



پارامترهای لرزه‌ای بادبندهای دروازه‌ای به روش طیف ظرفیت

محمود لایق رفعت، کارشناس ارشد سازه، هیئت علمی دانشگاه آزاد واحد زابل*
منصور قلعه نوی، استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد**
* Rlavyegh@yahoo.com ۰۹۱۵۵۴۳۱۸۵۷ * پست الکترونیکی:
** Ghalehnovi@eng.usb.ac.ir * پست الکترونیکی:

چکیده:

یکی از روش‌های مقاوم سازی ساختمان در مقابل بارهای جانبی استفاده از سیستم بادبندی می‌باشد. شکل‌های متداول بادبندهای همگرا مشکلات زیادی در تامین فضای بازشوها و ساختمان به وجود می‌آورد. معماران برای تامین فضای کافی بازشوها، در ساختمان و برطرف کردن مشکل موجود دست به ابداع نوع جدیدی از بادبندها زده‌اند. که مشابه بادبندهای ۷ یا ۸ می‌باشد، با این تفاوت که به جهت تامین فضا بازشوها دیگر اعضای آن مستقیم نیستند و از نقطه‌ای با شیبهای مختلف به هم متصل و در انتهای دیگر به محل اتصال تیر به ستون وصل می‌شوند. با توجه به عدم وجود ضوابط مدون برای طراحی لرزه‌ای این سیستم مهاربندی، برای بررسی رفتار آنها از روش طیف ظرفیت استفاده می‌شود. در این روش حداکثر پاسخ را با در نظر گرفتن ظرفیت سازه و نیاز سازه بر مبنای شتاب و تغییر مکان برآورد می‌کنند. این روش در مقایسه با روش تحلیل دینامیکی غیر خطی یک روش ساده و عملی می‌باشد، هم‌اکنون محققین زیادی در حال مطالعه و بررسی این روش برای بهینه‌دنیای و تکمیل آن می‌باشند. در این مقاله ضمن تشریح روش فوق نحوه استفاده از آن برای محاسبه پارامترهای لرزه‌ای ارائه شده است. باروش ذکر شده چندین نمونه مورد ارزیابی قرار گرفته و پارامترهای لرزه‌ای آنها محاسبه شد که نتایج رضایت بخشی حاصل شد

کلید واژه: بادبند دروازه‌ای، طیف ظرفیت، مهاربند، پارامترهای لرزه‌ای

پارامترهای لرزه‌ای بادبندهای دروازه‌ای به روش طیف ظرفیت

محمود لایق رفعت، کارشناس ارشد سازه، هیئت علمی دانشگاه آزاد واحد زابل*

منصور قلعه نوی، استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد**

Rlayegh@yahoo.com *۰۹۱۵۵۴۳۱۸۵۷ پست الکترونیکی:

Ghalehnovi@eng.usb.ac.ir ** پست الکترونیکی:

چکیده:

یکی از روش‌های مقاوم سازی ساختمان در مقابل بارهای جانبی استفاده از سیستم بادبندی می باشد. شکل‌های متداول بادبندهای همگرا مشکلات زیادی در تامین فضاهای بازشوهای ساختمانی به وجود می آورد. معماران برای تامین فضای کافی بازشوها، در ساختمان و برطرف کردن مشکل موجود دست به ابداع نوع جدیدی از بادبندها زده اند. که مشابه بادبندهای ۷ یا ۸ می باشد، با این تفاوت که به جهت تامین فضا بازشوها دیگر اعضای آن مستقیم نیستند و از نقطه ای با شیبهای مختلف به هم متصل و در انتهای دیگر به محل اتصال تیر به ستون وصل می شوند. با توجه به عدم وجود ضوابط مدون برای طراحی لرزه ای این سیستم مهاربندی، برای بررسی رفتار آنها از روش طیف ظرفیت استفاده می شود. در این روش حداکثر پاسخ را با در نظر گرفتن ظرفیت سازه و نیاز سازه بر مبنای شتاب و تغییر مکان برآورد می کند. این روش در مقایسه با روش تحلیل دینامیکی غیر خطی یک روش ساده و عملی می باشد، هم اکنون محققین زیادی در حال مطالعه و بررسی این روش برای بهبود نتایج و تکمیل آن می باشند. در این مقاله ضمن تشریح روش فوق نحوه استفاده از آن برای محاسبه پارامترهای لرزه ای ارائه شده است، باروش ذکر شده چندین نمونه مورد ارزیابی قرار گرفته و پارامترهای لرزه ای آنها محاسبه شد که نتایج رضایت بخشی حاصل شد.

