

ارائه روشی برای تعیین نیروی وارده بر ساختمان‌های با سیستم جداسازی لرزه‌یی در ایران بر مبنای آیین‌نامه‌های ژاپن

سید حسن حسینی (مربی)

دانشکده فنی و مهندسی، مؤسسه آموزشی عالی رجا، دانشگاه کردستان

مرتضی بسطامی* (دانشیار)

پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله

مهندسی عمران شریف، (پاییز ۱۳۹۴)
دوره ۲ - ۳۱، شماره ۲/۳، ص. ۲۲-۹

هدف از این پژوهش، ارائه‌ی یک روش پیشنهادی برای تعیین نیروی وارده بر ساختمان‌های با سیستم جداسازی لرزه‌یی و طراحی آن‌ها در ایران است. بدین منظور آیین‌نامه‌ی طراحی ساختمان‌های با جداسازی لرزه‌یی ژاپن به‌عنوان مبنای روش پیشنهادی در نظر گرفته شده است. برای در نظر گرفتن شرایط ساخت‌گاهی و ضوابط آیین‌نامه‌ی طراحی لرزه‌یی ایران، پارامترهای: نوع خاک، تقسیم‌بندی مناطق لرزه‌یی، ضریب بازتاب ساختمان، طیف طراحی، زمان تناوب ساختمان‌ها و ضریب توزیع نیروی جانبی در ارتفاع در دو آیین‌نامه با یکدیگر مقایسه و نتایج این بررسی و تطبیق پارامترها در روش پیشنهادی لحاظ شده است. به‌منظور ارزیابی روش پیشنهادی، چند مدل سازه‌یی در نظر گرفته شده و نتایج حاصل از روش پیشنهادی با نتایج تحلیل‌های تاریخی‌چهره‌ی زمانی غیرخطی مقایسه شده است. نتایج تحلیل‌ها بیانگر تخمین مناسب و قابل اطمینان مقادیر پاسخ حاصل از روش پیشنهادی بوده است. به‌علاوه با توجه به نتایج، در نظر گرفتن ضرایب برای لحاظ کردن اثرات حوزه‌ی نزدیک در آیین‌نامه‌ی ایران ضروری به نظر می‌رسد.

واژگان کلیدی: ساختمان‌های با جداساز لرزه‌یی، آیین‌نامه‌ی ۲۸۰۰، آیین‌نامه‌ی ژاپن، تحلیل تاریخی‌چهره‌ی زمانی، رکورد حوزه‌ی دور و نزدیک.

h.hoseini@raja.ac.ir
m.bastami@iiees.ac.ir

۱. مقدمه

طراحی ساختمان‌های با جداسازی لرزه‌یی در کشور که با لحاظ کردن شرایط لرزه‌یی ایران و ضوابط عنوان‌شده‌ی آیین‌نامه‌ی ۲۸۰۰^[۳] تهیه شده باشد، هدف اصلی این نوشتار است.

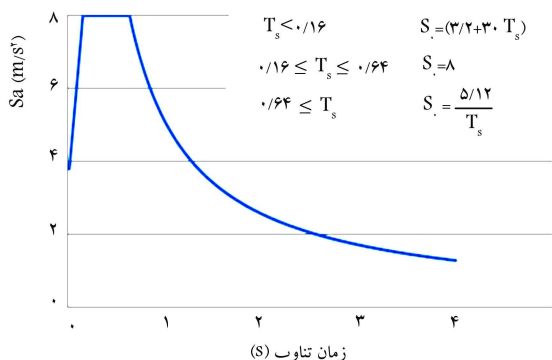
البته دستورالعمل طراحی ساختمان‌های با جداساز لرزه‌یی^[۴] در سال ۱۳۸۹ توسط مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن و همچنین راهنمای طراحی و اجرای سیستم‌های جداساز لرزه‌یی در ساختمان‌ها (نشریه‌ی ۵۲۳ معاونت نظارت راهبردی رئیس جمهوری)^[۵] به چاپ رسیده‌اند. شایان ذکر است که این مدارک با مبنا قراردادن آیین‌نامه‌ی طراحی سازه‌های با جداسازی لرزه‌یی امریکا ارائه شده‌اند و می‌توان گفت روند ارائه‌شده در آنها تا حد زیادی ترجمه‌ی دستورالعمل فوق است. در تدوین روش پیشنهادی در این نوشتار سعی شده است تا ضمن مبنا قراردادن آیین‌نامه‌ی ژاپن، که به جزئیات دقیق و فراوانی در روند طراحی توجه دارد، با مقایسه‌ی تطبیقی پارامترهای مشابه در دو آیین‌نامه‌ی مذکور به منظور لحاظ کردن ضوابط ساخت‌گاهی و لرزه‌خیزی ایران، روند مناسبی برای طراحی این سازه‌ها ارائه و توسط تحلیل‌های تاریخی‌چهره‌ی زمانی غیرخطی، دقت و ضریب اطمینان این روش بررسی شود.

در بخش اول این نوشتار، روش‌های طراحی سازه‌های با جداسازی لرزه‌یی

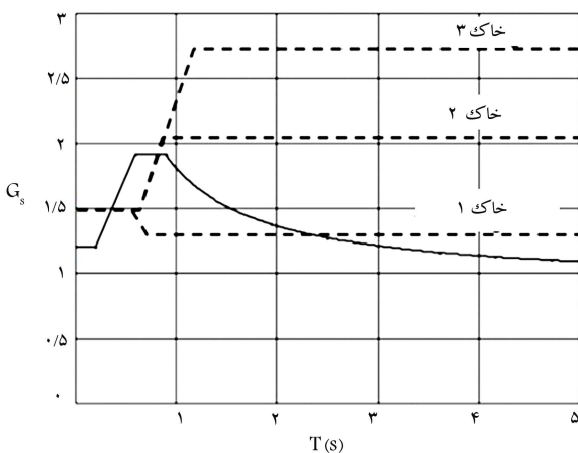
امروزه کاربرد سیستم‌های جداساز لرزه‌یی یکی از روش‌های گسترش یافته برای محافظت سازه‌ها در برابر زمین لرزه است، که این سیستم‌ها در کشورهای مختلف بر مبنای آیین‌نامه‌های لرزه‌یی طراحی و اجرا می‌شوند. با توجه به اهمیت و گسترش استفاده از این سیستم‌ها، وجود آیین‌نامه‌یی که مبنای طراحی این سیستم‌ها در کشور قرار گیرد، ضروری به نظر می‌رسد. ژاپن یکی از کشورهای پیشرو در استفاده از سیستم جداسازی لرزه‌یی در ساختمان است و تعداد ساختمان‌های ساخته‌شده با جداسازی لرزه‌یی در ژاپن پس از زلزله‌ی کوبه (۱۹۹۵) افزایش چشم‌گیری داشته است.^[۱] با توجه به اینکه آیین‌نامه‌ی استاندارد ژاپن و کلیه‌ی ابلاغات و الزامات وابسته به آن به منظور ایجاد یک سیستم مشخص برای سیستم‌های کنترل ساختمانی پس از سال ۲۰۰۰ به‌طور کلی مورد بازبینی و تجدیدنظر قرار گرفته است،^[۲] و در حال حاضر یکی از معتبرترین آیین‌نامه‌های طراحی سازه‌های با جداسازی لرزه‌یی در دنیا است، لذا آیین‌نامه‌ی مذکور جهت تدوین روش پیشنهادی برای طراحی سازه‌های با جداسازی لرزه‌یی مبنای کار قرار گرفته است. ارائه‌ی یک روش مناسب به منظور

* نویسنده مسئول

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۲/۲۵، اصلاحیه ۱۳۹۲/۱/۱۴، پذیرش ۱۳۹۲/۱۱/۲۴



شکل ۱. نمودار طیف شتاب استاندارد S_s در سطح سنگ بستر. [۶]



شکل ۲. ضریب تشدید در لایه‌ی خاک زیر سازه. [۱]

که در آن، Z بیان‌گر نوع منطقه‌ی لرزه‌ی به صورت ضریبی برابر با ۰٫۷، ۰٫۸، ۰٫۹ و ۱ برای شهرهای مختلف ژاپن، [۱۰] و G_s ضریب تشدید خاک است و به یکی از این دو صورت محاسبه می‌شود: [۱۱]

۱. روش ساده، که براساس ویژگی‌های خاک روی بستر سنگی براساس طبقه‌بندی خاک از نوع ۱ تا ۳ است.
۲. روش دقیق، که براساس محاسبات با استفاده از روند انتشار امواج با در نظر گرفتن رفتار غیرخطی خاک انجام می‌شود.

به طور مثال در شکل ۲ ضریب G_s بر حسب زمان تناوب طبیعی سازه یک بار با روش دقیق برای خاک نوع ۲ محاسبه و با خط معمولی نشان داده شده و یک بار براساس روش ساده شده برای خاک‌های نوع ۱ تا نوع ۳ با نقطه چین ترسیم شده است.

۲.۲. مدل سازه‌ی

در قسمت جداسازی لرزه‌ی رابطه‌ی نیروی برشی - جابه‌جایی به صورت دوخطی فرض می‌شود که این رابطه همان‌طور که در شکل ۳ نشان داده شده است، براساس مشخصات جداگر و میراگر به کاررفته در قسمت جداسازی است.

مهندس طرح بیشینه‌ی جابه‌جایی طراحی (δ_s) را براساس مشخصات تجهیزات، که در ابلاغیه‌ی شماره‌ی ۱۴۴۶، [۹] ذکر شده است، مشخص می‌کند. بدین صورت که ابتدا جابه‌جایی استاندارد افقی هر یک از تجهیزات جداساز لرزه‌ی (δ_u) را تعیین و سپس با ضرب ضریب باربری هر جداگر لرزه‌ی (β)، که براساس شرایط و

عنوان شده در آیین‌نامه‌ی ژاپن ارائه و روند طراحی این ساختمان‌ها براساس روش تحلیل خطی معادل آیین‌نامه‌ی ژاپن بررسی شده است. در بخش دوم، به منظور در نظر گرفتن شرایط ساخت‌گاه‌ی و لرزه‌خیزی و همچنین ضوابط آیین‌نامه‌ی طراحی لرزه‌ی ایران، پارامترهای نوع زمین و خاک، تقسیم‌بندی مناطق لرزه‌ی، ضریب بازتاب ساختمان، طیف طراحی، زمان تناوب ساختمان‌ها و ضریب توزیع نیروی جانبی در ارتفاع در دو آیین‌نامه با یکدیگر مقایسه و نتایج این بررسی و تطبیق پارامترها به صورت رابطه‌ی پیشنهادی ارائه شده است. همچنین در این بخش مقایسه‌ی بین روش پیشنهادی با روش ارائه شده در دستورالعمل طراحی ساختمان‌های با جداساز لرزه‌ی انجام شده است. در بخش سوم، به منظور ارزیابی رابطه‌ی پیشنهادی، چند مدل سازه‌ی در نظر گرفته شده و نتایج حاصل از روش پیشنهادی با نتایج تحلیل‌های تاریخی‌ی غیرخطی مقایسه شده است. برای انجام تحلیل‌های تاریخی‌ی زمانی از رکوردهای حوزه‌ی دور و نزدیک ایران استفاده شده است.

نتایج تحلیل‌ها نشان‌دهنده‌ی اختلاف بین مقادیر پاسخ تحت زلزله‌های حوزه‌ی دور و نزدیک بوده است، که این اختلاف در پاسخ جابه‌جایی تراز جداسازی نسبت به برش پایه به طور محسوسی بزرگ‌تر بوده است. همچنین در همه‌ی حالات، مقادیر پاسخ نشان‌دهنده‌ی تخمین مناسب و قابل اطمینان مقادیر پاسخ حاصله از روش پیشنهادی بوده است. به علاوه با توجه به نتایج حاصله، در نظر گرفتن ضرایبی به منظور لحاظ کردن اثرات حوزه‌ی نزدیک در آیین‌نامه‌ی ایران ضروری به نظر می‌رسد.

