**ارزيابي نيروهاي طراحی لرزه­اي مخازن هوایی ذخيره مایعات بر اساس طيف طرح استاندارد 2800 و نشریة شمارة 38 در پهنه با خطر نسبی خیلی زیاد زلزله**

فريدون اميدی نسب1

1- دانشیار سازه، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران

Omidinasab.f@lu.ac.ir

**چکيده**

بطور کلي مخازن هوایی ذخيره مايعات به علت شکل­پذيري و ظرفيت جذب انرژي کم براي سطح نيروهاي لرزه­اي بالاتري نسبت به ساختمان­ها طراحي مي­شوند. به طوريکه براي يک مخزن با شکل­پذيري کم، ضريب برش پايه آن در حدود 6 تا 7 برابر بزرگتر از ضريب برش پايه يک ساختمان شکل­پذير است و براي يک مخزن با شکل­پذيري بالا، اين نسبت در حدود 3 تا 4 برابر در تمام استانداردها مي­باشد. در استاندارد 2800، ویرایش چهارم برای مخازن هوایی ذخیره مایعات ضریب رفتار 2 و 3 لحاظ شده است. در نشریه 38 ضریب رفتار برای مخازن هوایی مطابق با استاندارد 2800 ارائه شده است. نتایج نشان داد که در استاندارد 2800، نسبت ضریب برش پايه مخزن به ضریب برش پايه ساختمان شكل­پذير در پهنه با خطر نسبی خیلی زیاد به ترتیب برای مخازن با ضریب رفتار 3 و 2 در پریودهای کوتاه، به ترتیب برابر با 3.5 و 5،25 بوده در حالیکه این مقدار در نشریة 38 به ترتیب 4 و 6 حاصل شده است. همچنین نتایج نشان دادکه مقدار نسبت ضریب برش پایه مخازن به ساختمان در پریودهای کوتاه، برای هر دو ضریب رفتار و چهار نوع خاک در نشریة 38 به مقدار 14 درصد بیشتر از نتایج ویرایش چهارم استاندارد 2800 است. مقدار نسبت ضریب برش پایه مخازن به ساختمان در پریودهای بلند، برای هر دو ضریب رفتار و چهار نوع خاک در نشریة 38 به مقدار حداکثر 36 درصد کمتر از نتایج ویرایش چهارم استاندارد 2800 است.

**کلید واژه­ها** : مخازن هوایی، طيف طرح، استاندارد 2800، شکل­پذيری، نیروی طراحی لرزه­ای، نشریة 38.

**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

**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 ductitlity, 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.

1. **مقدمه**

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 ]1–4[. 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 آتش­نشانی 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. نمونه های زیادی از فروپاشی مخازن هوایی آب در زلزله­های قبلی را می­توان در تحقیقات گذشته مشاهده کرد [5–15[. 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[16–33[.

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 [34 و 35[. در برخی تحقیقات داخلی به بررسی و مقایسه ضوابط طراحی لرزه­ای مخازن ذخیره بر اساس نشریه 38 و نشریه 123 با آیین­نامه­های مختلف پرداخته شده است و در این تحقیقات کلیة ضوابط مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته است و به ارزیابی نیروهای طراحی لرزه­ای پرداخته نشده است[36 و 37[. 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 [34 و 35[. لذا توجه به نیروهای طراحی لرزه­ای مخازن هوایی و ارزیابی آنها توجه ویژه­ای طلب کرده و بایستی مورد توجه محققات قرار گیرد.

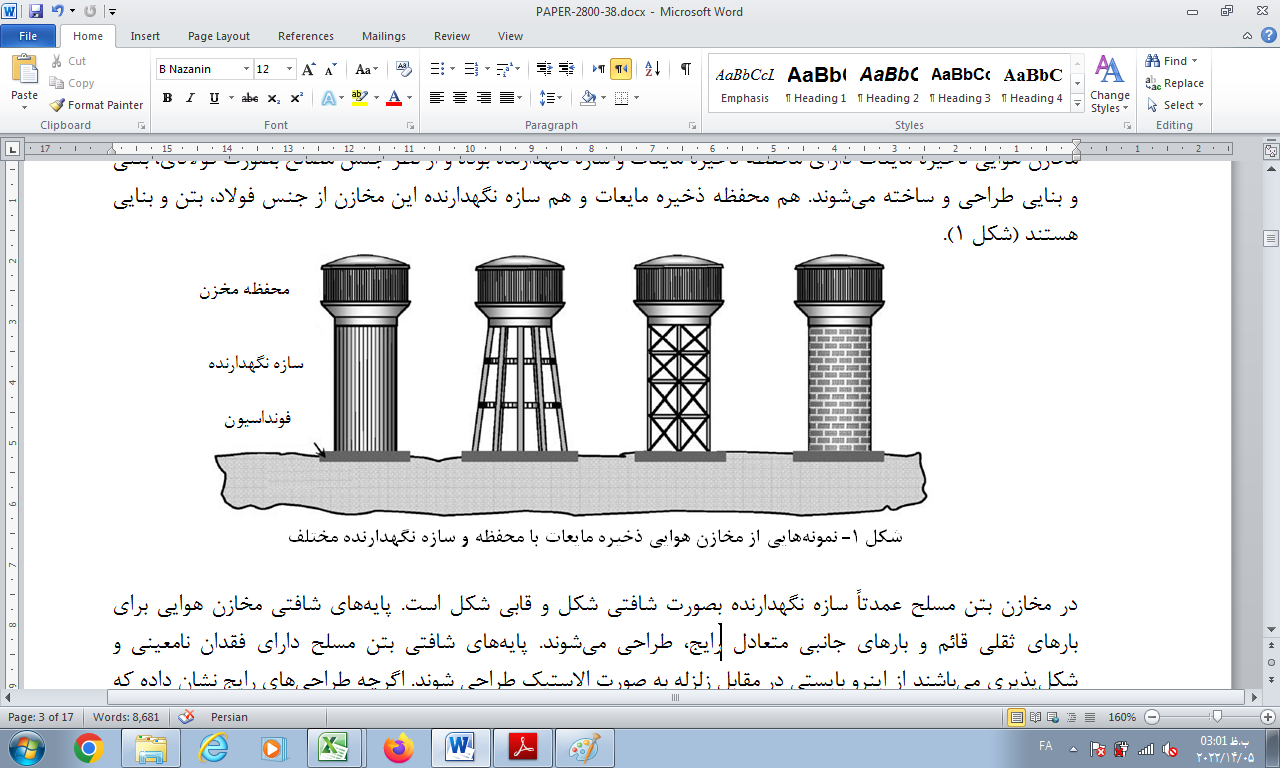
اغلب استانداردهاي طراحي از اين نتيجه­گيري استفاده کرده و عملکرد طراحي لرزه­اي بالاتري براي مخازن در مقايسه با ساختمان­هاي ديگر قائل شده­اند. به هر حال اين تصميم تحت تاثير نوع مخزن، سازه نگهدارنده، نوع مهار مخزن و ... مي­باشد. اساساً اين موضوع به اينکه يک نوع خاص از مخزن اینکه چقدر شکل­پذيري و ظرفيت جذب انرژي از خود نشان مي­دهد، وابسته است. براي مخازن هوائي، شکل­پذيري و ظرفيت جذب انرژي عمدتاً توسط سازه نگهدارنده صورت مي­گيرد.

