

## ارزیابی و تعیین محدوده مناسب روشهای پوش آور در تخمین پاسخ لرزه ای قابهای بتنی دوبعدی با مهاربند همگرا

حسین ناصری<sup>1</sup>، عباس اکبرپور<sup>2</sup>

1- دانش آموخته کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بوشهر، بوشهر، ایران

[hosnaseri@yahoo.com](mailto:hosnaseri@yahoo.com)

2- استادیار و عضو هیات علمی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، تهران، ایران

### چکیده

در سالهای اخیر روشهای تحلیل استاتیکی غیرخطی (پوش آور) با توجه به سادگی، سرعت انجام و سهولت تفسیر نتایج، در مقایسه با روشهای تحلیل دینامیکی غیرخطی به عنوان دقیقترین روش تحلیل لرزه ای، به سرعت توسعه یافته و مورد استقبال قرار گرفتهاند. در این تحقیق سه مدل 3 و 6 و 9 طبقه بتنی با بادبندهای همگرا انتخاب گردیده و روشهای پوش آور بهنگام شونده DAP, SSAP و همچنین روش پوش آور سنتی MODE1 مورد بررسی قرار میگیرد سپس دقت هر کدام از روشهای پوش آور در برآورد برش و جابجایی نسبی با استناد به روش دقیق دینامیکی غیرخطی تعیین میگردد. بررسی نمودارها نشان دهنده دقت خوب روش SSAP در برآورد برش و دریفت طبقات هر سه مدل و همچنین دقت خوب روش DAP در برآورد برش و دریفت سازه 9 طبقه می باشد.

واژه های کلیدی: تحلیل پوش آور بهنگام شونده، ترکیب مودها، سازه بتنی.

### 1. مقدمه

روشهای طراحی در اکثر آئین نامه های فعلی بر اساس معیار مقاومت می باشد و این در حالی است که تحقیقات و رفتار ساختمانها در زلزله های اخیر نشان می دهد که مقاومت را به تنهایی نمی توان معیار مناسبی جهت طراحی در نظر گرفت و افزایش مقاومت لزوماً به معنای افزایش ایمنی نیست. بنابراین در آئین نامه های جدید معیار رفتار جایگزین معیار مقاومت برای طراحی سازه شده است. استفاده از معیار رفتار به این مفهوم است که در یک ساختمان علاوه بر مقاومت، نحوه توزیع مقاومت و تغییر شکل در اجزای سازه ای نیز مهم می باشد. این شیوه طراحی بر اساس رفتار سازه، طراحی بر اساس عملکرد<sup>1</sup> نیز نامیده می شوند.

<sup>1</sup> -Performance Based Design

در این روش‌ها، سطح عملکردی بر اساس میزان صدمه و خرابی مورد انتظار در اجزای سازه ای و غیر سازه ای مشخص می‌شود. با توجه به آنکه خرابی اجزای سازه ای باعث ایجاد رفتار غیر خطی می‌شود، روش‌های معمول تحلیل و طراحی (روش‌های خطی) عملکرد سازه را به صورت تقریبی تخمین می‌زنند، در حالی که هدف روش‌های تحلیل لرزه ای، تعیین دقیق میزان تغییر شکل می‌باشد. به عبارت دیگر روش‌های خطی زمانی قابل استناد می‌باشند که سازه تحت تراز مشخصی از حرکت زمین تقریباً در محدوده خطی باقی بماند و توزیع پاسخ غیر خطی در سازه نیز یکنواخت باشد. در این موارد میزان عدم قطعیت در نتایج حاصل از تحلیل خطی نسبتاً کم است. اما اگر هدف عملکردی در سازه به گونه ای باشد که نیازهای غیر خطی بزرگ‌تری در سازه ایجاد شود، استفاده از روش‌های خطی، میزان عدم قطعیت را افزایش می‌دهد. در حالی که تحلیل غیر خطی سبب افزایش ضریب اطمینان، افزایش ایمنی و کاهش هزینه‌ها می‌گردد.

