Iranian Concrete Society

Evaluation of Seismic Design Forces of Elevated Water Tanks in Different Editions of Standard 2800 for Different Zones of Relative Hazard of Earthquake and Soil Types

Fereydoon Omidinasab*
Associate Professor, Department of Engineering, Lorestan University, Khorramabad, Iran
Omidinasab.f@lu.ac.ir

Research paper

Abstract

Liquid storage tanks are one of the main components of vital arteries that should be able to continue their service during and even after the earthquake and maintain their uninterrupted usability. For this reason, seismic safety of liquid storage tanks is of considerable importance to ensure the water supply of earthquake-affected areas and fire extinguishing. Tanks of industrial liquids may also contain valuable liquids or employment that should not lose their contents during an earthquake. Elevated tanks are often used for water storage purposes and can be placed on prestressed concrete shafts, prestressed metal frames or Pillars of masonry. Most design standards use this conclusion and have higher seismic design performance for reservoirs compared to other buildings. In this study, the first to fourth editions of standard 2800 for elevated water tanks in four types of relative earthquake risk and four types of soil defined in the standard have been investigated and compared with the most ductile building in the relevant standard. In standard 2800 for elevated water tanks in the first to third editions, only one coefficient of behavior is presented, but in the fourth edition, two coefficients of behavior are considered. By examining the tanks and ductile buildings, their seismic design force was compared and while comparing these results, the differences between elevated Various of standard 2800 were investigated. The results showed that, in the first to third editions of standard 2800, for different soils and regions with relative earthquake risk, the seismic design force of elevated tanks is about 3 to 7 times more than the ductile buildings of the relevant edition. If in the fourth edition, increased in seismic design force of elevated tanks is about 2.14 to 9.33 times more than the ductile buildings. Also, in the fourth edition of standard 2800, for reservoirs with behavior coefficients of 2 and 3, in soil type IV, for regions with different relative risks, there is no high bound (in long periods) and for tanks with behavior coefficient 2 and in soil type II, at low and moderate risk level of earthquake, there is no low bound (in long periods).

Keywords*: Elevated Water Tanks, Design Spectrum, Standard 2800, Seismic Design Force*

---

* *Corresponding Author Fereydoon Omidinasab*

Omidinasab, F. Evaluation of Seismic Design Forces of Elevated Water Tanks in Different Editions of Standard 2800 in Different Zones of Relative Hazard of Earthquake and Soil Types. Journal of Concrete Structures and Materials, *2022; 7(1): 200-216. http://doi.org/10.30478/jcsm.2022.347025.1274*
2538-5828/ *© 2021 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/).

انجمن علمی بتن ایران

دریافت مقاله: ۲۳-۰۳-۱۴۰۱
پذیرش مقاله: ۱۲-۰۹-۱۴۰۱

ارزیابی نیروهای طراحی لرزه‌ای مخازن هوایی آب در ویرایش‌های مختلف استاندارد ۲۸۰۰ در پهنه‌های مختلف خطر نسبی زلزله و انواع خاک

فریدون امیدی نسب
دانشیار سازه، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران
Omidinasab.f@lu.ac.ir

نوع مقاله: پژوهشی

چکیده

مخازن ذخیره مایعات به‌عنوان یکی از اجزای اصلی شریان‌های حیاتی بوده که در حین زلزله و حتی بعد از زلزله هم بایستی بتوانند به سرویس‌دهی خود ادامه دهند و سطح عملکردی قابلیت استفاده بی‌وقفه خود را حفظ نمایند. به همین دلیل ایمنی لرزه‌ای مخازن ذخیره مایعات از اهمیت قابل‌توجهی برخوردار بوده تا از تأمین ذخیره آب مناطق زلزله‌زده و اطفای حریق اطمینان حاصل شود. مخازن مایعات صنعتی نیز ممکن است حاوی مایعات پرارزش و یا اشتغال‌پذیری باشند که نباید در حین زلزله محتویات خود را از دست بدهند. مخازن هوایی اغلب برای اهداف ذخیره آب استفاده می‌شوند و می‌توانند روی شفت‌های بتنی پیش‌تنیده، قاب‌های فلزی یا بتنی پیش‌تنیده یا پایه‌های مصالح بنائی قرار گیرند. اغلب استانداردهای طراحی از این نتیجه‌گیری استفاده کرده و عملکرد طراحی لرزه‌ای بالاتری برای مخازن در مقایسه با ساختمان‌های دیگر قائل شده‌اند. در این پژوهش طیف طرح ویرایش‌های اول تا چهارم استاندارد ۲۸۰۰ برای مخازن هوایی آب در چهار نوع خطر نسبی زلزله و چهار نوع خاک تعریف شده در استاندارد، مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته و همچنین با شکل‌پذیرترین ساختمان موجود در استاندارد مربوطه مورد مقایسه قرار گرفته است. در استاندارد ۲۸۰۰ برای مخازن هوایی آب در ویرایش‌های اول تا سوم فقط یک ضریب رفتار ارائه شده ولی در ویرایش چهارم، دو ضریب رفتار لحاظ شده است. با بررسی مخازن و ساختمان‌های شکل‌پذیر، نیروی طراحی لرزه‌ای آنها مورد مقایسه قرار گرفت و ضمن بررسی و مقایسه این نتایج، تفاوت ویرایش‌های مختلف استاندارد ۲۸۰۰ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در استاندارد ۲۸۰۰، در ویرایش‌های اول تا سوم استاندارد ۲۸۰۰، برای انواع خاک‌ها و مناطق با خطر نسبی زلزله مختلف، نیروی طراحی لرزه‌ای مخازن هوایی حدود ۳ تا ۷ برابر ساختمان‌های شکل‌پذیر ویرایش مربوطه است. درصورتی‌که در ویرایش چهارم این محدوده افزایش داشته به طور یکه نیروی طراحی لرزه‌ای مخازن هوایی حدود ۲/۱۴ تا ۹/۳۳ برابر ساختمان‌های شکل‌پذیر است. همچنین در ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰، برای مخازن با ضریب رفتار ۲ و ۳، در خاک نوع IV، برای مناطق با خطر نسبی مختلف، کران بالا (در پریودهای بلند) نداشته و برای مخازن با ضریب رفتار ۲ و در خاک نوع II، در سطح خطرپذیری کم و متوسط نیز کران پایین (در پریودهای بلند) دیده نمی‌شود.

کلید واژه‌ها: مخازن هوایی آب، طیف طرح، استاندارد ۲۸۰۰، نیروی طراحی لرزه‌ای.

مقدمه

مخـازن هـوایی آب سـازه‌هـای مهمـی هسـتند زیـرا عملکـرد آنهـا بـرای حفـظ خـدمات پـس از خطـرات طبیعـی و بلایـای احتمـالی، بـرای پشـتیبانی از تقاضـای آب آشـامیدنی و اهـداف آتـش‌نشـانی ضـروری اسـت. خرابـی ایـن سـازه مـی‌توانـد عملکرد آنها را در برآوردن نیـاز بـه آب بـرای آشـامیدن و اطفـای حریـق مختـل کنـد، بـه‌ویژه پـس از زلزلـه‌هـای شـدید کـه طی آن ایـن تقاضـا بـه طـور چشـمگیری افـزایش مـی‌یابـد. نمونـه‌های زیـادی از فروپاشـی مخـازن هـوایی آب در زلزلـه‌هـای قبلـی را مـی‌تـوان در تحقیقـات گذشـته مشـاهده کـرد [۱–۶]. تحقیقـات نسـبتاً زیـادی در مـورد مخـازن از جملـه مخـازن هـوایی از دیـدگاه بررسـی رفتـار لـرزه‌ای، تحلیـل اسـتاتیکی خطـی و غیرخطـی، تحلیـل دینـامیکی، شـاخص خسـارت، طراحـی بـر اسـاس عملکـرد، آسـیب‌پـذیری، منحنـی‌هـای شـکنندگی، اثـرات Sloshing و ... پرداختـه شـده اسـت[۷–۱۸]. در برخـی تحقیقـاتی کـه بـر روی آسـیب‌هـا و خسـارات مخـازن هـوایی آب بـا پایـه‌هـای نگهدارنـده قـابی شـکل و شـافتی شـکل را در پـژوهش‌هـای جداگانـه‌ای انجـام دادنـد و بـه خسـارات وارده بـر مخـازن هـوایی آب در زلزلـه‌هـای گذشـته پرداختند. با مدل‌سازی اجزای محـدود مخـازن هـوایی نشـان دادنـد کـه پایـه‌هـای نگهدارنـده شـافتی شـکل آسـیب‌پـذیرتر از پایه‌های نگهدارنده قابی شـکل هسـتند و ایـن مطالعـات نشـان داد کـه پایـه‌هـای نگهدارنـده قـابی شـکل عملکـرد بهتـری در زلزلـه‌های گذشـته داشـته‌انـد[۱۹-۲۰]. بیشـتر خسـارات گـزارش شـده در مخـازن هـوایی آب در سـازه نگهدارنـده واقـع شده‌اند و می‌توانند عمدتاً بـه اعضـای ضـعیف قـاب و اتصـالات ضـعیف تیـر و سـتون نسـبت داده شـود. بـه عبـارتی باتوجه‌بـه قـوانین و مقـررات آیـین‌هـای مختلـف مشـخص اسـت کـه علـت اصـلی آسـیب‌پـذیری مخـازن هـوایی بـرآورد کـم مقـدار نیروهای طراحی لرزه‌ای بوده به‌ویژه در مناطق با خطر نسبی زیاد و خیلی زیاد زلزله [۱۹ -۲۰].

در برخـی تحقیقـات داخلـی بـه بررسـی و مقایسـه ضـوابط طراحـی لـرزه‌ای مخـازن ذخیـره بـر اسـاس نشـریه ۳۸ و نشـریه ۱۲۳ با آیین‌نامه‌هـای مختلـف پرداختـه شـده اسـت و در ایـن تحقیقـات کلیـهٔ ضـوابط مـورد بررسـی و مقایسـه قـرار گرفتـه اسـت و بـه ارزیـابی نیروهـای طراحـی لـرزه‌ای پرداختـه نشـده اسـت. در ایـن تحقیقـات بـه مقایسـه کلـی ضـوابط مخـازن زمینی و هوایی پرداخته شده و ویرایش‌های قبلی این استانداردها مورد بررسی قرار گرفته است [۲۱ - ۲۲].

