارتفاع مبنا و با ارتفاع معیار بعنوان مهمترین تابع پیشنهادی قابل کاربرد در حدس معیار ارتفاع استفاده می شود که باعث انتخاب مناسب ارتفاع مخزن می گردد که محور اصلی این پژوهش معرفی این تابع می باشد. از رابطه ۷ و ۸ به ترتیب برای محدودیت ابعاد طول و عرض توصیه شده در نشریه ۱۲۳ و حجم مخزن استفاده می گردد. در روابط زیر L طول و H ارتفاع است.

$$\frac{W_i}{W_w} = \frac{\tanh\left(0.866 \frac{L}{H}\right)}{0.866 \frac{L}{H}} \quad (1)$$

$$\frac{W_c}{W_w} = 0.264 \frac{L}{H} \tanh\left(3.16 \frac{H}{L}\right) \quad (2)$$

$$\frac{h_c}{h} = 1 - \frac{\cosh\left(3.16 \frac{H}{L}\right) - 1}{3.16 \frac{H}{L} \sinh\left(3.16 \frac{H}{L}\right)} \quad (3)$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{3.16g \tanh\left(3.16 \frac{H}{L}\right)}{L}} \quad (۴)$$

$$T_c = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (۵)$$

$$V = xyz$$

$$H_s = \sqrt[3]{\frac{V}{6}} \quad (۶)$$

$$2x = 3y \quad (۷)$$

$$W_{LL} = V\gamma_w = 48 \times 1000 = 48000kg \quad (۸) \text{ وزن بار زنده (آب)}$$

$$W_{DL} = V\gamma_{concrete} = \left\{ \begin{array}{l} 2(6\sqrt{2} \times 1 \times 0.3)2400 + \\ 2(4\sqrt{2} \times 1 \times 0.3) + \\ 2(6\sqrt{2} \times 4\sqrt{2} \times 0.2) \\ (= 18.08 \times 2400 = 43400kg) \end{array} \right\} \quad (۹) \text{ وزن بار مرده (بتن با چگالی ۲۴۰۰ و ضخامت دال ۰.۲ متر)}$$

$$W = W_{LL} + W_{DL} = 91400kg \quad (۱۰) \text{ وزن بار کل}$$

$$W_{Longw} = 6\sqrt{2} \times 1 \times 2400 = 20365kg \quad (۱۱) \text{ وزن دیوار طولی}$$

$$W_{Latw} = 4\sqrt{2} \times 1 \times 2400 = 17575kg \quad (۱۲) \text{ وزن دیوار عرضی}$$

$$W_{Dr} = 6\sqrt{2} \times 4\sqrt{2} \times 0.2 \times 2400 = 23040kg \quad (۱۳) \text{ وزن بار مرده سقف}$$

$$W_{Lr} = 6\sqrt{2} \times 4\sqrt{2} \times 0.2 \times 2400 = 1440kg \quad (۱۴) \text{ وزن بار زنده سقف}$$

$$W_r = 23040 + 1440 = 24480kg \quad (۱۵) \text{ وزن بار کل سقف}$$

$$\frac{W_i}{W_w} = \frac{\tanh\left(0.866 \frac{L}{H}\right)}{0.866 \frac{L}{H}} = \frac{\tanh\left(0.866 \frac{6\sqrt{2}}{1}\right)}{0.866 \frac{6\sqrt{2}}{1}} = 0.136 \quad (۱۶) \text{ وزن جرم}$$

$$W_i = 0.136 \times 48000 = 6528kg \quad (۱۷) \text{ وزن جرم سخت دیوار طولی}$$

$$\frac{L}{H} = \frac{6\sqrt{2}}{1} = 6\sqrt{2} > 1.33 \quad (۱۸) \text{ ارتفاع جرم سخت برای دیوار طولی}$$

$$\rightarrow \frac{h_i}{h} = 0.375 \rightarrow h_i = 0.375 \times 1 = 0.375$$

$$\frac{W_c}{W_w} = 0.264 \frac{L}{H} \tanh\left(3.16 \frac{H}{L}\right) = 0.777 \rightarrow W_c = 0.777 \times 48000 = 37296kg \quad (۱۹) \text{ وزن جرم سخت برای دیوار عرضی}$$

$$\frac{h_c}{h} = 1 - \frac{\cosh\left(3.16 \frac{1}{6\sqrt{2}}\right) - 1}{3.16 \frac{H}{L} \sinh\left(3.16 \frac{1}{6\sqrt{2}}\right)} = 0.505 \rightarrow h_c = 0.505 \times 1 = 0.505m \quad (۲۰) \text{ ارتفاع جرم موج برای دیوار طولی}$$

