

Evaluation of Seismic Design Forces of Liquid Storage Elevated Tanks based on Standard Design 2800 and Publication No. 38 in the Area with very High Relative risk of Earthquake

*Fereydoon Omidinasab**

Associate Professor, Department of Engineering, Lorestan University, Khorramabad, Iran

Omidinasab.f@lu.ac.ir

Research paper

Abstract

Generally, elevated tanks of liquid storage are designed for higher seismic forces than buildings due to their ductility and low energy absorption capacity. So that for a tank with low ductility, its base shear coefficient is about 6 to 7 times larger than the base shear coefficient of a ductile building and for a tank with high ductility, this ratio is about 3 to 4 times higher than all standards. In standard 2800, the fourth edition for elevated tanks of liquid storage behavior coefficient 2 and 3 is considered. In standard 2800, the fourth edition for air tanks of liquid storage behavior coefficient 2 and 3 is considered. In the publication, No. 38 coefficients of behavior for elevated tanks are presented in accordance with the standard 2800. The results showed that in standard 2800, the ratio of the base shear coefficient of the tank to the base shear coefficient of the ductile building in the relatively high risk zone for tanks with behavior coefficients of 3 and 2 in short periods was 3.5 and 5.25, respectively, while this value was obtained in No. 38 publications 4 and 6, respectively. The results also showed that the ratio of base shear coefficient of tanks to buildings in short periods for both behavior coefficients and four soil types in publication No. 38 was 14% higher than the results of the fourth edition of standard 2800.

Keywords: Elevated Tanks, Design Spectrum, Standard 2800, Ductility, Seismic Design Force, Publication No. 38.

***Corresponding Author:** Fereydoon Omidinasab

Omidinasab, F. Evaluation of Seismic Design Forces of Liquid Storage Elevated Tanks based on Standard Design 2800 and Publication No. 38 in the Area with very High Relative risk of Earthquake. *Journal of Concrete Structures and Materials*, 2023; 8(1): 214-229. <http://doi.org/10.30478/jcsm.2023.404123.1333>
2538-5828/ © 2023 The Authors. Published by Iranian Concrete Society

This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

ارزیابی نیروهای طراحی لرزه‌ای مخازن هوایی ذخیره مایعات بر اساس طیف طرح استاندارد ۲۸۰۰ و نشریه شماره ۳۸ در پهنه با خطر نسبی خیلی زیاد زلزله

فریدون امیدوی نسب

دانشیار سازه، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران
Omidinasab.f@lu.ac.ir

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

چکیده

بطور کلی مخازن هوایی ذخیره مایعات به علت شکلپذیری و ظرفیت جذب انرژی کم برای سطح نیروهای لرزه‌ای بالاتری نسبت به ساختمانها طراحی میشوند. به طوریکه برای یک مخزن با شکلپذیری کم، ضریب برش پایه آن در حدود ۶ تا ۷ برابر بزرگتر از ضریب برش پایه یک ساختمان شکل‌پذیر است و برای یک مخزن با شکلپذیری بالا، این نسبت در حدود ۳ تا ۴ برابر در تمام استانداردها میباشد. در استاندارد ۲۸۰۰، ویرایش چهارم برای مخازن هوایی ذخیره مایعات ضریب رفتار ۲ و ۳ لحاظ شده است. در نشریه ۳۸ ضریب رفتار برای مخازن هوایی مطابق با استاندارد ۲۸۰۰ ارائه شده است. نتایج نشان داد که در استاندارد ۲۸۰۰، نسبت ضریب برش پایه مخزن به ضریب برش پایه ساختمان شکل‌پذیر در پهنه با خطر نسبی خیلی زیاد به ترتیب برای مخازن با ضریب رفتار ۳ و ۲ در پریودهای کوتاه، به ترتیب برابر با ۳٫۵ و ۵٫۲۵ بوده در حالیکه این مقدار در نشریه ۳۸ به ترتیب ۴ و ۶ حاصل شده است. همچنین نتایج نشان داد که مقدار نسبت ضریب برش پایه مخازن به ساختمان در پریودهای کوتاه، برای هر دو ضریب رفتار و چهار نوع خاک در نشریه ۳۸ به مقدار ۱۴ درصد بیشتر از نتایج ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ است. مقدار نسبت ضریب برش پایه مخازن به ساختمان در پریودهای بلند، برای هر دو ضریب رفتار و چهار نوع خاک در نشریه ۳۸ به مقدار حداکثر ۳۶ درصد کمتر از نتایج ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ است.

کلمات کلیدی: مخازن هوایی، طیف طرح، استاندارد ۲۸۰۰، شکل‌پذیری، نیروی طراحی لرزه‌ای، نشریه ۳۸.

افزایش تقاضای آب، همراه با کمبود منابع آب و افزایش فراوانی خشکسالیها به دلیل تغییرات آب و هوایی، توجه جامعه تحقیقاتی را به خود جلب کرده است که هشدارها را در مورد آسیبپذیری روزافزون مدیریت منابع آب به همراه داشته است [۴-۱]. مخازن هوایی آب سازه‌های مهمی هستند زیرا عملکرد آنها برای حفظ خدمات پس از خطرات طبیعی و بلایای احتمالی، برای پشتیبانی از تقاضای آب آشامیدنی و اهداف آشنشانی ضروری است. خرابی این سازه می‌تواند عملکرد آنها را در برآوردن نیاز به آب برای آشامیدن و اطفاء حریق مختل کند، به ویژه پس از زلزله‌های شدید که طی آن این تقاضا به طور چشمگیری افزایش می‌یابد. علاوه بر این، مخازن هوایی عمدتاً در نزدیکی مناطق پرجمعیت قرار دارند، بنابراین، هر گونه خرابی جزئی یا کامل این سازه‌ها ممکن است تهدیدهای بزرگی برای ساکنین ساختمانهای مسکونی مجاور ایجاد کند، در نتیجه تعداد زیادی از ساکنان را تحت تأثیر قرار دهد. سازه نگهدارنده مخازن هوایی آب، آسیبپذیرترین اعضای سیستم سازه‌ای در برابر آسیب است. بخشهای کلیدی چنین سیستمهایی تیرها و ستونهایی هستند که بارها از طریق آنها به فونداسیون منتقل میشوند. بنابراین، شروع و انتشار هر گونه ترک در محفظه مخزن، کارکرد مخزن را محدود می‌کند. نمونه‌های زیادی از فروپاشی مخازن هوایی آب در زلزله‌های قبلی را می‌توان در تحقیقات گذشته مشاهده کرد [۵-۱۵]. تحقیقات نسبتاً زیادی رو مخازن از جمله مخازن هوایی از دیدگاه بررسی رفتار لرزه‌ای، تحلیل استاتیکی خطی و غیرخطی، تحلیل دینامیکی، شاخص خسارت، طراحی بر اساس عملکرد، آسیب‌پذیری، منحنی‌های شکنندگی، اثرات Sloshing و... پرداخته شده است [۱۶-۳۳].

سروش‌نیا و همکاران در تحقیقاتی که بر روی آسیبها و خسارات مخازن هوایی آب با پایه‌های نگهدارنده قابی شکل و شافتی شکل را در پژوهش‌های جداگانه‌ای انجام دادند و به خسارات وارده بر مخازن هوایی آب در زلزله‌های گذشته پرداختند. با مدلسازی اجزای محدود مخازن هوایی نشان دادند که پایه‌های نگهدارنده شافتی شکل آسیبپذیرتر از پایه‌های نگهدارنده قابی شکل هستند و این مطالعات نشان داد که پایه‌های نگهدارنده قابی شکل عملکرد بهتری در زلزله‌های گذشته داشته‌اند [۳۴ و ۳۵]. در برخی تحقیقات داخلی به بررسی و مقایسه ضوابط طراحی لرزه‌ای مخازن ذخیره بر اساس نشریه ۳۸ و نشریه ۱۲۳ با آیین‌نامه‌های مختلف پرداخته شده است و در این تحقیقات کلیه ضوابط مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته است و به ارزیابی نیروهای طراحی لرزه‌ای پرداخته نشده است [۳۶ و ۳۷]. در این تحقیقات به مقایسه کلی ضوابط مخازن زمینی و هوایی پرداخته شده و ویرایش‌های قبلی این استانداردها مورد بررسی قرار گرفته است. بیشتر خسارات گزارش شده در مخازن هوایی آب در سازه نگهدارنده واقع شده‌اند و می‌توانند عمدتاً به اعضای ضعیف قاب و اتصالات ضعیف تیر و ستون نسبت داده شود. به عبارتی با توجه به قوانین و مقررات آیینهای مختلف مشخص است که علت اصلی آسیبپذیری مخازن هوایی برآورد کم مقدار نیروهای طراحی لرزه‌ای بوده بویژه در مناطق با خطر نسبی زیاد و خیلی زیاد زلزله [۳۴ و ۳۵]. لذا توجه به نیروهای طراحی لرزه‌ای مخازن هوایی و ارزیابی آنها توجه ویژه‌ای طلب کرده و بایستی مورد توجه محققان قرار گیرد.

اغلب استانداردهای طراحی از این نتیجه‌گیری استفاده کرده و عملکرد طراحی لرزه‌ای بالاتری برای مخازن در مقایسه با ساختمانهای دیگر قائل شده‌اند. به هر حال این تصمیم تحت تأثیر نوع مخزن، سازه نگهدارنده، نوع مهار مخزن و ... میباشد. اساساً این موضوع به اینکه یک نوع خاص از مخزن اینکه چقدر شکل‌پذیری و ظرفیت جذب انرژی از خود نشان میدهد، وابسته است. برای مخازن هوایی، شکل‌پذیری و ظرفیت جذب انرژی عمدتاً توسط سازه نگهدارنده صورت می‌گیرد.

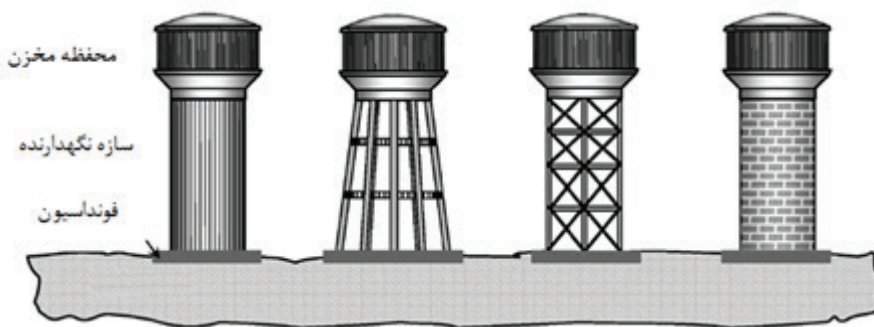
در خصوص ارزیابی نیروهای طراحی لرزه‌ای در کشورهای مختلف کارهای زیادی انجام شده است و تمرکز بیشتر این تحقیقات بر ارزیابی نیروهای طراحی لرزه‌ای برای یک یا چند مورد خاص مخزن هوایی بوده که مبنای تحقیقات دیگری بوده است. تنها در یک

نمونه تحقیق در کشور هندوستان نیروهای طراحی لرزه‌ای آیین‌نامه‌های مختلف با آیین‌نامه هندوستان برای مخازن مورد بررسی قرار گرفته است [۳۸]. در تحقیقات داخلی نیز وضعیت به همین منوال است و تحقیقاتی در این زمینه انجام نشده است. پژوهشی که نیروهای طراحی لرزه‌ای استاندارد ۲۸۰۰ و نشریه ۳۸ را مورد بررسی قرار دهد و آن‌ها را با هم مقایسه نماید انجام نشده است. لذا در تحقیق حاضر ضمن بررسی ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ و ویرایش سوم نشریه ۳۸ ضوابط و مقررات مربوط به این آیین‌نامه‌ها در خصوص مخازن هوایی مورد بررسی قرار گرفته و نیروی طراحی لرزه‌ای آن‌ها مورد ارزیابی و در نهایت مورد مقایسه قرار گرفته است [۳۹ و ۴۰].

