



بررسی تأثیر الگوهای بار جانبی و مد های بالاتر در تحلیل استاتیکی غیرخطی انواع قابهای ساده فولادی با مهاربند واگرا

محسنعلی شایانفر^۱، سید مهدی صفایی^۲
(دریافت: ۸۸/۶/۲۵، پذیرش: ۸۹/۱۱/۲۲)

چکیده

با توسعه مفاهیم طراحی لرزه‌ای و ابزارهای محاسباتی، روشهای تحلیل استاتیکی غیر خطی مانند روش تحلیل استاتیکی فزاینده غیرخطی (Pushover) با توجه به سادگی، سرعت انجام و سهولت تفسیر نتایج در مقایسه با روشهای تحلیل دینامیکی غیرخطی به سرعت مورد اقبال مهندسان واقع شده‌اند. در این مقاله، روش تحلیل استاتیکی فزاینده غیرخطی مدی (Modal Pushover Analysis) بر روی قابهای واگرا بررسی شده است. نتایج تغییر مکان نسبی و تغییر مکان حداکثر طبقات برای سازه فولادی مهاربندی شده واگرا کوتاه مرتبه، میان مرتبه و بلند مرتبه (بدلیل کاربرد وسیع آن در سطح کشور)، با سه روش FEMA273، روش MPA و روش تحلیل دینامیکی غیر خطی تاریخچه زمانی در زلزله‌های مختلف تعیین و با یکدیگر مقایسه شده‌اند. نتایج این تحقیق مبین آن است که خطای روش MPA که مقادیر آن در طبقات متفاوت است، کمتر از روش FEMA273 می‌باشد و نتایج دقیقتری در اختیار قرار می‌دهد.

کلمات کلیدی

تحلیل استاتیکی فزاینده غیرخطی، تحلیل دینامیکی غیرخطی، روش تحلیل استاتیکی فزاینده غیرخطی مدی، سازه فولادی مهاربندی شده واگرا

Evaluation of Higher-order Modes and Load Patterns in nonlinear Static Analysis of EBF in Steel Structures

Mohsen Ali Shayanfar, Mehdi Safaei

ABSTRACT

A lot of attempts and investigations have been done in recent years to improve the structural seismic design. The main approach governs on these attempts has been the control of structural performance during earthquake. During the large earthquakes, most of the structures reveal nonlinear behaviour. So to estimate the seismic performance of a structure, it is necessary to develop new methods which are based on nonlinear analysis. It seems that the nonlinear dynamic analysis is the most appropriate method, though it suffers from complexity. Therefore, the modern concept of "performance based seismic engineering" was developed, in which; we mostly use simple nonlinear static analysis to determine the nonlinear response of the structures. However, this method has also some weak points. One of these weaknesses is that only the first mode controls the whole response. And the other is that this mode remains unchanged after the structure under goes to inelastic range. Both of these assumptions are approximate, especially in tall buildings. It seems that the invariant lateral loads used in this method cannot consider these effects. In this paper, the accuracy of the invariant lateral load pattern in FEMA and modal pattern used in nonlinear static method and MPA method are considered in comparison with nonlinear response history analysis. This paper focused on drift and displacement as results of structure. These considerations were applied to three Steel moment EBF frames: 3, 9 and 15 stories and their detailed analysis were reported.

Key Words

Modal Pushover Analysis, Nonlinear response History, Nonlinear static procedure, Load Patterns, EBF, Steel Structure, performance based seismic engineering

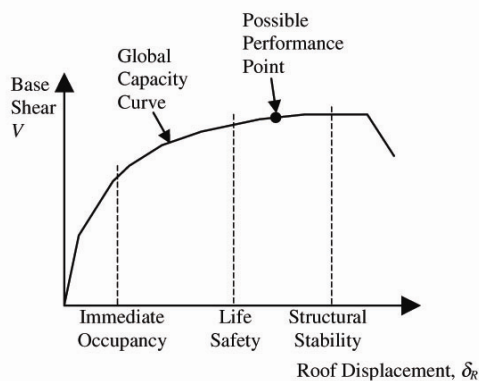
۱. استادیار دانشگاه علم و صنعت ایران، shayanfar@iust.ac.ir (نویسنده مسئول)

۲. کارشناسی ارشد مهندسی سازه از دانشگاه علم و صنعت ایران، mehdi.safaei@yahoo.com



شده برسد. این تغییر مکان هدف در یک نقطه کنترلی اندازه گیری می شود (مرکز جرم تراز بام). در طول فرایند افزایش صعودی بار جانبی، مقاومت و سختی اجزاء سازه در هر گام با توجه به منحنی رفتاری غیرخطی که از پیش برای آنها تعریف شده اصلاح می شود [۷].

اصلی ترین محصول این فرایند، منحنی تغییرات برش پایه در مقابل تغییر مکان بام می باشد که به آن منحنی ظرفیت سازه گفته می شود که هر نقطه روی این منحنی بیان کننده یک حالت خسارت خاص برای سازه است (شکل ۱).



شکل (۱): منحنی ظرفیت ساختمان [7]

۲-۱- روش استاتیکی غیرخطی در FEMA 273

این راهنما توسط آژانس فدرال مدیریت بحران آمریکا [۴] تهیه شده و هدف آن تأمین روش های مرسوم برای ارزیابی و بهسازی لرزه ای ساختمان های موجود است و از روش های ارائه شده در FEMA می توان به طور معادل در طراحی سازه های جدید هم استفاده کرد. در روش استاتیکی غیر خطی (NSP) ارائه شده در این راهنما، خصوصیات غیر خطی بار-جابجایی از اجزاء به طور مستقیم مدل می شود. مدل ساختمان تحت یک بار جانبی اضافه شونده قرار می گیرد تا یک جا بجایی هدف بدست آید یا ساختمان فرو بریزد. این جا به جایی هدف، نمایانگر جا به جایی حداکثری است که سازه در طی زلزله طراحی تجربه می کند. اثرات غیر خطی به طور مستقیم در مدل

با افزایش ثبت نتایج رفتار سازه هادر برابرزلزله های مختلف و ارتقاء دانش بشر درباره این پدیده ها، تفسیر نحوه رفتار سازه ها در زمان زلزله و راهکارهای افزایش ایمنی در مقابل این پدیده اهمیت ویژه ای یافته است. در این راستا، تعریف مشخصی از ایمنی، عملکرد و خطر زلزله باعث ایجاد زبان مشترک بین محققان و مهندسان و امکان بکارگیری این تعاریف در محاسبات سازه های جدید و کنترل سازه های موجود می گردد. توسعه روشهای طراحی بر اساس عملکرد مبتنی بر این بینش جدید می باشد. با توسعه مفاهیم طراحی لرزه ای، ابزارهای محاسباتی نیز توسعه یافته است. در این میان، روشهای تحلیل استاتیکی غیرخطی با توجه به سادگی، سرعت انجام و سادگی تفسیر نتایج در مقایسه با روشهای تحلیل دینامیکی غیرخطی به سرعت مورد اقبال مهندسان واقع شده اند. به عنوان مثال، روش تحلیل استاتیکی فزاینده غیرخطی به عنوان پایه ای برای روشهای تحلیل و کنترل سازه ها که می توان از آنها به عنوان نسل دوم روشهای تحلیل استاتیکی غیرخطی نام برد، کاربرد یافته است. یکی از این روشها، تحلیل استاتیکی فزاینده غیرخطی مدی نامیده شده است. در این روش دو مفهوم نیاز لرزه ای و ظرفیت سازه، با ارائه مفهوم سازه یک درجه آزاد معادل با یکدیگر مقایسه شده و در نهایت حداکثر تغییر مکان انتهای سازه موجود بر اثر زلزله مفروض با استفاده از نگاشت آن زلزله تعیین می شود [۴].

