

تأثیر نوع و ارتفاع سیستم پایه بر رفتار لرزه‌ای مخازن هوایی بتنی

سعید صادقی‌نیا^۱، سیروس ارشادی^۲

تاریخ دریافت: ۸۸/۰۶/۰۲

تاریخ پذیرش: ۸۸/۰۷/۲۸

چکیده

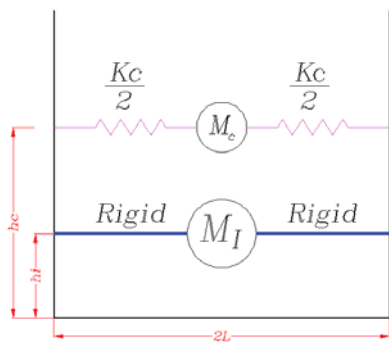
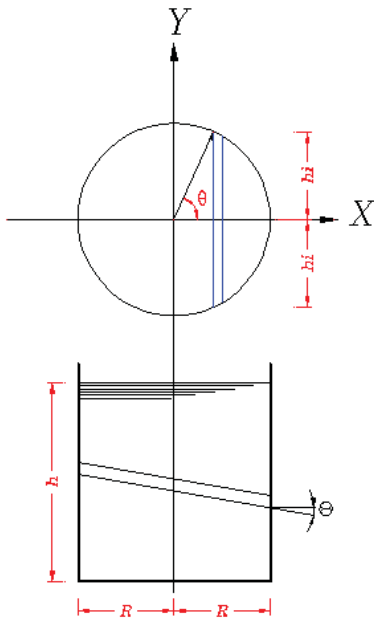
مخازن آب از جمله اجزاء اصلی شبکه‌های آبرسانی جهت ذخیره، نگهداری و نیز تامین فشار مورد نیاز می‌باشند؛ لذا برخورداری از شکل‌پذیری مناسب، ظرفیت جذب و استهلاک انرژی زلزله و حفظ پایداری کلی سازه از اهم موارد در طرح مناسب اینگونه مخازن می‌باشند. با توجه به اینکه در زلزله‌های اخیر، مخازن هوایی از جمله آسیب‌پذیرترین سازه‌ها بوده اند، لذا مطالعه بیشتر و دقیق‌تر رفتار این سازه‌ها تحت شرایط لرزه‌ای ضروری می‌نماید. به طور کلی مخازن هوایی دارای دو نوع سیستم سازه‌ای با پایه استوانه‌ای و قاب خمشی بوده، که هر یک دارای معایب و محاسنی می‌باشند. در این تحقیق مخازن هوایی آب با دو نوع سیستم پایه‌ای مورد اشاره برای منطقه با لرزه خیزی زیاد (شهر بندرعباس) و با اعمال تغییرات در ارتفاع پایه (با سه ارتفاع ۲۴، ۳۵ و ۴۹ متر) و با در نظر گرفتن اندرکنش سازه و آب و با حجم نسبی آب درون مخزن ۰/۲۵، ۰/۵۰، ۰/۷۵ و ۱/۰۰ در هر حالت پایه (در مجموع ۲۴ مدل)، در نرم‌افزار SAP 2000 – V12 مدل‌سازی و عملکرد لرزه‌ای هر یک از مخازن در حالت‌های مختلف با استفاده از تحلیل دینامیکی - طیفی (طیف پیشنهادی آیین نامه ۲۸۰۰ ایران) مورد بررسی قرار گرفته است. در پایان، این پژوهش به این نتیجه رهنمون شده که مخازن با پایه از نوع قاب خمشی، دارای پارامترهای پاسخ لرزه‌ای بهتری نسبت به پایه شفتی می‌باشند و دیگر آنکه در مخازن با پایه شفتی تنها در صورتی که نسبت قطر به ضخامت پایه در محدوده خاصی واقع شود، عملکرد لرزه‌ای بهتری را در این نوع مخازن شاهد خواهیم بود.

کلیدواژه‌ها: مخزن هوایی آب، پایه قاب خمشی، پایه شفتی، اندرکنش سازه و سیال، تحلیل دینامیکی

۱- کارشناس ارشد عمران - سازه E-mail: sadeghinia1354@yahoo.com

۲- استادیار و عضو هیأت علمی دانشگاه هرمزگان - دانشکده مهندسی عمران E-mail: Cyrusershadi1@yahoo.co.uk

بویژه در مورد مخازن با پایه قاب خمشی در صورتیکه نسبت پریرود پیچشی به پریرود جانبی در محدوده ۰/۷ تا ۱/۲۵ قرار گیرد، این حالت بحرانی تر خواهد شد [۴ و ۵].



شکل ۱- مدل مکانیکی دو جرمی هاسونر و فرمولهای مربوط به محاسبه جرم ضربانی و نوسانی [۱ و ۲]

$$M_I = \frac{\tanh\left(\sqrt{\frac{R}{h}}\right)}{\sqrt{\frac{R}{h}}} M, \quad h < 1/5R$$

$$h_I = \frac{3}{8} h, \quad h < 1/5R$$

مقدمه

با توجه به اینکه تحریکات زلزله دارای سه بعد بوده و در اثر اعمال شتاب زمین به سازه در سه راستای افقی، قائم و دورانی، شتاب بوجود می‌آید. مؤلفه افقی باعث پدیدار شدن فشار هیدرودینامیکی در سازه‌های هیدرولیکی از جمله مخازن خواهد شد. این فشار به دو قسمت فشار ضربانی و فشار نوسانی تجزیه می‌شود. فشار ضربانی در اثر ارتعاش دیواره مخزن رخ می‌دهد، در صورتی که فشار نوسانی در اثر انتقال ارتعاشات ضربه‌ای که به صورت امواج سطحی (Sloshing) در اثر تلاطم سیال حاصل می‌شود، پدیدار می‌گردد.

از اواسط دهه ۵۰ میلادی پژوهش‌های متعددی در زمینه ارائه فرمولهایی جهت محاسبه فشار هیدرودینامیکی مایعات در مخازن صورت گرفته است. هاسکینز^۱ اولین مطالعات را روی مخازن انجام داد. وی با در نظر گرفتن مخزنی با جداره صلب که به صورت گیردار به پی متصل شده بود، به بررسی آزمایشگاهی و نظری پاسخ سیستم تحت اثر حرکت افقی زلزله پرداخت [۱ و ۳]. سرانجام هاسونر^۲ با یک روش تقریبی و بدون بهره‌گیری از معادلات دیفرانسیل و مشتقات جزئی، یک مدل مکانیکی ساده برای برآورد اثرات دینامیکی سیال روی سازه ارائه نمود که در آن فشار هیدرودینامیکی سیال به دو بخش ضربانی و نوسانی تقسیم شده بود (شکل ۱). سونوبه^۳ آزمایش‌هایی را روی مدل‌های با مقیاس ۱:۲۰ و ۱:۱۰ مخازن هوایی انجام داد و نتایج را با تحلیل‌های کامپیوتری مقایسه کرد و نتیجه گرفت که رفتار دینامیکی مخازن هوایی با دقت مناسب قابل معادل‌سازی با یک مدل مکانیکی دو درجه آزادی است. هارون^۴ با استفاده از روش‌های المان محدود (Finite Element Method) برای حل معادلات حاکم بر دینامیک سیالات، نیروهای اعمالی از سیال و سازه را در مخازن هوایی مورد مطالعه قرار داد [۱ و ۳]. دوتا^۵ به بررسی آسیب‌پذیری پیچشی مخازن هوایی پرداخت و نتیجه گرفت که با اینکه این سازه‌ها از نظر جرم و سختی دارای تقارن هستند، اما مقدار ناچیزی پیچش تصادفی می‌تواند همراه با تشدید و افزایش دامنه در حین زلزله و ایجاد خسارت‌های کلی شود.