$$\frac{W_{cl}}{W_w} = 0.264 \frac{4\sqrt{2}}{1} \tanh\left(3.16 \frac{1}{4\sqrt{2}}\right) = 0.757 \rightarrow W_c = 0.757 \times 48000 = 36140kg \quad (۲۱) \text{ وزن جرم سخت}$$

$$\frac{h_{cl}}{h} = 1 - \frac{\cosh\left(3.16 \frac{1}{4\sqrt{2}}\right) - 1}{3.16 \frac{1}{4\sqrt{2}} \sinh\left(3.16 \frac{1}{4\sqrt{2}}\right)} = 0.512 \rightarrow h_c = 0.512 \times 1 = 0.512m \quad (۲۲) \text{ ارتفاع جرم موج برای دیوار عرضی}$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{3.16 \times 9.8 \tanh\left(3.16 \frac{1}{6\sqrt{2}}\right)}{6\sqrt{2}}} = 1.14 \quad (۲۳)$$

$$T_c = \frac{2\pi}{\lambda} = 5.5s \quad (۲۴) \text{ دوره تناوب بخش موج دیوار طولی}$$

$$T = 5.5 > 0.7 \rightarrow B_c = (S + 1) \left(\frac{T_s}{T}\right) = (1.75 + 1) \frac{0.7}{5.5} = 0.35 \quad (۲۵)$$

$$B_{ct} = B_c \times N = 0.35 \times 1.7 = 0.595$$

(۲۶) ضریب بازتاب دیوار طولی از آیین نامه ۲۸۰۰

$$C_c = \frac{ABI}{R} = \frac{0.3 \times 0.595 \times 1.2}{4} = 0.053$$

(۲۷) ضریب برش پایه برای در جهت طولی

$$\lambda = \sqrt{\frac{3.16 \times 9.8 \tanh\left(3.16 \frac{1}{4\sqrt{2}}\right)}{4\sqrt{2}}} = 1.66 \quad (28)$$