۲. طراحی ساختمان‌های با جداسازی لرزه‌ی در

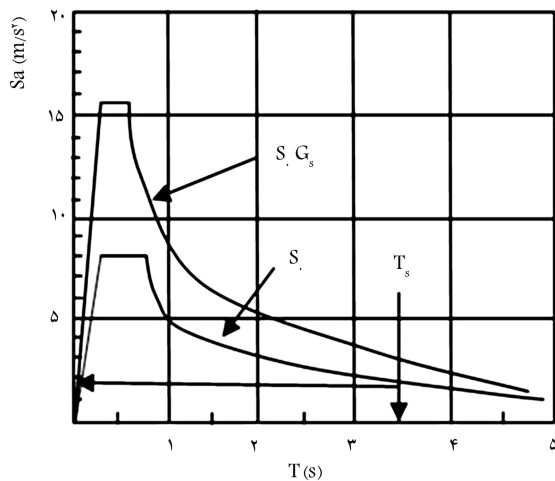
آیین‌نامه‌ی ژاپن

وزارت مسکن ژاپن در ۱۷ اکتبر سال ۲۰۰۰، ابلاغیه‌ی شماره‌ی ۲۰۰۹ را منتشر کرد. [۶] هدف از این ابلاغیه، تعریف ضوابط استاندارد برای مشخصات ساختمانی و روش‌های محاسبات سازه‌ی برای ساختمان‌های با جداسازی لرزه‌ی بوده است. ابلاغیه‌ی شماره‌ی ۲۰۰۹، ایمنی ساختمان‌های با جداسازی لرزه‌ی را با محاسباتی براساس روش مقاومت نهایی تأمین می‌کند. آخرین ویرایش آیین‌نامه‌ی ژاپن مربوط به سال ۲۰۰۹ است، که مبنای این مطالعه قرار گرفته است. محاسبات سازه‌ی در ساختمان‌های با جداسازی لرزه‌ی به دو صورت تحلیل خطی معادل و تحلیل تاریخی‌ی زمانی غیرخطی صورت می‌گیرد. [۷] در این قسمت روند طراحی عنوان شده در ابلاغیه‌ی شماره‌ی ۲۰۰۹ و ضوابط مربوط به آن بیان می‌شود. روند طراحی در این ابلاغیه را می‌توان به ۴ بخش تقسیم کرد که به شرح زیر می‌باشند: [۶]

۱.۲. زلزله‌های ورودی و طیف طرح

آیین‌نامه‌ی ژاپن دو سطح نیروی لرزه‌ی را معرفی می‌کند. سطح اول نیروی لرزه‌ی با احتمال فراگذشت ۱٪ در ۵۰ سال با دوره‌ی بازگشت ۴۷۵ سال و نیروی لرزه‌ی سطح بعدی با احتمال فراگذشت ۵۰٪ در ۳۰ سال با دوره‌ی بازگشت ۴۳ سال است، که به ترتیب زلزله‌های سطح ۱ و ۲ نامیده می‌شوند. [۸] طیف پاسخ شتاب استاندارد (S_s)، که به ازاء میرایی ۵٪ در سنگ بستر در ابلاغیه‌ی شماره‌ی ۱۴۴۶ وزارت حمل و نقل، اراضی و زیرساخت‌ها، [۹] عنوان شده و در شکل ۱ نشان داده شده است، مطابق با زلزله‌های سطح ۲ با دوره‌ی بازگشت ۴۷۵ سال است. [۱] طیف شتاب زلزله‌ی ورودی از رابطه‌ی ۱ به دست می‌آید:

$$S'_a = ZG_s S_s \quad (1)$$



شکل ۴. طیف شتاب زلزله‌های ورودی. [۱]

(بر حسب تن) و C_{vi} ضریب میرایی میراگر هیدرولیکی است. برای مثال منحنی S'_a برای خاک نوع ۲ که ضریب تشدید آن در شکل ۲ نشان داده شده است، منطقه‌یی با خطر لرزه‌یی $Z = 1$ است (شکل ۴). در شکل ۴ محور افقی دوره‌ی تناوب طبیعی محاسبه شده بر مبنای رابطه‌ی ۲ است. با تعیین پارامترهای فوق نیروی ناشی از زلزله، که به لایه‌ی جداساز لرزه‌یی و سازه‌ی فوقانی وارد می‌شود، از رابطه‌ی ۷ محاسبه می‌شود. پارامتر Z در این رابطه بیانگر ضریب منطقه‌ی لرزه‌یی است و مقداری بین ۰٫۷ تا ۱ دارد:

$$Q = S_a \cdot M = F_h \cdot Z \cdot G_s \cdot S_v \cdot M \quad (7)$$

۴.۲. بازبینی (یا تطبیق) مقادیر پاسخ

برای لحاظ کردن ضریب کاهش شتاب ناشی از میرایی (F_h) باید مقادیر S'_a نشان داده شده در شکل ۴ را در F_h ضرب کرد تا شتاب پاسخ (S_a) به دست آید. سپس پاسخ جابه‌جایی مرکز جرم سازه (δ) از فرمول ۸ محاسبه می‌شود:

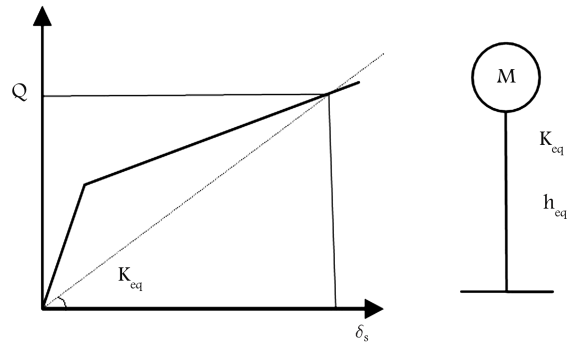
$$\delta = \frac{Q}{K_{eq}} = \frac{M \cdot S_a}{K_{eq}} \quad (8)$$

با لحاظ کردن اثر جداسازی لرزه‌یی، پاسخ جابه‌جایی سطح جداساز (δ_r) به صورت روابط ۹ و ۱۰ محاسبه می‌شود:

$$\delta_r = 1,1 \delta'_r < (\delta_s) \quad (9)$$

$$\delta'_r = \alpha \cdot \delta \quad (10)$$

در رابطه‌ی ۹، ضریب ۱٫۱ برای در نظر گرفتن اثر لایه‌ی جداساز لرزه‌یی که باعث ایجاد خروج از مرکزیت بین مرکز جرم و مرکز سختی می‌شود، لحاظ شده است. در رابطه‌ی ۱۰، α ضریب اطمینان دامست، که به تغییرات سختی و مشخصات اولیه‌ی تجهیزات کارخانه بستگی دارد و کمینه‌ی مقدار آن ۱٫۲ است. البته میزان تنش در تجهیزات جداساز و سازه‌ی فوقانی باید کمتر از مقاومت تجهیزات و تنش مجاز آنها باشد. همچنین میزان بیشینه‌ی جابه‌جایی نسبی هر طبقه‌ی سازه‌ی فوقانی (حاصل تقسیم جابه‌جایی نسبی ایجاد شده ناشی از نیروی لرزه‌یی در طبقه به ارتفاع طبقه) باید در حدود $\frac{1}{300}$ باشد. [۶]



شکل ۳. مدل سازه‌یی بجا‌سازی لرزه‌یی (به صورت سیستم یک درجه آزادی). [۱۳]

نوع تجهیزات تعیین می‌شود، جابه‌جایی نهایی طرح هر یک از دستگاه‌های جداساز لرزه‌یی ($m \cdot \delta_d$) را تعیین و کمترین جابه‌جایی را به عنوان بیشینه‌ی جابه‌جایی طراحی (δ_s) انتخاب می‌کند. سپس ساختمان با جداسازی لرزه‌یی را به صورت یک سیستم یک درجه‌ی آزادی به جرم متمرکز M (جرم ساختمان) و سختی معادل K_{eq} در جابه‌جایی δ_s در نظر می‌گیرد (شکل ۳). [۱۳] همچنین دوره‌ی تناوب معادل طراحی به صورت رابطه‌ی ۲ تعریف می‌شود:

$$T_s = 2\pi \sqrt{\frac{M}{K_{eq}}} \quad (2)$$

۳.۲. طیف پاسخ شتاب نیاز

طیف پاسخ شتاب نیاز به صورت رابطه‌ی ۳ تعریف می‌شود: [۱۰]

$$S_a = F_h S'_a \quad (3)$$

که در آن، F_h ضریب کاهش شتاب پاسخ است، که ناشی از میرایی در جداساز لرزه‌یی است. این ضریب برای تراز جداسازی با استفاده از ضریب میرایی چسبندگی برای تجهیزات جداسازی هیدرولیکی (h_v) و تجهیزات جداسازی هیستریسیس (h_d) به ازاء جابه‌جایی δ_s مطابق رابطه‌ی ۴ محاسبه می‌شود:

$$F_h = \frac{1,5}{1 + 10 * (h_v + h_d)} \quad (4)$$

ضریب میرایی ویسکوز برای تجهیزات جداسازی هیدرولیکی (h_v) و تجهیزات جداسازی هیستریسیس (h_d) از روابط ۵ و ۶ محاسبه می‌شوند:

$$h_d = \frac{0,8}{4\pi} \cdot \frac{\sum \Delta W_i}{\sum W_i} \quad (5)$$

$$h_v = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{T_s \sum C_{vi}}{M} \quad (6)$$

که در رابطه‌ی ۵، ΔW_i مساحت محصور به منحنی هیستریسیس برای تجهیزات جداگر لرزه‌یی هیستریسیس در جایی است که میزان جابه‌جایی نهایی طرح هر یک از تجهیزات جداساز لرزه‌یی هیستریسیس، بیشینه‌ی مقدار خود را دارد (بر حسب KN.m) و W_i یک دوم جابه‌جایی ایجاد شده در هر جداساز لرزه‌یی هیستریسیس در هنگامی است که جابه‌جایی نهایی طرح لایه‌ی جداساز لرزه‌یی رخ می‌دهد، ضرب در مقاومت هر جداساز در این زمان (بر حسب KN.m) هستند. در رابطه‌ی ۶، T_s دوره‌ی تناوب طبیعی نهایی طرح (بر حسب ثانیه)، M جرم سازه‌ی فوقانی (مقدار به دست آمده از مجموع بارهای مرده و زنده‌ی سازه‌ی فوقانی تقسیم بر شتاب گرانس

۲۸۰۰	I	II	III	IV
ژاپن	۱	۲		۳
	۰	۰/۲	۰/۴	۰/۶
	T_g (s)			

شکل ۵. مقایسه‌ی طبقه‌بندی نوع زمین در استاندارد ۲۸۰۰ و آیین‌نامه‌ی ژاپن براساس T_g .

جدول ۱. مقایسه‌ی طبقه‌بندی نوع زمین در استاندارد ۲۸۰۰ و آیین‌نامه‌ی ژاپن.

نوع زمین در آیین‌نامه‌ی ژاپن	نوع زمین در آیین‌نامه‌ی ۲۸۰۰
۱	I
۲	II
۲	III
۳	IV

جدول ۲. مقایسه‌ی تقسیم‌بندی مناطق لرزه‌ی در آیین‌نامه‌ی ۲۸۰۰ و آیین‌نامه‌ی ژاپن.

