

## اعتبارسنجی آنالیز پوش آور ترکیبی متناسب با جرم بر پایه روابط تحلیل مودال برای بررسی عملکرد لرزه‌ای دیوار برشی فولادی

بابک بهفروز<sup>1</sup>، پرهام معمارزاده<sup>2</sup>، فرهاد بهنام‌فر<sup>3</sup>

1- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نجف آباد، دانشکده مهندسی عمران، نجف آباد، ایران

[Babak\\_behforooz@sci.iaun.ac.ir](mailto:Babak_behforooz@sci.iaun.ac.ir)

2- استادیار سازه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نجف آباد، دانشکده مهندسی عمران، نجف آباد، ایران

[p-memar@iaun.ac.ir](mailto:p-memar@iaun.ac.ir)

3- استادیار سازه، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده مهندسی عمران، اصفهان، ایران

[farhad@cc.iut.ac.ir](mailto:farhad@cc.iut.ac.ir)

### چکیده

با توجه به لزوم تخمین دقیق عملکرد لرزه‌ای سازه‌ها در حین وقوع زلزله تحلیل‌های غیرخطی از اهمیت خاصی برخوردارند. در بین روش‌های گوناگون تحلیل غیرخطی، همواره روش تحلیل تاریخچه زمانی به عنوان دقیق‌ترین روش آنالیز مطرح بوده است. اما به دلیل زمان‌بر بودن و پیچیدگی‌های این روش، همواره محققین در پی روش‌های ساده‌تر و در عین حال دقیق برای بر آوردی صحیح از عملکرد لرزه‌ای سیستم‌های باربر جانبی، از جمله قاب‌های دارای دیوار برشی فولادی بوده‌اند. یکی از این روش‌ها، آنالیز پوش آور ترکیبی متناسب با جرم بر پایه روابط تحلیل مودال است. این روش بسیار شبیه به آنالیز پوش آور مودال است، با این تفاوت که در این روش سعی در بهبود نارسایی‌های آنالیز پوش آور مودال بوده است. در این تحقیق با توجه به فقدان منبعی مناسب، حاوی نتایج حاصل از آنالیز پوش آور دیوار برشی فولادی به عنوان یک سیستم باربر جانبی قاب 9 طبقه تحت آنالیز تاریخچه زمانی با هفت رکورد زلزله و آنالیز پوش آور ترکیبی متناسب با جرم بر پایه روابط تحلیل مودال قرار گرفته و نتایج حاصل در چهارچوب تغییر مکان نسبی طبقات، جابجایی طبقات و برش طبقات به صورت جامع مورد مقایسه قرار گرفته است. نتایج نشان‌دهنده این است که روش فوق با تخمینی مناسب نتایج دقیق‌تری از آنالیز پوش آور با الگوی بارهای ارائه شده در FEMA-356 برای قاب‌های دارای دیوار برشی فولادی سخت نشده با ورق نازک جان در دسترس قرار می‌دهد.

**واژه‌های کلیدی:** دیوار برشی فولادی، آنالیز تاریخچه زمانی، آنالیز پوش آور ترکیبی متناسب با جرم بر پایه روابط تحلیل مودال

### 1. مقدمه

شناخت نسبت به پدیده زلزله روز به روز در حال افزایش است و آیین‌نامه‌های ساختمانی به واسطه این پیشرفت‌ها در حال تکامل هستند. مجموعه کاستی‌های روش‌های نیرویی مورد استفاده در این آیین‌نامه‌ها نیاز به

ارائه روش‌های جدید را که بر مبنای تحلیل‌های غیرخطی و در نظر گرفتن رفتار واقعی اجزای سازه هنگام زلزله است، آشکار ساخت. بر این اساس روش مهندسی زلزله بر اساس سطح عملکرد معرفی و ارائه شد [1]. یکی از مرسوم‌ترین آنالیزهای مورد استفاده در مهندسی زلزله بر اساس عملکرد آنالیز بارافزون است که توسط چندین مرجع معتبر مثل FEMA و ATC گسترش یافت. [2,3] کارهای تحقیقاتی زیادی هم بر ای تکامل آن در حال انجام است که در این مقاله بیشتر به روش کامل شده مودی متناسب با جرم<sup>1</sup> که توسط کیم و همکارانش در حال گسترش است پرداخته می‌شود. [4].