در خصـوص ارزیـابی نیروهـای طراحـی لـرزه‌ای در کشـورهای مختلـف کارهـای زیـادی انجـام شـده اسـت و تمرکـز بیشـتر این تحقیقات بر ارزیابی نیروهای طراحی لرزه‌ای بـرای یـک یـا چنـد مـورد خـاص مخـزن هـوایی بـوده کـه مبنـای تحقیقـات دیگری بوده اسـت. تنهـا در یـک نمونـه تحقیـق در کشـور هندوسـتان نیروهـای طراحـی لـرزه‌ای آیـین‌نامـه‌هـای مختلـف بـا آیـین‌نامـه هندوسـتان بـرای مخـازن مـورد بررسـی قـرار گرفتـه اسـت[۲۳]. در تحقیقـات داخلـی نیـز وضـعیت بـه همـین منوال اسـت و تحقیقـاتی در ایـن زمینـه انجـام نشـده اسـت. پژوهشـی کـه نیروهـای طراحـی لـرزه‌ای ویـرایش‌هـای مختلـف استاندارد ۲۸۰۰ را مـورد بررسـی و مقایسـه قـرار دهـد، انجـام نشـده اسـت؛ لـذا در تحقیـق حاضـر ضـمن بررسـی ویـرایش-هـای مختلـف اسـتاندارد ۲۸۰۰، ضـوابط و مقـررات مربـوط بـه ایـن اسـتانداردها در خصـوص مخـازن هـوایی مـورد بررسـی قرار گرفته و نیروی طراحی لرزه‌ای آنها مورد ارزیابی و در نهایت مورد مقایسه قرار گرفته است [۲۴ - ۲۷].

مخازن هوایی ذخیره مایعات

مخـازن هـوایی ذخیـرهٔ مایعـات، از مهم‌تـرین سـازه‌های صـنعتی و عمرانـی هسـتند، همچنـین بـه علـت اسـتفادهٔ گسـترده و آسیب‌پذیری این‌گونه سازه‌ها در برابـر زلزلـه، اخبـار زیـادی در مـورد حـوادث ناشـی از تخریـب آنهـا طـی زلزلـه‌های متفـاوت گـزارش گردیـده اسـت. مخـازن هـوایی ذخیـره مایعـات دارای محفظـه ذخیـره مایعـات و سـازه نگهدارنـده بـوده و از نظـر جـنس مصـالح به‌صـورت فـولادی، بتنـی و بنـایی طراحـی و سـاخته مـی‌شـوند. هـم محفظـه ذخیـره مایعـات و هـم سـازه نگهدارنـده ایـن مخـازن از جـنس فـولاد، بـتن و بنـایی هسـتند. انـواع ایـن مخـازن از نظـر شـکل هندسـی بـه اینتـز، مـدور، مستطیلی، پایین مخروطی، پـایین گنبـدی و پـایین کـروی تقسـیم‌بنـدی مـی‌گردنـد. سیسـتم سـازه نگهدارنـده ایـن مخـازن به‌صورت مهاربندی، قـاب خمشـی و شـافتی شـکل اسـت. برخـی از انـواع مختلـف ایـن نـوع مخـازن از نظـر جـنس مصـالح و شکل هندسی محفظه ذخیره مایعات و همچنین از نظر سیستم سازه نگهدارنده در شکل (۱) نشان‌داده‌شده است.

شکل ۱- برخی از نمونه‌های مخازن هوایی ذخیره مایعات با جنس مصالح، شکل هندسی محفظه و سازه نگهدارنده مختلف

نگهدارنده‌های نوع قابی شکل مخازن هوایی عموماً رفتار لرزه‌ای بهتری نسبت به نگهدارنده‌های نوع شافتی برای مقاومت در مقابل بارهای جانبی را دارا هستند. زیرا دارای نامعینی بزرگ‌تر و ظرفیت جذب انرژی لرزه‌ای بیشتری از طریق رفتار غیرخطی را دارا هستند. نگهدارنده‌های نوع قابی شکل دارای اعضای خمشی زیادی شامل تیرها و ستون‌ها هستند که در مقابل بارهای جانبی مقاومت می‌کنند و دچار خسارت کمی می‌شوند. در نتیجه فروریزش ناگهانی برای این مخازن به دلیل تحمل تغییر شکل‌های غیرالاستیک و توزیع خسارت در تعداد زیاد اعضای قاب اتفاق نمی‌افتد؛ بنابراین قاب بتن مسلح می‌تواند طوری طراحی شوند که شکل‌پذیری 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 جزئیات مناسب را برای تحمل تغییر شکل‌های غیرالاستیک را دارا باشند تا بتوانند انرژی زلزله را تلف نمایند.

ضریب زلزله ویرایش‌های مختلف استاندارد ۲۸۰۰

با بررسی ویرایش‌های مختلف استاندارد ۲۸۰۰، نیروهای طراحی لرزه‌ای آنها که از طیف طرح به دست می‌آید را طبقه‌بندی کرده و باتوجه‌به اینکه این تحقیق در پهنهٔ با خطر نسبی خیلی زیاد انجام شده، ضریب زلزله و جزئیات آن و همچنین محدودیت‌های آن را مورد بررسی قرار داده و در جدول (۱) ارائه گردیده است:

جدول ۱- مقایسه ضریب زلزله در ویرایش‌های مختلف استاندارد ۲۸۰۰ [۲۹ - ۳۲].

استاندارد ۲۸۰۰	ضریب زلزله	ضریب بازتاب B	ضریب اهمیت I	ضریب رفتار R or R_u	$\frac{B}{R}$
ویرایش اول	$C=\frac{ABI}{R}$, $C_{min}=0.10A$	$0.6 \le 2(T_0/T)^{2/3} \le 2$	1.2	R=2.5	≥ 0.5
ویرایش دوم	$C=\frac{ABI}{R}$	$2.5(T_0/T)^{2/3} \le 2.5$	1.2	R=3	≥ 0.5
ویرایش سوم	$C=\frac{ABI}{R}$, $C_{min}=0.10AI$	$\begin{cases}1+S\,(T/T_0) & 0\le T\le T_0\\ 1+S & T_0\le T\le T_S\\ (1+S)\,(T/T_0)^{2/3} & T\ge T_S\end{cases}$	1.4	R=3	≥ 0.5
ویرایش چهارم	$C=\frac{ABI}{R_u}$, $C_{min}=0.12AI$, $C_{min}=0.09$ for Soil Type I, II , $C_{min}=1.6AI/R_u$ for Soil Type III, IV	$\begin{cases}B=B_1.N\\ B_1=S_0+(S-S_0+1)(T/T_0) & 0<T<T_0\\ B_1=S+1 & T_0<T<T_S\\ B_1=(S+1)(T_S/T) & T>T_S\end{cases}$	1.4	R_u=3 R_u=2	- -

در روابط فوق: A : نسبت شتاب مبنای طرح، B : ضریب بازتاب سازه، I : ضریب اهمیت سازه، R یا R_u: ضریب رفتار سازه، S، S_0، T و T_0: پارامترهایی هستند که به نوع زمین و میزان خطر لرزه‌خیزی منطقه وابسته‌اند. B_1 : ضریب شکل طیف و N : ضریب اصلاح طیف است.

در جدول (۲) ضریب A یعنی نسبت شتاب مبنای طرح در مناطق با لرزه‌خیزی مختلف برای ویرایش‌های مختلف استاندارد ۲۸۰۰ ارائه شده است. در ویرایش‌های مختلف استاندارد ۲۸۰۰ فقط برای مخازن هوایی ضریب رفتار ارائه شده است و در خصوص مخازن زمینی به نشریه ۱۲۳ ارجاع داده شده است؛ لذا در این تحقیق نیروهای طراحی لرزه‌ای فقط برای مخازن هوایی مورد بررسی قرار گرفته است. در جدول (۳) ضرایب رفتار مخازن هوایی در ویرایش‌های مختلف ارائه شده است. نکته قابل‌توجه اینکه در ویرایش‌های اول تا سوم ضریب رفتار با پارامتر R بیان شده است ولی در ویرایش چهارم ضریب رفتار با پارامتر R_u ارائه شده است.

نکته قابل‌توجه در خصوص ضریب رفتار مخازن هوایی در جدول (۵-۲) ویرایش چهارم، این موضوع است که برای مخازن هوایی (فولادی یا بتنی) ضریب رفتار ۳ و ۲ در نظر گرفته شده است ولی در ویرایش‌های اول تا سوم استاندارد ۲۸۰۰ فقط یک ضریب رفتار برای مخازن هوایی ارائه شده است. به عبارتی در ویرایش چهارم باتوجه‌به تعریف دو نوع سیستم مقاوم باربر جانبی برای سازه نگهدارندهٔ مخازن، دو ضریب ارائه شده ولی در ویرایش‌های اول تا سوم یک نوع سیستم باربر جانبی برای سازه نگهدارنده ارائه شده و لذا در این ویرایش‌ها فقط یک ضریب رفتار ارائه شده است.

جدول ۲- نسبت شتاب مبنای طرح در مناطق با لرزه‌خیزی مختلف در ویرایش‌های مختلف استاندارد ۲۸۰۰ [۲۹ - ۳۲].

نسبت شتاب مبنای طرح به شتاب ثقل	توصیف	منطقه	استاندارد ۲۸۰۰
۰،۲۰	پهنه با خطر نسبی خیلی زیاد	۱	**ویرایش اول، دوم، سوم و چهارم**
۰،۲۵	پهنه با خطر نسبی زیاد	۲	
۰،۳۰	پهنه با خطر نسبی متوسط	۳	
۰،۳۵	پهنه با خطر نسبی کم	۴	

جدول ۳- ضریب رفتار مخازن هوایی آب در ویرایش‌های مختلف استاندارد ۲۸۰۰ [۲۹ - ۳۲].