۲- مخازن هوایی ذخیره مایعات

مخازن هوایی ذخیره مایعات، از مهمترین سازه‌های صنعتی و عمرانی می‌باشند، همچنین به علت استفاده گسترده و آسیب‌پذیری این گونه سازه‌ها در برابر زلزله، اخبار زیادی در مورد حوادث ناشی از تخریب آن‌ها طی زلزله‌های متفاوت گزارش گردیده است. مخازن ذخیره مایعات از جمله تأسیسات مهم خدمات شهری در بسیاری از شهرها به شمار می‌روند. به طوری که عملکرد ایمن این سازه‌ها در هنگام وقوع زلزله و حتی پس از آن، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. به طوری که بایستی کاربری خود را بعد از زلزله‌های بزرگ از دست ندهند و بتوانند برای نیازهای حیاتی، مانند فراهم نمودن آب آشامیدنی و آتش‌نشانی پس از زلزله از آن‌ها بهره‌مند گردید در صورت بروز شکست و خسارت در آن‌ها و برآورده نشدن سطح عملکرد مورد انتظار، باعث ایجاد خطرانی از نظر بهداشت شهر در اثر کم‌آبی یا عدم توانایی در مقابل اطفاء حریق در مواقع بحرانی به علت کمبود آب خواهد شد.

مخازن هوایی ذخیره مایعات دارای محفظه ذخیره مایعات و سازه نگهدارنده بوده و از نظر جنس مصالح بصورت فولادی، بتنی و بنایی طراحی و ساخته میشوند. هم محفظه ذخیره مایعات و هم سازه نگهدارنده این مخازن از جنس فولاد، بتن و بنایی هستند (شکل ۱).



شکل ۱- نمونه‌هایی از مخازن هوایی ذخیره مایعات با محفظه و سازه نگهدارنده مختلف

در مخازن بتن مسلح عمدتاً سازه نگهدارنده بصورت شافتی شکل و قابی شکل است. پایه‌های شافتی مخازن هوایی برای بارهای ثقلی قائم و بارهای جانبی متعادل رایج، طراحی می‌شوند. پایه‌های شافتی بتن مسلح دارای فقدان نامعینی و شکل‌پذیری می‌باشند از اینرو بایستی در مقابل زلزله به صورت الاستیک طراحی شوند. اگرچه طراحی‌های رایج نشان داده که در مقابل بارهای جانبی زلزله این گونه پایه‌ها آسیب‌پذیرند که این موضوع در زلزله‌های گذشته نیز تایید شده است. بطوریکه در زلزله رخ داده Bhuj در

هندوستان، خیلی از نگهدارنده‌های بتن مسلح شافتی آسیب دیده‌اند. بطوریکه مخازنی که در فاصله ۱۵۰ کیلومتری از مرکز زلزله قرار داشته آسیب دیده و حداقل یکی از این مخازن در محدوده مرکز زلزله دچار فروریزش شده است. ترکهای محیطی در پایه‌های شافتی نزدیک فونداسیون مخازن رخ داده که نشان‌دهنده خرابی در مود خمشی-کششی می‌باشد، در صورتیکه در ACI 371-R، هیچگونه کنترل صریحی برای رفتار خمشی-کششی وجود ندارد و رفتار شافت را به صورت دیوار برشی در نظر می‌گیرد.

نگهدارنده‌های نوع قابی شکل مخازن هوایی عموماً رفتار لرزه‌ای بهتری نسبت به نگهدارنده‌های نوع شافتی برای مقاومت در مقابل بارهای جانبی را دارا می‌باشند. زیرا دارای نامعینی بزرگتر و ظرفیت جذب انرژی لرزه‌ای بیشتری از طریق رفتار غیرخطی را دارا می‌باشند. نگهدارنده‌های نوع قابی شکل دارای اعضای خمشی زیادی شامل تیرها و ستونها می‌باشند. که در مقابل بارهای جانبی مقاومت می‌کنند و دچار خسارت کمی می‌شوند. در نتیجه فروریزش ناگهانی برای این مخازن بدلیل تحمل تغییر شکل‌های غیرالاستیک و توزیع خسارت در تعداد زیاد اعضای قاب اتفاق نمی‌افتد. بنابراین قاب بتن مسلح می‌تواند طوری طراحی شوند که شکل پذیری مناسب را تحت بارهای جانبی با اعتماد و اطمینان بیشتر دارا باشد بر خلاف مقاطع پوسته‌ای نازک نگهدارنده‌های نوع شافتی شکل. مقاطع نزدیک انتهای تیرها می‌توانند طوری طراحی شوند که جزییات مناسب را برای تحمل تغییر شکل‌های غیرالاستیک را دارا باشند تا بتوانند انرژی زلزله را تلف نمایند.

در پایه‌های قابی شکل بتن مسلح، بدلیل درجات زیاد نامعینی، امکان باز پخش نیروها در سازه در صورت تسلیم شدن نقاط دیگر، مسیرهای گوناگون انتقال بار و یکپارچه بودن اتصالات تیر به ستون باعث می‌شود که این نوع پایه‌ها رفتار لرزه‌ای خوبی داشته باشند. در طراحی این پایه‌ها باید کوشش بر آن باشد تا از ایجاد مفصل در ستون‌ها جلوگیری شود و با هدایت محل تشکیل مفصل بر روی تیرها، شمار مفاصل ایجاد شده افزایش یابد و تغییر شکل‌های غیرخطی و خرابی‌ها در سازه بیشتر پخش شوند. همچنین ایجاد مفصل در ستون‌ها باعث مکانیسم شدن قاب می‌شود که خرابی آن را به دنبال دارد. هرچه شمار طبقات قاب بیشتر باشد رفتار قابی آن بیشتر می‌شود و سختی قاب نیز بالا می‌رود که کم شدن تغییر مکان‌ها و یکپارچگی بیشتر قاب در نیروهای جانبی را دربر خواهد داشت. تجربه زلزله‌های گذشته نشان داده است که اگر طراحی مخازن درست انجام نشود و بار لرزه‌ای آن‌ها درست محاسبه نگردد باعث ایجاد خساراتهای سنگینی می‌گردند. عبارتی بدلیل سطح عملکرد لرزه‌ای بالاتر مخازن در مقایسه با ساختمانها، همچنین کم بودن ضریب رفتار و شکل‌پذیری آن‌ها بایستی دقت بیشتری در برآورد صحیح نیروهای لرزه‌ای آن‌ها نسبت به ساختمانها بعمل آید. بررسی گزارشات مربوط به خسارت‌های مخازن هوایی در دهه‌های گذشته مشخص شد که خسارتها، مربوط به پایه نگهدارنده و اعضای آن گزارش شده و هیچگونه خسارتی مربوط به محفظه مخزن گزارش نشده است. بصورت خلاصه مودهای شکست مخازن هوایی با پایه‌های شافتی شکل و قابی شکل در زلزله‌های گذشته در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱- طبقه‌بندی خسارت‌های وارده به مخازن هوایی بتن مسلح آب در اثر زلزله [۱۰ و ۱۱]

| نوع خسارت گزارش شده | اجزاء سیستم مخزن هوایی |
|---|------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> ● ایجاد ترک‌های برشی و تشکیل مفاصل پلاستیک در تیرها و بدنبال آن شکست تیر ● ایجاد ترک‌های برشی- خمشی و تشکیل مفاصل پلاستیک در تیرها و بدنبال آن شکست تیر ● ایجاد ترکهای قائم در ستونهای متصل به محفظه ● ایجاد ترکهای قائم و تشکیل مفاصل در بالا و پایین ستونها ● ایجاد ترک در ستونهای کوتاه ● ایجاد ترک در محل اتصال سیستم نگهدارنده به محفظه و تشکیل مفاصل پلاستیک ● ایجاد ترک‌های برشی در اتصالات ● از بین رفتن پوشش بتن روی آرماتورها در محل اتصالات ● فروریزش بدلیل تشکیل مفاصل پلاستیک در اعضای تیرها، ستونها و اتصالات و مکانیزم شدن ● فروریزش بدلیل بزرگنمایی پاسخ پیچشی در اثر بوجود آمدن خروج از مرکزیت‌های اتفاقی | قاب نگهدارنده |
| <ul style="list-style-type: none"> ● شکست خمشی-کششی <p>ترک‌های محیطی افقی که در اثر لنگر خمشی در مقاطعی از پایه که به پی نزدیک‌تر است و لنگر خمشی در آن‌ها بیشتر دیده می‌شوند. بطور کلی در مصالحی که مقاومت کششی کمی دارند (مانند بتن) ترک‌های خمشی بدلیل ترکیب تنش‌های خمشی و تنش‌های برشی به صورت قطری دیده می‌شوند. محل تماس بتن تازه و قدیمی که معمولاً یک سطح افقی می‌باشد نقطه ضعف خوبی برای ترک‌های خمشی می‌باشد. به همین دلیل برخی ترک‌های خمشی به صورت افقی نیز دیده می‌شود.</p> | شافت نگهدارنده |
| <ul style="list-style-type: none"> ● شکست خمشی-پیچشی یا خمشی- برشی <p>ترک‌های محیطی قطری که در اثر پاسخ پیچشی سازه یا لنگر خمشی و نیروی برشی و یا ترکیب آن‌ها بوجود می‌آید. ترکیب تنش‌های بدست آمده از لنگر خمشی و لنگر پیچشی باعث می‌شود که شیب خط گسیختگی نسبت به محور افقی کمتر گردد.</p> | شافت نگهدارنده |
| <ul style="list-style-type: none"> ● شکست خمشی-محوری <p>ترک‌های قائم که در اثر نیروهای فشاری زیادی که هنگام زلزله به پایه وارد می‌شود، ایجاد می‌گردند. هنگامیکه نیروی فشاری وارد شده به پایه در اثر مولفه قائم زلزله و لنگر واژگونی بیشتر از تاب فشاری مقطع شود، اثرات پواسون باعث انبساط عرضی پایه می‌شود که ترک خوردگی قائم پایه را بدنبال خواهد داشت. این رفتار در پایه‌هایی که میلگرد عرضی کمی دارند و میلگردهای عرضی، میلگردهای طولی و بتن جداره را بگونه‌ای مناسب محصور نکرده باشد، بیشتر می‌شود.</p> | شافت نگهدارنده |
| هیچ‌گونه خسارتی در محفظه گزارش نشده است. | محفظه مخزن |