## 2 روش‌های آنالیز پوش‌آور سنتی<sup>2</sup>

در حالت کلی در روش‌های تحلیل پوش‌آور سنتی مشخصات مصالح و مواد غیر الاستیک بطور مستقیم در مدل سازه‌ای وارد می‌شود. سپس این مدل سازه‌ای تحت اثر یک الگوی بار جانبی بصورت افزایشی تا رسیدن به یک تغییر مکان هدف هل داده شده و مقادیر تغییر شکل‌های داخلی و نیروها تعیین می‌شوند. ترتیب وقوع شکستگی‌ها، مفاصل پلاستیک در طول فرآیند به راحتی قابل نمایش می‌باشد. این فرآیند تا زمانی که جابجایی سازه از جابجایی هدف تجاوز نماید و یا اینکه سازه فرو بریزد ادامه می‌یابد. در این روش‌ها سعی بر آن است که جابجایی هدف برابر با ماکزیمم جابجایی محتمل تحت اثر زمین‌لرزه مورد انتظار باشد. در واقع در روش تحلیل پوش‌آور جهت ارزیابی عملکرد سازه، طیف ظرفیت سازه با طیف تقاضای لرزه‌ای مقایسه می‌شود. در این مقاله با هدف مقایسه آنالیز پوش‌آور متناسب با جرم<sup>1</sup> با روش‌های سنتی<sup>2</sup> با استفاده از الگوهای جانبی متداول از قبیل الگوی بار مثلثی و الگوی بار یکنواخت که هر دو در منابع [2,3] ارائه شده است، سازه تا جابجایی هدف مطابق رابطه شماره 1 تحت بار جانبی قرار گرفته و تمامی نیازهای لرزه‌ای سازه در جابجایی برابر تغییر مکان هدف محاسبه شده است.

$$Total_{Drift} = (C_1 C_2 C_3 \frac{T^2}{4\pi^2} S_a g) / (h_{Total}) \quad (1)$$

## 3 تحلیل ترکیبی متناسب با جرم بر پایه روابط تحلیل مودال<sup>3</sup>

کیم و همکارانش در سال 2008 روشی تحت عنوان پوش‌آور متناسب با جرم<sup>1</sup> برای تحلیل استاتیکی غیرخطی ساختمان‌ها ارائه دادند [4]. این روش نیز شباهت زیادی به روش آنالیز پوش‌آور مودال<sup>3</sup> دارد. نیروی اعمالی به طبقات در این روش متناسب با جرم لرزه‌ای هر طبقه می‌باشد. دلایل انتخاب این توزیع بار و برتری‌های این انتخاب نسبت به روش آنالیز پوش‌آور مودال<sup>3</sup>، توسط کیم به شرح زیر ارائه شد:

<sup>1</sup> Mass Proportional Pushover Analysis (MPP)

<sup>2</sup> Conventional Pushover Analysis (CPA)

<sup>3</sup> Modal Pushover Analysis (MPA)

• براساس تئوری دینامیک سازه‌ها، استفاده از اصل برهم نهی پاسخ‌های سازه در ناحیه‌ی غیرالاستیک مجاز نمی‌باشد. در نتیجه استفاده از الگوهای بار متناظر با اشکال مودی، و تحلیل سازه در ناحیه‌ی غیرخطی به صورت مجزا برای هر توزیع بار، یعنی آنچه در روش MPA مورد استفاده است، صحیح نمی‌باشد. در روش MPP با در نظر گرفتن جرم لرزه‌ای هر طبقه به عنوان مولد نیروی اینترسی در آن طبقه، این مشکل وجود ندارد. در این روش سازه تنها یک بار تحلیل پوش آور می‌شود و این مسئله بیان‌گر این است که در این روش مودهای بالاتر در مود اول متمرکز شده‌اند.