۲-۲- روش استاتیکی غیرخطی (Pushover)

در چند سال اخیر روش تحلیل استاتیکی غیرخطی که عمدتاً از آن با لفظ Pushover یاد می شود، در تعیین نیاز لرزه ای سازه و به طور خاص در مهندسی زلزله بر اساس عملکرد مورد توجه بسیاری از محققین قرار گرفته است. اساس کلی این روش بدین صورت است که یک مدل ریاضی غیرخطی از سازه تحت یک الگوی بار جانبی قرار گرفته و این بار جانبی با آهنگ ثابتی افزایش پیدا می کند تا زمانی که سازه به یک تغییر مکان هدف از پیش تعیین

یادداشت فنی

۲- توزیع بار جانبی معادل (Equivalent Lateral Force; ELF): که معمولاً وقتی استفاده می شود که بیشتر از ۷۵٪ مشارکت جرم کلی در مود پایه در جهت مورد بررسی باشد.

$$S_j^* = \frac{m_j h_j^k}{\sum_{i=1}^N m_i h_i^k} \quad (2)$$

شماره طبقه $j=1, 2, \dots, N$

در رابطه (۲) برای $k=1$ برای پریود پایه $T_1 \leq 0.5$ و $k=2$ برای $T_1 \geq 2.5$ ثانیه و k به طور خطی بین این دو مقدار تغییر می کند.

۳- الگوی SRSS: بار جانبی در این روش وابسته به نیروهای اینرسی بدست آمده از تحلیل طیفی الاستیک است که باید مشارکت مودها به اندازه ای باشد که ۹۰٪ مشارکت جرم مودی در نظر گرفته شود، و این تحلیل با یک طیف زلزله مناسب انجام می شود.

$$\tilde{f}_j = \frac{f_j}{\sum_{i=1}^N f_i} \quad (3)$$

بر اساس دستورالعمل FEMA سایر الگوهای بار مناسب که قبلاً بررسی و کنترل شده باشند، می توانند جایگزین الگوهای سه گانه فوق گردند.

۳- تحلیل pushover مودال (Modal Pushover Analysis)

این روش یکی از روشهای ارائه شده جهت منظور نمودن اثرات مودهای بالاتر می باشد که در سال ۲۰۰۲ توسط چوپرا و گوئل [۴]. ارائه شد. این روش به علت بیان یک درک هندسی ملموس از موضوع، مقبولیت بیشتری نسبت به سایر روشها ی Pushover پیش رفته پیدا کرده است.

در روش MPA فرض می شود که پاسخ مودها در حالت غیر الاستیک به صورت غیر همبسته می باشد. بنابراین پاسخ لرزه ای سازه در هر مود به طور مستقل از هل دادن سازه با الگوی توزیع بار ثابت ناشی از نیروهای اینرسی در

اعمال شده اند، و نیروهای اینرسی محاسبه شده تقریبی از نیروهایی هستند که توقع داریم در طی زلزله طراحی در سازه ایجاد شوند.

جابه جایی هدف می تواند به وسیله هر روشی که اثر پاسخ غیر خطی روی جا به جایی را در نظر می گیرد، محاسبه شود، مثل اثرات میرایی در نقطه عملکردی. چنین روشی که به روش ضرائب جابه جایی شناخته می شود در FEMA 273 شرح داده شده است. در این تحقیق جابه جایی هدف برای تحلیل استاتیکی غیر خطی به وسیله الگوهای بار FEMA همان جابه جایی بام در مود اول که در روش MPA محاسبه خواهد شد، در نظر گرفته می شود.

۲-۱-۱- الگوهای بار جانبی

بار جانبی در مقطع طولی به ساختمان اعمال می شود که به طور تقریبی بیان کننده توزیع نیروهای اینرسی زلزله می باشد. برای آنالیزهای سه بعدی، توزیع افقی باید ارائه کننده توزیع نیروهای اینرسی در صفحه دیافراگم هر طبقه باشد. برای هر دو آنالیز دو بعدی یا سه بعدی باید حداقل از دو توزیع بار جانبی متفاوت در NSP استفاده شود. زیرا استفاده از یک الگوی بار ممکن است نقص های مخفی ساختمان را تشخیص ندهد. الگوی اول معمولاً الگوی بار یکنواخت نامیده می شود، که باید بر اساس نیروهای جانبی که وابسته به جرم کلی در هر تراز طبقه هستند، باشد. الگوی دوم الگوی مودال نامیده می شود که باید از میان دو الگوی بار جانبی معادل و الگوی SRSS انتخاب شود.

سه الگوی بار اصلی FEMA به صورت زیر خلاصه می شوند.

۱- توزیع یکنواخت (Uniform): در این توزیع، نیروی وارد بر هر طبقه متناسب با جرم آن طبقه مطابق رابطه (۱) محاسبه میگردد.

$$S_j^* = \frac{m_j}{\sum_{i=1}^N m_i} \quad (1)$$



یادداشت فنی

$$T_n = 2\pi \sqrt{\frac{L_n D_{ny}}{F_{sny}}} \quad (7)$$

۶- محاسبه جا به جایی بام در مود n ام

$$U_{rn} = \Gamma_n \phi_{rn} D_n \quad (8)$$

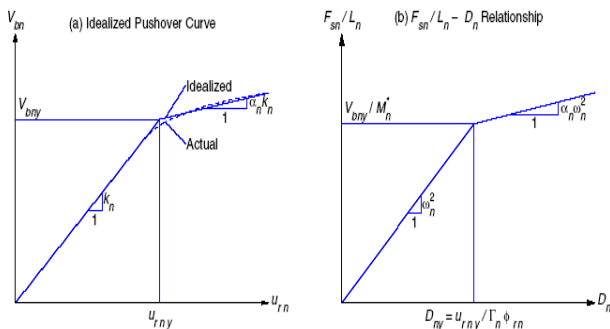
۷- مقادیر پاسخ های کمیت های دلخواه r_m (از قبیل جا به جایی طبقات، جا به جایی نسبی داخل طبقه، دوران مفاصل پلاستیک و...) از روی تحلیل Pushover وقتی که جا به جایی بام برابر با جا به جایی محاسبه شده در گام ۶ باشد تعیین می شوند.

۸- مقادیر کلی تقاضای کمیت های تعیین شده در گام ۷، برای هر مود از طریق قانون ترکیب جذر مجموع مربعات (SRSS) پاسخ های مودال تعیین می شود (رابطه ۹).

$$r_0 \approx \left(\sum_{n=1}^N r_{n0}^2 \right)^{1/2} \quad (9)$$

۴- مدلسازی و تحلیل

به منظور بررسی روش ها در سیستم مهاربندی واگرا از سه قاب ۳، ۹ و ۱۵ طبقه با دهانه های ۶ متری و ارتفاع طبقات ۳/۳ متری استفاده گردیده است [۲]. این قاب و مشخصات آن در شکل (۳) و جداول (۱)، (۲) و (۳) آمده است.



شکل (۲): خصوصیات سیستم SDOF مرتبط با مود n ام بدست آمده از منحنی pushover مرتبط با آن [۴]

دلیل استفاده از این قاب کاربرد فراوان در صنعت ساختمان ایران در گذشته و حال می باشد.

