

ارزیابی روش ضرایب آیین نامه FEMA-356 برای تخمین تغییر مکان هدف در انواع سیستم های سازه ای

فرامرز خوشنودیان¹، حامد فراستی²

1- دانشیار دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران

khushnud@aut.ac.ir

2- کارشناس ارشد سازه، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران

hamed.farasati@aut.ac.ir

چکیده

تحلیل سازه در مهندسی زلزله به علت دینامیکی و غیرخطی بودن مسئله و همچنین تصادفی بودن اطلاعات زلزله، امری پیچیده و مشکل است. بهترین روش برای حل این مشکل، استفاده از تحلیل دینامیکی غیرخطی است که به علت زمان بر بودن این نوع تحلیل، برای طراحی سازه ها رایج نیست. تحلیل استاتیکی غیرخطی را می توان جایگزین خوبی برای حل این مشکل دانست. در این مقاله، مقدار تغییر مکانی که انتظار می رود تحت زلزله به سازه اعمال شود (تغییر مکان هدف)، با استفاده از دو نوع تحلیل استاتیکی غیرخطی و دینامیکی غیرخطی محاسبه شده و میزان دقت روش ضرایب تغییر مکان آیین نامه FEMA-356 در تخمین تغییر مکان هدف، نسبت به الگوی بار جانبی اعمالی به سازه، تیپ سازه ای و تعداد طبقات سازه ارزیابی می شود. نتایج حاصل بیانگر این موضوع است که الگوی بار جانبی یکنواخت منجر به نتایج بهتر برای تخمین تغییر مکان هدف می شود و این روش در سازه های با سیستم باربر جانبی قاب خمشی و مهاربند فولادی نتایج بهتری را ارائه می دهد.

واژه های کلیدی: تغییر مکان هدف، تحلیل استاتیکی غیرخطی، تحلیل دینامیکی غیرخطی، پوش اور، FEMA-356

1. مقدمه

در حال حاضر در علم مهندسی سازه و زلزله، اغلب آیین نامه های طراحی در حال گذر از یک سری تغییرات بنیادی اند و رفته رفته، روش طراحی بر اساس عملکرد جایگزین روش قدیمی طراحی بر اساس نیرو خواهد شد. به دنبال این تغییرات در آیین نامه ها، محققان و پژوهشگران سازه و زلزله برای رسیدن به تکامل و اطمینان در این روش، بسیاری از تحقیقات خود را به این زمینه اختصاص داده اند. یکی از پارامترهای مهم و اساسی در موضوع طراحی بر اساس عملکرد و بهسازی لرزه ای، تغییر مکان هدف¹ است. تغییر مکان هدف، مقدار تغییر مکانی است که انتظار می رود تحت زلزله مورد نظر به سازه های با رفتار غیرخطی اعمال شود.

¹ Target Displacement

آیین نامه های لرزه ای روش های مختلفی برای تخمین تغییر مکان هدف براساس آنالیز استاتیکی غیرخطی¹ ارائه می دهند. یکی از شناخته شده ترین روش های تخمین تغییر مکان هدف، روش ضرایب آیین نامه FEMA-356² است. قابل ذکر است این روش برای محاسبه تغییر مکان هدف عیناً در دستورالعمل بهسازی لرزه ای نیز آورده شده است و در این مورد تفاوتی بین FEMA-356 و دستورالعمل بهسازی لرزه ای وجود ندارد. در ATC-40 نیز این روش به عنوان راه حل دیگری برای تعیین جابجایی تقاضا معرفی شده است. در این مقاله روش ضرایب آیین نامه FEMA-356 از لحاظ میزان خطای پاسخ این روش در تیپ های مختلف سازه ای، مورد ارزیابی قرار خواهند گرفت.