مناطق لرزه‌ی در آیین‌نامه‌ی ژاپن	مناطق لرزه‌ی در آیین‌نامه‌ی ۲۸۰۰
$Z = ۱/۰$	پهنه با لرزه‌خیزی خیلی زیاد
$Z = ۰/۹$	پهنه با لرزه‌خیزی زیاد
$Z = ۰/۸$	پهنه با لرزه‌خیزی متوسط
$Z = ۰/۷$	پهنه با لرزه‌خیزی کم

۲.۳. تقسیم‌بندی مناطق لرزه‌ی

در استاندارد ۲۸۰۰، شهرها و نقاط مهم ایران از لحاظ خطر نسبی زلزله به ۴ منطقه تقسیم و برای هر منطقه‌ی لرزه‌ی، شتاب مبنای طرح خاص آن منطقه به صورت پارامتر A تعریف شده است. به‌گونه‌ی که برای مناطق مختلف، خطر نسبی زلزله می‌تواند خیلی زیاد (شتاب مبنای طرح $۰/۳۵g$)، زیاد ($۰/۳g$)، متوسط ($۰/۲۵g$) و کم ($۰/۲g$) باشد.^[۳] در آیین‌نامه‌ی ژاپن نیز با توجه به خطر وقوع زلزله در مناطق مختلف، ۴ منطقه‌ی لرزه‌ی تعریف و شهرهای ژاپن در این ۴ منطقه دسته‌بندی شده‌اند. البته در آیین‌نامه‌ی ژاپن شتاب به‌صورت طیف طرح در سنگ بستر مهندسی تعریف شده است، که در ادامه توضیح داده شده و اثر مناطق لرزه‌ی به‌صورت حاصل ضرب ضریب Z از ۱ تا $۰/۷$ در این طیف است.^[۱۱] البته این تذکر لازم است که در تقسیم‌بندی مناطق لرزه‌ی ژاپن اثرات نزدیکی به گسل نیز در نظر گرفته شده است. در یک مقایسه می‌توان تقسیم‌بندی مناطق لرزه‌ی در آیین‌نامه‌ی ۲۸۰۰ و ژاپن را در جدول ۲ مشاهده کرد.^[۱۵]

۳.۳. طیف پاسخ شتاب

در آیین‌نامه‌ی ژاپن، طیف پاسخ شتاب مطابق رابطه‌ی ۱ بر مبنای طیف پاسخ شتاب در سنگ بستر مهندسی (S_0) محاسبه می‌شود. طیف پاسخ شتاب استاندارد (S_0) که به ازاء میرایی ۵٪ در سنگ بستر مهندسی عنوان می‌شود، مطابق با زلزله‌های با

۳. مقایسه‌ی ضوابط آیین‌نامه‌ی ایران و ژاپن و ارائه‌ی

روش پیشنهادی

در این بخش مطالعات تحلیلی و بررسی‌های انجام‌شده برای مقایسه و انطباق برخی از ضوابط و پارامترهای عنوان‌شده در ابلاغیه‌ی ساختمان‌های با جداسازی لرزه‌ی ژاپن (ابلاغیه‌ی شماره‌ی ۲۰۰۹) و آیین‌نامه‌ی طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰) با توجه به شرایط ساخت‌گاهی و لرزه‌خیزی ایران و همچنین رعایت ضوابط آیین‌نامه‌ی ایران عنوان شده است.

برخی از مواردی که بین ابلاغیه‌ی ساختمان‌های با جداسازی لرزه‌ی ژاپن و آیین‌نامه‌ی طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله بررسی و حاصل انطباق در روش پیشنهادی لحاظ شده‌اند، عبارت‌اند از: نوع زمین و خاک، تقسیم‌بندی مناطق لرزه‌ی، ضریب بازتاب ساختمان، مقایسه‌ی طیف‌ها و زمان تناوب ساختمان. علاوه بر شرایط ساخت‌گاهی و لرزه‌خیزی عنوان‌شده در آیین‌نامه‌های فوق، مواردی نظیر ضریب توزیع نیروی جانبی در ارتفاع ساختمان برای سازه‌های با جداسازی لرزه‌ی در این بخش مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

۱.۳. طبقه‌بندی نوع زمین و خاک

در استاندارد ۲۸۰۰، خاک به ۴ گروه طبقه‌بندی شده و علاوه بر تعریف مواد متشکل ساخت‌گاه، پارامتر سرعت موج برشی نیز در این طبقه‌بندی مد نظر قرار گرفته است.^[۳] در آیین‌نامه‌ی ژاپن، خاک در ۳ دسته‌ی نوع ۱ (سخت)، نوع ۲ (متوسط) و نوع ۳ (نرم) تقسیم‌بندی می‌شود، که این طبقه‌بندی بر مبنای زمان تناوب اصلی خاک بستر T_g و یا مواد متشکل ساخت‌گاه است.^[۹،۴]

زمان تناوب اصلی خاک بستر در آیین‌نامه‌ی ژاپن از رابطه‌ی ۱۱ محاسبه می‌شود:^[۱۴]

$$T_g = \sqrt{32 \sum_{i=1}^L \frac{h_i (H_{i-1} + H_i)}{v_i^2}} \quad (11)$$

که در آن، L تعداد لایه‌های خاک بین سنگ بستر و فونداسیون سازه، h_i ضخامت هر لایه‌ی خاک (بر حسب متر)، H_i عمق هر لایه‌ی خاک (بر حسب متر)، v_i سرعت موج برشی در هر لایه‌ی خاک (بر حسب متر بر ثانیه) است. برای برقراری رابطه بین طبقه‌بندی خاک در دو آیین‌نامه‌ی مورد مطالعه، علاوه بر ملاک قراردادن مواد متشکل ساخت‌گاه، با توجه به اینکه در هر آیین‌نامه از پارامترهای متفاوتی برای دسته‌بندی نوع خاک استفاده می‌شود (آیین‌نامه‌ی ۲۸۰۰ بر مبنای سرعت موج برشی و آیین‌نامه‌ی ژاپن براساس T_g)، این مقایسه برای خاک با یک لایه و با ضخامت ۳۰ متر روی سنگ بستر صورت گرفته است. با این فرض، متوسط سرعت موج برشی در ۳۰ متر بالایی بیان‌شده در آیین‌نامه‌ی ۲۸۰۰ و سرعت موج برشی در رابطه‌ی ۱۱ یکسان در نظر گرفته شده است. بنابراین با جایگزین کردن سرعت‌های بیان‌شده در آیین‌نامه‌ی ۲۸۰۰ در رابطه‌ی ۱۱، تقسیم‌بندی نوع خاک در آیین‌نامه‌ی ۲۸۰۰ برحسب زمان تناوب اصلی خاک T_g مطابق شکل ۵ مجدداً انجام شده است. با توجه به مواد متشکله‌ی هر نوع خاک و شکل ۵، مقایسه‌ی تطبیقی نوع خاک در دو آیین‌نامه مطابق جدول ۱ انجام شده است.

طبقه‌بندی نوع زمین مطابق جدول ۱ و تقسیم‌بندی مناطق لرزه‌ی مطابق جدول ۲ در نظر گرفته شده است.

۴.۳. ضریب توزیع نیروی جانبی زلزله در ارتفاع ساختمان

در آیین‌نامه‌ی ۲۸۰۰، نیروی برش پایه در ساختمان با یک توزیع مثلثی وارونه مطابق رابطه‌ی ۱۳ در ارتفاع ساختمان توزیع می‌شود:

$$F_i = (V - F_t) * \frac{W_i h_i}{\sum_{j=1}^n W_j h_j} \quad (13)$$

که در آن، F_i نیروی جانبی در تراز طبقه‌ی i ، W_i وزن طبقه‌ی i ، h_i ارتفاع تراز i (یا ارتفاع سقف طبقه‌ی i از تراز پایه)، n تعداد طبقات ساختمان از تراز پایه به بالا و F_t نیروی جانبی اضافی در تراز سقف طبقه‌ی n است. در آیین‌نامه‌ی ۲۸۰۰، مقدار برش در هر طبقه برابر با مجموع F_i در آن طبقه و طبقات بالاتر است. در آیین‌نامه‌ی ژاپن، میزان برش در هر طبقه مستقیماً از رابطه‌ی ۱۴ به دست می‌آید که در آن، A_i ضریب توزیع برش در طبقه‌ی i م مطابق رابطه‌ی ۱۵ و C ضریب برش پایه است، که برش در هر طبقه از ضرب این دو پارامتر در مجموع وزن آن طبقه و طبقات بالاتر حاصل می‌شود. ضریب برش پایه از حاصل ضرب ضریب تشدید خاک در ضریب منطقه‌ی لرزه‌ی و در طیف پاسخ شتاب استاندارد در سنگ بستر و در ضریب سطح زلزله، که برای زلزله‌ی سطح ۲ برابر با ۱ است، محاسبه می‌شود: [۱۱]

$$V_i = C A_i \sum_{j=i}^N W_j \quad (14)$$

$$A_i = 1 + \left(\frac{1}{\sqrt{\alpha_i}} - \alpha_i \right) \frac{2T}{1 + 3T} \quad (15)$$

دوره‌ی بازگشت تقریباً ۵۰۰ سال بوده و در شکل ۱ نشان داده شده است.

برای مقایسه‌ی صحیح بین دو آیین‌نامه‌ی ایران و ژاپن مقادیر ضریب بازتاب B در استاندارد ۲۸۰۰ در شتاب مینای طرح A ضرب شده و شتاب طیفی به دست آمده است. در استاندارد ۲۸۰۰ مقدار ضریب بازتاب ساختمان از رابطه‌ی ۱۲ تعیین می‌شود:

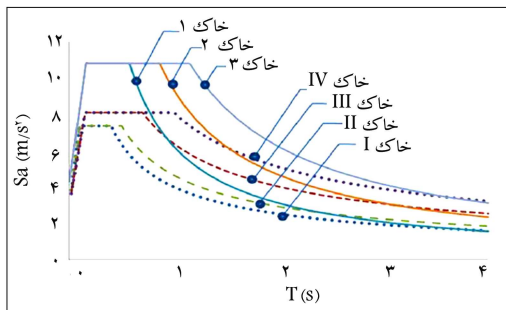
$$B = 1 + S(T/T_s) \quad 0 \leq T \leq T_s$$

$$B = 1 + S \quad T_s \leq T \leq T_s$$

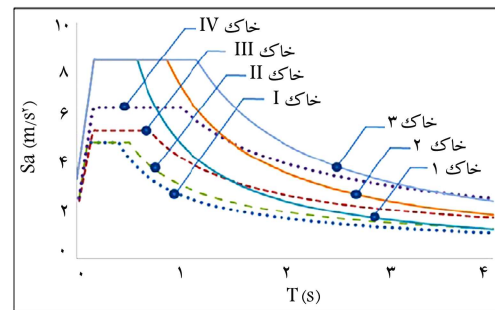
$$B = (1 + S)(T_s/T)^{2/3} \quad T_s \leq T \quad (12)$$

که در آن، T_s عددی است بر حسب نوع زمین و می‌توان گفت همان زمان تناوب زمین است. T زمان تناوب اصلی نوسان ساختمان به ثانیه و T_s بیان‌گر مرز بین سازه‌ی بسیار سخت و محدوده‌ی شتاب ثابت از طیف شتاب است. [۱۲] نیز برای در نظر گرفتن اثر تشدیدکنندگی خاک نرم بر روی حرکت زمین در سنگ بستر است و با نرم‌تر شدن خاک، مقدار آن افزایش می‌یابد. ضریب بازتاب در آیین‌نامه‌ی ۲۸۰۰ بیان‌کننده‌ی نحوه‌ی پاسخ ساختمان به حرکت زمین است، که اثرات نوع خاک را نیز در نظر می‌گیرد. همان‌طور که در بخش ۱.۲ بیان شده است، اثرات نوع خاک در آیین‌نامه‌ی ژاپن با پارامتر G_s نشان داده شده است.

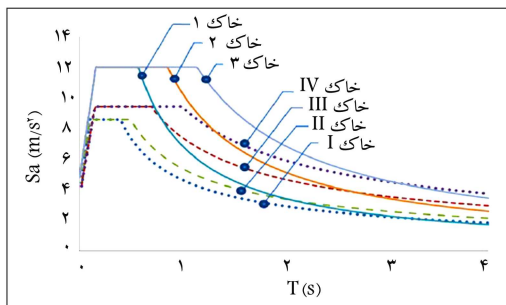
با توجه به مقایسه‌های انجام‌گرفته بین پارامترهای مشابه در دو آیین‌نامه، پارامتر $S'_a = Z G_s S$ معادل با پارامتر $A.B$ در آیین‌نامه‌ی ۲۸۰۰ در نظر گرفته شده است. در شکل ۶، طیف‌های شتاب طراحی آیین‌نامه‌ی ژاپن و ۲۸۰۰ بدون لحاظ کردن ضریب کاهش‌دهنده‌ی شتاب ناشی از میرایی در جداساز لرزه‌ی بر روی انواع خاک‌ها و در تمامی مناطق لرزه‌ی با یکدیگر مقایسه شده‌اند. برای انجام این مقایسه،



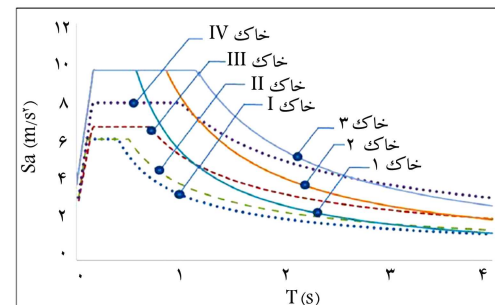
ج) خطر لرزه‌ی زیاد و منطقه لرزه‌ی $Z=0.9$ (ژاپن)؛



الف) خطر لرزه‌ی کم (ایران) و منطقه‌ی لرزه‌ی $Z=0.7$ (ژاپن)؛

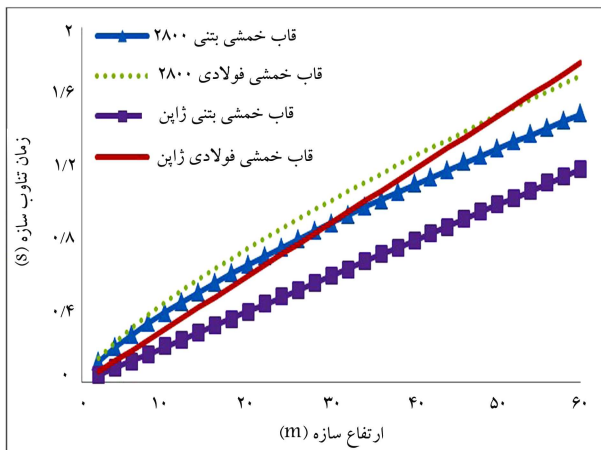


د) طیف شتاب برای خطر لرزه‌ی خیلی زیاد (ایران) و منطقه‌ی لرزه‌ی $Z=1$ (ژاپن).