آن مود تا رسیدن به تغییر مکان هدف حاصل می گردد. سپس پاسخ کلی سازه از روی ترکیب پاسخ مودها با استفاده از روش جذر مجموع مربعات (SRSS) بدست می آید.

۳-۱- مراحل روش MPA

در ذیل مراحل روش MPA به صورت گام به گام ارائه می شود.

۱- انجام تحلیل مقادیر ویژه جهت تعیین پریودهای طبیعی

ارتعاش T_n و اشکال مودی ϕ_n

۲- انجام تحلیل Pushover برای هر مود با الگوی توزیع

بار $S_n^* = m\phi_n$ و تعیین منحنی برش پایه- تغییر مکان بام

۳- ایده آل سازی منحنی Pushover به صورت منحنی دو خطی (مطابق شکل ۲)

۴- تبدیل منحنی دو خطی Pushover به فرمت $\frac{F_{sn}}{L_n} - D_n$

به وسیله روابط زیر (که در شکل ۲ نشان داده شده است).

$$D_{ny} = \frac{U_{rny}}{\Gamma_n \phi_{rn}} \quad (4)$$

$$\frac{F_{sn}}{L_n} = \frac{V_{bny}}{M_n^*}$$

که در آن M_n^* جرم موثر مودال بوده و از روابط زیر بدست می آید.

$$M_n^* = L_n \Gamma_n \quad (5)$$

$$L_n = \sum_{k=1}^N m_k \phi_{kn} \quad (6)$$

$$\Gamma_n = \frac{\sum_{k=1}^N m_k \phi_{kn}}{\sum_{k=1}^N m_k \phi_{kn}^2}$$

۵- محاسبه ماکزیمم جا به جایی غیرالاستیک سیستم یک درجه آزادی غیرالاستیک مربوط به مود n ام از طریق تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی یا تحلیل طیفی. پریود ارتعاشی مود n ام از رابطه زیر محاسبه می شود.



یادداشت فنی

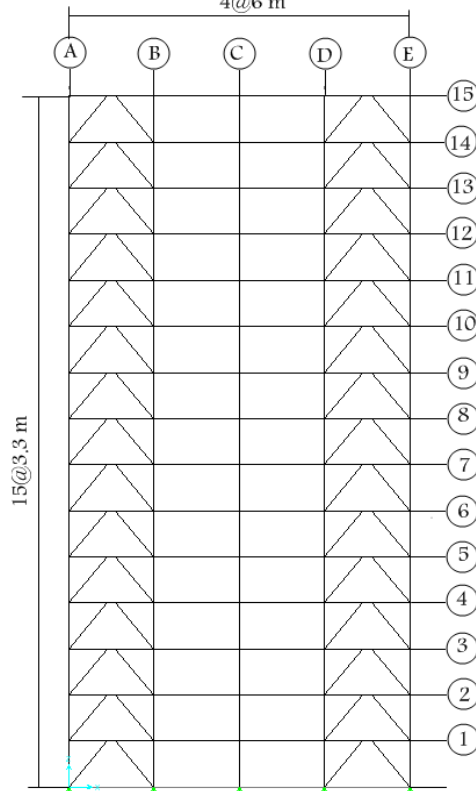
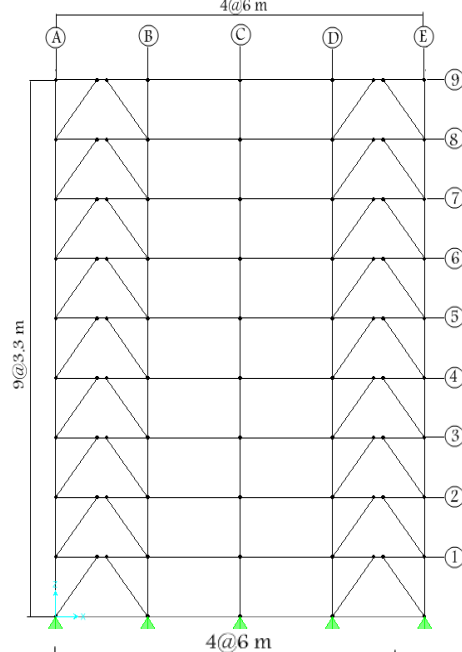
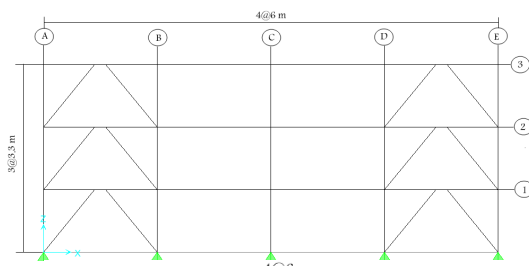
برای انجام تحلیلهای استاتیکی فزاینده غیرخطی مدی و تاریخچه زمانی، از هفت شتابنگاشت مختلف استفاده گردیده است، که برای ایجاد همگونی و امکان مقایسه بهتر بین نتایج و استفاده از نتایج میانگین، تمام شتابنگاشتها با طیف طرح آئین نامه ایران برای خاک نوع II همپایه شده اند. که مقادیر PGA این شتابنگاشتها قبل و بعد از همپایه کردن در جدول ۴ آورده شده است.

جدول (۱): مشخصات مقاطع قاب ۳ طبقه [۲]

Floor	Beam		Column			Brace
	AB DE	BC CD	A E	B D	C	A-B D-E
3	IPE2 40	IPE2 40	2IPE1 40	2IPE1 40	2IPE1 40	2UNP120 D10
2	IPE2 70	IPE2 70	2IPE1 60	2IPE1 80	2IPE2 00	2UNP140 D10
1	IPE3 00	IPE3 00	2IPE1 80	2IPE2 20	2IPE2 40	2UNP140 D10

جدول (۲): مشخصات مقاطع قاب ۹ طبقه [۲]

Floor	Beam		Column			Brace
	A B D E	B C C D	A E	B D	C	A-B D-E
9	IP E2 70	IP E4 50	B120X1 20X12	B120X1 20X12	B120X1 20X12	2UNP1 40D10
8	IP E3 00	IP E4 50	B120X1 20X12	B120X1 20X12	B180X1 80X16	2UNP1 40D10
7	IP E3 30	IP E4 50	B180X1 80X16	B180X1 80X16	B180X1 80X16	2UNP1 60D10
6	IP E3 30	IP E4 50	B180X1 80X16	B200X2 00X20	B180X1 80X16	2UNP1 60D10
5	IP E3 30	IP E4 50	B200X2 00X20	B200X2 00X20	B200X2 00X20	2UNP1 60D10
4	IP E3 60	IP E4 50	B240X2 40X20	B260X2 60X25	B200X2 00X20	2UNP1 80D10
3	IP E3 60	IP E4 50	B260X2 60X25	B260X2 60X25	B240X2 40X20	2UNP1 80D10
2	IP E3 60	IP E4 50	B320X3 20X30	B320X3 20X30	B260X2 60X25	2UNP1 80D10
1	IP E3 60	IP E4 50	B320X3 20X30	B320X3 20X30	B260X2 60X25	2UNP1 80D10



شکل (۳): شکل هندسی قابهای ۱۵ و ۹ و ۳ طبقه [۲]

یادداشت فنی

جدول (۳): مشخصات مقاطع قاب ۱۵ طبقه [۲]

ها در برآورد پاسخ های سازه، نسبت به نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی غیر خطی به عنوان روش دقیق (شاهد)، پرداخته می شود. پارامترهای پاسخ که از نتایج تحلیل ها استخراج شده و مورد مقایسه قرار گرفته اند عبارتند از: ۱- حداکثر تغییر مکان طبقات، به صورت درصدی از ارتفاع قاب ۲ - درصد تغییر مکان نسبی طبقات. پارامتر دوم همواره اهمیت زیاد تری در برآورد خسارت دارد.