- 1- Hoskins, L. M. (1934)
- 2- Haroun, M. A. (1991)
- 3- Sonobe, Y. (1969)
- 4- Haroun, M. A. (1991)
- 5- Dutta, S. C. (2000)

$$M_C = 0.445 \frac{R}{h} \tanh\left(\sqrt{\frac{\gamma V}{\lambda R}} \frac{h}{R}\right) M \quad \text{و} \quad h_C = h \left[1 - \frac{\cosh\left(\sqrt{\frac{\gamma V}{\lambda R}} \frac{h}{R}\right) - 1}{\sqrt{\frac{\gamma V}{\lambda R}} \frac{h}{R} \sinh\left(\sqrt{\frac{\gamma V}{\lambda R}} \frac{h}{R}\right)} \right]$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \Theta = \Theta_h \frac{\sinh\left(\sqrt{\frac{\gamma V}{\lambda R}} \frac{(h-z)}{R}\right)}{\sinh\left(\sqrt{\frac{\gamma V}{\lambda R}} \frac{h}{R}\right)} \\ \omega_C^2 = \sqrt{\frac{\gamma V}{\lambda R}} \frac{g}{R} \tanh\left(\sqrt{\frac{\gamma V}{\lambda R}} \frac{h}{R}\right) \end{array} \right. \quad \text{و} \quad T_{ci} = \frac{2\pi\sqrt{R/g}}{\sqrt{\alpha_i \tanh\left(\alpha_i \frac{h}{R}\right)}}, \quad \alpha_i = \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}, \frac{5\pi}{2}, \frac{7\pi}{2}, \dots$$

h_i : ارتفاع استقرار جرم ضربانی از کف مخزن

M_i : جرم ضربه‌ای

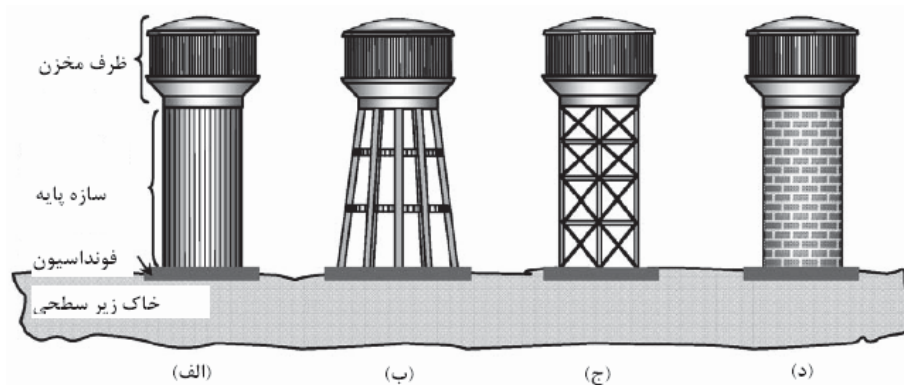
h_c : ارتفاع استقرار جرم نوسانی از کف مخزن

M_c : جرم نوسانی

T_c : پریود جرم نوسانی

ω_c : فرکانس زاویه‌ای جرم نوسانی

Θ : پاسخ ارتعاش آزاد



شکل ۲- انواع مخازن هوایی با سیستم پایه مختلف: (الف) مخزن با پایه سازه بتن مسلح شفتی، (ب) مخزن با سازه قاب خمشی بتن مسلح، (ج) مخزن با سازه قاب بتن مسلح یا فولادی مهاربندی شده، (د) مخزن با سازه پایه از نوع مصالح بنایی

معماری دارد. انواع مخازن با سیستم‌های پایه مختلف در شکل (۱) نمایش داده است.

پایه‌های شفتی که از پایه‌های رایج در مخازن هوایی بتنی با حجم‌های بزرگ می‌باشند، بدلیل اینکه معین بوده و توانایی استهلاک انرژی اعمال شده به سازه را از طریق ایجاد

انواع سیستم پایه و خرابی رایج ناشی از نیروی زلزله

به طور کلی مخازن هوایی براساس سیستم انتقال نیرویی پایه آن به دو دسته: (۱) شفتی (استوانه‌ای) و (۲) قاب خمشی تقسیم می‌شوند. مزیت نسبی هر یک بستگی به عملکرد و الزامات

قاب می‌شود که خرابی سازه را بدنبال دارد. هرچه شمار طبقات افزایش یابد رفتار قابی آن بیشتر شده و سختی قاب نیز افزایش می‌یابد، که کم شدن تغییر مکان‌ها و یکپارچگی بیشتر قاب در اثر اعمال نیروهای خارجی را در بر خواهد داشت. چنانچه اتصالات برای نیروهای لرزه‌ای طراحی نشده باشند، به تخریب آن‌ها می‌انجامد. در برخی پایه‌ها، تیرها در نزدیکی اتصال به ستونها دچار ترک‌های برشی می‌شوند، که ناپایداری جانبی قاب را در پی خواهد داشت.

مخازن مورد مطالعه

در این تحقیق جهت بررسی و مقایسه عملکرد لرزه‌ای، دو نوع سیستم پایه مورد اشاره (قاب خمشی و شفتی) با ارتفاع پایه متغیر، مخزن ذخیره ۱۰۰۰ مترمکعبی با دو نوع سیستم پایه و حالت‌های نسبی ذخیره مخزن (۲۵٪، ۵۰٪، ۷۵٪ و ۱۰۰٪) و در سه ارتفاع متفاوت (۲۱، ۳۵، ۴۹ متر) یعنی در مجموع ۲۴ مدل مختلف با پارامترهای متغیر: ۱- سیستم پایه ۲- ارتفاع پایه ۳- حجم نسبی مخزن در نظر گرفته شده‌اند. طراحی براساس آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران و ACI 371R-98 با لحاظ نمودن منطقه با خطر لرزه‌خیزی بسیار زیاد (شهر بندرعباس) و خاک از نوع نهشته‌های نرم با رطوبت زیاد بر اثر بالا بودن سطح آب زیرزمینی (نوع زمین ۴ با توجه به ساحلی بودن منطقه)، بارگذاری شده و هر دو نوع پایه براساس ACI318 طراحی شده است. در این تحقیق از قابلیت‌های نرم افزار SAP 2000 - V12 جهت مدلسازی و بررسی رفتار غیرخطی بهره برده شده است.

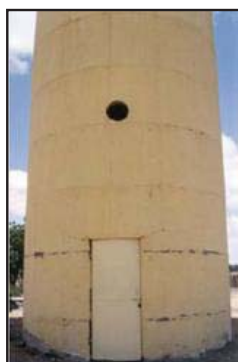
مفصل‌های پلاستیک ندارند، لذا در صورت خرابی هر مقطع از پایه، تنها مسیر انتقال نیروها از بین خواهد رفت و سازه دچار فروپاشی کامل خواهد شد. در این پایه‌ها سه نوع ترک پس از وقوع زلزله مشهود می‌باشد [۶].

نوع اول: ترک‌های افقی محیطی، که در اثر لنگر خمشی در مقاطعی از پایه که به پی نزدیک می‌باشند و لنگر خمشی در آنها بیشتر می‌باشد دیده می‌شوند (شکل ۳- الف).

نوع دوم: ترک‌های نوع قائم، که در اثر نیروهای فشاری زیادی که هنگام زلزله به پایه وارد شده، ایجاد می‌گردند. هنگامی که نیروی وارد به پایه در اثر مولفه قائم زلزله و لنگر واژگونی نسبت به مقاومت فشاری مقطع فزونی یابد، اثرات پواسون باعث انبساط عرضی پایه شده و در نهایت منجر به ترک خوردگی قائم پایه خواهد شد (شکل ۳- ب).

