

بررسی تأثیر استفاده از جداساز در عملکرد لرزه‌ی مخازن هوایی آب

اصغر وطنی اسکویی* (دانشیار)

دانشکده‌ی مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی

بهزاد انتظاری (دانشجوی کارشناسی ارشد)

دانشکده‌ی مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تاکستان

مهندسی عمران شریف، (بهار ۱۳۹۸)
دوره‌ی ۲ - ۳۵، شماره‌ی ۱/۲، ص. ۱۳۰-۱۲۳، (پادداشت فنی)

باتوجه به آسیب‌پذیری مخازن هوایی آب، به‌عنوان یکی از مهمترین سازه‌های تأمین‌کننده‌ی آب بهداشتی شهرها، لزوم حفظ قابلیت بهره‌برداری از آنها پس از زلزله امری ضروری است. یکی از فناوری‌های نوین مهندسی سازه، طراحی جداسازهای لرزه‌ی و کاربرد آن در سازه‌های خاص از جمله مخازن هوایی آب است. در نوشتار حاضر، با انجام تحلیلی دینامیکی تاریخچه‌ی زمانی، یک مخزن هوایی بتنی با پایه‌ی بتنی در ترازهای مختلف آب و تحت شتاب‌نگاشت‌های متفاوت در دو حالت با و بدون جداساز تحلیل و نتایج حاصل با هم مقایسه شدند. جداساز لرزه‌ی مورد استفاده در مدل‌های مذکور از نوع الاستومری تئوپرنی است که در محل اتصال مخزن به ستون بتنی نصب شده است. نتایج حاصل نشان داد استفاده از جداسازها در مخازن هوایی بتنی نسبت به مخازن بدون جداساز باعث میرایی انرژی زلزله خواهد شد. طی فرایند میرایی، دوره‌ی تناوب طبیعی سازه افزایش می‌یابد و شتاب و نیروهای وارد بر سازه کاهش می‌یابند و منجر به کاهش تغییرمکان و کاهش نیروی برش پایه در مخزن می‌شوند.

واژگان کلیدی: مخزن هوایی آب، تحلیل دینامیکی تاریخچه‌ی زمانی،

میراگرالاستومتری، دوره‌ی تناوب.

vafani@sru.ac.ir
behzad1182@yahoo.com

۱. مقدمه

پژوهشگران به این نتیجه رسیدند از آنجا که تعیین دقیق مشخصات زلزله امکان‌پذیر نیست، پاسخ لرزه‌ی باید محدود شود. مفهوم ارائه شده در پژوهشی در سال ۱۹۷۲^[۱]، به‌عنوان نقطه‌ی عطفی در پژوهش‌های کنترل سازه‌ی به شمار می‌رود که در آن یک سیستم پیشنهاد شده است که رفتار آن به‌صورت خودکار در مواجهه با تغییرات غیرقابل پیش‌بینی تغییر می‌کند و به این ترتیب در مقابل تمام شرایط بارگذاری، پاسخ مناسب می‌دهد. در چنین سیستم سازه‌ی، بارهای باد و زلزله علاوه بر المان‌های سازه‌ی، توسط نیروی کنترل هم تحمل می‌شوند. در سال ۱۹۸۵، آزمایش‌های با مقیاس کامل در ژاپن انجام شد و از سال ۱۹۸۷ به بعد مطالعات دیگری در همان زمینه صورت گرفت.^[۲] در سال ۱۹۸۲ نیز سیستمی ابداع شد که در آن از بالشتک‌های ترمز به منظور افزایش میزان اتلاف انرژی در قاب‌های مهاربندی شده استفاده شده بود.^[۳] همچنین در سال ۱۹۸۵، با استفاده از روش‌های عددی، مسئله‌ی اندرکنش سیال و سازه تحلیل و نهایتاً مدل ساده‌شده‌ی ارائه شده است که اثر انعطاف‌پذیری دیواره‌ی مخزن در آن لحاظ شده بود.^[۴]

در سال ۱۹۸۷، نیز نوشتاری ارائه شد که معادله‌ی لاپلاس حاکم بر محیط سیال تحلیل و سپس مدل ساده‌شده‌ی دیگری ارائه شد که در آن اثر مشارکت مودهای بالاتر تلاطمی در پاسخ سیستم لحاظ شده است.^[۵] همچنین در سال ۲۰۰۰، میراگر اصطکاکی دورانی معرفی شد که به منظور بهسازی ساختمان‌های موجود و ساخت

یکی از فناوری‌های نوین مهندسی سازه و زلزله، طراحی جداسازهای لرزه‌ی و کاربرد آن در سازه‌های خاص و پل‌هاست. سیستم جداسازهای لرزه‌ی با قرار گرفتن در پای ساختمان و یا در طبقات و زیر عرشه‌ی پل‌ها با ایجاد میرایی لازم و مستهلک کردن نیروی جانبی، باعث کاهش اثر مخرب نیروی جانبی می‌شود. در حقیقت، با افزودن سیستم‌های جداساز لرزه‌ی به سازه، انرژی وارد به سازه تحت اثر زلزله کاهش پیدا می‌کند. به این ترتیب، با کاهش تقاضا از آسیب دیدن اعضاء سازه‌ی و به تبع آن از تشکیل مفاصل خمیری و نهایتاً از گسیختگی اعضاء سازه‌ی جلوگیری به عمل می‌آید. در سازه‌های مخزن، قسمت اعظم جرم در فاصله‌ی قابل ملاحظه‌ی از فوندانسیون قرار می‌گیرد. آنالیز سازه‌های مخزن تحت اثر نیروهای جانبی وارد می‌تواند مهم و قابل توجه به ویژه به جهت تأمین امنیت و حفظ کارایی سازه‌های مذکور باشد. در پژوهش حاضر، با لحاظ کردن میراگر در زیر تانک یک مخزن هوایی بتنی، به بررسی تأثیر آن در رفتار لرزه‌ی مخزن، شامل تغییرمکان نهایی و برش پایه پرداخته شده است.

استفاده از مفهوم کنترل پاسخ لرزه‌ی به سال ۱۹۵۰^[۱] باز می‌گردد که در آن

* نویسنده مسئول

تاریخ: دریافت ۱۳۹۵/۱۲/۷، اصلاحیه ۱۳۹۶/۳/۱۰، پذیرش ۱۳۹۶/۳/۲۰.

DOI:10.24200/J30.2018.1970.2047

السترو، کوبه و لوماپریتا تحلیل شده‌اند. بنابراین در حالت کلی، ۱۸ مدل عددی برای مطالعات ذکر شده انتخاب شده است. هدف از پژوهش حاضر، بررسی رفتار مخازن مختلف طراحی شده همراه با جداساز و ارزیابی آنها با استفاده از روش عددی توسط نرم‌افزار المان محدود آباکوس^۱ است. بنابراین به همین منظور مدل مخازن معرفی شده مدل‌سازی و سپس توسط نرم‌افزار آباکوس، تحلیل المان محدود شدند.

