بررسی عملکرد لرزه ای مخازن استوانه‌ای نگهداری مایعات مجهز به تیغه های میراگر محیطی چندگانه

جابر آخرتی[1]، محمد رضا شکاری*و[2]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران، واحد تفت، دانشگاه آزاد اسلامی، تفت، ایران.

۲- دانشیار دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی عمران، مرکز آموزش عالی استهبان- دانشگاه شیراز، استهبان، ایران

shekari.2291@gmail.com (نویسنده مسئول)

چکیده

مخازن ذخیره سیال از اجزاء بسیار مهم در شبکه های آبرسانی به حساب می آیند و از این حیث جزو سازه های با درجه اهمیت بالا محسوب می شوند. وسعت احداث مخازن استوانه‌ای نگهداری مایع به عنوان یکی از مهمترین سازه های تأمین کننده آب بهداشتی شهرها، و ضعف آنها در برابر زمین لرزه، اهتمام بر تحقیق راجع به روش‌های نوین کنترل غیر فعال این سازه‌ها را ضرورت می بخشد. با توجه به آسیب های وارده از طرف زمین لرزه‌های گذشته بر مخازن، بررسی عملکرد لرزه‌ای این سازه‌ها و ارائه الگوی طراحی مقاومتر در برابر زمین لرزه ها ضروری می باشد. محققان زیادی از گذشته تا کنون بر روی جنبه‌های مختلف رفتار مخازن تحقیق نموده‌اند اما در حال حاضر جنبه‌های گسترده‌ای از رفتار مخازن خصوصا رفتار ارتعاشی آنها ناشناخته می باشد. در این تحقیق به بررسی تأثیر پره‌های میراگر محیطی بر امواج سطحی آب مخازن تحت زمین لرزه های مختلف می پردازیم. برای این منظور از دو نوع مخزن عریض و بلند با نسبت ارتفاع به قطرهای 1.5, 0.5 استفاده شده است که این مخازن تحت تحلیل دینامیکی توسط سه شتاب نگاشت قرار گرفته اند. برای تحلیل مسئله از روش المان های محدود به کمک نرم افزار المان محدود آباکوس با روش مدل سازی مستقیم استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد، با توجه به اینکه پاسخ دینامیکی سیستم مخزن- آب بشدت به محتوای فرکانسی زلزله وابسته است، لازم است برای طراحی چنین سیستم هایی اطلاعات شتاب واقعی زمین در سایت مورد نظر استخراج شده و براساس زلزله واقعی، سازه مخزن طراحی گردد.

کلمات کلیدی: مخزن ذخیره سیال، تحلیل دینامیکی حوزه زمان، روش المانهای محدود، اندرکنش سیال- سازه

۱. مقدمه

مخازن ذخیره سیال از اجزاء بسیار مهم و حیاتی در صنایع به حساب می آیند. از مخازن به صورت گسترده برای ذخیره سازی و نگهداری سیالات در صنایع پتروشیمی و همچنین نگهداری انواع سیالات در صنایع مختلف استفاده می-

شود. در مواردی نیز این مخازن از تجهیزات اصلی تأمین آب شرب شهرها می‌باشند، لذا باید به این نکته توجه نمود که آسیب هایی که به مخازن ذخیره سیال وارد می‌شوند می‌توانند زیان‌هایی به مراتب وسیع‌تر از هزینه های مالی در بر داشته باشند. لیو در سال ۱۹۸۱ در پژوهش خود به تشریح روش المان محدود به همراه در نظر گرفتن اندرکنش بین سیال و سازه پرداخت. وی تعریف لاگرانژی را برای حالاتی مناسب دانست که در آن سطوح مشترک و مرز های آزاد مهم اند و برای حالاتی که سیال جابجایی های بزرگی تحمل میکند مناسب نیست [۱]. گدیکلی و اورگون نیز طی تحقیقی در سال ۱۳۹۹ به بررسی تاثیر پره های صلب بر پاسخ لرزه ای مایعات در مخازن صلب پرداخته اند. در این تحقیق حرکت سیال غیر چرخشی، و سیال تراکم ناپذیر و غیرلزج فرض گردیده است. پاسخ ها با استفاده از روش المان مرزی برای ارزیابی مودهای طبیعی بدست آمده است و همچنین شرایط سطح آزاد مایعات خطی در نظر گرفته شده است. آنها عنوان کردند که پره های میراگر باعث کاهش تلاطم امواج و همچنین موجب سختی دیوار مخزن می‌گردد [۲]. شکاری و همکارانش در سال ۲۰۱۰ در یک مقاله به بررسی رفتار لرزه‌ای مخازن روزمینی فولادی جداسازی شده پرداختند، و مشاهده نمودند که از روش های مؤثر در کم کردن اثرات زمین لرزه بر مخازن استفاده از سیستم های جداساز است اما در طرح این سیستم ها برای مخازن به دلیل اثر اندرکنش سیال و مخزن باید دقت بالایی نمود [۳]. عرب و خاجی در سال ۱۳۹۰ در پژوهشی تأثیر تیغه های میراگر حلقوی شکل، که در ارتفاع معینی از کف مخازن زمینی استوانه ای نصب شده است را بررسی نمودند و، با در نظر گرفتن معادله لاپلاس به عنوان معادله حاکم بر رفتار سیال و با استفاده از روش المان مرزی، آنالیز مخزن صلب در قلمرو فرکانس و زمان انجام شده است [۴].