۳- طیف طرح ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ و ویرایش سوم نشریه ۳۸

الف- روابط ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰

در استاندارد ۲۸۰۰، ضریب زلزله بر اساس رابطه (۱) بیان می‌گردد و همچنین در نشریه ۱۲۳ برای محاسبه نیروی لرزه‌ای مخازن به استاندارد ۲۸۰۰ ارجاع داده شده است. در نشریه ۳۸ که ضوابط و مقررات متفاوتی دارد که برگرفته از آییننامه ASCE 7-10 بوده

و ضوابط آن در ادامه ارائه می‌گردد. در ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰، مقدار ضریب زلزله با استفاده از رابط (۱) محاسبه می‌گردد که جزییات و محدودیت‌های آن هم برای ساختمان شکل‌پذیر و مخازن هوایی در این جدول (۲) بیان گردیده است.

$$C = \frac{ABI}{R_u} \quad (1)$$

مقدار ضریب زلزله، C، برای ساختمانها در هیچ حال نباید کمتر از مقدار زیر در نظر گرفته شود.

$$C_{\min} = 0.12AI \quad (2)$$

مقدار حداقل ضریب زلزله برای سازه‌های غیرساختمانی غیرمشابه با ساختمانها و متکی بر زمین مطابق بند (۵-۳-۱) بصورت زیر

بیان شده است:

در موارد کلی:

$$C_{\min} = 0.09 \quad (3)$$

در مناطق با خطر نسبی خیلی زیاد و زیاد و زمین‌های نوع III و IV:

$$C_{\min} = \frac{1.6AI}{R_u} \quad (4)$$

به عبارتی در پهنه با خطر نسبی خیلی زیاد می‌توان برای مخازن هوایی و برای خاک نوع I و II از رابطه (۳) و برای خاک نوع III

و IV از رابطه (۴) برای حد پایین مقدار ضریب زلزله استفاده کرد.

جدول ۲- روابط و محدودیت‌های ضریب زلزله در ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ برای ساختمان شکل‌پذیر و مخازن هوایی

| استاندارد | سازه | ضریب زلزله | ضریب بازتاب B | ضریب اهمیت I | ضریب رفتار R or R _u |
|-----------|---------|--|---|-----------------|--|
| ۲۸۰۰ | ساختمان | $C = \frac{ABI}{R_u}$ $C_{\min} = 0.12AI$ | $\begin{cases} B = B_1 \cdot N \\ B_1 = S_0 + (S - S_0 + 1)(T/T_0) & , 0 < T < T_0 \\ B_1 = S + 1 & , T_0 < T < T_s \\ B_1 = (S + 1)(T_s/T) & , T > T_s \end{cases}$ $\begin{cases} N = 1 & , T < T_s \\ N = \frac{0.7}{4 - T_s}(T - T_s) + 1 & , T_s < T < 4 \text{ sec} \\ N = 1.7 & , T > 4 \text{ sec} \end{cases}$ | 1 | R _u = 7.5 |
| ۲۸۰۰ | مخزن | $C = \frac{ABI}{R_u}$ $\begin{cases} C_{\min} = 0.09 & , \text{for Soil Type I, II, III, IV} \\ C_{\min} = \frac{1.6AI}{R_u} & , \text{for Soil Type III, IV} \end{cases}$ | $\begin{cases} B = B_1 \cdot N \\ B_1 = S_0 + (S - S_0 + 1)(T/T_0) & , 0 < T < T_0 \\ B_1 = S + 1 & , T_0 < T < T_s \\ B_1 = (S + 1)(T_s/T) & , T > T_s \end{cases}$ $\begin{cases} N = 1 & , T < T_s \\ N = \frac{0.7}{4 - T_s}(T - T_s) + 1 & , T_s < T < 4 \text{ sec} \\ N = 1.7 & , T > 4 \text{ sec} \end{cases}$ | 1.4 | R _u = 2 R _u = 3 |

A: نسبت شتاب مبنای طرح، B: ضریب بازتاب ساختمان، I: ضریب اهمیت ساختمان، R_u: ضریب رفتار ساختمان، B₁: ضریب شکل طیف و N: ضریب اصلاح طیف. T: زمان تناوب اصلی نوسان ساختمان به ثانیه است، T₀، T_s و S و S₀: پارامترهایی هستند که به نوع زمین و میزان خطر لرزه‌خیزی منطقه وابسته‌اند.

در این تحقیق چون هدف مقایسه مقدار نیروهای طراحی لرزه‌ای مخازن ذخیره مایعات با ساختمانهای شکل‌پذیر است لذا پهنه با خطر نسبی خیلی زیاد یعنی $A=0.35$ در نظر گرفته شده است و دلیل آن این است که مقادیر طیف طرح در منطقه با خطر نسبی زیاد تفاوت زیادی با مقادیر طیف طرح در منطقه با خطر نسبی خیلی زیاد ندارد و در بیشترین خطر نیروهای طراحی لرزه‌ای مورد بررسی قرار می‌گیرد.

ضریب اهمیت ساختمان، a ، مطابق جدول (۳-۳) استاندارد ۲۸۰۰، برای ساختمانها چون در گروه ۳ بوده و دارای اهمیت متوسط است برابر با ۱ و برای مخازن در گروه ۱، با توجه به اهمیت خیلی زیاد برابر با ۱/۴ در نظر گرفته شده است. ضریب رفتار بر اساس شکل‌پذیری سیستم سازه‌ای، درجه نامعینی و اضافه مقاومت موجود در سازه تعیین میشود و هر چه سازه دارای قدرت جذب انرژی بالاتری باشد مقدار این ضریب افزایش خواهد یافت. ضریب رفتار برای ساختمانهای با شکل‌پذیری ویژه مطابق با جدول (۴-۳) استاندارد ۲۸۰۰ و برای مخازن مطابق با جدول (۵-۲) در جدول (۳) ارائه شده است.

جدول ۳- سیستم سازه‌ای و ضریب رفتار سازه‌های مورد بررسی مطابق ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰

| استاندارد | سیستم سازه | سیستم مقاوم در برابر نیروهای جانبی | R_u |
|------------|---------------------------------|--|-------|
| ۲۸۰۰ | سیستم قاب خمشی | قاب خمشی بتن آرمه ویژه | ۷.۵ |
| | | قاب خمشی فولادی ویژه | ۷.۵ |
| (جدول ۳-۴) | سیستم دوگانه یا ترکیبی | قاب خمشی ویژه (فولادی یا بتنی) + دیوارهای برشی بتن آرمه ویژه | ۷.۵ |
| (جدول ۵-۲) | بونکر، مخزن، ظرف یا کندوی هوایی | بر روی پایه‌های مهاربندی شده متقارن | ۳ |
| | | بر روی پایه‌های مهاربندی نشده یا مهاربندی شده نامتقارن | ۲ |

نکته قابل توجه در خصوص ضریب رفتار مخازن در جدول (۵-۲)، این موضوع است که برای مخازن هوایی (فولادی یا بتنی) ضریب رفتار ۳ و ۲ در نظر گرفته شده است.

ب- روابط ویرایش سوم نشریه ۳۸

در نشریه ۳۸ وزارت نفت که بر گرفته از آیین‌نامه ASCE ۷-۱۰ بوده، ضریب زلزله بر اساس رابطه (۵) بدست می‌آید که جزئیات آن در جدول (۴) ارائه شده است.

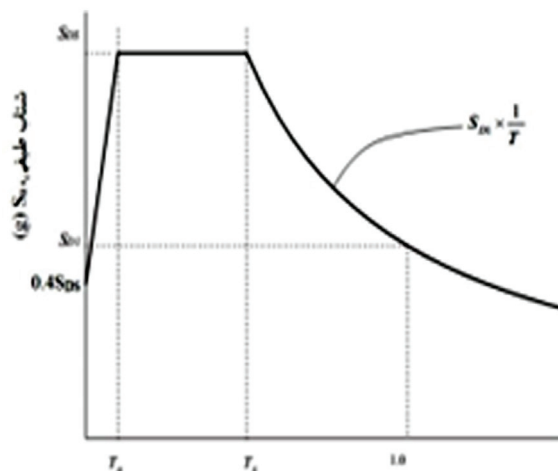
$$C_u = \frac{S_a}{R_u/I} \quad (5)$$

طیف طرح این آیین‌نامه طبق الگوی شکل (۲) بدست می‌آید. در این شکل رابطه شتاب طیفی، S_a ، در هر قسمت طبق روابط جدول (۴) بدست می‌آید.

جدول ۴- روابط و محدودیت‌های ضریب زلزله در ویرایش سوم نشریه ۳۸

| نشریه | سازه | ضریب زلزله | ضریب بازتاب B | ضریب اهمیت I | ضریب رفتار R or R _u |
|-------|---------|--|---|-----------------|--|
| ۳۸ | ساختمان | $C = \frac{ABI}{R_u}$ $\begin{cases} C_{u1} = 0.044 S_{DS} & I \geq 0.01 \\ C_{u2} = \frac{0.5 S_1}{(R_u/I)} \geq 0.6 g \end{cases}$ | $\begin{cases} S_a = 0.4 S_{DS} & , T=0 \\ S_a = S_{DS} (0.4 + 0.6 \frac{T}{T_0}) & , 0 \leq T \leq T_0 \\ S_a = S_{DS} & , T_0 \leq T \leq T_s \\ S_a = S_{D1} \times \frac{1}{T} & , T \geq T_s \end{cases}$ $\begin{cases} S_{DS} = \frac{2}{3} F_a S_s , S_{D1} = \frac{2}{3} F_v S_1 , \\ T_0 = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} , T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \end{cases}$ | 1 | R=8 |
| ۳۸ | مخزن | $C = \frac{ABI}{R_u}$ $\begin{cases} C_{u1} = 0.044 S_{DS} & I \geq 0.01 \\ C_{u2} = \frac{0.5 S_1}{(R_u/I)} \end{cases}$ | $\begin{cases} S_a = 0.4 S_{DS} & , T=0 \\ S_a = S_{DS} (0.4 + 0.6 \frac{T}{T_0}) & , 0 \leq T \leq T_0 \\ S_a = S_{DS} & , T_0 \leq T \leq T_s \\ S_a = S_{D1} \times \frac{1}{T} & , T \geq T_s \end{cases}$ $\begin{cases} S_{DS} = \frac{2}{3} F_a S_s , S_{D1} = \frac{2}{3} F_v S_1 , \\ T_0 = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} , T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \end{cases}$ | 1.5 | R _u =2 R _u =3 |

S_a : پارامتر شتاب طیف طراحی روی خاک ساختمانی (بر حسب g) در سطح خطر دو است. R_u : ضریب رفتار طبق بند (۷-۲-۱) و I: ضریب اهمیت سازه طبق بند (۷-۲-۲) نشریه ۳۸ است، S_{D1} و S_{DS} : پارامترهای شتاب طیف طراحی در زمان تناوب کوتاه و در زمان تناوب یک ثانیه روی خاک ساختمانی (بر حسب g) است، S_1 و S_s : پارامترهای شتاب طیفی (بر حسب g)، در زمان تناوب کوتاه و در زمان تناوب یک ثانیه نظیر زلزله نادر روی بستر سنگی است. F_v و F_a : مقادیر اصلاح طیف در محدوده شتاب ثابت و سرعت ثابت است.