• در روش MPA برای به دست آوردن رابطه‌ی بین جابجایی و شبه شتاب مدل یک درجه آزادی، سازه باید به تعداد مودهای در نظر گرفته شده تحلیل شود در حالی که در روش MPP این طور نیست.

• در روش MPA، برگشت جابجایی بام در مودهای بالاتر از مشکلات محتمل است که در روش MPP این مشکل وجود ندارد.

• در صورت استفاده از طیف پاسخ غیرخطی برای به دست آوردن جابجایی حداکثر مدل یک درجه آزادی، با توجه به اینکه شیب قسمت دوم منحنی دو خطی برای هر مود متفاوت است، به تعداد مودهای در نظر گرفته شده باید طیف پاسخ غیرخطی تهیه شود.

• در روش MPA نیاز به تحلیل مودی برای به دست آوردن بردارهای ویژه به عنوان الگوی بار، و ضریب مشارکت مودی و جرم موثر مودی برای تبدیل منحنی ظرفیت به منحنی طیف ظرفیت می‌باشد. در حالی که در روش MPP بردار جابجایی طبقات تحت بار متناسب با جرم لرزه‌ای آنها به عنوان شکل مود سازه در نظر گرفته می‌شود.

با توجه به اینکه در این روش تحلیل مقادیر ویژه انجام نمی‌شود، شکل مودی که مورد استفاده قرار می‌گیرد در واقع بردار تغییر شکل الاستیک سازه تحت توزیع بار معرفی شده می‌باشد. گام‌های روش MPP از قرار زیر است:

1. تحلیل پوش‌آور سازه تحت بار جانبی با توزیع متناسب بار جرم به صورت  $[M]g\{1\} = [w]\{1\}$  که در آن  $M$  ماتریس جرم در معادله‌ی دیفرانسیل ارتعاش سازه می‌باشد.

2. منحنی ظرفیت سازه (منحنی برش پایه بر حسب جابجایی بام) ترسیم می‌شود.

3. منحنی شبه شتاب مدل یک درجه آزاد  $A$  بر حسب جابجایی  $D$  با استفاده از روابط 2 و 3 تعیین می‌شود.

(2)

$$A = \frac{V_b}{M}$$

(3)

$$D = \frac{u_r}{\Gamma}$$

که در روابط فوق،  $M$  جرم کل سازه و  $\Gamma$  ضریب مشارکت مودی می‌باشد. همان طور که قبلاً اشاره شد، شکل مودی مورد نظر برای محاسبه‌ی ضریب مشارکت مودی، بردار تغییر شکل الاستیک سازه تحت بار یکنواخت می‌باشد.

4. جابجایی حداکثر سازه‌ی یک درجه آزادی  $D_{max}$  توسط تحلیل دینامیکی غیرخطی محاسبه می‌شود.

5. جابجایی‌های حداکثر سازه‌ی چند درجه آزادی با استفاده از رابطه‌ی 4 برآورد می‌شود.