وسعت ساخت مخازن نگهداری سیال به عنوان یکی از مهم‌ترین سازه‌های تأمین‌کننده آب بهداشتی شهرها و ضعف آن‌ها در برابر زلزله، ضرورت بررسی روش‌های نوین کنترل غیرفعال این سازه‌ها را برجسته می‌نماید. از سویی در این سازه‌ها قسمت اعظم جرم در فاصله نسبتاً بالایی از پایه قرار می‌گیرد و لذا بررسی راندمان این سازه‌ها تحت اثر نیروهای جانبی، به جهت تأمین امنیت و حفظ پایداری از اهمیت شایان ذکری برخوردار است.

آلکیدز و همکارانش در سال ۲۰۱۳ در یک تحقیق آزمایشگاهی نوسانات مایع در یک مخزن استوانه ای با پره هایی با شعاع داخلی و ترازهای مختلف تحت حرکت چرخشی را مورد بررسی قرارداده اند. هدف اصلی این آزمایش ها بررسی اثربخشی نسبی ترتیبات مختلف پره و ارائه داده‌ها از این آزمایش برای تایید مدل‌های عددی و توصیه یک آرایش عملی برای پره‌ها بوده است [۵].

لیواغلو و همکاران با در نظرگیری طیف وسیعی از خصوصیات مکانیکی خاک به بررسی اثرات پی مدفون بر رفتار لرزه‌ای مخازن نگهداری مایعات آب پرداختند. آنها از تکنیک اجزاء محدود برای مدل‌سازی سیستم استفاده کرده و نشان دادند که تغییر مکان سقف مخزن ارتباط تنگاتنگی با سختی خاک زیر پی دارد. آنها همچنین روابط تحلیلی ساده شده برای چنین سازه هایی با درنظرگیری اثر اندرکنش آب- سازه و خاک ارائه نمودند [۶و۷].

شکاری و همکاران در سال ۲۰۱۸ با استفاده از روش ترکیبی اجزاء محدود-اجزاء مرزی به شبیه سازی سه بعدی رفتار ارتعاشی مخازن جداسازی شده با در نظر گرفتن اثرات اندرکنش آب- سازه- خاک پرداختند که در تحقیق آنها اثر همزمان محتوای فرکانسی زلزله و سیستم جداگر با در نظر گرفتن چند نوع شتابنگاشت و انواع مختلف خاک مورد مطالعه پارامتریک قرار گرفته است. در واقع تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی مورد مطالعه تحت تأثیر تحریک افقی پایه و بدون در نظر گرفتن تحریک عمودی صورت گرفته است [۸].

پدیده تلاطم امواج سطحی زمانی رخ می دهد که مخزنی که بصورت جزئی از سیال پر شده است، تحت نیروهای خارجی پایا و یا گذرا قرار گیرد. در این حالت، سطح آزاد مایع تهییج شده و به دیواره‌های مخزن نیرو وارد کرده و با دیواره مخزن تبادل نیرو می‌نماید. این نیروها ممکن است باعث ایجاد مشکلاتی مانند اختلال در عملکرد سازه های متحرک گردد. کیلداشت و همکارانش در یک تحقیق بر روی مخزن مبنا، به بررسی تأثیر گیرداری پایه مخزن در پاسخ لرزه ای آن مبادرت نمودند [۹].

ونگ و همکارانش نیز در یک مطالعه تحلیلی به بررسی رفتار سیال متلاطم در یک مخزن استوانه‌ای مجهز به تیغه‌های میراگر چند لایه پرداختند. آنها در بررسی خود به این نتیجه رسیدند که تغییرات عرض تیغه ها می تواند نقش بسزایی در پاسخ لرزه ای مخزن داشته باشد [۱۰].

۲. شرح مدل سازی عددی و معادلات حرکت دینامیکی

یکی از پرکاربردترین نرم افزار در زمینه انجام آنالیزهای اجزای محدود ، نرم افزار آباکوس است. این نرم افزار در سال ۱۹۸۷ ایجاد شد ، در ابتدا برای کاربرد در انرژی هسته ای و مهندسی حفاری طراحی شده بود چرا که مهندسین در این شاخه ها به ابزاری برای مطالعه مسائل پیچیده و غیرخطی نیاز داشتند. از آنجا که این نرم افزار براساس مسائل غیرخطی بناگذاری شده توانایی بالایی جهت شبیه سازی جهان واقعی دارد. این نرم افزار به کاربر قابلیت مدل کردن پیچیده ترین پدیده‌ها را با در نظر گرفتن اثرات بسیار ظریف ارائه می کند. بدین ترتیب با توسعه دامنه وسیع صنایع در سالهای ۱۹۸۰ به بعد این نرم افزار به عنوان نرم افزار منتخب در میان سایر نرم افزارها جایگاه ویژه ای یافت. نظر به اینکه آباکوس یک ابزار مدل‌سازی عمومی و گسترده می باشد، استفاده از آن تنها محدود به تحلیل های مکانیک جامدات و سازه) تنش – تغییرمکان نمی شود. با استفاده از این نرم افزار می توان مسایل مختلفی نظیر انتقال حرارت ، نفوذ جرم ، تحلیل حرارتی اجزا الکتریکی، اکوستیک، مکا نیک خاک و پیزو الکتریک را مورد مطالعه قرار داد.