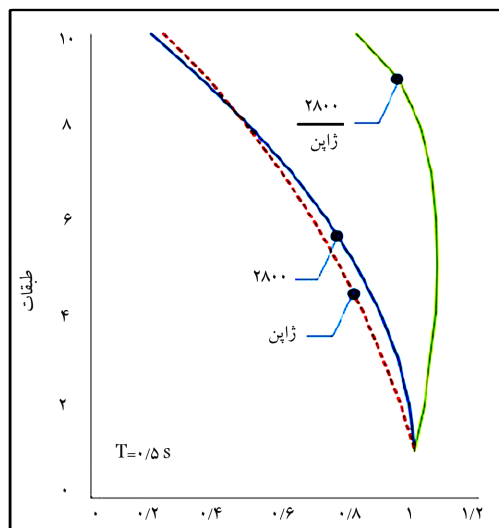


ب) خطر لرزه‌ی متوسط (ایران) و منطقه لرزه‌ی $Z=0.8$ (ژاپن)؛

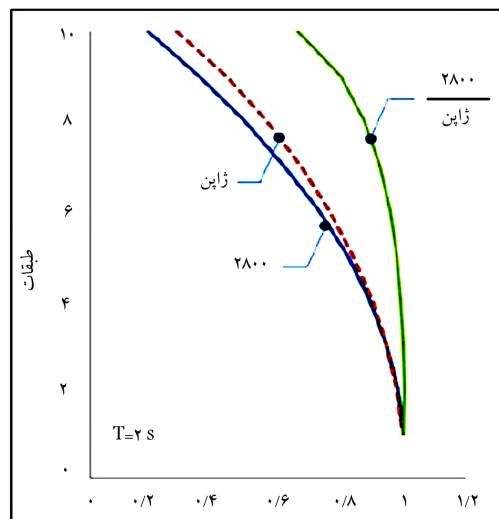
شکل ۶. مقایسه طیف شتاب برای سطوح خطر و مناطق لرزه‌ی مختلف در دو آیین‌نامه ایران و ژاپن.



شکل ۷. زمان تناوب اصلی نوسان برای ساختمان‌های با پایه‌ی گیردار در آیین‌نامه‌ی ۲۸۰۰ و آیین‌نامه‌ی ژاپن.



الف) طبقه ۰/۵ s؛ T



ب) طبقه ۲ s؛ T

شکل ۸. ضریب توزیع برش در ساختمان ۱۰ طبقه با توزیع یکنواخت جرم.

که در آن، α_i مطابق رابطه‌ی ۱۶ نسبت مجموع وزن طبقه‌ی n ام و طبقات بالاتر از آن به وزن کل سازه و T مطابق رابطه‌ی ۱۷، زمان تناوب سازه با پایه‌ی گیردار هستند:

$$\alpha_i = \frac{\sum_{j=i}^n W_j}{W} \quad (16)$$

$$T = h * (0.02 + 0.01\alpha) \quad (17)$$

که در آن، h ارتفاع ساختمان (بر حسب متر) و α نسبت ارتفاع سازه‌ی فولادی به ارتفاع کل ساختمان است. این پارامتر در سازه‌های فولادی برابر با ۱ و در ساختمان‌های با سازه‌ی غیرفلزی (نظیر بتنی یا چوبی) برابر با صفر است. چنانچه بخشی از ساختمان سیستم فولادی و بخشی دیگر در بالاتر و یا پایین‌تر از آن بخش سیستمی غیر از فولاد داشته باشد، نسبت ارتفاع سازه‌ی فولادی به ارتفاع کل ساختمان به‌عنوان پارامتر α در نظر گرفته می‌شود.

در شکل ۷، مقایسه‌ی بین زمان تناوب اصلی نوسان برای ساختمان‌های با قاب خمشی بتنی و فولادی با پایه‌ی گیردار در آیین‌نامه‌ی ۲۸۰۰ و آیین‌نامه‌ی ژاپن نشان داده شده است. به منظور مقایسه‌ی شکل توزیع نیروی برشی در ارتفاع ساختمان در دو آیین‌نامه‌ی ژاپن و ۲۸۰۰، یک ساختمان ۱۰ طبقه با توزیع جرم یکسان در طبقات در نظر گرفته شده و نیروی برشی ایجاد شده در طبقات بر مبنای ضوابط آیین‌نامه‌های ژاپن و ۲۸۰۰ و با استفاده از روابط عنوان شده در بالا محاسبه شده است.

مقایسه‌ی شکل توزیع برش در ارتفاع ساختمان برای دو زمان تناوب ۰/۵ و ۲ ثانیه در شکل ۸ نشان داده شده است. در شکل‌های مذکور، محور افقی نسبت به برش پایه‌ی سازه نرمال شده است. با دقت در شکل ۸ الف مشخص می‌شود که توزیع برش در ارتفاع سازه برای زمان تناوب کمتر (۰/۵ s) در آیین‌نامه‌ی ژاپن بسیار نزدیک به آیین‌نامه‌ی ایران است و بیشترین اختلاف در حدود ۲۰٪ است، که در بالاترین طبقه رخ می‌دهد. این اختلاف برای زمان تناوب بالاتر (۲ s) بیشتر و در حدود ۳۵٪ در بالاترین طبقه است. این تفاوت ناشی از آن است که ضریب A_i اثرات موده‌های بالاتر را در نظر می‌گیرد و این مورد، یک امتیاز برای این روش محسوب می‌شود.

روند طراحی ساختمان‌های با سیستم جداسازی لرزه‌یی در روش پیشنهادی برای ایران مطابق ۴ مرحله‌ی ۲-۱ تا ۴-۲ عنوان شده در نوشتار است. در این روش با مینا قراردادن رابطه‌ی ۷ و با توجه به مقایسه‌های انجام گرفته بین نوع زمین و خاک، تقسیم‌بندی مناطق لرزه‌یی، ضریب بازتاب ساختمان، مقایسه‌ی طیف‌ها و زمان تناوب سازه‌ها و تطابق پارامترهای دو آیین‌نامه، رابطه‌ی نیروی لرزه‌یی ناشی از زلزله، که در لایه‌ی جداساز لرزه‌یی به‌وجود می‌آید، به‌صورت رابطه‌ی ۱۸ پیشنهاد شده است:

$$Q = A.B.W.F_h \quad (18)$$

که در آن، Q نیروی لرزه‌یی ناشی از زلزله است که در لایه‌ی جداساز لرزه‌یی ایجاد می‌شود (بر حسب KN)، A نسبت شتاب مبنای طرح در مناطق مختلف ایران براساس میزان خطر لرزه‌خیزی آنهاست که مقادیر آن در جدول ۲ بند ۳-۳ آیین‌نامه‌ی ۲۸۰۰ عنوان شده است. B ضریب بازتاب ساختمان است که بیان‌گر نحوه‌ی پاسخ ساختمان به حرکت زمین است و مقدار آن وابسته به نوع زمین و خطر لرزه‌یی منطقه است. مقدار این ضریب بر مبنای بند ۲-۳-۴ آیین‌نامه‌ی ۲۸۰۰، براساس روابط و یا نمودارهای موجود تعیین می‌شود، W وزن سازه‌ی فوقانی (بر حسب KN) و F_h نسبت کاهش شتاب عنوان شده مطابق رابطه‌ی ۴ است. تعیین ضریب B با

پیشنهادی، طراحی ساختمان‌ها با این روش تا ارتفاع ۶۰ متر مجاز است.^[۶]

$$V_b = K_{D \max} D_D \quad (23)$$

$$V_S = \frac{K_{D \max} D_D}{R_I} \quad (24)$$

در دستورالعمل، توزیع نیروی جانبی در ارتفاع ساختمان به صورت خطی است، در حالی که توزیع نیرو در ارتفاع در روش پیشنهادی مطابق رابطه‌ی ۱۵ به صورت خطی نیست و اثر مدهای بالاتر را نیز در نظر می‌گیرد.

در دستورالعمل، بیشینه‌ی نسبت تغییرمکان نسبی طبقه به $\frac{e}{R_I}$ محدود شده است، که ضریب R_I براساس نوع سیستم باربر جانبی سازه بالاتر از تراز جداسازی تعیین می‌شود، در حالی که در روش پیشنهادی این مقدار $\frac{1}{3}$ است.

۴. مدل سازی

در این بخش روند ارائه‌شده در روش پیشنهادی برای طرح ساختمان‌های با سیستم جداسازی لرزه‌ی در ایران مورد ارزیابی قرار گرفته است. بدین منظور ۵ مدل ساختمانی ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ طبقه با روند عنوان‌شده در روش پیشنهادی بررسی و نتایج به‌دست‌آمده از این روش با نتایج حاصل از تحلیل‌های دینامیکی تاریخچه‌ی زمانی غیرخطی مقایسه شده‌اند. در این تحلیل‌ها، کلیه‌ی ساختمان‌ها بر روی خاک نوع II و خطر نسبی خیلی زیاد مطابق تعاریف آیین‌نامه‌ی ۲۸۰۰ در نظر گرفته شده‌اند.

به منظور بررسی رفتاری که سازه‌های جداسازی‌شده در عمل از خود نشان می‌دهند، از مدل‌های سه بُعدی استفاده شده است. مطابق توصیه‌هایی که در مراجع و آیین‌نامه‌های مختلف شده است، در طبقه‌ی همکف از دالی با جرم تقریباً برابر با جرم طبقات دیگر استفاده شده است، تا عملکرد سیستم جداسازی به صورت یکپارچه در آید.^[۱۷] در این مطالعه، برای اینکه تحلیل‌های تاریخچه‌ی زمانی جامع‌تر باشند و با دقت بیشتری بتوان نتایج حاصل از روش پیشنهادی را با نتایج حاصل از تحلیل‌های تاریخچه‌ی زمانی ارزیابی کرد، از ۷ رکورد حوزه‌ی دور و ۷ رکورد حوزه‌ی نزدیک ایران استفاده شده است.

۱.۴. مشخصات مدل‌های سازی جداسازی شده

ساختمان‌های انتخاب‌شده در این بررسی ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ طبقه هستند. پلان کلیه‌ی ساختمان‌ها، متقارن با دهانه‌هایی به طول ۴ متر هستند، که پلان ساختمان ۲ طبقه دارای ۲ دهانه، ساختمان‌های ۴ و ۶ طبقه دارای ۳ دهانه و ساختمان‌های ۸ و ۱۰ طبقه دارای ۴ دهانه هستند. لذا تعداد ستون‌ها در هر طبقه و به تبع آن تعداد جداگرها در ساختمان ۲ طبقه برابر با ۹، در ساختمان‌های ۴ و ۶ طبقه برابر با ۱۶ و در ساختمان‌های ۸ و ۱۰ طبقه برابر با ۲۵ هستند. ارتفاع طبقات در کلیه‌ی ساختمان‌ها ۳ متر است و سازه‌ی فوقانی دارای سیستم باربر جانبی قاب خمشی فولادی است. در شکل ۹، مدل سازه‌ی ۱۰ طبقه به‌عنوان نمونه نشان داده شده است. بار مرده و زنده‌ی در نظر گرفته‌شده برای کلیه‌ی مدل‌ها به ترتیب ۸۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم نیرو بر مترمربع است، که به کف وارد می‌شود. مقاطع مورد استفاده برای تیر و ستون به ترتیب IPE و IPB و فولاد مورد استفاده در این پژوهش از نوع ST۳۷ است. ساختمان‌ها به صورت پایه‌ی گیردار و برای بیشینه‌ی نیروی برشی Q به‌دست‌آمده از روش پیشنهادی به روش تنش مجاز و با استفاده از آیین‌نامه‌ی AISC-ASD طراحی شده‌اند. با توجه به اینکه مدل‌های ساختمانی دارای پلان

استفاده از دوره‌ی تناوب طبیعی نهایی طراحی سازه‌ی جداسازی‌شده (T_s) مطابق رابطه‌ی ۲ صورت می‌گیرد. همچنین به‌منظور توزیع نیروی جانبی زلزله در ارتفاع ساختمان رابطه‌ی ۱۵ پیشنهاد شده است.