کلید واژه: بادبند دروازه ای، طیف ظرفیت، مهاربند، پارامترهای لرزه ای

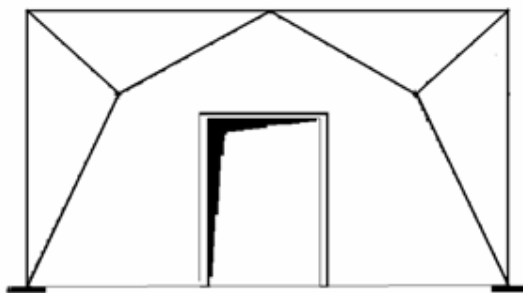
۱ - مقدمه

برای بررسی رفتار دقیق سازه‌ها تحت نیرویی زلزله، انجام تحلیل‌های غیر خطی ضروری می باشد. رفتار سازه‌ها بعد از محدوده ارتجاعی معمولاً به صورت کلاسیک توسط روش‌های تحلیل دینامیکی غیر خطی بررسی می گردد. در این روش از چند شتاب نگاشت مربوط به زلزله‌های گذشته استفاده می شود. رفتار واقعی سازه، با پذیرش برخی فرضیات مورد ارزیابی قرار می گیرد. تحلیل سازه‌ها با یک یا چند شتاب نگاشت خاص با توجه به شرایط منحصر بفرد هر منطقه مخصوصاً از لحاظ ژئوتکنیکی برای قضاوت در مورد رفتار سازه‌ها کافی به نظر نمی رسد. گذشته از آن روش تحلیل دینامیکی غیر خطی بیشتر یک روش پژوهشی و تحقیقاتی می باشد و استفاده از آن در دفاتر مهندسی امکان پذیر نمی باشد. براساس این ضرورت موسسه‌های تحقیقاتی با ارائه سلسله گزارش‌هایی به معرفی روش طیف ظرفیت بر مبنای تحلیل استاتیکی غیر خطی پرداختند. با این روش می توان با بر آورد ظرفیت نهایی و

نیاز لرزه ای سازه ، تغییر مکان و برش پایه سازه را در نقطه عملکرد (نقطه ای که بیانگر وضعیت نهایی سازه تحت اثر یک طیف زلزله خاص می باشد) را محاسبه کرد. با داشتن مختصات نقطه عملکرد طراحی می تواند طراحی دقیق تر ارائه دهد. و اجزای مختلف سازه ، اعم از سازه ای و غیر سازه ای را به گونه طراحی کند که توانایی تحمل تغییر مکان متناظر نقطه مزبور را داشته باشند. در این مقاله ضمن تشریح مختصر روش طیف ظرفیت و نحوه محاسبه نقطه عملکرد سازه آن پرداخته می شود.

۲- سیستم بادبند دروازه ای

استفاده از سیستم مهاربندی واگرا پس از زلزله ۱۹۸۹ لوما پرتیا در سانفرانسیسکو به سرعت گسترش یافت اما به علت هزینه نسبتا بالای اجرای این سیستم بادبندی و همچنین محدودیت در اجرای تیر پیوند و نحوه عملکرد آن، استفاده از این سیستم دارای محدودیتهایی می باشد. و به تبع آن مهندسان تمایل بیشتری برای استفاده از مهاربندهای همگرا از خود نشان می دهند. در استفاده از مهاربندیهای همگرا مشکلات معماری عدیده ای وجود دارد. جهت رفع این مشکلات، معماران دست به ابداع سیستم مهاربندی جدیدی بنام مهاربند دروازه ای زده اند، که نمونه ای از آن در شکل ۱-۱ نشان داده شده است.