استفاده از نرم افزار آباکوس با وجود اینکه مجموعه قابلیتهای بسیار گسترده ای را در اختیار کاربر قرار می دهد، کار نسبتا ساده‌ای می باشد. پیچیده ترین مسایل را می توان به آسانی مدل کرد. به عنوان مثال سازه های شامل بیش از یک عضو را میتوان با ایجاد مدل هندسی هر جز و سپس نسبت دادن رفتار ماده مربوط به هر جز و سپس مونتاژ اجزا مختلف مدل کرد. در اغلب مدل سازی ها ، حتی مدلهای با درجه غیرخطی بالا ، کاربر می‌بایست تنها داده های مهندسی نظیر هندسه مساله، رفتار ماده مربوط به آن، شرایط مرزی و بارگذاری آن مساله را تعیین کند. در یک تحلیل غیرخطی، آباکوس به طور اتوماتیک میزان نمو بار و تلرانس های همگرایی را انتخاب و همچنین در طول تحلیل مقادیر آنها را جهت دستیابی به یک جواب صحیح تعدیل می کند. در نتیجه کاربر بندرت می بایست مقادیر پارامترهای کنترلی حل عددی مساله راتعیین کند.

برای مطالعه تحلیل ضربه هیدرودینامیکی ناشی از ارتعاش سیال تحت اثر تحریک زلزله فرضیات زیر بکار می روند:

- سیال ایده ال و همگن فرض می‌شود.
- از ویسکوزیته سیال صرفنظر می‌شود.
- دامنه امواج کوچک فرض می‌شود.
- عدد رینولدز کوچک فرض می‌شود (چشم پوشی از اثرات آشفتگی در جریان سیال)
- فرض می‌شود که میدان سیال غیر چرخشی است و پدیده جدایی اتفاق نمی افتد [9].

همانگونه که در مقدمه تحقیق ذکر شد، برای مدل‌سازی مسئله از روش اجراء محدود استفاده شده است. بدین ترتیب پوسته مخزن را بصورت SOLID و مایع را از روش لاگرانژی استفاده شده است، که مجهول تغییر مکان گرهی در محیط سازه و مایع بوده و به سرگذشت یک ذره در متقارن « معادلات مختصاتی » طول زمان پرداخته و دستگاه تشکیل می-دهد.

در این پژوهش از روش تحلیل دینامیکی صریح* استفاده شده است که در ادامه به اختصار توضیح داده می شود. کاربرد روش دینامیکی صریح برای مدل‌های بزرگ با بازه‌های محاسباتی کوچک مقتضی است و همچنین مدل‌هایی که در آن ها ناپیوستگی و اندرکنش‌های زیادی وجود دارد و تحلیل آنها با روش های دیگر محاسباتی مشکل می باشد. در این روش

[1] Dynamic Explicit Analysis

امکان تعریف سطوح مشترک کلی و گسترده در مرز مصالح وجود دارد. همچنین این روش تحلیلی می تواند از تئوری تغییر شکل های بزرگ* بهره گیری کند (مدل می تواند جابجایی، تغییر شکل و چرخش های بزرگ را تحمل کند). در تحلیل دینامیکی صریح تعداد زیادی از گام های زمانی بسیار کوچک به کار گرفته می شوند. هر کدام از این گام های زمانی در مقایسه با گام های زمانی تعریف شده در سایر روش های محاسباتی مانند رویه تحلیل ارتعاشی انتگرال گیری مستقیم ارزش بالایی ندارند زیرا نیازی به حل یک مجموعه از معادلات همزمان وجود ندارد. در این روش معادلات تعادل دینامیکی در ابتدای هر بازه زمانی برقرار می شوند. شتاب هایی که در لحظه t محاسبه می شوند برای محاسبه سرعت در لحظه $t + \frac{\Delta t}{2}$ و همچنین جابجایی در لحظه $t + \Delta t$ به کار برده می شوند.

در خصوص معادلات حرکت دینامیکی، اگر فرض شود سیستم با فرکانس بار گذاری ω در حال نوسان است :

$$\overline{\mathbf{F}} = \mathbf{F}.e^{i\omega t} \quad (۱)$$

$$\overline{\mathbf{a}} = \mathbf{a}.e^{i\omega t} \quad (۲)$$

$$\dot{\overline{\mathbf{a}}} = i\omega\mathbf{a}.e^{i\omega t} \quad \& \quad \ddot{\overline{\mathbf{a}}} = -\omega^2\mathbf{a}e^{i\omega t} \quad (۳)$$

با جایگذاری ترکیب معادلات بالا خواهیم داشت :

$$\left(-\mathbf{M}_s\omega^2\mathbf{a} + \mathbf{C}_s i\omega\mathbf{a} + \mathbf{K}_s\mathbf{a}\right)e^{i\omega t} = \mathbf{F}.e^{i\omega t} \quad (۴)$$

$$\left(-\mathbf{M}_s\omega^2 + \mathbf{C}_s i\omega + \mathbf{K}_s\right)\mathbf{a} = \mathbf{F} \quad (۵)$$

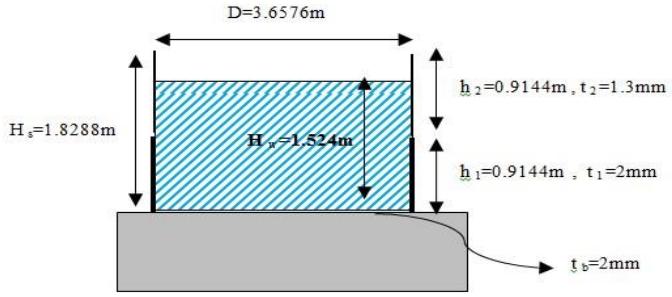
که در آن $\mathbf{F}$ بردار نیروهای خارجی وارده بر سازه سد است که شامل دو مؤلفه فشار هیدرودینامیک آب بر مخزن و نیروی ناشی از اثر زلزله بر سازه است :

$$\mathbf{F} = \mathbf{M}\omega^2\overline{\mathbf{u}}_g \quad \& \quad \mathbf{M} = \mathbf{M}_f + \mathbf{M}_s \quad (۶)$$

که در آن $\overline{\mathbf{u}}_g$ بردار تغییر مکان زمین در حوزه فرکانس می باشد [۱۱].