2. روش ضرایب آیین نامه FEMA-356

به طور کلی در روش های مبتنی بر ضریب اصلاح جابجایی، حداکثر پاسخ سیستم یک درجه آزاد غیرالاستیک Δ_i ، از حداکثر جابجایی سیستم الاستیک خطی Δ_e با همان سختی جانبی و همان ضریب میرایی سیستم غیرالاستیک به دست می آید. C ضریب تبدیل تعیین مکان الاستیک به غیرالاستیک طبق معادله (1) است.

$$\Delta_i = C \Delta_e \quad (1)$$

براساس FEMA-356 و دستورالعمل بهسازی لرزه ای تغییر مکان هدف برابر است با:

$$\delta_i = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g \quad (2)$$

که در این رابطه:

T_e = پریود موثر مد اساسی ساختمان در جهت مورد بررسی است که از اصلاح زمان تناوب اصلی ساختمان T_i ، محاسبه شده از آنالیز الاستیکی دینامیکی طبق معادله (3) به دست می آید.

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \quad (3)$$

در معادله (3)، K_i سختی جانبی الاستیک ساختمان در جهت مورد بررسی و K_e سختی جانبی موثر ساختمان در جهت مورد بررسی است.

C_0 = ضریب اصلاح برای ارتباط تغییر مکان طیفی سیستم یک درجه آزادی به تغییر مکان بام سیستم چند درجه آزادی است. ضریب C_0 از یکی از سه روش زیر محاسبه می شود:

- ضریب مشارکت مد اول در تراز نقطه کنترل

¹ Nonlinear Static Analysis

² FEMA-356 Coefficient Method

- ضریب مشارکت مدی در تراز نقطه کنترل که با استفاده از شکل بردارهای منطبق بر تغییر شکل ساختمان در تغییر مکان هدف به دست می آید. از این روش هنگام اعمال الگوی بارگذاری، هم گام با تغییر شکل های ایجاد شده در سازه، باید استفاده شود.

- مقادیر تقریبی بر اساس جدول 3-2 در FEMA-356

$C_1 =$ ضریب اصلاح برای تبدیل تغییر مکان های محاسبه شده از پاسخ خطی الاستیک به ماکزیمم تغییر مکان های غیرالاستیک مورد انتظار در سازه است که مقدار آن بر اساس معادله (4) تعیین می شود.

$$C_1 = \begin{cases} 1.0 & T_e \geq T_s \\ \max \left[1, \frac{1.0 + (R-1)T_s / T_e}{R} \right] & T_e < T_s \end{cases} \quad (4)$$

بر اساس FEMA-356 مقدار C_1 به دست آمده لازم نیست از مقادیر زیر بیشتر باشد.

$$\begin{aligned} \max C_1 &= 1.5 & T < 0.1 \text{ sec} \\ \max C_1 &= 1.0 & T \geq T_s \end{aligned} \quad (5)$$

که در آن T_s زمان تناوب مشترک بین دو ناحیه شتاب ثابت و سرعت ثابت در طیف بازتاب طرح و R نسبت مقاوت الاستیک تقاضا به ضریب مقاومت تسلیم محاسبه شده طبق معادله (6) است.

$$R = \frac{S_a}{V_y / W} C_m \quad (6)$$

در این معادله V_y مقاومت تسلیم به دست آمده از مدل دو خطی منحنی نیرو-تغییر مکان به دست آمده از تحلیل استاتیکی غیرخطی و W وزن بار مرده ساختمان و درصدی از سربار زنده C_m ضریب جرم موثر بر اساس جدول 3-1 در FEMA-456، هم چنین C_m را می توان برابر جرم موثر مد اصلی مدل که از یک تحلیل Eigenvalue به دست آمده است در نظر گرفت.

S_a : شتاب طیفی به ازای زمان تناوب اصلی موثر

$C_2 =$ ضریب اصلاحی برای در نظر گرفتن شکل منحنی هیستریزس، کاهش سختی و زوال مقاومت اعضای سازه بر ماکزیمم تغییر مکان ها. مقدار ضریب C_2 با توجه به سطح عملکرد ساختمان، نوع قاب و پرود سازه، از طریق جدول 3-3 در FEMA-356 به دست می آید.