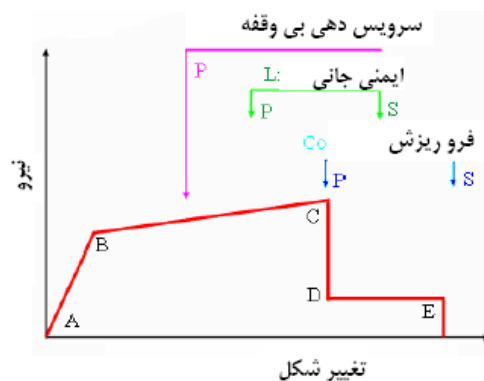
شکل ۱- قاب با مهاربند دروازه ای

بادبندهای دروازه ای به لحاظ تامین فضای بازتر معماری بر بادبند های محوری ارجحیت دارد، ولی سختی آن کمتر و امکان بیشتری به کمانش خارج از صفحه می دهد. پایداری این قاب ها در صفحه قاب ، مشابه دیگر مهاربند های محوری قابل بررسی است. در اغلب قابهای مهاربندی کشور، اتصالات اعضای قاب به یکدیگر و همچنین اتصال اعضای مهاربند به قاب ، مفصلی در نظر گرفته می شود. در قابهای با مهاربندی دروازه ای نیز اتصال اعضای قاب و اعضای مهاربند به گوشه های قاب مفصلی فرض می گردد. اتصال اعضای مهاربند به یکدیگر را نیز می توان از نظر چرخش اعضای در داخل صفحه قاب مفصلی فرض کرد، ولی مفصلی بودن آن برای حرکت عمود بر صفحه قاب باعث ناپایداری هندسی قاب خواهد شد. بنابراین در نقطه تقاطع سه عضو مهاربند، لازم است تا اتصال دارای صلبیت خمشی کافی برای تغییر شکل خارج از صفحه باشد {۱}.

موقعیت اتصال اعضای مهارى به یکدیگر (گره میانی) فضای بازشوی قاب را تعیین می کند. هر چه گره میانی به سمت گوشه حرکتی کند سختی قاب در برابر بارهای جانبی کاهش می یابد. نکته جالب در مورد این بادبند دروازه ای آن است که در اثر اعمال بار جانبی به سمت راست، هر سه عضو مهاربندی سمت چپ به همراه ستون سمت راست در کشش، و هر سه عضو مهاربندی سمت راست به همراه ستون سمت چپ در فشار قرار می گیرند.

۳- روش طیف ظرفیت

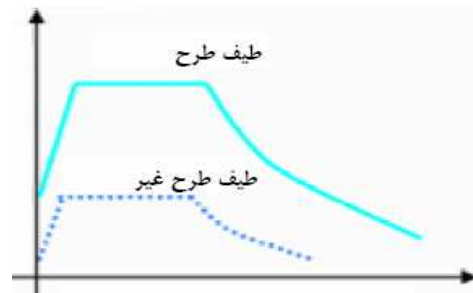
روش طیف ظرفیت بر مبنای تحلیل استاتیکی غیرخطی استوار است. در این روش تحلیل به صورت مرحله به مرحله انجام می شود. در هر گام مقدار از نیرو و یا تغییر مکان نهایی بر روی سازه اعمال می شود. و در مقاطع مختلف، مقادیر تغییر شکل کنترل می شوند و پس از مراجعه به منحنی نیرو - تغییر مکان عضو یا دیاگرام تنش - کرنش مصالح مقادیر سختی اصلاح شده و مرحله بعدی تحلیل بر اساس ماتریس سختی جدید انجام می شود. بدین ترتیب یک منحنی نیرو - تغییر مکان برای هر یک از نقاط سازه حاصل شده که معمولاً برای یک سازه ساختمانی منحنی برش پایه - تغییر مکان بام ملاک عمل قرار می گیرد. این تحلیل مرحله ای تا رسیدن یک یا چند مقطع از سازه به حد انهدام می تواند ادامه یابد. در روش طیف ظرفیت به این منحنی، منحنی ظرفیت سازه ای گفته می شود. در شکل ۲ نمونه ای از منحنی نیرو - تغییر مکان ایده نشان داده شده است.