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[38[. در تحقیقات داخلی نیز وضعیت به همین منوال است و تحقیقاتی در این زمینه انجام نشده است. پژوهشی که نیروهای طراحی لرزه­ای استاندارد 2800 و نشریة 38 را مورد بررسی قرار دهد و آنها را با هم مقایسه نماید انجام نشده است. لذا در تحقیق حاضر ضمن بررسی ویرایش چهارم استاندارد 2800 و ویرایش سوم نشریة 38 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 [39 و 40[.

1. **مخازن هوایی ذخیره مایعات**

مخازن هوایی ذخيره­ي مايعات، از مهمترين سازه‌هاي صنعتي و عمراني مي‌باشند، همچنین به علت استفادة گسترده و آسيب‌پذيري اين گونه سازه‌ها در برابر زلزله، اخبار زيادي در مورد حوادث ناشي از تخريب آنها طي زلزله‌هاي متفاوت گزارش گرديده است. مخازن ذخيرة مايعات از جمله تأسيسات مهم خدمات شهري در بسياري از شهرها به شمار مي‌روند. به طوري که عملکرد ايمن اين سازه‌ها در هنگام وقوع زلزله و حتي پس از آن، از اهميت ويژه­اي برخوردار مي­باشد. به طوري كه بايستي كاربري خود را بعد از زلزله‌هاي بزرگ از دست ندهند و بتوانند براي نيازهاي حياتي، مانند فراهم نمودن آب آشاميدني و آتش‌نشاني پس از زلزله از آنها بهره­مند گرديد در صورت بروز شكست و خسارت در آنها و برآورده نشدن سطح عملکرد مورد انتظار، باعث ايجاد خطراتي از نظر بهداشت شهر در اثر كم‌آبي يا عدم توانايي در مقابل اطفاء حريق در مواقع بحراني به علت كمبود 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 1).



**شکل 1- 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. پايه‌هاي شافتي مخازن هوایی براي بارهاي ثقلي قائم و بارهاي جانبي متعادل رايج، طراحي مي‌شوند. پايه‌هاي شافتي بتن مسلح داراي فقدان نامعيني و شكل‌پذيري مي‌باشند از اينرو بايستي در مقابل زلزله به صورت الاستيك طراحي شوند. اگرچه طراحي‌هاي رايج نشان داده كه در مقابل بارهاي جانبي زلزله اين گونه پايه‌ها آسيب‌پذيرند كه اين موضوع در زلزله‌هاي گذشته نيز تاييد شده است. بطوريكه در زلزله رخ داده Bhuj در هندوستان، خيلي از نگهدارنده‌هاي بتن مسلح شافتي آسيب ديده‌اند. بطوريكه مخازني كه در فاصله 150 كيلومتري از مركز زلزله قرار داشته آسيب ديده و حداقل يكي از اين مخازن در محدوده مركز زلزله دچار فروريزش شده است. تركهاي محيطي در پايه‌هاي شافتي نزديك فونداسيون مخازن رخ داده كه نشاندهنده خرابي در مود خمشي-كششي مي‌باشد، در صورتيكه در ACI 371-R، هيچگونه كنترل صريحي براي رفتار خمشي-كششي وجود ندارد و رفتار شافت را به صورت ديوار برشي در نظر مي‌گيرد.

نگهدارنده‌هاي نوع قابي شكل مخازن هوایی عموما رفتار لرزه‌اي بهتري نسبت به نگهدارنده‌هاي نوع شافتي براي مقاومت در مقابل بارهاي جانبي را دارا مي‌باشند. زيرا داراي نامعيني بزرگتر و ظرفيت جذب انرژي لرزه‌اي بيشتري از طريق رفتار غيرخطي را دارا مي‌باشند. نگهدارنده‌هاي نوع قابي شكل داراي اعضاي خمشي زيادي شامل تيرها و ستونها مي‌باشند. كه در مقابل بارهاي جانبي مقاومت مي‌كنند و دچار خسارت كمي مي‌شوند. در نتيجه فروريزش ناگهاني براي اين مخازن بدليل تحمل تغيير شكل­هاي غيرالاستيك و توزيع خسارت در تعداد زياد اعضاي قاب اتفاق نمي‌افتد. بنابراين قاب بتن مسلح مي‌تواند طوري طراحي شوند كه شكل پذيري مناسب را تحت بارهاي جانبي با اعتماد و اطمينان بيشتر دارا باشد بر خلاف مقاطع پوسته‌اي نازك نگهدارنده‌هاي نوع شافتي شكل. مقاطع نزديك انتهاي تيرها مي‌توانند طوري طراحي شوند كه جزييات مناسب را براي تحمل تغييرشكل‌هاي غيرالاستيك را دارا باشند تا بتوانند انرژي زلزله را تلف نمايند.