نوع سوم: ترک‌های محیطی قطری، که حاصل پاسخ پیچشی سازه یا لنگر خمشی و نیروی برشی و یا ترکیب آنها می‌باشد (شکل ۳- ج).

اما در مورد پایه‌های خمشی بتن مسلح بدلیل برخورداری از درجه نامعینی زیاد، امکان باز توزیع نیروها در سازه در صورت تسلیم سایر نقاط، وجود مسیرهای گوناگون انتقال بار و یکپارچگی اتصالات تیر به ستون‌ها و با هدایت محل تشکیل مفصل به روی تیرها (رعایت نکته طراحی ستون قوی و تیر ضعیف)، شمار مفاصل ایجاد شده افزایش یافته و تغییر شکل‌های غیرخطی و خرابی‌ها در سازه بیشتر پخش خواهد شد. همچنین ایجاد مفصل در ستون‌ها، باعث مکانیسم شدن



(ج)



(ب)



(الف)

شکل ۳- (الف) مخزن ۲۶۵ مترمکعبی در فاصله ۲۰ کیلومتری از مرکز زلزله که در هنگام وقوع زلزله نیمه پر بوده است. (ب) ترک‌های افقی محیطی و قائم در مخزن آب با حجم ۵۰۰ متر مکعب که با تزریق اپوکسی پر شده است. زلزله بهوج هند، ۲۰۰۱ (ج) مخزن ۲۰۰ مترمکعبی که ترک‌های کششی - خمشی در محل درز اجرایی تا یک سوم ارتفاع پایه آن ادامه یافته، این مخزن در زمان زلزله خالی بوده است [۶].

در مخازن قاب خمشی و قطر و ضخامت پایه مخازن با پایه شفتی در جداول (۱) و (۲) ارائه شده است. نمودار نسبت قطر به ضخامت در مخازن با پایه شفتی مدل شده در نمودار (۱) ارائه شده است.

مدلسازی

در مدلسازی مخازن مذکور، دیواره مخزن توسط المان FRAME جایگزین شده و ابعاد تیر و ستونهای جایگزینی دیواره مخزن در جدول (۳) نمایش داده شده است (شکل ۵). وزن سازه مخزن بین ۲۴ گره کف مخزن و وزن پایه در نوع سیستم پایه خمشی در تراز استقرار تیرها بین گره‌ها (محل تلاقی تیر و ستونها) توزیع شده‌اند. در مورد مخازن با پایه شفتی شکل وزن پایه بین بیست گره پایه تقسیم شده است. وزن آب داخل مخزن نیز بنا به توصیه «هاوسنر» و روابط ارائه شده در شکل (۱) به دو قسمت ضربانی و نوسانی در موقعیت و با سختی حاصل شده از روابط فوق تقسیم شده است. ضمناً بنا به پیشنهاد «هاوسنر» و آیین‌نامه ACI 371R-98 نسبت میرایی (γ) برای سیستم پایه ۰.۵٪ و برای جرم نوسانی ۰.۱۵٪ در نظر گرفته شده است. مقادیر مذکور در جدول شماره (۴) و (۵) ارائه شده است.

در شکل (۴) نمونه‌ای از مدل مخازن در ارتفاع ۲۱ متری و آرایش ستونها در مخازن با پایه قاب خمشی ارائه شده‌اند. مشخصات مصالح و وزن قسمتهای مختلف در مخازن با پایه قاب خمشی به شرح زیر می‌باشند:

$$f, c = 28 \text{ MPa} \quad (۱)$$

$$f_y = 420 \text{ MPa} \quad (۲)$$

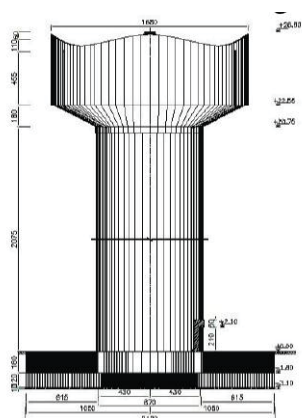
$$\gamma = 24 \text{ kN/m}^3 \quad (۳)$$

$$E_c = 2.5 \times 10^4 \text{ MPa} \quad (۴)$$

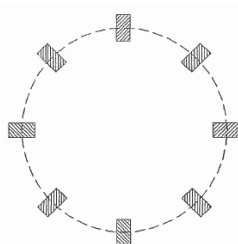
$$W_w = 10000 \text{ KN} \text{ وزن آب} \quad (۵)$$

$$W_p = 5800 \text{ KN} \text{ وزن ظرف} \quad (۶)$$

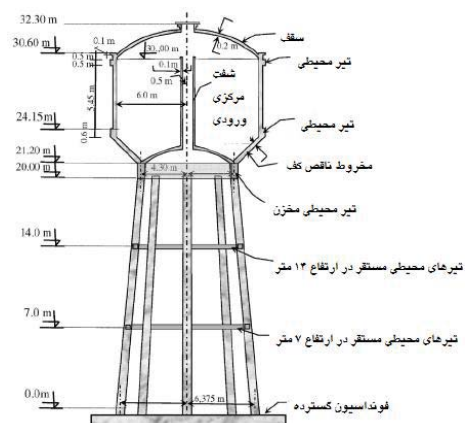
سازه مخزن، یک استوانه به شعاع ۶ و ارتفاع ۸ متر می‌باشد. کف مخزن نیز به صورت تاولی با ضخامت ۲۰ سانتیمتر بوده که توسط تیرهای شعاعی و محیطی تقویت شده است. سقف مخزن نیز به شکل مخروطی به شعاع ۶ متر و ارتفاع ۸۰ سانتیمتر و ضخامت ۲۰ سانتیمتر می‌باشد. ابعاد تیر و ستونها



(ج)

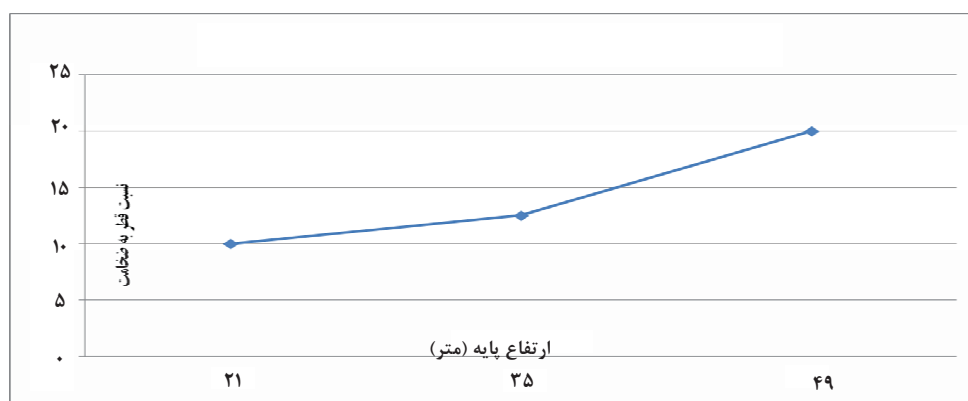


(ب)



(الف)

شکل ۴- (الف) مخزن هوایی با پایه قاب خمشی (ارتفاع ۲۱ متر)، (ب) آرایش ستونهای مخازن هوایی با پایه قاب خمشی، (ج) مخزن هوایی با پایه شفتی شکل (ارتفاع ۲۱ متر)



نمودار ۱- نسبت قطر به ضخامت (D/t)