شکل ۲- نحوه تشکیل منحنی نیرو تغییر مکان سازه

در مرحله بعدی منحنی نیاز لرزه ای سازه با توجه به وضعیت غیر ارتجاعی سازه تهیه می شود. در آیین نامه های فعلی منحنی نیاز الاستیک سازه ها ارائه شده است، در حالیکه در ناحیه غیر ارتجاعی به علت افزایش میرایی سازه که ناشی از میرایی هسیترتیک می باشد، نیاز لرزه ای سازه کاهش می یابد. این کاهش در نیاز لرزه ای یا به عبارتی نیروهای زلزله در آیین نامه فعلی به صورت ضریب رفتار پیش بینی شده است. در روش طیف ظرفیت، متناظر با هر مرحله ای که در بارگذاری برای محاسبه منحنی ظرفیت مد نظر

قرار می گیرد مقدار میرایی سازه با روش های خاصی محاسبه شده و با داشتن این میرایی مقدار کاهش نیروهای زلزله مشخص می شود {۲}.



شکل ۳- طیف کاهش

۴- تبدیل منحنی ظرفیت به طیف ظرفیت

منحنی ظرفیت به صورت برش پایه در برابر جابه جایی بام رسم می گردد. طیف ظرفیت در حقیقت بیان کننده منحنی ظرفیت سازه به صورت طیف پاسخ شتاب- جابه جایی (ADRS) است که به صورت S_a - S_d رسم می گردد. برای هر نقطه با مختصات (Δ_{roof}, V) روی منحنی ظرفیت، با استفاده از روابط زیر، نقطه متناظر با مختصات (S_a-S_d) روی طیف، به دست می آید.

$$S_a = \frac{V/w}{\alpha_1} \quad (1)$$

$$S_d = \frac{\Delta_{roof}}{PF_1 \times \phi_{r,roof,1}} \quad (2)$$

W : بار مرده ساختمان به علاوه قسمتی از بار زنده مورد نظر می باشد ($\frac{V}{W}$ ضریب برش پایه است).

$\phi_{1,roof}$: مقدار شکل مد اول در تراز بام

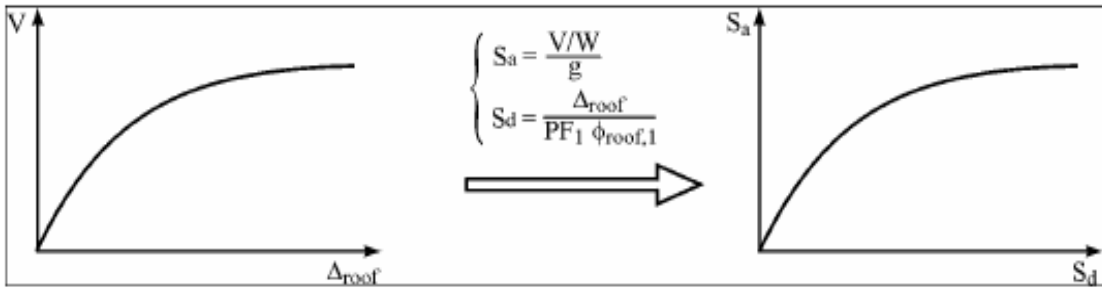
PE_1, α_1 : به ترتیب ضریب جرم مدی و ضریب مشارکت مدی برای اولین مد طبیعی سازه می باشند. این