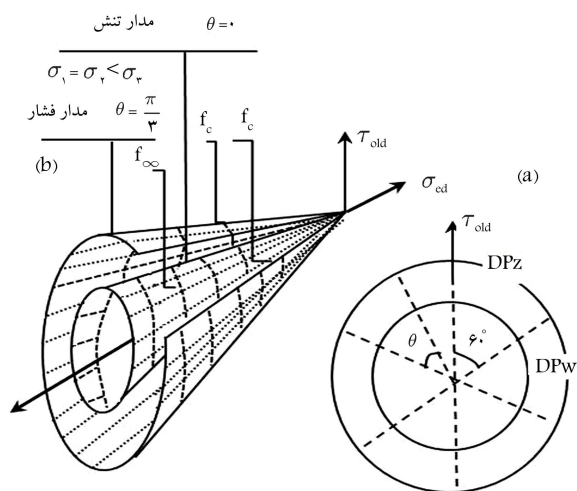
۳. مدل‌سازی عددی

۳.۱. اعضاء بتن آرمه

مقاومت فشاری بتن مورد استفاده در پژوهش حاضر برابر 28 MPA است. جهت معرفی رفتار غیرخطی بتن از مدل خسارت خمیری بتن استفاده شده است که قابلیت نشان دادن رفتار غیرخطی و خصوصیات خرابی مواد شبه ترد همانند بتن را دارد و در هر دو تحلیل استاتیکی و دینامیکی قابل استفاده است و فرض بر این است که ترک کششی و خردشدگی فشاری، دو جنبه اصلی مکانیسم گسیختگی بتن است و برای مدل‌سازی شکست، مصالح ترد تحت بارگذاری‌های چرخشی (کشش و فشار متناوب) طراحی شده‌اند، به طوری که امکان بازیابی سختی در طی بارهای رفت و برگشتی وجود داشت. مدل خسارت خمیری بتن تعمیم یافته‌ی معیار شکست دراگر - پراگر (۱۹۵۲) است (شکل ۲). طبق اصلاح صورت پذیرفته در مدل خسارت خمیری، لزومی بردابروی بودن صفحه‌ی دیاتوریک وجود ندارد و می‌تواند شکل دیگری نیز داشته باشد. شکل صفحه‌ی دیاتوریک با ضریب K_c تعیین می‌شود. این ضریب مقداری بیش از ۰/۵ دارد و وقتی مساوی ۱ باشد، شکل دایره و یا همان معیار دراگر - پراگر به دست ۰/۶۷ می‌آید.

پارامتر خروج از مرکزیت خمیری^۲ که در مدل خسارت خمیری شکل ۳ وجود دارد، عدد کوچک مثبتی است که برابر نسبت مقاومت کششی به مقاومت فشاری بتن با مقدار پیش فرض ۰/۱ است. وقتی که پارامتر مذکور، صفر باشد، در واقع معیار شکست دراگر - پراگر کلاسیک به دست می‌آید.

پارامتر (f_{bc}/f_c) که در مدل خسارت خمیری وجود دارد، نسبت مقاومت فشاری دوماحوری بتن به مقاومت فشاری تک‌محوره است. نتایج حاصل از آزمایش‌ها



شکل ۲. سطوح مرزی معیار دراگر پراگر (a: شکل کلی، b: صفحه‌ی دیاتوریک).

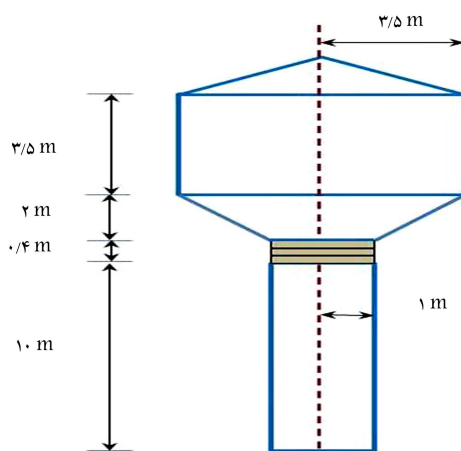
ساختمان‌های جدید، بر مبنای شکل‌پذیری ارائه شده بود.^[۷] در سال ۲۰۰۰، نیز با فرض خطی بودن رفتار روسازه در حالت جداسازی شده و با در نظر گرفتن جرم‌های ضربه‌یی و نوسانی به‌عنوان درجه‌های آزادی مستقل، به آنالیز لرزه‌یی کل سیستم مخازن و تأثیر پارامتر لرزه‌یی جداساز در پاسخ آن پرداخته شده است.^[۸]

همچنین در سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۰۴، در زمینه‌ی آنالیز لرزه‌یی مخازن جداسازی شده، با استفاده از درگیر کردن روش‌های عددی المان مرزی و المان محدود، نوشتاری ارائه شده است که در آن اثر جداساز در پاسخ دینامیکی مخزن در حالت‌های مختلف از سطح آب مخزن، در حوزه‌های زمان و بسامد بررسی و آثار اندرکشش خاک و سازه به‌عنوان پارامتر مهم تأثیرگذار در پاسخ کل سیستم نیز لحاظ شده است.^[۹] در سال ۲۰۰۸، نیز به مطالعه بر روی سیستم‌های کنترل غیرفعال پرداخته شد و در آن اتلاف انرژی توسط یک میراگر ویسکوز مایع ساده صورت گرفت که شامل یک سیلندر بسته بود و با مایعی مانند روغن سیلیکون کاملاً پر شده بود و برای اینکه مایع داخل محفظه امکان حرکت داشته باشد، انواع مختلف سوراخ در محدوده‌ی سر پیستون تعبیه شده بود.^[۱۱] همچنین در پژوهشی در سال ۲۰۱۳،^[۱۲] جداساز لغزشی شیب‌دار مطالعه شد که در آن سطح لغزشی مرتبط از فولاد زنگ‌نزن مقاوم تشکیل و محل لغزش دو سطح فلزی از تفلون که ماده‌یی مقاوم در برابر فشار و سایش است، پوشیده شده بود و آن را در طبقه‌ی اول در یک ساختمان ۵ طبقه تعبیه کرده بودند. نتایج حاصل نشان داد که جداساز مذکور ضمن خنثی کردن اثر نیروی زلزله، باعث کاهش نیروی برش پایه و تغییر مکان کل سیستم می‌شود و علاوه بر آن، به سازه قابلیت بازگشت به نقطه‌ی اولیه را می‌دهد که از این حیث سیستم مطلوبی است.