ضریب رفتار (R or R_u)	نوع سازه	استاندارد ۲۸۰۰
۲،۵R=	مخازن هوایی که بر روی پایه‌های بادبندی شده یا نشده قرار دارند.	**ویرایش اول**
۳R=	مخازن هوایی که بر روی پایه‌های بادبندی شده یا نشده قرار دارند.	**ویرایش دوم**
۳R=	مخازن هوایی که بر روی پایه‌های بادبندی شده یا نشده قرار دارند.	**ویرایش سوم**
$۳R_u$=	مخازن بر روی پایه‌های مهاربندی شده متقارن	**ویرایش چهارم**
$۲R_u$=	مخازن بر روی پایه‌های مهاربندی نشده یا مهاربندی شده نامتقارن	

باتوجه‌به اینکه ضریب اهمیت نیز یکی از پارامترهای تعیین‌کننده در محاسبه ضریب زلزله و در نهایت نیروی طراحی لرزه‌ای است لذا در جدول (۴)، ضریب اهمیت مخازن هوایی که جزو تأسیسات آبرسانی بوده ارائه شده است. همان‌طوری که در این جدول ملاحظه می‌گردد در ویرایش‌های اول و دوم این ضریب ۱/۲ و در ویرایش سه و چهار این ضریب افزایش پیدا کرده و به مقدار ۱/۴ ارائه شده است.

جدول ۴- ضریب اهمیت مخازن هوایی آب در ویرایش‌های مختلف استاندارد ۲۸۰۰ [۲۹ - ۳۲].

ضریب اهمیت (I)	طبقه‌بندی ساختمان	استاندارد ۲۸۰۰
۱،۲	گروه یک	**ویرایش اول**
۱،۲	گروه یک	**ویرایش دوم**
۱،۴	گروه یک	**ویرایش سوم**
۱،۴	گروه یک	**ویرایش چهارم**

باتوجه‌به اینکه در تحقیق حاضر هدف ارزیابی نیروهای طراحی لرزه‌ای بوده و برای مقایسه مناسب و اینکه مشخص گردد که مقدار افزایش یا کاهش آن چقدر است، لذا نیروی طراحی لرزه‌ای مخازن هوایی آب با نیروی طراحی لرزه-

ای شکل‌پذیرترین ساختمان موجود در ویرایش مربوطه مقایسه شد است؛ لذا در جدول (۵) مشخصات موردنیاز برای محاسبه ضریب زلزله شکل‌پذیرترین ساختمان در ویرایش‌های مختلف ارائه شده است.

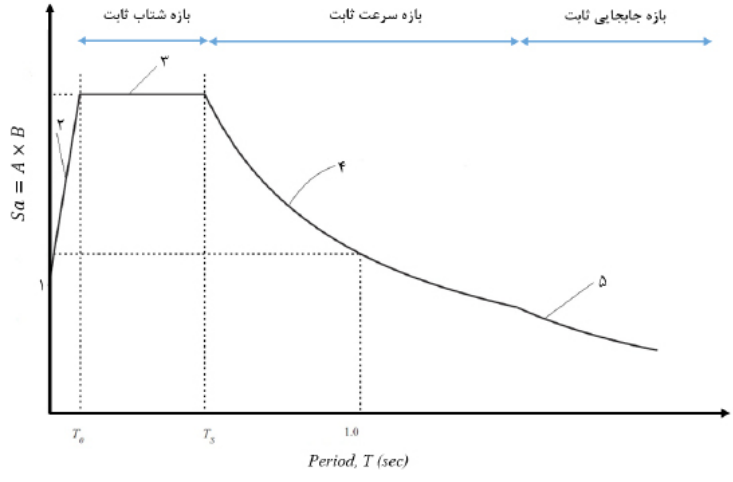
جدول ۵- ضریب رفتار شکل‌پذیرترین ساختمان در ویرایش‌های مختلف استاندارد ۲۸۰۰ [۲۹ - ۳۲].

استاندارد ۲۸۰۰	سیستم سازه	سیستم مقاوم در برابر نیروی جانبی	ضریب رفتار (R or R_u)
ویرایش اول	سیستم مختلط قاب فضایی خمشی و دیوارهای برشی یا بادبندی‌ها	قاب خمشی + دیوار برشی بتن‌آرمه	$R=$۷
		قاب خمشی + بادبندی‌ها	
ویرایش دوم	سیستم دوگانه یا ترکیبی	قاب خمشی ویژه (فولادی یا بتنی) + دیوارهای برشی بتن‌آرمه ویژه	$R=$۱۱
ویرایش سوم	سیستم دوگانه یا ترکیبی	قاب خمشی ویژه (فولادی یا بتنی) + دیوارهای برشی بتن مسلح ویژه	$R=$۱۱
ویرایش چهارم	سیستم قاب خمشی	قاب خمشی بتن‌آرمه ویژه	$R_u=$۷٫۵
		قاب خمشی فولادی ویژه	
	سیستم دوگانه یا ترکیبی	قاب خمشی ویژه (فولادی یا بتنی) + دیوارهای برشی بتن‌آرمه ویژه	
		قاب خمشی فولادی ویژه + مهاربندی واگرای فولادی ویژه	

باتوجه‌به روابط ارائه شده در جدول (۱) و در ستون مربوط به ضریب بازتاب (B)، طیف بازتاب طرح برای چهار نوع خاک I، II، III و IV و لرزه‌خیزی مختلف برای ویرایش‌های مختلف استاندارد ۲۸۰۰ در شکل (۱) ارائه شده است.

طیف طراحی ویرایش‌های مختلف استاندارد ۲۸۰۰

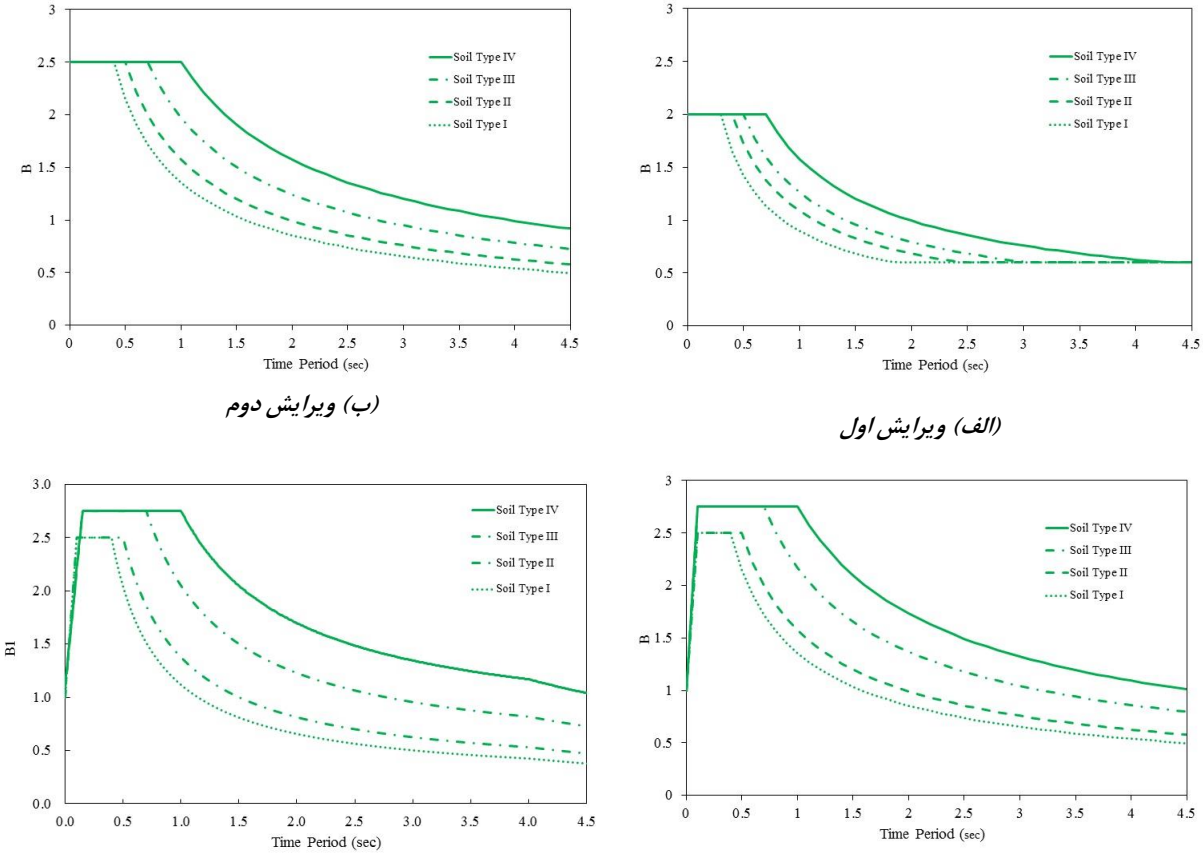
در ویرایش‌های مختلف استاندارد ۲۸۰۰، طیف طراحی از پنج ناحیه یا محدوده تشکیل می‌شود (شکل ۲). محدوده اول، یعنی نقطه شروع طیف در پریود صفر بوده که در ویرایش‌های سوم و چهارم استاندارد ۲۸۰۰ مقدار این شتاب طیفی برابر واحد بوده و در محدوده دوم، شامل محدوده‌ای از زمان تناوب است که از نقطه شروع طیف تا نقطهٔ اوج آن که تأثیر خاصیت دینامیکی تاریخچه زمانی زلزله روی خاک ($T=T_0$) را در نظر می‌گیرد (در ویرایش سوم هم این محدوده وجود دارد ولی در ویرایش‌های اول و دوم این محدوده وجود ندارد). محدودهٔ سوم شامل محدوده‌ای با حداکثر شتاب ثابت بوده که این محدوده شامل زمان تناوب‌هایی است که از T_0 شروع و به زمان تناوبی ختم می‌شود ($T=T_S$) که حداکثر شتاب طیفی شروع به کاهش می‌کند و این محدوده به محدودهٔ شتاب ثابت معروف است. محدودهٔ چهارم، شامل محدوده‌ای از شتاب طیفی با حداکثر سرعت ثابت است که از زمان تناوب T_S شروع شده و تا حدود زمان تناوب ۳ ثانیه ادامه دارد که این محدوده به محدودهٔ سرعت ثابت معروف است. محدودهٔ پنجم که شامل محدوده‌ای از حداکثر طیف جابه‌جایی ثابت بوده که در این محدوده، جابه‌جایی ثابت است و از زمان تناوب حدود ۳ ثانیه شروع شده و تا انتهای طیف ادامه دارد.