$$T_c = \frac{2\pi}{\lambda} = 3.74s$$

(۲۹) دوره تناوب بخش موج دیوار عرضی

$$T = 3.74 > 0.7 \rightarrow$$

$$B_c = (S + 1) \left(\frac{T_s}{T}\right) =$$

$$(1.75 + 1) \frac{0.7}{3.74} = 0.51 \quad (30)$$

$$B_{ct} = B_c \times N = 0.51 \times 1.7 = 0.867$$

(۳۱) ضریب بازتاب دیوار طولی از آیین نامه ۲۸۰۰

$$C_c = \frac{ABI}{R} = \frac{0.3 \times 0.867 \times 1.2}{4} = 0.048$$

(۳۲) ضریب برش در جهت دیوار عرضی

$$P_{clongitudinal} = C_{clongitudinal} \times W_{clongitudinal}$$

$$= 0.053 \times 37296 = 1977$$

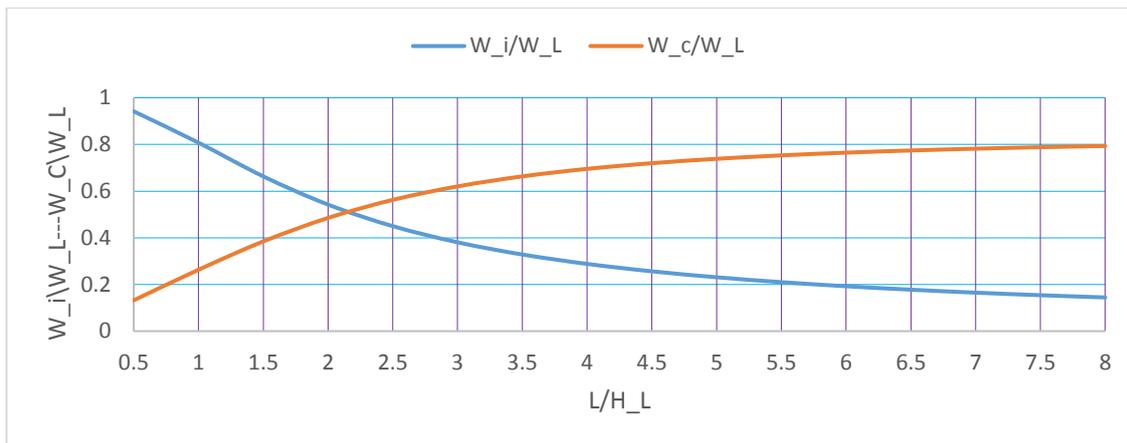
(۳۳) نیروی جانبی در جهت دیوار طولی

$$P_{clateral} = C_{clateral} \times W_{clateral}$$

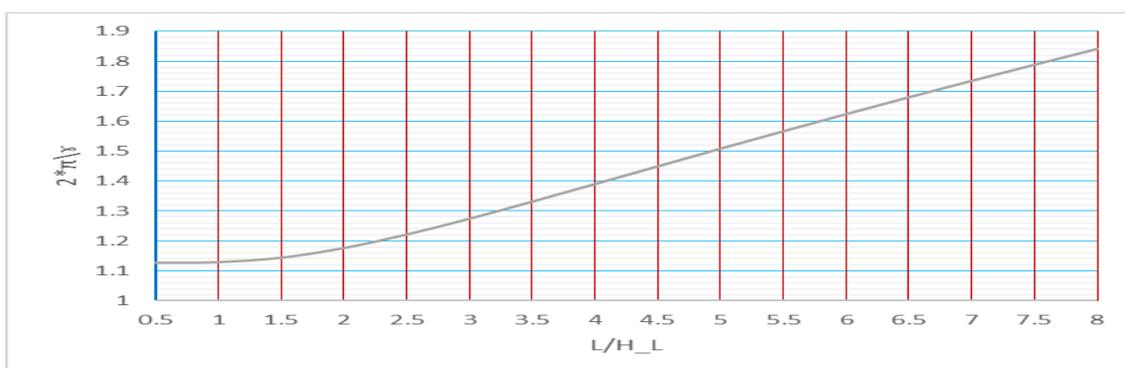
$$= 0.048 \times 36140 = 1843$$

(۳۴) نیروی جانبی در جهت دیوار عرضی

محاسبات برای حالت اول با جزئیات در روابط بالا آورده شدند و برای دو حالت دیگر نیز مشابه حالت اول می باشند که می توان با استفاده از نمودارهای شکل ۱ و ۲ مقادیر خواسته شده را بدست آورد .



شکل ۱ - تغییرات وزن سخت و موج با نسبت طول به ارتفاع برای مخازن مستطیلی (نگارندگان، ۲۰۲۵)



شکل ۲ - تغییرات ضریب $\frac{2\pi}{\gamma}$ با نسبت طول به ارتفاع برای مخازن مستطیلی (نگارندگان، ۲۰۲۵)

بطور خلاصه فرایند بدست آوردن ارتفاع مبنا، جهت معیاری برای انتخاب نسبت عرض به ارتفاع بهینه در روش پیشنهادی بطور خلاصه در گام های زیر آورده می شوند.

(۱) ابتدا حجم مورد تقاضا شده از طرف کارفرما اخذ می گردد.