گام‌های روش تحلیل غیر خطی مشابه روش‌های خطی معمول است. ابتدا یک مدل از سازه تهیه شده و تحت اثر زلزله مورد نظر، در تعیین نحوه عملکرد سازه قرار می‌گیرد. پارامترهای نیاز مهندسی شامل تغییر مکان (تغییر مکان بام یا هر نقطه مرجع)، جابجایی بین طبقه ای و تغییر شکل و نیروی اعضاء می‌باشد.

همان‌طور که عنوان شد در روش طراحی لرزه ای بر اساس عملکرد سازه برای سطوح مختلف عملکرد مورد انتظار، مرتبط با سطوح مختلف خطر زلزله طراحی می‌گردد. یک گام مهم در طراحی لرزه ای بر اساس عملکرد، تخمین پاسخ لرزه ای غیر خطی سازه‌ها می‌باشد. برای این منظور دو روش توسط محققین ارائه شده‌اند:

#### الف. تحلیل تاریخیچه زمانی غیر خطی<sup>۱</sup>

این روش را می‌توان دقیق‌ترین روش برای تعیین پاسخ سازه در برابر زمین لرزه دانست که در آن تحلیل ویژگی‌های دینامیکی غیر خطی سازه، توسط شتاب نگاشت‌های معین صورت می‌گیرد.

#### ب. تحلیل استاتیکی غیر خطی فزاینده (پوش آور)<sup>۲</sup>

اگر چه بهترین و دقیق‌ترین شیوه تحلیلی ارزیابی رفتار لرزه ای سازه‌ها استفاده از تحلیل دینامیکی غیر خطی تاریخیچه زمانی است، با این وجود دستورالعمل‌های معتبر و آئین نامه‌های بهسازی لرزه ای ساختمان استفاده از روش تحلیل استاتیکی غیر خطی فزاینده (پوش آور) را به دلیل سادگی به کارگیری و تفسیر نتایج آن توصیه کرده‌اند. روش‌های تحلیل استاتیکی غیر خطی فزاینده به عنوان مبنای دیدگاه طراحی بر اساس عملکرد، به علت سرعت تحلیل و سادگی تفسیر نتایج در مقایسه با روش‌های تحلیل دینامیکی غیر خطی، به طور گسترده مورد استقبال مهندسان طراح واقع شده‌اند.

اساس روش تحلیل استاتیکی غیر خطی فزاینده (پوش آور) بر مبنای ارتباط دادن مشخصات سازه چند درجه آزادی<sup>۳</sup> به یک سازه یک درجه آزادی<sup>۴</sup> می‌باشد. در این روش دو مفهوم نیاز<sup>۵</sup> لرزه ای و ظرفیت<sup>۱</sup> سازه با تبدیل سازه

<sup>۱</sup>Nonlinear Time History Analysis- (NTHA)

<sup>۲</sup>Nonlinear Static Analysis (Pushover Procedure)

<sup>۳</sup>-Multi Degree of Freedom-MDOF

<sup>۴</sup>-Single Degree of Freedom-SDOF

<sup>۵</sup>-Demand

به مدل یک درجه آزادی معادل با یکدیگر مقایسه می‌شود. ابتدا بارهای ثقلی بر روی سازه اعمال می‌شود. سپس یک الگوی بار<sup>2</sup> جانبی مشخص که در کل ارتفاع ساختمان توزیع شده است به سازه اثر داده می‌شود. در هر مرحله از فرآیند تحلیل، نیروی جانبی با آهنگ ثابتی افزایش پیدا می‌کند و بر اساس آن، مدل سازه برای اعمال اثر کاهش سختی اعضای تسلیم شده، اصلاح می‌شود. مجدداً در مرحله بعد نیز نیروی جانبی افزایش می‌یابد تا گروهی دیگر از اعضا تسلیم شوند. این روند ادامه پیدا می‌کند تا تغییر مکان در نقطه کنترل<sup>3</sup> (مانند مرکز جرم بام ساختمان) به سطح مشخصی برسد و یا ساختمان ناپایدار شود. منحنی ظرفیت کلی ساختمان معمولاً از نمودار برش پایه- تغییر مکان بام به دست می‌آید. در این روش فرض بر آن است که شکل مودی غالب شکل مود اول می‌باشد.