شکل ۲- شکل کلی طیف طراحی استاندارد ۲۸۰۰ صاف شده شامل پنج محدوده [۲۹ - ۳۲].

در شکل (۳) به‌عنوان نمونه، طیف بازتاب طرح برای ویرایش‌های مختلف استاندارد ۲۸۰۰ در پهنه با خطر نسبی خیلی زیاد ترسیم و ارائه شده است. همان‌طوری که در این شکل دیده می‌شود برای ویرایش‌های چهارگانه استاندارد ۲۸۰۰ و برای انواع خاک‌های نوع یک تا چهار این طیف ارائه شده است.

در شکل (۴) به‌عنوان نمونه، ضریب برش پایه (ضریب زلزله) برای مخازن هوایی و ساختمان شکل‌پذیر برای ویرایش‌های مختلف استاندارد ۲۸۰۰ و برای خاک‌های مختلف در مناطق با خطر نسبی خیلی زیاد زلزله ارائه شده است. همان‌طوری که در این شکل دیده می‌شود ضریب رفتار مخازن هوایی در ویرایش اول تا سوم، یک ضریب رفتار و به ترتیب ۲/۵، ۳ و ۳ و برای ویرایش چهارم دو ضریب رفتار ۲ و ۳ برای مخازن هوایی مطابق با آیین‌نامه، لحاظ شده است. همچنین ضریب رفتار برای شکل‌پذیرترین ساختمان، برای ویرایش‌های اول تا چهارم به ترتیب ۸، ۱۱، ۱۱ و ۷/۵ مطابق با ویرایش‌های مربوطه استاندارد ۲۸۰۰ در نظر گرفته شده است.



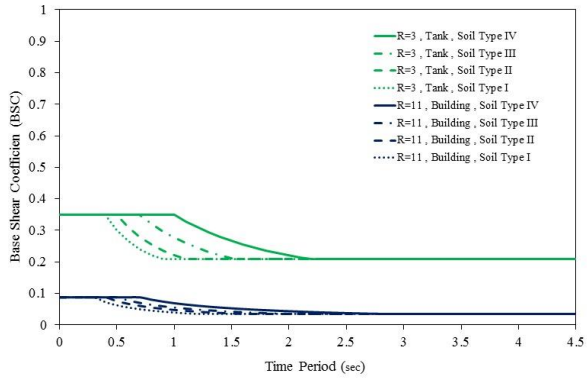
(الف) ویرایش اول

(ب) ویرایش دوم

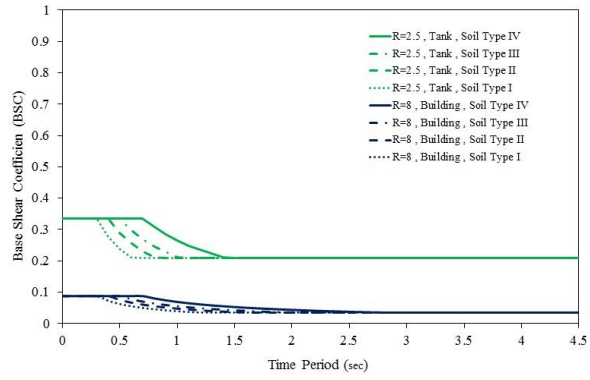
(ج) ویرایش سوم

(د) ویرایش چهارم

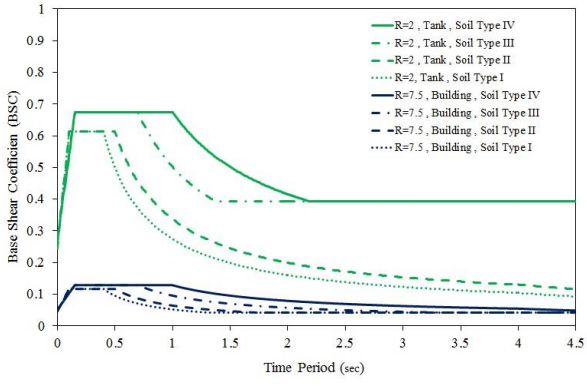
شکل ۳- طیف بازتاب طرح برای ویرایش‌های مختلف استاندارد ۲۸۰۰ با خاک‌های مختلف در مناطق با خطر نسبی خیلی زیاد: الف) ویرایش اول، ب) ویرایش دوم، ج) ویرایش سوم و د) ویرایش چهارم



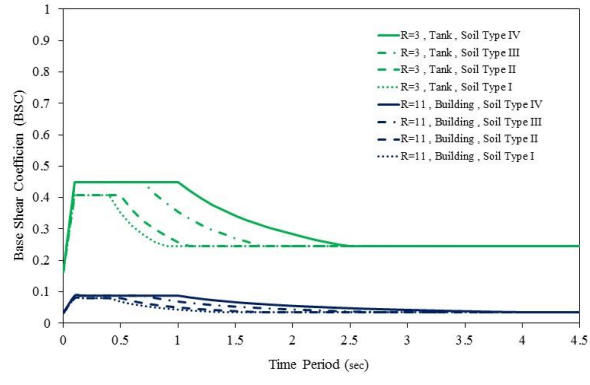
(ب) ویرایش دوم



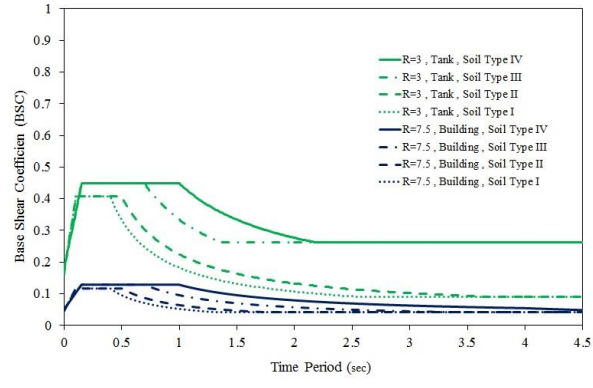
(الف) ویرایش اول



(د) ویرایش چهارم با ضریب رفتار ۲



(ج) ویرایش سوم



(و) ویرایش چهارم با ضریب رفتار ۳

شکل ۴- ضریب زلزله مخازن هوایی و ساختمان شکل‌پذیر برای ویرایش‌های مختلف استاندارد ۲۸۰۰ با خاک‌های مختلف در مناطق با خطر نسبی خیلی زیاد: الف) ویرایش اول، ب) ویرایش دوم، ج) ویرایش سوم، د) ویرایش چهارم با ضریب رفتار ۲ و و) ویرایش چهارم با ضریب رفتار ۳

نیروی طراحی لرزه‌ای مخازن در ویرایش‌های مختلف استاندارد ۲۸۰۰

در جدول (۶) و باتوجه‌به روابط ارائه شده برای ویرایش‌های مختلف استاندارد ۲۸۰۰ در جدول (۱) ضریب زلزله و حداقل ضریب زلزله به‌دست‌آمده و در این جدول ارائه شده است. ضریب ارائه شده در جدول (۶) برای مناطق با پهنه مختلف لرزه‌خیزی و برای مخازن هوایی و شکل‌پذیرترین ساختمان ویرایش استاندارد مربوطه، نمایش‌داده‌شده است.

جدول ۶- ضریب زلزله و حداقل ضریب زلزله برای شکل‌پذیرترین ساختمان و مخازن هوایی در ویرایش‌های مختلف استاندارد ۲۸۰۰

ویرایش استاندارد ۲۸۰۰	سازه	ضریب رفتار (R)	ضریب اهمیت (I)	نسبت شتاب مبنای طرح (A)	ضریب زلزله (C)	حداقل ضریب زلزله (C_{min})
اول	ساختمان	8	1	۰،۲۰	0.0250 B	0.020
				۰،۲۵	0.03125 B	0.025
				۰،۳۰	0.0375 B	0.030
				۰،۳۵	0.04375 B	0.035
	مخزن	2.5	1.2	۰،۲۰	0.096 B	0.12
				۰،۲۵	0.120 B	0.15
				۰،۳۰	0.144 B	0.18
				۰،۳۵	0.168 B	0.21
دوم	ساختمان	11	1	۰،۲۰	0.0182 B	0.018
				۰،۲۵	0.0227 B	0.023
				۰،۳۰	0.0272 B	0.027
				۰،۳۵	0.0318 B	0.032
	مخزن	3	1.2	۰،۲۰	0.08 B	0.12
				۰،۲۵	0.10 B	0.15
				۰،۳۰	0.12 B	0.18
				۰،۳۵	0.14 B	0.21
سوم	ساختمان	11	1	۰،۲۰	0.0182 B	0.020
				۰،۲۵	0.0227 B	0.025
				۰،۳۰	0.0273 B	0.030
				۰،۳۵	0.0318 B	0.035
	مخزن	3	1.4	۰،۲۰	0.0933 B	0.14
				۰،۲۵	0.1167 B	0.175
				۰،۳۰	0.1400 B	0.21
				۰،۳۵	0.1630 B	0.245
چهارم	ساختمان	7.5	1	۰،۲۰	0.0267 B	0.024
				۰،۲۵	0.0333 B	0.030
				۰،۳۰	0.0400 B	0.036
				۰،۳۵	0.0467 B	0.042
	مخزن	2	1.4	۰،۲۰	0.140 B	0.224
				۰،۲۵	0.175 B	0.280
				۰،۳۰	0.210 B	0.336
				۰،۳۵	0.245 B	0.392
		3		۰،۲۰	0.0933 B	0.149
				۰،۲۵	0.1167 B	0.187
				۰،۳۰	0.1400 B	0.224
				۰،۳۵	0.1630 B	0.261

با محاسبه ضریب زلزله برای مخازن هوایی و شکل‌پذیرترین ساختمان برای ویرایش‌های مختلف استاندارد ۲۸۰۰ که در جدول (۶) ارائه گردید، نسبت ضریب زلزله مخازن هوایی به شکل‌پذیرترین ساختمان ویرایش مربوطه برای مناطق با لرزه‌خیزی مختلف به‌دست‌آمده و در جدول (۷) ارائه شده است.