(4)

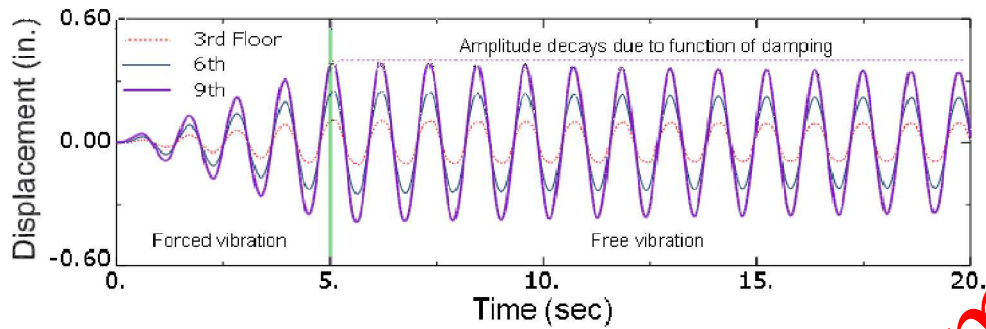
$$\{u_{max}\} = D_{max} \Gamma \{u_e\}$$

#### 4. مدل مورد استفاده دیوار برشی فولادی

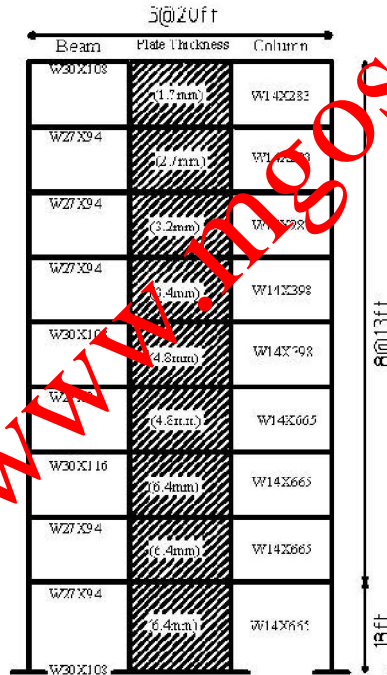
امروزه استفاده از دیوارهای برشی فولادی به واسطه مقاومت و سختی جانبی مناسب به طور گسترده در جوامع صنعتی به طور روز افزون در حال افزایش است. وظیفه اصلی دیوار برشی فولادی مقاومت در برابر نیروهای برشی ایجاد شده در طبقات و کنترل واژگونی ناشی از آن در خلال زمین‌لرزه می‌باشد. در سال 2004 آیین نامه‌های مختلف مثل آیین‌نامه طراحی سازه‌های فولادی کابادا [7] ضوابطی را برای طراحی دیوار برشی فولادی ارائه کردند [8] در سال 2005 ضوابطی برای طراحی دیوار برشی فولادی ویژه به آیین نامه طراحی سازه‌های فولادی اضافه گردید [9].

دیوارهای برشی فولادی که با نام اختصاری Steel Plate Shear Wall در آیین نامه AISC معرفی می‌شوند، یک سامانه از ورق‌های فولادی، تیرها و ستون‌های پیرامونی است. [9] مینارزاده و همکاران (2010) با توسعه مدل المان محدود قاب دیوار برشی فولادی تاثیر تعداد نقاط انتگرال گیری گوسی بر پاسخ دیوارهای برشی فولادی، تاثیر فرایند فیلتر سازی، تاثیر نقص اولیه در ورق‌های پرکننده و ارزیابی صحت اعتبار مدل قاب دارای دیوار برشی فولادی را مورد بررسی قرار داده اند. از این رو مدل مورد استفاده آنها مبتنی بر آنالیز پوش‌آور در این تحقیق قرار گرفته است [10,11,12,13]. به این منظور سه قاب سه، شش و نه طبقه دارای دیوار برشی فولادی برای آنالیز در نرم افزار تحلیل به روش اجزای محدود ABAQUS انتخاب شده است. در هر یک از این قاب‌ها از روش‌های آنالیز پوش‌آور بر اساس آیین نامه و روش‌های مبتنی بر آنالیز پوش‌آور مودال استفاده خواهد شد. قاب مورد استفاده در این مقاله در شکل شماره 2 قابل مشاهده است.