۳. بررسی و بحث بر نتایج

در شکل (۱) شمایی از مدل سازی عددی مخزن مورد مطالعه نشان داده شده است.



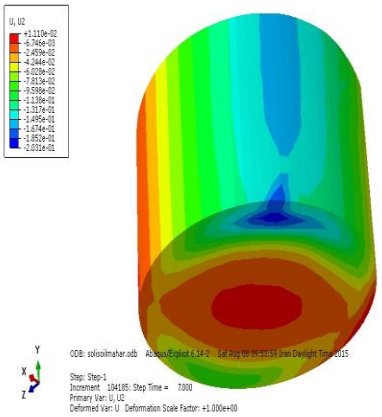
شکل ۱- شمایی از مدل مخزن موزد مطالعه

مصالح دیواره و کف مخزن از آلومینوم با مدول الاستیک ۶۰ گیگاپاسکال بوده و مایع درون مخزن آب با جرم واحد حجم

[2] Larg-Deformation Theory

۱۰۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب می باشد در ضمن از مصالح خاکی برای مدل سازی پی صلب استفاده شده است. پریود تکان های نوسانی برای پی صلب ۰/۲۴ است. به طور کلی هر تحلیل اجزا محدود شامل سه مرحله است: پیش پردازش، حل مساله و پس پردازش، که در همه نرم افزار های اجزا محدود این سه مرحله اصلی انجام می شود و تنها تفاوت آنها در نحوه انجام آن است.

در شکل (۲) نیز شمایی از مدل مخزن در نرم افزار آباکوس نشان داده شده است.



شکل ۲- مدل مخزن در نرم افزار آباکوس

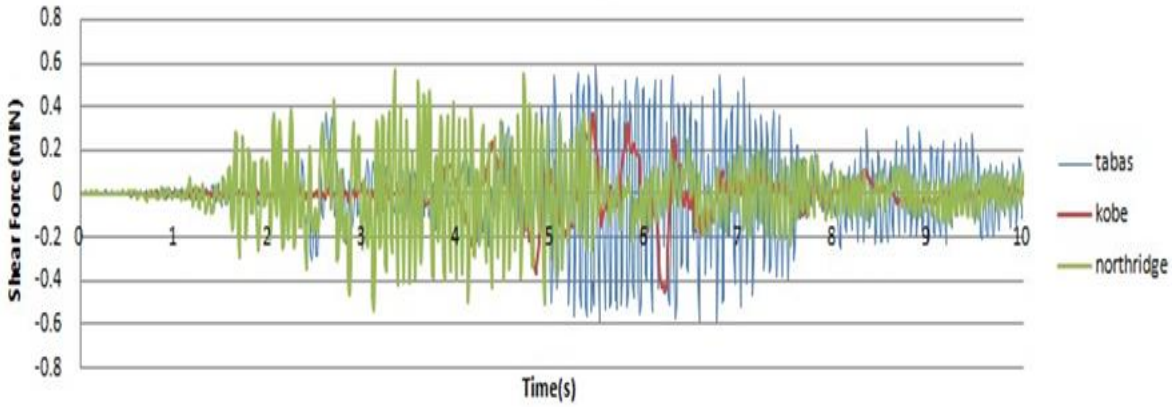
در شکل (۲) نیز شمایی از مدل مخزن در نرم افزار آباکوس نشان داده شده است. شتاب نگاشت ها متعلق به زلزله هایی باشند که شرایط زلزله طرح را ارضا کنند و در آنها آثار بزرگا، فاصله ازگسل و سازو کار چشمه لرزه زا در نظر گرفته شود. در جدول (۱) مشخصات شتاب نگاشتهای مورد تحلیل نشان داده شده اند.

جدول ۱- شتاب نگاشت های مورد مطالعه

شماره	نام زمین لرزه	تاریخ وقوع	مقیاس (ریشتر)	بیشینه شتاب افقی (g)	پریود اصلی (sec)	ایستگاه
1	کوبه	1995	7.3	0.693	0.784	0 Takarazuka
2	نورثریج	1994	6.6	0.344	0.541	Arleta - 24087 Nordhoff Fire Sta
3	طبس	1357	7.7	0.852	0.471	Tabas 9101

جهت بررسی یک فرآیند با استفاده از روش المان محدود بایستی به این نکته توجه نمود که ابتدا باید اجزاء مساله را به قطعات ریزی به نام المان تقسیم نمود که در نهایت با استفاده از حل معادلات مختلف بر روی گره‌های این المانها، پارامترهای مورد نیاز در تمامی قطعات مونتاژ شده بدست می‌آید. پس از انجام مدل‌سازی، مخزن در هر حالت تحت بار ناشی از زلزله قرار گرفت. در ادامه تاثیر شتاب زلزله های منتخب بر روی پارامترهای مخازن نشان داده شده است.