به‌عنوان نمونه برای ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰، نسبت نیروهای طراحی لرزه‌ای مخازن هوایی به ساختمان شکل‌پذیر در روابط (۱) و (۲) محاسبه شده است. نسبت ضریب برش پایه مخزن هوایی (با ضریب رفتار ۳ و ضریب اهمیت ۱/۴ و خطر نسبی خیلی زیاد زلزله) به ضریب برش پایه ساختمان شکل‌پذیر (با ضریب رفتار ۱۱ و ضریب اهمیت ۱ و خطر نسبی خیلی زیاد زلزله) برابر با ۵/۱۳ به‌دست‌آمده است که بدین معنی است که نیروهای طراحی لرزه‌ای مخازن هوایی ۵/۱۳ برابر بزرگ‌تر از شکل‌پذیرترین ساختمان ویرایش مربوطه خواهد بود که این موضوع همخوانی با سایر استانداردهای بین‌المللی دارد که در آنها ضریب برش پایه مخزن ۳ تا ۷ برابر بزرگ‌تر از شکل-

پذیرترین ساختمان دیده شده است. همان‌طوری که در این روابط دیده می‌شود این نسبت مستقل از نسبت شتاب مبنای طرح است. البته باتوجه‌به اینکه حداقل ضریب بازتاب برای مخازن و ساختمان متفاوت بوده، این ضریب مستقل از ضریب بازتاب نمی‌باشد.

$$\frac{C_{Tank}}{C_{Building}}=\frac{(ABI/R)_{Tank}}{(ABI/R)_{Building}}=\frac{(I/R)_{Tank}}{(I/R)_{Building}}=\frac{(1.4/3)_{Tank}}{(1.0/11)_{Building}}=\frac{11\times1.4}{1.0\times3}=5.13 \quad (1)$$

$$\frac{C_{Min-Tank}}{C_{Min-Building}}=\frac{(0.245)_{Min-Tank}}{(0.035)_{Min-Building}}=7.0 \quad (2)$$

برای سایر ویرایش‌ها و با خطر نسبی مختلف زلزله و برای انواع خاک‌ها این نسبت محاسبه شده است و در جدول (۷) ارائه شده است. همان‌طوری که ملاحظه می‌گردد حدود این نسبت برای حالت‌های مختلف در ویرایش‌های اول تا سوم یکسان بوده و در محدوده ۳ تا ۷ قرار دارند. در ویرایش چهارم این موضوع تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای با سایر ویرایش‌ها داشته و این نسبت در خصوص مخازن هوایی با ضریب رفتار ۲، از مقدار ۷ تجاوز کرده و مقداری برابر ۹/۳۳ را به خود اختصاص داده است. همچنین ویرایش چهارم در خصوص حد بالا و پایین از ویرایش‌های اول تا سوم پیروی نکرده به‌طوری‌که مقادیر حداقل و حداکثر جابه‌جا شده و به‌عنوان نمونه برای مخزن با ضریب رفتار ۲ و در سطح خطر نسبی کم و متوسط، این موضوع رخداده است و دلیل این موضوع را می‌توان به مقدار حداقل ضریب رفتاری نسبت داد که در ویرایش چهارم ۲۸۰۰ لحاظ شده است که برای خاک‌های نوع I و II روابطی متفاوت با خاک‌های نوع III و IV ارائه شده است. به عبارتی در ویرایش چهارم یک گسستگی دراین‌خصوص دیده می‌شود که در ویرایش‌های قبلی وجود ندارد.

جدول ۷- نسبت نیروهای طراحی لرزه‌ای (ضریب زلزله) مخازن هوایی به ساختمان شکل‌پذیر در ویرایش‌های مختلف استاندارد ۲۸۰۰

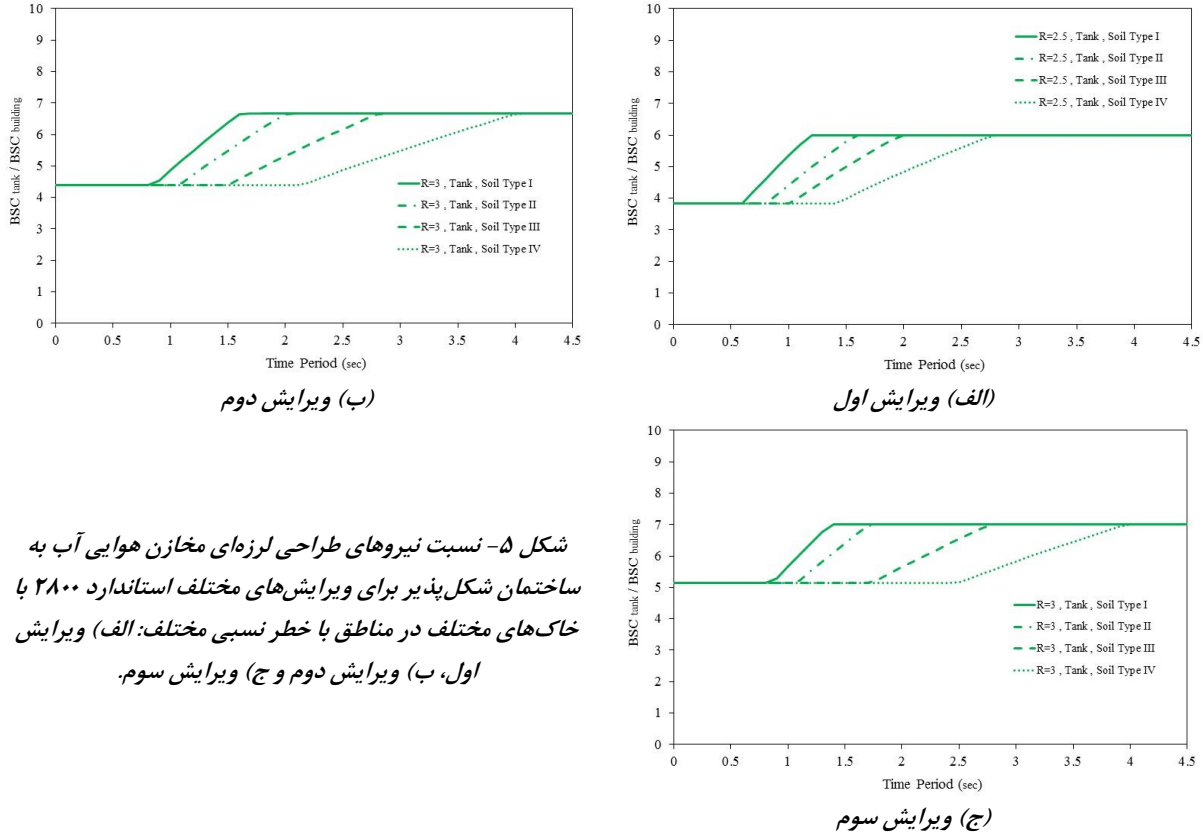
ویرایش استاندارد ۲۸۰۰	پهنه با خطر نسبی	ضریب رفتار مخزن (R)	$C_{Building}$	$C_{Min-Building}$	C_{Tank}	$C_{Min-Tank}$	$\frac{C_{Tank}}{C_{Building}}$	$\frac{C_{Min-Tank}}{C_{Min-Building}}$
اول	کم	2.5	0.0250 B	0.020	0.096 B	0.12	3.84	6
	متوسط		0.03125 B	0.025	0.120 B	0.15	3.84	6
	زیاد		0.0375 B	0.030	0.144 B	0.18	3.84	6
	خیلی زیاد		0.04375 B	0.035	0.168 B	0.21	3.84	6
دوم	کم	3	0.0182 B	0.018	0.08 B	0.12	4.4	6.67
	متوسط		0.0227 B	0.023	0.10 B	0.15	4.4	6.52
	زیاد		0.0273 B	0.027	0.12 B	0.18	4.4	6.67
	خیلی زیاد		0.0318 B	0.032	0.14 B	0.21	4.4	6.56
سوم	کم	3	0.0182 B	0.020	0.0933 B	0.14	5.13	7
	متوسط		0.0227 B	0.025	0.1167 B	0.175	5.13	7
	زیاد		0.0273 B	0.030	0.1400 B	0.21	5.13	7
	خیلی زیاد		0.0318 B	0.035	0.1630 B	0.245	5.13	7
چهارم	کم	2	0.0267 B	0.024	0.140 B	0.09	5.25	3.75
	متوسط		0.0333 B	0.030	0.175 B	0.09	5.25	3
	زیاد		0.0400 B	0.036	0.210 B	0.336	5.25	9.33
	خیلی زیاد		0.0467 B	0.042	0.245 B	0.392	5.25	9.33
	کم	3	0.0267 B	0.024	0.0933 B	0.09	3.5	3.75
	متوسط		0.0333 B	0.030	0.1167 B	0.09	3.5	3
	زیاد		0.0400 B	0.036	0.1400 B	0.224	3.5	6.22
	خیلی زیاد		0.0467 B	0.042	0.1630 B	0.261	3.5	6.22

بحث‌وبررسی نتایج

در شکل (۵) نسبت نیروهای طراحی لرزه‌ای مخازن هوایی به ساختمان شکل‌پذیر برای پریودهای مختلف و برای ویرایش‌های اول تا سوم و برای مناطق با خطر نسبی مختلف ارائه شده است. همان‌طوری که در شکل (۵-الف) و برای ویرایش اول ملاحظه می‌گردد مقدار نسبت نیروهای طراحی لرزه‌ای مخازن هوایی به ساختمان شکل‌پذیر در

پریودهـای کوتـاه ($T \le 0.6\ sec$) برابـر بـا ۳/۸۴و بـرای پریودهـای بلنـد ($T \ge 2.8\ sec$) برابـر بـا ۶ بـوده و در محـدوده پریودهـای ($0.6\ sec < Tp < 2.8\ sec$) مقـدار ایـن نسـبت متغیـر بـوده و بـین ۳/۸۴ و ۶ قـرار دارد. در شـکل (۵-ب) و بـرای ویـرایش دوم ملاحظـه مـی‌گـردد مقـدار نسـبت نیروهـای طراحـی لـرزه‌ای مخـازن هـوایی بـه سـاختمان شـکل‌پـذیر در پریودهـای کوتـاه ($T \le 0.8\ sec$) برابـر بـا ۴/۴ و بـرای پریودهـای خیلـی بلنـد ($T \ge 4\ sec$) برابـر بـا ۶/۶۷ بـوده و در محـدوده پریودهـای ($0.8\ sec < Tp < 4\ sec$) مقـدار ایـن نسـبت متغیـر بـوده و بـین ۴/۴ و ۶/۶۷ قـرار دارد. همانطوریکـه در شـکل (۵-ج) و برای ویـرایش سـوم ملاحظـه مـی‌گـردد مقـدار نسـبت نیروهـای طراحـی لـرزه‌ای مخـازن هـوایی بـه سـاختمان شـکل-پـذیر در پریودهـای کوتـاه ($T \le 0.8\ sec$) برابـر بـا ۵/۱۳ و بـرای پریودهـای خیلـی بلنـد ($T \ge 4\ sec$) برابـر بـا ۷ بـوده و در محدوده پریودهای ($0.8\ sec < Tp < 4\ sec$) مقدار این نسبت متغیر بوده و بین ۵/۱۳ و ۷ قرار دارد.