برای انجام آنالیزها از نرم افزار SAP2000 استفاده شده است. این نرم افزار دارای امکانات مناسب برای انجام آنالیزهای استاتیکی غیرخطی و همچنین تحلیل های دینامیکی غیرخطی می باشد. در نمودارهای (۴-الف)، (۵-الف)، (۸-الف)، (۹-الف)، (۱۲-الف) و (۱۳-الف) پاسخ های محاسبه شده از روش MPA با یک، دو و سه مود مختلف و همچنین نتایج حاصل از تحلیل تاریخیچه زمانی غیر خطی (NL-RHA) به عنوان روش دقیق و در نمودارهای (۶-الف)، (۷-الف)، (۱۰-الف)، (۱۱-الف)، (۱۴-الف) و (۱۵-الف) پاسخ های محاسبه شده از روش های مختلف (FEMA) با الگوهای بار متفاوت و روش MPA با سه مود (و همچنین نتایج حاصل از تحلیل تاریخیچه زمانی غیر خطی (NL-RHA) به عنوان روش دقیق و مبنای مقایسه نشان داده شده است. نتایج حاصل از ۷ زلزله بکار برده شده در تحلیل تاریخیچه زمانی غیر خطی به توصیه FEMA میانگین گیری شده است. محور قائم نشان دهنده شماره طبقه و محور افقی مقدار پاسخ را نشان می دهد. در نمودارهای (۴-ب) تا (۱۵-ب) مقدار خطای این روش ها بر روی محور افقی به صورت درصد نشان داده شده است.

Floor	Beam		Column			Brace
	A B D E	B C C D	A E	B D	C	A-B D-E
15	IPE 300	IPE 450	B120X1 20X12	B120X1 20X12	B120X1 20X12	2UNP1 40D10
14	IPE 300	IPE 450	B180X1 80X16	B180X1 80X16	B180X1 80X16	2UNP1 40D10
13	IPE 330	IPE 450	B180X1 80X16	B180X1 80X16	B180X1 80X16	2UNP1 60D10
12	IPE 330	IPE 450	B180X1 80X16	B180X1 80X16	B180X1 80X16	2UNP1 60D10
11	IPE 330	IPE 450	B200X2 00X20	B200X2 00X20	B200X2 00X20	2UNP1 80D10
10	IPE 360	IPE 450	B240X2 40X20	B240X2 40X20	B240X2 40X20	2UNP1 80D10
9	IPE 360	IPE 450	B260X2 60X25	B260X2 60X25	B240X2 40X20	2UNP1 80D10
8	IPE 400	IPE 450	B300X3 00X25	B300X3 00X25	B260X2 60X25	2UNP2 00D10
7	IPE 400	IPE 450	B320X3 20X30	B320X3 20X30	B260X2 60X25	2UNP2 00D10
6	IPE 400	IPE 450	B320X3 20X30	B340X3 40X30	B300X3 00X25	2UNP2 00D10
5	IPE 400	IPE 450	B400X4 00X30	B400X4 00X30	B300X3 00X25	2UNP2 00D10
4	IPE 400	IPE 450	B400X4 00X35	B400X4 00X35	B300X3 00X25	2UNP2 00D10
3	IPE 400	IPE 450	B400X4 00X40	B400X4 00X40	B320X3 20X30	2UNP2 00D10
2	IPE 400	IPE 450	B440X4 40X40	B440X4 40X40	B320X3 20X30	2UNP2 00D10
1	IPE 400	IPE 450	B500X5 00X40	B500X5 00X40	B320X3 20X30	2UNP2 00D10

جدول (۴): شتاب نگاشت های همپایه شده با طیف طرح

آیین نامه ایران برای خاک نوع II [۲]

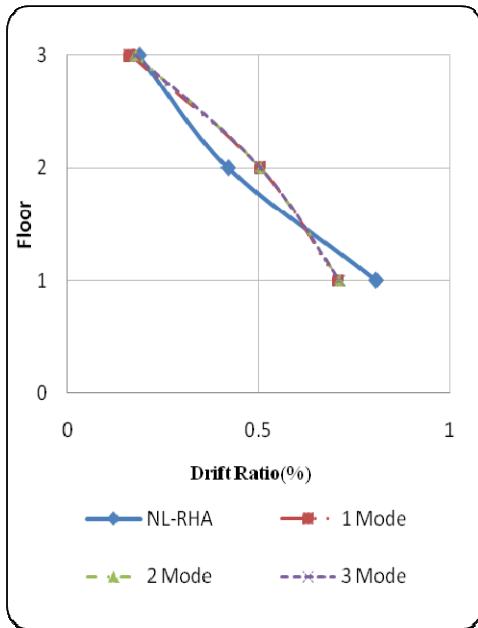
Name	PGA مقیاس شده بر حسب g	PGA واقعی بر حسب g
Chichi	0.450	0.808
Elcentro	0.464	0.319
Kobe	0.443	0.821
Naghan	0.678	0.706
Mexico	0.841	0.587
Northridge	0.451	0.514
Sanfernando	1.218	0.366

۵- اعمال روشها و بررسی نتایج

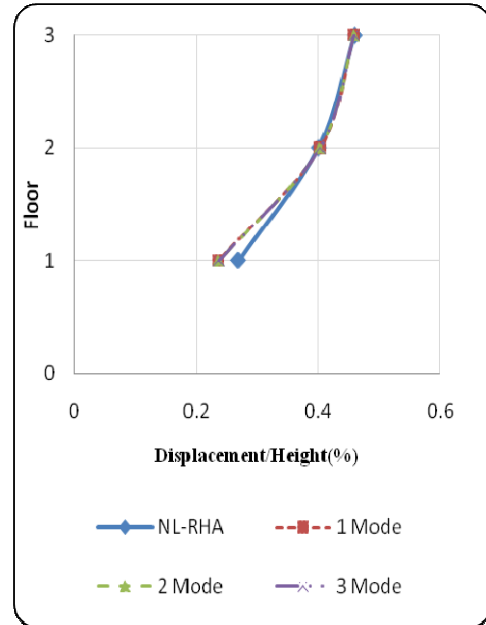
در این بخش با اعمال الگوهای بار موجود در FEMA و الگوهای بار مودی مورد استفاده در روش MPA بر روی مدل های انتخاب شده، به مقایسه دقت و توانایی این روش