شکل ۲- طیف طرح نشریه ۳۸ برگرفته از ASCE 7-10

در نشریه ۳۸ مقدار حداقل ضریب زلزله برای مخازن و ساختمانها بایستی مطابق روابط زیر باشد:

$$C_{u1} = 0.044 S_{DS} \quad I \geq 0.01 \quad (۶)$$

برای مخازن و ساختمانها اگر $S_1 \geq 0.6$ باشد مقدار حداقل برش پایه نباید از مقدار زیر کمتر باشد:

$$C_{u2} = \frac{0.5 S_1}{(R_u / I)} \quad (۷)$$

همچنین در نشریه ۳۸ وزارت نفت برای مخازن هوایی ضرایب رفتاری ارائه شده است که در جدول (۵) ارائه شده است.

جدول ۵- سیستم سازه‌ای و ضریب رفتار ساختمان شکل‌پذیر و مخازن هوایی در ویرایش سوم نشریه ۳۸

| نشریه | سیستم سازه | سیستم مقاوم در برابر نیروهای جانبی | R_u | |
|--------------------------------|---------------------------------|--|--|---|
| ۳۸ جدول (۴-۴) جدول (۷-۲) | قاب ساختمانی ساده | قاب با مهاربندی فولادی واگرا | ۸ | |
| | | قاب مرکب بتنی - فولادی با مهاربندی واگرا | ۸ | |
| | | قاب با مهاربندی فولادی کمانشناپذیر | ۸ | |
| | قاب مقاوم خمشی | قاب خمشی فولادی ویژه | قاب خمشی فولادی ویژه | ۸ |
| | | قاب خمشی بتنی مسلح ویژه | قاب خمشی بتنی مسلح ویژه | ۸ |
| | | قاب خمشی مرکب بتنی - فولادی ویژه | قاب خمشی مرکب بتنی - فولادی ویژه | ۸ |
| | سیستم دوگانه با قاب خمشی ویژه | قاب فولادی با مهاربند واگرا | قاب فولادی با مهاربند واگرا | ۸ |
| | | قاب با مهاربند کمانش ناپذیر | قاب با مهاربند کمانش ناپذیر | ۸ |
| | | قاب مرکب بتنی - فولادی با مهاربند واگرا | قاب مرکب بتنی - فولادی با مهاربند واگرا | ۸ |
| | | دیوار برشی فولادی ویژه | دیوار برشی فولادی ویژه | ۸ |
| | بونکر، مخزن، ظرف یا کندوی هوایی | بر پایه‌های مهاربندی شده متقارن (غیر مشابه سازه ساختمانی) | بر پایه‌های مهاربندی شده متقارن (غیر مشابه سازه ساختمانی) | ۳ |
| | | بر پایه‌های مهاربندی نشده یا مهاربندی شده نامتقارن (غیر مشابه سازه ساختمانی) | بر پایه‌های مهاربندی نشده یا مهاربندی شده نامتقارن (غیر مشابه سازه ساختمانی) | ۲ |

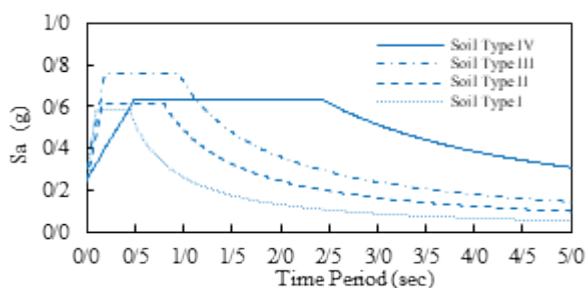
در ویرایش سوم نشریه ۳۸، که برگرفته از آیین‌نامه ASCE 7-10 بوده و در این آیین‌نامه برای بدست آوردن طیف طراحی نیاز به پارامترهای شتاب طیفی S_s و S_1 (بر حسب g) در زمان تناوب کوتاه و در زمان تناوب یک ثانیه نظیر زلزله نادر روی بستر سنگی است. لذا برای بدست آوردن این پارامترها از معادلسازی شتاب طیفی استاندارد ۲۸۰۰ برای خاک‌های چهارگانه و در پهنه با خطر نسبی خیلی زیاد زلزله استفاده شده است که جزئیات آن در جدول (۶) ارائه شده است. سایر پارامترهای مورد نیاز طیف طرح نشریه ۳۸ در این جدول ارائه شده است.

جدول ۶- مقادیر حرکت زمین‌لرزه برای طراحی لرزه ای مخازن مطابق با نشریه ۳۸

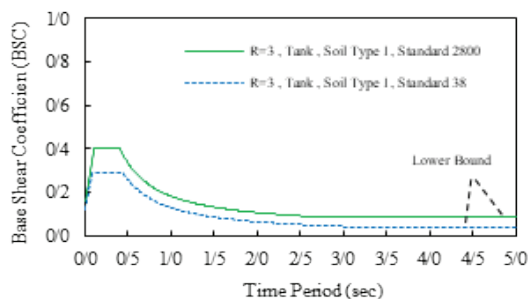
| پارامتر | توضیح | پهنه با خطر نسبی خیلی زیاد | | | |
|----------|--|----------------------------|------------|-------------|------------|
| | | خاک نوع I | خاک نوع II | خاک نوع III | خاک نوع IV |
| S_s | پارامتر شتاب پاسخ طیفی MCE در پریود کوتاه | 0.87 | 0.87 | 0.96 | 0.96 |
| S_1 | پارامتر شتاب پاسخ طیفی MCE در پریود یک ثانیه | 0.39 | 0.48 | 0.72 | 0.96 |
| F_a | ضریب سایت برای پریود کوتاه (ضریب اصلاح طیف در محدوده شتاب ثابت) | 1 | 1.05 | 1.12 | 0.95 |
| F_v | ضریب سایت برای پریود یک ثانیه (ضریب اصلاح طیف در محدوده سرعت ثابت) | 1 | 1.32 | 1.5 | 2.4 |
| S_{DS} | پارامتر شتاب پاسخ طیفی زلزله طرح در پریود کوتاه | 0.58 | 0.61 | 0.72 | 0.61 |
| S_{D1} | پارامتر شتاب پاسخ طیفی زلزله طرح در پریود یک ثانیه | 0.26 | 0.42 | 0.72 | 1.54 |

ج- طیف طرح ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ و ویرایش سوم نشریه ۳۸

با بدست آوردن پارامترهای مورد نیاز طیف طراحی برای استاندارد ۲۸۰۰ و ویرایش چهارم و ویرایش سوم نشریه ۳۸، این طیفهای طراحی در خاکهای مختلف و برای پهنه با خطر نسبی خیلی زیاد زلزله ترسیم گردید که در اشکال (۵) و (۶) نشان داده شده است. شایان ذکر است که تقسیمبندی خاکهای ارائه شده در استاندارد ۲۸۰۰ و نشریه ۳۸ یکسان بوده و علی‌رغم اینکه نشریه ۳۸ از آیین‌نامه ASCE 7-10، در بدست آوردن نیروهای طراحی لرزه‌ای، استفاده کرده است ولی تقسیمبندی انواع خاک‌های آن مطابق با شرایط کشور ایران بوده و از این حیث شبیه استاندارد ۲۸۰۰ است. در آیین‌نامه ASCE 7-10، پنج نوع خاک معرفی شده است ولی در استاندارد ۲۸۰۰ و نشریه ۳۸ چهار نوع خاک معرفی شده است.



شکل ۶- شتاب طیفی (g) پاسخ طراحی نشریه ۳۸ ویرایش سوم برای انواع خاک‌ها برای پهنه با خطر نسبی خیلی زیاد زلزله

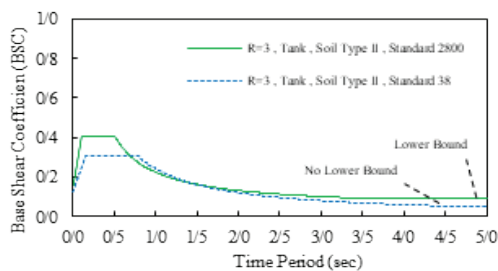


شکل ۵- شتاب طیفی (g) پاسخ طراحی استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش چهارم برای انواع خاک‌ها برای پهنه با خطر نسبی خیلی زیاد زلزله

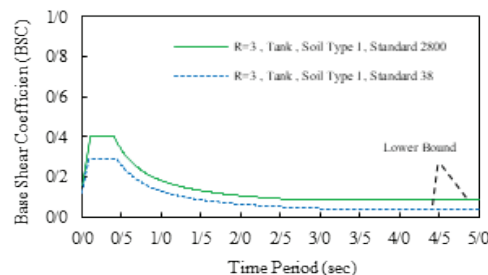
۴- بحث و بررسی نتایج

الف- مقایسه نیروهای طراحی لرزه‌ای در خاک‌های یکسان

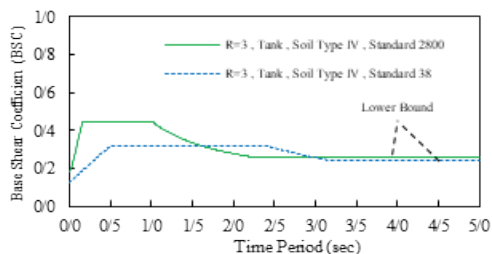
در این قسمت نیروهای طراحی لرزه‌ای مخازن در خاک‌های یکسان هر دو آیین‌نامه با هم مقایسه شده و تغییرات آن‌ها مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد. در شکل (۷) و (۸) تغییرات ضریب برش پایه مخازن در خاک‌های مختلف در استاندارد ۲۸۰۰ و نشریه ۳۸ ارائه شده است.