۵.۳. مقایسه‌ی روش پیشنهادی با روش ارائه‌شده در دستورالعمل

طراحی ساختمان‌های با جداساز لرزه‌ی

با بررسی گام‌های روند عنوان‌شده در روش پیشنهادی با روش ارائه‌شده در «دستورالعمل طراحی ساختمان‌های با جداساز لرزه‌ی» که در این بخش با واژه‌ی «دستورالعمل» به آن اشاره شده است، می‌توان به مقایسه‌ی این دو روش پرداخت، که به برخی از آنها اشاره می‌شود.

در هر دو روش، انجام آزمایش‌های اولیه بر روی جداسازها به منظور تعیین پارامترهای طراحی اهمیت بسیار زیادی دارد. در روش پیشنهادی فقط یک زمان تناوب برای سازه‌ی جداسازی‌شده مطابق رابطه‌ی ۲ در نظر گرفته می‌شود، که این زمان تناوب به ازاء بیشینه‌ی جابه‌جایی طرح، که براساس مشخصات تجهیزات جداسازی تعیین می‌شود، محاسبه می‌شود. اما در روش دستورالعمل، دو زمان تناوب مؤثر یکی متناظر با تغییرمکان طرح (T_D) و دیگری متناظر با بیشترین تغییرمکان (T_M) در نظر گرفته می‌شود (روابط ۱۹ و ۲۰)، که در این روابط $K_{D \min}$ و $K_{M \min}$ بر مبنای نتایج آزمایش‌ها تعیین می‌شوند:

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_{D \min} g}} \quad (19)$$

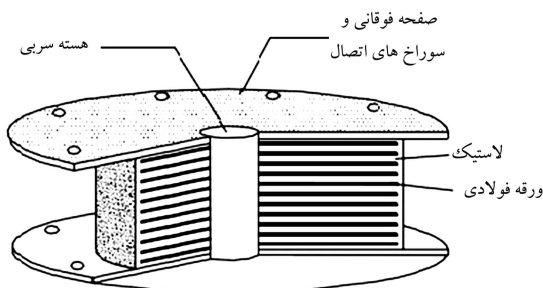
$$T_M = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_{M \min} g}} \quad (20)$$

در روش پیشنهادی اثر تغییرمکان اضافی ناشی از پیچش واقعی و تصادفی مطابق رابطه‌ی ۹ به صورت ضریب ثابت ۱/۱ در پاسخ تراز جداسازی در نظر گرفته شده است، در حالی که در دستورالعمل، این اثر به صورت روابط ۲۱ و ۲۲ در نظر گرفته شده و کمینه‌ی مقدار این ضرایب افزایشی ۱/۱ است. در روابط مذکور، b و d ابعاد پلان، e مجموع خروج از مرکزیت واقعی و تصادفی، و D_D و D_M به ترتیب تغییرمکان طرح و بیشترین تغییرمکان افقی سامانه‌ی جداساز است.

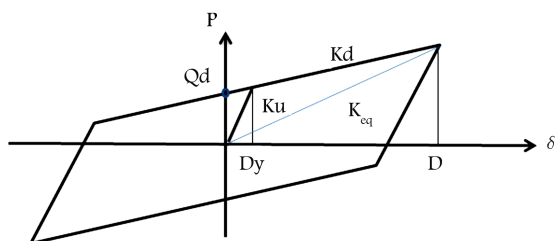
$$D_{TD} = D_D \left[1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2} \right] \quad (21)$$

$$D_{TM} = D_M \left[1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2} \right] \quad (22)$$

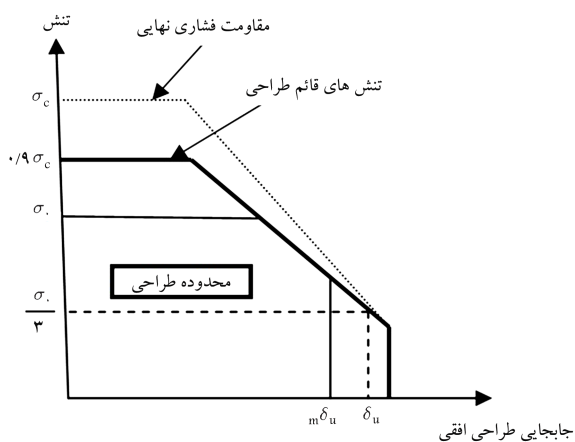
در دستورالعمل، برای محاسبه‌ی نیروی جانبی وارد بر سامانه‌ی جداساز و اعضای سازه‌ی زیر آن، رابطه‌ی ۲۳ و برای محاسبه‌ی نیروی جانبی وارد بر اعضای سازه‌ی بالاتر از تراز جداسازی، رابطه‌ی ۲۴ ارائه شده است؛ در حالی که در روش پیشنهادی، فقط رابطه‌ی ۱۸ استفاده شده است. دلیل تفاوت مذکور این است که در دستورالعمل شکل‌پذیری سازه‌ی فوقانی در نظر گرفته می‌شود و نیروی جانبی وارد بر اعضای سازه‌ی بالاتر از تراز جداسازی با لحاظ کردن ضریب رفتار R_I ، که یک ضریب کاهنده‌ی نیرو براساس شکل‌پذیری سازه‌ی فوقانی است، محاسبه می‌شود؛ در حالی که در روش پیشنهادی، این ضریب کاهنده براساس شکل‌پذیری در نظر گرفته نمی‌شود. اما متعاقباً با در نظر گرفتن رفتار خطی سازه، روش پیشنهادی برای حیظه‌ی گسترده‌تری از ساختمان‌ها مجاز است. به صورتی که نیروی محاسبه‌شده در دستورالعمل برای ساختمان‌های تا ارتفاع بیشینه‌ی ۲۰ متر مجاز است،^[۱۴] در حالی که در روش



شکل ۱۰. جزئیات جداگرهای لاستیکی با هسته‌ی سربی.



شکل ۱۱. منحنی نیرو - جابه‌جایی جداگرهای لاستیکی با هسته‌ی سربی.



شکل ۱۲. محدوده‌ی تغییرشکل‌های طراحی.

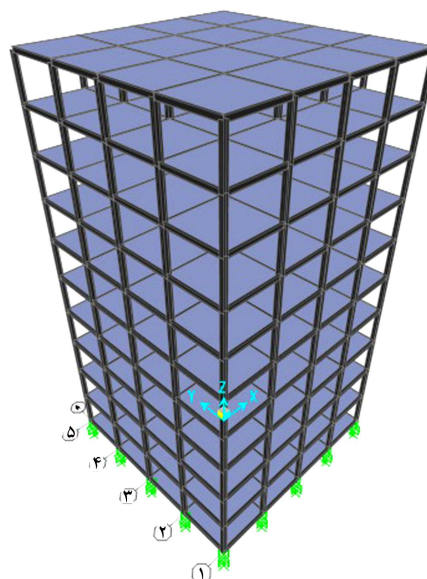
جداسازها از روابط ۲۵ و ۲۶ تعیین می‌شود:

$$\sigma = \sigma_c \left(1 - \frac{\gamma}{\alpha_c \cdot S_r}\right) \quad (25)$$

$$\sigma = \sigma_c \left(1 - \frac{\gamma}{4}\right) + \frac{3}{4} \gamma \quad (26)$$

که در آن‌ها، σ_c مقاومت فشاری نهایی جداگر، γ کرنش برشی و S_r ضریب شکل ثانویه جداگر است. هر یک از مدل‌ها مطابق شکل ۱۱ با پارامترهای K_d و K_u مشخص می‌شوند، که به ترتیب سختی اولیه، سختی ثانویه و محل تقاطع حلقه‌ی هیستریزس با محور قائم است. پارامترهای D_y و نسبت سختی پس از تسلیم به سختی قبل از تسلیم نیز پارامترهای وابسته‌ی هستند، که تابعی از این سه پارامتر هستند. سختی ثانویه (سختی پس از تسلیم) از رابطه‌ی ۲۷ محاسبه می‌شود:

$$K_d = C_{Kd}(K_r + K_p) \quad (27)$$



شکل ۹. مدل ۱۰ طبقه‌ی مورد بررسی.

مقارن هستند، ممان پیش‌فشی ایجاد شده مقدار قابل توجهی نداشته است. مدل‌سازی در نرم‌افزار sap.۲۰۰۰ نسخه‌ی ۱۴/۱۷ انجام شده و برای در نظر گرفتن رفتار غیرخطی اعضای تیر و ستون از مفاصل خمیری در دو انتهای تیر و ستون با استفاده از تعریف FEMA-۳۵۶ و برای مدل‌سازی جداسازها از المان غیرخطی NLLINK^۲ استفاده شده است.

۲.۴. مشخصات سیستم جداسازی

جداگرهای لرزه‌یی به‌طور کلی به دو دسته‌ی جداگرهای لاستیکی (نظیر جداگرهای لاستیکی با میرایی بالا (HDRB)^۳ و جداگرهای لاستیکی با هسته‌ی سربی (LRB)^۴ و جداگرهای لغزشی (نظیر جداگرهای پاندولی اصطکاکی (FPS)^۵) تقسیم می‌شوند. جداگرهای با سیستم باربر لاستیکی از چندین لایه‌ی لاستیکی و فلزی تشکیل می‌شوند، که برای تأمین شکل‌پذیری افقی و سختی قائم لازم، این صفحات لاستیکی و فلزی با فرآیند خاصی به یکدیگر چسبانده می‌شوند. جزئیات جداگرهای لاستیکی با هسته‌ی سربی، که در این نوشتار از آنها استفاده شده است، در شکل ۱۰ نشان داده شده است. در داخل این جداگرها، یک استوانه‌ی سربی به منظور استهلاک بیشتر انرژی تعبیه شده است.^(۱۷، ۱۸) بنابراین سیستم جداساز LRB علاوه بر اینکه وزن ساختمان را تحمل می‌کند، هم شکل‌پذیری افقی از طریق ایجاد نیروهای بازگرداننده به وضعیت اولیه و هم میرایی هیستریزس لازم را ایجاد می‌کند. منحنی رفتار جداساز LRB در شکل ۱۱ نشان داده شده است.

در این پژوهش، جداگرها براساس برخی ضوابط و توصیه‌های ابلاغیه‌های شماره‌ی ۲۰۰۹ و ۱۴۴۶ آیین‌نامه‌ی ژاپن طراحی شده‌اند. مشخصات مکانیکی جداگرهای LRB نیز مطابق توصیه‌های ابلاغیه‌های شماره‌ی ۲۰۰۹ و ۱۴۴۶ آیین‌نامه‌ی ژاپن در نظر گرفته شده است. مطابق ضوابط آیین‌نامه‌ی ژاپن، در این جداسازها ابتدا میزان مقاومت فشاری و برشی مجاز و دیگر خواص مکانیکی تجهیزات تعیین شده، سپس مطابق شکل ۱۲، میزان جابه‌جایی‌های افقی تجهیزات جداگر لرزه‌یی طوری تعیین شده است که میزان این جابه‌جایی‌ها کمتر از جابه‌جایی ناشی از بارهای معادل $\frac{1}{4}$ مقاومت قائم طراحی جداسازها شود. میزان تنش فشاری در

جدول ۳. مشخصات سیستم‌های جداسازی برای هر یک از مدل‌ها.