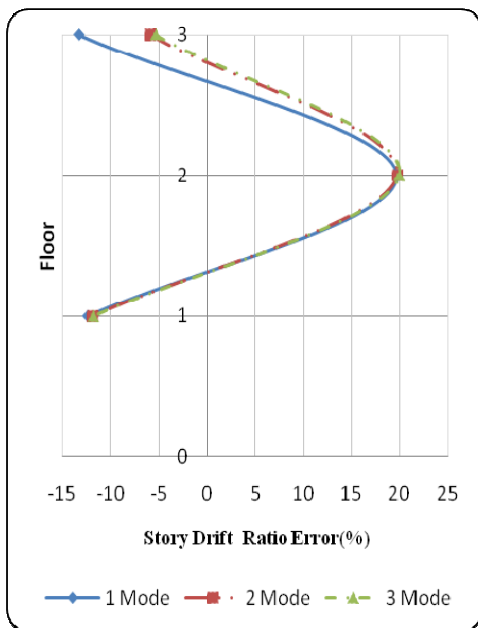
یادداشت فنی



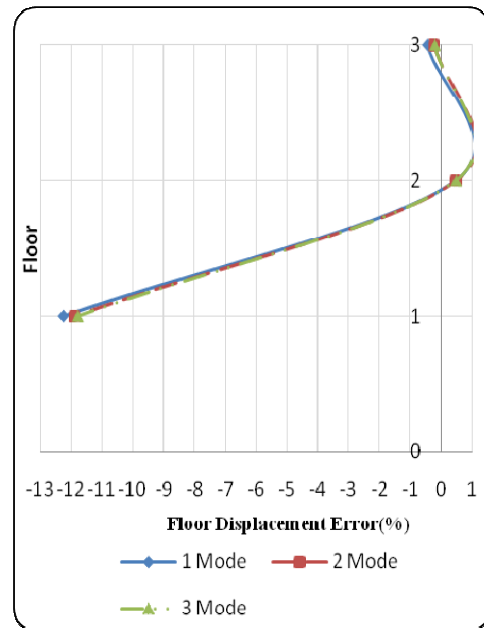
(الف)



(الف)



(ب)

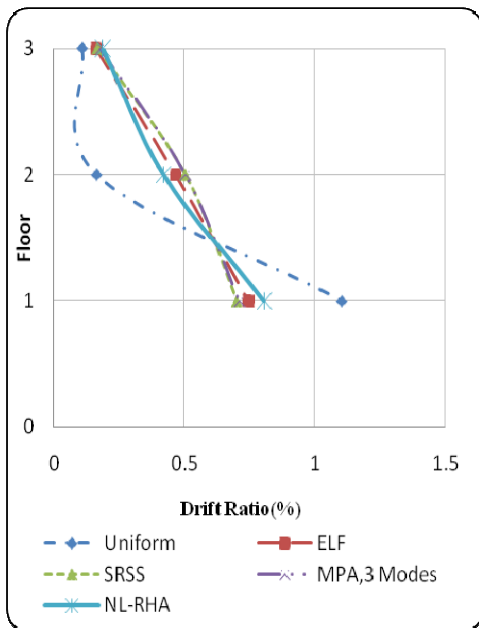


(ب)

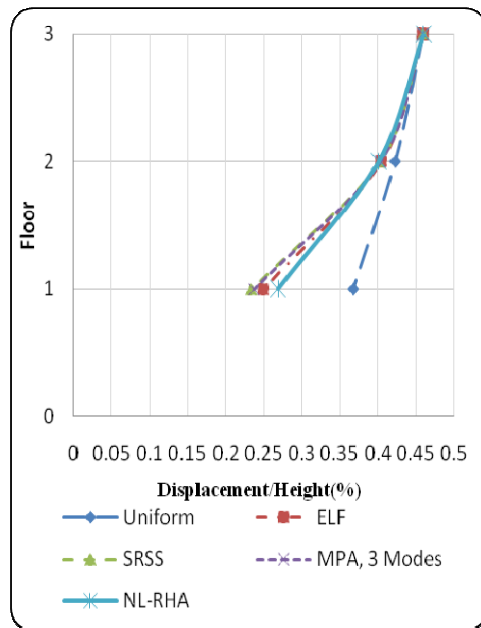
شکل (۵): (الف) تعیین جابجایی نسبی طبقات با استفاده از برآوردهای MPA با ۱، ۲ و ۳ مود در قاب ۳ طبقه (ب) خطاها در برآورد پاسخها [۲]

شکل (۴): (الف) تعیین جابجایی حداکثر طبقات با استفاده از برآوردهای MPA با ۱، ۲ و ۳ مود در قاب ۳ طبقه (ب) خطاها در برآورد پاسخها [۲]

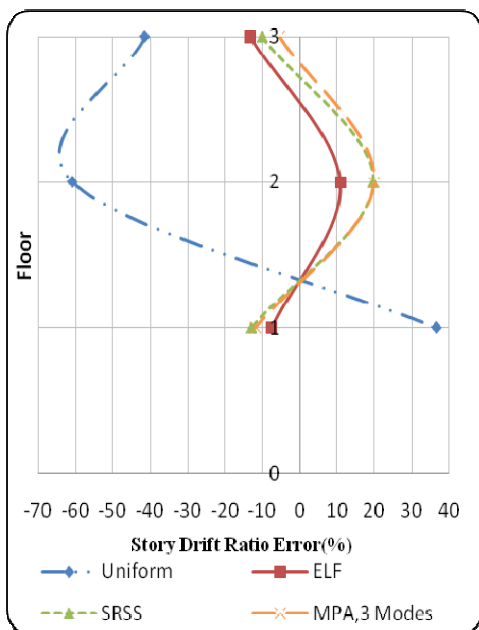
یادداشت فنی



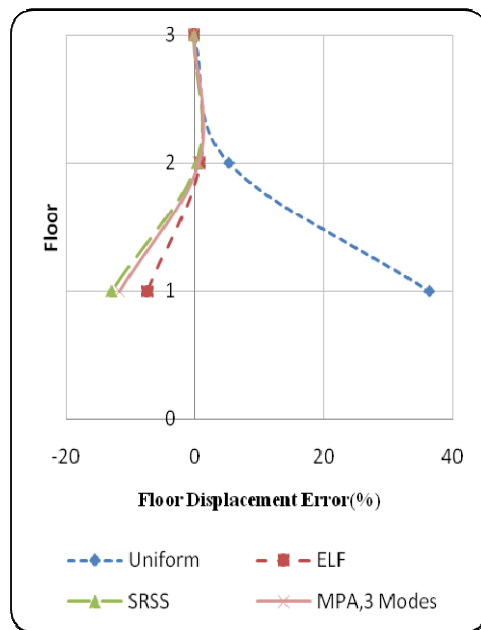
(الف)



(الف)



(ب)

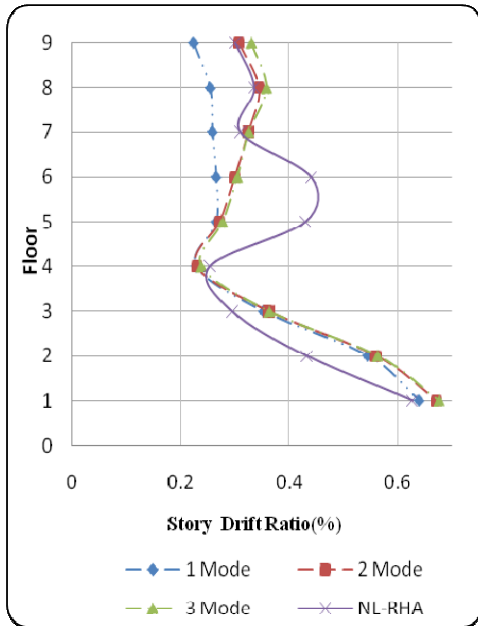


(ب)

