

ارزیابی عملکرد دینامیکی مخازن بتنی مستطیلی مجهز به میراگرهای بیرونی با استفاده از روش المان محدود

محمدرضا حسینی^۱، سمانه حاجی‌مشهدی^۲، سیدمهدی سیدکلبادی^۳،
محمدرضا یوری^۴

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران، گروه مهندسی
عمران، موسسه آموزش عالی لامعی گرگانی
newway1386@gmail.com

۲- استادیار، گروه مهندسی عمران، موسسه آموزش عالی غیر
دولتی- غیر انتفاعی لقمان حکیم آق‌قلا

۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی عمران، گروه مهندسی
عمران، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی تهران

۴- دانشجوی دکتری مهندسی آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی
آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

چکیده

در این تحقیق، برای تحقیق و بررسی رفتار لرزه ای بتن در مخازن ذخیره آب مستطیلی سر باز در فضاهای دو بعدی و سه بعدی از روش اجزاء محدود استفاده شده است. رفتار خاک با استفاده از شرایط مرزی مخازن به صورت خطی شبیه سازی شده است. در این تحقیق، مدل های اجزاء محدود متفاوتی، طبق مخازن عمیق و کم عمق، تحت تأثیر تمام مؤلفه های شتاب زلزله ای مورد بررسی قرار گرفته اند. با استفاده از شتاب نگاشت های زلزله ای متفاوتی از قبیل نورث‌ریج، السترو، سان فرناندو و شتاب های زلزله ای سان فرانسیسکو، تأثیر مقدار فرکانس زلزله ای روی رفتار لرزه ای سیستم مخازن ذخیره آب مستطیلی مورد بررسی قرار گرفته است. این شتاب ها طوری مقیاس بندی شدند که شبیه به تمام شتاب های افقی حداکثر زمین هستند. استفاده از صفحات تخته ای و تیغه ها در کاهش ارتفاع تلاطم در مخازن مایع با انجام یک تحقیق پارامتریک مورد بررسی قرار می گیرد.

نتایج نشان می دهند که استفاده از صفحات تخته ای و تیغه ها در کاهش ارتفاع تلاطم در مخازن مایع، تأثیرات مهمی روی رفتار لرزه ای در مخازن های مایع را دارند. همچنین نتایج این تحقیق با نتایج بدست آمده روش های عددی و همین طور سایر روش های موجود در آثار تحقیقات مقایسه و اثبات شدند.

واژه‌های کلیدی: مخازن بتنی، میراگر، عملکرد دینامیکی، زلزله

مقدمه

اندرکنش دینامیکی بین مایع و سازه یکی از موضوعات بسیار مهم، در بسیاری از مسائل مهندسی است. این مسائل و مشکلات شامل سیستم های مختلفی مانند سازه های زیر آب فرورفته و دور از کرانه، سیستم های بیومکانیکی، هواپیما، پل های معلق و مخازن ذخیره سازی می باشند. این اندرکنش می تواند به طور چشمگیری ویژگی های لرزه ای را در سازه تغییر دهد و در نهایت به پاسخ دوره ای و گذرا ختم شود. بنابراین، بهتر است که سیستم های مختلف مورد نظر به طور دقیق با اندرکنش مایع و سازه مدل سازی شوند (FSI).

یکی از سازه های بسیار مهمی که در طی دهه های اخیر گسترش یافته است مخزن ذخیره سازی مایع است. از این سازه ها به طور گسترده در تأسیسات آبرسانی، صنایع نفت و گاز و نیروگاه های هسته ای برای ذخیره سازی انواع مایع یا مواد مایع مانند نفت، گاز طبیعی مایع (LNG)، مایعات شیمیایی و فضولات با اشکال متفاوت استفاده می شود.

اهمیت عملکرد مخزن ذخیره سازی مایع در زلزله

خسارات سنگینی به علت زلزله های فراوان و قوی از قبیل نیگاتا در سال ۱۹۶۴، آلاسکا در سال ۱۹۶۴، پارکفیلد در سال ۱۹۶۶، شهرستان امپریال در سال ۱۹۷۹، کوالینگا در سال ۱۹۸۳، نورث ریج در سال ۱۹۹۴، کوالی در سال ۱۹۹۹، پکن در سال ۲۰۰۱ گزارش شده است، که برخی از آنها توسط هارونو الایسی (۱۹۸۵)، رای (۲۰۰۲) و سزن و همکاران (۲۰۰۶) گزارش شده است.

بارها در طول زلزله های گذشته خسارتهای جدی به مخازن فولادی گزارش شده است. به طور کلی در این مورد، خسارات وارده به مخزن یا خرابی خود به خود در موارد زیر اشاره شده است که شامل:

- بسته شدن پوسته رسوب های فشرده محوری که به طور کلی باعث خم شدن یا نشست سازه می شود که معمولاً در مخازن فولادی استوانه ای رایج است.
- خسارات وارده به سقف، که علت آن وجود رسوب هایی در بخش بالای مایع موجود است که در فضای آزاد کافی بین سطح مایع و سقف تشکیل می شود.
- شکستگی اتصالات بین دیواره و پایه در مخازن هایی که تا حدی مهار شده هستند یا مخازن های آزادی که در هنگام بالا بردن توانستند مقاومت کنند.