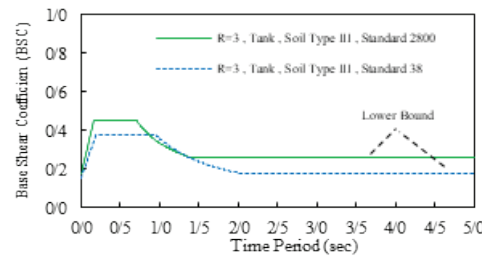
(ب) خاک نوع II



(الف) خاک نوع I



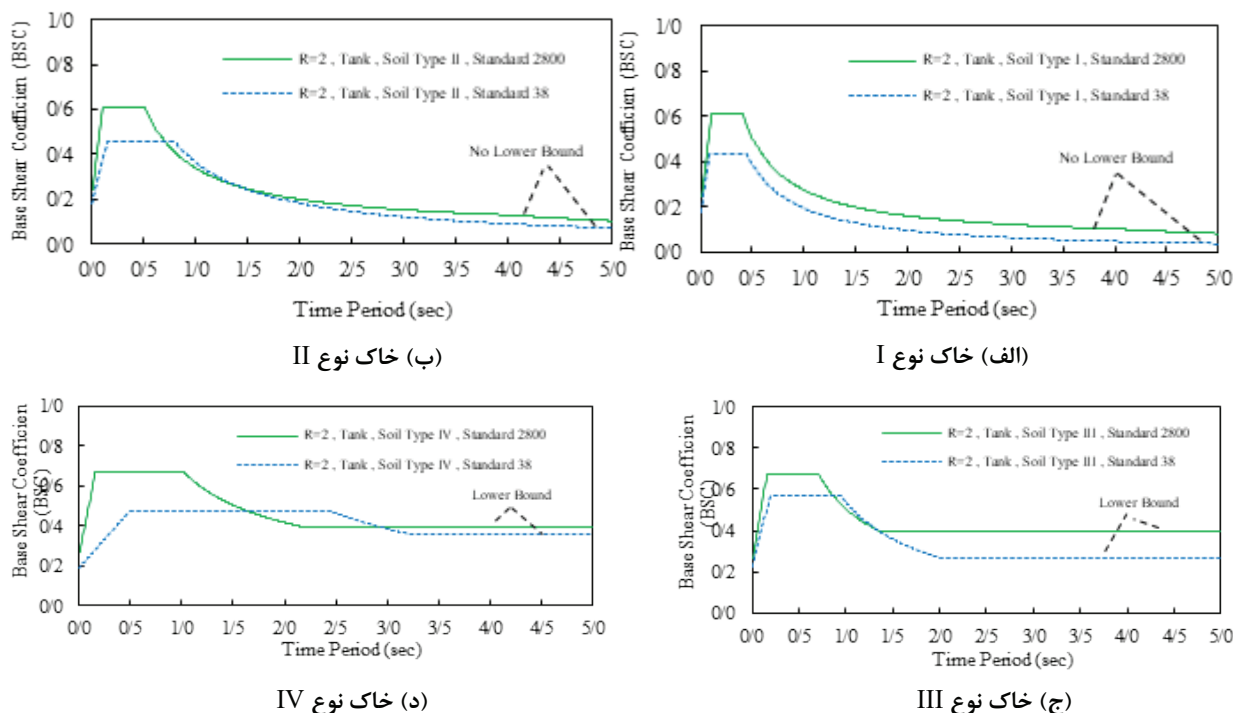
(د) خاک نوع IV



(ج) خاک نوع III

شکل ۷- مقایسه تغییرات ضریب برش پایه طیف پاسخ طراحی استاندارد ۲۸۰۰ و نشریه ۳۸ با پررود برای مخازن با ضریب رفتار ۳ و انواع خاکها برای پهنه با خطر نسبی خیلی زیاد زلزله: (الف) خاک نوع I، (ب) خاک نوع II، (ج) خاک نوع III و (د) خاک نوع IV.

همانطوریکه در شکل (۷) و (۸) هم برای مخازن با ضریب رفتار ۲ و هم مخازن با ضریب رفتار ۳، ملاحظه می‌گردد مقدار ضریب برش پایه نشریه ۳۸ در همه خاک‌ها و در همه محدوده‌ها (محدوده شتاب ثابت، سرعت ثابت و جابجایی ثابت) کمتر از استاندارد ۲۸۰۰ بوده ولی در برخی حالات و در خاک‌های نوع II، III و IV در بخشی از محدوده سرعت ثابت، مقدار ضریب برش پایه نشریه ۳۸ بیشتر از استاندارد ۲۸۰۰ است. همچنین در خاک نوع IV و در محدوده شتاب ثابت، مقدار ضریب برش پایه نشریه ۳۸ از استاندارد ۲۸۰۰ بیشتر است. پیروی محدوده شتاب ثابت در نشریه ۳۸ در خاک‌های نوع I، II و III تقریباً نزدیک و برابر با مقدار متناظر آن در استاندارد ۲۸۰۰ است. فقط در خاک نوع IV اختلاف زیادی بین نشریه ۳۸ و استاندارد ۲۸۰۰ وجود دارد. همچنین پیروی محدوده شتاب ثابت در نشریه ۳۸ و در خاک نوع IV تفاوت چشمگیر و قابل ملاحظه‌ای با مقدار متناظر آن در استاندارد ۲۸۰۰ دارد در حالیکه در سایر خاک‌ها این تفاوت به این اندازه نمی‌باشد.



شکل ۸- مقایسه تغییرات ضریب برش پایه طیف پاسخ طراحی استاندارد ۲۸۰۰ و نشریه ۳۸ با پیروی برای مخازن با ضریب رفتار ۲ و انواع خاک‌ها برای پهنه با خطر نسبی خیلی زیاد زلزله: (الف) خاک نوع I، (ب) خاک نوع II، (ج) خاک نوع III و (د) خاک نوع IV.

ب- مقایسه نیروهای طراحی لرزه‌ای در چهار نوع خاک

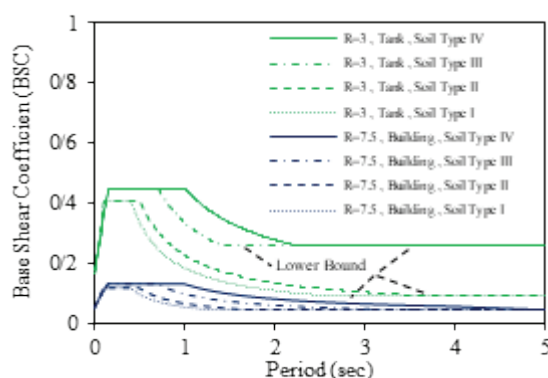
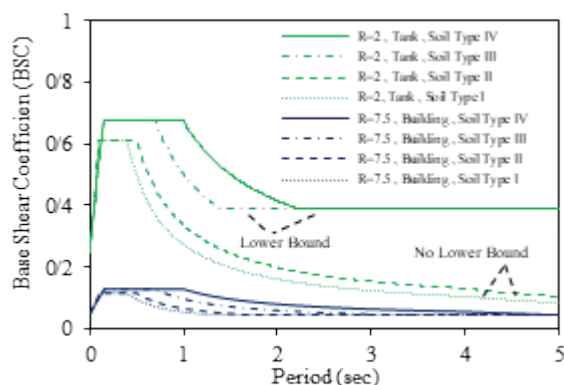
با توجه به اینکه هدف از تحقیق، بررسی و ارزیابی نیروهای طیف طراحی استاندارد ۲۸۰۰ و نشریه ۳۸ می‌باشد و در ادامه به مقایسه آن‌ها پرداخته می‌شود لذا در ادامه ضریب برش پایه طیف طرح هر آیین‌نامه با شکل پذیرترین ساختمان موجود در این آیین‌نامه مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته است. بطوریکه برای استاندارد ۲۸۰۰، طیف طرح مخزن با ضریب رفتار ۳ و ۲ با ساختمان شکل‌پذیر با ضریب رفتار ۷،۵ در شکل (۹) ارائه شده است. همانطوریکه در این شکل ملاحظه می‌گردد طیف طرح مخزن با ضریب رفتار ۲ نیروهای طراحی بیشتری نسبت به ساختمان شکل‌پذیر و همچنین مخزن با ضریب رفتار ۳ را نشان می‌دهد. برای نشریه ۳۸، ضریب برش پایه طیف طرح مخزن با ضریب رفتار ۳ و ۲ با ساختمان شکل‌پذیر با ضریب رفتار ۸ در شکل (۱۰) ارائه شده است. همانطوریکه در این شکل ملاحظه می‌گردد طیف طرح مخزن با ضریب رفتار ۲ نیروهای طراحی بیشتری نسبت به ساختمان شکل‌پذیر و همچنین مخزن با ضریب رفتار ۳ را نشان می‌دهد.

با مقایسه طیف طرح استاندارد ۲۸۰۰ و نشریه ۳۸ در اشکال (۹) و (۱۰)، مشخص می‌گردد که ضریب برش پایه در استاندارد ۲۸۰۰ هم برای مخازن و هم برای ساختمان شکل‌پذیر در خاک نوع IV بیشتر از سایر خاک‌ها است در صورتیکه در نشریه ۳۸ برای خاک نوع III بیشترین مقدار ضریب برش پایه مشاهده می‌گردد. البته این موضوع بطور واضح در طیف طرح نشریه ۳۸ در شکل (۱۰) بوضوح قابل مشاهده است و از طیف طرح منتج می‌گردد. با بررسی ضوابط این نشریه مشخص گردید علت این موضوع در کم بودن ضریب اصلاح طیف در محدوده شتاب ثابت برای خاک نوع IV ($F_a=0.9$) نسبت به خاک نوع III ($F_a=1$) می‌باشد.

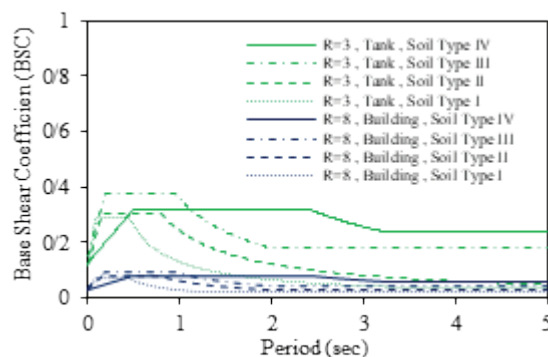
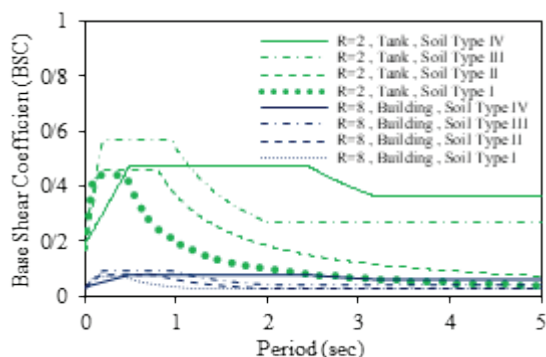
مطابق ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰، نسبت ضریب برش پایه مخزن (با ضریب رفتار ۳ و ۲، ضریب اهمیت ۱.۴ و خطر نسبی خیلی زیاد زلزله) به ضریب برش پایه ساختمان شکل‌پذیر (با ضریب رفتار ۷.۵ و ضریب اهمیت ۱ و خطر نسبی خیلی زیاد زلزله) به ترتیب برای مخازن با ضریب رفتار ۳ و ۲ در پروده‌های کوتاه (۱.۳ ثانیه)، برابر با ۳.۵ و ۵.۲۵ مطابق با روابط (۱۹) و (۲۰) بدست آمده است که مقدار این نسبت در مخزن ۳.۵ و ۵.۲۵ برابر بزرگتر از ساختمان خواهد بود که این موضوع همخوانی خوبی با سایر استانداردهای بین‌المللی دارد که در آن‌ها ضریب برش پایه مخزن ۳ تا ۷ برابر بزرگتر از ساختمان دیده شده است.