$C_3 =$ ضریب اصلاحی برای در نظر گرفتن افزایش تغییر مکان ناشی از اثرات دینامیکی $P - \Delta$ است. ضریب C_3 بستگی به شیب خط در ناحیه غیرالاستیک دارد. این ضریب برای سازه‌های دارای سختی پس از تسلیم مثبت و منفی متفاوت است.

$$C_3 = \begin{cases} 1.0; & \alpha \geq 0 \\ 1.0 + \frac{|\alpha|(R-1)^{3/2}}{T_e}; & \alpha < 0 \end{cases} \quad (7)$$

هم چنین مقدار C_3 محاسبه شده لازم نیست از مقدار محاسبه شده برای C_3 در تحلیل استاتیکی خطی بیشتر شود. در تحلیل استاتیکی خطی مقدار C_3 برابر است با:

$$C_3 = \begin{cases} 1; & \theta < 0.1 \\ 1 + 5 \frac{\theta - 0.1}{T}; & \theta > 0.1 \end{cases} \quad (8)$$

در معادله (8)، θ شاخص پایداری طبقه است و بیشترین مقدار θ در بین تمام طبقات باید برای محاسبه C_3 انتخاب شود. [1] و [2] و [3] و [4]

3. سازه های مورد بررسی

جهت به دست آوردن و مقایسه تغییر مکان هدف، به منظور بررسی تاثیر تپ سازه بر تغییر مکان هدف، 5 تپ مختلف سازه‌ای قاب خمشی بتنی، قاب بتنی با دیوار برشی، قاب خمشی فولادی، قاب فولادی با دیوار برشی و قاب فولادی با مهاربند همگرا انتخاب شده است. هم چنین به منظور در نظر گرفتن محدوده وسیعی از فرکانس‌ها و ارزیابی تاثیر مُدهای بالاتر در دقت تغییر مکان هدف، هر کدام از تپ‌های سازه‌ای در ارتفاع‌های 4، 8، 12 و 16 طبقه مدل‌سازی شده‌اند. در این مطالعه برای در نظر گرفتن اثرات پیچش و خمش دومحوره، تمام نمونه‌ها به صورت 3 بعدی مدل‌سازی و شتاب‌نگاشت‌های مورد نظر در دو جهت متعامد به آن‌ها اعمال شده است، هم چنین برای ایجاد شرایط کاملاً مشابه در نمونه‌ها، پلان، بارگذاری و ارتفاع طبقات در کلیه نمونه‌ها ثابت است. کلیه سازه‌ها دارای 4 دهانه 5 متری در جهت x و 4 دهانه 5 متری در جهت y است. هم چنین ارتفاع کف تا کف کلیه طبقات 330cm در نظر گرفته شده است. رفتار هیستریزس استفاده شده برای مصالح فولادی، مدل هیستریزس Kinematic و برای سازه‌های بتنی، مدل هیستریزس Takeda است. طراحی لرزه‌ای سازه‌ها بر اساس آیین‌نامه ASCE 7-10 انجام شده است و جنس خاک کلیه سازه‌ها نیز از نوع D انتخاب شده است و طیف طرح استاندارد، توسط مقادیر $S_1 = 0.4s$ و $S_2 = 1.25s$ ساخته شده است. پس از مدل‌سازی، سازه‌های فلزی با استفاده از آیین‌نامه AISC ASD-89 و سازه‌های بتنی با استفاده از آیین‌نامه ACI 318-08 طراحی شده‌اند و مقاطع به

اجزای سازه‌ای اختصاص داده شده است. در گام بعد، مفاصل پلاستیک بر اساس جداول مربوط به مشخصات مفاصل پلاستیک در FEMA-356 مدل‌سازی شده‌اند.