اندرکنش آب و سازه

معادله حاکم بر رفتار سیالات (غیر ویسکوز) یا معادله هلم هولتز عبارت از:

$$\frac{1}{c^2} \cdot \frac{\partial^2 P}{\partial t^2} - \nabla^2 P = 0 \quad (1)$$

سیال و سازه برای در نظر گرفتن اندرکنش بین آنها حاصل می گردد:

$$\begin{bmatrix} [M_e^s] & [0] \\ [M^{fsi}] & [M_e^p] \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \{\ddot{u}_e\} \\ \{\dot{p}_e\} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} [K_e^s] & [K^{fsi}] \\ [0] & [K_e^p] \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \{u_e\} \\ \{p_e\} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \{F_e\} \\ \{0\} \end{Bmatrix} \quad (2)$$

اندرکنش خاک و سازه

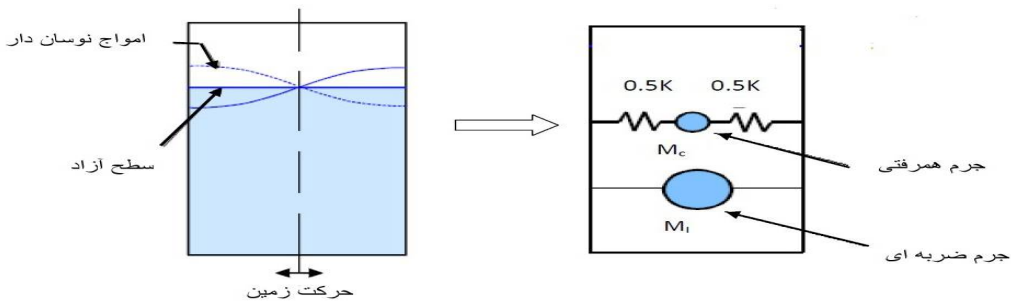
به طور کلی تصور بر این است که مخازن مایع مستطیلی بتنی روی فونداسیون صلب قرار دارند. بر این اساس، تحقیقات بسیار محدودی در مورد تأثیرات اندرکنش خاک و سازه و سیال روی رفتار لرزه ای مخازن مستطیلی بتنی انجام گرفته است. در این بخش، برخی از یافته های مهم قبلی روی اندرکنش خاک و سازه که در تحلیل FE مخازن مستطیلی شکل قابل استفاده هستند، مورد بحث قرار می گیرند.

استفاده از میراگرهای بیرونی در کاهش ارتفاع تلاطم

حرکت افقی زمین باعث می شود که مخزن مایع با جابه جایی عمودی در سطح سیال نوسان پیدا کند. کاهش ارتفاع نوسانات باعث کاهش ارتفاع مورد نیاز در فضای آزاد و در نتیجه هزینه های ساخت و ساز می شود. علاوه بر این، به طور مؤثری افزایش اتلاف انرژی در یک سازه را می توان با استفاده از سیستم های میرایی غیر فعال بدست آورد. نقش یک میراگر غیرفعال تغییر دادن ویژگی های دینامیکی در سازه می باشد. میراگر تنظیم شده مایع TLD یک دستگاه کنترل غیرفعال متداول می باشد. یک TLD از یک مخزن مایع تا حدی پر شده تشکیل می شود که به سازه متصل است. نوسانات مایع نیروهایی را در برابر حرکت سازه وارد می کند که در نتیجه پاسخ سازه را کاهش می دهد.

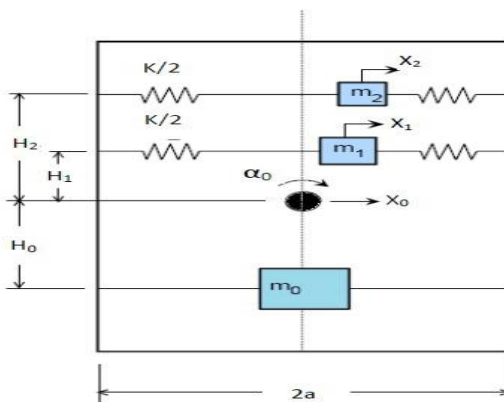
مواد و روش ها

مدلهای مکانیکی تلاطم معادل



شکل (۱): مدل مکانیکی از رفتار دینامیکی مخزن مایع

این مدل مکانیکی نشان می دهد که یک جنبش افقی در مخزن منجر به تلاطم مایع می شود. این مدل همچنین نشان می دهد که یک نوسان عمودی در مخزن عموماً باعث حرکت مایع نمی شود. شکل ۲ مدل و نمادهای استفاده شده در تحلیل را نشان می دهد. بدست آوردن معادلات مدل آورده شده در زیر مستقل از شکل مخزن و عمق سیال می باشد. این سیستم از چشمه ها و توده ها انتظار می رود با داخل مخزن واقعی متناسب باشند و جایگزین مایع شوند. برای وضوح فقط دو چشمه و توده نشان داده شده است اما در واقع یک چشمه و توده برای هر حالت در نوسان وجود دارد.