## 2. معرفی سازه‌های مورد مطالعه

ساختمان مورد نظر اداری 3 و 6 و 9 طبقه که دارای پلان یکسان با دهانه های 6 متری می‌باشد و ارتفاع تمام طبقات 3.2 متر می‌باشد، جهت ارزیابی در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته‌اند. سیستم مقاوم باربری سازه سیستم مهاربندی شده با بادبند همگرا می‌باشد. ساختمان برای شتاب مبناي طرح  $0.428g$  (PGA) با احتمال فراگذشت 10٪ در 50 سال و بر اساس آیین نامه تایوان طراحی شده است.

## 3. فرضیات مدل سازی

مدل سازی تیرها و ستون‌ها توسط المان Displacement-Based Beam-Column Element و مقاطع چند لایه Fiber Section صورت گرفته است. اتصالات اجزای سازه‌ای و تکیه گاه‌ها کاملاً صلب فرض شده‌اند. جرم و وزن موثر لرزه ای (شامل بار مرده بعلاوه‌ی 20٪ بار زنده) به صورت متمرکز و بر اساس سطح بار گیر روی گره‌ها اعمال شده‌اند [1].

تیرهای اصلی و تیرهای پیوند از نوع A36 و ستون‌ها و مهار بندهای سازه از جنس فولاد A572 بوده و با مصالح Steel02 کتابخانه نرم افزار OpenSees، با مشخصات زیر مدل می‌شوند (شکل 1)

$$E_0 = 200000000000 \text{ pa} \text{ :مدول الاستیسیته}$$

$$F_y(A36) = 253109300 \text{ pa} \text{ :مقاومت تسلیم}$$

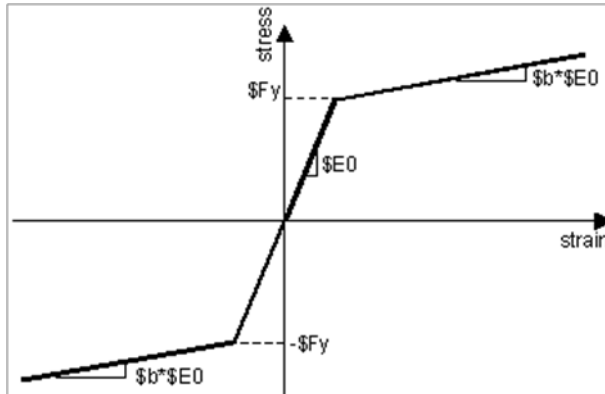
$$F_y(A572) = 351534810 \text{ pa} \text{ :مقاومت تسلیم}$$