در پايه‌هاي قابی شکل بتن مسلح، بدليل درجات زياد نامعيني، امكان باز پخش نيروها در سازه در صورت تسليم شدن نقاط ديگر، مسيرهاي گوناگون انتقال بار و يكپارچه بودن اتصالات تير به ستون باعث مي‌شود كه اين نوع پايه‌ها رفتار لرزه‌اي خوبي داشته باشند. در طراحي اين پايه‌ها بايد كوشش بر آن باشد تا از ايجاد مفصل در ستون‌ها جلوگيري شود و با هدايت محل تشكيل مفصل برروي تيرها، شمار مفاصل ايجاد شده افزايش يابد و تغيير شكل‌هاي غيرخطي و خرابي‌ها در سازه بيشتر پخش شوند. همچنين ايجاد مفصل در ستون‌ها باعث مكانيسم شدن قاب مي‌شود كه خرابي آن را به دنبال دارد. هرچه شمار طبقات قاب بيشتر باشد رفتار قابي آن بيشتر مي‌شود و سختي قاب نيز بالا مي‌رود كه كم شدن تغيير مكان‌ها و يكپارچگي بيشتر قاب در نيروهاي جانبي 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. بعبارتی 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. بررسي گزارشات مربوط به خسارت­هاي مخازن هوايي در دهه‌هاي گذشته مشخص شد كه خسارت­ها، مربوط به پايه نگهدارنده و اعضاي آن گزارش شده و هيچگونه خسارتي 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 (1) ارائه شده است.

**جدول 1- طبقه‌بندي خسارت‌هاي وارده به مخازن هوايي بتن مسلح آب در اثر زلزله ]10 و 11[**

|  |  |
| --- | --- |
| **نوع خسارت گزارش شده** | **اجزاء سيستم مخزن هوايي** |
| * ايجاد ترك‌هاي برشي و تشكيل مفاصل پلاستيك در تيرها و بدنبال آن شكست تير | **قاب نگهدارنده** |
| * ايجاد ترك‌هاي برشي- خمشي و تشكيل مفاصل پلاستيك در تيرها و بدنبال آن شكست تير |
| * ايجاد تركهاي قائم در ستونهاي متصل به محفظه |
| * ايجاد تركهاي قائم و تشكيل مفاصل در بالا و پايين ستونها |
| * ايجاد ترك در ستونهاي كوتاه |
| * ايجاد ترك در محل اتصال سيستم نگهدارنده به محفظه و تشكيل مفاصل پلاستيك |
| * ايجاد ترك‌هاي برشي در اتصالات |
| * از بين رفتن پوشش بتن روي آرماتور‌ها در محل اتصالات |
| * فروريزش بدليل تشكيل مفاصل پلاستيك در اعضاي تيرها، ستونها و اتصالات و مكانيزم شدن |
| * فروريزش بدليل بزرگنمايي پاسخ پيچشي در اثر بوجود آمدن خروج از مركزيتهاي اتفاقي |
| * شكست خمشي-كششي   ترك‌هاي محيطي افقي كه در اثر لنگر خمشي در مقاطعي از پايه كه به پي نزديك‌تر است و لنگر خمشي در آنها بيشتر ديده مي‌شوند. بطور كلي در مصالحي كه مقاومت كششي كمي دارند (مانند بتن) ترك‌هاي خمشي بدليل تركيب تنش‌هاي خمشي و تنش‌هاي برشي به صورت قطري ديده مي‌شوند. محل تماس بتن تازه و قديمي كه معمولا يك سطح افقي مي‌باشد نقطه ضعف خوبي براي براي ترك‌هاي خمشي مي‌باشد. به همين دليل برخي ترك‌هاي خمشي به صورت افقي نيز ديده مي‌شود. | **شافت نگهدارنده** |
| * شكست خمشي-پيچشي يا خمشي- برشي   ترك‌هاي محيطي قطري كه در اثر پاسخ پيچشي سازه يا لنگر خمشي و نيروي برشي و يا تركيب آنها بوجود مي‌آيد. تركيب تنش‌هاي بدست آمده از لنگر خمشي و لنگر پيچشي باعث مي‌شود كه شيب خط گسيختگي نسبت به محور افقي كمتر گردد. |
| * شكست خمشي-محوري   ترك‌هاي قائم كه در اثر نيروهاي فشاري زيادي كه هنگام زلزله به پايه وارد مي‌شود، ايجاد مي‌گردند. هنگامي­كه نيروي فشاري وارد شده به پايه در اثر مولفه قائم زلزله و لنگر واژگوني بيشتر از تاب فشاري مقطع شود، اثرات پواسون باعث انبساط عرضي پايه مي‌شود كه ترك خوردگي قائم پايه را بدنبال خواهد داشت. اين رفتار در پايه‌هايي كه ميلگرد عرضي كمي دارند و ميلگردهاي عرضي، ميلگردهاي طولي و بتن جداره را بگونه‌ايي مناسب محصور نكرده باشد، بيشتر مي‌شود. |
| * هيچ‌گونه خسارتي در محفظه گزارش نشده است. | **محفظه مخزن** |

1. **طیف طرح ویرایش چهارم استاندارد 2800 و ویرایش سوم نشریة 38**

**الف- روابط ویرایش چهارم استاندارد 2800**

در استاندارد 2800، ضریب زلزله بر اساس رابطة (1) بیان می­گردد و همچنین در نشریة 123 برای محاسبة نیروی لرزه­ای مخازن به استاندارد 2800 ارجاع داده شده است. در نشریة 38 که ضوابط و مقررات متفاوتی دارد که برگرفته از آیین­نامة ASCE 7-10 بوده و ضوابط آن در ادامه ارائه می­گردد. در ویرایش چهارم استاندارد 2800، مقدار ضریب زلزله با استفاده از رابط (1) محاسبه می­گردد که جزییات و محدودیت­های آن هم برای ساختمان شکل­پذیر و مخازن هوایی در این جدول (2) بیان گردیده است.

|  |  |
| --- | --- |
| (1) |  |

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

|  |  |
| --- | --- |
| (2) |  |

مقدار حداقل ضریب زلزله برای سازه­های غیرساختمانی غیرمشابه با ساختمان­ها و متکی بر زمین مطابق بند (5-3-1) بصورت زیر بیان شده است:

در موارد کلی:

|  |  |
| --- | --- |
| (3) |  |

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

|  |  |
| --- | --- |
| (4) |  |

به عبارتی در پهنة با خطر نسبی خیلی زیاد می­توان برای مخازن هوایی و برای خاک نوع I و II از رابطة (3) و برای خاک نوع III و IV از رابطه (4) برای حد پایین مقدار ضریب زلزله استفاده کرد.