شکل (۲): شماتیکی از مدل مکانیکی معادل برای تلاطم های جانبی

پیاده سازی روش المان محدود

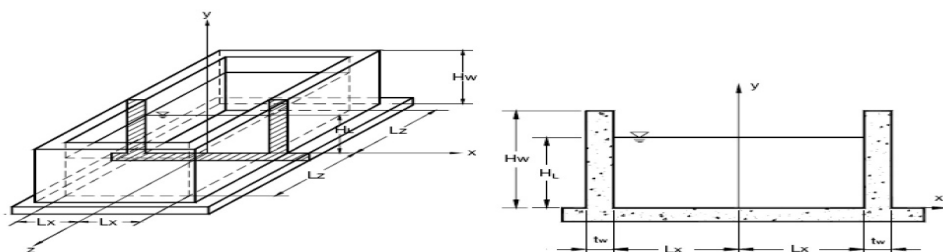
پیکربندی شماتیک یک مخزن بتنی مستطیل شکل که در کدهای طراحی رایجتر است در شکل ۳ نشان داده شده است. در این مطالعه، دو پیکربندی مدل مختلف مرتبط با مخازن کم عمق و عمیق، در هر دو فضای دو و سه بعدی بررسی شده اند. این مخازن در برخی از تحقیقات قبلی انجام شده توسط کیانوش و چن (۲۰۰۶)، چن و کیانوش (۲۰۰۵) و کیم و همکاران (۱۹۹۶) نیز استفاده شده اند. ابعاد و خواص مخزن کم عمق و عمیق به شرح زیر هستند:

مخزن کم عمق:

$$\begin{aligned} \rho_w &= 2300 \text{ kg/m}^3, \rho_i = 1000 \text{ kg/m}^3, E_c = 26.44 \text{ GPa}, \nu = 0.17 \\ L_x &= 15 \text{ m}, L_z = 30 \text{ m}, H_w = 6.0 \text{ m}, H_i = 5.5 \text{ m}, t_w = 0.6 \end{aligned} \quad (3)$$

مخزن عمیق:

$$\begin{aligned} \rho_w &= 2300 \text{ kg/m}^3, \rho_i = 1000 \text{ kg/m}^3, E_c = 20.77 \text{ GPa}, \nu = 0.17 \\ L_x &= 9.8 \text{ m}, L_z = 28 \text{ m}, H_w = 12.3 \text{ m}, H_i = 11.2 \text{ m}, t_w = 1.2 \end{aligned} \quad (4)$$

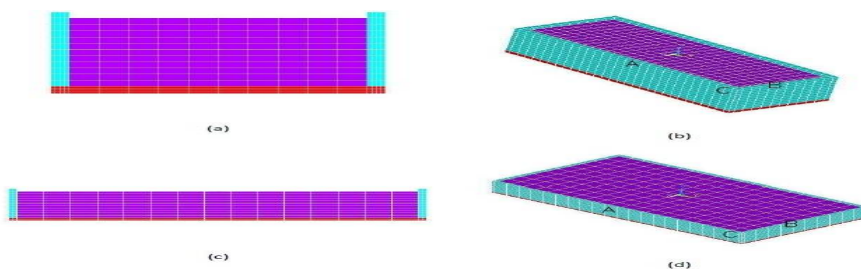


شکل (۳): شماتیکی از پیکربندی مخزن مایع مستطیل شکل

باریکه ای یک متری از مخزن در میانه‌ی بعد بلندتر، برای شبیه سازی رفتار دو بعدی سیستم مدل سازی شده است. در کد طراحی کنونی، در حالت کلی فرض می شود که مخزن بر پایه فونداسیونی صلب است و اثر اندرکنش خاک و سازه به صورت غیر مستقیم با استفاده از ضرایب جایگاه F_a و F_v در تطابق با ASCE 7-05 (2205) در نظر گرفته می شود. همچنین فرض شده است که مخزن در پایه اش مهار شده است و اثرات فشار بالا آمدگی در نظر گرفته نشده است.

در این مطالعه، برای شبیه سازی دقیق اندرکنش خاک و سازه و سیال، یک المان جامد ایزوپارامتری هشت گرهی (سختی 45 در برنامه ANSYS) با سه درجه آزادی انتقالی در هر گره در روش FE سه بعدی، برای مدل کردن دیواره های مخازن، چسبناکی پایه و خاک فونداسیون استفاده شده است. برای تجزیه و تحلیل دو بعدی، یک المان جامد ایزوپارامتری چهار گرهی با دو درجه آزادی انتقالی (سختی 42 در برنامه ANSYS) استفاده می شود. محدوده‌ی مایع، با استفاده از المان‌های سیال ایزوپارامتری هشت گرهی در فضای سه بعدی و المان‌های سیال ایزوپارامتری چهار گرهی در فضای دو بعدی، با درجه آزادی فشاری در هر گره (30 آکوستیک سه بعدی و 29 آکوستیک دو بعدی در برنامه ANSYS) مدل سازی می شود.