برای اعتبارسنجی مدل مورد استفاده در این مقاله، ابتدا مدل‌های مورد نظر تحت یک نیروی جانبی متناوب سینوسی با فرکانس ارتعاش مود اول در تراز بام قرار داده و سپس اجازه می‌دهیم مدل مورد نظر به مدت 15 ثانیه ارتعاش آزاد کند. تاریخچه پاسخ جابجایی طبقات مختلف دیوار برشی 9 طبقه تحت بارگذاری یاد شده در شکل شماره 1 قابل مشاهده است. مطابق انتظار در 5 ثانیه اول ارتعاش سازه دچار پدیده تشدید شده و سپس با قطع بارگذاری به ارتعاش آزاد خود ادامه می‌دهد. این همان پاسخ مورد انتظار است.



شکل 1- تاریخچه پاسخ جابجایی طبقات در قاب 9 طبقه دیوار برشی فولادی



شکل 2 قاب نه طبقه مورد استفاده در این مقاله

جدول 1 مشخصات مکانیکی پروفیل ها و ورق فولادی استفاده شده در این تحقیق براساس مدل دوخطی

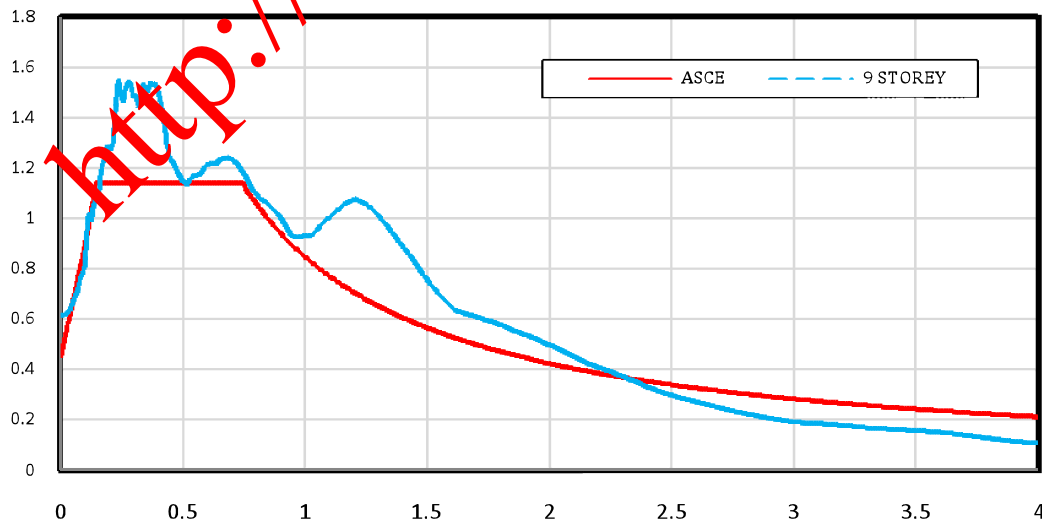
$E_1$	$E_2$	$\nu$	$\rho$	$F_{yp}$	$F_{yb}$
200(GPa)	200(MPa)	0.3	7.8(ton/m <sup>3</sup> )	248(MPa)	345(MPa)

## 5. رکورد های مورد استفاده برای تحلیل دینامیکی غیر خطی

برای تحلیل دینامیکی غیرخطی مطابق آیین نامه ASCE7-05 از هفت رکورد زلزله مختلف استفاده شده است که طیف پاسخ آن‌ها به مقادیر طیف طرح این آیین نامه در محدوده 0.2 تا 1.5 برابر زمان تناوب سازه در مود اول مقیاس شده‌اند. سپس میانگین پاسخ به عنوان نتیجه حاصل از این آنالیز در نظر گرفته شده است. این رکوردها به گونه ای انتخاب شده‌اند که علاوه بر مطابقت نوع خاک مورد بررسی سازه وارد مرحله غیر خطی گردد. جدول شماره 2 مشخصات این زلزله‌ها را نشان می‌دهد.