در تحلیل‌های غیرخطی ابتدا بارهای ثقلی به سازه اعمال می‌گردد، سپس بارهای جانبی به مجموعه بارها اضافه می‌شود. علت این امر این است که در تحلیل‌های غیرخطی، اصل جمع آثار قوا به طور کلی معتبر نیست. لذا برای هر ترکیب بارگذاری لازم است تحلیل سازه از ابتدا و به طور کامل انجام شود. بنابراین ابتدا بارهای ثقلی شامل بار مرده به علاوه بار زنده محتمل، با استفاده از یک تحلیل استاتیکی غیرخطی به سازه وارد می‌شود. سپس تحلیل‌های غیرخطی برای بارهای جانبی در ادامه تحلیل استاتیکی غیرخطی تحت ترکیب بار ثقلی، انجام می‌شود. میزان بار ثقلی موثر در پایداری جانبی سازه بر اساس گزارش FEMA-695 از طریق معادله (9) محاسبه می‌شوند. [5]

$$Q_G = 1.05Q_D + 0.25Q_L \quad (9)$$

بر اساس FEMA-356 الگوی بار جانبی روی مدل سازه در تحلیل پوش‌آور باید تا حد امکان شبیه به آنچه هنگام زلزله رخ خواهد داد، باشد و حالت‌های بحرانی تغییر شکل و نیروهای داخلی را در اعضا ایجاد کند. هم‌چنین از آن‌جا که نمودارهای "برش پایه-تغییر مکان" ایجاد شده توسط الگوهای بار جانبی مختلف، اختلافاتی با هم دارند و در محاسبات مربوط به تغییر مکان هدف، از نمودار "برش پایه-تغییر مکان" استفاده می‌شود، لذا بر اساس شکل نمودار، مقادیر تغییر مکان هدف متفاوت خواهد بود. در این پروژه 3 الگوی متفاوت بار جانبی یکنواخت، الگوی بار جانبی بر اساس ضرایب برش پایه در تحلیل استاتیکی معادل و الگوی بار جانبی بر اساس شکل مد اول سازه، به سازه‌ها اعمال شده و تغییر مکان هدف برای هر سازه با توجه به هریک از الگوهای بار جانبی، به‌طور مجزا محاسبه شده است.

در این پروژه برای انجام تحلیل تاریخچه‌زمانی غیرخطی از 7 زوج شتاب‌نگاشت حوزه دور در دو راستای متعامد استفاده شده است. شتاب‌نگاشت‌های این پروژه از میان شتاب‌نگاشت‌های گزارش FEMA-695 انتخاب شده است و در جدول 1 آورده شده است.

EQ ID	Earthquake			Recording Station	Site Data		Recorded Motions	
	M	Year	Name	Name	NEHRP Class	Vs ₃₀ (m/sec)	PGA _{max} (g)	PGV _{max} (cm/s.)
12012	6.7	1994	Northridge	Canyon Country-WLC	D	309	0.48	45
12041	7.1	1999	Duzce, Turkey	Bolu	D	326	0.82	62
12072	6.9	1995	Kobe, Japan	Shin-Osaka	D	256	0.24	38
12122	6.5	1987	Superstition Hills	Poe Road (temp)	D	208	0.45	36
12091	7.3	1992	Landers	Yermo Fire Station	D	354	0.24	52

12102	6.9	1989	Loma Prieta	Gilroy Array #3	D	350	0.56	45
12151	6.6	1971	San Fernando	LA - Hollywood Stor	D	316	0.21	19

جدول 1: شتاب‌نگاشت‌های استفاده شده در تحلیل دینامیکی غیرخطی

شتاب‌نگاشت‌ها بر اساس آیین‌نامه ASCE 7-05 مقیاس شده اند و به هر سازه اعمال شده اند. در این پروژه جهت در نظر گرفتن میرایی ذاتی سازه‌ها از میرایی رایلی استفاده شده است.