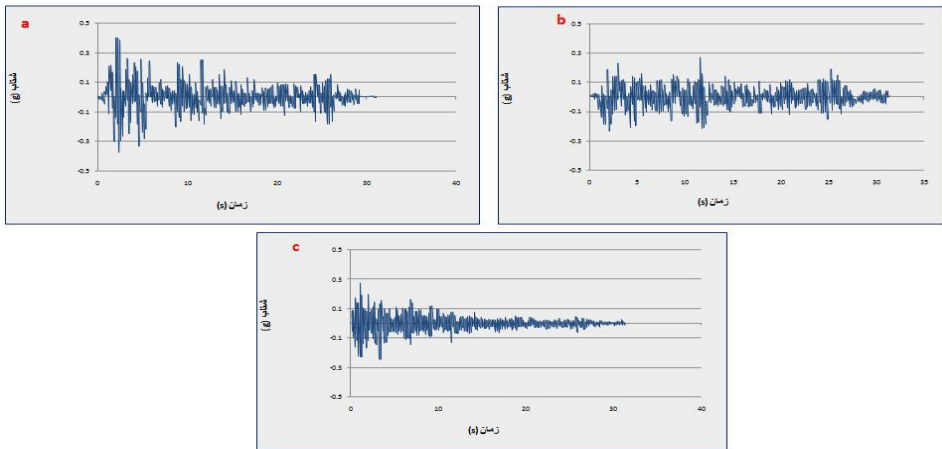
مولفه های طولی، عرضی و عمودی ثبت شده برای زمین لرزه ال سنترو (1940)، به عنوان برانگیختگی های اولیه ی سیستم مخزن و مایع استفاده می شوند. این مولفه ها به گونه ای مقیاس بندی می شوند که شتاب حداکثر زمین در جهت طولی $0.4g$ باشد، همانطور که در شکل نشان داده شده است.



شکل (۴): مدل المان محدود مخزن مستطیل شکل: (a) مدل مخزن عمیق دوبعدی (b) مدل مخزن عمیق سه بعدی (c) مدل

مخزن کم عمق دوبعدی (d) مدل مخزن کم عمق سه بعدی

لازم به ذکر است که مولفه های طولی و عرضی زمین لرزه ی عمود بر دیواره مخزن بلندتر و کوتاه تر، به طور همزمان در مدل سازی سه بعدی اعمال شده اند و به عنوان برانگیختگی افقی نامیده می شوند. علاوه بر این، هر دو شرایط مرزی صلب و انعطاف پذیر برای بررسی تاثیر انعطاف پذیری دیواره روی پاسخ لرزه ای مخازن مایع، از جمله هر دو مولفه ی ضربه ای و همرفتی، اعمال شده اند.



شکل (۵): مؤلفه های مقیاس بندی شده زلزله ی ال سنترو در سال ۱۹۴۰: (a) مؤلفه طولی (b) مؤلفه عرضی (c) مؤلفه قائم

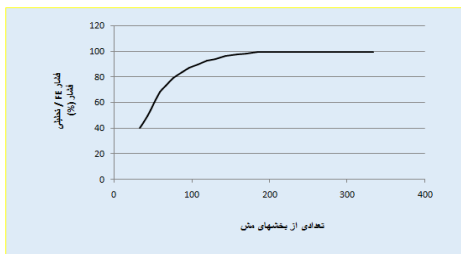
حساسیت مش و برآورد خطا

هدف تجزیه و تحلیل، محاسبه جواب دقیق فشار پایین به نام P_{EX} و سپس محاسبه مقدار آن با استفاده از FEM که P_{FE} است می باشد. عبارت P_{EX} تنها به تعریف مدل ریاضی و نه روش مورد استفاده برای یافتن یک جواب تقریبی بستگی دارد. بنابراین، به کیفیت مش، نوع و اندازه المان ها بستگی ندارد. به تفاوت بین P_{EX} و ویژگی فیزیکی که نشان می دهد، خطای مدل سازی نامیده می شود.

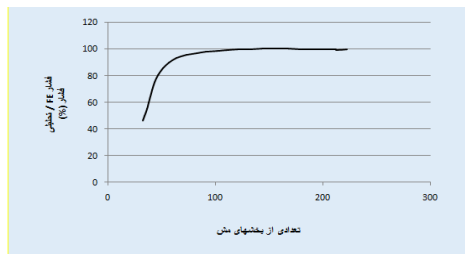
در نتیجه، خطای گسسته سازی به صورت زیر تعریف می شود:

$$e = \frac{(P_{EX}) - (P_{FE})}{(P_{EX})} \quad (5)$$

تغییرات نسبت فشار پایین FE به فشار تحلیلی، با تعداد تقسیم های مش، برای هر دو مدل مخزن کم عمق و عمیق صلب در شکل ۶ نشان داده شده است. مشخص شده است که خطاهای گسسته سازی، تحت حرکت زمین زلزله ای، به ترتیب برای مدل های مخزن کم عمق و عمیق پیشنهادی برابر با ۱,۶۶ و ۰,۰۳ درصد می باشند. این محدوده خطا برای تجزیه و تحلیل های عددی قابل قبول می باشند.



مدل مخزن کم‌جمعیت دو بعدی.



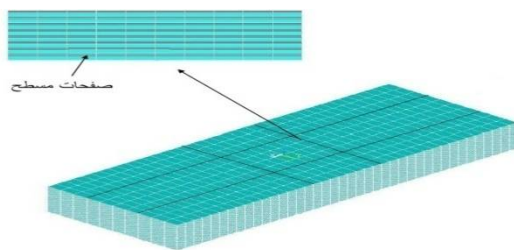
مدل مخزن عمیق دو بعدی.