$$\frac{C_{\text{tank}}}{C_{\text{building}}} = \frac{(ABI/R)_{\text{tank}}}{(ABI/R)_{\text{building}}} = \frac{(0.35 \times B \times 1.4 / 3)_{\text{tank}}}{(0.35 \times B \times 1.0 / 7.5)_{\text{building}}} = \frac{7.5 \times 1.4}{3} = 3.5 \quad \leftarrow \text{for Tank with } R=3 \quad (19)$$

$$\frac{C_{\text{tank}}}{C_{\text{building}}} = \frac{(ABI/R)_{\text{tank}}}{(ABI/R)_{\text{building}}} = \frac{(0.35 \times B \times 1.4 / 2)_{\text{tank}}}{(0.35 \times B \times 1.0 / 7.5)_{\text{building}}} = \frac{7.5 \times 1.4}{2} = 5.25 \quad \leftarrow \text{for Tank with } R=2 \quad (20)$$



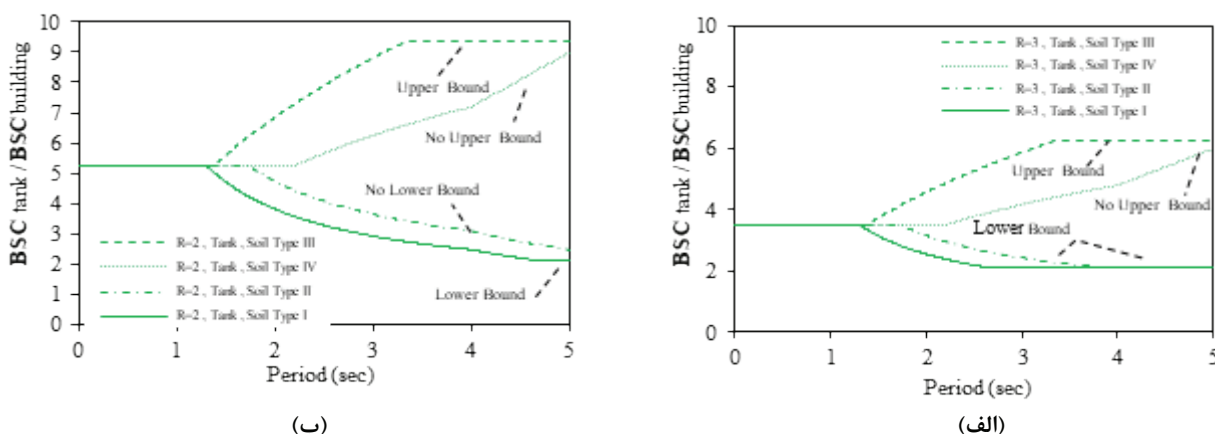
شکل ۹- تغییرات ضریب برش پایه طیف پاسخ طراحی استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش چهارم با پرئود برای انواع خاک‌ها: (الف) ساختمان شکل‌پذیر با ضریب رفتار ۷.۵ و مخزن با ضریب رفتار ۳، (ب) ساختمان شکل‌پذیر با ضریب رفتار ۷.۵ و مخزن با ضریب رفتار ۲.



شکل ۱۰- تغییرات ضریب برش پایه طیف پاسخ طراحی نشریه ۳۸ ویرایش سوم با پرئود برای انواع خاک‌ها: (الف) ساختمان شکل‌پذیر با ضریب رفتار ۸ و مخزن با ضریب رفتار ۳، (ب) ساختمان شکل‌پذیر با ضریب رفتار ۸ و مخزن با ضریب رفتار ۲.

با توجه به اینکه در آیین نامه ۲۸۰۰ ویرایش چهارم، برای ساختمانهای با ساختمان شکل پذیر مقدار R ، ۷،۵ است. برای مخازن با ضریب رفتار ۳، نسبت ضریب برش پایه مخزن به ضریب برش پایه ساختمان شکل پذیر در شکل (۱۱-الف) ارائه شده است. همچنین برای مخازن با ضریب رفتار ۲، نسبت ضریب برش پایه مخزن به ضریب برش پایه ساختمان شکل پذیر در شکل (۱۱-ب) ارائه شده است. همانطوریکه در شکل (۱۱-الف) مشاهده می‌گردد در پریودهای کوتاه (۱،۳ ثانیه)، برای مخازن با ضریب رفتار ۳ این نسبت برابر با ۳،۵ است در حالیکه با افزایش پریود این نسبت تغییر داشته بطوریکه برای برخی خاک‌ها کاهش می‌یابد و برای برخی خاک‌ها افزایش می‌یابد. مقدار این نسبت برای خاک‌های نوع I و II کاهش داشته و با یک شیب نزولی به مقدار ۲،۱۴ محدود می‌گردد و برای خاک‌های نوع III و IV این نسبت با یک شیب صعودی به مقدار ۲۲،۶ محدود می‌گردد.

در شکل (۱۱-ب) مشاهده می‌گردد که در پریودهای کوتاه (۱،۳ ثانیه)، برای مخازن با ضریب رفتار ۲ این نسبت برابر با ۲،۵ است. در حالیکه با افزایش پریود این نسبت تغییر داشته بطوریکه برای برخی خاک‌ها کاهش می‌یابد و در برخی خاک‌ها افزایش می‌یابد. مقدار این نسبت برای خاک‌های نوع I و II کاهش داشته و با یک شیب نزولی تا مقدار ۲،۱۴ کاهش داشته و با همان شیب ادامه دارد و چون در تحقیق حاضر تا پریود ۵ ثانیه این موضوع بررسی شده است مشخص نیست که در پریودهای بلندتر تا چه مقدار کاهش و در نهایت به چه مقدار محدود می‌گردد. برای خاک‌های نوع III و IV این نسبت با یک شیب صعودی به مقدار ۳۳،۹ محدود می‌گردد.



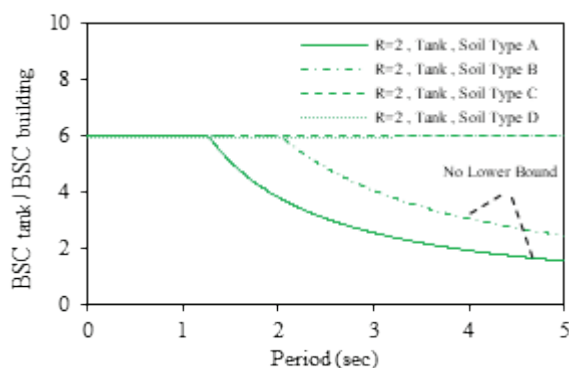
شکل ۱۱- تغییرات نسبت ضریب برش پایه مخزن به ساختمان شکل‌پذیر با پریود در طیف پاسخ طراحی استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش چهارم برای انواع خاک‌ها برای پهنه با خطر نسبی خیلی زیاد زلزله: (الف) مخزن با ضریب رفتار ۳، (ب) مخزن با ضریب رفتار ۲.

همانطوریکه از مرور مطالعات آیین‌نامه‌های مختلف مشخص شده است مقدار این نسبت برای انواع مخازن به مقدار ۳ تا ۷ محدود می‌گردد. با توجه به نتایج فوق مشخص می‌گردد که در مخازن با ضریب رفتار ۳، این نسبت در پریودهای کوتاه رعایت شده است ولی در پریودهای بلند این نسبت در خاک‌های نوع I و II رعایت نشده است و مقادیری کمتر از ۳ را نشان می‌دهد. برای مخازن با ضریب رفتار ۲، مقدار این نسبت در پریودهای کوتاه رعایت شده است ولی در پریودهای بلند در همه خاک‌ها رعایت نشده است بطوریکه برای خاک‌های نوع I و II مقادیری کمتر از ۳ را نشان داده و برای خاک‌های نوع III و IV مقدار این نسبت بیشتر از ۷ دیده می‌شود. مطابق ویرایش سوم نشریه ۳۸، نسبت ضریب برش پایه مخزن (با ضریب رفتار ۳ و ۲، ضریب اهمیت ۱،۵ و خطر نسبی خیلی زیاد زلزله) به ضریب برش پایه ساختمان شکل‌پذیر (با ضریب رفتار ۸ و ضریب اهمیت ۱ و خطر نسبی خیلی زیاد زلزله) به ترتیب برای مخازن با ضریب رفتار ۳ و ۲ در پریودهای کوتاه (۳،۱ ثانیه)، برابر با ۴ و ۶ مطابق با روابط (۲۱) و (۲۲) بدست آمده است که مقدار این نسبت در مخزن ۴ و ۶ برابر بزرگتر از ساختمان خواهد بود که این موضوع همخوانی خوبی با سایر استانداردهای بین‌المللی دارد.

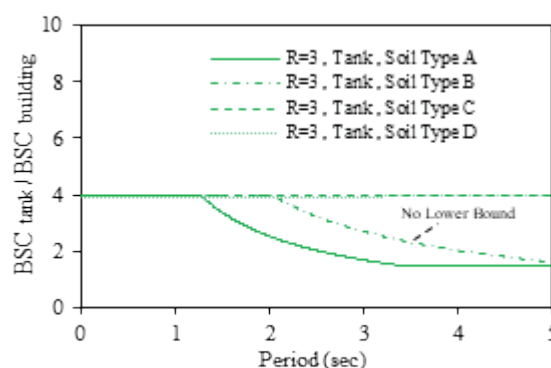
که در آن‌ها ضریب برش پایه مخزن ۳ تا ۷ برابر بزرگتر از ساختمان دیده شده است.

$$\frac{C_{u-tank}}{C_{u-building}} = \frac{(S_a I / R_u)_{tank}}{(S_a I / R_u)_{building}} = \frac{(1.5/3)_{tank}}{(1.0/8)_{building}} = \frac{8 \times 1.5}{3} = 4 \quad \leftarrow \text{for Tank with } R = 3 \quad (21)$$

$$\frac{C_{u-tank}}{C_{u-building}} = \frac{(S_a I / R_u)_{tank}}{(S_a I / R_u)_{building}} = \frac{(1.5/2)_{tank}}{(1.0/8)_{building}} = \frac{8 \times 1.5}{2} = 6 \quad \leftarrow \text{for Tank with } R = 2 \quad (22)$$



(ب)



(الف)

شکل ۱۲- تغییرات نسبت ضریب برش پایه مخزن به ساختمان شکل‌پذیر با پرپود در طیف پاسخ طراحی نشریه ۳۸ و برایش سوم برای انواع خاک‌ها: (الف) مخزن با ضریب رفتار ۳، (ب) مخزن با ضریب رفتار ۲.

همانطوریکه در شکل (۱۲-الف) مشاهده می‌گردد در پرپودهای کوتاه (۳، ۱ ثانیه)، برای مخازن با ضریب رفتار ۳ این نسبت برابر با ۴ است در حالیکه با افزایش پرپود این نسبت برای خاک‌های نوع III و IV تغییر نداشته و برای خاک‌های نوع I و II کاهش می‌یابد و با یک شیب نزولی به کران پایینی به مقدار ۵،۱ محدود می‌گردد.