4. نتایج تحلیل‌ها

پس از انجام تحلیل دینامیکی غیرخطی، مرکز جرم بام هر سازه به عنوان نقطه کنترل انتخاب شده و تغییر مکان آن تحت هر شتاب‌نگاشت، استخراج می‌شود. بدین ترتیب با توجه به تعداد شتاب‌نگاشت‌ها، برای هر سازه، 7 تغییر مکان در نقطه کنترل در اختیار داریم که با میانگین‌گیری از آن‌ها مقدار واقعی تغییر مکان نقطه کنترل، مشخص می‌شود. این مقدار، میزان دقیق و واقعی تغییر مکان هدف است.

هم‌چنین پس از انجام تحلیل استاتیکی غیرخطی و بدست آمدن نمودار "برش پایه-تغییر مکان" تحت این تحلیل، مقدار تغییر مکان هدف با استفاده از روش ضرایب آیین‌نامه FEMA-356 محاسبه می‌شود. با توجه به این که تحلیل استاتیکی غیرخطی صورت گرفته برای هر سازه از طریق 3 نوع الگوی بار جانبی مختلف انجام شده است، برای هر سازه 3 نمودار "برش پایه-تغییر مکان" موجود است. و با استفاده از هر نمودار، مقدار تغییر مکان هدف، تعیین شده است. بنابراین به‌طور کلی با استفاده از روش‌های تخمینی، برای هر یک از سازه‌ها 3 مقدار تغییر مکان هدف، محاسبه شده است.

تغییر مکان هدف محاسبه شده برای کلیه نمونه‌ها از طریق تحلیل استاتیکی غیرخطی و دینامیکی غیرخطی در جدول 2 آورده شده است.

در این پروژه از جهت تعیین خطای هر روش، از معیار خطا طبق معادله (10) برحسب درصد استفاده شده است.

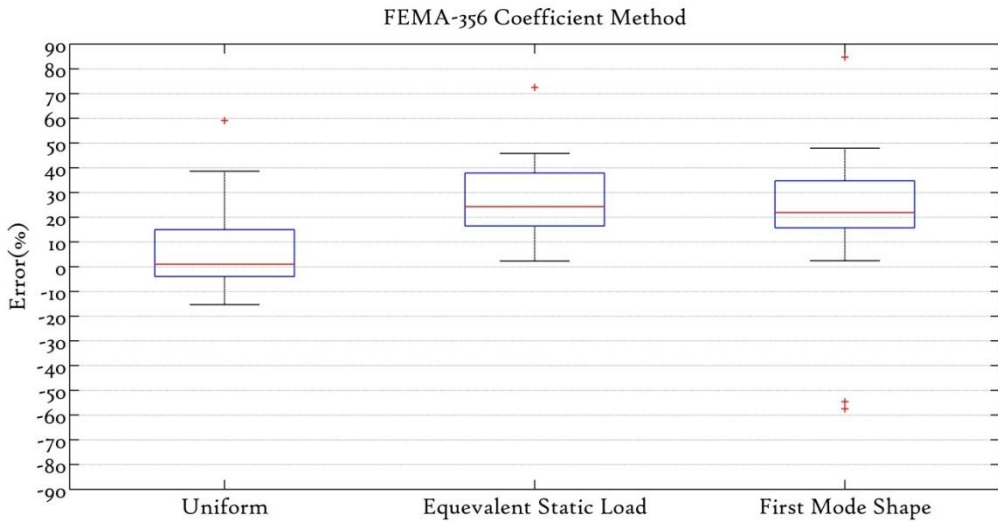
$$\varepsilon_{\delta} = \frac{\delta_{Target} - \delta_{Exact}}{\delta_{Exact}} \times 100 \quad (10)$$

با استفاده از این تعریف، مقادیر منفی ε_{δ} بیان‌گر پیش‌بینی تغییر مکان غیرمحافظة کارانه و مقادیر مثبت ε_{δ} بیانگر پیش‌بینی تغییر مکان محافظه کارانه است. از آنجا که مقادیر ε_{δ} در محدوده بین 100% - و $+\infty$ قرار دارد، ممکن است برداشت شود که ε_{δ} تمایل به سمت مثبت بودن دارد، اما برای محدوده تحریک‌ها و سازه‌های در نظر گرفته شده در این مطالعه، گرایش مثبت اندک در توزیع آماری ε_{δ} بی‌اهمیت است. [6]