شکل (۶): خطای گسسته سازی المان محدود

نتایج و بحث

مدل سازی عددی از صفحات تخته ای

در این تحقیق، از یک مدل FE برای شبیه سازی عملکرد صفحات تخته ای صلب در مخازن مایع استفاده شده است. برای این منظور، با آوردن صفحات صلب بیشتری به مدل FE صفحات تخته ای عمودی به صورت عددی مدل سازی شدند. نمایی شماتیک از این مدل عددی در شکل ۴-۱ ارائه شده است که در آن منشاء سیستم مختصات در مرکز سطح مایع قرار داده شده است. این حوزه مایع با استفاده از ۸۰۰ عناصر مایع خطی مدل سازی می شوند که قادر به شبیه سازی فشار مایع دینامیکی و حرکات سطح آزاد می باشند. هر عنصر دارای سه انتقال و یک فشار DOF در هر گره می باشد. درجات آزادی انتقالی در جهت عمود بر صفحات همراه با عناصر مایع در قسمت های ارتباطی برای بررسی اندرکنش میان مایع و صفحه می باشد. با تغییر دادن پهنای عمودی صفحات تخته ای، می توان به راحتی نسبت های استحکام مختلفی را بدست آورد که در شکل ۷ نشان داده شده است.

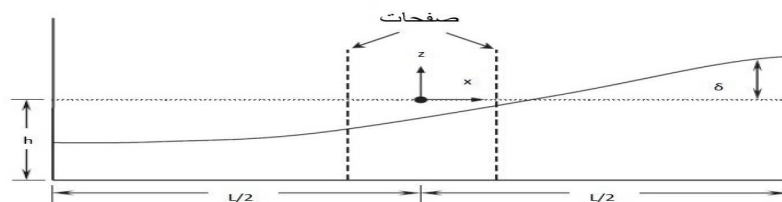


شکل (۷): مدل FE در صفحات تخته ای

برای آزمایش یک مخزن مستطیلی شکل با ابعاد زیر مورد بررسی قرار گرفته است:

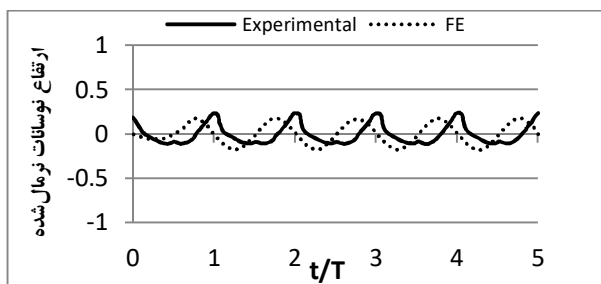
$$L=966\text{mm} \quad b=366\text{mm} \quad h=119\text{mm}$$

که در آن L طول مخزن، b عرض مخزن و h هم عمق آب می باشد. صفحات مسطح در فاصله $-0.1L$ و $0.1L$ از مرکز مخزن قرار گرفته اند همانطور که در شکل ۸ نشان داده شده است. نسبت استحکام هر صفحه برابر با $S=0.42$ می باشد. این مخزن بر روی یک میز تکان دهنده ای سوار شده است که در معرض یک تحریک سینوسی افقی قرار دارد.



شکل (۸): سیستم مختصات برای مدل مخزن مجهز شده به صفحات تخته ای (تایت و همکاران ۲۰۰۵)

پاسخ ارتفاعات تلاطم برای حرکت سطح آزاد، که با روش المان محدود محاسبه شده اند با نتایج آزمایشی بدست آمده با آزمایش میز لرزنده مقایسه شده است. نسبت فرکانس جابجایی هارمونیک پایه به فرکانس نوسانات مایع $1,01$ انتخاب شده است. تغییرات سطح آزاد در نزدیکی دیواره در وسط عرض مخزن در شکل ۹ برای مقدار A/L از $0,005$ که در آن دامنه جابجایی هارمونیک در پایه مخزن برای هر دو نتایج آزمایشی و FE است، رسم می شود. ارتفاع تلاطم و مقادیر زمان با توجه به ارتفاع مایع و مدت ارتعاشات پایه نرمال می باشند.



شکل (۹): مقایسه نتایج آزمایشات بدست آمده توسط تایت و همکاران (۲۰۰۵) با محاسبه تلاطمات FE نرمال شده برای مقادیر A/L از 0.005

برای این تحقیق، یک مدل مخزن مایع با ابعاد زیر که در ساختمان بلند قابل اجرا هستند انتخاب و به صورت عددی بررسی و برای بهره وری از صفحات مسطح در کاهش ارتفاع نوسانات تحت حرکات متفاوت زمین در نظر گرفته شده است:

$$L_x = 3mL_y = 6mH_t = 3m\rho_t = 1000 \text{ kg/m}^3$$

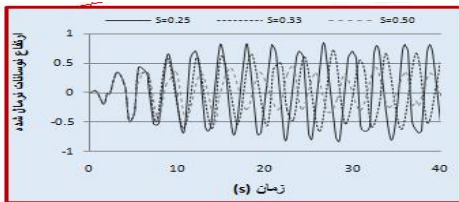
در این مورد، نسبت H_L/L_X برابر با ۱ است و از شرایط مرزی خطی شده برای محاسبه ارتفاع نوسانات استفاده می شود.