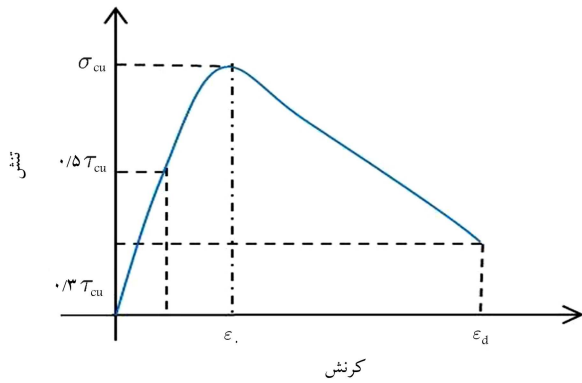
۲. انتخاب مخزن مورد مطالعه و روش مدل‌سازی هندسی

برای بررسی تأثیر جداساز لرزه‌یی در رفتار لرزه‌یی مخازن هوایی بتنی آب، یک مدل مخزن هوایی با ارتفاع کل ۱۵/۹ متر و حجم مخزن ۱۳۴ مترمکعب انتخاب شد و محل نصب جداساز نیز در ارتفاع و زیر مخزن است (شکل ۱).

جهت بررسی تأثیر جداساز در ترازهای مختلف آب، مخزن در حالت‌های (۰٪، ۵۰٪ و ۱۰۰٪) ارتفاع آبی داخل مخزن مدل‌سازی شده است. تعداد مدل‌های انتخابی با توجه به محدودیت‌های موجود سه عدد است که در دو حالت با و بدون میراگر مدل‌سازی شده‌اند. هر یک از مدل‌ها تحت شتاب‌نگاشت زلزله‌های



شکل ۱. مشخصات هندسی مخزن هوایی انتخابی.



شکل ۵. تعیین نمودار تنش - کرنش فشاری بتن.

جدول ۱. مقادیر مورد استفاده در مدل خسارت خمیری بتن.

ویسکوزیته K	f_b^0/f_c^0	خروج از مرکز زاویه اتساع (درجه)
۰/۰۰۱	۰/۶۷	۱/۱۶
۰/۰۱	۰/۱	۴۰

از روابط پس خرابی بتن، ابتدا باید پارامترهای σ_c ، ε_c^{in} و d_c که به ترتیب بیانگر پیشینه تنش فشاری، کرنش غیرکشسان و پارامتر خرابی بتن هستند، تعیین شوند. کرنش غیرکشسان^{۱۱} از رابطه ۳ به دست می‌آید:

$$\varepsilon_c^{in} = \varepsilon_c - \varepsilon_{oc}^{el} \quad (3)$$

که در آن، $\varepsilon_{oc}^{el} = \frac{\sigma_c}{E_o}$ نشان دهنده کرنش کشسان مصالح آسیب‌نپذیر و ε_c بیانگر کرنش کشسان کلی است.

در مطالعه حاضر برای تعیین نمودار تنش - کرنش فشاری بتن شکل ۵ از مدلی استفاده شده است که برای بتن‌های با مقاومت فشاری بیشینه $62MP$ قابل استفاده است و مقادیر تنش‌های فشاری را از $0.5\sigma_{cu}$ در شاخه صعودی تا $0.3\sigma_{cu}$ در شاخه نزولی محاسبه می‌کند. تنش فشاری در مدل مذکور از رابطه ۴ به دست می‌آید:

$$\sigma_c = \left(\frac{\beta \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_c} \right)}{\beta - 1 + \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_c} \right)^\beta} \right) \cdot \sigma_{cu} \quad (4)$$

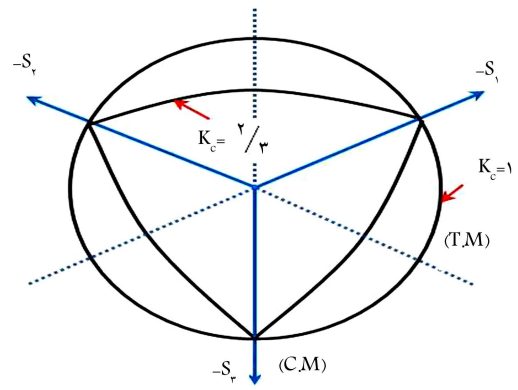
که در آن، β از رابطه ۵ به دست می‌آید:

$$\beta = \frac{1}{1 - \left[\frac{\sigma_{cu}}{\varepsilon_c \cdot E_o} \right]} \quad (5)$$

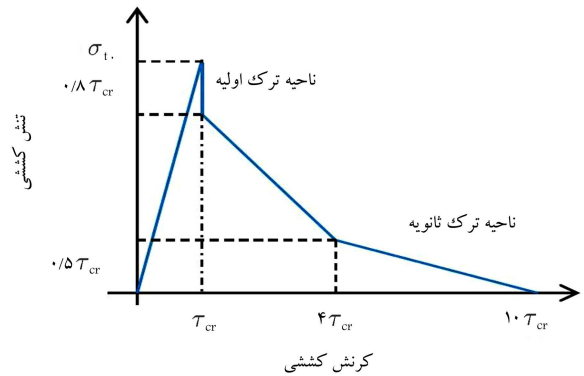
که در آنها، E_o ، σ_{cu} و σ_c بر حسب kip/in^2 هستند (ضریب تبدیل: $1MPa = 145.037743 kip/in^2$) همچنین کرنش ε_d با جای‌گذاری $0.145037743 \sigma_{cu}$ در رابطه ۵ به دست می‌آید. با توجه به توضیحات ارائه شده، پارامترهای مدل خسارت خمیری بتن مطابق جدول ۱ به دست می‌آیند. همچنین در جدول‌های ۲ و ۳، مقادیر عددی تنش کرنش فشاری و کششی بتن با توجه به روابط معیار خرابی خسارت خمیری بتن ارائه شده‌اند.

۲.۳. تحلیل دینامیکی غیرخطی و همپایه کردن زلزله‌ها

برای انجام تحلیل غیرخطی دینامیکی از ۳ شتاب‌نگاشت کوبه، الاسترو و لوماپریتا استفاده شده است (جدول ۴). قبل از تحلیل، ابتدا ۳ شتاب‌نگاشت مذکور طبق



شکل ۳. صفحه‌ی دویاتوریک در مدل خسارت خمیری بتن.



شکل ۴. مدل سخت‌شوندگی کششی.