**جدول 2- روابط و محدودیت­های ضریب زلزله در ویرایش چهارم استاندارد 2800 برای ساختمان شکل­پذیر و مخازن هوایی**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **ضریب رفتار**  **R** or **Ru** | **ضریب اهمیت**  **I** | **ضریب بازتاب**  **B** | **ضریب زلزله** | **سازه** | **استاندارد** |
| Ru=7.5 | 1 |  |  | ساختمان | **2800** |
| Ru=2  Ru=3 | 1.4 |  |  | مخزن | **2800** |
| A: نسبت شتاب مبنای طرح، B: ضریب بازتاب ساختمان، I: ضریب اهمیت ساختمان، Ru: ضریب رفتار ساختمان، B1:ضریب شکل طیف و N: ضریب اصلاح طیف. T: زمان تناوب اصلی نوسان ساختمان به ثانیه است، T0،TS  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 پهنة با خطر نسبی خیلی زیاد یعنی A=0.35 در نظر گرفته شده است و دلیل آن این است که مقادیر طیف طرح در منطقة با خطر نسبی زیاد تفاوت زیادی با مقادیر طیف طرح در منطقة با خطر نسبی خیلی زیاد ندارد و در بیشترین خطر نیروهای طراحی لرزه­ای مورد بررسی قرار می­گیرد.

ضریب اهمیت ساختمان، I، مطابق جدول (3-3) استاندارد 2800، برای ساختمان­ها چون در گروه 3 بوده و دارای اهمیت متوسط است برابر با 1 و برای مخازن در گروه 1، با توجه به اهمیت خیلی زیاد برابر با 4/1در نظر گرفته شده است.

ضريب رفتار بر اساس شكل­پذيري سيستم سازه­اي، درجه نامعيني و اضافه مقاومت موجود در سازه تعيين مي­شود و هر چه سازه داراي قدرت جذب انرژي بالاتري باشد مقدار اين ضريب افزايش خواهد يافت. ضریب رفتار برای ساختمان­های با شکل­پذیری ویژه مطابق با جدول (3-4) استاندارد 2800 و برای مخازن مطابق با جدول (5-2) در جدول (3) ارائه شده است.

**جدول 3- سیستم سازه­ای و ضریب رفتار سازه­های مورد بررسی مطابق ویرایش چهارم استاندارد 2800**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **استاندارد** | **سیستم سازه** | **سیستم مقاوم در برابر نیروهای جانبی** | **Ru** |
| **2800**  (جدول 3-4)  (جدول 5-2) | سیستم قاب خمشی | قاب خمشی بتن آرمه ویژه | 7،5 |
| قاب خمشی فولادی ویژه | 7،5 |
| سیستم دوگانه یا ترکیبی | قاب خمشی ویژه (فولادی با بتنی)+ دیوارهای برشی بتن آرمه ویژه | 7،5 |
| بونکر، مخزن، ظرف یا کندوی هوایی | بر روی پایه­های مهاربندی شده متقارن | 3 |
| بر روی پایه­های مهاربندی نشده یا مهاربندی شده نامتقارن | 2 |

نکته قابل توجه در خصوص ضریب رفتار مخازن در جدول (5-2)، این موضوع است که برای مخازن هوایی (فولادی یا بتنی) ضریب رفتار 3 و 2 در نظر گرفته شده است.

**ب- روابط ویرایش سوم نشریه 38**

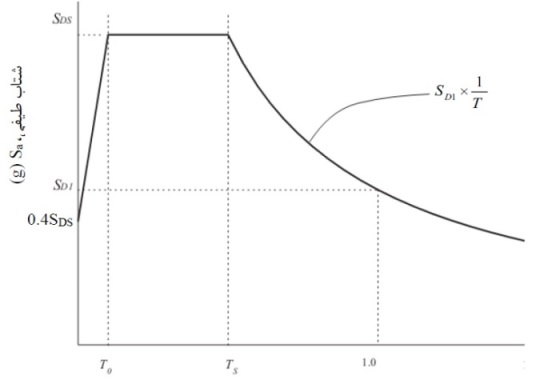
در نشریة 38 وزارت نفت که بر گرفته از آیین­نامه ASCE 7-10 بوده، ضریب زلزله بر اساس رابطة (5) بدست می­آید که جزییات آن در جدول (4) ارائه شده است. .

|  |  |
| --- | --- |
| (5) |  |

طیف طرح این آیین­نامه طبق الگوي شكل (2) بدست مي­آید. در این شكل رابطة شتاب طیفي، Sa، در هر قسمت طبق روابط جدول (4) بدست می­آید.

**جدول 4- روابط و محدودیت­های ضریب زلزله در ویرایش سوم نشریه 38**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **ضریب رفتار**  **R** or **Ru** | **ضریب اهمیت**  **I** | **ضریب بازتاب**  **B** | **ضریب زلزله** | **سازه** | **نشریه** |
| R=8 | 1 |  |  | ساختمان | **38** |
| Ru=2  Ru=3 | 1.5 |  |  | مخزن | **38** |
| Sa: پارامتر شتاب طیف طراحی روی خاک ساختگاه (بر حسب g) در سطح خطر دو است. Ru: ضریب رفتار طبق بند (7-2-2-1) و I: ضریب اهمیت سازه طبق بند (7-2-2-2) نشریة 38 است، SDS و SD1 : پارامترهای شتاب طیف طراحی در زمان تناوب کوتاه و در زمان تناوب یک ثانیه روی خاک ساختگاه (بر حسب g) است، SS و S1 : پارامترهای شتاب طیفی (بر حسب g)، در زمان تناوب کوتاه و در زمان تناوب یک ثانیه نظیر زلزله نادر روی بستر سنگی است. Fa و Fv : مقادیر اصلاح طیف در محدودة شتاب ثابت و سرعت ثابت است. | | | | | |



**شکل 2- طیف طرح نشریة 38 برگرفته از ASCE 7-10**

در نشریه 38 مقدار حداقل ضریب زلزله برای مخازن و ساختمان­ها بایستی مطابق روابط زیر باشد:

|  |  |
| --- | --- |
| (6) |  |
| برای مخازن و ساختمان­ها اگر  باشد مقدار حداقل برش پایه نباید از مقدار زیر کمتر باشد: | |
| (7) |  |

همچنین در نشریة 38 وزارت نفت برای مخازن هوایی ضرایب رفتاری ارائه شده است که در جدول (5) ارائه شده است.