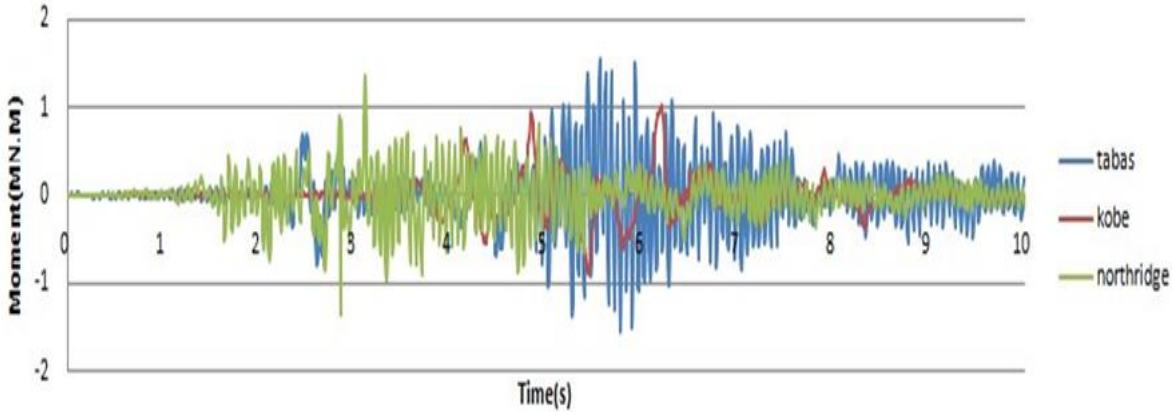
در شکل (۳) تاریخچه زمانی تغییرات برش پایه برای مخزن مدل عریض تحت تأثیر شتاب های مختلف زمین به عنوان ورودی نمایش داده شده است.



شکل ۳- تغییرات برش پایه در مخرن عریض

با توجه به نتایج کمی شکل می توان دریافت، مخزن عریض تحت تأثیر زلزله طبس دارای پاسخ های به مراتب شدیدی بوده است.

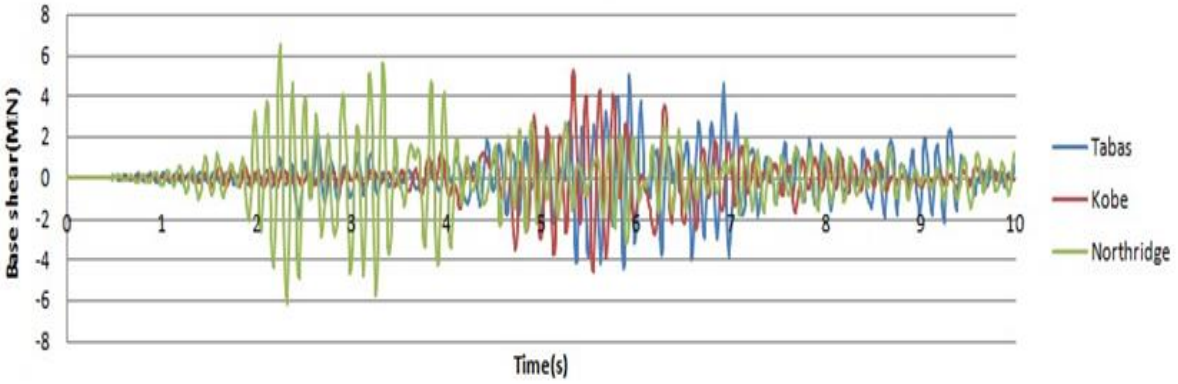
در ادامه در شکل (۴) تاریخچه زمانی تغییرات لنگر واژگونی برای مخزن مدل ذکر شده تحت تأثیر شتاب های مختلف زمین به عنوان تابع ورودی نمایش داده شده است.



شکل ۴- تغییرات لنگر واژگونی در مخرن عریض

با توجه به نتایج کمی مشخص است که، مخزن عریض تحت تأثیر زلزله طبس دارای پاسخ های به مراتب شدیدی نسبت به سایر شتاب نگاشت ها بوده است.

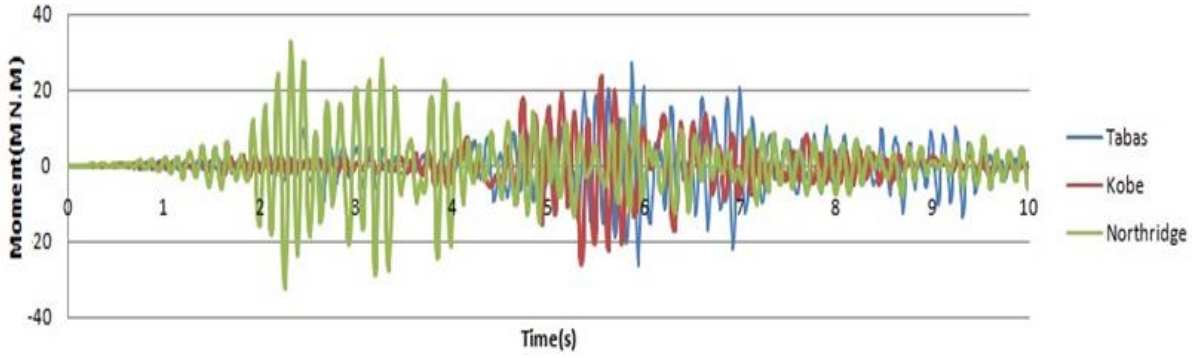
برابر با آنالیزهای انجام شده در خصوص مخزن عریض، بخشی از آنالیزهای حوزه زمان نیز به مخازن بلند اختصاص پیدا کرده است. در شکل (۵) تحلیل حوزه زمان تغییرات لنگر واژگونی برای مخزن مدل بلند تحت تأثیر شتاب های مختلف زمین به عنوان ورودی نمایش داده شده است. البته بایستی در پدیده شناسی مسائا ذکر شده در خصوص پاسخ برش پایه و لنگر واژگونی به این نکته توجه نمود که، اساساً پاسخ دینامیکی سازه مخزن در تماس با آب بشدت به محتوای فرکانسی زلزله وابسته است.