ستون (COLUMN)		تیر (BEAM)		ارتفاع پایه (متر)
عمق (depth)	عرض (wide)	عمق (depth)	عرض (wide)	
۸۰۰	۸۰۰	۸۰۰	۷۵۰	۲۱
۸۵۰	۸۵۰	۸۵۰	۸۰۰	۳۵
۹۰۰	۹۰۰	۹۰۰	۸۵۰	۴۹

جدول ۱- ابعاد مقاطع تیر و ستونها در مخازن با پایه قابی شکل

ارتفاع پایه (متر)	t : ضخامت پایه (میلیمتر)	D : قطر پایه (میلیمتر)	نسبت قطر به ضخامت (D/t)
۲۱	۵۰۰	۵۰۰۰	۱۰
۳۵	۵۰۰	۶۲۵۰	۱۲٫۵
۴۹	۳۷۵	۷۵۰۰	۲۰

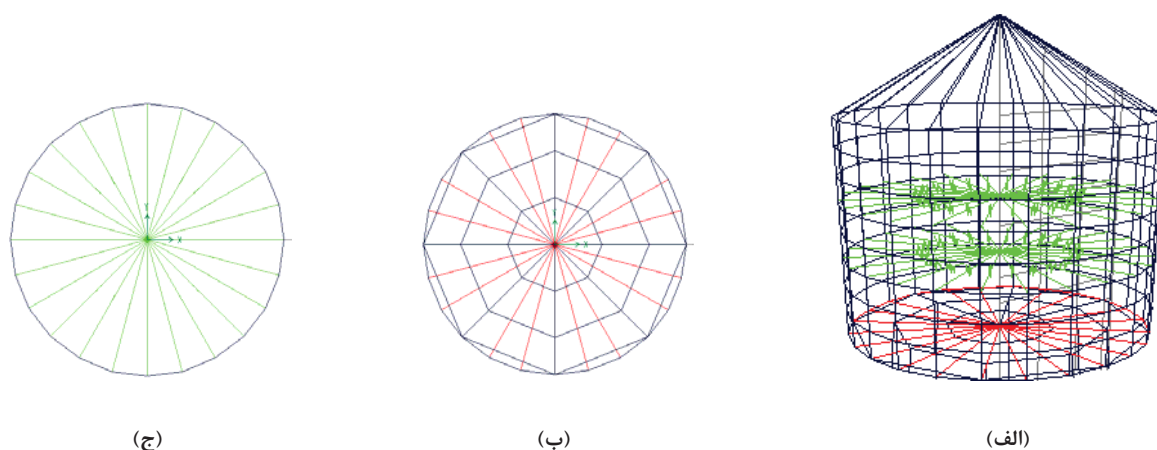
جدول ۲ - ضخامت و قطر پایه در مخازن با پایه شفقی

ستون (COLUMN1)		تیر (BEAM1)	
عمق (depth)	عرض (wide)	عمق (depth)	عرض (wide)
۵۰۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۵۰۰

جدول ۳- ابعاد مقاطع تیر و ستونها جایگزین شده به جای دیواره مخازن

حجم نسبی مخزن	ارتفاع آب H (متر)	وزن آب (کیلو نیوتن)	H/R	ارتفاع جرم ضربه‌ای (hi) (متر)	وزن ضربه‌ای (Wi) (کیلو نیوتن)	ارتفاع جرم نوسانی (hc) (متر)	وزن نوسانی (Wc) (کیلو نیوتن)	پریود (Tc) (ثانیه)	سختی فنر معادل (Kc) (N/m)
٪۲۵	۲	۲۶۵۵	۰/۳۰۷۶	۰/۷۵	۴۷۱/۶	۱/۰۳	۱۴۰/۶	۲۸/۵	۲۰۴
٪۵۰	۴	۵۳۱۰	۰/۶۱۶۴	۱/۵	۱۸۷۶	۳/۱۹	۲۲۲۷	۴/۱۹	۵۱۱/۷
٪۷۵	۶	۷۹۶۵	۰/۹۲۱۳	۲/۲۵	۴۴۰/۴	۳/۵۶	۲۵۶۶	۳/۹	۶۷۹/۳
٪۱۰۰	۸	۱۰۶۲۰	۱/۲۲۸	۳	۶۶۸۵	۵/۱۳	۲۶۸۴	۳/۸۱	۷۴۳/۶

جدول ۴ و ۵ - پارامترهای مدل مکانیکی مود ضربه‌ای و مود نوسانی حرکت آب

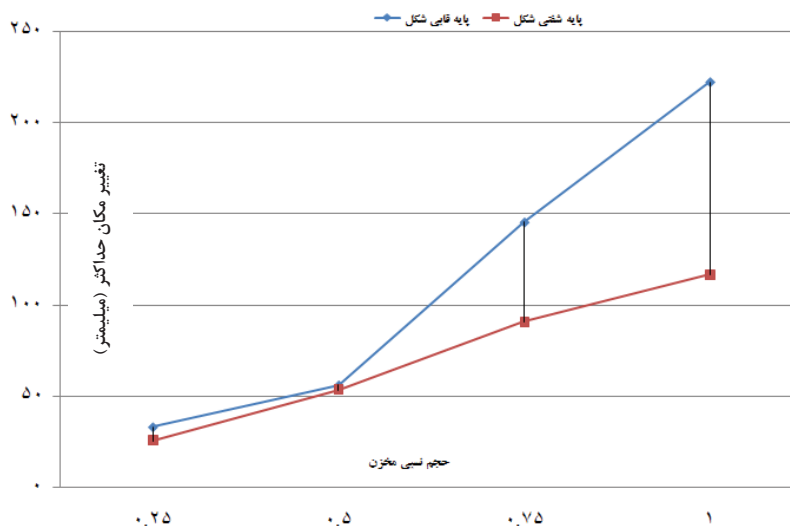


شکل ۵ - (الف) مخزن مدل شده با المانهای FRAME، (ب) آرایش تیرهای شعاعی و محیطی کف و تقسیم وزن مخزن بین ۲۴ گره کف، (ج) آرایش رابط‌های بین جرم ضربه‌ای و نوسانی به دیواره مخزن

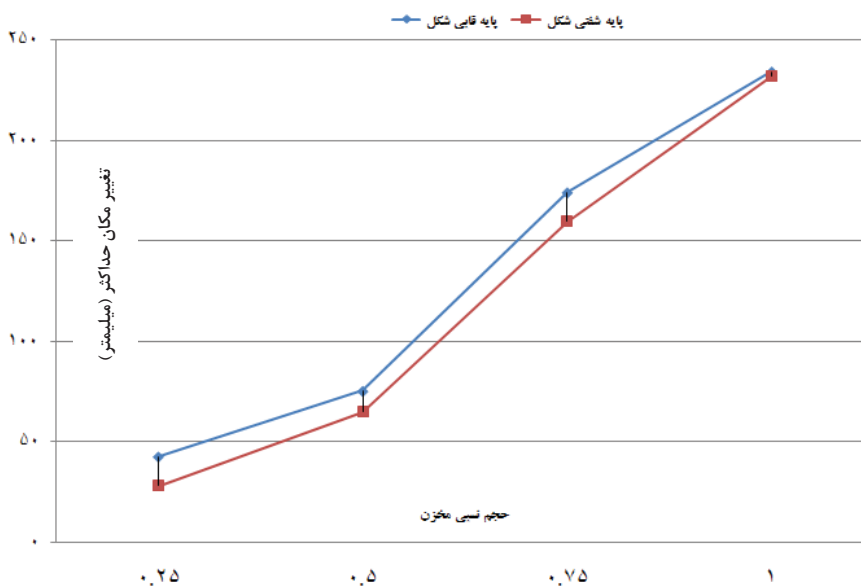
تحلیل دینامیکی طیفی

در تحلیل هر یک از مدلها، طیف پیشنهادی آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران در بارگذاری اعمال شده و نمودارهای قیاسی لنگر حداکثر، پریودها، و تغییر مکان مخازن با ارتفاع پایه‌های مختلف، برای هر یک از مخزن‌ها در حالت‌های ظرفیت نسبی مختلف و با ارتفاع و سیستم پایه‌های متفاوت بدست آمده است. نمودارهای (۲) تا (۷) از این تحلیل استخراج شده‌اند.