در شکل (۶-الف) و برای ویرایش چهـارم بـرای مخـازن بـا ضـریب رفتـار ۲، در منطقـه بـا خطـر نسـبی خیلـی زیـاد ملاحظـه می‌گردد مقـدار نسـبت نیروهـای طراحـی لـرزه‌ای مخـازن هـوایی بـه سـاختمان شـکل‌پـذیر در پریودهـای کوتـاه ($T \le 1.3\ sec$) برابـر بـا ۵/۲۵ و بـرای پریودهـای بلنـد ($T \ge 1.3\ sec$) مقـدار ایـن نسـبت متغیـر بـوده و بـین ۲/۱۴ و ۹/۳۳ قـرار دارد. در شـکل (۶-ب) و بـرای ویـرایش چهـارم بـرای مخـازن بـا ضـریب رفتـار ۳، در منطقـه بـا خطـر نسـبی خیلـی زیـاد ملاحظـه می‌گردد مقـدار نسـبت نیروهـای طراحـی لـرزه‌ای مخـازن هـوایی بـه سـاختمان شـکل‌پـذیر در پریودهـای کوتـاه ($T \le 1.3\ sec$) برابر با ۳/۵ و برای پریودهای بلند ($T \ge 1.3\ sec$) مقدار این نسبت متغیر بوده و بین ۲/۱۴ و ۶/۲۲ قرار دارد.



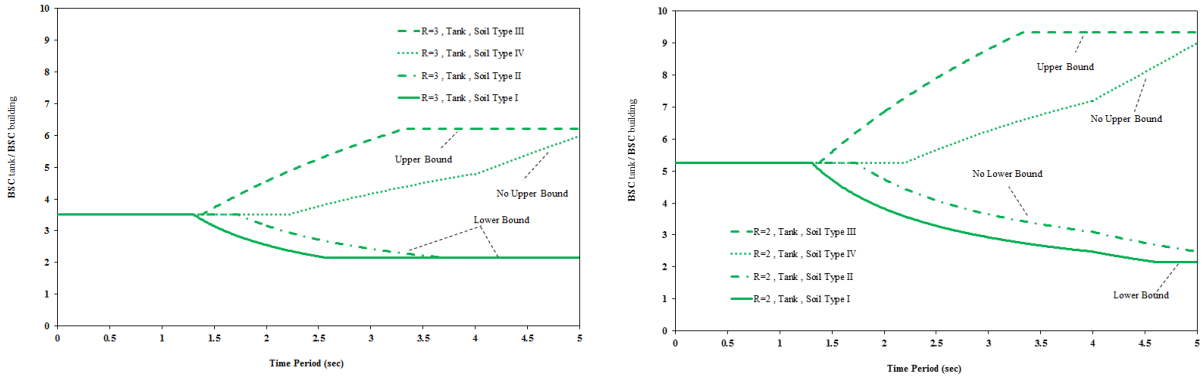
(الف) ویرایش اول

(ب) ویرایش دوم

(ج) ویرایش سوم

شکل ۵- نسبت نیروهای طراحی لرزه‌ای مخازن هوایی آب به ساختمان شکل‌پذیر برای ویرایش‌های مختلف استاندارد ۲۸۰۰ با خاک‌های مختلف در مناطق با خطر نسبی مختلف: الف) ویرایش اول، ب) ویرایش دوم و ج) ویرایش سوم.

همـان‌طوری کـه در اشـکال (۵) و (۶) ملاحظـه مـی‌گـردد، نسـبت نیـروی طراحـی لـرزه‌ای مخـازن هـوایی بـه سـاختمان در شکل (۵) برای همه منـاطق بـا خطـر نسـبی مختلـف ترسـیم شـده اسـت چـرا کـه در منـاطق مختلـف لـرزه‌خیـزی منحنـی ارائـه شـده، یکسـان بـوده ولـی در شـکل (۶) نسـبت نیـروی طراحـی لـرزه‌ای مخـازن هـوایی بـه سـاختمان بـرای منطقـه بـا خطر نسبی خیلی زیاد ترسیم شـده اسـت. چـرا کـه بـرای منـاطق بـا خطـر نسـبی مختلـف ایـن منحنـی‌هـا متفـاوت بـوده و یکسان نمی‌باشند.



(الف) ویرایش چهارم با ضریب رفتار ۲ *(ب) ویرایش چهارم با ضریب رفتار ۳*

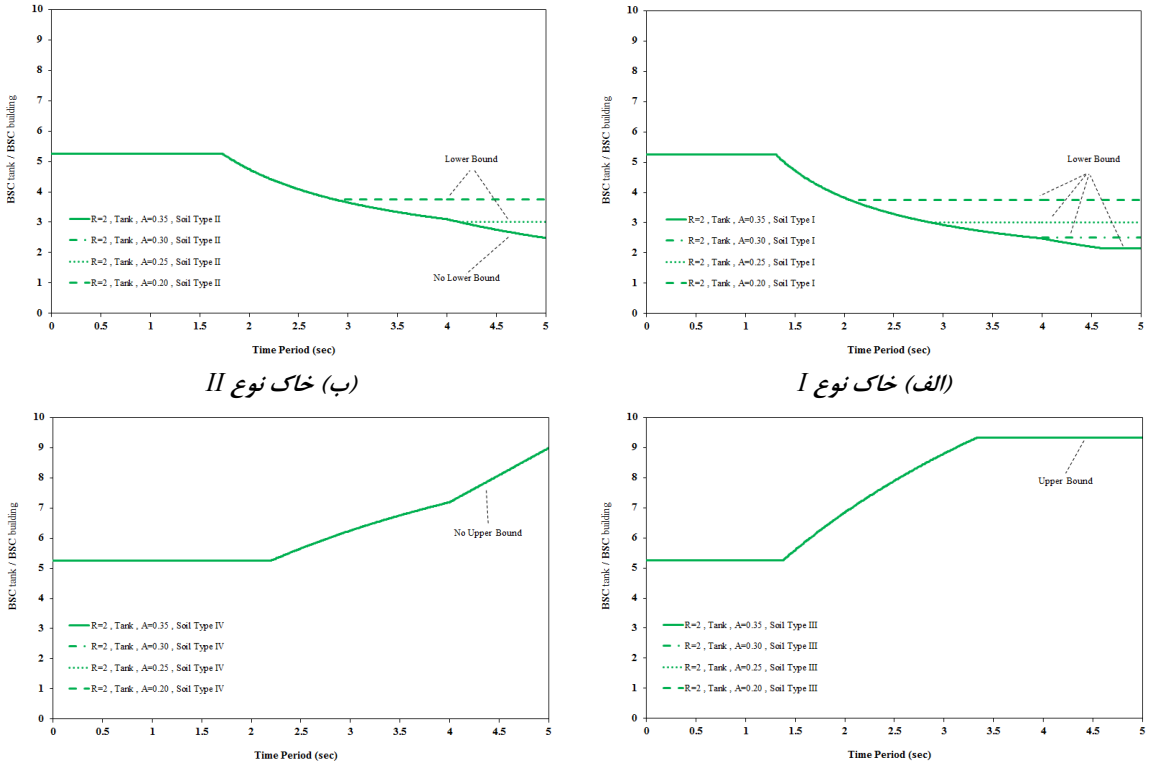
شکل ۶- نسبت نیروهای طراحی لرزه‌ای مخازن هوایی آب به ساختمان شکل‌پذیر برای ویرایش‌های مختلف استاندارد ۲۸۰۰ با خاک‌های مختلف در مناطق با خطر نسبی خیلی زیاد: الف) ویرایش چهارم با ضریب رفتار ۲ و ب) ویرایش چهارم با ضریب رفتار ۳.