نشان داده است که رابطه‌ی بین مقاومت فشاری تک‌محوره و دوجوره‌ی بتن مطابق رابطه ۱ است:

$$f_b^0 = 1.16248 f_c \quad (1)$$

پارامتر زاویه‌ی اتساع^۳ (ψ) که در مدل خسارت خمیری وجود دارد، از لحاظ فیزیکی زاویه‌ی اصطکاک داخلی است. که در اغلب موارد مقدار آن برای بتن ۳۶ تا ۴۰ درجه فرض می‌شود. پارامتر ویسکوزیته کشسان^۴ (μ) نیز که در مدل خسارت خمیری وجود دارد، در واقع برای همگرایی بهتر گام‌ها استفاده می‌شود و مقدار آن را باید با چند بار تحلیل به دست آورد. μ کوچکترین عدد مثبتی است که باعث همگرایی بهتر تحلیل می‌شود. پارامتر μ امکان خروج تدریجی از سطح پتانسیل خمیری^۵ را در شرایط ناهمگرایی‌های جزئی تحلیل فراهم می‌سازد.

نمودار تنش - کرنش کششی بتن با استفاده از روابط پس خرابی بتنی که در معرض کشش قرار گرفته است، به دست می‌آید. این روابط با در نظر گرفتن سخت‌شوندگی کششی^۶، نرم‌شوندگی کششی^۷، و اندرکشش بین میله‌گردها و بتن پیشنهاد شده‌اند. برای تعیین نمودار مذکور باید پارامترهای σ_t ، E_o و ε_t^{ck} را که به ترتیب بیانگر مدول کشسانی، مقاومت کششی، کرنش شکست و پارامتر خرابی^۸ است، را مشخص کرد. کرنش شکست از رابطه ۲ به دست می‌آید:

$$\varepsilon_t^{ck} = \varepsilon_t - \varepsilon_{ot}^{el} \quad (2)$$

که در آن، $\varepsilon_{ot}^{el} = \frac{\sigma_t}{E_o}$ نشان دهنده کرنش کشسان مصالح آسیب‌نپذیر^۹ و ε_t کرنش کششی کلی^{۱۰} است.

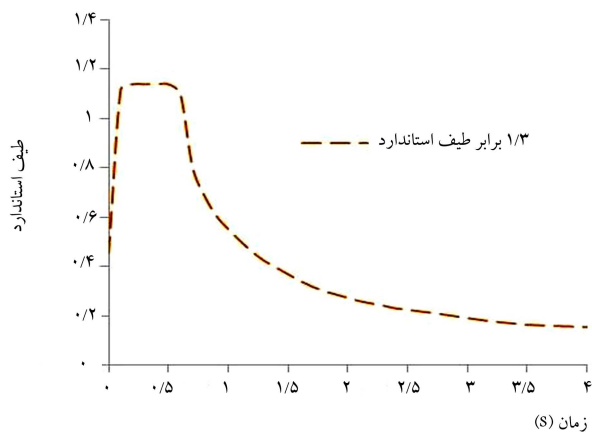
نمودار تنش - کرنش فشاری بتن شکل ۴ با استفاده از روابط پس خرابی بتنی که در معرض فشار تک محوری قرار گرفته است، ترسیم می‌شود. برای استفاده

جدول ۲. مقادیر تنش - کرنش فشاری بتن ۲۸MPa.

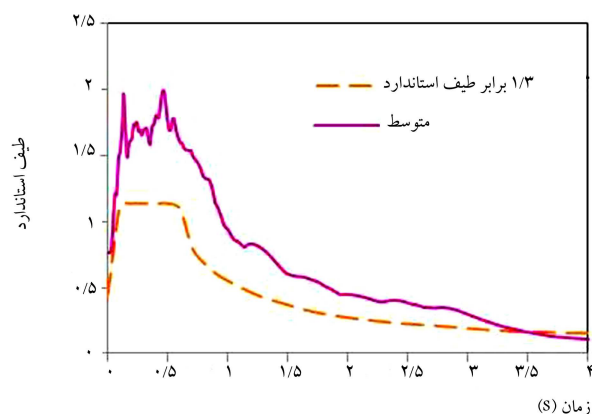
$\sigma_c (MPa)$	ϵ_c	$\epsilon_c^{el} = \frac{\sigma_c}{E_c}$	ϵ_c^{in}
۱۴,۰۳	۰,۰۰۰۰۰۰	۰	۱۴۰۳۱۲۸
۱۶,۲۳	۰,۰۰۰۰۰۳	۰,۰۰۰۰۹۳۱	۱۶۲۳۴۶۲
۲۲,۷۶	۰,۰۰۰۰۱۴	۰,۰۰۰۴۵۸۳	۲۲۷۵۵۲۵
۲۶,۸۱	۰,۰۰۰۰۳۹	۰,۰۰۱۳۱۶۵	۲۶۸۰۵۷۰
۲۷,۷۴	۰,۰۰۰۰۵۹	۰,۰۰۱۹۵۵۵	۲۷۷۳۷۴۵
۲۴,۹۷	۰,۰۰۰۱۹۰	۰,۰۰۶۳۴۹۳	۲۴۹۷۱۵۷
۱۶,۵۲	۰,۰۰۰۳۹۱	۰,۰۱۳۰۳۵۸	۱۶۵۲۱۷۷
۱۰,۶۴	۰,۰۰۰۵۷۶	۰,۰۱۹۲۰۹۲	۱۰۶۴۲۴۵
۷,۱۸	۰,۰۰۰۷۴۷	۰,۰۲۴۸۹۹۵	۷۱۸۳۹۷
۵,۱۰	۰,۰۰۰۹۰۹	۰,۰۳۰۳۱۴۷	۵۱۰۳۶۵
۳,۷۹	۰,۰۱۰۶۷	۰,۰۳۵۵۷۷۷	۳۷۸۵۹۰
۲,۹۱	۰,۰۱۲۲۳	۰,۰۴۰۷۵۲۹	۲۹۰۸۳۲
۲,۳۰	۰,۰۱۳۷۶	۰,۰۴۵۸۷۴۶	۲۲۹۸۲۰
۰,۴۶	۰,۰۰۰۰۰۰	۰	۱۴۰۳۱۲۸

جدول ۳. مقادیر تنش - کرنش کششی بتن.

σ_t	ϵ_t^{ck}	ϵ_t	ϵ_{ot}^{el}	ϵ_t^{ck}
۱,۲۹	۰	۰	۰	۰
۱,۰۳	۰,۰۰۰۰۳۷۰	۰,۰۰۴۶۸۶۹	۰,۰۰۰۰۳۷۰	۰,۰۰۰۰۳۷۰
۰,۵۲	۰,۰۰۰۰۲۸۴۶	۰,۰۰۳۶۰۴۴۶	۰,۰۰۰۰۲۸۴۶	۰,۰۰۰۰۲۸۴۶
۰,۱۲	۰,۰۰۰۰۷۸۲۷	۰,۰۰۹۹۱۲۱	۰,۰۰۰۰۷۸۲۷	۰,۰۰۰۰۷۸۲۷



شکل ۶. ۱/۳ برابر طیف استاندارد.