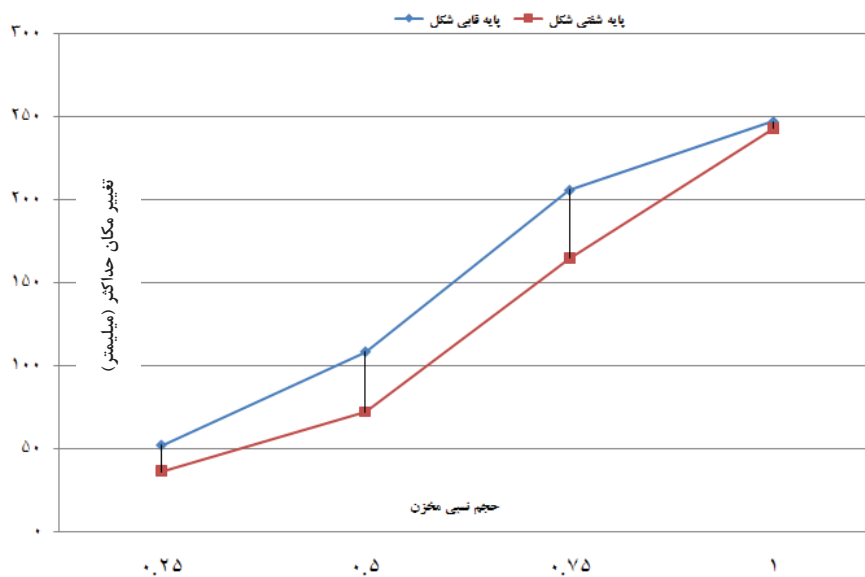
لازم به توضیح می‌باشد که جرم ضربانی به صورت متمرکز و توسط رابط‌هایی با سختی خیلی زیاد و جرم نوسانی نیز به صورت متمرکز و توسط رابط‌هایی با سختی $Kc/2$ (به طوریکه سختی کل در امتداد هر شعاع Kc باشد) جایگزین شده است.



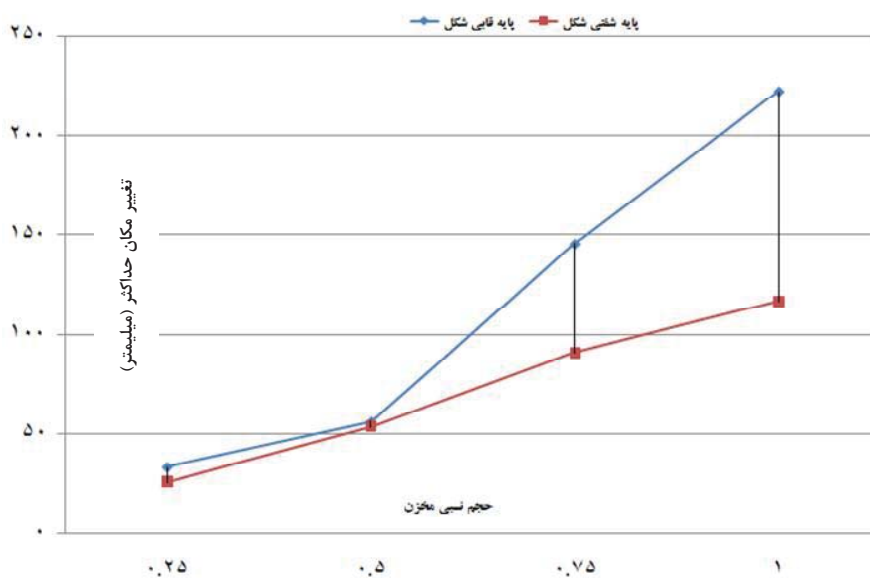
نمودار ۲- مقایسه بین تغییر مکان حداکثر مخزن با پایه قابی شکل و پایه شفتی شکل با ارتفاع ۲۱ متر



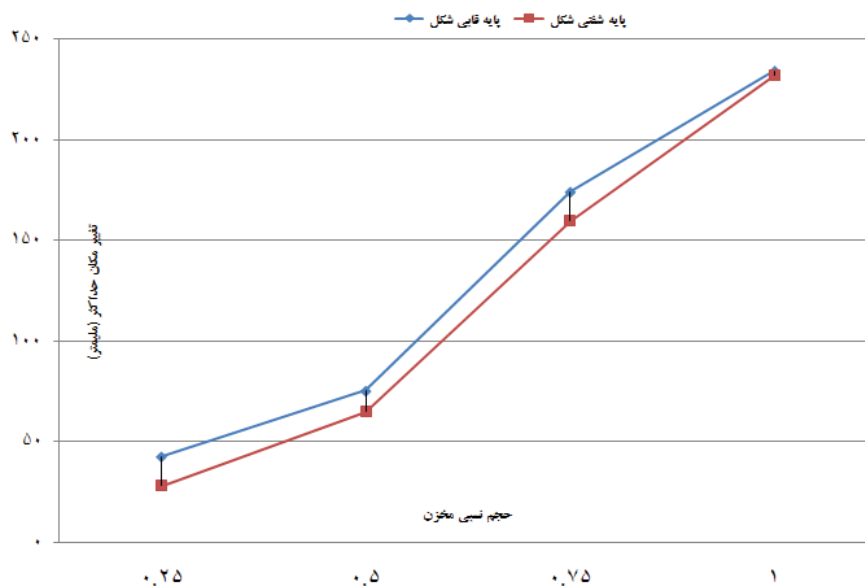
نمودار ۳- مقایسه بین تغییر مکان حداکثر مخزن با پایه قابی شکل و پایه شفتی شکل با ارتفاع ۳۵ متر



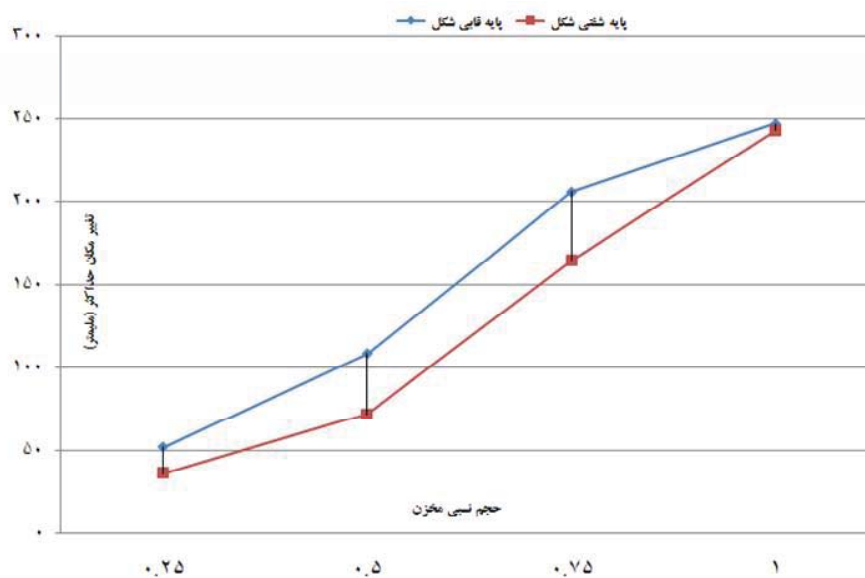
نمودار ۴- مقایسه بین تغییر مکان حداکثر مخزن با پایه قابی شکل و پایه شفتی شکل با ارتفاع ۴۹ متر