**جدول 5- سیستم سازه­ای و ضریب رفتار ساختمان شکل­پذیر و مخازن هوایی در ویرایش سوم نشریة 38**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **نشریه** | **سیستم سازه** | **سیستم مقاوم در برابر نیروهای جانبی** | **Ru** |
| **38**  جدول (4-4)  جدول (7-2) | قاب ساختماني ساده | قاب با مهاربندي فولادي واگرا | 8 |
| قاب مركب بتني- فولادي با مهاربندي واگرا | 8 |
| قاب با مهاربندي فولادي كمانشناپذیر | 8 |
| قاب مقاوم خمشي | قاب خمشي فولادي ویژه | 8 |
| قاب خمشي بتني مسلح ویژه | 8 |
| قاب خمشي مركب بتني- فولادي ویژه | 8 |
| سيستم دوگانه با قاب خمشي ويژه | قاب فولادي با مهاربند واگرا | 8 |
| قاب با مهاربند كمانش ناپذیر | 8 |
| قاب مركب بتني- فولادي با مهاربند واگرا | 8 |
| دیوار برشي فولادي ویژه | 8 |
| بونکر، مخزن، ظرف یا کندوی هوایی | بر پایه­های مهاربندی شده متقارن (غیر مشابه سازة ساختمانی) | 3 |
| بر پایه­های مهاربندی نشده یا مهاربندی شده نامتقارن (غیر مشابه سازة ساختمانی) | 2 |

در ویرایش سوم نشریه 38، که بر گرفته از آیین­نامه ASCE 7-10 بوده و در این آیین­نامه برای بدست آوردن طیف طراحی نیاز به پارامترهای شتاب طیفی SS و S1 (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 2800 برای خاک­های چهارگانه و در پهنه با خطر نسبی خیلی زیاد زلزله استفاده شده است که جزییات آن در جدول (6) ارائه شده است. سایر پارامترهای مورد نیاز طیف طرح نشریه 38 در این جدول ارائه شده است.

**جدول 6- مقادیر حرکت زمین­لرزه برای طراحی لرزه ای مخازن مطابق با نشریة 38**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **پارامتر** | **توضیح** | **پهنة با خطر نسبی خیلی زیاد** | | | |
| **خاک نوع I** | **خاک نوع II** | **خاک نوع III** | **خاک نوع IV** |
| SS | پارامتر شتاب پاسخ طیفی MCE در پریود کوتاه | 0.87 | 0.87 | 0.96 | 0.96 |
| S1 | پارامتر شتاب پاسخ طیفی MCE در پریود یک ثانیه | 0.39 | 0.48 | 0.72 | 0.96 |
| Fa | ضریب سایت برای پریود کوتاه (ضریب اصلاح طیف در محدودة شتاب ثابت) | 1 | 1.05 | 1.12 | 0.95 |
| Fv | ضریب سایت برای پریود یک ثانیه (ضریب اصلاح طیف در محدودة سرعت ثابت) | 1 | 1.32 | 1.5 | 2.4 |
| SDS | پارامتر شتاب پاسخ طیفی زلزله طرح در پریود کوتاه | 0.58 | 0.61 | 0.72 | 0.61 |
| SD1 | پارامتر شتاب پاسخ طیفی زلزله طرح در پریود یک ثانیه | 0.26 | 0.42 | 0.72 | 1.54 |

**ج- طیف طرح ویرایش چهارم استاندارد 2800 و ویرایش سوم نشریه 38**

با بدست آوردن پارامترهای مورد نیار طیف طراحی برای استاندارد 2800 ویرایش چهارم و ویرایش سوم نشریة 38، این طیف­های طراحی در خاک­های مختلف و برای پهنه با خطر نسبی خیلی زیاد زلزله ترسیم گردید که در اشکال (5) و (6) نشان داده شده است. شایان ذکر است که تقسیم­بندی خاک­های ارائه شده در استاندارد 2800 و نشریة 38 یکسان بوده و علیرغم اینکه نشریة 38 از آیین­نامة 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 2800 است. در آیین­نامة ASCE 7-10، پنج نوع خاک معرفی شده است ولی در استاندارد 2800 و نشریه 38 چهار نوع خاک معرفی شده است.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| **شکل 5- شتاب طیفی (**g**) پاسخ طراحی استاندارد 2800 ویرایش چهارم برای انواع خاک­ها برای پهنه با خطر نسبی خیلی زیاد زلزله** | **شکل 6- شتاب طیفی (**g**) پاسخ طراحی نشریة 38 ویرایش سوم برای انواع خاک­ها برای پهنه با خطر نسبی خیلی زیاد زلزله** |

1. **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 (7) و (8) تغییرات ضریب برش پایه مخازن در خاک­های مختلف در استاندارد 2800 و نشریه 38 ارائه شده است.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| **(الف) خاک نوع I** | **(ب) خاک نوع II** |
|  |  |
| **(ج) خاک نوع III** | **(د) خاک نوع IV** |

**شکل 7- مقایسه تغییرات ضریب برش پایه طیف پاسخ طراحی استاندارد 2800 و نشریة 38 با پریود برای مخازن با ضریب رفتار 3 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 (7) و (8) هم برای مخازن با ضریب رفتار 2 و هم مخازن با ضریب رفتار 3، ملاحظه می­گردد مقدار ضریب برش پایه نشریة 38 در همه خاک­ها و در همه محدوده­ها (محدوده شتاب ثابت، سرعت ثابت و جابجایی ثابت) کمتر از استاندارد 2800 بوده ولی در برخی حالات و در خاک­های نوع II، III و IV در بخشی از محدوده سرعت ثابت، مقدار ضریب برش پایه نشریة 38 بیشتر از استاندارد 2800 است. همچنین در خاک­ نوع IV و در محدوده شتاب ثابت، مقدار ضریب برش پایه نشریة 38 از استاندارد 2800 بیشتر است.