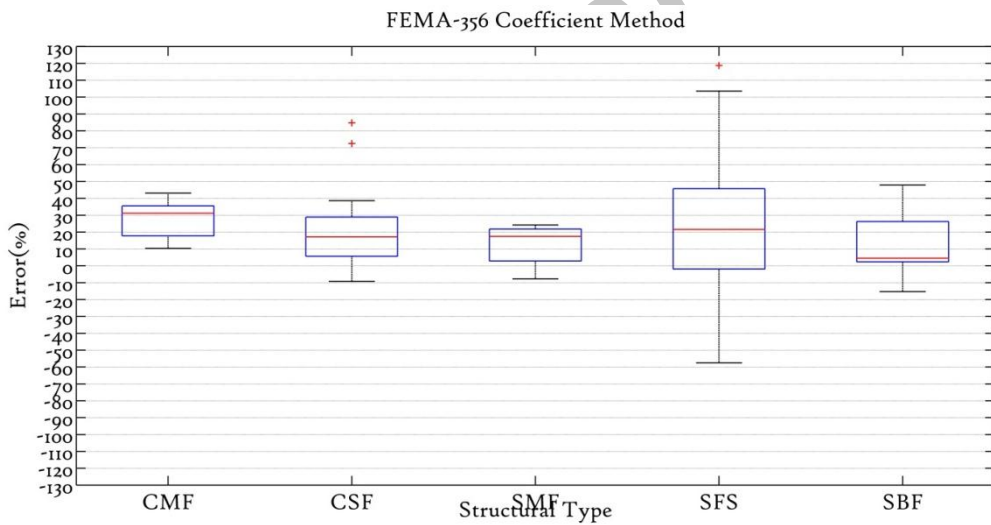
	Model Properties		Nonlinear Dynamic Analysis								Nonlinear Static Analysis				
	Number Of Stories	First Mode Period	Earthquake Name + Displacement in cm								Average	Method	Fema 356 - Coefficient Method		
			Northridge	Duzce, Turkey	Kobe, Japan	Superstition Hills	Landers	Loma Prieta	San Fernando	Lateral Load Pattern Profile			Uniform	Equivalent Static	First Mode Shape
Concrete Moment Frame(CMF)	4	0.82	11.3	10.1	16.2	8.4	8.9	13.3	13.1	11.6	Target Displacement By Codes	13.8	15.7	15.7	
	8	1.36	21.3	13.5	16.1	11.4	19.2	20.5	30.0	18.8		22.0	26.4	25.5	
	12	2.13	25.4	21.5	39.6	35.0	38.5	18.8	32.6	30.2		33.3	38.7	37.6	
	16	2.74	28.6	28.5	39.2	38.1	67.6	26.2	42.7	38.7		43.7	55.3	51.9	
Concrete Shear-wall Frame(CSF)	4	0.21	0.6	1.0	0.9	0.9	1.1	0.9	1.1	0.9		1.3	1.6	1.7	
	8	0.58	6.2	6.3	17.0	8.1	9.3	8.2	6.0	8.7		7.9	9.8	10.2	
	12	1.09	10.3	19.8	23.2	16.7	14.0	16.6	25.6	18.0		16.8	20.2	21.1	
	16	1.65	32.4	31.8	33.8	23.9	42.8	19.0	15.2	28.4		28.3	33.8	33.8	
Steel Moment Frame(SMF)	4	1.01	9.9	12.3	16.8	11.9	12.6	20.2	15.8	14.2		14.9	16.8	17.0	
	8	1.33	14.7	15.7	23.9	20.0	19.3	19.0	23.0	19.4		19.6	23.6	23.6	
	12	1.70	32.7	25.4	21.2	21.2	23.2	27.4	28.6	25.7		25.9	31.9	31.3	
	16	2.02	42.9	30.1	36.6	32.3	30.8	27.4	33.3	33.4		30.8	38.9	38.1	
Steel Frame+Shear-wall(SFS)	4	0.18	0.4	0.6	0.6	0.6	0.7	0.5	0.7	0.6		0.9	1.2	1.3	
	8	0.51	5.7	7.0	5.9	6.7	7.5	6.6	5.0	6.3		6.4	8.2	8.4	
	12	0.96	10.0	12.6	18.2	11.0	14.3	18.7	16.7	14.5		13.9	16.9	6.6	
	16	1.49	24.1	19.2	20.0	19.3	22.9	21.7	22.8	21.4		21.7	27.2	9.1	
Steel Braced Frame(SBF)	4	0.38	3.3	3.9	2.8	3.8	3.5	4.9	3.5	3.7	4.3	5.3	5.4		
	8	0.99	10.2	12.5	15.9	11.8	13.5	19.9	17.7	14.5	15.3	18.0	18.6		
	12	1.83	15.8	20.2	25.6	31.0	22.3	20.9	34.5	24.3	20.6	25.0	25.1		
	16	2.27	40.4	36.0	36.5	38.3	41.9	21.4	29.3	34.8	33.4	35.6	35.7		