شکل ۷. مقایسه‌ی طیف شتاب‌نگاشت‌ها و متوسط آنها و طیف استاندارد.

۳.۳. مدلسازی سیال

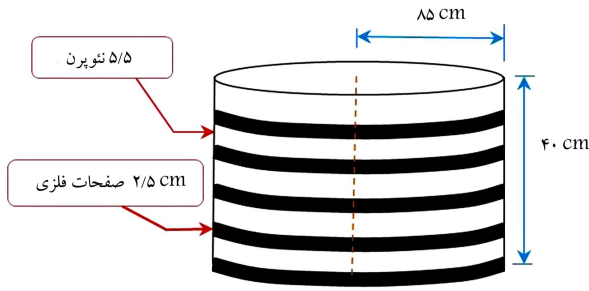
سیال مورد استفاده در مخازن مدلسازی، آب است. جهت مدلسازی سیال در محیط نرم‌افزار و در نظر گرفتن سطح تماس بین سازه و سیال داخل آن، پارامترهای متنوعی دخیل است. جهت مدلسازی سیال از المان سه بعدی ۸ گرهی C3D8R استفاده شده است. جهت مدلسازی سطح تماس بین آب و سازه از روش تماس کامل و همچنین جهت مدلسازی دقیق رفتار آب از مدل فشاری EOS استفاده شده است. مدل مذکور با محاسبه‌ی فشار به‌عنوان تابعی از چگالی مدل رفتاری هیدرواستاتیکی آب را شبیه‌سازی کرده و ضمناً از نوع Us-Up انتخاب شده است. در جدول ۵، مشخصات مکانیکی آب جهت مدلسازی عددی ارائه شده است که در آن C سرعت صوت در محیط سیال، S عدد بی بعد تخلخل سیال و Γ فشار تراکمی است که در آن فشار تمامی حفره‌ها پر شده است.

آیین‌نامه‌ی ۲۸۰۰ همپایه شدند و پس از مقایسه با طیف استاندارد، ضریب اصلاح شتاب‌نگاشت‌ها محاسبه و طیف ۱/۳ برابر طیف استاندارد رسم شد (شکل ۶).

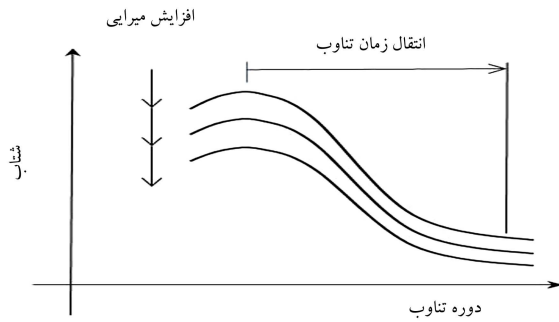
(نوع زمین درجه II - منطقه با خطر زلزله‌خیزی زیاد $A = 0.35$)، ضریب اهمیت ۱/۴، دوره‌ی تناوب حاصل برای مخزن $T = 0.4$ sec) طبق آیین‌نامه‌ی ۲۸۰۰ پس از همپایه‌سازی طیف شتاب‌نگاشت‌های مورد استفاده باید طیف متوسط شتاب‌نگاشت‌ها را به دست آورد و این طیف متوسط باید در محدوده‌ی $0.2T$ تا $1.5T$ بیش از ۱٪ از ۱/۳ برابر مقدار متناظر طیف طرح استاندارد کمتر نشود (بازه‌ی زمانی ۰.۸ تا ۰.۵۹ ثانیه) که مطابق شکل ۷ شرط مذکور صادق است و طیف متوسط در دامنه‌ی ذکر شده کاملاً بالاتر از ۱/۳ برابر طیف استاندارد است (شکل ۷).

جدول ۴. مشخصات رکوردهای انتخابی.

نام زلزله	ژرفا (km)	شدت	PGA (g)	PGV (m/s)	PGD (m)
السترو	۱۵	۷,۱	۰,۳۲	۰,۳۶	۰,۲۲
کوبه	۱۶	۶,۸	۰,۷۰	۰,۶۸	۰,۲۷
لوماپریتا	۱۱	۶,۹	۰,۵۳	۰,۳۵	۰,۰۹



شکل ۹. مشخصات هندسی جداساز نئوپرن.



شکل ۱۰. نمودار شتاب - دوره تناوب.



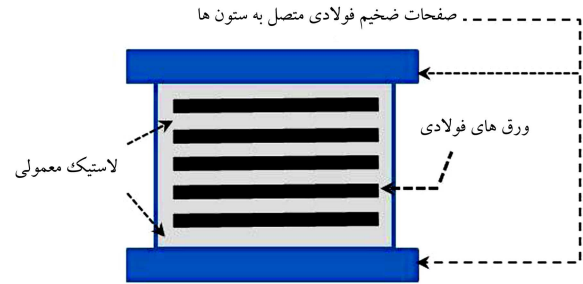
شکل ۱۱. نمودار جابه‌جایی - دوره تناوب.

اساساً جداسازی لغزشی، روشی برای کاهش یا حذف پتانسیل خسارت‌های ناشی از زمین‌لرزه است. سیستم‌های جداساز روشی برای محافظت سازه‌ها در برابر خسارت‌های ناشی از زلزله هستند و این عمل با محدود ساختن اثر تخریبی زلزله و نه مقاوم کردن سازه با ایجاد امکان جابه‌جایی کنترل شده‌ی سازه در حین زلزله و میرایی نیروی مخرب زمین‌لرزه‌های بزرگ، باعث پایداری سازه در برابر ارتعاش‌های ناشی از امواج زلزله می‌شود.

جداساز لرزه‌یی باعث افزایش میرایی در نتیجه‌ی کاهش پاسخ سازه (شتاب و تغییرمکان) می‌شود. مهمترین ویژگی جداساز لرزه‌یی، ایجاد انعطاف‌پذیری است که باعث افزایش زمان تناوب طبیعی سازه می‌شود. افزایش زمان تناوب طبیعی، احتمال افزایش پدیده‌ی تشدید را کاهش می‌دهد و باعث کاهش شتاب در سازه می‌شود (شکل ۱۰). همچنین این امر در جابه‌جایی‌های افقی تأثیرگذار است و اثر کاهنده دارد (شکل ۱۱). برخی تجهیزات جداسازی نظیر نشیمن‌های نئوپرنی با هسته‌ی سربی، توانایی تأمین میرایی مناسبی را دارند، اما برخی دیگر از آنها نظیر نشیمن‌های لاستیک طبیعی و مصنوعی، میرایی کمی دارند و در کنار آنها برای تأمین میرایی از تجهیزات اتلاف انرژی، نظیر میراگرهای اصطکاکی و یا ویسکوز استفاده می‌شود.

