

An Innovative Isolation System for Improving the Seismic Behavior of Liquid Storage Tanks

Mohammad Ali Goodarzi

Associate Professor, Structural Engineering Research Center
m.a.goodarzi@iiees.ac.ir

In this study, the base isolated liquid storage tanks are considered. Common isolation systems horizontally separate a structure from its base, Figure (1). The proposed isolation system is vertically detached from the shell of the tank shell, Figure (5). In order to isolate the rocking motion of a tank, it is necessary to disconnect the tank shell from the base plate and support it on vertical isolators. In this manner, the base plate of the tank does not contribute to the rocking motion and only isolation is required under the tank shell. Eliminating the isolation of the tank base plate can eliminate the need for a solid base for isolation of the entire base plate. The number of isolation elements required decreases significantly with respect to the common horizontal isolation in which the total base area must be covered by isolation elements. These differences can significantly reduce the cost of implementation of base isolation in practice. Since the base plate is not attached to the tank wall, the hydrodynamic pressure at the base plate will not be transferred to the foundation. Therefore, plastic rotations, which are a common problem in conventional tanks, will not occur at the tank wall-base plate connections and base plate rupture will be avoided. Because the connection between the tank shell and the base plate is detached in vertical shell isolation, leakage can occur at the intersection. This problem can be solved using a flexible membrane (such as synthetic membranes) between the shell and the base plate. This prevents the leakage of fluid from the tank and allows the wall to move freely in the vertical direction. Figure (5) schematically illustrates the vertical isolation system (VIS). A filling replaceable material is placed between the soil and tank shell to prevent horizontal movement but it permits the rocking motion in tank shell wall. This filling material can be chosen from Styrofoam material.

The seismic behavior of horizontally base isolated tanks under various seismic excitations is investigated and compared with corresponding tanks without isolation system. For this purpose, the numerical simulation with finite element model is used, Figure (2).

Numerical model is validated by comparing its results with experimental measurements of sloshing wave height. As can be seen in Figure (3), the numerical model can

پیشنهاد تکنیک‌هایی برای جداسازی لرزه‌ای مخازن ذخیره مایع

محمد علی گودرزی

دانشیار پژوهشکده مهندسی سازه m.a.goodarzi@iiees.ac.ir

در این تحقیق، به بررسی اثر جداسازها بر مخازن ذخیره مایع پرداخته شده است. برای این کار لازم است که میزان بکارگیری جداسازها بر کاهش پاسخ لرزه‌ای مخازن مورد ارزیابی قرار گیرد. دو نوع جداساز مورد توجه قرار گرفته است. نوع اول مربوط به جداسازهای افقی و معمول است که در اکثر سازه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد، شکل (۱).

در رابطه با جداسازهای افقی معمول، پیشنهاد شده است که این جداسازها در زیر دیواره مخزن قرار گیرند. با اینکار لزومی به ایجاد کف صلب برای مخازن نیست، و دیواره مخزن می‌تواند آزادانه و جدا از کف حرکت کند. برای جلوگیری از خروج مایع، می‌توان از غشاهای انعطاف‌پذیر استفاده نمود. رفتار این مخازن با جداساز افقی با شبیه‌سازی رایانه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفته است، شکل (۲).

مدل عددی ساخته شده در حالت بدون جداساز لرزه‌ای و تحت بارهای هارمونیک و لرزه‌ای مورد صحت‌سنجی قرار گرفته است. در شکل (۳)، نمونه‌ای از نتایج سطح آزاد مایع برای بارهای هارمونیک ورودی با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شده است که بیانگر دقت بسیار خوب مدل عددی ایجاد شده است.

بکارگیری جداسازی لرزه‌ای می‌تواند به طور چشمگیری نیروهای مهم طراحی لرزه‌ای مخازن را کاهش دهد و حتی تا مقدار بیش از نصف مقدار بدون جداساز، در کاهش پارامترهای اصلی طراحی تأثیر داشته باشد. اما جداسازها عمدتاً بر روی ارتفاع آزاد امواج سطحی مایع تأثیر خاصی ندارند. همچنین امکان استفاده از مدل‌های ساده شده جرم و فنر در مخازن ذخیره مایع مجهز به سیستم جداساز بررسی شد و نتیجه‌گیری شد که مدل‌های جرم و فنر کاملاً می‌توانند برای مخازن دارای جداساز لرزه‌ای نیز بکار گرفته شوند.