جدول 2: تغییر مکان هدف محاسبه شده از طریق تحلیل استاتیکی غیرخطی و دینامیکی غیرخطی

در نمودار 1، نمودار 2 و نمودار 3، نمودار Boxplot خطای تغییر مکان هدف محاسبه شده توسط آیین نامه FEMA-356 نسبت به الگوی بار جانبی اعمالی، انواع تپ های سازه ای و تعداد طبقات سازه نشان داده شده است.

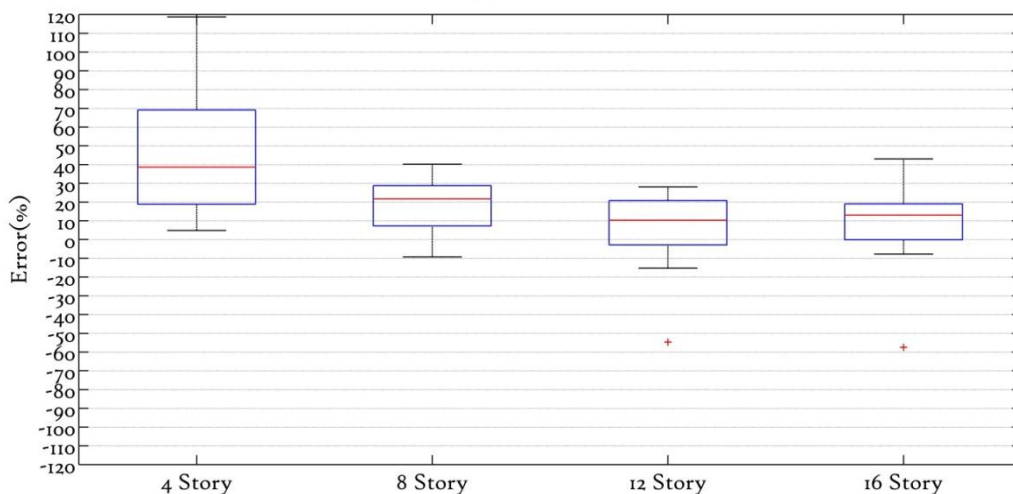


نمودار 1: ارزیابی حساسیت روش ضرایب آیین نامه FEMA-356 نسبت به الگوی بار جانبی اعمالی