جداساز	K_u (KN/m)	K_d (KN/m)	$K_{eq@D}$ (KN/m)	h_{eq} (%)	D (m)	Q_d (KN)
مدل ۲ طبقه	۱۲۵۰	۹۱	۱۴۰	۲۱	۰٫۲۸۰	۱۴
مدل ۴ طبقه	۲۳۵۲	۱۵۸	۲۶۷	۲۶	۰٫۳۴۰	۳۸
مدل ۶ طبقه	۳۳۰۰	۱۸۷	۳۲۰	۲۷	۰٫۳۷۵	۵۴
مدل ۸ طبقه	۳۹۳۳	۲۸۸	۴۱۳	۲۳	۰٫۴۳۷	۵۹
مدل ۱۰ طبقه	۵۰۰۰	۳۳۱	۴۸۰	۲۴	۰٫۵۰۰	۷۶

این تذکر لازم است که به منظور بررسی صحت مدل‌سازی سیستم جداساز و کنترل نتایج تحلیل دینامیکی غیرخطی، از مدل بررسی‌شده نعیم و کلی در کتاب طراحی لرزه‌ی سازه‌های جداسازی شده^[۱۷] استفاده شده است. این مدل به‌عنوان مدل مبنا در نظر گرفته شده و با طراحی مجدد آن، روند مدل‌سازی و نتایج تحلیل مورد بررسی قرار گرفته است.

۳.۴. رکوردهای مورد استفاده

رکوردهای مورد استفاده در این پژوهش همگی مربوط به زلزله‌های رخ داده در ایران هستند. با توجه به اینکه این رکوردها از مجموعه‌ی رکوردهای ثبت شده در شبکه‌ی شتاب‌نگاری مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن انتخاب شده‌اند، برای استفاده در تحلیل‌های دینامیکی تاریخچه‌ی زمانی، ابتدا این رکوردها اصلاح و حذف نویز شده‌اند، که فیلترهای بالاگذر و پایین‌گذر براساس مقادیر پیشنهادی قدرتی و همکاران^[۱۹] انتخاب شده‌اند.

در این پژوهش اعمال رکوردهای زلزله به سازه به همان شکلی که استخراج شده‌اند، هیچ نتیجه‌ی به دست نمی‌دهد؛ لذا برای امکان مقایسه‌ی نتایج حاصل از روش پیشنهادی با نتایج تحلیل‌های دینامیکی رکوردهای زلزله مقیاس شده‌اند. با مقیاس کردن رکوردها علاوه بر جلوگیری از ایجاد پراکندگی زیاد در نتایج تحلیل‌های دینامیکی، امکان مقایسه‌ی نتایج رکوردهای حوزه‌ی دور و نزدیک با یکدیگر نیز فراهم شده است.^[۱۶] در سازه‌های جداسازی شده معمولاً مقیاس کردن شتاب‌نگاشت‌ها براساس PGV صورت می‌گیرد، چرا که دوره‌ی تناوب اصلی سازه در قسمت سرعت ثابت طیف قرار دارد، اما با توجه به اینکه در آیین‌نامه‌ی ۲۸۰۰ مقیاس کردن رکوردها بر مبنای PGA است، رکوردها بر این مبنای مقیاس در آمده‌اند. در این مطالعه از رکورد حوزه‌ی دور و ۷ رکورد حوزه‌ی نزدیک در تحلیل‌های تاریخچه‌ی زمانی استفاده شده است، تا حالت‌های بیشتری در مقایسه‌ی نتایج روش پیشنهادی با تحلیل‌های تاریخچه‌ی زمانی مدنظر قرار گیرد. این تذکر لازم است که این دو مجموعه رکورد ۷ تایی حوزه‌ی دور و حوزه‌ی نزدیک که مشخصات آنها به ترتیب در جداول ۴ و ۵ بیان شده است، از بین ۱۶ رکورد حوزه‌ی دور و ۱۵ رکورد حوزه‌ی نزدیک ایران انتخاب و مقیاس شده‌اند، تا بهترین انطباق را با طیف طرح آیین‌نامه داشته باشند.

۵. نتایج و بحث

پس از انجام تحلیل‌ها و تعیین نتایج حاصل از روش تحلیل خطی معادل پیشنهادی و نتایج تحلیل‌های تاریخچه‌ی زمانی مدل‌های در نظر گرفته شده مشاهده شد که مقادیر پاسخ در زلزله‌های حوزه‌ی نزدیک به مراتب بزرگ‌تر از پاسخ‌های حوزه‌ی دور بوده است، که این امر به دلیل ماهیت ضربه‌ی رکوردهای حوزه‌ی نزدیک و اثرات خاص

که در آن، C_{kd} ضریب اصلاحی، K_d وابسته به کرنش برشی، K_r سختی جانبی لاستیک و K_p سختی جانبی اضافی ناشی از هسته‌ی سربی است، که مقادیر آنها از روابط ۲۸ الی ۳۰ محاسبه می‌شود:

$$K_r = G_r \cdot \frac{A_r}{H} \quad (28)$$

$$K_p = \alpha \cdot \frac{A_p}{H} \quad (29)$$

$$C_{kd} = \begin{cases} 0,799\gamma^{-0,23} & [\gamma < 0,25] \\ \gamma^{-0,25} & [0,25 < \gamma < 1,0] \\ \gamma^{-0,12} & [1 < \gamma < 2,5] \end{cases} \quad (30)$$

که در آن‌ها، G_r سختی برشی لاستیک، A_r سطح مقطع لاستیک، H ارتفاع جداساز، A_p سطح مقطع هسته‌ی سربی، و α مدول برشی سرب است. مقدار نیروی تسلیم هسته‌ی سربی از رابطه‌ی ۳۱ محاسبه می‌شود:

$$Q_d = C_{Qd} \cdot \sigma_{pb} \cdot A_p \quad (31)$$

که در آن، C_{Qd} ضریب اصلاحی، Q_d وابسته به کرنش برشی سرب است که از رابطه‌ی ۳۲ محاسبه می‌شود، σ_{pb} تنش برشی سرب و A_p سطح مقطع هسته‌ی سربی است.

$$C_{Qd} = \begin{cases} 2,36\gamma^{0,21} & [\gamma < 0,1] \\ 1,106\gamma^{0,125} & [0,1 < \gamma < 0,5] \\ 1 & [\gamma > 0,5] \end{cases} \quad (32)$$

سختی مؤثر (K_{eq}) به صورت شیب خط واصل دو نقطه‌ی پیک حلقه‌ی هیستریزس تعریف می‌شود و مقدار آن را می‌توان از رابطه‌ی ۳۳ به دست آورد:

$$K_{eq} = \frac{Q_d}{\gamma \cdot H} + K_d \quad (33)$$

که در آن، K_{eq} سختی معادل در جابه‌جایی $D = \gamma \cdot H$ است. سطح زیر منحنی هیستریزس که بیان‌گر میزان انرژی مستهلک شده در هر سیکل حرکتی جداگر LRB است، با استفاده از رابطه‌ی ۳۴ محاسبه می‌شود:

$$W_D = 4Q_d(D - D_y) \quad (34)$$

چنانچه نسبت سختی اولیه‌ی جداساز به سختی پس از تسلیم را با β نشان دهیم، میرایی معادل در جابه‌جایی طراحی به صورت رابطه‌ی ۳۵ و اثر دما در پارامترهای طراحی K_d و Q_d به صورت روابط ۳۶ و ۳۷ بیان می‌شود:

$$h_{eq} = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{Q_d \left\{ D - \frac{Q_d}{(1-\beta) \cdot K_d} \right\}}{K_{eq} \cdot D^2} \quad (35)$$

$$K_d(t) = K_d(t_0) \cdot \exp(-0,0027 \times (t - t_0)) \quad (36)$$

$$Q_d(t) = Q_d(t_0) \cdot \exp(-0,00879 \times (t - t_0)) \quad (37)$$

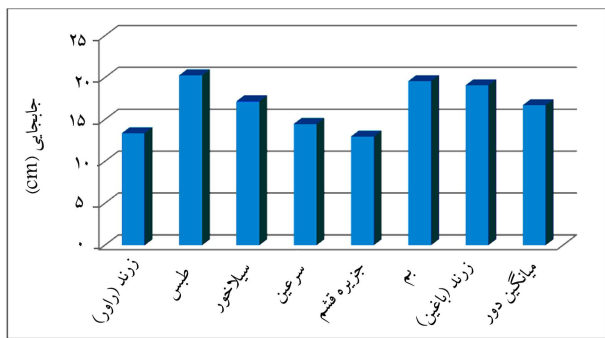
در جداگر LRB، میرایی هیستریزس با تسلیم هسته‌ی سربی ایجاد می‌شود. مشخصات جداگرها که براساس یک روند سیکل‌وار طراحی شده‌اند، در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۴. رکوردهای حوزهی دور انتخابی.

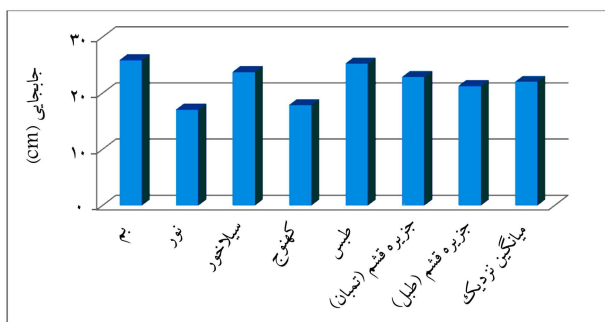
زلزله	ایستگاه	شماره رکورد	PGA (g)	تاریخ
زرنند	راور	۳۶۶۱	۰٫۱۲۱	۲۰۰۵/۰۲/۲۲
طیس	سده	PEER-۷۳ Sedeh	۰٫۰۳۸	۱۹۷۸/۰۹/۱۹
سیلاخور	چغابوندی	۴۰۱۸/۰۳	۰٫۱۷۲	۲۰۰۶/۰۳/۳۱
سرعین	اردبیل ۱	۱۶۹۳	۰٫۱۱۵	۲۰۰۲/۰۶/۲۸
جزیرهی قشم	سوزا	۴۶۷۸/۰۱	۰٫۱۶۸	۲۰۰۸/۱۰/۰۹
بم	محمودآباد مسکون	۳۱۶۲	۰٫۱۱۹	۲۰۰۸/۰۹/۱۰
زرنند	باغین	۳۶۶۳	۰٫۰۲	۲۰۰۵/۰۲/۲۲

جدول ۵. رکوردهای حوزهی نزدیک انتخابی.

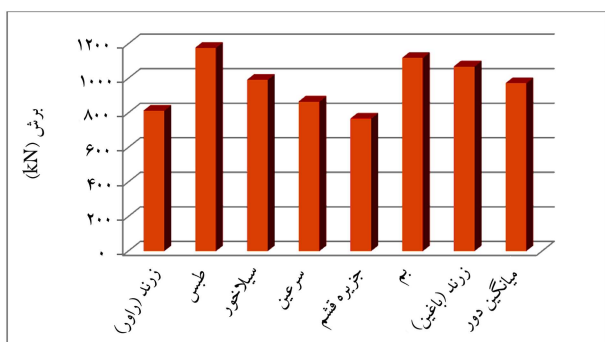
زلزله	ایستگاه	شماره رکورد	PGA (g)	تاریخ
بم	بم	۳۱۶۸/۰۲	۰٫۷۹۹	۲۰۰۳/۱۲/۲۶
نور	حسن کیف	۳۳۳۳	۰٫۹۲۲	۲۰۰۴/۰۵/۲۸
سیلاخور	چالان چولان	۴۰۲۷/۰۸	۰٫۴۲۳	۲۰۰۶/۰۳/۳۱
کهنوج	صوغان	۳۹۹۸	۰٫۰۸	۲۰۰۶/۰۲/۲۸
طیس	طیس	PEER-۹۱۰۱ Tabas	۰٫۸۵۶	۱۹۷۸/۰۹/۱۶
جزیرهی قشم	تیمان	۴۶۸۶/۰۳	۰٫۵۹۷	۲۰۰۸/۰۹/۱۰
جزیرهی قشم	طبل	۴۶۷۵/۰۱	۰٫۰۸۹	



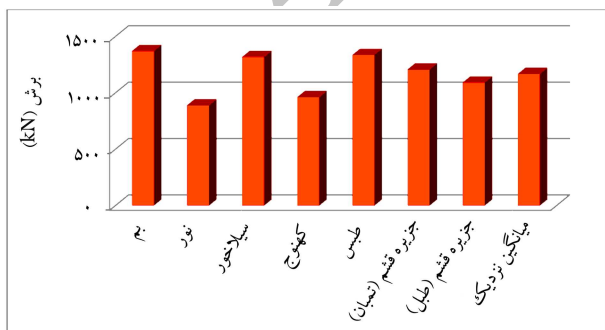
شکل ۱۴. جابه جایی بیشینهی تراز پایهی ساختمان ۶ طبقه تحت رکوردهای حوزهی دور.