نوع دوم استفاده از جداسازهای قائم است که در این تحقیق برای مخازن پیشنهاد شده است، شکل (۵). در رابطه با جداسازی قائم جداره مخزن، در بخش پایانی تحقیق یک روش نوین و کارآمد مقاوم‌سازی مخازن، مبتنی از استفاده از ایزولاتورهای قائم برای افزایش جذب انرژی و بهبود کلی عملکرد لرزه‌ای پیشنهاد شده است. در این روش نیز برخلاف روش‌های مرسوم جداسازی لرزه‌ای که نیروی برشی سیستم را در جهت افقی ایزوله می‌نمایند، دیواره مخزن از ورق کف جدا شده و جداسازها قائم لرزه‌ای در زیر دیواره قرار می‌گیرند. این در حالی است که ورق کف، همچنان روی زمین قرار دارد. بدین ترتیب در این سیستم، مستقیماً نیروهای قائم ناشی از لنگر واژگونی مخزن ایزوله می‌شوند. حذف جداسازها از زیر ورق کف نیاز به ایجاد یک بستر صلب در کل محدوده زیر کف مخزن را مرتفع ساخته و به لحاظ اقتصادی هزینه اجرای جداسازی پایه را در عمل به مقدار قابل توجهی کاهش می‌دهد.

برای بررسی میزان اثربخشی روش پیشنهادی با کمک مطالعات تحلیلی از مدل ساده شده نشان داده شده در شکل (۶) استفاده شده است.

مطالعات عددی اجزای محدود تحت رکوردهای واقعی زلزله مورد

properly predict the time history of liquid motion observed in experiment.

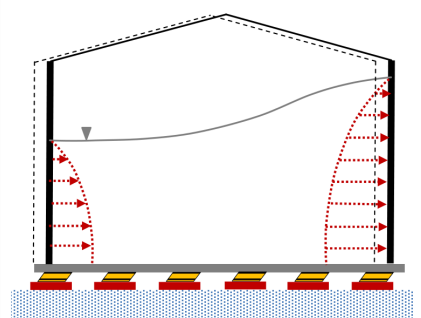
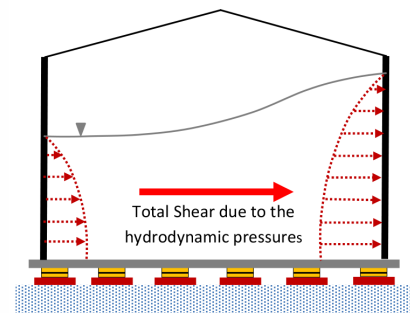
The verified numerical model has been used for parametric study on real scale tanks. The results show that the isolation of liquid tanks can significantly reduce the seismic responses in terms of overturning moment or base shear forces, Figure (4). However, it cannot affect the sloshing wave height significantly.

In order to investigate the efficiency of the proposed Vertically Isolating System (VIS) which is schematically presented in Figure (5), the governing equations of dynamic motion were extracted from a mechanical model of the proposed system. Figure (6) and a comprehensive parametric study was performed on a range of liquid storage tanks geometry. The aspect ratios and the height of the liquid were varied to cover most practical ranges. The results showed that the proposed VIS can reduce the overturning moment up to 90%, shown in Figure (7) which will seismically protect the liquid tanks from failure, including shell buckling, under strong ground shaking.