جدول 2 - مشخصات زلزله‌های مورد استفاده در این مقاله

Name	Date	Station	Component(deg)	Vs30(m/s)	PGA	PGV	Soil Type (UBC 1997)	Site Class in NEHRP
Cape Mendocino	4/25/1992	Rio Dell Overpass - FF	270	311.8	0.385	43.92	SD	D
Loma Prieta	10/18/1989	Capitola	0	288.6	0.29	35.001	SD	D
Duzce	11/12/1999	Duzce	180	274.5	0.348	60.024	SD	D
Erzincan	3/13/1992	Erzincan	NS	274.5	0.515	83.956	SD	D
Imperial Valley	10/15/1979	El Centro Array #11	E	196.3	0.364	34.366	SD	D
Northridge	1/17/1994	Pardee - SCE	N	345.4	0.657	75.209	SD	D
Kobe	1/16/1995	Takatori	N	256	0.611	127.191	SD	D



شکل 3- طیف طرح الاستیک 5% میرای ASCE و طیف‌های مقیاس شده برای هر یک از سازه‌ها

## 6. نتایج و مقایسه روش‌های مورد استفاده

با توجه با انجام آنالیز استاتیکی غیر خطی بر اساس الگوی بار مثلثی و یکنواخت از دو الگوی بار ارائه شده در آنالیز پوش آور متداول و آنالیز پوش آور ترکیبی متناسب با جرم بر پایه روابط تحلیل مودال، خطای هریک از نتایج در مقایسه با آنالیز تاریخچه زمانی در قالب خطای هر طبقه و خطای کلی براساس روابط 5 و 6 مطابق جداول زیر قابل ارائه است:

$$ERROR_{parameter} = \left( \frac{NSP_{Parameter} - THA_{Parameter}}{THA_{Parameter}} \right) \times 100 \quad (5)$$

$$ERROR_{(NSFs)} = 100 \times \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=q}^n \left( \frac{NSP_{Parameters} - THA_{parameters}}{THA_{parameters}} \right)^2} \quad (6)$$

جدول 3-مقایسه خطای روش‌های مورد استفاده برای جابجایی طبقات سازه 9 طبقه

طبقه	0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0
الگوی بار مثلثی	0	57.0	44.1	35.1	28.2	22.8	19.2	17.3	16.8	15.8
الگوی بار یکنواخت	0	28.1	13.7	7.9	7.4	9.4	12.4	14.9	15.9	15.7
روش آنالیز متناسب با جرم	0	29.8	16.3	12.4	12.3	12.4	11.1	-9.9	-7.6	-5.1

همان‌گونه که در جدول 3 مشاهده می‌گردد خطا در محاسبه جابجایی طبقات در طبقات فوقانی قاب 9 طبقه خطای ناشی از روش آنالیز MPP از دقت به مراتب بیشتری نسبت به سایر روش‌های آنالیز پوش آور برخوردار است.

جدول 4-مقایسه خطای روش‌های مورد استفاده برای جابجایی نسبی طبقات سازه 9 طبقه

طبقه	0	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00
الگوی بار مثلثی	0	56.96	25.32	11.64	3.58	0.84	3.58	19.55	35.14	30.43
الگوی بار یکنواخت	0	28.11	6.81	5.47	9.32	25.92	42.31	51.91	50.85	43.12
روش آنالیز متناسب با جرم	0	29.76	2.81	4.36	15.90	18.89	11.77	18.41	9.46	3.17