شکل ۵- تغییرات برش پایه در مخزن بلند

با توجه به نتایج کمی شکل می توان دریافت، مخزن بلند تحت تأثیر زلزله نورثریج دارای پاسخ های به مراتب شدیدی نسبت به سایر زلزله ها بوده است.

در ادامه تحلیل های حوزه زمان، در شکل (۶) تاریخچه زمانی تغییرات لنگر واژگونی برای مخزن مدل فوق تحت تأثیر شتاب های مختلف زمین به عنوان تابع ورودی نمایش داده شده است.

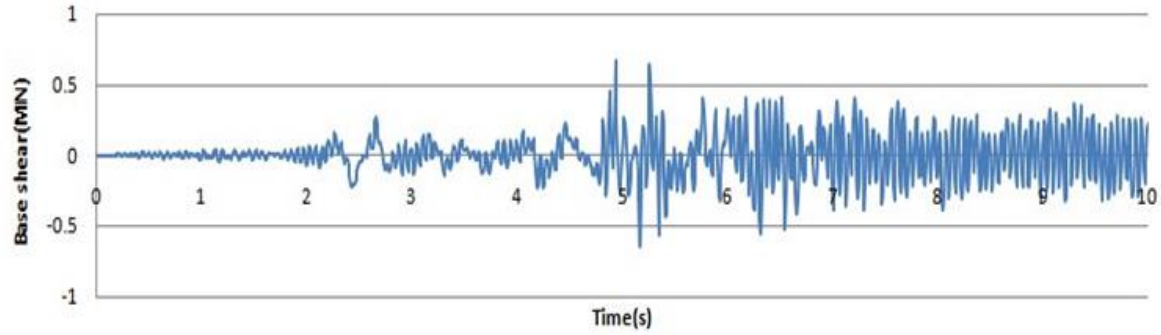


شکل ۶- تغییرات لنگر واژگونی در مخزن بلند

همانطور که از نتایج پیداست، مخزن بلند تحت تأثیر زلزله نورثریج دارای پاسخ های به مراتب حاوی دامنه بلندتری نسبت به سایر شتاب نگاشت ها بوده است. براساس نتایج تحلیل حوزه زمان، زمان رخداد بیشینه پاسخ مخزن الزاماً با زمان رخداد بیشینه شتاب زمین تطابق ندارد، بنابراین رخداد پدیده آسیب به بدنه مخزن بسیار به محتوای فرکانسی شتاب زمین ارتباط دارد. از طرفی نتایج نشان داد، ممکن است مخزن عریض تحت یک زلزله دارای پاسخ ها با دامنه نوسان کم باشد، ولی همان مخزن در حالت هندسه بلند و تحت اثر زلزله مشابه دارای نوسانات شدید پاسخی شود.

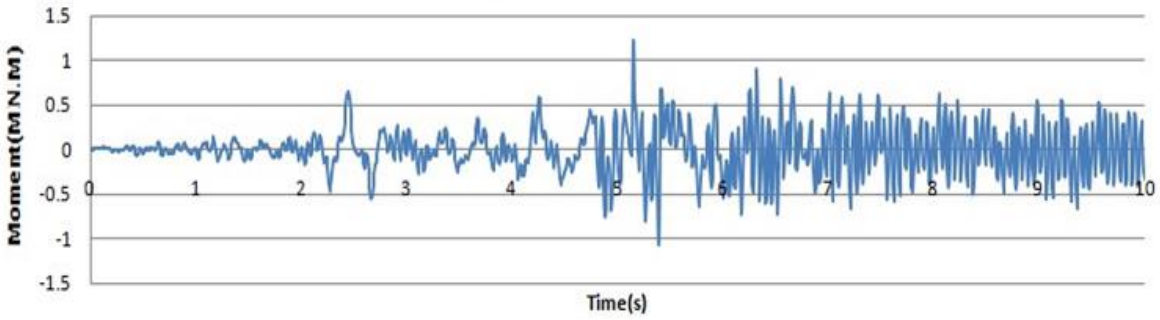
در ادامه تحلیل ها، در شکل (۷) تحلیل حوزه زمان تغییرات برش پایه برای مخزن مدل عریض حاوی تیغه میراگر تحت تأثیر شتاب زلزله طبس به عنوان تابع ورودی نشان داده شده است. با مقایسه نتایج می توان دریافت که، مخزن عریض دارای تیغه تحت تأثیر زلزله طبس دارای پاسخ های به مراتب بیشتری نسبت به مدل مخزن ساده بوده است. تیغه های میراگر به عنوان یکی از ابزارهای کنترل غیرفعال با هدف کاهش تاثیر نوسانات مایع درون مخزن بر پاسخ مخازن ذخیره

سیال مورد استفاده می باشد .