<sup>1</sup> -Capacity

<sup>2</sup> -Load Pattern

<sup>3</sup> -Control Point

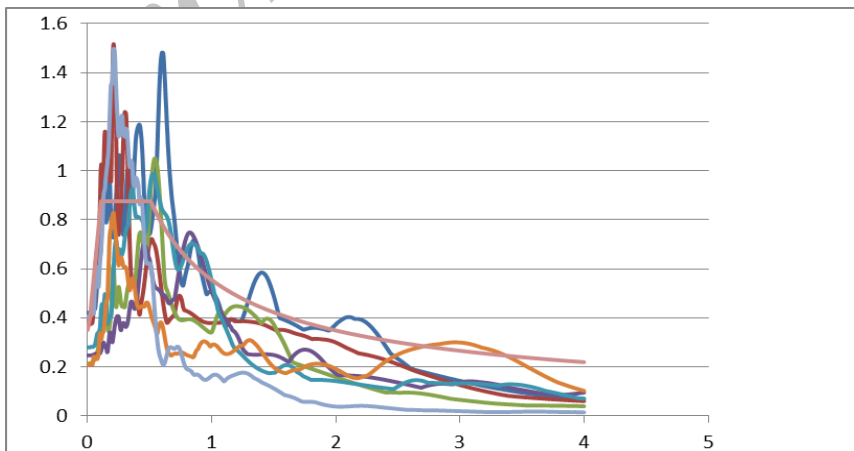
$b=0.1$ : شیب سخت شونده گی



شکل (1): منحنی نیرو- تغییر شکل فولاد Steel02 [2]

#### 4. رکورد زلزله های مورد بررسی

رکوردهای استفاده شده در این تحقیق، شامل 7 رکورد نزدیک گسل از زلزله های بزرگ دنیا با نوع خاک C طبق مرجع USGS جدول (1) می باشد. [3]  
هر گروه از این رکوردها، با هدف یکسان شدن تقریبی مقدار جابجایی های هدف، با استفاده از روش پریرود نسبت به طیف آیین نامه 2800 مقیاس شده اند. [4]. شکل (2)



شکل (2): طیف های بدست آمده از رکورد زلزله ها

جدول (1): مشخصات رکوردهای زلزله [5]

Num Record			Magnitud (M)	Distance (Km)	Scale Factor	DT (sec)	Duration (sec)	PGA (cm/sec <sup>2</sup> )
LA21	1995	Kobe	6.9	3.4	1.15	0.02	59.98	1258
LA22	1995	Kobe	6.9	3.4	1.15	0.02	59.98	902.75
LA23	1989	LomaPrieta	7	3.5	0.82	0.01	24.99	409.95
LA28	1994	Northridge	6.7	6.4	1.61	0.02	59.98	1304.1
LA29	1974	Tabas	7.4	1.2	1.08	0.02	49.98	793.45
LA30	1974	Tabas	7.4	1.2	1.08	0.02	49.98	972.58
LA27	1994	Northridge	6.7	6.4	1.61	0.02	59.98	908.7

### 5. روش های پوش آور پیشرفته بررسی شده

در این تحقیق روش های پوش آور زیر با تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیرخطی مقایسه شده اند.

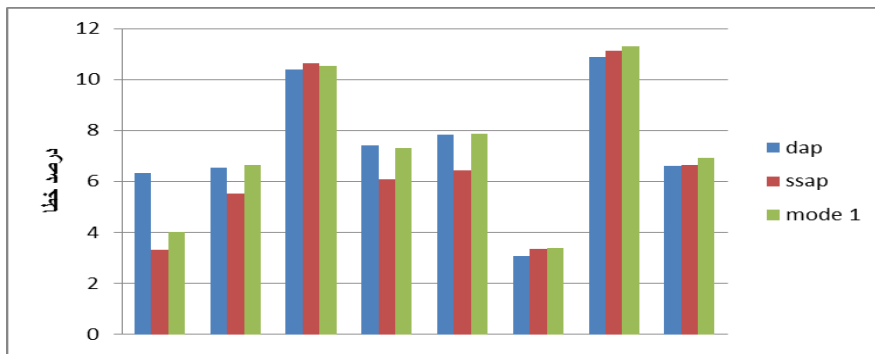
- NTHA
- تحلیل استاتیکی غیرخطی بهنگام شونده بر اساس جابجایی طبقات (DAP)
- تحلیل استاتیکی غیرخطی بهنگام شونده بر اساس برش طبقات (SSAP)
- TRIANGULAR

### 6. نتایج حاصل از تحلیل روش ها و رکوردهای مختلف در ساختمان 3 طبقه

بعد از ارزیابی عملکرد روش های پوش آور و بررسی خطای این روشها نسبت به روش دینامیکی غیر خطی در تخمین برش طبقات در ساختمان 9 طبقه نتایج حاصله در جدول (2) و شکل (3) تحت اثر هفت رکورد آورده شده است.