برای بررسی تاثیرات موقعیت صفحات تخته ای و نسبت استحکام روی پاسخ نوسانات، چهار پیکربندی متفاوت از صفحات تخته ای همانطور که در جدول ۱ نشان داده شده است در این تحقیق در نظر گرفته شده است. برای هر یک از پیکر بندی ها، از سه نسبت متفاوت استحکام ۰٫۲۵، ۰٫۳۳، و ۰٫۵۰ در تحلیل های FE استفاده شده است.

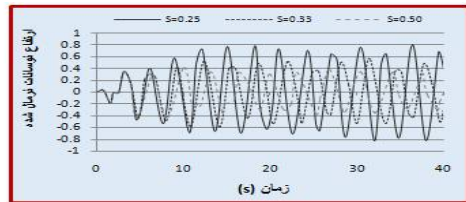
جدول (۱): پیکربندی صفحات تیغه ای مورد استفاده در تجزیه و تحلیل های عددی

محل صفحات	شماره پیکربندی
X=0 Y=0	1
X=-1,X=1 Y=-1,Y=1	2
X=-2,X=2 Y=-3,Y=3	3
X=-1,X=1 Y=-1,Y=1 X=-2,X=2 Y=-3,Y=3	4

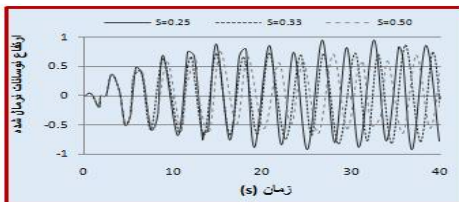
نمودارهای تاریخچه زمانی از ارتفاع تلاطم محاسبه شده در گوشه بالای مدل مایع ($x=y=3, z=0$) در شکل ۱۰ برای شتاب های زلزله ال سترو نشان داده شده است. این مقادیر تلاطم نرمال شده با توجه به حداکثر ارتفاع نوسانات در مخزن بدون صفحه می باشد.



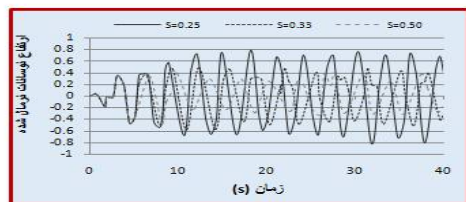
C1



C2



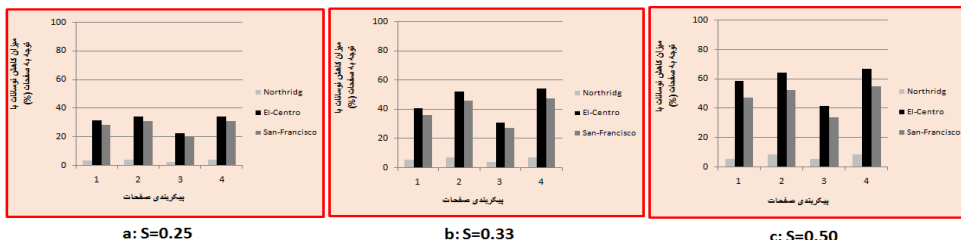
C3



C4

شکل (۱۰): مقایسه ای از ارتفاعات تلاطم نرمال شده برای پیکربندی های مختلف تحت زلزله ال سترو

همانطور که قبلا اشاره شد، پیکربندی های صفحه، به لحاظ نسبت استحکام و مکان ها، در این تحلیل ها متفاوت هستند. تغییر در پیکربندی های صفحه باعث تغییر در میرایی طبیعی شده که در ارتفاع نوسانات محاسبه شده تأثیر گذار است.



شکل (۱۱): مقدار کاهش تلاطم برای شکل های مختلفی از مخزن و شتاب های زلزله

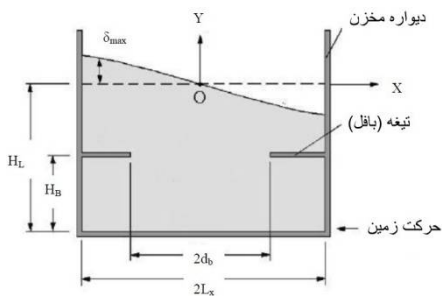
مدل سازی عددی از تیغه های افقی

شکل ۱۲ یک مخزن مستطیل شکل با یک جفت تیغه را نشان می دهد که در آن مایع با ارتفاع بیش از H_L از پایین مخزن در شرایط ثابت پر شده است. در این تحقیق، تیغه ها صلب فرض می شود. این فرضیه در تحقیقات انجام شده توسط چو و سانگ (۲۰۰۱) و چو و همکاران (۲۰۰۲) ثابت و تأیید شده است. بخش عمودی در مدل FE مربوطه در شکل ۴-۸ نشان داده شده است که در آن پارتیشن مش شامل ۶۰۰ عناصر مایع می باشد.