نمودار 2: ارزیابی حساسیت روش ضرایب آیین نامه FEMA-356 نسبت به تیپ سازه‌ای

FEMA-356 Coefficient Method



نمودار 3: ارزیابی حساسیت روش ضرایب آیین نامه FEMA-356 نسبت به تعداد طبقات سازه

با توجه به نمودار 1، می توان نتیجه گرفت از آنجا که میانه نتایج در الگوی بار جانبی یکنواخت حدود $1\% +$ است و هم چنین بُرد خطاها در محدوده $4\% -$ الی $13\% +$ واقع شده است، این الگوی بار جانبی با تقریب خوبی میزان تغییر مکان هدف را پیش بینی می کند. الگوی بار جانبی بر اساس روش استاتیکی معادل و شکل مُد اول سازه هر دو منجر به خطاهای بالا با استفاده از روش ضرایب خواهند شد. اگر چه خطاهای ایجاد شده در جهت اطمینان است اما بالا بودن میزان خطا تا این میزان، درک درستی از رفتار سازه را به طراح نخواهد داد. هم چنین ملاحظه می شود که الگوی بار جانبی بر اساس شکل مُد اول سازه منجر به تعداد بیشتری داده پرت شده است که مطلوب نیست.

با توجه به نمودار 2 ملاحظه می شود که این روش بهترین تقریب تغییر مکانی را برای سازه های قاب خمشی فولادی ارائه می دهد. هم چنین دقت این روش در تخمین تغییر مکان هدف سازه های با قاب خمشی بتنی و سازه های فولادی بادبندی نیز نسبتاً قابل قبول است. اما خطاهای این روش در سازه های فولادی با دیوار برشی، پراکندگی نتایج بسیار بالایی را دارا می باشد. هم چنین در سازه های بتنی با دیوار برشی نیز تعدادی داده پرت وجود دارد که نشان از عدم موفقیت در تخمین تغییر مکان هدف است.

با توجه به نمودار 3، مشاهده می شود که این روش در ساختمان های 4 طبقه منجر به ایجاد نتایجی با خطاهای مثبت بسیار بالا شده است اما در ساختمان های با تعداد طبقات 8، 12 و 16 طبقه، روش ضرایب، خطای مثبت اما کمتر از خطای ایجاد شده در ساختمان های 4 طبقه را ارائه کرده است.

5. نتیجه گیری

- بهترین الگوی بار جانبی برای تعیین تغییر مکان هدف از طریق روش ضرایب آیین نامه FEMA-356، الگوی بار جانبی یکنواخت است.
- روش ضرایب آیین نامه FEMA-356 اغلب تغییر مکان هدف را به صورت محافظه کارانه پیش بینی می کند اما در صورت استفاده از الگوی بار جانبی یکنواخت، نتایج این آیین نامه به واقعیت نزدیک تر است.
- تعداد داده پرت موجود در نتایج به دست آمده توسط الگوی بار جانبی بر اساس شکل مد اول سازه، به مراتب بیشتر از دو نوع الگوی بار جانبی دیگر است.
- روش ضرایب آیین نامه FEMA-356 در سازه های با سیستم قاب خمشی فولادی و بتنی و سازه های فولادی با مهاربندی همگرا منجر به نتایج منطقی تری نسبت به سازه هایی که از دیوار برشی به عنوان سیستم مقاوم در برابر بارهای جانبی استفاده می کنند، شده است.

6. مراجع

- [1] **American Society Of Civil Engineers.** *FEMA 356 - Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings.* Washington, D.C.: Federal Emergency Management Agency, 2000.
- [2] **تقی نژاد، رامین.** طراحی و بهسازی لرزه ای سازه ها بر اساس سطح عملکرد. مکان نشر نامشخص: نشر کتاب دانشگاهی، 1389.
- [3] **دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله.** دستورالعمل بهسازی لرزه ای ساختمان های موجود. تهران: سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، 1385.
- [4] **پاک نیت، شایان.** تحلیل های مورد نیاز در بهسازی لرزه ای سازه ها. مکان نشر نامشخص: انتشارات متفکران، 1390.
- [5] **Applied Technology Council.** *FEMA P695 - Quantification of Building Seismic Performance Factors.* Washington, D.C.: Federal Emergency Management Agency, 2009.
- [6] —. *FEMA 440 - Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures.* Washington, D.C.: Federal Emergency Management Agency, 2005.