جدول (2): محاسبه خطای روش های مختلف پوش آور نسبت به دینامیکی غیر خطی در تخمین برش طبقات برای ساختمان 9 طبقه

Record	CNP196	GO3090	GO4090	HCH090	HDA255	SVL360	WST000	AVERAGE
Dap	6.309354	6.545303	10.40455	7.396632	7.845338	3.073449	10.89548	6.59(%)
Ssap	3.311919	5.532665	10.63894	6.083925	6.438657	3.346273	11.12052	6.63(%)
model	4.009067	6.646726	10.54126	7.301346	7.858125	3.395459	11.31925	6.91(%)

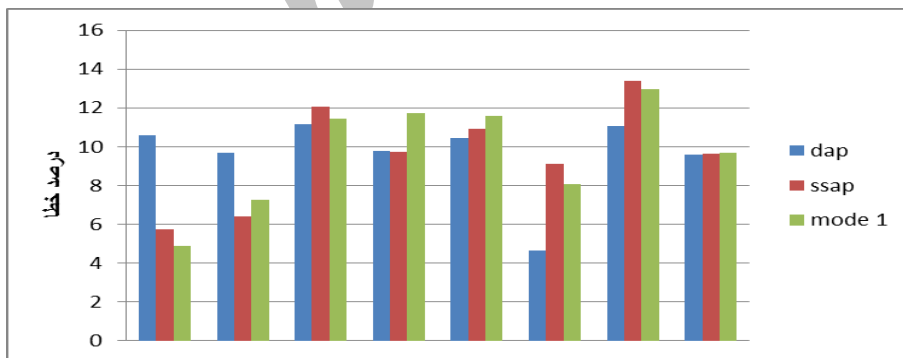


شکل (3): خطای روش های مختلف پوش اور نسبت به دینامیکی غیر خطی در تخمین برش طبقات برای ساختمان 9 طبقه

بعد از ارزیابی عملکرد روش های پوش اور و بررسی خطای این روشها نسبت به دینامیکی غیر خطی در تخمین دررفت طبقات در ساختمان 9 طبقه نتایج حاصله در جدول (3) و شکل (4) تحت اثر هفت رکورد آورده شده است.

جدول (3): محاسبه خطای روش های مختلف پوش اور نسبت به دینامیکی غیر خطی در تخمین دررفت طبقات برای ساختمان 9 طبقه

Record	CNP196	GO3090	GO4090	HCH090	HDA255	SVL360	WST000	AVERAGE
Dap	10.57562	9.660767	11.1433	9.795259	10.4414	4.627667	11.05538	9.61(%)
Ssap	5.721419	6.420357	12.0667	9.753703	10.94296	9.102091	13.36862	9.62(%)
model	4.860653	7.248824	11.46588	11.71864	11.58411	8.073	12.96801	9.7(%)



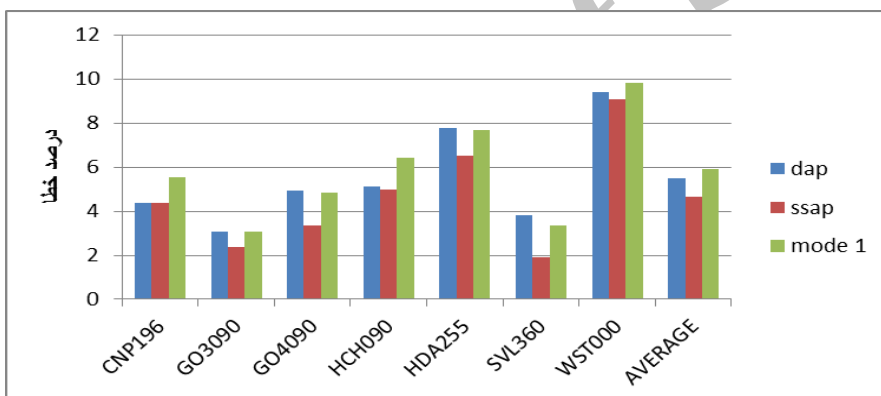
شکل (4): خطای روش های مختلف پوش اور نسبت به دینامیکی غیر خطی در تخمین دررفت طبقات برای ساختمان 9 طبقه