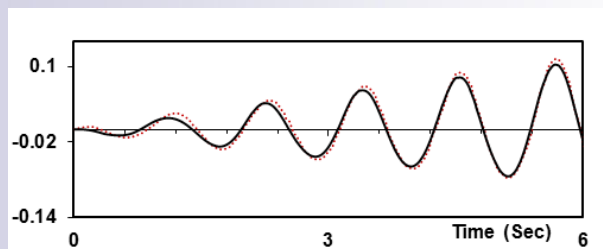
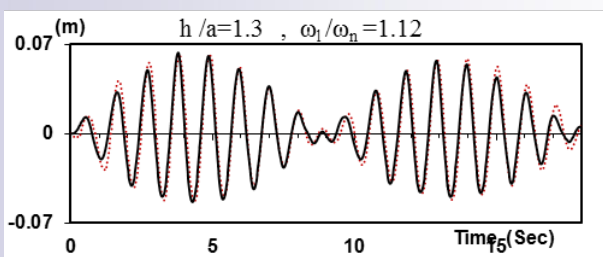
Keywords: Liquid tanks, Buckling in the shell, Vertically isolating system, Horizontally isolating system, Mass-Spring model, Numerical simulation

بررسی قرار گرفته است. نتایج مطالعات عددی اجزای محدود و مطالعات تحلیلی انجام شده، دارای انطباق مناسبی با یکدیگر می‌باشند. هر دو روش بر کاهش میزان پاسخ‌های لرزه‌ای مخازن در صورت استفاده از سیستم پیشنهادی اذعان داشته و میزان کارایی سیستم را در مخازن لاغر بیشتر از مخازن پهن برآورد می‌نمایند.

واژه‌های کلیدی: مخازن ذخیره، کماتش جداره مخزن، جداسازهای لرزه‌ای افقی، جداسازهای لرزه‌ای قائم، مدل‌های جرم - فنر، شبیه‌سازی رایانه‌ای

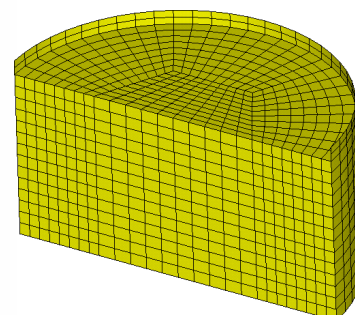


شکل (۱): تصویر شماتیکی از جداسازهای متداول افقی

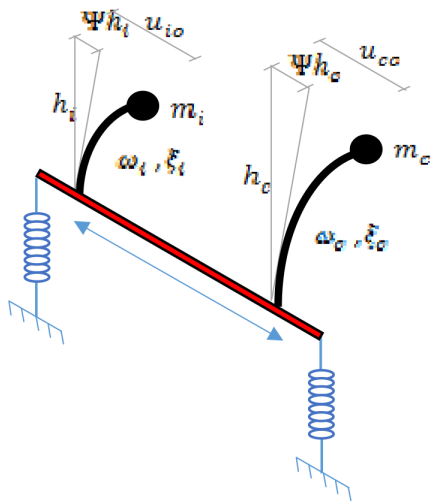


..... Experimental Results — Numerical Results

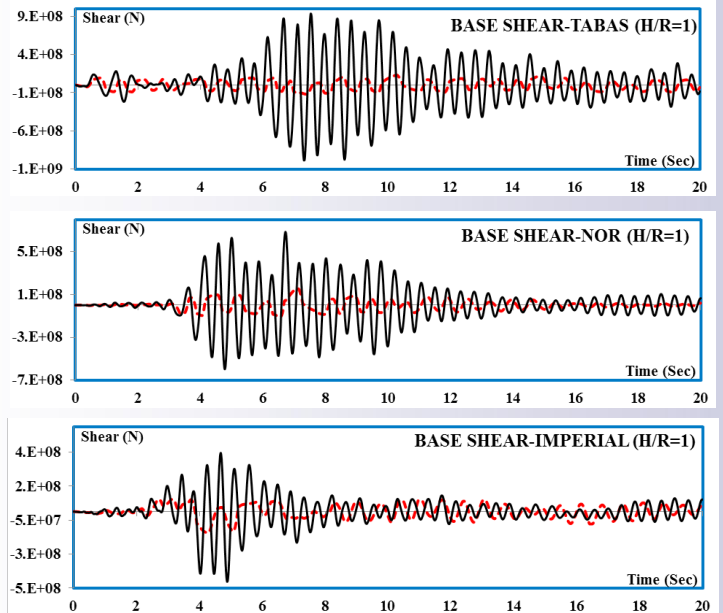
شکل (۳): مقایسه نتایج حاصل از اندازه‌گیری آزمایشگاهی و نتایج حاصل از حل عددی تحت بارهای هارمونیک با فرکانس‌های مختلف