پریود محدودة شتاب ثابت در نشریة 38 در خاک­های نوع I، II و III تقریبا نزدیک و برابر با مقدار متناظر آن در استاندارد 2800 است. فقط در خاک نوع IV اختلاف زیادی بین نشریة 38 و استاندارد 2800 وجود دارد. همچنین پریود محدودة شتاب ثابت در نشریة 38 و در خاک نوع IV تفاوت چشمگیر و قابل ملاحظه­ای با مقدار متناظر آن در استاندارد 2800 دارد در حالیکه در سایر خاک­ها این تفاوت به این اندازه نمی­باشد.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| **(الف) خاک نوع I** | **(ب) خاک نوع II** |
|  |  |
| **(ج) خاک نوع III** | **(د) خاک نوع IV** |

**شکل 8- مقایسه تغییرات ضریب برش پایه طیف پاسخ طراحی استاندارد 2800 و نشریة 38 با پریود برای مخازن با ضریب رفتار 2 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 2800 و نشریة 38 می­باشد و در ادامه به مقایسه آنها پرداخته می­شود لذا در ادامه ضریب برش پایة طیف طرح هر آیین­نامه با شکل­پذیرترین ساختمان موجود در این آیین­نامه مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته است. بطوریکه برای استاندارد 2800، طیف طرح مخزن با ضریب رفتار 3 و 2 با ساختمان شکل­پذیر با ضریب رفتار 7،5 در شکل (9) ارائه شده است. همانطوریکه در این شکل ملاحظه می­گردد طیف طرح مخزن با ضریب رفتار 2 نیروهای طراحی بیشتری نسبت به ساختمان شکل­پذیر و همچنین مخزن با ضریب رفتار 3 را نشان می­دهد.

برای نشریة 38، ضریب برش پایة طیف طرح مخزن با ضریب رفتار 3 و 2 با ساختمان شکل­پذیر با ضریب رفتار 8 در شکل (10) ارائه شده است. همانطوریکه در این شکل ملاحظه می­گردد طیف طرح مخزن با ضریب رفتار 2 نیروهای طراحی بیشتری نسبت به ساختمان شکل­پذیر و همچنین مخزن با ضریب رفتار 3 را نشان می­دهد.

با مقایسه طیف طرح استاندارد 2800 و نشریه 38 در اشکال (9) و (10)، مشخص می­گردد که ضریب برش پایه در استاندارد 2800 هم برای مخازن و هم برای ساختمان شکل­پذیر در خاک نوع IV بیشتر از سایر خاک­ها است در صورتیکه در نشریه 38 برای خاک نوع III بیشترین مقدار ضریب برش پایه مشاهده می­گردد. البته این موضوع بطور واضح در طیف طرح نشریه 38 در شکل (10) بوضوح قابل مشاهده است و از طیف طرح منتج می­گردد. با بررسی ضوابط این نشریة مشخص گردید علت این موضوع در کم بودن ضریب اصلاح طیف در محدوده شتاب ثابت برای خاک نوع IV (Fa=0.9) نسبت به خاک نوع III (Fa=1) می­باشد.

مطابق ويرايش چهارم استاندارد 2800، نسبت ضريب برش پايه مخزن (با ضريب رفتار 3 و 2، ضريب اهميت 1.4 و خطر نسبي خيلي زياد زلزله) به ضريب برش پايه ساختمان شكل­پذير (با ضريب رفتار 7،5 و ضريب اهميت 1 و خطر نسبي خيلي زياد زلزله) به ترتیب برای مخازن با ضریب رفتار 3 و 2 در پریودهای کوتاه (1،3 ثانیه)، برابر با 3.5 و 5،25 مطابق با روابط (19) و (20) بدست آمده است كه مقدار اين نسبت در مخزن 3.5 و 5،25 برابر بزرگتر از ساختمان خواهد بود که اين موضوع همخواني خوبی با ساير استانداردهاي بین­المللی دارد که در آنها ضريب برش پايه مخزن 3 تا 7 برابر بزرگتر از ساختمان ديده شده است.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| (19) |  | | |
| (20) |  | | |
|  | |  |
| **(الف)** | | **(ب)** |

**شکل 9- تغییرات ضریب برش پایه طیف پاسخ طراحی استاندارد 2800 ویرایش چهارم با پریود برای انواع خاک­ها: (الف) ساختمان شکل­پذیر با ضریب رفتار 7،5 و مخزن با ضریب رفتار 3، (ب) ساختمان شکل­پذیر با ضریب رفتار 7،5 و مخزن با ضریب رفتار 2.**

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| **(الف)** | **(ب)** |

**شکل 10- تغییرات ضریب برش پایه طیف پاسخ طراحی نشریة 38 ویرایش سوم با پریود برای انواع خاک­ها: (الف) ساختمان شکل­پذیر با ضریب رفتار 8 و مخزن با ضریب رفتار 3، (ب) ساختمان شکل­پذیر با ضریب رفتار 8 و مخزن با ضریب رفتار 2.**

با توجه به اینکه در آيين نامه 2800 ویرایش چهارم، براي ساختمان­هاي با ساختمان شکل­پذير مقدار R، 7،5 است. برای مخازن با ضریب رفتار 3، نسبت ضریب برش پایه مخزن به ضریب برش پایه ساختمان شکل­پذیر در شکل (11-الف) ارائه شده است. همچنین برای مخازن با ضریب رفتار 2، نسبت ضریب برش پایه مخزن به ضریب برش پایه ساختمان شکل­پذیر در شکل (11-ب) ارائه شده است.

همانطوریکه در شکل (11-الف) مشاهده می­گردد در پریودهای کوتاه (1،3 ثانیه)، برای مخازن با ضریب رفتار 3 این نسبت برابر با 3،5 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 2،14 محدود می­گردد و برای خاک­های نوع III و IV این نسبت با یک شیب صعودی به مقدار 22،6 محدود می­گردد.

در شکل (11-ب) مشاهده می­گردد که در پریودهای کوتاه (1،3 ثانیه)، برای مخازن با ضریب رفتار 2 این نسبت برابر با 25،5 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 2،14 کاهش داشته و با همان شیب ادامه دارد و چون در تحقیق حاضر تا پریود 5 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 33،9 محدود می­گردد.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| **(الف)** | **(ب)** |

**شکل 11- تغییرات نسبت ضریب برش پایه مخزن به ساختمان شکل­پذیر با پریود در طیف پاسخ طراحی استاندارد 2800 ویرایش چهارم برای انواع خاک­ها برای پهنه با خطر نسبی خیلی زیاد زلزله: (الف) مخزن با ضریب رفتار 3، (ب) مخزن با ضریب رفتار 2.**

همانطوریکه از مرور مطالعات آیین­نامه­های مختلف مشخص شده است مقدار این نسبت برای انواع مخازن به مقدار 3 تا 7 محدود می­گردد. با توجه به نتایج فوق مشخص می­گردد که در مخازن با ضریب رفتار 3، 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 3 را نشان می­دهد. برای مخازن با ضریب رفتار 2، 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 3 را نشان داده و برای خاک­های نوع III و IV مقدار این نسبت بیشتر از 7 دیده می­شود.