همان‌طوری که در شکل (۵) و (۶) و برای ویرایش‌های مختلف ملاحظه می‌گردد، اختلاف‌هایی بین این نسبت برای ویرایش چهارم با سایر ویرایش‌ها دیده می‌شود که به آنها اشاره می‌گردد. اولین اختلاف این است که در ویرایش‌های اول تا سوم در پریودهای کوتاه و برای انواع خاک‌ها (در ویرایش اول برای $T \leq 0.6$ sec و برای ویرایش دوم و سوم برای $T \leq 0.8$ sec) نیروهای طراحی لرزه‌ای مخازن به ترتیب ۳/۸۴، ۴/۴ و ۵/۱۳ برابر نیروهای طراحی لرزه‌ای ساختمان شکل‌پذیر بوده ولی در ویرایش چهارم و در مخازن با ضریب رفتار ۲ و ۳، در پریودهای کوتاه ($T \leq 1.3$ sec) نیروهای طراحی لرزه‌ای مخازن به ترتیب ۵/۲۵ و ۳/۵ برابر نیروهای طراحی لرزه‌ای ساختمان شکل‌پذیر می‌باشد. اختلاف دوم و مهمتر ویرایش‌های اول تا سوم با ویرایش چهارم در خصوص نیروهای طراحی لرزه‌ای مخازن نسبت به ساختمان شکل‌پذیر در پریودهای بلند است. بطوریکه در ویرایش‌های اول تا سوم در پریودهای بلند و برای انواع خاک‌ها مقدار این نسبت به ترتیب برابر با ۶، ۶/۶۷ و ۷ بوده ولی در ویرایش چهارم مقدار این نسبت برای خاک‌های مختلف متفاوت بوده بطوریکه در مخازن با ضریب رفتار ۲، مقدار این نسبت برای خاک‌های نوع I و III به ترتیب برابر با ۲/۱۴ و ۹/۳۳ بوده و برای خاک‌های نوع II و IV حد بالایی یا پایینی نداشته و مقدار آن متغیر بوده و برای خاک نوع II بین مقادیر ۲/۴۹ و ۵/۲۵ و برای خاک نوع IV بین مقادیر ۵/۲۵ و ۸/۹۸ متغیر است. در مخازن با ضریب رفتار ۳، مقدار این نسبت برای خاک‌های نوع I، II و III به ترتیب برابر با ۲/۱۴، ۲/۱۴ و ۶/۲۲ بوده و برای خاک نوع IV حد بالایی یا پایینی نداشته و مقدار آن متغیر بوده و بین مقادیر ۳/۵ و ۵/۹۸ متغیر است. در ویرایش‌های اول تا سوم مقدار نیروی طراحی لرزه‌ای مخازن برای انواع خاک‌ها، در پریودهای کوتاه، کمتر از مقدار نیروی طراحی لرزه‌ای در پریودهای بلند بوده ولی این روند در ویرایش چهارم متفاوت بوده بطوریکه در خاک‌های نوع III و IV این روند رعایت شده ولی در خاک‌های نوع I و II این روند معکوس است. بطوریکه در خاک‌های نوع I و II و در ویرایش چهارم، نیروی طراحی لرزه‌ای در پریودهای کوتاه، بیشتر از مقدار نیروی طراحی لرزه‌ای در پریودهای بلند بدست می‌آید. جزییات بیشتر این موضوع در جدول (۸) ارائه شده است. در جدول (۸) نسبت نیروی طراحی لرزه‌ای مخازن به ساختمان شکل‌پذیر برای ویرایش‌های مختلف چهارگانه استاندارد ۲۸۰۰ برای پریودهای کوتاه و بلند ارائه شده است. این نسبت در این جدول برای چهار نوع خاک هم ارائه شده است. در ویرایش‌های اول تا سوم بدلیل یکسان بودن مقادیر این نسبت برای پریودهای مختلف در مناطق با خطر نسبی زلزله، مقادیر این نسبت یکسان بوده و در این جدول نشان داده شده است. بدلیل تفاوت نسبت نیروی طراحی لرزه‌ای مخازن به ساختمان شکل‌پذیر در ویرایش چهارم، لذا در جدول (۸) نتایج فقط برای حالت خطر نسبی خیلی زیاد ارائه شده است.

جدول ۸- نسبت نیروهای طراحی لرزه‌ای (ضریب زلزله) مخازن هوایی به ساختمان شکل‌پذیر در پریودهای کوتاه و بلند

	پریود کوتاه (ثانیه)				
استاندارد ۲۸۰۰	**ویرایش اول**	**ویرایش دوم**	**ویرایش سوم**	**ویرایش چهارم**	
سطح خطر نسبی	کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد	کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد	کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد	خیلی زیاد	
پریود (ثانیه)	$T \leq 0.6$ sec	$T \leq 0.8$ sec	$T \leq 0.8$ sec	$T \leq 1.3$ sec	$T \leq 1.3$ sec
ضریب رفتار	2.5	3	3	2	3
نوع خاک	I, II,III, IV	I, II,III, IV	I, II,III, IV	I, II,III, IV	I, II,III, IV
نسبت ضریب برش پایه مخزن به ساختمان	**3.84**	**4.4**	**5.13**	**5.25**	**3.5**
	پریود بلند (ثانیه)				
استاندارد ۲۸۰۰	**ویرایش اول**	**ویرایش دوم**	**ویرایش سوم**	**ویرایش چهارم**	
سطح خطر نسبی	کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد	کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد	کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد	خیلی زیاد	
پریود (ثانیه)	$T \geq 2.8$ sec	$T \geq 4.0$ sec	$T \geq 4.0$ sec	$T \geq 4.6$ sec	$T \geq 2.6$ sec
ضریب رفتار	2.5	3	3	2	3
نوع خاک	I	I	I	I	I
نسبت ضریب برش پایه مخزن به ساختمان	**6**	**6.67**	**7**	**2.14**	**2.14**
پریود (ثانیه)	$T \geq 2.8$ sec	$T \geq 4.0$ sec	$T \geq 4.0$ sec	$T \geq 1.75$ sec	$T \geq 3.5$ sec
نوع خاک	II	II	II	II	II
نسبت ضریب برش پایه مخزن به ساختمان	**6**	**6.52**	**7**	**بدون کران**	**2.14**
پریود (ثانیه)	$T \geq 2.8$ sec	$T \geq 4.0$ sec	$T \geq 4.0$ sec	$T \geq 3.35$ sec	$T \geq 3.3$ sec
نوع خاک	III	III	III	III	III
نسبت ضریب برش پایه مخزن به ساختمان	**6**	**6.67**	**7**	**9.33**	**6.22**
پریود (ثانیه)	$T \geq 2.8$ sec	$T \geq 4.0$ sec	$T \geq 4.0$ sec	$T \geq 2.2$ sec	$T \geq 2.2$ sec
نوع خاک	IV	IV	IV	IV	IV
نسبت ضریب برش پایه مخزن به ساختمان	**6**	**6.56**	**7**	**بدون کران**	**بدون کران**

باتوجه‌به متفاوت بودن نیروهای طراحی لرزه‌ای مخازن هوایی در مناطق با خطر نسبی مختلف در ویرایش چهارم، در شکل (۷) برای خاک‌های مختلف و برای مناطق با خطر نسبی مختلف این نسبت برای مخازن با ضریب رفتار ۲ به‌دست‌آمده و ارائه شده است. در شکل (۸) برای خاک‌های مختلف و برای مناطق با خطر نسبی مختلف این نسبت برای مخازن با ضریب رفتار ۳ ارائه شده است.



(ب) خاک نوع II *(الف) خاک نوع I*

(د) خاک نوع IV *(ج) خاک نوع III*

شکل ۷- نسبت نیروهای طراحی لرزه‌ای مخازن هوایی آب (با ضریب رفتار ۲) به ساختمان شکل‌پذیر برای ویرایش‌های مختلف استاندارد ۲۸۰۰ در مناطق با خطر نسبی مختلف: الف) خاک نوع I، ب) خاک نوع II، ج) خاک نوع III و د) خاک نوع IV.

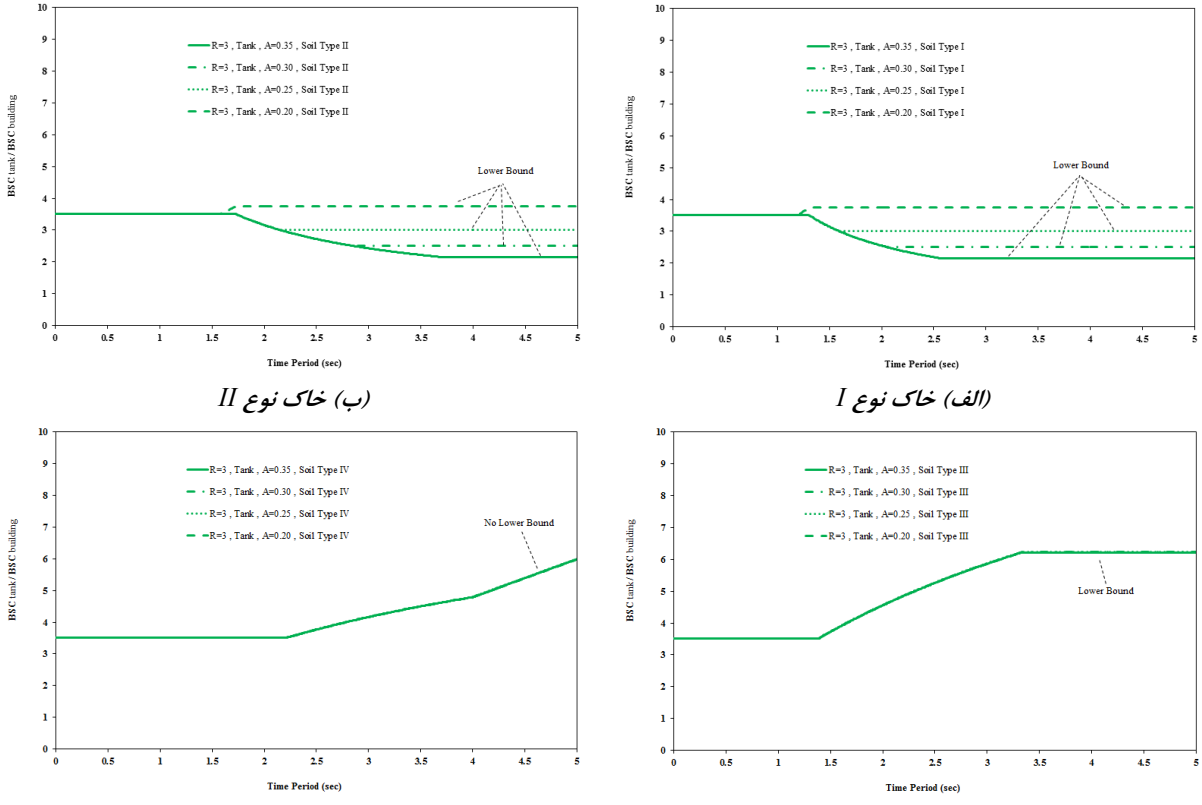
همان‌طوری که در شکل (۷) دیده می‌شود همانند ویرایش‌های اول تا سوم، برای خاک‌های نوع III و IV و برای مناطق با خطر نسبی مختلف، منحنی نیروهای طراحی لرزه‌ای یکسان بوده ولی در خاک‌های نوع I و II این روند متفاوت بوده و یکسان نمی‌باشد.

در خاک نوع I، برای مناطق با خطر نسبی مختلف، کران پایین (در پریودهای بلند در مخازن) در منحنی دیده شده و کران پایین مقدار نسبت نیروی طراحی لرزه‌ای مخازن به ساختمان شکل‌پذیر برای مناطق با خطر نسبی کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد به ترتیب ۳/۷۵، ۳، ۲/۵ و ۲/۱۴ است. در پریودهای کوتاه این مقدار در همه خاک‌ها و همه مناطق با خطر نسبی مختلف، برابر با ۵/۲۵ حاصل می‌شود.