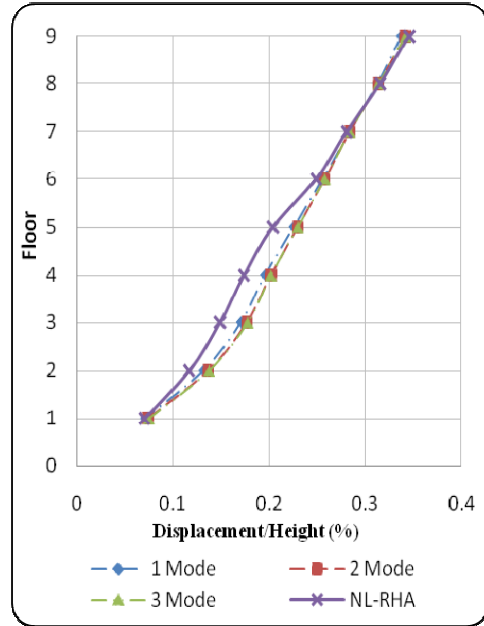
شکل (۷): (الف) تعیین جابجایی نسبی طبقات با استفاده از برآوردهای MPA و FEMA در قاب ۳ طبقه (ب) خطاها در برآورد [۲]

شکل (۶): (الف) تعیین جابجایی حداکثر طبقات با استفاده از برآوردهای MPA و FEMA در قاب ۳ طبقه (ب) خطاها در برآورد [۲]

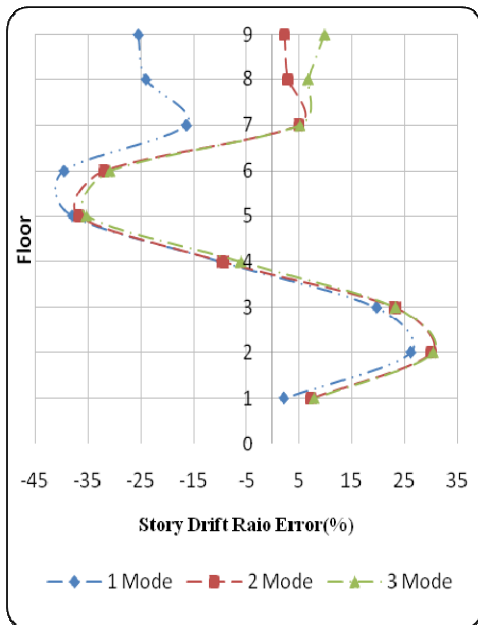
یادداشت فنی



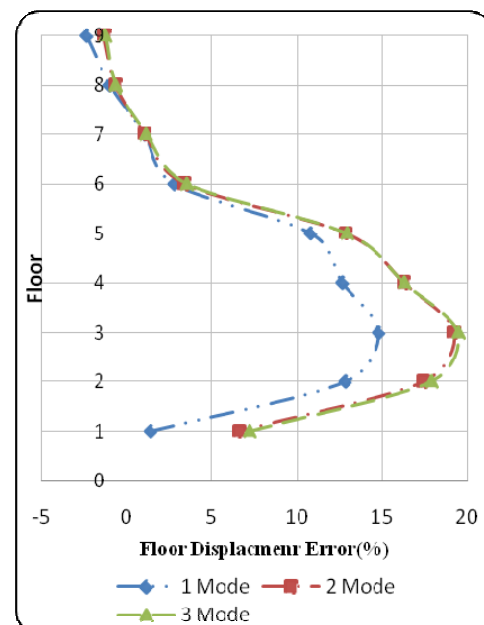
(الف)



(الف)



(ب)

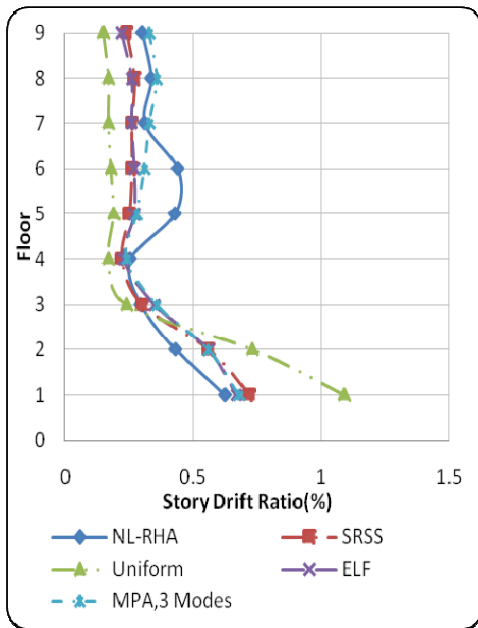


(ب)

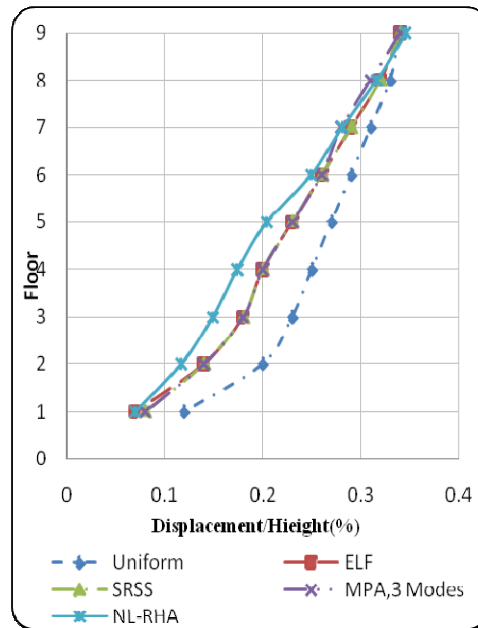
شکل (۸): (الف) تعیین جابجایی حداکثر طبقات با استفاده از برآوردهای MPA با ۱، ۲، و ۳ مود در قاب ۹ طبقه (ب) خطاها در برآورد پاسخها [۲]

شکل (۹): (الف) تعیین جابجایی نسبی طبقات با استفاده از برآوردهای MPA با ۱، ۲، و ۳ مود در قاب ۹ طبقه (ب) خطاها در برآورد پاسخها [۲]

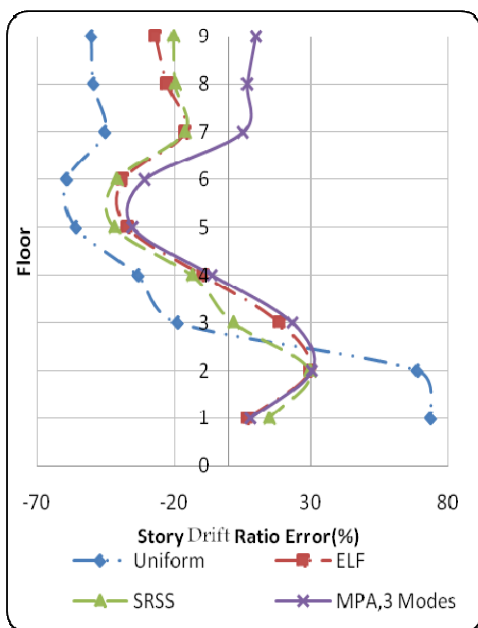
یادداشت فنی



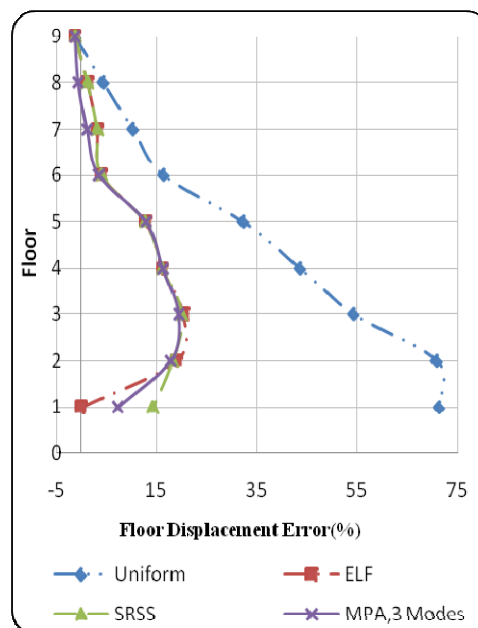
(الف)