جدول ۵. مشخصات مکانیکی آب.

C_0	S	Γ
148°	$1,75$	$0,28$



شکل ۸. تکیه‌گاه الاستومری با حلقه‌های فلزی.

جدول ۶. مشخصات مکانیکی نئوپرن مورد استفاده در مطالعات حاضر.

$0,272 \text{ MPA}$	مدول برشی
$0,499$	ضریب پواسون
96 kg/m^3	چگالی
$0,815456 \text{ MPA}$	مدول کشسانی
$13,590933 \text{ MPA}$	مدول بالک
$0,147156928$	ضریب تراکم‌پذیری

۴.۳. جداساز

امروزه در ساخت الاستومرها از لاستیک‌های مصنوعی، مانند نئوپرن نیز استفاده می‌شود مطابق شکل ۸ به دلیل انعطاف‌پذیر بودن لاستیک و تغییرشکل‌های برشی کشسان بالا، میزان میرایی بحرانی الاستومرها بین $0,2^\circ$ الی $0,3^\circ$ است. نئوپرن‌ها، استانداردهای مختلفی از جمله آشتو دارند. نئوپرن‌های مورد استفاده در ایران، معمولاً استاندارد آیین‌نامه‌ی طراحی پل‌ها را دارند.

به همین دلیل در رده‌ی تکیه‌گاه‌های با میرایی بالا قرار می‌گیرند. این جداساز می‌تواند دایره‌یی و یا مربعی باشد. تولید و ساخت الاستومرها در مقایسه با سایر تکیه‌گاه‌ها ساده‌تر و کم هزینه‌تر است و خصوصیات مکانیکی آنها تابع دما و زمان نیست. هر چند به دلیل میرایی بحرانی کم، مقاومت چندانی در برابر بارهای بهره‌برداری ندارند و جهت کنترل تغییرمکان‌های جانبی بالاتر باید از میراگرهای دیگری استفاده شود. جهت مدل‌سازی رفتار مکانیکی نئوپرن، از مدل هاپرککشسان با رفتار نئوهوک استفاده شده است که مشخصات آن در جدول ۶ ارائه شده است. پارامتر C_1 استفاده شده در مدل نئوهوک به ترتیب برابر نصف مدول برشی است. در شکل ۹، مشخصات هندسی جداساز الاستومری مورد استفاده در مطالعات حاضر نشان داده شده است.

۵.۳. افزایش میرایی

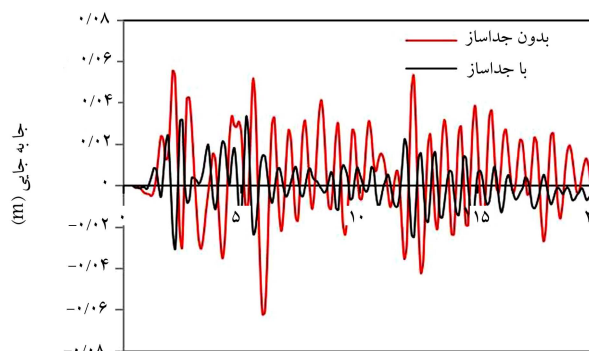
پدیده‌ی کاهش تدریجی دامنه‌ی ارتعاش، میرایی نامیده می‌شود. در میرایی، انرژی جنبشی ارتعاشی سیستم بنا به مکانیسم‌های مختلفی مستهلک می‌شود. در یک سازه‌ی در حال ارتعاش، مکانیسم‌های مذکور عبارت‌اند از: باز و بسته شدن ترک‌های میکروسکوپی در بتن، اصطکاک بین عناصر سازه‌یی و ناسازه‌یی (نظیر انواع میراگرها) و موارد مشابه.

۴. تحلیل عددی

در بخش کنونی، به بررسی نتایج حاصل از تحلیل‌های عددی پرداخته شده است که عبارت از تنش‌های موجود در اعضا، تغییرمکان بیشینه و برش پایه‌ی حاصل از زلزله‌های اعمالی هستند.

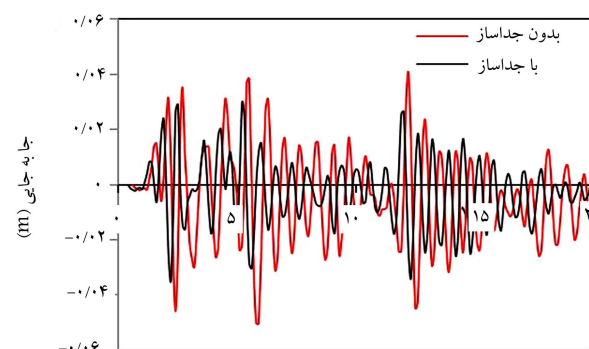
۱.۴. تغییرمکان

در شکل‌های ۱۲ الی ۱۴، نمودارهای تغییرمکان بیشینه‌ی مخزن بتنی با ترازهای آب ۰٪، ۵۰٪ و ۱۰۰٪ در حالت‌های با و بدون استفاده از جداساز به‌عنوان نمونه برای



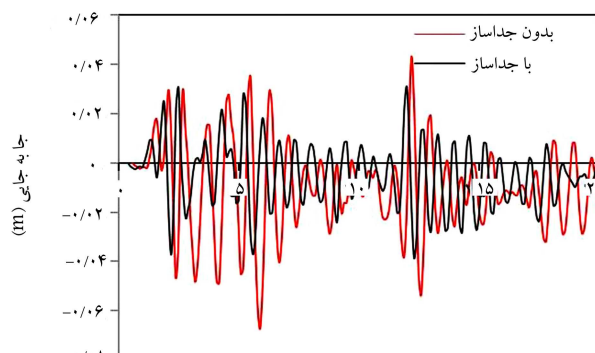
شکل ۱۲. مقایسه‌ی تغییرمکان حاصل از زلزله‌ی السنترو برای تراز آب ۵٪

شکل ۱۳. مقایسه‌ی تغییرمکان حاصل از زلزله‌ی السنترو برای تراز آب ۵۰٪



شکل ۱۴. مقایسه‌ی تغییرمکان حاصل از زلزله‌ی السنترو برای تراز آب ۱۰۰٪

شکل ۱۴. مقایسه‌ی تغییرمکان حاصل از زلزله‌ی السنترو برای تراز آب ۱۰۰٪



شکل ۱۴. مقایسه‌ی تغییرمکان حاصل از زلزله‌ی السنترو برای تراز آب ۱۰۰٪

شکل ۱۴. مقایسه‌ی تغییرمکان حاصل از زلزله‌ی السنترو برای تراز آب ۱۰۰٪

زلزله‌ی السنترو نشان داده شده‌اند. همچنین در جدول‌های ۷ الی ۹، نتایج تغییرمکان بیشینه‌ی حاصل از زلزله‌های مختلف برای ترازهای مختلف آب حالت‌های با و بدون جداساز به‌طور خلاصه ارائه شده است.