### 7. نتایج حاصل از تحلیل روش‌ها و رکوردهای مختلف در ساختمان 3 طبقه

بعد از ارزیابی عملکرد روش‌های پوش اور و بررسی خطای این روش‌ها نسبت به روش دینامیکی غیر خطی در تخمین برش طبقات در ساختمان 6 طبقه نتایج حاصله در جدول (4) و شکل (5) تحت اثر هفت رکورد آورده شده است.

جدول (4): محاسبه خطای روش‌های مختلف پوش اور نسبت به دینامیکی غیر خطی در تخمین برش طبقات برای ساختمان 6 طبقه

Record	CNP196	GO3090	GO4090	HCH090	HDA255	SVL360	WST000	AVERAGE
Dap	4.391704	3.051045	4.92353	5.12095	7.793701	3.83194	9.39297	5.5(%)
Ssap	4.391643	2.358436	3.356439	4.966369	6.509224	1.930231	9.085381	4.65(%)
model	5.552635	3.055824	4.843382	6.401814	7.697254	3.3513	9.827665	5.92(%)

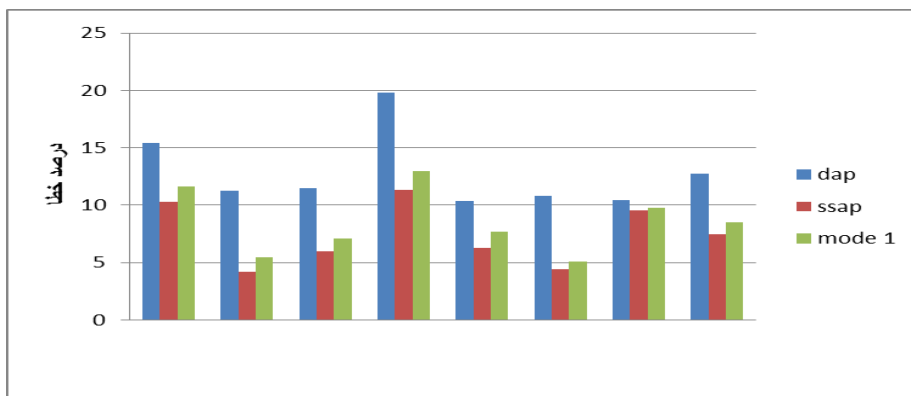


شکل (5): خطای روش‌های مختلف پوش اور نسبت به دینامیکی غیر خطی در تخمین برش طبقات برای ساختمان 6 طبقه

بعد از ارزیابی عملکرد روش‌های پوش اور و بررسی خطای این روش‌ها نسبت به دینامیکی غیر خطی در تخمین دررفت طبقات در ساختمان 6 طبقه نتایج حاصله در جدول (5) و شکل (6) آورده شده است.

جدول (5): محاسبه خطای روش‌های مختلف پوش اور نسبت به دینامیکی غیر خطی در تخمین دررفت طبقات برای ساختمان 6 طبقه

Record	CNP196	GO3090	GO4090	HCH090	HDA255	SVL360	WST000	AVERAGE
Dap	15.41981	11.24681	11.45157	19.78662	10.40372	10.79913	10.41147	12.78(%)
Ssap	10.29647	4.188484	5.953901	11.33088	6.240543	4.445021	9.575502	7.43(%)
model	11.6219	5.441425	7.112312	12.93908	7.663074	5.070899	9.796599	8.52(%)