(الف)



(ب)

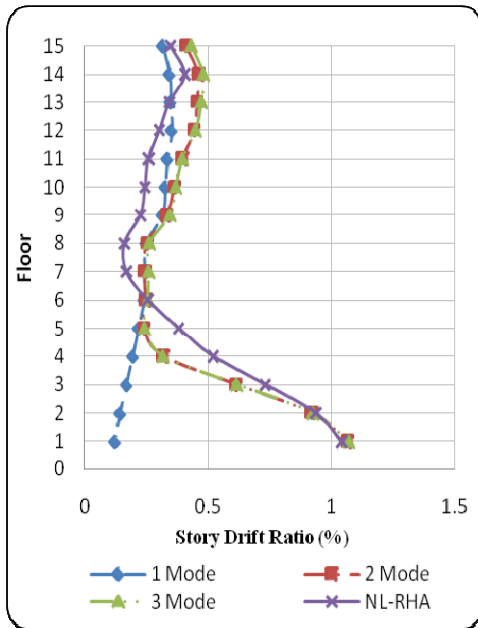


(ب)

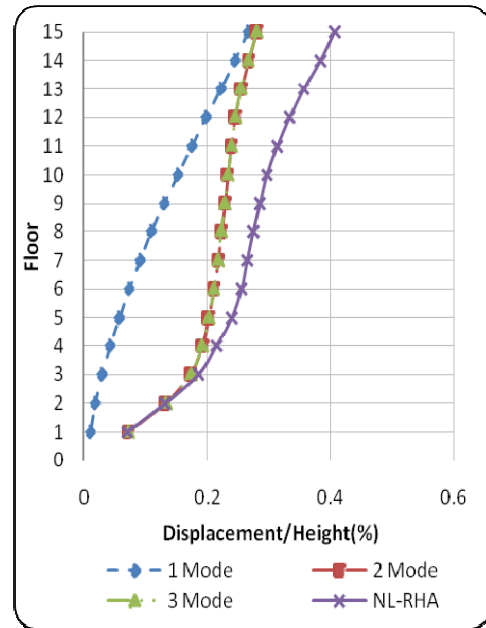
شکل (۱۱): (الف) تعیین جابجایی نسبی طبقات با استفاده از برآوردهای MPA و FEMA در قاب ۹ طبقه (ب) خطاها در برآورد [۲]

شکل (۱۰): (الف) تعیین جابجایی حداکثر طبقات با استفاده از برآوردهای MPA و FEMA در قاب ۹ طبقه (ب) خطاها در برآورد [۲]

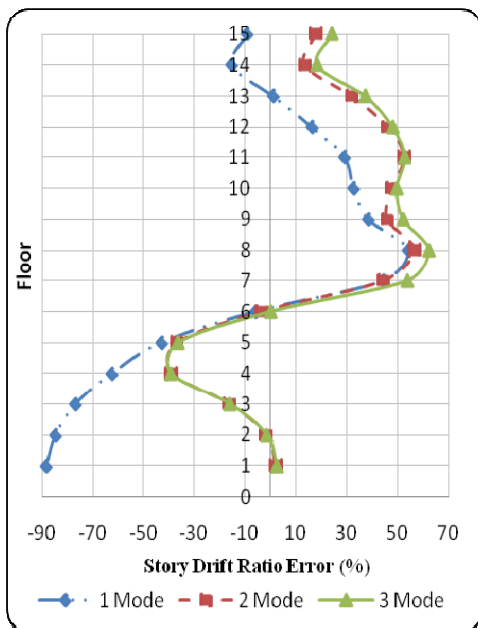
یادداشت فنی



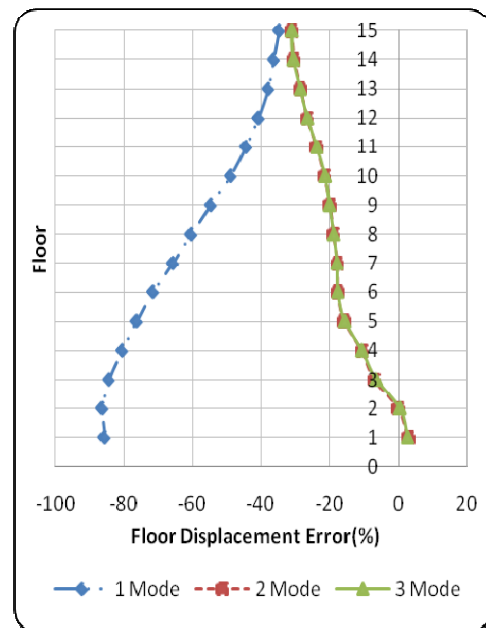
(الف)



(الف)



(ب)

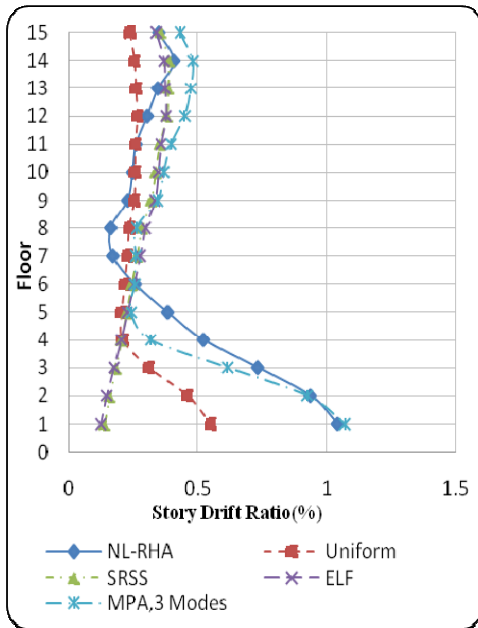


(ب)

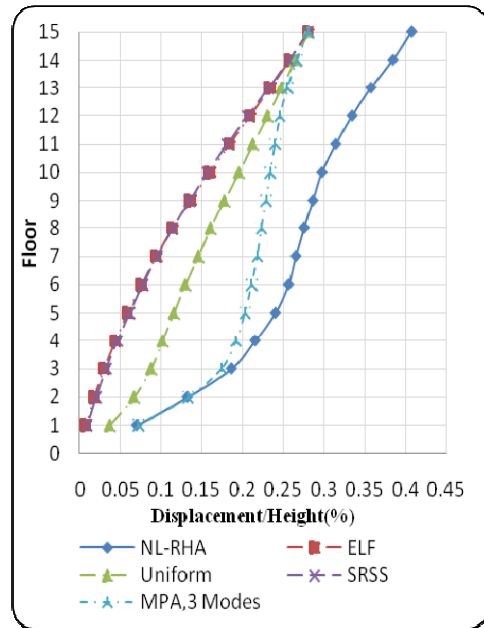
شکل (۱۳): (الف) تعیین جابجایی نسبی طبقات با استفاده از برآوردهای MPA با ۱، ۲ و ۳ مود در قاب ۱۵ طبقه (ب) خطاها در برآورد پاسخها [۲]

شکل (۱۲): (الف) تعیین حداکثر طبقات با استفاده از برآوردهای MPA با ۱، ۲ و ۳ مود در قاب ۱۵ طبقه (ب) خطاها در برآورد پاسخها [۲]