۲.۴. برش پایه

در شکل‌های ۱۵ الی ۱۷، نمودارهای برش پایه‌ی مخزن بتنی با ترازهای متفاوت آب در حالت‌های با و بدون استفاده از جداساز برای زلزله‌های مختلف نشان داده شده‌اند. همچنین در جدول‌های ۱۰ الی ۱۲، نتایج برش پایه‌ی حاصل از زلزله‌های مختلف ترازهای متفاوت آب در حالت‌های با و بدون جداساز به‌طور خلاصه ارائه شده‌اند.

۵. نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از نمودارها و جدول‌های ارائه شده به‌وضوح نشان می‌دهد که استفاده از جداساز الاستومری در مخازن هوایی بتنی آب در ترازهای متفاوت آب (۰٪، ۵۰٪ و ۱۰۰٪) تحت شتاب‌نگاشت‌های زلزله‌های (السنتر، کوبه و لوماپریتا) نسبت به حالت بدون جداساز، باعث افزایش بیشینه‌ی تغییرمکان جانبی و کاهش نیروی برش

جدول ۷. نتایج تغییرمکان بیشینه حاصل از زلزله‌های مختلف برای تراز آب ۰٪

	بیشینه‌ی جابه‌جایی (m)		
	بدون جداساز	با جداساز	تفاوت
السنترو	۰٫۰۵۶۲	۰٫۰۳۳۵	٪۳۹٫۷
کوبه	۰٫۰۵۶۴	۰٫۰۴۴۲	٪۲۱٫۶
لوماپریتا	۰٫۰۳۸۸	۰٫۰۳۱۲	٪۲۰٫۵

جدول ۸. نتایج تغییرمکان بیشینه حاصل از زلزله‌های مختلف برای تراز آب ۵۰٪

	بیشینه‌ی جابه‌جایی (m)		
	بدون جداساز	با جداساز	تفاوت
السنترو	۰٫۰۴۱۰	۰٫۰۲۹۹	٪۲۷٫۱
کوبه	۰٫۰۵۸۳	۰٫۰۴۴۵	٪۲۳٫۷
لوماپریتا	۰٫۰۳۶۱	۰٫۰۲۹۱	٪۱۹٫۳

جدول ۹. نتایج تغییرمکان بیشینه حاصل از زلزله‌های مختلف برای تراز آب ۱۰۰٪

	بیشینه‌ی جابه‌جایی (m)		
	بدون جداساز	با جداساز	تفاوت
السنترو	۰٫۰۴۲۶	۰٫۰۳۰۵	٪۲۸٫۴
کوبه	۰٫۰۶۰۸	۰٫۰۴۴۹	٪۲۶٫۲
لوماپریتا	۰٫۰۴۵۴	۰٫۰۲۷۸	٪۳۸٫۸

جدول ۱۰. نتایج برش پایه‌ی بیشینه‌ی حاصل از زلزله‌ی مختلف برای تراز آب ۰٪.

تفاوت	بیشینه‌ی برش پایه (kg.f)		السنتره
	بدون جداساز	با جداساز	
٪۴۸٫۸	۱۴۰۵۵۵۰	۲۷۴۶۷۵۰	کوبه
٪۴۲٫۶	۷۸۳۹۳۳	۱۳۶۶۱۰۵	لوماپریتا
٪۲۷٫۹	۱۳۴۷۷۱۰	۱۸۶۷۱۲۰	

جدول ۱۱. نتایج برش پایه‌ی بیشینه‌ی حاصل از زلزله‌ی مختلف برای تراز آب ۵۰٪.

تفاوت	بیشینه‌ی برش پایه (kg.f)		السنتره
	بدون جداساز	با جداساز	
٪۴۵٫۱	۲۱۸۱۱۳۰	۳۹۷۰۶۴۰	کوبه
٪۳۹٫۲	۹۰۱۴۱۵	۱۴۸۲۲۴۰	لوماپریتا
٪۳۲٫۸	۱۳۵۵۳۵۰	۲۰۲۰۸۸۰	

جدول ۱۲. نتایج برش پایه‌ی بیشینه‌ی حاصل از زلزله‌ی مختلف برای تراز آب ۱۰۰٪.

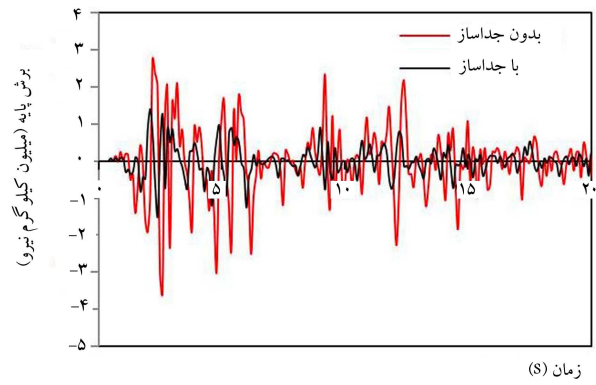
تفاوت	بیشینه‌ی برش پایه (kg.f)		السنتره
	بدون جداساز	با جداساز	
٪۴۴٫۵	۲۶۷۰۴۶۰	۴۸۱۲۷۴	کوبه
٪۵۲٫۸	۹۰۳۳۶۵	۱۹۱۶۳۱۰	لوماپریتا
٪۳۸٫۳	۱۳۶۶۴۲۰	۲۲۱۲۵۰۰	

می‌شود، بنابراین عامل مذکور سبب کاهش سختی و در نتیجه کاهش نیروی مخرب زلزله می‌شود و مخزن را در برابر تخریب محافظت می‌کند. نتایج عددی به طور خلاصه عبارت است از:

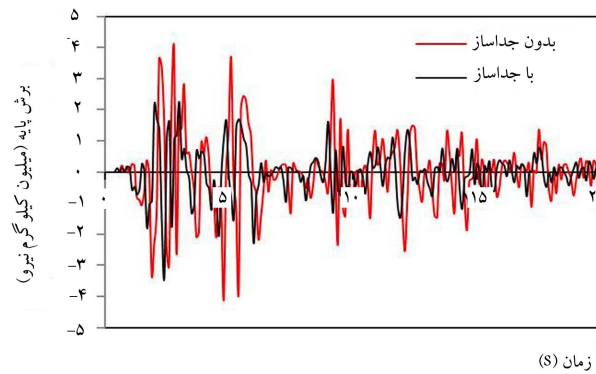
۱. در مخزن بتنی که تراز آب ۰٪ دارد، استفاده از جداساز باعث کاهش بیشینه‌ی تغییرمکان جانبی مخزن و نیروی برش پایه شده است، به طوری که کاهش تغییرمکان در زلزله‌های السنتره، کوبه و لوماپریتا به ترتیب برابر ٪۳۹٫۷، ٪۲۱٫۶ و ٪۲۰٫۵ و کاهش نیروی برش پایه به ترتیب برابر ٪۴۸٫۸، ٪۴۲٫۶ و ٪۲۷٫۹ بوده است.