(۲) در نظر گرفتن توصیه آیین نامه ای نشریه ۱۲۳ بعنوان قید ابعادی طول و عرض

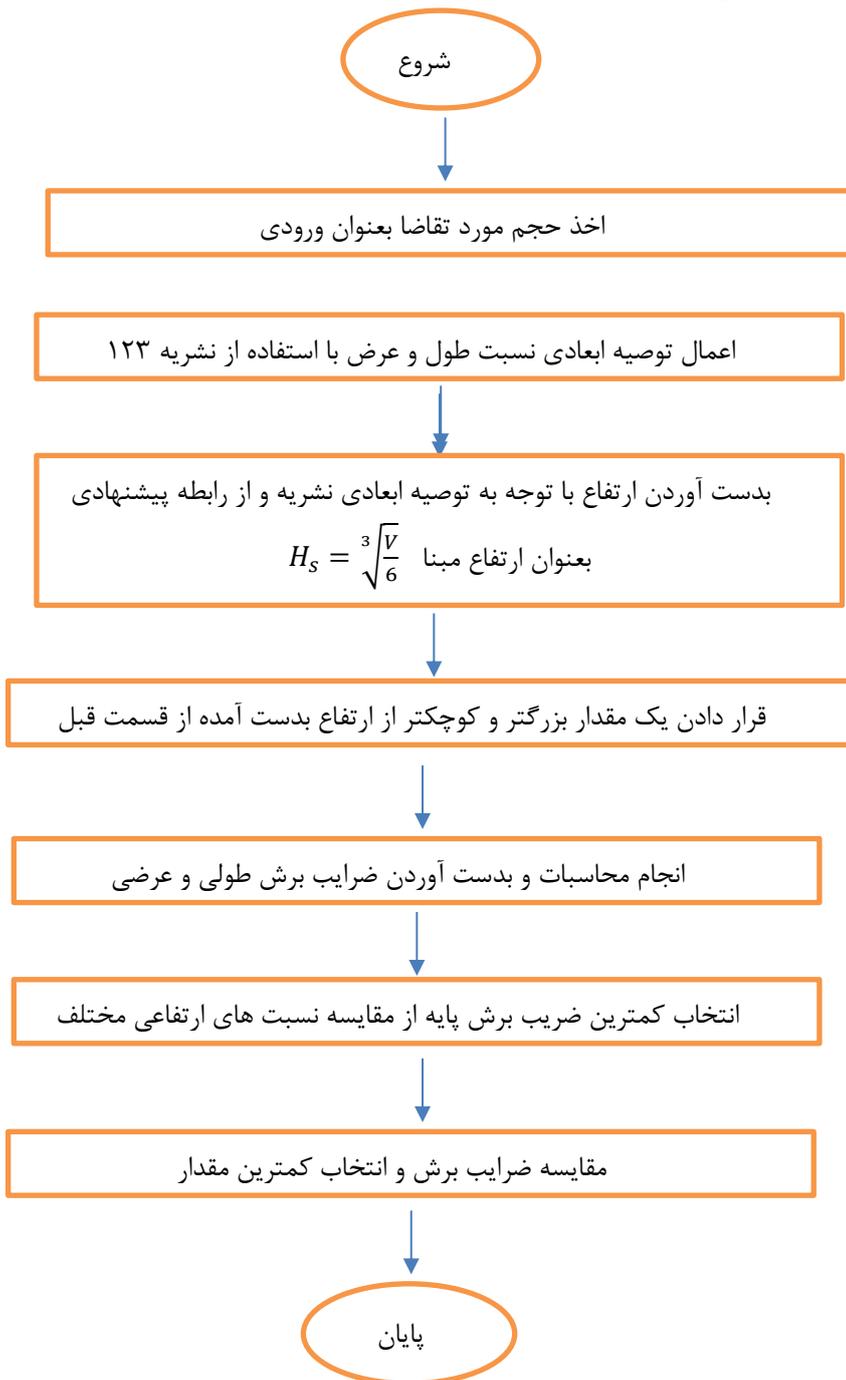
$$H_s = \sqrt[3]{\frac{V}{6}} \quad \text{بدست آوردن ارتفاع مبنای از رابطه پیشنهادی} \quad (۳)$$

(۴) در نظر گرفتن ارتفاع بیشتر و کمتر از ارتفاع مبنا

(۵) محاسبه ضرایب برش پایه

(۶) مقایسه ضرایب برش و انتخاب کمترین آنها

مراحل انجام محاسبات ارتفاع مبنا و ضریب برش در شکل ۳ نشان داده شده اند.



شکل ۳- روند انجام محاسبات برای بدست آوردن ارتفاع مبنا و کمترین ضریب برش پایه . (نگارندگان، ۲۰۲۵)

جدول ۱. خلاصه نتایج محاسبات برای سه حالت ارتفاع به عرض متفاوت با حجم ثابت (نگارندگان، ۲۰۲۵)

ردیف	طول (x)	عرض (y)	ارتفاع (z)	$\frac{x}{y}$	$\frac{z}{y}$	طولی (C_c)	عرضی (C_c)	طولی (P_c)	عرضی (P_c)
1	$6\sqrt{2}$	$4\sqrt{2}$	1	$\frac{3}{2}$	$\frac{1}{4\sqrt{2}}$	0/053	0/048	1977	1843
2	6	4	2	$\frac{3}{2}$	$\frac{1}{2}$	0/076	0/096	4346	2242
3	$2\sqrt{6}$	$\frac{4\sqrt{6}}{3}$	3	$\frac{3}{2}$	$\frac{9\sqrt{6}}{4}$	0/053	0/076	2024	2835

خلاصه نتایج محاسبات برای سهولت در انجام مقایسه و استفاده از آن در فاز های بعدی طراحی در جدول ۱ نشان داده شده است. همانطور که ذکر شد هر چند این جدول بر اساس حجم مورد تقاضای ۴۸ متر مکعب تهیه شده است و نتایج عددی برای این حجم معتبر است ولی برای هر حجم دیگری نیز می توان این مراحل را انجام داد. چون روند انجام محاسبات و خصوصا استفاده از تابع پیشنهادی H_S برای هر حجم دلخواه قابل کاربرد و یکسان می باشد.