مطابق ويرايش سوم نشریة 38، نسبت ضريب برش پايه مخزن (با ضريب رفتار 3 و 2، ضريب اهميت 1.5 و خطر نسبي خيلي زياد زلزله) به ضريب برش پايه ساختمان شكل­پذير (با ضريب رفتار 8 و ضريب اهميت 1 و خطر نسبي خيلي زياد زلزله) به ترتیب برای مخازن با ضریب رفتار 3 و 2 در پریودهای کوتاه (3،1 ثانیه)، برابر با 4 و 6 مطابق با روابط (21) و (22) بدست آمده است كه مقدار اين نسبت در مخزن 4 و 6 برابر بزرگتر از ساختمان خواهد بود که اين موضوع همخواني خوبی با ساير استانداردهاي بین­المللی دارد که در آنها ضريب برش پايه مخزن 3 تا 7 برابر بزرگتر از ساختمان ديده شده است.

|  |  |
| --- | --- |
| (21) |  |
| (22) |  |

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| **(الف)** | **(ب)** |

**شکل 12- تغییرات نسبت ضریب برش پایه مخزن به ساختمان شکل­پذیر با پریود در طیف پاسخ طراحی نشریة 38 ویرایش سوم برای انواع خاک­ها: (الف) مخزن با ضریب رفتار 3، (ب) مخزن با ضریب رفتار 2.**

همانطوریکه در شکل (12-الف) مشاهده می­گردد در پریودهای کوتاه (1،3 ثانیه)، برای مخازن با ضریب رفتار 3 این نسبت برابر با 4 است در حالیکه با افزایش پریود 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 5،1 محدود می­گردد.

در شکل (12-ب) مشاهده می­گردد که در پریودهای کوتاه (1،3 ثانیه)، برای مخازن با ضریب رفتار 2 این نسبت برابر با 6 است در حالیکه با افزایش پریود 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 1،5 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 2800 و برای ضریب رفتار 3، خاک نوع IV بدون کران بالا، برای ضریب رفتار 2، در خاک نوع II و IV بدون کران پایین و بالا بوده و در سایر خاک­ها دارای کران بالا یا پایین می­باشند. در نشریه 38 فقط در ضریب رفتار 2 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 پریودهای بلند و کوتاه**

در جدول (6) درصد تغییرات ضریب برش پایه پریودهای کوتاه و بلند نسبت به ساختمان شکل­پذیر ارائه شده است. همانطوریکه در این جدول ملاحظه می­گردد مقادیر این نسبت در پریود کوتاه، برای هر دو ضریب رفتار و چهار نوع خاک در نشریة 38 به مقدار 14 درصد بیشتر از نتایج استاندارد 2800 است. ولی در پریود بلند نتیجه عکس بوده بطوریکه نتایج پریود بلند در نشریة 38 نسبت به استاندارد 2800 کاهش داشته و به مقدار 2 درصد تا 36 درصد کاهش نشان می­دهد. علت این موضوع را می­توان هم در طیف پاسخ طراحی استاندارد 2800 و نشریه 38 و همچنین ضوابط حداقل برش پایه آنها جستجو کرد (اشکال 9 و10).

**جدول 6- درصد تغییرات نسبت ضریب برش پایه مخزن به ساختمان شکل­پذیر در پریودهای کوتاه و بلند**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **درصد افزایش یا کاهش نشریة 38**  **نسبت به استاندارد 2800** | **استاندارد 2800** | **نشریة 38** | **نوع خاک** | **ضریب رفتار** | **پریود** |
| 14 % | 5.25 | 6 | I | 2 | **کوتاه** |
| 14 % | 5.25 | 6 | II | 2 |
| 14 % | 5.25 | 6 | III | 2 |
| 14 % | 5.25 | 6 | IV | 2 |
| 14 % | 3.5 | 4 | I | 3 |
| 14 % | 3.5 | 4 | II | 3 |
| 14 % | 3.5 | 4 | III | 3 |
| 14 % | 3.5 | 4 | IV | 3 |
| -29 % | 2.14 | 1.52 | I | 2 | **بلند** |
| -2 % | 2.48 | 2.43 | II | 2 |
| -36 % | 9.33 | 6 | III | 2 |
| -33 % | 8.98 | 6 | IV | 2 |
| -30 % | 2.14 | 1.50 | I | 3 |
| -24 % | 2.14 | 1.62 | II | 3 |
| -36 % | 6.21 | 4 | III | 3 |
| -33 % | 5.98 | 4 | IV | 3 |

1. **نتیجه­گیری**

در این پژوهش به بررسی و ارزیابی نیروهای طراحی لرزه­ای مخازن هوایی در آیین­نامه­های ایران پرداخته شده است. ویرایش چهارم استاندارد 2800 و ویرایش سوم نشریة 38 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 2800 و نشریة 38 بصورت جداگانه مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته است. در ادامه نتایج حاصل از تحقیق ارائه می­گردد:

1. برای مخازن با ضریب رفتار 2 و 3، ملاحظه می­گردد مقدار ضریب برش پایه نشریة 38 در همه خاک­ها و در همه محدوده­ها (محدوده شتاب ثابت، سرعت ثابت و جابجایی ثابت) کمتر از استاندارد 2800 بوده ولی در برخی حالات و در خاک­های نوع II، III و IV در بخشی از محدوده سرعت ثابت، مقدار ضریب برش پایه نشریة 38 بیشتر از استاندارد 2800 است. همچنین در خاک­ نوع IV و در محدوده شتاب ثابت، مقدار ضریب برش پایه نشریة 38 از استاندارد 2800 بیشتر است.
2. ضریب برش پایه در استاندارد 2800 هم برای مخازن و هم برای ساختمان شکل­پذیر در خاک نوع IV بیشتر از سایر خاک­ها است در صورتیکه در نشریه 38 برای خاک نوع III بیشترین مقدار ضریب برش پایه مشاهده می­گردد. با بررسی ضوابط این نشریة مشخص گردید علت این موضوع در کم بودن ضریب اصلاح طیف در محدوده شتاب ثابت برای خاک نوع IV (Fa=0.9) نسبت به خاک نوع III (Fa=1) می­باشد.
3. در استاندارد 2800، نسبت ضريب برش پايه مخزن (با ضريب رفتار 3 و 2، ضريب اهميت 1.4 و خطر نسبي خيلي زياد زلزله) به ضريب برش پايه ساختمان شكل­پذير (با ضريب رفتار 7،5 و ضريب اهميت 1 و خطر نسبي خيلي زياد زلزله) به ترتیب برای مخازن با ضریب رفتار 3 و 2 در پریودهای کوتاه، به ترتیب برابر با 3.5 و 5،25 بدست آمد. بعبارتی دیگر مقدار نیروهای طراحی لرزه­ای در مخازن با ضریب رفتار 3 و 2، به ترتیب 3.5 و 5،25 برابر بزرگتر از نیروهای طراحی لرزه­ای شکل­پذیرترین ساختمان استاندارد 2800 است. اين موضوع همخواني خوبی با ساير استانداردهاي بین­المللی دارد که در آنها ضريب برش پايه مخزن 3 تا 7 برابر بزرگتر از ساختمان ديده شده است.
4. مطابق ويرايش سوم نشریة 38، نسبت ضريب برش پايه مخزن (با ضريب رفتار 3 و 2، ضريب اهميت 1.5 و خطر نسبي خيلي زياد زلزله) به ضريب برش پايه ساختمان شكل­پذير (با ضريب رفتار 8 و ضريب اهميت 1 و خطر نسبي خيلي زياد زلزله) به ترتیب برای مخازن با ضریب رفتار 3 و 2 در پریودهای کوتاه، برابر با 4 و 6 بدست آمد. بعبارتی دیگر مقدار نیروهای طراحی لرزه­ای در مخازن با ضریب رفتار 3 و 2، به ترتیب 4 و 6 برابر بزرگتر از نیروهای طراحی لرزه­ای شکل­پذیرترین ساختمان نشزیة 38 است. اين موضوع همخواني خوبی با ساير استانداردهاي بین­المللی دارد که در آنها ضريب برش پايه مخزن 3 تا 7 برابر بزرگتر از ساختمان ديده شده است.
5. در استاندارد 2800 و نشریة 38، نسبت ضریب برش پایه مخازن به ساختمان شکل­پذیر در انواع خاک­ها و برای یک ضریب رفتار مشخص، در پريود کوتاه، ثابت بوده ولی مقدار این نسبت برای پریودهای بلند، متغیر است.
6. نسبت ضریب برش پایه مخازن به ساختمان شکل­پذیر در پریودهای کوتاه و در خاک­های چهارگانه برای مخازن هوایی با ضریب رفتار 3، در استاندارد 2800 برابر با 3،5 و در نشریة 38 برابر با 4 بوده و همچنین برای مخازن با ضریب رفتار 2، در استاندارد 2800 برابر با 5،25 و در نشریة 38 برابر با 6 بدست آمد.
7. مقدار نسبت ضریب برش پایه مخازن به ساختمان در پریودهای کوتاه، برای هر دو ضریب رفتار و چهار نوع خاک در نشریة 38 به مقدار 14 درصد بیشتر از نتایج استاندارد 2800 حاصل گردید.
8. مقدار نسبت ضریب برش پایه مخازن به ساختمان در پریودهای بلند، در نشریة 38 نسبت به استاندارد 2800 به مقدار 2 درصد تا 36 درصد کاهش نشان داد. علت این موضوع را می­توان در طیف پاسخ طراحی دو آیین­نامه و ضوابط حداقل برش پایه آنها جستجو کرد.
9. با توجه به بررسی­ها و مقایسه بین دو آیین­نامه ایران در خصوص مخازن هوایی (استاندارد 2800 و نشریة 38)، در خصوص نیروهای طراحی لرزه­ای مخازن مشخص گردید که این آیین­نامه­ها در برآورد نیروهای طراحی لرزه­ای در پریودهای کوتاه، اختلاف 14 درصدی با هم داشته و از این نظر به استاندادرهای بین­المللی نزدیک بوده و تفاوت چندانی ندارند.
10. در خصوص نتایج نسبت ضریب برش پایه مخازن به ساختمان شکل­پذیر در پریودهای بلند در خاک­های نوع I و II، مشخص گردید که در هم در استاندارد 2800 و هم در نشریه 38، از نظر شکلی نتایج مشابهی بدست آمده که برای مخازن با ضریب رفتار 3، دارای کران پایین بوده ولی برای مخازن با ضریب رفتار 2 بدون کران می­باشد. بطوریکه این نسبت با افزایش پریود، کاهش می­یابد. البته روند نمودار مشخص است که کران بالا یا پایین در پریودهای بیشتر از 5 ثانیه رخ خواهد داد.
11. در خصوص نتایج نسبت ضریب برش پایه مخازن به ساختمان شکل­پذیر در پریودهای بلند در خاک­های نوع III و IV، مشخص گردید که در نشریه 38، کران بالایی بدست می­آید و مقدار آن مستقل از پریوده بوده و دارای مقدار ثابتی برای مخازن با ضریب رفتار 2 و 3 می­باشد که مقدار این کران برابر با پریودهای کوتاه می­باشد ولی در استاندارد 2800 اینگونه نبوده، بطوریکه با افزایش پریود 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 پریودهای بلند در استاندارد 2800 بیشتر از مقدار آن در پریودهای کوتاه می­باشد. البته روند نمودار مشخص است که کران بالا یا پایین در پریودهای بیشتر از 5 ثانیه رخ خواهد داد.
12. با توجه به نتایج بسیار متفاوت و پراکنده نسبت ضریب برش پایه مخازن به ساختمان شکل­پذیر در پریودهای بلند به نظر می­رسد که استاندارد 2800 و نشریة 38 در برآورد نیروهای طراحی لرزه­ای برای پریود بلند، در مواردی دست بالا و در مواردی دست پایین برآورد می­کنند. لذا پیشنهاد می­گردد که ضوابط خاصی برای طراحی لرزه­ای مخازن هوایی در پریود بلند در این آیین­نامه­ها لحاظ گردد.
13. **مراجع**

[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 inM w 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. Astaneh-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](https://link.springer.com/journal/13369) 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 Engineerng. 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., Mistry A., Downtime assessment of base-isolated liquid storage tanks, Conference of earthquake risk and engineering towards a resilient word, 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 diff erent 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 warter 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).