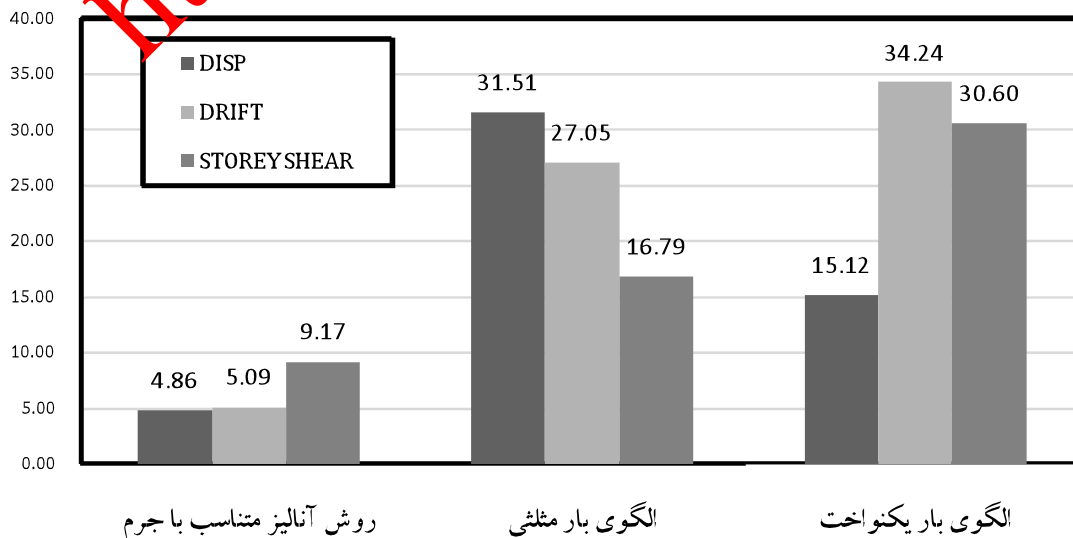
همان گونه که در جدول 4 مشاهده می گردد در طبقات پنجم به بعد در قاب 9 طبقه خطای ناشی از روش آنالیز MPP از دقت به مراتب بیشتری در زمینه محاسبه تغییر مکان نسبی نسبت به سایر روش های آنالیز پوش آور برخوردار است. همان گونه که در این جدول قابل مشاهده است این خطا در طبقات هشتم و نهم در دو الگوی بار مثلثی و یکنواخت نسبت به روش MPP به صورت غیر قابل مقایسه ای بیشتر است.

جدول 5-مقایسه خطای روش های مورد استفاده برای برش طبقات سازه 9 طبقه

طبقه	0	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00
الگوی بار مثلثی	0	13.98	9.56	9.59	8.62	6.56	0.78	10.6	23.2	37.2
الگوی بار یکنواخت	0	37.4	21.38	11.8	2.65	6.22	18.2	30.6	43.81	56.48
روش آنالیز متناسب با جرم	0	40.38	33.81	32.89	29.99	25.75	15.49	2.49	13.64	31.03

همان گونه که در جدول 5 مشاهده می گردد در طبقات ششم به بعد در قاب 9 طبقه خطای ناشی از روش آنالیز MPP از دقت به مراتب بیشتری در زمینه محاسبه برش طبقات نسبت به الگوی بار یکنواخت برخوردار است. همان گونه که در این جدول قابل مشاهده است این خطا در طبقات پایین نسبت به الگوی بار مثلثی از دقت مناسبی برخوردار نیست.

با توجه به جداول فوق و خطای ناشی از هر یک از پارامترهای مورد محاسبه، خطای کلی ناشی از سه روش برای جابجایی طبقات، جابجایی نسبی طبقات و برش طبقه بر اساس رابطه شماره 6 مطابق شکل شماره 3 قابل مشاهده است.