در خاک نوع II، برای مناطق با خطر نسبی زیاد و خیلی زیاد، کران پایین (در پریودهای بلند در مخازن) در منحنی دیده شده ولی برای مناطق با خطر نسبی کم و متوسط، کران پایین (در پریودهای بلند در مخازن) در منحنی دیده نشده و کران پایین مقدار نسبت نیروی طراحی لرزه‌ای مخازن به ساختمان شکل‌پذیر برای مناطق با خطر نسبی زیاد و خیلی زیاد به ترتیب ۳/۷۵ و ۳ است. در پریودهای کوتاه این مقدار در همه خاک‌ها و همه مناطق با خطر نسبی مختلف، برابر با ۵/۲۵ حاصل می‌شود.

در خاک نوع III، برای مناطق با خطر نسبی مختلف، کران بالا (در پریودهای بلند در مخازن) در منحنی دیده شده و کران بالای مقدار نسبت نیروی طراحی لرزه‌ای مخازن به ساختمان شکل‌پذیر برای همه مناطق با خطر نسبی برابر با ۹/۳۳ است. در پریودهای کوتاه این مقدار در همه خاک‌ها و همه مناطق با خطر نسبی مختلف، برابر با ۵/۲۵ حاصل می‌شود.

در خاک نوع IV، برای مناطق با خطر نسبی مختلف، کران بالا یا کران پایین (در پریودهای بلند در مخازن) در منحنی دیده نمی‌شود. در پریودهای کوتاه این مقدار در همه خاک‌ها و همه مناطق با خطر نسبی مختلف، برابر با ۵/۲۵ حاصل می‌شود.



(الف) خاک نوع I

(ب) خاک نوع II

(ج) خاک نوع III

(د) خاک نوع IV

شکل ۸- نسبت نیروهای طراحی لرزه‌ای مخازن هوایی آب (با ضریب رفتار ۳) به ساختمان شکل‌پذیر برای ویرایش‌های مختلف استاندارد ۲۸۰۰ در مناطق با خطر نسبی مختلف: الف) خاک نوع I، ب) خاک نوع II، ج) خاک نوع III و د) خاک نوع IV.

همان‌طوری که در شکل (۸) دیده می‌شود همانند ویرایش‌های اول تا سوم، برای خاک‌های نوع III و IV و برای مناطق با خطر نسبی مختلف، منحنی نیروهای طراحی لرزه‌ای یکسان بوده ولی در خاک‌های نوع I و II این روند متفاوت بوده و یکسان نمی‌باشد.

در خاک‌های نوع I و II، برای مناطق با خطر نسبی مختلف، کران پایین (در پریودهای بلند در مخازن) در منحنی دیده شده و کران پایین مقدار نسبت نیروی طراحی لرزه‌ای مخازن به ساختمان شکل‌پذیر برای مناطق با خطر نسبی کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد به ترتیب ۳/۷۵، ۳، ۲/۵ و ۲/۱۴ است. در پریودهای کوتاه این مقدار در همه خاک‌ها و همه مناطق با خطر نسبی مختلف، برابر با ۳/۵ حاصل می‌شود.

در خاک نوع III، برای مناطق با خطر نسبی مختلف، کران بالا (در پریودهای بلند در مخازن) در منحنی دیده شده و کران بالای مقدار نسبت نیروی طراحی لرزه‌ای مخازن به ساختمان شکل‌پذیر برای همه مناطق با خطر نسبی برابر با ۶/۲۲ است. در پریودهای کوتاه این مقدار در همه خاک‌ها و همه مناطق با خطر نسبی مختلف، برابر با ۳/۵ حاصل می‌شود.

در خاک نوع IV، برای مناطق با خطر نسبی مختلف، کران بالا یا کران پایین (در پریودهای بلند در مخازن) در منحنی دیده نمی‌شود. در پریودهای کوتاه این مقدار در همه خاک‌ها و همه مناطق با خطر نسبی مختلف، برابر با ۳/۵ حاصل می‌شود.

نتایج

این نتایج حاصل از مقایسه بین تمهیدات ویرایش‌های مختلف استاندارد ۲۸۰۰ برای طراحی لرزه‌ای مخازن هوایی مایعات است.

۱. در ویرایش‌های اول تا سوم استاندارد ۲۸۰۰، یکنواختی در تمهیدات آنها در خصوص ضوابط نیروی طراحی لرزه‌ای مخازن دیده می‌شود ولی در خصوص ویرایش چهارم تمهیدات آن با ویرایش‌های قبلی متفاوت است.

۲. در همه ویرایش‌های استاندارد ۲۸۰۰ به‌جز ضریب رفتار، تمهیدات خاصی برای مخازن هوایی ارائه نشده است.

۳. ضریب رفتار برای مخازن هوایی در ویرایش اول، دوم و سوم به ترتیب ۲/۵، ۳ و ۳ مدنظر بوده و در هر ویرایش یک ضریب رفتار در نظر گرفته شده است. در ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰، دو ضریب رفتار برای مخازن هوایی در نظر گرفته شده که عبارت‌اند از ۲ و ۳.

۴. در ویرایش‌های اول تا سوم استاندارد ۲۸۰۰، برای انواع خاک‌ها و مناطق با خطر نسبی زلزله مختلف، نیروی طراحی لرزه‌ای مخازن هوایی حدود ۳ تا ۷ برابر ساختمان‌های شکل‌پذیر ویرایش مربوطه است. درصورتی‌که در ویرایش چهارم این محدوده افزایش داشته طوری که نیروی طراحی لرزه‌ای مخازن هوایی بین ۲/۱۴ تا ۹/۳۳ برابر ساختمان‌های شکل‌پذیر ویرایش چهارم است.

۵. در ویرایش‌های اول تا سوم استاندارد ۲۸۰۰، برای انواع خاک‌ها و مناطق با خطر نسبی زلزله مختلف، نیروی طراحی لرزه‌ای مخازن با پریود کوتاه، کوچک‌تر از نیروی طراحی لرزه‌ای مخازن با پریود بلند است. حتی این موضوع در ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰، در خاک‌های نوع III و IV، نیز صادق بوده ولی در خاک‌های نوع I و II، عکس این موضوع بوده طور یکه نیروی طراحی لرزه‌ای مخازن با پریودهای کوتاه، بزرگ‌تر از نیروی طراحی لرزه‌ای مخازن با پریود بلند است.

۶. در ویرایش‌های اول تا سوم استاندارد ۲۸۰۰، نسبت نیروی طراحی لرزه‌ای مخازن هوایی به ساختمان برای همه مناطق با خطر نسبی مختلف، یکسان بوده ولی در ویرایش چهارم، نسبت نیروی طراحی لرزه‌ای مخازن هوایی به ساختمان برای همه مناطق با خطر نسبی مختلف، یکسان نبوده و با هم متفاوت هستند. البته این موضوع فقط در خاک نوع I و II در ویرایش چهارم دیده می‌شود.

۷. در ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ و برای مخازن با ضریب رفتار ۲، در خاک نوع I، نسبت نیروی طراحی لرزه‌ای مخازن به ساختمان در مناطق با خطر نسبی زلزله کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد به ترتیب برابر با ۳/۷۵، ۳، ۲/۵ و ۲/۱۴ است. در خاک نوع II، نسبت نیروی طراحی لرزه‌ای مخازن به ساختمان در مناطق با خطر نسبی زلزله کم و متوسط، بدون کران بوده و برای مناطق با خطر نسبی زیاد و خیلی زیاد به ترتیب ۳/۷۵ و ۳ است.

۸. در ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ و برای مخازن با ضریب رفتار ۳، در خاک نوع I و II، نسبت نیروی طراحی لرزه‌ای مخازن به ساختمان در مناطق با خطر نسبی زلزله کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد به ترتیب برابر با ۳/۷۵، ۳، ۲/۵ و ۲/۱۴ است.

۹. در ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰، برای مخازن با ضریب رفتار ۲ و ۳، در خاک نوع IV، برای مناطق با خطر نسبی مختلف، کران بالا (در پریودهای بلند) در منحنی دیده نمی‌شود. همچنین برای مخازن با ضریب رفتار ۲ و در خاک نوع II، در سطح خطرپذیری کم و متوسط نیز کران پایین (در پریودهای بلند) دیده نمی‌شود. البته این کران در پریودهای بیش از ۵ ثانیه اتفاق خواهد افتاد.

۱۰. در حالت‌هایی که کران پایین یا بالا در منحنی‌های نیروی طراحی لرزه‌ای مخازن در پریودهای بلند دیده نمی‌شود به دلیل ضوابط حداقلی هست که برای حداقل ضریب زلزله ساختمان‌ها در ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ بوده که نیاز به بازنگری دارد.

مراجع

[1] Rai DC., Seismic retrofitting of R/C shaft support of elevated tanks. Earthquake spectra 2002; 18(4):745–60.

[2] A. Astaneh-Asl, "Lessons of the 1990 Manjil-Iran earthquake," in 10th European Conference on Earthquake Engineering, Vienna, 1994, vol. 28, pp. 6997-7000.

[3] Saffarini HS., Ground motion characteristics of the November 1995 Aqaba earthquake. Eng Struct 2000; 22(4):343–51.

[4] 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.

[5] 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.

[6] Fag`a E, Rassati G, Nascimbene R. Seismic design of elevated steel tanks with concentrically braced supporting frames. Structures Congress 2012; 2012:1473–84.

[7] 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).

[8] 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.

[9] 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.

[10] 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.

[11] 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.

[12] 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.

[13] 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.

[14] 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.

[15] 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.

[16] 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.

[17] 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.

[18] 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.

[19] 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.

[20] 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.

[21] 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.

[22] 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.

[23] 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.

[24] Institute of Standards and Industrial Research of Iran, Seimic Design Code for Buildings, Standard 2800, 1th Edition, 1997, (In Persian).

[25] Building and Housing Reaserch Center, Iranian Code of Practice for Seismic Resistant Design of Buildings, Standard 2800, 2th Edition, 1999, (In Persian).

[26] Building and Housing Reaserch Center, Iranian Code of Practice for Seismic Resistant Design of Buildings, Standard 2800, 3th Edition, 2005, (In Persian).

[27] Road, Housing and Urban Development Research Center, Earthquake Design Regulations, Standard 2800, 4th Edition, 2015, (In Persian).