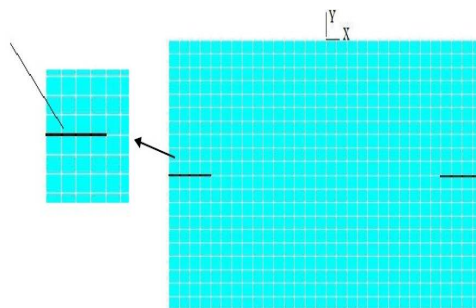
جدول (۲): پیکربندی تیغه های افقی مورد استفاده در تجزیه و تحلیل های عددی

شماره پیکربندی	d_B/L_X	H_B/H_L
۱	۰٫۷۵	۰٫۵۰
۲	۰٫۶۶	۰٫۵۰
۳	۰٫۵۰	۰٫۵۰
۴	۰٫۷۵	۰٫۷۵
۵	۰٫۶۶	۰٫۷۵
۶	۰٫۵۰	۰٫۷۵

همانطور که در شکل ۱۳ مشاهده می کنید تیغه ها با فاصله عمودی یکسان و با توجه به ارتفاع پر مایع نصب شده اند و وقوع تیغه با ضخامت صفر به صورت عددی با وارد کردن یک صفحه صلب اجرا می شود که به عناصر مایع در جهت Y متصل می شود.



شکل (۱۲): طرح کلی از تیغه‌های یک مخزن مستطیلی
شکل



شکل (۱۳): مدل FE از تیغه‌های افقی

تاثیر پهنای باز شده نسبی تیغه d_B/L_X روی پاسخ تلاطم در ارتفاع سطح آزاد تحت حرکات مختلف زمین در شکل ۱۴ برای $H_B/H_L=0.5$ و 0.75 به ترتیب ارائه شده است. نتایج تاریخیچه زمانی با توجه به هر حرکت زمین با در نظر گرفتن ارتفاع حداکثر تلاطم نرمال شده برای مدل مخزن مایع بدون تیغه‌ها محاسبه می‌شود. علاوه بر این، مقادیر کاهش حداکثر ارتفاع تلاطم در جدول ۳ ارائه شدند که می‌توانند به صورت بهره‌وری در تیغه‌ها تفسیر شوند.

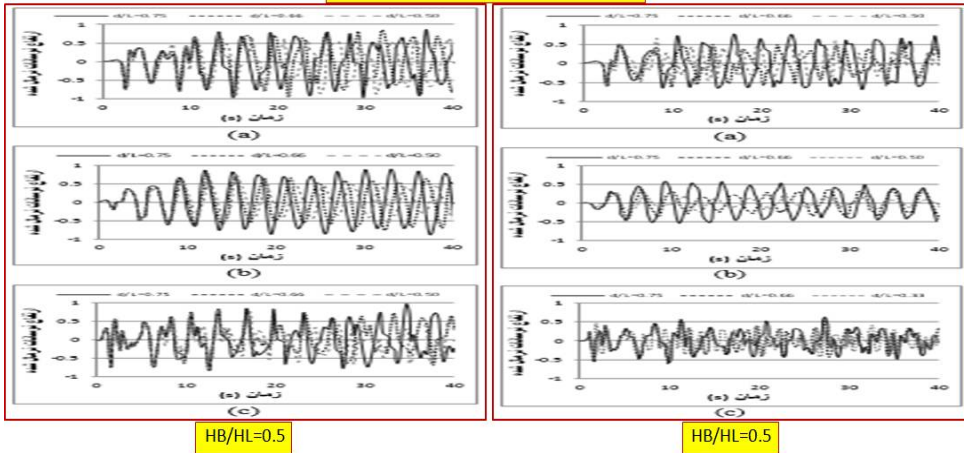
طبق تحلیل مدل‌های مخزن بدون تیغه، حداکثر ارتفاع‌های نوسانات به صورت $986, 550$ و 50 میلی‌متر تحت شتاب‌های زلزله‌ای نورثریدج، ال سنترو و سان فرناندو محاسبه می‌شوند. با ارائه تیغه‌ها، ارتفاع‌های نوسانات به دلیل وقوع گردابه در اطراف تیغه‌ها کاهش می‌یابد. این پدیده باعث سرکوب انرژی و پس از آن کاهش ارتفاع نوسانات مایع خواهد شد.

واضح است که با افزایش نسبت H_B/H_L از 0.5 به 0.75 ، حداکثر ارتفاع نوسانات برای تمام موارد کاهش می‌یابد. اما هنگامی که مخزن در معرض زمین لرزه نورثریدج قرار می‌گیرد، مقدار کاهش نوسانات با توجه به تغییرات در ارتفاع تیغه بیشتر قابل توجه است.

جدول (۳): میزان کاهش نوسانات برای شکل‌های مختلفی از تیغه‌ها و شتاب‌های زلزله‌ای

حداکثر کاهش ارتفاع تلاطم (%)				
سان فرانسسکو	ال سنترو	نورثریدج	H_B/H_L	d_B/L_X
4	13	2	0.50	0.75
19	22	4	0.50	0.66
30	41	16	0.50	0.50
39	42	25	0.75	0.75
51	59	36	0.75	0.66
52	70	40	0.75	0.50

(a) نورتریدج (b) ال سنترو (c) سان فرانسیسکو



شکل (۱۴): مقایسه ای از ارتفاعات تلاطم نرمال شده

به عنوان مثال، با مقایسه نتایج ارائه شده در جدول ۳ با نتایج نشان داده شده در شکل ۱۴ برای شتاب ال سنترو، مشخص شد که نسبت میرایی طبیعی در مایع حدود ۱۰ درصد به هنگام نصب شدن تیغه ها در $d_B/L_X=0.5$ و $H_B/H_L=0.75$ افزایش یافته است.