شکل 3 مقایسه کلی خطای روش‌های مورد استفاده برای برش طبقات، جابجایی نسبی و جابجایی کلی سازه 9 طبقه

## 7. نتیجه گیری

نتایج حاصل از آنالیز پوش‌آور به روش‌های سنتی و آنالیز پوش‌آور ترکیبی متناسب با جرم بر پایه روابط تحلیل مودال به شرح زیر قابل ارائه است:

مقایسه روش‌های محاسبه تغییر مکان هدف از طریق ضرایب تغییر مکان و محاسبه از روش طیف غیرخطی ارتعاش سازه یک درجه آزادی نشان داد خطای حاصل از روش غیرخطی ارتعاش سازه یک درجه آزادی در تمامی قاب‌ها تخمین‌های دقیق‌تری در اختیار مهندسين قرار می‌دهد، به این ترتیب این روش به عنوان مبنای روش محاسبه تغییر مکان هدف برای قاب‌های سیم‌ار برشی فولادی پیش‌نهاد می‌گردد. با افزایش ارتفاع قاب‌های دیوار برشی فولادی دقت در تمامی الگوهای بارهای تخمین پارامترهای لرزه‌ای افزایش می‌یابد. این دقت در روش آنالیز پوش‌آور ترکیبی متناسب با جرم بر پایه روابط تحلیل مودال محسوس‌تر است. به صورت کلی و با احتساب هر سه کمیت مورد بحث روش آنالیز پوش‌آور MMP تغییر مکان نسبی طبقات و هم‌چنین تغییر مکان کلی طبقات را برای قاب 9 طبقه با تقریب بسیار مناسبی ارائه می‌دهد.

## 8. مراجع

- [1] Krawinkler, H., and Seneviratna, G., 1998, "Pros and cons of a pushover analysis of seismic performance evaluation," *Engineering structures*, 20(4-6), pp. 452-464.
- [2] FEMA. *Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings*, "FEMA 356", 2000, Washington, DC: Federal Emergency Management Agency.
- [3] ATC. *Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings*. ATC-40 report. Redwood City (CA): Applied Technology Council; 1996.
- [4] Kim, S. P., and Kurama, Y. C., 2008, "An alternative pushover analysis procedure to estimate seismic displacement demands," *Engineering structures*, 30(12), pp. 3793-3807.
- [5] Sasaki, K. K., Freeman, S. A. and Paret, T. F., 1998, "Multi-mode pushover procedure (MMP) - A method to identify the effects of higher modes in a pushover analysis," *Proc. Of the Sixth US National Conference on Earthquake Engineering*, Earthquake Engineering Research Inst., Oakland, California.
- [6] Moghadam, A. S. and Tso, W. K., 2002, "A pushover procedure for tall buildings," *Proc. of the Twelfth European Conference on Earthquake Engineering*, London, United Kingdom, Paper No. 395.



- [7] Canadian Standards Association, *CAN/NSA-S16-01, Limit states design of steel structures*, Toronto (Ontario, Canada), 2001.
- [8] FEMA 450, *NEHRP recommended provisions for seismic regulations for new buildings and other structures*, Building seismic safety council for the federal emergency management agency, Washington DC, 2004.
- [9] AISC, American institute of steel construction, *Seismic provisions for structural steel buildings*, Chicago, IL, 2005.
- [10] Memarzadeh, P., Saadatpour, M. M., Azhari, M, 2010, "Nonlinear Dynamic Response and Ductility Requirements of a Typical Steel Plate Shear Wall Subjected to El Centro Earthquake", Iranian Journal of Science & Technology, Transaction B: Engineering, Vol. 34(B4), pp. 371-384.
- [11] Memarzadeh, P., 2008, "Ductility behavior of a steel plate shear wall by explicit dynamic analyzing", The 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China.
- [12] Memarzadeh, P., Mirlohi, J., Behnamfar, F., 10-12 December 2011, "Seismic response of steel plate shear walls considering soil-structure interaction", 2nd European conference of civil engineering (ECCIE'11), Puerto De La Cruz, Tenerife, Spain.
- [13] Mirlohi, J., Memarzadeh, P., Behnamfar, F., 14-16 July 2011, "The effect of soil-flexibility on seismic response of a typical steel plate shear wall subjected to Duzé earthquake", 4th Int. Conf. on engineering mechanics, structures, engineering geology, Corfu Island, Greece.

<http://www.mposoft.com>