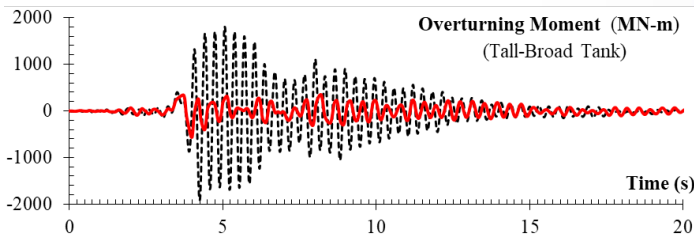
شکل (۲): شبکه‌بندی مدل اجزای محدود مورد استفاده برای مخازن مورد بررسی



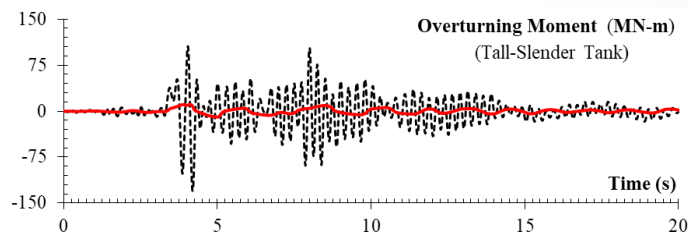
شکل (۶): مدل ساده شده معادل سیستم جداسازی پیشنهادی



شکل (۴): نمونه‌ای از نمودار تاریخچه زمانی نیروی برشی مربوط به مخزن با ابعاد متوسط تحت سه زلزله مختلف

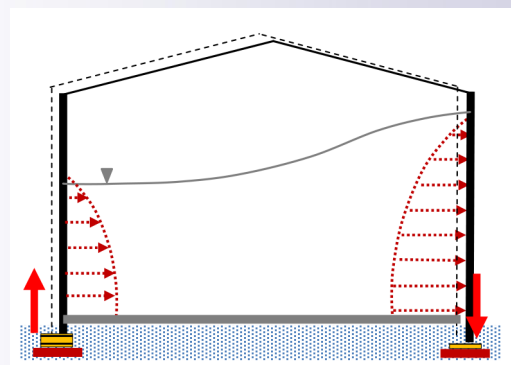
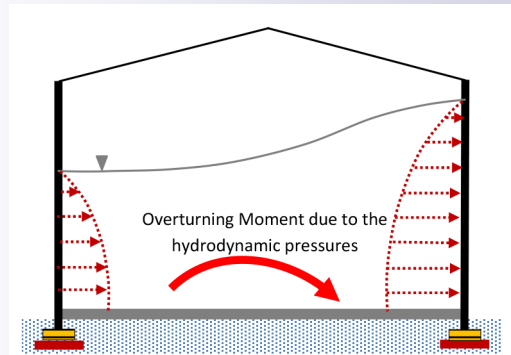


مخزن بلند-پهن {H=16.8m, H/D=0.3, N=72}



مخزن بلند-لاغر {H=16.8m, H/D=1.5, N=24}

شکل (۷): بررسی کارایی سیستم پیشنهادی ایولاتور قائم در مخازن منتخب: میزان تأثیر هندسه مخزن در کاهش لنگر واژگونی تحت زلزله 1994 Northridge و مقیاس شده به $(T_{iso} = 2.0s, \xi_b = 0.10)$ 0.6g



شکل (۵): تصویر شماتیکی از جداسازهای نوین پیشنهاد شده در این تحقیق که به جای نیروی برشی، لنگر خمشی را ایزوله می‌کنند