ضرایب به صورت زیر محاسبه می گردند:

$$\alpha_1 = \frac{\left[\sum_{i=1}^N (W_i \phi_{i1}) / g \right]^2}{\left[\sum_{i=1}^N W_i / g \right] \left[\sum_{i=1}^N (W_i \phi_{i1}^2) / g \right]} \quad (3)$$

$$PF_1 = \frac{\left[\sum_{i=1}^N (W_i \phi_{i1}) / g \right]}{\left[\sum_{i=1}^N (W_i \phi_{i1}^2) / g \right]} \quad (4)$$

به ترتیب جرم و مقدار شکل مد اول در تراز بام هستند. $\phi_{il}, W_i/g$



شکل (۴): منحنی ظرفیت و طیف ظرفیت متناظر با آن

هنگامی که در اثر زلزله، سازه وارد ناحیه غیر خطی می شود میرایی آن را می توان به صورت ترکیبی از میرایی ویسکوز ذاتی و میرایی هیستریزیس تعریف کرد. میرایی هیستریزیس متناسب با سطح زیر منحنی نیرو- تغییر مکان سازه تحت زلزله است. این میرایی را می توان به صورت میرایی ویسکوز معادل (β_{eq}) بیان کرد

$$(\beta_{eq}) = \beta_0 = 0.05 \quad (۵)$$

که در آن :

β_0 : میرایی هیستریزیس بیان شده به صورت میرایی ویسکوز معادل ۰.۰۵٪ میرایی ویسکوز ذاتی سازه، که تا انتهای آنالیز ثابت در نظر گرفته می شود.
مقدار β_0 به صورت زیر قابل محاسبه است:

$$\beta_0 = \frac{1}{4\pi} \frac{E_D}{E_{s0}} \quad (۶)$$

که در آن:

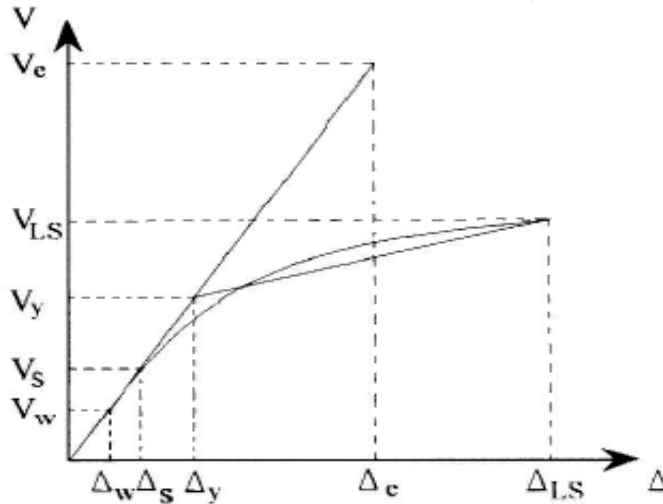
E_D میزان انرژی جذب شده و E_{s0} : ماکزیمم انرژی کرنشی می باشد. برای کاهش طیف پاسخ ۰.۵٪ میرایی، از ضرائب تشدید و یا بزرگ نمای طیف تشدید و یا بزرگ نمایی طیف طرح نیومارک و هال استفاده می شود. ضرائب تشدید نواحی شتاب طیفی ثابت و سرعت طیفی ثابت. در ۴۰ ATC این نسبت ها به ترتیب با ضرائب SR_A و SR_V تحت عنوان ضرائب کاهش طیفی به صورت زیر مشخص شده است:

$$SR_A = \frac{3.21 - 0.68 \ln(\beta_{eff})}{2.12} \geq (SR_A)_{min} \quad (۷)$$

$$SR_V = \frac{2.31 - 0.41 \ln(\beta_{eff})}{1.65} \geq (SR_V)_{min} \quad (۸)$$

۵- بررسی شکل پذیری و ضریب رفتار

آیین نامه‌های طراحی در مقابل زلزله الاستیک باقی ماندن سازه را در مواجهه با زلزله شدید الزامی نمی‌دانند. بلکه اجازه داده می‌شود تا سازه وارد پلاستیک شده و انرژی ناشی از زلزله را در خود مستهلک نماید. به همین دلیل در تعیین نیروی های معادل زلزله جهت تحلیل خطی و طراحی به روش تنش مجاز نیروی زلزله را بر یک ضریبی بنام ضریب رفتار تقسیم می‌شود این ضریب نشان‌دهنده عملکرد لرزه و قابلیت جذب انرژی آن است {۵}.



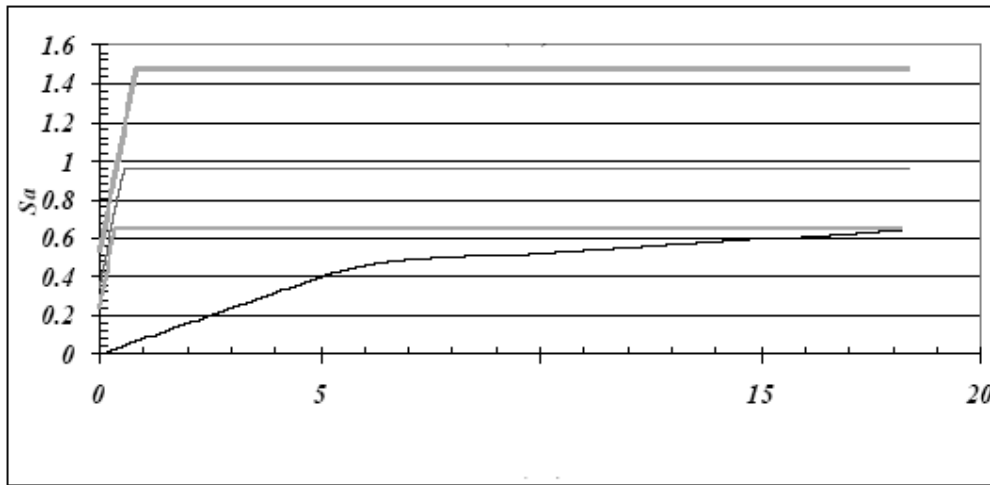
شکل (۵): رفتار عمومی سازه‌ها

در فرآیند محاسبه ضریب رفتار با استفاده از روش طیف ظرفیت همواره تغییر مکان هدف معلوم و برابر تغییر مکان نهایی سازه با حفظ حاشیه ایمنی مناسب می‌باشد. برای تغییر مکان نهایی سازه با کمترین مقدار شرایط انهدام سازه را مد نظر قرار داد و این شرایط عبارتند از: رسیدن مقاطع به حد کرنش انهدام، رسیدن مقاطع به حد کماتش موضعی یا کلی، ایجاد مکانیزم، نقض معیارهای غیر خطی آیین نامه‌ها..... در ادامه مراحل لازم برای محاسبه ضریب رفتار به صورت گام به گام ارائه می‌شود:

- ۱- مشخص شدن نقطه نهایی سازه روی طیف
- ۲- محاسبه میرایی موثر و ضرایب متناظر با آن
- ۳- کاهش طیف نیاز سازه با توجه به ضرایب کاهش
- ۴- محاسبه برش پایه غیر خطی نهایی اعمال شده به سازه با استفاده از طیف نیاز کاهش داده شده
- ۵- محاسبه برش پایه الاستیک نهایی با استفاده از طیف نیاز الاستیک
- ۶- محاسبه ضریب رفتار ناشی از شکل پذیری
- ۷- محاسبه ضریب رفتار ناشی از اضافه مقاومت
- ۸- ضریب رفتار

۶- مثال :

یک قاب چهار طبقه با مهاربند دروازه ای مورد بررسی قرار گرفته و با استفاده از روش طیف ظرفیت پارامترهای لرزه ای آن محاسبه گردیده، طراحی و عملیات تحلیل غیر خطی با استفاده از نرم افزار SAP2000 صورت گرفته است. در زیر یکی از نمودارهای انطباق طیف ظرفیت و طیف نیاز برای محاسبه ضریب رفتار نشان داده شده است.