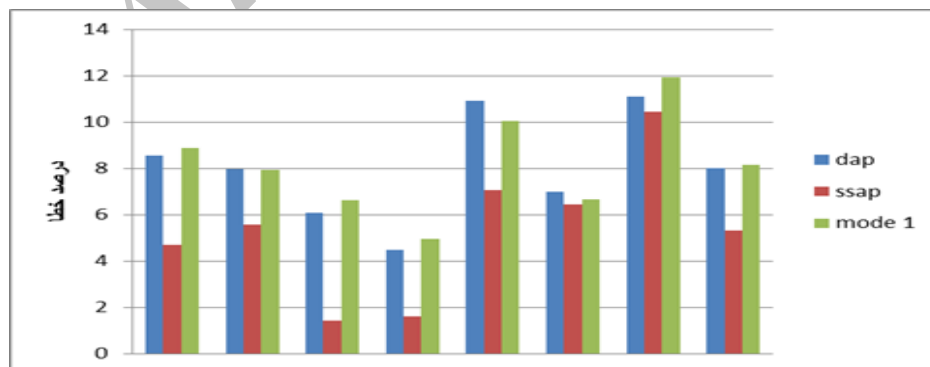
شکل (6): خطای روش های مختلف پوش اور نسبت به دینامیکی غیر خطی در تخمین دریفیت طبقات برای ساختمان 6 طبقه

### 8. نتایج حاصل از تحلیل روش ها و رکوردهای مختلف در ساختمان 3 طبقه

بعد از ارزیابی عملکرد روش های پوش اور و بررسی خطای این روشها نسبت به روش دینامیکی غیر خطی در تخمین برش طبقات در ساختمان 3 طبقه نتایج حاصله در جدول (6) و شکل (7) تحت اثر هفت رکورد آورده شده است.

جدول (6): محاسبه خطای روش های مختلف پوش اور نسبت به دینامیکی غیر خطی در تخمین برش طبقات برای ساختمان 3 طبقه

Record	CNP196	GO3090	GO4090	HCH090	HDA255	SVL360	WST000	AVERAGE
Dap	8.544121	7.966603	6.091043	4.47272	10.89613	6.990814	11.09775	8(%)
Ssap	4.695137	5.566628	1.422592	1.597098	7.0624	6.449958	10.45344	5.32(%)
model	8.859669	7.94162	6.616668	4.941267	10.03523	6.662969	11.92517	8.14(%)



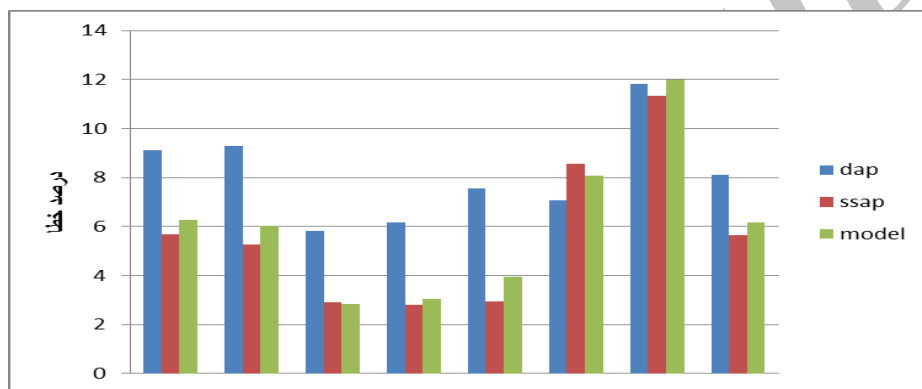
شکل (7): خطای روش های مختلف پوش اور نسبت به دینامیکی غیر خطی در تخمین برش طبقات برای ساختمان 3 طبقه



ارزیابی عملکرد روش‌های پوش اور و بررسی خطای این روش‌ها نسبت به دینامیکی غیر خطی در تخمین دریافت طبقات در ساختمان 3 طبقه نتایج حاصله در جدول (7) و شکل (8) تحت اثر هفت رکورد آورده شده است.