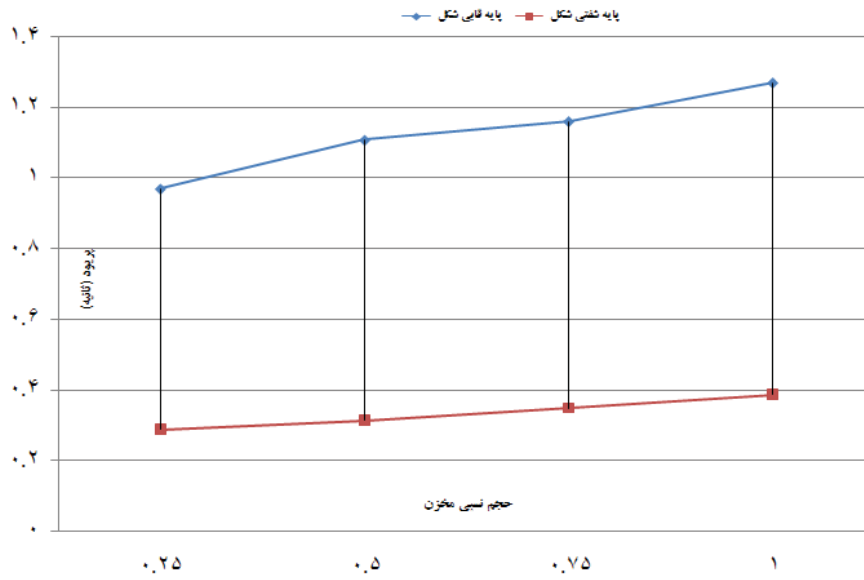
نمودار ۵- مقایسه بین تغییر مکان حداکثر مخزن با پایه قابی شکل و پایه شفتی شکل با ارتفاع ۲۱ متر



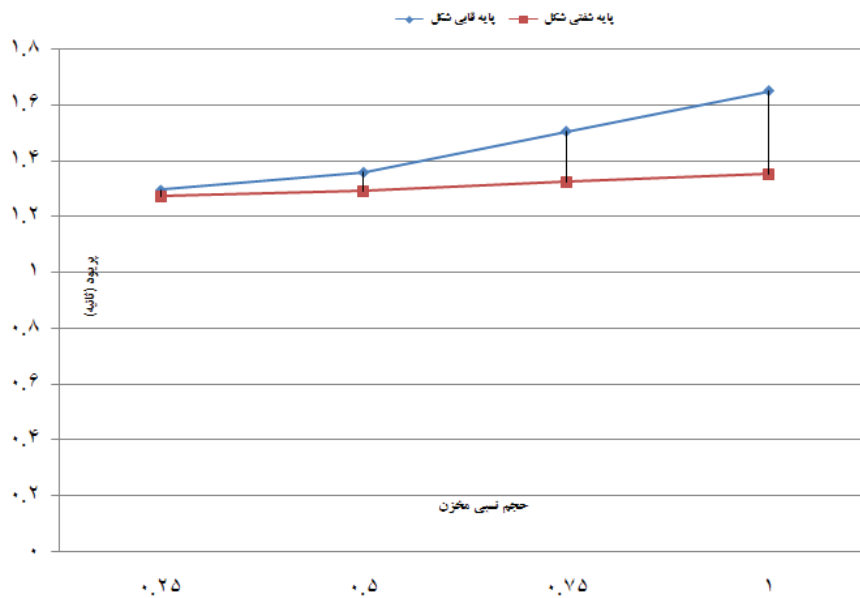
نمودار ۶- مقایسه بین تغییر مکان حداکثر مخزن با پایه قابی شکل و پایه شفتی شکل با ارتفاع ۳۵ متر



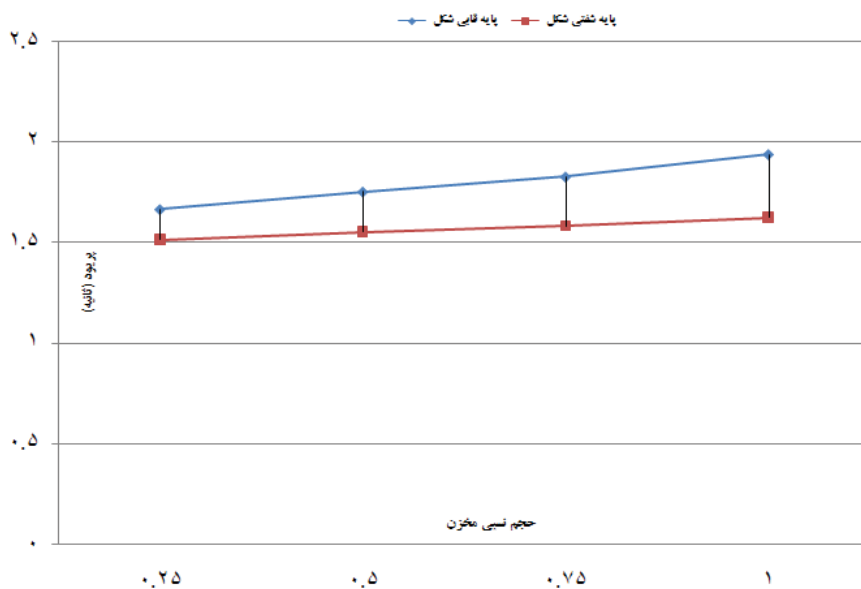
نمودار ۷- مقایسه بین تغییر مکان حداکثر مخزن با پایه قابی شکل و پایه شفتی شکل با ارتفاع ۴۹ متر



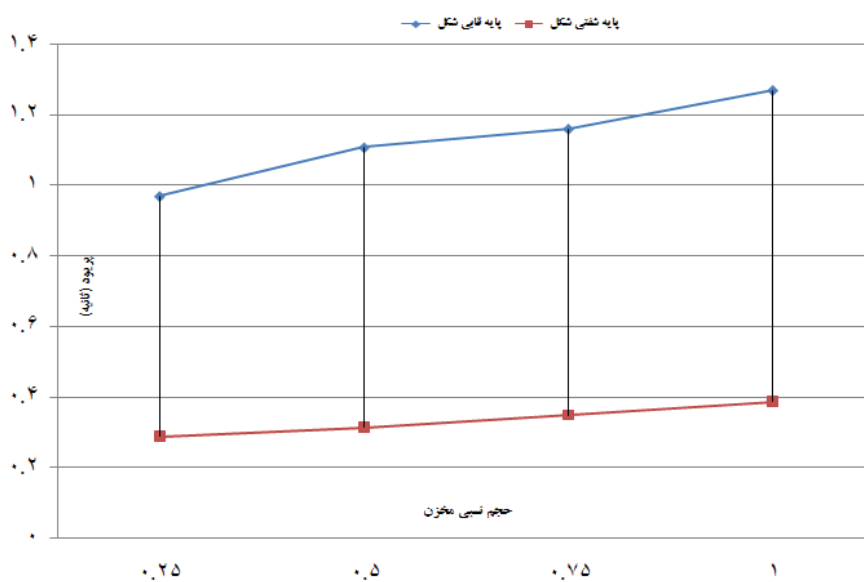
نمودار ۸- مقایسه بین پریود مواد اول مخزن با پایه قابی شکل و پایه شفتی شکل با ارتفاع ۲۱ متر