در شکل (۱۲-ب) مشاهده می‌گردد که در پرپودهای کوتاه (۳، ۱ ثانیه)، برای مخازن با ضریب رفتار ۲ این نسبت برابر با ۶ است در حالیکه با افزایش پرپود این نسبت برای خاک‌های نوع III و IV تغییر نداشته و برای خاک‌های نوع I و II کاهش می‌یابد و با یک شیب نزولی بدون کران پایین به مقدار ۱،۵ محدود می‌گردد.

با مقایسه دو آیین‌نامه در مقدار نسبت ضریب برش پایه مخازن به ساختمان شکل‌پذیر در خاک‌های مختلف و ضریب رفتارهای مختلف مشخص گردید که در استاندارد ۲۸۰۰ و برای ضریب رفتار ۳، خاک نوع IV بدون کران بالا، برای ضریب رفتار ۲، در خاک نوع II و IV بدون کران پایین و بالا بوده و در سایر خاک‌ها دارای کران بالا یا پایین می‌باشند. در نشریه ۳۸ فقط در ضریب رفتار ۲ و در خاک‌های نوع I و II کران پایین نداشته و در سایر حالتها و خاک‌های دیگر، نمودار دارای کران بالا یا پایین می‌باشند.

ج- مقایسه نیروهای طراحی لرزه‌ای در پرپودهای بلند و کوتاه

در جدول (۶) درصد تغییرات ضریب برش پایه پرپودهای کوتاه و بلند نسبت به ساختمان شکل‌پذیر ارائه شده است. همانطوریکه در این جدول ملاحظه می‌گردد مقادیر این نسبت در پرپود کوتاه، برای هر دو ضریب رفتار و چهار نوع خاک در نشریه ۳۸ به مقدار ۱۴ درصد بیشتر از نتایج استاندارد ۲۸۰۰ است. ولی در پرپود بلند نتیجه عکس بوده بطوریکه نتایج پرپود بلند در نشریه ۳۸ نسبت به استاندارد ۲۸۰۰ کاهش داشته و به مقدار ۲ درصد تا ۳۶ درصد کاهش نشان می‌دهد. علت این موضوع را می‌توان هم در طیف پاسخ طراحی استاندارد ۲۸۰۰ و نشریه ۳۸ و همچنین ضوابط حداقل برش پایه آن‌ها جستجو کرد (اشکال ۹ و ۱۰).

جدول ۶- درصد تغییرات نسبت ضریب برش پایه مخزن به ساختمان شکل‌پذیر در پربوده‌های کوتاه و بلند

| پربود | ضریب رفتار | نوع خاک | نشریه ۳۸ | استاندارد ۲۸۰۰ | درصد افزایش یا کاهش نشریه ۳۸ |
|-------|------------|---------|----------|----------------|------------------------------|
| | | | | | نسبت به استاندارد ۲۸۰۰ |
| کوتاه | 2 | I | 6 | 5.25 | % 14 |
| | 2 | II | 6 | 5.25 | % 14 |
| | 2 | III | 6 | 5.25 | % 14 |
| | 2 | IV | 6 | 5.25 | % 14 |
| | 3 | I | 4 | 3.5 | % 14 |
| | 3 | II | 4 | 3.5 | % 14 |
| | 3 | III | 4 | 3.5 | % 14 |
| | 3 | IV | 4 | 3.5 | % 14 |
| بلند | 2 | I | 1.52 | 2.14 | % -29 |
| | 2 | II | 2.43 | 2.48 | % -2 |
| | 2 | III | 6 | 9.33 | % -36 |
| | 2 | IV | 6 | 8.98 | % -33 |
| | 3 | I | 1.50 | 2.14 | % -30 |
| | 3 | II | 1.62 | 2.14 | % -24 |
| | 3 | III | 4 | 6.21 | % -36 |
| | 3 | IV | 4 | 5.98 | % -33 |

نتیجه‌گیری

در این پژوهش به بررسی و ارزیابی نیروهای طراحی لرزه‌ای مخازن هوایی در آیین‌نامه‌های ایران پرداخته شده است. ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ و ویرایش سوم نشریه ۳۸ به ضوابط مربوط به مخازن هوایی پرداخته‌اند. با استخراج طیف پاسخ طراحی در آیین‌نامه‌های مربوطه، ضریب برش پایه (ضریب زلزله) در خاک‌های مختلف آن‌ها مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته است. مقایسه انجام شده با توجه به شکل‌پذیرترین ساختمان موجود در هر آیین‌نامه بدست آمده است. همچنین برای خاک‌های متناظر در استاندارد ۲۸۰۰ و نشریه ۳۸ بصورت جداگانه مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته است. در ادامه نتایج حاصل از تحقیق ارائه می‌گردد:

۱. برای مخازن با ضریب رفتار ۲ و ۳، ملاحظه می‌گردد مقدار ضریب برش پایه نشریه ۳۸ در همه خاک‌ها و در همه محدوده‌ها (محدوده شتاب ثابت، سرعت ثابت و جابجایی ثابت) کمتر از استاندارد ۲۸۰۰ بوده ولی در برخی حالات و در خاک‌های نوع II، III و IV در بخشی از محدوده سرعت ثابت، مقدار ضریب برش پایه نشریه ۳۸ بیشتر از استاندارد ۲۸۰۰ است. همچنین در خاک نوع IV و در محدوده شتاب ثابت، مقدار ضریب برش پایه نشریه ۳۸ از استاندارد ۲۸۰۰ بیشتر است.

۲. ضریب برش پایه در استاندارد ۲۸۰۰ هم برای مخازن و هم برای ساختمان شکل‌پذیر در خاک نوع IV بیشتر از سایر خاک‌ها است در صورتیکه در نشریه ۳۸ برای خاک نوع III بیشترین مقدار ضریب برش پایه مشاهده می‌گردد. با بررسی ضوابط این نشریه مشخص گردید علت این موضوع در کم بودن ضریب اصلاح طیف در محدوده شتاب ثابت برای خاک نوع IV ($F_a=0.9$) نسبت به خاک نوع III ($F_a=1$) می‌باشد.

۳. در استاندارد ۲۸۰۰، نسبت ضریب برش پایه مخزن (با ضریب رفتار ۳ و ۲، ضریب اهمیت ۱،۴ و خطر نسبی خیلی زیاد زلزله) به ضریب برش پایه ساختمان شکل‌پذیر (با ضریب رفتار ۷،۵ و ضریب اهمیت ۱ و خطر نسبی خیلی زیاد زلزله) به ترتیب برای مخازن با

ضریب رفتار ۳ و ۲ در پیوندهای کوتاه، به ترتیب برابر با ۳،۵ و ۵،۲۵ بدست آمد. عبارتی دیگر مقدار نیروهای طراحی لرزه‌ای در مخازن با ضریب رفتار ۳ و ۲، به ترتیب ۳،۵ و ۵،۲۵ برابر بزرگتر از نیروهای طراحی لرزه‌ای شکل‌پذیرترین ساختمان استاندارد ۲۸۰۰ است. این موضوع همخوانی خوبی با سایر استانداردهای بین‌المللی دارد که در آن‌ها ضریب برش پایه مخزن ۳ تا ۷ برابر بزرگتر از ساختمان دیده شده است.

۴. مطابق ویرایش سوم نشریه ۳۸، نسبت ضریب برش پایه مخزن (با ضریب رفتار ۳ و ۲، ضریب اهمیت ۱،۵ و خطر نسبی خیلی زیاد زلزله) به ضریب برش پایه ساختمان شکل‌پذیر (با ضریب رفتار ۸ و ضریب اهمیت ۱ و خطر نسبی خیلی زیاد زلزله) به ترتیب برای مخازن با ضریب رفتار ۳ و ۲ در پیوندهای کوتاه، برابر با ۴ و ۶ بدست آمد. عبارتی دیگر مقدار نیروهای طراحی لرزه‌ای در مخازن با ضریب رفتار ۳ و ۲، به ترتیب ۴ و ۶ برابر بزرگتر از نیروهای طراحی لرزه‌ای شکل‌پذیرترین ساختمان نشریه ۳۸ است. این موضوع همخوانی خوبی با سایر استانداردهای بین‌المللی دارد که در آن‌ها ضریب برش پایه مخزن ۳ تا ۷ برابر بزرگتر از ساختمان دیده شده است.

۵. در استاندارد ۲۸۰۰ و نشریه ۳۸، نسبت ضریب برش پایه مخازن به ساختمان شکل‌پذیر در انواع خاک‌ها و برای یک ضریب رفتار مشخص، در پیوند کوتاه، ثابت بوده ولی مقدار این نسبت برای پیوندهای بلند، متغیر است.

۶. نسبت ضریب برش پایه مخازن به ساختمان شکل‌پذیر در پیوندهای کوتاه و در خاک‌های چهارگانه برای مخازن هوایی با ضریب رفتار ۳، در استاندارد ۲۸۰۰ برابر با ۳،۵ و در نشریه ۳۸ برابر با ۴ بوده و همچنین برای مخازن با ضریب رفتار ۲، در استاندارد ۲۸۰۰ برابر با ۵،۲۵ و در نشریه ۳۸ برابر با ۶ بدست آمد.

۷. مقدار نسبت ضریب برش پایه مخازن به ساختمان در پیوندهای کوتاه، برای هر دو ضریب رفتار و چهار نوع خاک در نشریه ۳۸ به مقدار ۱۴ درصد بیشتر از نتایج استاندارد ۲۸۰۰ حاصل گردید.

۸. مقدار نسبت ضریب برش پایه مخازن به ساختمان در پیوندهای بلند، در نشریه ۳۸ نسبت به استاندارد ۲۸۰۰ به مقدار ۲ درصد تا ۳۶ درصد کاهش نشان داد. علت این موضوع را می‌توان در طیف پاسخ طراحی دو آیین‌نامه و ضوابط حداقل برش پایه آن‌ها جستجو کرد. ۹. با توجه به بررسیها و مقایسه بین دو آیین‌نامه ایران در خصوص مخازن هوایی (استاندارد ۲۸۰۰ و نشریه ۳۸)، در خصوص نیروهای طراحی لرزه‌ای مخازن مشخص گردید که این آیین‌نامه‌ها در برآورد نیروهای طراحی لرزه‌ای در پیوندهای کوتاه، اختلاف ۱۴ درصدی با هم داشته و از این نظر به استانداردهای بین‌المللی نزدیک بوده و تفاوت چندانی ندارند.