شکل ۷- تغییرات برش پایه در مخزن عریض حاوی تیغه میراگر

در ادامه در شکل (۸) تحلیل تاریخچه زمانی تغییرات لنگر واژگونی برای مخزن مدل عریض حاوی تیغه میراگر تحت تأثیر شتاب زلزله طبس به عنوان تابع ورودی نشان داده شده است. با مقایسه نتایج می توان دریافت که، مخزن عریض دارای تیغه تحت تأثیر زلزله طبس دارای پاسخ های به مراتب کمتری نسبت به مدل مخزن ساده بوده است. از اینرو تیغه میراگر در کاهش لنگر واژگونی دارای عملکرد موفقی بوده است.

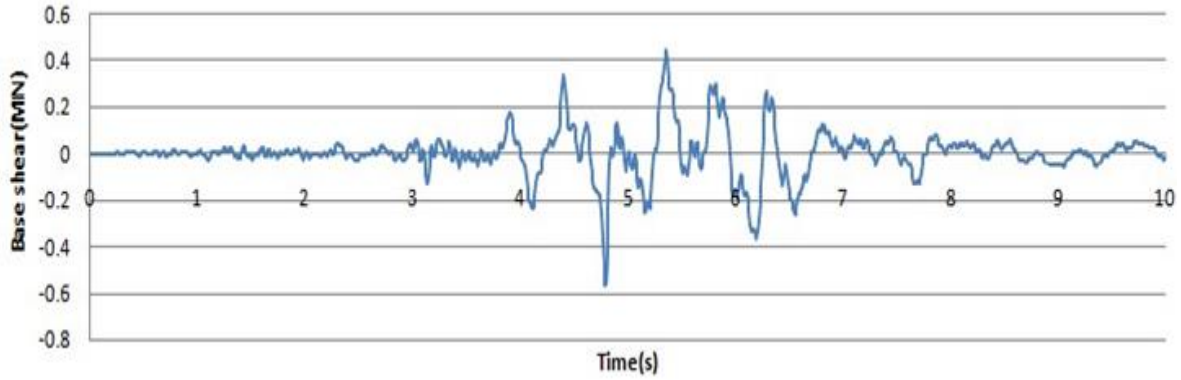


شکل ۸- تغییرات لنگر واژگونی پایه در مخزن عریض حاوی تیغه میراگر

در واقع با نصب پره های درون مخزن برش پایه ناشی از شتاب زلزله طبس تاحدی افزایش پیدا کرده و البته لنگر روند کاهشی دارد. در توضیح این پدیده‌ها، میتوان گفت که استفاده از تیغه درونی مخزن اغلب منجر به افزایش فشار ضربه ای درون سازه می شود که این امر در نهایت باعث افزایش برش پایه و تقلیل لنگر واژگونی می شود. به طور قاطع نمی توان گفت که لنگر واژگونی صرفاً به دلیل کاهش فشار هیدرودینامیک در ارتفاع بالاتر در جداره است؛ لیکن ممکن است مقداری از تقلیل لنگر واژگونی ناشی از لنگر معکوسی باشد که به پره درونی مخزن اعمال می شود.

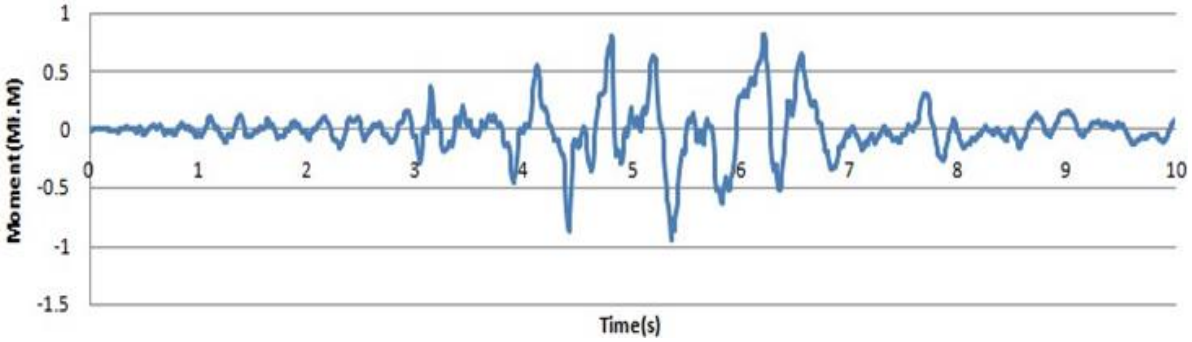
در ادامه آنالیز دینامیکی، در شکل (۹) تحلیل حوزه زمان تغییرات برش پایه برای مخزن مدل عریض حاوی تیغه میراگر تحت تأثیر شتاب زلزله کوبه به عنوان تابع ورودی نشان داده شده است. با مقایسه نتایج می توان دریافت که، مخزن عریض دارای تیغه تحت تأثیر زلزله کوبه دارای پاسخ های به مراتب بیشتری نسبت به مدل مخزن ساده بوده است.

البته ذکر این نکته ضروری است که، با عنایت به اینکه پاسخ دینامیکی سیستم مخزن- آب بشدت به محتوای فرکانسی زلزله وابسته است، لازم است برای طراحی چنین سیستم هایی اطلاعات شتاب واقعی زمین در سایت مورد نظر استخراج شده و براساس زلزله واقعی، سازه مخزن طراحی گردد.