۴- نتیجه گیری

طراحی مخازن ذخیره مایعات از اهمیت بالایی برخوردار هستند و با توجه به نوع مواد ذخیره شده می تواند درجه اهمیت آن در محدوده خیلی زیاد نیز قرار گیرد. با توجه به نشریه ۱۲۳ جهت صرفه اقتصادی در صورت نبود محدودیت مهم دیگری ابعاد در پلان با نسبت ۳ به ۲ طول به عرض توصیه شده است حالا در صورت حجم معین و ثابتی انتخاب ارتفاع با مدنظر قرار دادن مسائل اجرایی متنوع می باشد که باعث گستره ای از ضرایب برش پایه می گردد لذا برای محدود کردن انتخاب ها و داشتن کمترین ضریب برش، ارتفاع مبنا با تابع H_S پیشنهاد شد و با یک مقدار بالاتر و پایین تر از ارتفاع مبنا و مقایسه ضرایب برش پایه، کوچکترین و اقتصادی ترین نسبت ابعادی عرض به ارتفاع بدست می آید که می تواند در طراحی مخازن لحاظ گردد و باعث صرفه اقتصادی در استفاده از مصالح گردد. که نتایج در جدول ۱ نشان داده شده اند. مطابق جدول ۱ حالت اول بهترین بازده را دارا می باشد. هر چند این تحقیق برای حجم مورد تقاضای ۴۸ متر مکعب ارائه شده است ولی مطابق با شکل ۳ برای هر حجمی با در نظر گرفتن سایر معیار های طراحی نیز می تواند مورد استفاده قرار گیرد. از آنجا که نتایج بدست آمده بر مبنای روابط تحلیلی استنتاج شده است می توان از این مقادیر برای صحت سنجی نتایج حاصل از دیگر روش ها نیز استفاده نمود. موارد زیر به طور خلاصه نتیجه می شوند.

۱. هر حجمی که تقاضا شده باشد با تابع پیشنهادی یک ارتفاع معیار یا ارتفاع مبنا بدست می دهد و فارغ از میزان حجم است.
۲. برای مقایسه عددی حجم ۴۸ متر مکعب بعنوان نمونه ذکر شده است. که با استفاده از تابع پیشنهادی عدد ارتفاع مبنا ۲ بدست می آید.

۳. با نسبت های طول به عرض تو صیه شده ، و ارتفاع مبنای ۲ ، قطعا ارتفاع کمتر از ۲ باعث کاهش ضریب برش پایه می گردد و تمام انتخاب های ممکن بالاتر از ۲ حذف می شوند. و باز هم قابل ذکر است که برای هر حجمی تنها یک ارتفاع مبنای منحصر بفرد خودش بدست می آید و فارغ از مقادیر عددی مثال آورده شده می باشد.
۴. قابل ذکر است که برای هر حجمی تنها یک ارتفاع مبنای منحصر بفرد خودش بدست می آید و فارغ از مقادیر عددی مثال آورده شده می باشد.
۵. محاسبات تحلیلی و عددی انجام شده نشان می دهد که در صورت تعیین ارتفاع مبنا ارتفاع های بالاتر از آن از دایره انتخاب حذف خواهند شد. که سادگی انتخاب جهت کمینه شدن ضریب برش پایه را نشان می دهد.

۵- پیشنهادات

پیشنهاد می گردد پژوهشگران و علاقمندان محترم در این حوزه در صورت تمایل می توانند موارد زیر را مورد بررسی قرار دهند:

- ۱) بررسی نسبت ابعادی اشکال دیگر به غیر از مخازن مکعب مستطیل
- ۲) بررسی ارتفاع مبنا برای اشکال به غیر از مخازن مکعب مستطیل
- ۳) بررسی ضرایب برش پایه برای مقادیر کمتر و بیشتر از ارتفاع مبنا برای اشکال به غیر از مخازن مکعب مستطیل
- ۴) بررسی ضرایب برش پایه در صورت استفاده از جداگرهای لرزه ای و طراحی با استفاده از ارتفاع مبنا

منابع

Avinash, A.R., Chaithra, M., & Krishnamoorthy, A. (2023). A Review on the Modelling Techniques of Liquid Storage Tanks Considering Fluid Structure Soil Interaction Effects with a Focus on the Mitigation of Seismic Effects through Base Isolation Techniques. <https://doi.org/10.3390/su151411040>

ACI 350.3-06, (2006). Seismic design of liquid-containing concrete structures and commentary (350.3R-06). American Concrete Institute (ACI) Committee 350, Environmental

Cod Number 123. (2017). Rules and criteria for the design and calculation of groundwater reservoirs (first revision)

Edward, N.W. (1969). A procedure for dynamic analysis of thin walled cylindrical liquid storage tanks subjected to lateral ground motions. Ph.D. thesis, university Michigan, Ann Arbor, Michigan.