نتیجه گیری و پیشنهادات

بر اساس مطالعه روش المان محدود دقیق گزارش شده، نتیجه گیری های زیر استنباط شده اند:

- ۱) مقدار پاسخ های سازه ای ضربه ای بدست آمده از تحلیل تاریخچه زمانی به دلیل انعطاف پذیری دیواره های جانبی افزایش می یابد که در نتیجه باعث تقویت فشار دینامیکی در وسط دیوار می شود.
- ۲) استفاده از تحریک های عمودی نشان دهنده افزایش پاسخ همرفتی در سیستم می باشد. اما، این نمی تواند به طور قابل توجهی روی رفتار ضربه ای تاثیرگذار باشد.
- ۳) صفحات تخته ای و تیغه ها برای کاهش میزان ارتفاع تلاطم در مخازن مایع موثر می باشند. اما کارایی آنها بستگی زیادی به ویژگی های فرکانسی زلزله های اعمال شده دارد.

بر اساس اندرکنش خاک و سازه و سیال در تحقیقات آینده می تواند به شرح زیر مورد بررسی قرار گیرد:

- ۱) تاثیر رفتار تلاطم غیرخطی در پاسخ های دینامیکی باید در تحقیقات آینده مورد مطالعه قرار گیرد
- ۲) استفاده از صفحات تخته ای و تیغه ها در طراحی یک میراگیر مایع تنظیم شده موثر در ساختمان های بلند.
- ۳) بررسی رفتار غیرخطی در بتن مسلح شامل نوع ترک خوردگی و خرد شدن بتن و تسلیم میله های فولادی.
- ۴) برای شبیه سازی فشار نهایی روی سقف های مخزن به دلیل تاثیرات سطح آزاد تلاطم می توان مدل های مخزن اضافی با سقف های بالا را مورد تحقیق و مطالعه قرار داد.

- [1] ANSYS Inc. ANSYS help manual (Version 11.1), 2004. Global headquarters, Southpointe, 275Technology drive, Canonsburg, PA 15317.
- [2] Clough, R, and Penzien, J. 1993. Dynamics of structures. 2nd Edition, New York: McGraw-Hill,Inc.
- [3] Dutta, S.C., and Roy, R. 2002. A critical review on idealization and modeling for interactionamong soil-foundation-structure system. Computers and Structures. **80**: 1579-1594.
- [4] Foutch, D.H., Housner, G.W., and Jennings, P.C. 1975. Dynamic responses of six multistorybuildings during the San Fernando earthquake. Report No. EERL 75-02, California Institute ofTechnology
- [5] Haroun, M.A., and Housner, G.W. 1981. Earthquake response of deformable liquid storage tanks. Journal of Applied Mechanics, ASME, **48**: 411–418.
- [6] Kim, J.K., Koh, H.M., and Kwahk, I.J. 1996. Dynamic response of rectangular flexible fluid containers. ASCE Journal of Engineering Mechanics, **122**(9): 807–817.
- [7] Mirzabozorg, H., Khaloo, A.R., and Ghaemian, M. 2003. Staggered solution scheme for three dimensional analysis of dam reservoir interaction. Dam Engineering, **14**(3): 147–179.
- [8] Noji T, Yoshida H, Tatsumi E, Kosaka H, Hagiuda H., 1988. Study on vibration control damper utilizing sloshing of water. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. **37**:557– 66.
- [9] Seed, H.B., and Lysmer, J., 1975. Soil-structure interaction analysis for seismic response. ASCE Journal of Geotechnical Engineering, **102**(6): 439-457.
- [10] Sung, T.Y., 1953. Vibrations in semi-infinite solids due to periodic surface loading. ASTM STP. **156**: 35-68.
- [11] Tait, M.J., El Damatty, A.A., Isyumov N. and Siddique M.R., 2005. Numerical flow models to simulate tuned liquid dampers (TLD) with slat screens. Journal of Fluids and Structures. **20**(8): 1007-1023.
- [12] Veletsos, A.S., and Shivakumar, P. 1997. Tanks containing liquid or solids. A handbook in computer analysis and design of earthquake resistant structures. Computational mechanical publications: 725-774.
- [13] Virella, J.C., Prato, C.A. and Godoy L.A. 2008. Linear and nonlinear 2D finite element analysis of sloshing modes and pressure in rectangular tanks subjected to horizontal harmonic motions. Journal of Sound and Vibration, **312**(3): 442-460.
- [14] Wolf J.P., and Song C.H. 1996. Finite element modeling of unbounded media. The 11th world conference on earthquake eng, San Francisco1996:70:1-9.
- [15] Zienkiewicz, O. C., 1977. The Finite Element Method, McGraw-Hill Company, London.