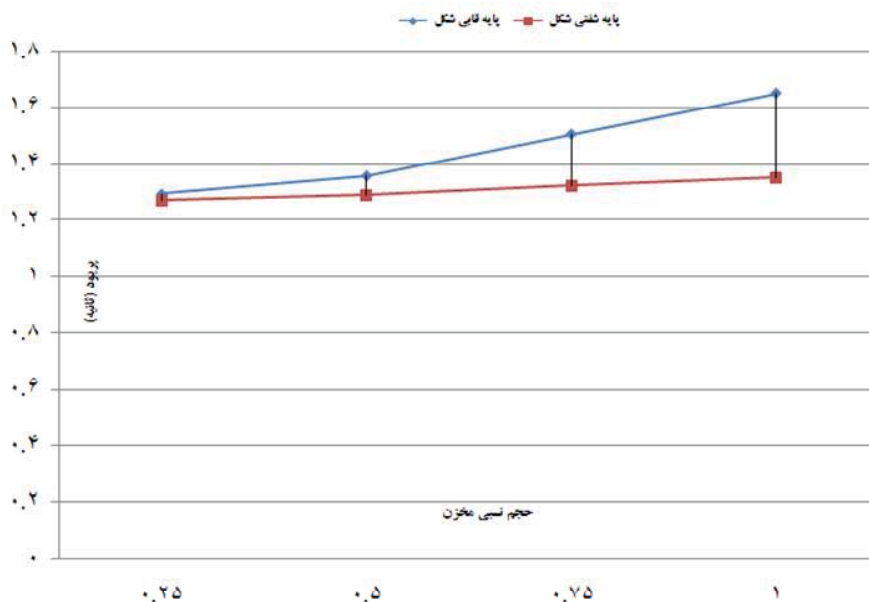
نمودار ۹- مقایسه بین پریود مواد اول مخزن با پایه قابی شکل و پایه شفتی شکل با ارتفاع ۳۵ متر



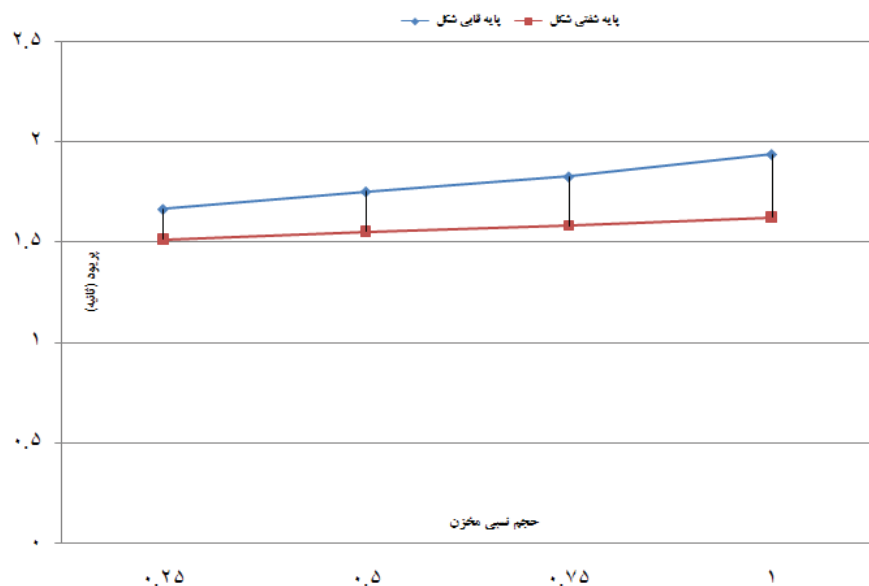
نمودار ۱۰- مقایسه بین پریود مواد اول مخزن با پایه قابی شکل و پایه شفتی شکل با ارتفاع ۴۹ متر



نمودار ۱۱- مقایسه بین پریود مواد اول مخزن با پایه قابی شکل و پایه شفتی شکل با ارتفاع ۲۱ متر



نمودار ۱۲- مقایسه بین پریرود مواد اول مخزن با پایه قابی شکل و پایه شغتی شکل با ارتفاع ۳۵ متر



نمودار ۱۳- مقایسه بین پریرود مواد اول مخزن با پایه قابی شکل و پایه شغتی شکل با ارتفاع ۴۹ متر

مودهای تغییر شکل

در شکل‌های (۶) و (۷) پنج مود اول تغییر شکل مخازن با دو سیستم پایه مورد اشاره و با ارتفاع ۲۱ متر نمایش داده شده است.

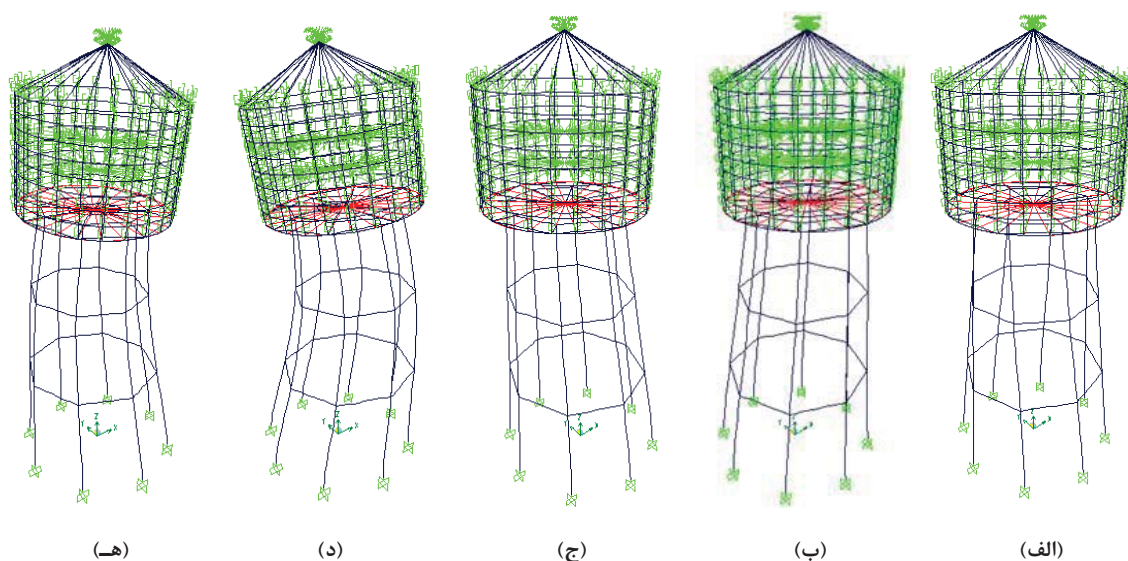
نتایج تحلیلی و مقایسه‌ای مدلها

آنگونه که از نمودارهای فوق مشهود می‌باشد، تغییر مکان حداکثر مخازن با پایه شفتی و پایه قاب خمشی با افزایش ارتفاع و حجم نسبی مخزن به یکدیگر نزدیک می‌شود و اختلاف فاحش بین این مشخصه در مخازن با ارتفاع ۲۱ متر پدیدار می‌شود، که می‌توان آن را به نوسان صلب مخزن به همراه زمین، مربوط دانست.