۲. در مخزن بتنی که تراز آب ۵۰٪ است، استفاده از جداساز باعث کاهش بیشینه‌ی تغییرمکان جانبی مخزن و نیروی برش پایه شده است، به طوری که کاهش تغییرمکان در زلزله‌های السنتره، کوبه و لوماپریتا به ترتیب برابر ٪۲۳٫۷، ٪۲۷٫۱ و ٪۱۹٫۳ و کاهش نیروی برش پایه به ترتیب برابر ٪۴۵٫۱، ٪۳۹٫۲ و ٪۳۲٫۸ بوده است.

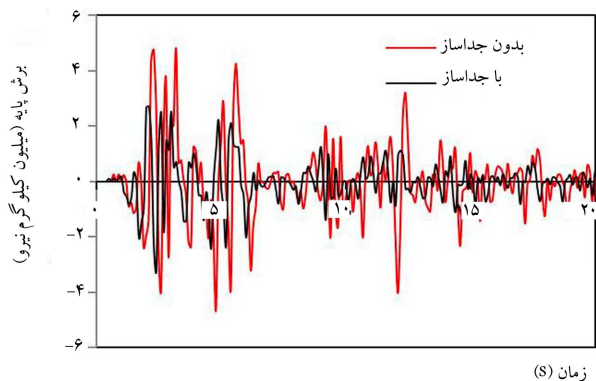
۳. در مخزن بتنی که تراز آب ۱۰۰٪ دارد، استفاده از جداساز باعث کاهش بیشینه‌ی تغییرمکان جانبی مخزن و نیروی برش پایه شده است، به طوری که کاهش تغییرمکان در زلزله‌های السنتره، کوبه و لوماپریتا به ترتیب برابر ٪۲۸٫۴، ٪۲۶٫۲ و ٪۳۸٫۸ و کاهش نیروی برش پایه به ترتیب برابر ٪۷۳٫۹، ٪۴۵٫۸ و ٪۲۸٫۷ بوده است.



شکل ۱۰. مقایسه‌ی برش پایه‌ی حاصل از زلزله‌ی السنتره برای تراز آب ۰٪.



شکل ۱۱. مقایسه‌ی برش پایه‌ی حاصل از زلزله‌ی السنتره برای تراز آب ۵۰٪.



شکل ۱۲. مقایسه‌ی برش پایه‌ی حاصل از زلزله‌ی السنتره برای تراز آب ۱۰۰٪.

پایه‌ی مخزن شده است. به خوبی مشخص است که نتایج حاصل از تحلیل مدل مذکور برای شتاب‌نگاشت‌های مفروض رضایت‌بخش است. با توجه به اینکه هدف پژوهش حاضر، بررسی تأثیر استفاده از جداساز در عملکرد لرزه‌ی مخزن هوایی آب بود و نه طراحی آن؛ درمورد شتاب‌نگاشت‌های زلزله‌های خاص دنیا که ژرفا، مدت زمان، شدت و شتاب بحرانی داشتند، می‌توان با اصلاح مشخصات جداساز و تحلیل مجدد برای این نوع خاص از شتاب‌نگاشت‌ها نیز به جواب قابل قبول دست یافت. بررسی تحلیل اخیر پیرامون تأثیر استفاده از جداساز به طور آشکار نشان می‌دهد که نصب جداساز در زیر مخزن، تأثیر خوبی در افزایش تغییرمکان مخزن و کاهش نیروی برش پایه خواهد داشت. دلیل این فرایند آن است زمانی که از میراگر در سیستم استفاده می‌شود، مخزن در حین زلزله به یک سیستم نرم‌شونده تبدیل

پانوشتها

1. Abaqus
2. plastic eccentricity parameter
3. dilation angle
4. viscosity parameter
5. plastic potential surface
6. tension stiffening
7. tension softening
8. damage parameter
9. elastic strain corresponding to the undamaged material
10. total tensile strain
11. inelastic strains

منابع (References)

1. Kobori, T. and Minai, R. "Analytical study on Active seismic response control", *Transactions of Architectural Institute of Japan*, **66**, 257 p. (1960).
2. Yao, J. T-P. "Concept of structural control", *ASCE Journal of Structural Division*, **98**, 1567 p. (1972).
3. Kobori, T., Koshika, N., Yamada, K. and et al. "Seismic-response-controlled structure with active mass driver system", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **20**(2), pp. 151-166 (1991).
4. Pall, A.S and Marsh, C. "Response of friction damped braced frames", *J. Struct. Engeg. ASCE*, **108**(6), pp. 1313-1323 (1982).

5. Haroun, M.A. and Housner, G.W. "Model for flexible tanks undergoing rocking", *SCE Journal of Engineering Mechanics*, **108**(6), pp. 783-800 (1985).
6. Veletsos, A.S. and Tangs, Y. "Rocking response of liquid storage tanks", *ASCE Journal of Engineering Mechanics*, **113**, pp. 1774-1792 (1987).
7. Mualla, I. and Bellev, B. "Performance of steel frames whit a new fiction damper", *Engineering Structures*, **24**, pp. 365-371 (2002).
8. Shimali, M.K. and Jangid, R.S. "Seismic response of liquid storage tanks isolated sliding bearings", *Engineering Structures*, **24**(7), pp. 909-921 (2002).
9. Kim, M.K., Lim, Y.M., Cho, K.H. and et al. "Seismic analysis of base-isolated liquid storage tanks using the BE-FE-BE coupling technique", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **22**(9-12), pp. 1151-1158 (2002).
10. Kim, M.K., Lim, Y.M. and Cho, K.H. "Seismic response of base-isolated liquid storage tanks considering fluid-structure-soil interaction in time domain", *Department of Civil and Environmental Engineering*, **24**, pp. 839-852 (2004).
11. Chin-Yuan, H. "Fluid dynamics and behavior of nonlinear viscousFluid dampers", *Journal of structural Engineering, ASCE*, **134**(1), pp. 56-63 (2008).
12. Muhannad Y.F. "Department of urban management", Graduate of Engineering, Akira Igarashi, Department of Civil and Earth Resources Engineering, Kyoto University, Kyoto 615-8540, Japan (2013).