Fayed, M.N. et al (2022) Evaluation of response reduction factor for reinforced concrete elevated water tanks and codes comparative study. Journal of Al-Aznar University Engineering Sector, 27(62), 39-53.

- Hamedan, F.H. (2000). Seismic behavior of cylindrical steel liquid storage tanks. *Journal of Constructional Steel Research*, 53(2), 307-333.
- Hanson, R.D. (1967). Behavior of Liquid Storage Tanks. The Great Alaska Earthquake of 1964, and Aftershocks. ESSA, U.S. Coast and Geodetic Survey, Washington: Government Printing Office, 2(A), 245-252.
- Haroun, M.A. (1980). Dynamics analyses of liquid storage tanks. EERL 80-04, California Inst. of Tech., Pasadena, Calif.
- Haroun, M.A., and Housner, G.W. (1981). Seismic Design of Liquid Storage Tanks. *Journal of Technical Councils, ASCE*, 107(7), 191-207.
- Haroun, M.A. (1983). Vibration Studies and tests of liquid storage tanks. *Earthquake Eng. Struct. Dyn*, 11(2), 179-206.
- Hoskins, L.M., & Jacobsen, L.S. (1934). Water pressure in a tank caused by simulated earthquake. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 24, 1-32.
- Housner, G.W. (1957). Dynamic pressure on accelerated fluid containers", *Bulletin of the Seismological Society of America*, 47(5), 15-35.
- Housner, G.W. (1963). The dynamic behavior of water tanks. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 53(7), 381-387.
- Hosseini, M., & Mohajer, M. (2000). Effects of foundation geometry on the natural periods of cylindrical tank-liquid-soil systems. *Journal of Seismology and Earthquake Engineering*, 2(4), 43-50.
- Hosseinzade, R., & Kalmasi, M. (2015). Seismic Behavior of Concrete Ground Liquid Storage Tanks. [Persian]
- Kalani, S. L., & Navayi, B. (2013). Evaluation of modification factor for concrete cylindrical tanks using pushover analysis. *Bulletin of Civil Engineering, Ferdowsi University of Mashhad*, 23(1), 1-20. [Persian]
- Malika., & Anuja G. (2016). Effect of tank height on the seismic performance of intze type water retaining structures.
- Mohammadi, M, et al. (2022). Theoretical, numerical and experimental study of liquid sloshing frequencies and damping in a cylindrical container with anural and sectorial baffles. DOE.2022.11521jmeut10.2210.22034. [Persian]
- Omidinasab, F. (2022) Evaluation of Seismic Design Forces of Elevated Water Tanks in Different Editions of Standard 2800 for Different Zones of Relative Hazard of Earthquake and Soil Types. *Journal of Concrete Structures and Materials*, 7(1), 200-216 [Persian]
- Omidtabrizi, F., & Hatami Bargh, F. (2023). Seismic response of rectangular and cylindrical concrete tanks under near-fault and far-fault ground motions. *Journal of the Civil Engineering Society*, 65(1), 1-9. [Persian]

Tedesco, J.W., Kostem, C., & Kalnins, A. (1987). Free vibrational analysis of cylindrical liquid storage tanks. *Computer and Structures*, 26(6), 957-964.

Veleta's, A.S. (1974). Seismic effects in flexible liquid storage tanks. *Proceedings of international association for earthquake Eng. fifth world conference, Rome, Italy*, 1(2), 630-639.

Veleta's, A.S., & Yang, Y. (1977). Earthquake response of liquid storage tanks-advances in civil engineering through mechanics. *ASCE proc.2nd Engineering Mechanics Specially Conf., ASCE, Reston*, 1-24.

Veleta's, A.S., Tang, Y., & Tang, H.T. (1992). Dynamic response of flexibly supported liquid storage tanks. *ASCE Journal of Structural Engineering*, 118(2), 264-283.