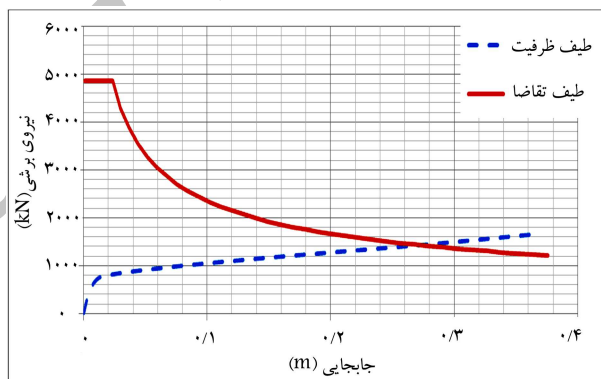
شکل ۱۵. جابه جایی بیشینهی تراز پایهی ساختمان ۶ طبقه تحت رکوردهای حوزهی نزدیک.



شکل ۱۶. برش پایهی بیشینهی در ساختمان ۶ طبقه تحت رکوردهای حوزهی دور.

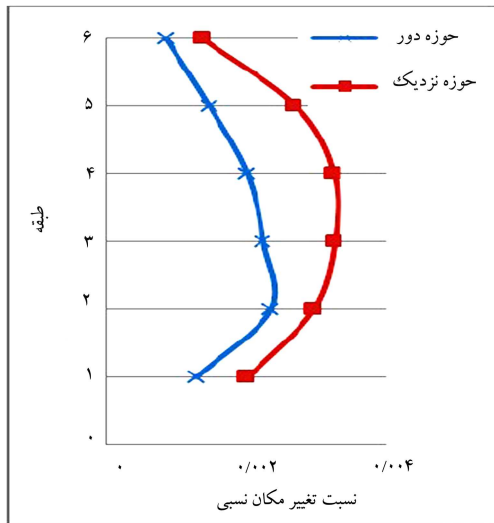


شکل ۱۷. برش پایهی بیشینهی تراز پایهی ساختمان ۶ طبقه تحت رکوردهای حوزهی نزدیک.

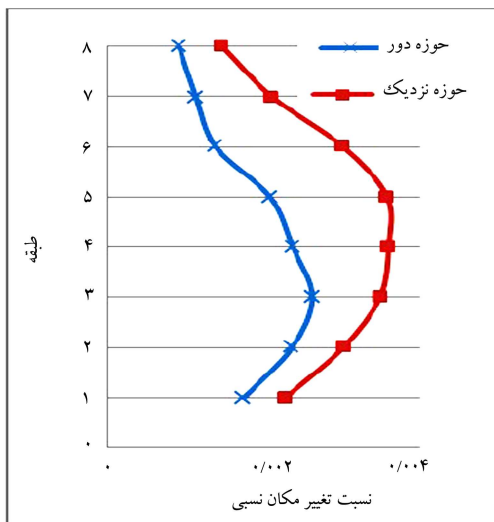


شکل ۱۳. طیف ظرفیت و طیف نیاز در مدل ۶ طبقه.

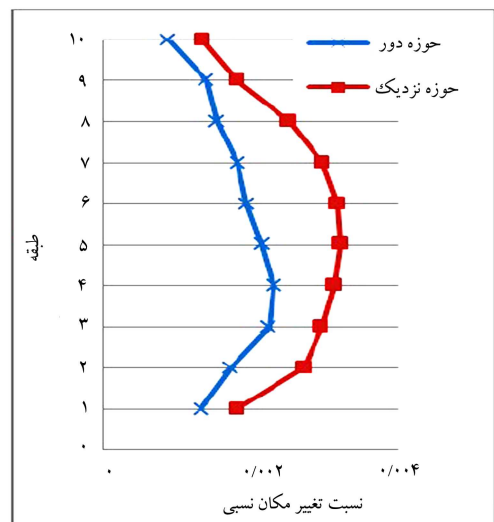
در سازه‌های شکل‌پذیر است. همچنین مشاهده شده است که پاسخ جابه‌جایی تراز پایه و برش پایه‌ی کلیه رکوردها کمتر از مقادیر پاسخ روش پیشنهاد شده است، که این مطلب بیان‌گر ضریب اطمینان روش پیشنهادی در تعیین مقادیر پاسخ سازه است. در شکل ۱۳، طیف ظرفیت و طیف نیاز در مدل ۶ طبقه پس از هم‌گرا شدن پاسخ‌ها در روش پیشنهادی به عنوان نمونه نشان داده شده است. در شکل‌های ۱۴ و ۱۵، جابه‌جایی بیشینهی تراز پایهی ساختمان ۶ طبقه تحت رکوردهای حوزهی دور و نزدیک و در شکل‌های ۱۶ و ۱۷ برش پایهی بیشینه در ساختمان ۶ طبقه تحت رکوردهای حوزهی دور و نزدیک نشان داده است. مطابق شکل ۱۳، جابه‌جایی استاندارد تراز جداساز به دست آمده از روش پیشنهادی برابر با ۲۷/۵ سانتی‌متر است، که با مقایسه با جابه‌جایی بیشینهی تراز پایهی ساختمان ۶ طبقه تحت رکوردهای حوزهی دور در شکل ۱۴ (۱۹ سانتی‌متر) و جابه‌جایی بیشینهی تراز پایهی ساختمان ۶ طبقه تحت رکوردهای حوزهی نزدیک در شکل ۱۵ (۲۵ سانتی‌متر) به وضوح مشاهده می‌شود که مقادیر حاصل از تحلیل‌های تاریخچه‌ی زمانی از مقادیر به دست آمده



الف) ساختمان ۶ طبقه؛



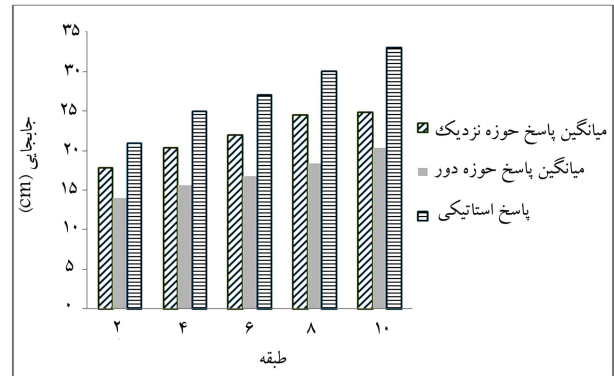
ب) ساختمان ۸ طبقه؛



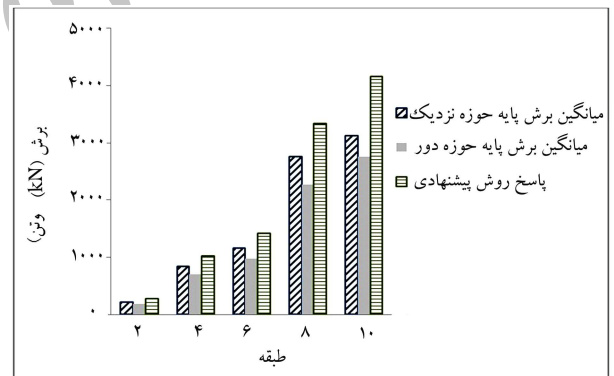
ج) ساختمان ۱۰ طبقه.

شکل ۲۱. میانگین تغییر مکان جانبی نسبی برای رکوردهای حوزه دور و نزدیک و روش پیشنهادی.

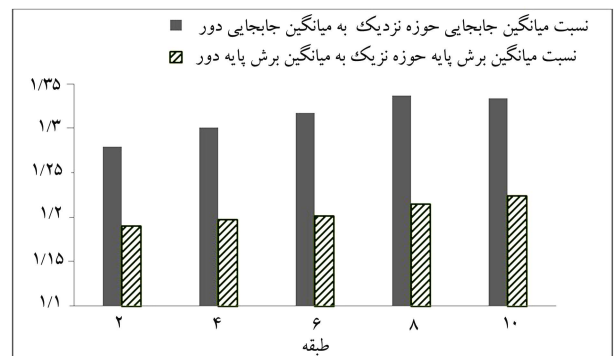
از روش پیشنهادی کمتر است و با توجه به میزان اختلاف موجود، این روش دقت مناسبی دارد. همچنین مطابق شکل ۱۳، نیروی لرزه‌یی در لایه‌ی جداساز ۸-۱۴۰ کیلونیوتن است، که مقایسه‌ی این مقدار با برش پایه‌ی بیشینه در ساختمان ۶ طبقه تحت رکوردهای حوزه دور در شکل ۱۶ (۱۱۷۹ کیلونیوتن) و برش پایه‌ی بیشینه‌ی تراز پایه‌ی ساختمان ۶ طبقه تحت رکوردهای حوزه نزدیک در شکل ۱۷ (۱۳۷۲ کیلونیوتن) مؤید نتیجه‌ی فوق است. در شکل‌های ۱۸ و ۱۹ میانگین مقادیر پاسخ جابه‌جایی تراز پایه و برش پایه تحت رکوردهای حوزه دور و نزدیک با یکدیگر و با مقادیر پاسخ حاصل از روش پیشنهادی مقایسه شده‌اند. در شکل ۲۰، نسبت میانگین جابه‌جایی و برش پایه در زلزله‌ی حوزه نزدیک



شکل ۱۸. مقایسه‌ی جابه‌جایی پایه ناشی از رکوردهای حوزه دور و نزدیک با جابه‌جایی در روش پیشنهادی.



شکل ۱۹. مقایسه‌ی برش پایه ناشی از رکوردهای حوزه دور و نزدیک با برش پایه در روش پیشنهادی.

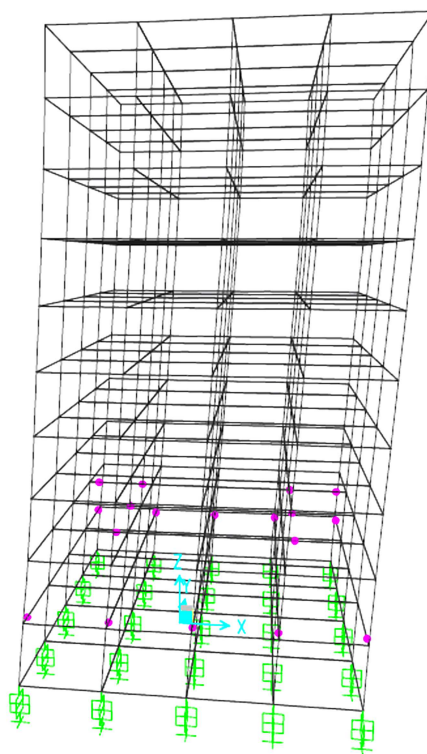


شکل ۲۰. مقایسه‌ی نسبت میانگین پاسخ‌ها در دو حالت دور و نزدیک.

به مقادیر متناظر در زلزله‌های حوزه‌ی دور نشان داده شده است. مطابق شکل مذکور، جابه‌جایی‌های حوزه‌ی نزدیک مقادیری بین ۲۷٪ تا ۳۴٪ بزرگ‌تر از جابه‌جایی‌های ناشی از زلزله‌های حوزه‌ی دور دارند، که این اختلاف به دلیل پالس‌های سرعت و جابه‌جایی در رکوردهای حوزه‌ی نزدیک است، که باعث ایجاد جابه‌جایی‌های بزرگی در تراز جداسازی می‌شوند. البته این نسبت در مورد برش پایه‌ی کمتر و در حدود ۱۸٪ تا ۲۲٪ است، که بیان‌گر این نکته است که در سازه‌های با جداسازی لرزه‌ی زلزله‌های حوزه‌ی نزدیک در مقایسه با زلزله‌های حوزه‌ی دور اثر افزایش‌دهی بیشتری در پاسخ جابه‌جایی دارند. همچنین مشاهده می‌شود که با افزایش ارتفاع، درصد اختلاف بیشتر می‌شود. با توجه به اینکه در سازه‌های با سیستم جداسازی لرزه‌ی جابه‌جایی تراز پایه اهمیت زیادی دارد؛ لذا در نظر گرفتن رکوردهای حوزه‌ی نزدیک زمانی که از تحلیل‌های تاریخی‌ی زمانی استفاده می‌کنیم، اهمیت ویژه‌ی دارد.