شکل ۹- تغییرات برش پایه در مخزن عریض حاوی تیغه میراگر

در ادامه در شکل (۱۰) تحلیل تاریخچه زمانی تغییرات لنگر واژگونی برای مخزن مدل عریض حاوی تیغه میراگر تحت تأثیر شتاب زلزله کوبه به عنوان شتاب ورودی نشان داده شده است. با مقایسه نتایج می توان دریافت که، مخزن عریض دارای تیغه تحت تأثیر زلزله کوبه نیز دارای پاسخ های به مراتب کمتری نسبت به مدل مخزن ساده بوده است. از اینرو تیغه میراگر در کاهش لنگر واژگونی دارای عملکرد قابل قبولی بوده است.



شکل ۱۰- تغییرات لنگر واژگونی پایه در مخزن عریض حاوی تیغه میراگر

۴. نتیجه گیری

در این تحقیق، تأثیر تیغه های میراگر درون مخزن نگهداری مایع در بهبود عملکرد لرزه‌ای سازه مهارشده بررسی شده است. برای این هدف از دو نوع مخزن عریض و بلند با نسبت ارتفاع به قطرهای 1.5, 0.5 استفاده شده است که این سازه‌ها تحت تحلیل دینامیکی توسط سه شتاب نگاشت قرار گرفته اند. جهت مدل‌سازی این مسئله از نرم‌افزار المان محدود آباکوس استفاده شد. طبق نتایج به دست آمده در این مطالعه، تیغه های میراگر، تأثیر قابل توجهی بر پاسخ دینامیکی کل سیستم در قالب برش پایه و لنگر واژگونی دارد. نتایج نشان داد، با توجه به اینکه پاسخ دینامیکی سیستم مخزن- آب بشدت به محتوای فرکانسی زلزله وابسته است، لازم است برای طراحی چنین سیستم هایی اطلاعات شتاب واقعی زمین در سایت مورد نظر استخراج شده و براساس زلزله رخداده در سایت مورد نظر، سازه مخزن طراحی شود. همچنین، در واقع با نصب پره های درون مخزن برش پایه ناشی از شتاب های مورد استفاده تاحدی افزایش پیدا کرده و

البته لنگر روند کاهشی دارد. در توضیح این پدیده‌ها، میتوان گفت که استفاده از تیغه درونی مخزن اغلب منجر به تشدید فشار ضربه ای درون سازه می شود که این امر در نهایت باعث افزایش برش پایه و تقلیل لنگر واژگونی می شود. به طور قاطع نمی توان گفت که لنگر واژگونی صرفاً به دلیل کاهش فشار محیطی در ارتفاع بالاتر در جداره است؛ لیکن ممکن است مقداری از تقلیل لنگر واژگونی ناشی از لنگر معکوسی باشد که به پره درونی مخزن وارد می شود.

۶. مراجع

1. liu, W.K. (1981) ,“finite element procedures for fluid-structure interactions and application to liquid stronge tanks,” the Technology Institute ,Northwestern University, Evanston ,USA.

2. Gedikli, A, , Erguèven, M. E. (1999) ,“Seismic Analysis Of A Liquid Storage Tank With A Baffle,” Technical University Of Istanbul, Civil Engineering Faculty, Maslak, Istanbul 80626, Turkey.

3. Shekari, M.R., Khaji , N., Ahmadi, M.T. (2010) ,“On the seismic behavior of cylindrical base-isolated liquid storage tanks excited by long-period ground motions,” Soil Dynamics and Earthquake Engineering 30, pp 968-980.

۴- عرب، م. ح. و خاجی ن. (۱۳۹۰)، "تحلیل لرزه‌ای مخازن ذخیره سیال مجهز به تیغه میراگر حلقوی با استفاده از روش المان مرزی" پایان نامه کارشناس ارشد سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه تربیت مدرس.

5. Akyildiz, H., Unal, N.E., Aksoy, H. (2013) ,“An experimental investigation of the effects of the ring baffles on liquid sloshing in a rigid cylindrical tank,” Ocean Engineering 59 pp 190–197.

6. Livaoğlu, R., Doganğun, A. (2007) ,“Effect of foundation embedment on seismic behavior of elevated tanks considering fluid–structure-soil interaction,” Soil Dynamics and Earthquake Engineering 27, pp 855-863.

7. Livaoğlu, R., Doganğun, A. (2006) “Simplified seismic analysis procedures for elevated tanks considering fluid–structure–soil interaction,” Journal of fluids and structures 22, pp 421-439.

8. Shekari, M. R. (2018) ,“A coupled BE–FE–BE study for investigating the effect of earthquake frequency content and predominant period on seismic behavior of base-isolated concrete rectangular liquid tanks,” Journal of Fluids and Structures 77, pp 19–35.

9. Kildashti, K., Mirzadeh, N., Samali, B. (2018) ,“ Seismic vulnerability assessment of a case study anchored liquid storage tank by considering fixed and flexible base restraints,” Thin-Walled Structures 123, pp 382–394.

10. Wang, J.D., Lo S.H., Zhou D. (2013) ,“ Sloshing of liquid in rigid cylindrical container with multiple rigid annular baffles: Lateral excitations,” Journal of Fluids and Structures 42, pp 421-436.

۱۱- شکاری،م.ر.، حسنی، م.، زارعی فرد، م.ر. (۱۴۰۰). " بهسازی لرزهای مخازن هوایی استوانهای ذخیرهی آب به کمک جداسازهای غیرخطی با در نظر گرفتن اندرکنش سیال -سازه "، نشریه علمی سد و نیروگاه برق آبی ایران، شماره ۳۱.