اما در مورد پریود مود اول مخازن با دو نوع پایه مفروض و ارتفاع پایه‌های مختلف آنگونه که از نمودارها برمی‌آید: پریود مخازن با

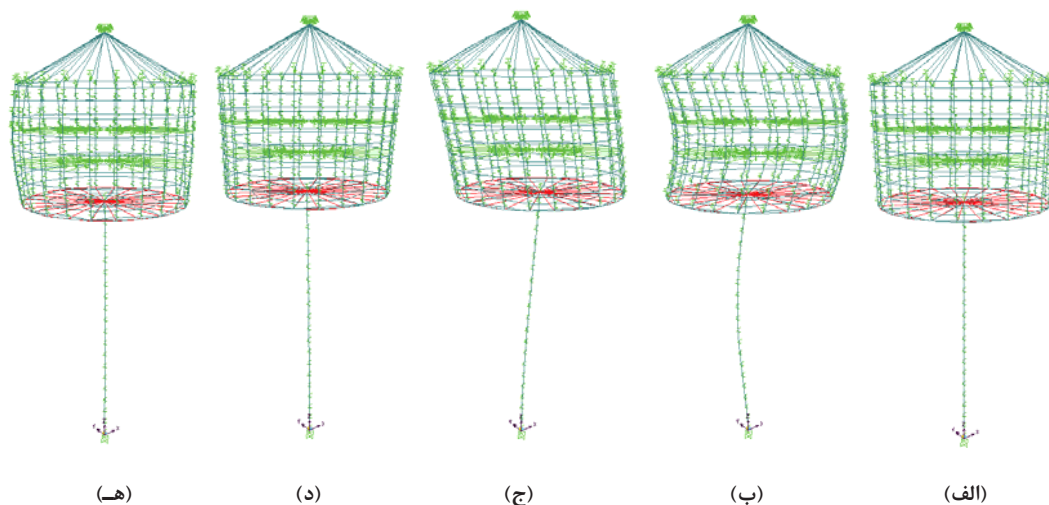
پایه قابی شکل همواره بیش از پریود مخازن با پایه شفتی شکل با ارتفاع پایه یکسان می‌باشد. نکته جالب توجه اینکه نوسانات پریود مود اول در مخازن با پایه قابی شکل در مقایسه با مخازن با پایه شفتی شکل بیشتر می‌باشد. بیشترین نوسانات بین پریود دو نوع مخزن مذکور از حجم نسبی مخزن ۵۰٪ تا ۱۰۰٪ رخ می‌دهد و در این میان در حجم نسبی ۷۵٪ بیشتر از بقیه اختلاف بین پریودهای مزبور با تغییرات ارتفاع پایه پدیدار شده است.

آنگونه که از مودهای تغییر شکل نیز قابل اثبات است رفتار صلب مخازن هوایی با پایه شفتی شکل و رفتار غیر الاستیک در مخازن هوایی پایه قاب خمشی می‌باشد، که با توجه به ارجحیت رفتار غیر الاستیک سازه در استهلاك انرژی لرزه‌ای، کارایی موثرتر مخازن هوایی با پایه قاب خمشی بر پایه شفتی شکل را بیان می‌دارد.



شکل ۶- تغییر شکل‌های مودی مخزن هوایی با پایه قاب خمشی؛

(الف) مود اول، (ب) مود دوم، (ج) مود سوم، (د) مود چهارم، (ه) مود پنجم (ارتفاع ۲۱ متر)



شکل ۷- تغییر شکل‌های مودی مخزن هوایی با پایه شفتی؛
(الف) مود اول، (ب) مود دوم، (ج) مود سوم، (د) مود چهارم، (هـ) مود پنجم (ارتفاع ۲۱ متر)

نتیجه‌گیری

(الف) برخلاف پیش‌بینی آیین‌نامه‌ها، پاسخ‌ها همیشه در حالت پر مخزن بحرانی نمی‌باشد و با توجه به مشخصات زلزله ممکن است پاسخ‌ها در حجم‌های کمتر مخزن بحرانی شوند.

(ب) با افزایش ارتفاع و حجم نسبی مخزن، پارامترهای رفتار لرزه‌ای دو سیستم پایه به یکدیگر نزدیکتر می‌شوند.

(ج) همانگونه که در اشکال مربوط به تغییر شکل‌های مودی مشاهده می‌شود، در مخازن با پایه قابی شکل، حتی با وارد شدن پایه به محدوده غیرخطی، قسمت اعظم تغییر شکل توسط سازه پایه تحمل می‌شود و تغییر شکل در سازه مخزن ناچیز می‌باشد؛ در حالی که در مخازن با پایه شفتی شکل بدلیل آنکه پایه در محدوده رفتار خطی باقی می‌ماند، لذا سازه مخزن وارد تغییر شکل‌های زیاد حتی از نوع غیر خطی خواهد شد.

(د) به طور کلی همانگونه که از نمودارها قابل استنتاج می‌باشد: مخازن با پایه قاب خمشی، عملکرد لرزه‌ای مناسب تری دارد؛ در حالی که در پایه شفتی، سازه دارای سختی بسیار

بالایی بوده و هنگام وقوع زلزله در حوزه رفتار خطی باقی خواهد ماند. لذا به نظر می‌رسد که علاوه بر لزوم بازنگری مقادیر ضریب رفتار بیان شده این نوع سازه‌ها در آیین‌نامه‌ها باید بین این دو نوع مختلف سیستم پایه نیز تفاوت قائل شد. تا طرح این سازه‌ها اقتصادی‌تر و عملکرد آنها در زمان زلزله مناسب‌تر شود.

(هـ) در مخازن با پایه شفتی در صورتی که $D/t = 12.5 - 20$ (D: قطر پایه و t: ضخامت پایه) باشد، دارای عملکرد لرزه‌ای مناسب تری می‌باشند.

پیشینه تاریخی عملکرد این مخازن در زلزله‌های گذشته نیز مؤید برتری عملکرد لرزه‌ای مخازن هوایی با پایه قابی شکل نسبت به مخازن با پایه شفتی شکل می‌باشد.

مراجع

۱. مسعودی، مصطفی؛ رفتار لرزه‌ای مخازن هوایی در اثر سه مولفه همبسته زلزله؛ پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی زلزله پژوهشگاه بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله: (۱۳۸۳).
۲. نشریه ضوابط و معیارهای طرح و محاسبه مخازن آب زمینی، ۱۲۳ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی: (۱۳۷۴).
3. Livaoglo R. and Dogangun A. Dynamic behavior and seismic performance of elevated tanks due to ground types defined in EC-8 and TEC-06. First European Conference On Earthquake Engineering and Seismology , Geneva , Switzland. (2006).
4. Dutta SC., Jain SK. and Murty CVR. Inelastic seismic torsional behavior of elevated tanks. Jour. Sound and Vibration. 242(1); 151-167. (2001).
5. Dutta SC., Jain SK. and Murty CVR. Alternate tank staging configuration with reduced torsional vulnerability. Soil Dynamic and Earthquake Engineering. 19; 199-215. (2000).
6. Rai DC and Singh B. Seismic design of concrete pedestal tanks. 13 Word Conference On Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Canada. (2004).

Investigation on the Effect Supporting System on Dynamic Response of Elevated Water Tanks

Saeid Sadeghinia¹

Sirus Ershadi²

Abstract

Water elevated tanks are one of the important lifelines in each region. Special consideration needs to be taken in dynamic behavior of water elevated tanks subjected to earthquake. This study investigates the effect of Supporting system on the seismic behavior of water elevated tanks. By considering two types of supporting system (1- shaft 2- frame) are calculated by analytical methods. Sloshing effect was also considered when tanks were 0.25 full , 0.5 full, 0.75 full and full using Housner theory. These 24 models are modeling with structural analysis computer program, SAP 2000 – V12. The results of two support systems are compared.

Key Words: *Elevated Water Tanks, Frame Support, Shaft Support: Fluid-Structure Interaction, Dynamic Analysis*

1- Ms civil structural

2- Hormozgan University – Assistan professor of civil Engineering college