مقادیر تغییرمکان نسبی به‌دست‌آمده از روش پیشنهادی در ساختمان‌های ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ طبقه کوچک‌تر از $\frac{1}{3}$ و همچنین برای کلیه‌ی رکوردها مقادیر تغییرمکان نسبی طبقات در هر مدل از مقادیر متناظر حاصل از روش پیشنهادی کوچک‌تر بوده است، که این مقایسه برای ساختمان‌های ۶، ۸ و ۱۰ طبقه در شکل ۲۱ نشان داده شده است.

در شکل ۲۱ الف مقادیر میانگین تغییرمکان نسبی برای رکوردهای حوزه‌ی دور و میانگین تغییرمکان نسبی برای رکوردهای حوزه‌ی نزدیک و تغییرمکان نسبی به‌دست‌آمده از روش پیشنهادی در ساختمان ۶ طبقه نشان داده شده است. با دقت در این شکل مشخص می‌شود که مقادیر بیشینه‌ی تغییرمکان نسبی در رکوردهای حوزه‌ی نزدیک به نسبت حوزه‌ی دور در طبقات بالاتری ایجاد می‌شود. در شکل‌های ۲۱ ب و ۲۱ ج این مقادیر به ترتیب برای ساختمان‌های ۸ و ۱۰ طبقه نشان داده شده است.



شکل ۲۲. مفاصل خمیری ایجادشده در مدل ۱۰ طبقه تحت رکورد حوزه‌ی نزدیک. پ.م

که در این ساختمان‌ها نیز مقادیر بیشینه‌ی تغییرمکان نسبی در رکوردهای حوزه‌ی نزدیک به نسبت حوزه‌ی دور در طبقات بالاتری ایجاد شده است. این موضوع می‌تواند بیان‌گر این مطلب باشد که در تحریکات حوزه‌ی نزدیک به نسبت تحریکات حوزه‌ی دور، مدهای ارتعاشی بالاتر بیشتر فعال می‌شوند. پس از انجام تحلیل تاریخی‌ی زمانی فقط در مدل ۱۰ طبقه تحت رکورد حوزه‌ی نزدیک به چند مفصل خمیری در سازه مشاهده شده و در دیگر مدل‌ها و تحت دیگر رکوردها مفصل خمیری ایجاد نشده است. مطابق شکل ۲۲، این مفاصل در تیرهای طبقات اول و دوم ایجاد شده‌اند و با توجه به اینکه دوران ایجادشده در این مفاصل در محدوده‌ی IO قرار گرفته است، عملکرد مناسبی از این سیستم مشاهده شده است.

۶. نتیجه‌گیری

در این نوشتار، یک روش برای طراحی ساختمان‌های با سیستم جداسازی لرزه‌ی در ایران بر مبنای آیین‌نامه‌ی ژاپن و با در نظر گرفتن شرایط ساخت‌گاهی و لرزه‌خیزی و همچنین ضوابط آیین‌نامه‌ی طراحی لرزه‌ی ایران ارائه شده است. سپس به منظور ارزیابی روش پیشنهادی چند مدل سازه‌ی در نظر گرفته شده و نتایج حاصل از روش پیشنهادی با نتایج تحلیل‌های تاریخی‌ی زمانی غیرخطی مقایسه شده است. نتایج به‌دست‌آمده عبارت‌اند از:

۱. با مقایسه‌ی نتایج تحلیل‌های تاریخی‌ی زمانی با مقادیر پاسخ روش پیشنهادی مشاهده شده است که در همه‌ی حالات، مقادیر پاسخ‌های دینامیکی کمتر از پاسخ‌های روش پیشنهادی است و با توجه به نزدیک بودن مقادیر پاسخ رکوردهای حوزه‌ی نزدیک به پاسخ‌های روش پیشنهادی می‌توان گفت که این روش دقت و ضریب اطمینان مناسبی دارد.

۲. علی‌رغم مقیاس کردن رکوردهای دور و نزدیک، مقادیر پاسخ‌های حوزه‌ی نزدیک اختلاف قابل توجهی نسبت به رکوردهای حوزه‌ی دور داشته‌اند، که میزان این اختلاف با افزایش ارتفاع سازه بیشتر می‌شود است.

۳. با مقایسه‌ی نسبت میانگین پاسخ‌های جابه‌جایی تراز پایه و برش پایه در زلزله‌های حوزه‌ی نزدیک به مقادیر متناظر در زلزله‌های حوزه‌ی دور مشاهده شده است که جابه‌جایی‌های حوزه‌ی نزدیک، مقادیری بین ۲۷٪ تا ۳۴٪ بزرگ‌تر از جابه‌جایی‌های ناشی از زلزله‌های حوزه‌ی دور داشته‌اند. البته این نسبت در مورد برش پایه کمتر و در حدود ۱۸٪ تا ۲۲٪ بوده است، که بیان‌گر این نکته است که در سازه‌های با جداسازی لرزه‌ی زلزله‌های حوزه‌ی نزدیک در مقایسه با زلزله‌های حوزه‌ی دور اثر افزایش‌دهی بیشتری در پاسخ جابه‌جایی تراز پایه نسبت به برش پایه دارند، که این اختلاف با افزایش ارتفاع سازه بیشتر می‌شود. با توجه به اینکه در سازه‌های با سیستم جداسازی لرزه‌ی جابه‌جایی تراز پایه اهمیت زیادی دارد؛ لذا در نظر گرفتن رکوردهای حوزه‌ی نزدیک در زمانی که از تحلیل‌های تاریخی‌ی زمانی استفاده می‌کنیم، اهمیت ویژه‌ی دارد.

۴. بررسی مدل‌ها تحت زلزله‌های دور و نزدیک بر مبنای رکوردهایی که بیشترین پاسخ را در سازه ایجاد می‌کنند، نشان داده است که علی‌رغم اینکه طیف آیین‌نامه‌ی ۲۸۰۰ در زمان تناوب‌های بالا مقدار طیف را در جهت اطمینان ارائه کرده است، اما در نظر گرفتن ضریبی برای لحاظ کردن اثرات حوزه‌ی نزدیک به‌خصوص در طراحی سازه‌های با سیستم جداسازی لرزه‌ی ایمن و اقتصادی کمک می‌کند.

در زمین‌های مشابه و مناطق با لرزه‌خیزی مشابه می‌توان به این نتیجه رسید که با نرم‌تر شدن خاک محل، درصد اختلاف مقادیر شتاب طیفی در دو آیین‌نامه، به مراتب کم‌تر می‌شود و برای مثال در مناطق با خطر نسبی کم از ۴۱٪ برای خاک نوع I به ۲۱٪ برای خاک نوع IV می‌رسد.

تقدیر و تشکر

در پایان از جناب آقای پروفیسور فوجیتانی از دانشگاه کوبه که در مراحل مختلف این پژوهش ما را یاری کرده و با تهیه و ارسال آخرین ویرایش آیین‌نامه‌ی ژاپن، امکان انجام هر چه بهترین پژوهش را فراهم ساخته‌اند، کمال تشکر و قدردانی را داریم.

۵. با مقایسه‌ی روابط توزیع برش در ارتفاع ساختمان در آیین‌نامه‌ی ایران و ژاپن مشاهده شده است که آیین‌نامه‌ی ژاپن در توزیع برش، در طبقات فوقانی مقادیر بیشتری را نسبت به مقادیر برش متناظر در آیین‌نامه‌ی ایران به دست می‌دهد، که این امر بیان‌گر در نظر گرفتن اثر مدهای بالاتر در توزیع برش آیین‌نامه‌ی ژاپن است.

۶. با مقایسه‌ی طیف شتاب در آیین‌نامه‌ی ژاپن و آیین‌نامه‌ی ۲۸۰۰ مشاهده شده است که مقادیر شتاب‌های طیفی در آیین‌نامه‌ی ژاپن، در تمام نواحی خاک‌ها بیشتر از استاندارد ۲۸۰۰ است، که در زمان تناوب‌های بالا این اختلاف کمتر می‌شود.

۷. با در نظر گرفتن درصد اختلاف طیف‌های شتاب در دو آیین‌نامه‌ی ایران و ژاپن

پانویس‌ها

1. $\max \delta_{design}$
2. nonlinear link (NLLINK)
3. high damping rubber bearing (HDRB)
4. lead rubber bearing (LRB)
5. friction pendulum system (FPS)

منابع (References)

1. Otani, S., Hiraishi, H., Midorikawa, M. and Teshigawara, M. "New seismic design provisions in Japan", ACI SP-197, Behavior and Design of Concrete Structure for Seismic Performance, American Concrete Institute, pp. 87-104 (2000).
2. Kamoto, O.S., Kani, N., Higashino, M., Koshika, N., Kimizuka, M., Midorikawa, M. and Ijba, M. "Recent developments in seismically isolated buildings in Japan", *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, 1(2), pp. 213-225 (2002).
3. *Performance Committee for Revising the Iranian Code of Practice for Seismic Resistant Design of Buildings*, Standard No.2008-05 (3rd Edition), Building and Housing Research Center, Tehran (1384).
4. *Guidelines for Design of Seismic Base Isolated Buildings*, Under the Supervision of Technical Committee, (1st Edition), Building and Housing Research Center, Tehran (1389).
5. *Guideline for Design and Practice of Base Isolation Systems in Buildings*, No. 523 of Vice Presidency for Strategic Planning and Supervision, Iran (1389).
6. *Establishment of Technical Criteria Necessary for Safety of Structural Methods for Buildings with Seismic Isolation System*, Notification No. 2009 of the Ministry of Construction, Japan (2009).
7. Otani, S. and Kani, N. "Japanese state of practice in design of seismically isolated buildings", 4th US-Japan Workshop on Performance-Based Earthquake Engineering Methodology for Reinforced Concrete Building Structures, Toba, Japan (2002).
8. Midorikawa, M., Okawa, I., Ijba, M. and Teshigawara, M. "Performance-based seismic design code for buildings in Japan", *Earthquake Engineering and Engineering Seismology*, 4(1), pp. 15-25 (2003).
9. Establishment of Technical Criteria with Respect to Building Materials Used for the Foundation and Principal Building Parts of Buildings and with Respect to Japanese Industrial Standards or Japanese Agricultural Standards, and Quality that Should Apply to These Building Materials, Notification No. 1446 of the Ministry of Construction, Japan (2009).
10. Stipulation of the Value of Z, Methods of Calculating and R_t and A_i and Standards for the Designation by the Designated Administrative Organization of Districts Where the Ground Is Extremely Soft, Notification No. 1793 of the Ministry of Construction, Japan (2009).
11. Calculation of Response and Limit Capacity - Establishment of the Criteria of the Methods for Calculating the Damage Limit Displacement, Td, Bdi, Story Drift, Safety Limit Displacement, Ts, Bsi, Fh and Gs, and the Structural Calculation for Confirming the Structural Safety on the Roof Cladding, etc. and Exterior Wall, Etc, Notification No. 1457 of the Ministry of Construction, Japan (2009).
12. Pan, P., Zamfirescu, D., Nakashima, M. and Nakayasu, N. "Base-isolation design practice in Japan: Introduction to the post-Kobe approach", *Journal of Earthquake Engineering*, 9(1), pp. 147-171 (2005).
13. Kuramoto, H., Teshigawara, M., Okuzono, T., Koshika, N., Takayama, M. and Hori, T. "Predicting the earthquake response of buildings using equivalent single degree of freedom system", *Proceedings of 12th World Conference on Earthquake Engineering*, Auckland, New Zealand (2000).
14. Marino, E.M., Nakashima, M. and Mosalam, K.M. "Comparison of European and Japanese seismic design of steel building structures", *Journal of Structural Engineering*, 27(6), pp. 827-840 (2005).
15. Hoseini, S.H. "Propose a notification for seismic design of buildings with isolation system in Iran", Master of Science thesis, Department of Civil Engineering, University of Kurdistan, Kurdistan, Iran (1390).

16. Kawano, M., Dohi, H. and Matsuda, S. "Study on ground motion above source region during the 1995 Hyogo-ken Nanbu earthquake", *Proceedings of the 11th European Conference on Earthquake Engineering* (1998).
17. Naeim, F. and Kelly, J.M., *Design of Seismic Isolated Structures: From Theory to Practice*, John Wiley and Sons, Inc., New York (1999).
18. Kelly, J.M., *Earthquake-Resistant Design with Rubber*, 2nd Edition, Springer-Verlag, London (1996).
19. Ghodrati Amiri, G., Zahedi, M., Mahdavian, A. and Gholami, S. "Appropriate frequency band for correcting Iranian accelerograms in different site Conditions", *Journal of Faculty of Engineering, University of Tehran*, **38**(2), pp. 231-249 (2004).

Archive of SID