جدول (7): محاسبه خطای روش‌های مختلف پوش اور نسبت به دینامیکی غیر خطی در تخمین دریافت طبقات برای ساختمان 3 طبقه

Record	CNP196	GO3090	GO4090	HCH090	HDA255	SVL360	WST000	AVERAGE
Dap	9.117614	9.293599	5.836971	6.183038	7.56195	7.08129	11.81985	8.12
Ssap	5.698703	5.264916	2.904162	2.788504	2.943142	8.55536	11.33652	5.64
model	6.257147	6.011762	2.821785	3.036979	3.944342	8.062799	11.98884	6.017



شکل (8) : خطای روش‌های مختلف پوش اور نسبت به دینامیکی غیر خطی در تخمین دریافت طبقات برای ساختمان 3 طبقه

## 9. خلاصه و نتیجه‌گیری

به منظور بررسی دقت و کارایی روش‌های پیشنهادی با استفاده از روش آنالیز دینامیکی در به دست آوردن تغییر مکان هدف در سازه‌های مهاربندی شده، این روش‌ها بر روی سازه‌های 3 و 6 و 9 طبقه با مهاربند همگرا تحت اثر هفت رکورد زلزله نزدیک گسل اعمال گردید و نتایج زیر حاصل گردید.

### ❖ بررسی تأثیر روش‌های مختلف در برآورد جابجایی نسبی بین طبقات

در تخمین میزان جابجایی نسبی طبقات در هر سه سازه 3، 6 و 9 طبقه روش پوش بهنگام شونده SSAP کمترین خطا را دارد. روش‌های تحلیل پوش آور بر اساس شکل مود اول (MODE1) نیز در سازه 3 طبقه دارای دقت خوبی هستند. شاید این نتایج بیانگر این نکته است که در سازه‌های متوسط مرتبه میزان مشارکت مود اول در پاسخ سازه بسیار بیشتر از سازه بلند مرتبه است؛ و در سازه‌های کوتاه مرتبه میزان دقت روش‌های پوش آور سنتی بر اساس شکل مود اول مناسب است.

### ❖ بررسی تأثیر روش های مختلف در برآورد برش طبقات

در تخمین میزان برش طبقات در هر سه سازه 3 و 6 و 9 طبقه روش پوش بهنگام شونده SSAP کمترین خطا را دارد. روش آنالیز پوش آور بر اساس شکل مود اول در تخمین میزان برش دارای کمترین میزان دقت می باشد.

### نتیجه گیری کلی

با توجه به نتایج ارائه شده می توان مشاهده کرد که روش پوش آور به هنگام شونده SSAP بیشترین میزان دقت را در تخمین میزان جابجایی نسبی و برش سازه را دارا می باشد. روش DAP نیز در برآورد جابجایی نسبی سازه های بلند مرتبه دارای دقت خوبی می باشد. روش پوش آور سنتی بر اساس مود اول در برآورد پاسخ لرزه ای سازه های کوتاه مرتبه مناسب می باشد.

### 10. مراجع

- [1] Sun-Pil Kim , Yahya, C., [2008] ,”An alternative pushover analysis procedure to estimate seismic displacement demands” , Journal of Engineering Structures 3793\_3807
- [2] OpenSees, [2009] , “Open System for Earthquake Engineering Simulation”, Available from URL: (<http://opensees.berkeley.edu>)
- [3] U.S. Geological Survey, Available from URL: <http://www.seissoft.com>
- [4] مهرایان، ر.، صفاری، ح.، (1387) «مقایسه روش های مختلف مقیاس سازی شتاب نگاشت ها»، چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه تهران، اردیبهشت 1387.
- [5] Gary, s.p., [2010], " Using Buckling-Restrained Braces in Eccentric Configurations ", A dissertation submitted to the faculty of Brigham Young University in partial fulfillment of the requirements for the degree of philosophy .pp.50-59