۱۰. در خصوص نتایج نسبت ضریب برش پایه مخازن به ساختمان شکل‌پذیر در پیوندهای بلند در خاک‌های نوع I و II، مشخص گردید که در هم در استاندارد ۲۸۰۰ و هم در نشریه ۳۸، از نظر شکلی نتایج مشابهی بدست آمده که برای مخازن با ضریب رفتار ۳، دارای کران پایین بوده ولی برای مخازن با ضریب رفتار ۲ بدون کران می‌باشد. بطوریکه این نسبت با افزایش پیوند، کاهش می‌یابد. البته روند نمودار مشخص است که کران بالا یا پایین در پیوندهای بیشتر از ۵ ثانیه رخ خواهد داد.

۱۱. در خصوص نتایج نسبت ضریب برش پایه مخازن به ساختمان شکل‌پذیر در پیوندهای بلند در خاک‌های نوع III و IV، مشخص گردید که در نشریه ۳۸، کران بالایی بدست می‌آید و مقدار آن مستقل از پیوندها بوده و دارای مقدار ثابتی برای مخازن با ضریب رفتار ۲ و ۳ می‌باشد که مقدار این کران برابر با پیوندهای کوتاه می‌باشد ولی در استاندارد ۲۸۰۰ اینگونه نبوده، بطوریکه با افزایش پیوند این مقدار هم افزایش داشته با این تفاوت که در خاک نوع III دارای کران بالا بوده و در خاک نوع IV بدون کران است. همچنین مقدار این نسبت در پیوندهای بلند در استاندارد ۲۸۰۰ بیشتر از مقدار آن در پیوندهای کوتاه می‌باشد. البته روند نمودار مشخص است که کران بالا یا پایین در پیوندهای بیشتر از ۵ ثانیه رخ خواهد داد.

۱۲. با توجه به نتایج بسیار متفاوت و پراکنده نسبت ضریب برش پایه مخازن به ساختمان شکل‌پذیر در پیوندهای بلند به نظر می‌رسد

که استاندارد ۲۸۰۰ و نشریه ۳۸ در برآورد نیروهای طراحی لرزه‌ای برای پرپود بلند، در مواردی دست بالا و در مواردی دست پایین برآورد می‌کنند. لذا پیشنهاد می‌گردد که ضوابط خاصی برای طراحی لرزه‌ای مخازن هوایی در پرپود بلند در این آیین‌نامه‌ها لحاظ گردد.

منابع

- [1] Guerra OJ, Reklaitis GV. *Advances and challenges in water management within energy systems. Renew Sustain Energy Rev* 2018; 82:4009–19.
- [2] Liu R, Wei T, Zhao Y. *Presentation and perspective of appealing green facilities for eco-cyclic water management. Chem Eng J* 2018; 337:671–83.
- [3] Skouteris G, et al. *Water footprint and water pinch analysis techniques for sustainable water management in the brick-manufacturing industry. J Cleaner Prod* 2018; 172:786–94.
- [4] Ross A. *Speeding the transition towards integrated groundwater and surface water management in Australia. J Hydrol* 2018; 567:e1–10.
- [5] Steinbrugge K, Flores R. *The Chilean earthquakes of May, 1960: A structural engineering viewpoint. Bull Seismol Soc Am* 1963; 53(2):225–307.
- [6] Rai DC., *Seismic retrofitting of R/C shaft support of elevated tanks. Earthquake spectra* 2002; 18(4):745–60. [7] S. K. Jain, C. Murty, N. Chandak, L. Seeber, and N. Jain, "The September 29, 1993, M6.4 Killari, Maharashtra Earthquake in Central India," *EERI Special Earthquake Report, EERI Newsletter, vol. 28, no. 1, p. 8, 1994.*
- [8] Rai DC., *Performance of elevated tanks in Mw 7.7 Bhuj earthquake of January 26th, 2001, J Earth Syst Sci* 2003; 112(3):421–9.
- [9] M. Mehrain, *Reconnaissance report on the Northern Iran earthquake of June 21, 1990, 1990.*
- [10] A. Aftaneh-Asl, "Lessons of the 1990 Manjil-Iran earthquake," in *10th European Conference on Earthquake Engineering, Vienna, 1994, vol. 28, pp. 6997-7000.*
- [11] Saffarini HS., *Ground motion characteristics of the November 1995 Aqaba earthquake. Eng Struct* 2000; 22(4):343–51.
- [12] Sezen H, Livaoglu R, Dogangun A. *Dynamic analysis and seismic performance evaluation of above-ground liquid-containing tanks. Eng Struct* 2008; 30(3): 794–803.
- [13] Cohen Y, Livshits A, Nascimbene R. *Comparative approach to seismic vulnerability of an elevated steel tank within a reinforced concrete chimney. Periodica Polytechnica Civil Engineering* 2017; 61(3):361–80.
- [14] Brunesi E, Nascimbene R, Pagani M, Beilic D. *Seismic performance of storage steel tanks during the May 2012 Emilia, Italy, earthquakes. J Perform Constr Facil* 2015; 29(5):04014137.
- [15] Fag`a E, Rassati G, Nascimbene R. *Seismic design of elevated steel tanks with concentrically braced supporting frames. Structures Congress* 2012; 2012:1473–84.
- [16] Omidinasab F., Shakib H., 2009, *Evaluation of Seismic Performance of Reinforced Concrete Elevated Water Tanks Using Dynamic Analysis, , 8th International Congress on Civil Engineering, (In Persian).*
- [17] Omidinasab F., Shakib H., 2008, *Seismic vulnerability of elevated water tanks using performance based- design, The 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China.*
- [18] Shakib H., Omidinasab F., *Effect of Earthquake Characteristics on Seismic Performance of RC Elevated Water Tanks Considering Fluid Level within the Vessels, Arabian Journal for Science*

and Engineering volume 36, pages 227–243 (2011).

[19] Omidinasab F., Shakib H., *Seismic Response Evaluation of the RC Elevated Water Tank with Fluid-Structure Interaction and Earthquake Ensemble*, *KSCE Journal of Civil Engineering* (2012) 16(3):366-376.

[20] Shakib H., Omidinasab F., Ahmad M.T., *Seismic Demand Evaluation of Elevated Reinforced Concrete Water Tanks*, *International Journal of Civil Engineering*. Vol. 8, No. 3, September 2010.

[21] Omidinasab F., Soroush Nia S., Shakib H., *Evaluation of the Seismic Performance of Reinforced Concrete Elevated Water Tanks Using Dynamic Analysis*, *14th European Conference on Earthquake Engineering 2010*.

[22] Omidinasab F., Shakib H., Soroushnia S., *Seismic Vulnerability Assessment of RC Elevated Water Tanks with Frame Staging Using Seismic Fragility Curves*, *6th International Conference on Seismology and Earthquake Engineering*, 2011.

[23] Fiore A., Demartino C., Greco R., Rago C., Sulpizio C., Vanzi I., *Seismic performance of spherical liquid storage tanks: a case study*, *International Journal of Advanced Structural Engineering* (2018) 10:121–130.

[24] Tripathi S. S., Thapa K. B., *Seismic Performance of Elevated Reinforced Concrete Water Tanks*, *Journal of the Institute of Engineering*, Volume 16, No. 1, 51-60.

[25] Sakshi M, *Earthquake Response Control of RC Water Tower Frame Staging Using Special Protection System* Sakshi Manchalwar, *Civil Engineering Research Journal*, Vol. 4 No. 1, 2018, 1-5.

[26] Bakalis K., Vanmvatsikos D., Grant D. N., Mištry A., *Downtime assessment of base-isolated liquid storage tanks*, *Conference of earthquake risk and engineering towards a resilient world*, Greenwich, London 2019.

[27] Malkeshi O., Adibi M., *Seismic behavior of steel elevated water tanks damaged in ezgeleh Kermanshah, Iran earthquake (2017) with consideration of soil-structure interaction*, *8th International Conference on Seismology & Earthquake Engineering*, Tehran, Iran, 2019.

[28] Mansour A. M., Kassem M. M., Nazri F. M., *Seismic vulnerability assessment of elevated water tanks with variable staging pattern incorporating the fluid-structure interaction*, *Structures* 34 (2021) 61–77.

[29] Khosravi SH., Yousefi M. M., Goudarzi M. A., *Development of Seismic Fragility Curves of Cylindrical Concrete Tanks Using Nonlinear Analysis*, *Amirkabir J. Civil Eng.*, 53(1) (2021) 19-22.

[30] Xiong Zh., Chen Liu Ch., Zhang A., Zhu H., Jiawen Li J., *Seismic fragility evaluation of simply supported aqueduct accounting for water stop's leakage risk*, *Water* 2021, 13, 1404.

[31] Lakhade S. O., Kumara R., Jaiswal O. R., *Damage states of yielding and collapse for elevated water tanks supported on RC frame staging*, *Structural Engineering and Mechanics*, Vol. 67, No. 6 (2018) 587-601.

[32] Mansour A. M., Nazri F. M., *On the Influence of Fluid-Structure Interaction and Seismic Design on Frame-Supported Elevated Water Tanks*, *Structural Engineering International*, 2021, DOI: 10.1080/10168664.2021.1948379.

[33] Mansour A. M., Kassem M. M., Nazri F. M., *Estimation of drift limits for different seismic damage states of RC frame staging in elevated water tanks using Park and Ang damage index*, *Earthq Eng & Eng Vib* (2020) 19: 161-177.

- [33] Razmyar Ghateh, *Nonlinear seismic response of reinforced concrete pedestal in elevated water tanks*, Thesis, Toronto, Ontario, Canada, 2014.
- [34] Soroushnia S, Tafreshi ST, Omidinasab F, et al., *Seismic performance of RC elevated water tanks with frame staging and exhibition damage pattern*. *Procedia Engineering*, 2011; 14: 3076–3087.
- [35] S. Soroush Nia, F. Omidinasab, N. Beheshtian, *Seismic Performance of Reinforced Concrete Water Tanks with Shaft Staging During the Past Earthquakes*, *Proceedings of the 3rd International Conference on Seismic Retrofitting*, Tabriz, Iran, October 2010.
- [36] Kilanei F., Mohebbi B., Mardi Pirsultan M. R., *Review and comparison of seismic design criteria of storage tanks based on different regulations*, *Proceedings of the Second National Conference on Earthquake*, 2015, Iran, Qazvin, Imam Khomeini International University.
- [37] Khanmohammadi M., Akhavan Hejazi F. S., Hataminia H., *A Study of the Basics of Designing Concrete Water Storage Tanks in Regulations ACI350.3-06, NZS 3106-2009, EN 1998-4: 2006 (E) and Journal 123*, 8th National Congress of Civil Engineering, Faculty of Civil Engineering, Babol, 2014.
- [38] Jaiswal O. R., Rai D. C., Jain S. K., *Review of code provisions on design seismic forces for liquid storage tanks*, Document No., IITK-GSDMA-EQ01-V1.0, *Final Report A - Earthquake Codes*, IITK-GSDMA Project on Building Codes, 2008.
- [39] Road, Housing and Urban Development Research Center, *Earthquake Design Regulations*, Standard 2800, Fourth Edition, 2015, (In Persian).
- [40] Ministry of Oil, *Seismic Design Regulations for Oil Industry Facilities and Structures*, Journal No. 38, Third Edition, Deputy of Engineering, Research and Technology, 2016, (In Persian).