شکل (۶): نمودار طیف ظرفیت و شتاب در فرمت ADRS

مشخصات $V_{LS} \Delta_{LS}$ از روی نمودار با توجه به 0.02 ارتفاع سازه بدست آمده است. با توجه به نمودار بالا داریم:

$$S_d = 18.4, S_a = 0.645, V_{LS} = 64000, DIS = 23$$

$$V_e = S_a \times W = 170500 \text{ kg}$$

S_a از روی طیف خطی محاسبه شده و W وزن سازه می باشد.

$$R_\mu = \frac{V_e}{V_{LS}} = 2.66$$

$$R_s = \frac{V_{LS}}{V_y} = 1.45 \quad R = R_\mu * R_s = \frac{V_e}{V_{LS}} * \frac{V_{LS}}{V_y} = 3.86$$

جدول زیر نیز ضرایب رفتار محاسبه شده برای سیستم مهاربند دروازه ای با مشخصات مختلف را در مقایسه با مقادیر دینامیکی نشان می دهد، همانطوری که مشاهده می شود ضرایب رفتار محاسبه شده با روش طیف ظرفیت انطباق خوبی با مقادیر ضرایب رفتار محاسبه شده به روش دینامیکی دارد. و میانگین خطای آنها ناچیز است.

جدول ۱: مقادیر ضریب رفتار و ضریب شکل پذیری

تعداد طبقات	ضریب ظرفیت R	دینامیکی R	R_s	C_d	μ
۱ طبقه	3.620	3.310	1.41	3.57	2.53
۲ طبقه	5.370	۴.۹۵	1.720	5.330	3.090
۳ طبقه	4.380	4.090	1.460	4.30	2.940
۴ طبقه	۳.۸۶	۳.۴۵	۱.۴۵	۳.۷۵	۲.۵۸

۷- خلاصه و نتیجه گیری

- ۱- بادبند‌های دروازه ای به علت تامین فضای بازشوها بطور وسیع مورد استفاده قرار می گیرند اما به علت عدم توجه به معیارهای فنی و ضوابط طراحی امکان خسارات فراوان در هنگام زلزله وجود دارد.
- ۲- جهت جلوگیری از خروج گره میانی، اتصالات در این نقطه صلب می باشد.
- ۳- ضریب طول موثر اعضای بادبند برای کمانش داخل صفحه برابر یک فرض می شود.
- ۴- ضریب رفتار جهت طراحی لرزه ای مهاربند‌های دروازه ای، $R = 3.5$ برای طراحی براساس بارهای حدی و $R_w = 5$ برای طراحی براساس تنش مجاز پیشنهاد می شود.

۸- مراجع

- 1-Khatib, I, F., Mahin, S. A., Pister, K. S. (1988). *Seismic behavior of oncentrically braced steel frames. Report NO. CB/EERC-88/01, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkley, California.*
- 2-Moghadam, H. A., Estekanchi, H. E. (1995). "On the characteristics of an Off-center Bracing System". *J. Construction Steel Research, Vol. 35, pp. 361-76.*
- ۳- زارع زاده، ع، "بررسی پارامتریک تیرپیوند در مهاربندی های واگرا،" پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران گرایش سازه، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان
- ۴- جاهد مطلق، ح.ر. و نویان، م.ر.، اجزا محدود ANSYS، ۱۳۸۲، دانشگاه تهران، موسسه انتشارات و چاپ
- ۵- کاظمی، م.ت. و عرفانی، س.، طراحی بادبند‌های دروازه ای برای زلزله، ۱۳۸۱، مجموعه مقالات سومین همایش ملی نقد و بررسی آیین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰)، ص، ۴۲۵