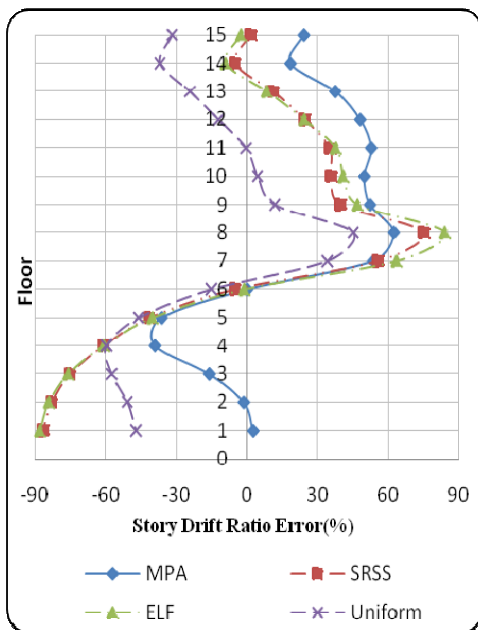
یادداشت فنی



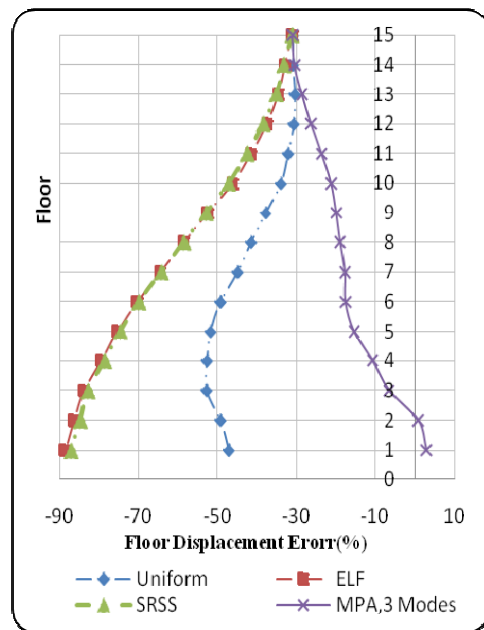
(الف)



(الف)



(ب)



(ب)

شکل (۱۵): (الف) تعیین جابجایی نسبی طبقات با استفاده از برآوردهای MPA و FEMA در قاب ۱۵ طبقه (ب) خطاها در برآورد [۲]

شکل (۱۴): (الف) تعیین حداکثر طبقات با استفاده از برآوردهای MPA و FEMA در قاب ۱۵ طبقه (ب) خطاها در برآورد [۲]

یادداشت فنی

۶- نتایج تحلیل ها

در این مقاله قاب ۳ طبقه به عنوان قاب کوتاه مرتبه، قاب ۹ طبقه به عنوان قاب میان مرتبه و قاب ۱۵ طبقه به عنوان قاب بلند مرتبه در نظر گرفته شده است. با توجه به فرضیات در نظر گرفته شده در این مقاله (از جمله دو بعدی بودن ساختمان، استفاده از تعدادی قابهای محدود، استفاده از شتابنگاشت‌های هفت گانه ذکر شده و ...) می-توان به نتایج زیر دست یافت:

۶-۱- نتایج تحلیل قابهای کوتاه مرتبه

با توجه به نمودارهای (۴)، (۵)، (۶) و (۷) برای جابجایی حداکثر و نسبی طبقات قابهای کوتاه مرتبه می-توان نتیجه گرفت:

توزیع بار یکنواخت در برآورد حداکثر جابجایی و جابجایی نسبی طبقات قابهای کوتاه مرتبه عملکرد ضعیفی دارد و پاسخ‌ها را با خطای زیادی برآورد می‌نماید.

روش MPA، در برآورد حداکثر جابجایی و جابجایی نسبی طبقات عملکرد بسیار مناسبتری نسبت به الگوی توزیع بار یکنواخت دارد. ولی در مقایسه با توزیع بارهای SRSS و ELF دارای عملکرد تقریباً مشابه می باشد و دقت توزیع بار ELF در برآورد جابجایی نسبی و حداکثر طبقات همانند روش MPA و حتی گاهی بهتر از آن می باشد.

۶-۲- نتایج تحلیل قابهای میان مرتبه

با توجه به نمودارهای (۸)، (۹)، (۱۰) و (۱۱) برای جابجایی حداکثر و نسبی طبقات قابهای میان مرتبه می-توان نتیجه گرفت:

در مورد الگوهای توزیع بار FEMA، توزیع بار یکنواخت در برآورد جابجایی نسبی طبقات عملکرد غیر قابل قبولی دارد. به طور نسبی الگوی توزیع بار SRSS در برآورد جابجایی نسبی طبقات عملکرد بهتری از الگوهای توزیع بار ELF دارد. توزیع بار یکنواخت (Uniform) در برآورد حداکثر جابجایی طبقات مخصوصاً در طبقات پایینتر، عملکرد نامناسبی دارد. الگوی توزیع بار ELF نسبت به سایر الگوهای توزیع بار در برآورد این پاسخ دقیقتر

عمل می‌نماید. روش MPA در برآورد جابجایی نسبی و جابجایی حداکثر طبقات، در نیمه بالایی سازه عملکرد بسیار خوبی داشته و از الگوهای توزیع بار FEMA دقیقتر می باشد. ولی در نیمه پایینی مزیت خاصی نسبت به الگوهای ELF و SRSS ندارد. توزیع بار ELF جابجایی نسبی و حداکثر طبقات یک سوم پایینی قابها را با دقتی همانند روش MPA و حتی گاهی بهتر برآورد می‌نماید.

به طور کلی روش MPA پاسخ‌ها را (مخصوصاً جابجایی نسبی طبقات را که پارامتر بسیار مهمی در ارزیابی عملکرد لرزه‌ای سازه‌ها می‌باشد) نسبت به الگوهای توزیع بار FEMA دقیقتر و با خطای کمتری برآورد می‌نماید.

هر چه تعداد طبقات سازه بیشتر می شود، با بالا رفتن ضریب مشارکت مودهای دیگر غیر از مود اول، تأثیر در نظر گرفتن مودهای بالاتر به خصوص در نتایج طبقات فوقانی زیادتر می شود. این تأثیر در برآورد جابه جایی نسبی طبقات بیشتر دیده می شود. معمولاً سه مود اول دقت خوبی دارد.

۶-۳- نتایج تحلیل قابهای بلند مرتبه

با توجه به نمودارهای (۱۲)، (۱۳)، (۱۴) و (۱۵) برای جابجایی حداکثر و نسبی طبقات قابهای بلند مرتبه می-توان نتیجه گرفت:

توزیع بار یکنواخت (Uniform) در برآورد حداکثر جابجایی طبقات، عملکرد بسیار مناسبتری نسبت به سایر توزیع های FEMA دارد. با این وجود در کل از دقت مناسبی برخوردار نیست عملکرد الگوهای توزیع بار FEMA در برآورد حداکثر جابجایی طبقات غیر قابل قبول می باشد. روش MPA نسبت به دو الگوی های توزیع بار ELF و SRSS در برآورد حداکثر جابجایی طبقات همواره عملکرد بسیار بهتری دارد. تأثیر روش MPA در بهبود دقت برآوردهای جابجایی حداکثر طبقات پایینی بسیار نمایانتر می‌باشد. توزیع بار یکنواخت (Uniform) در برآورد جابجایی نسبی طبقات، بجز در یک سوم بالایی طبقات، عملکرد بسیار مناسبتری نسبت به سایر توزیع های FEMA دارد. دقت این توزیع در یک سوم میانی طبقات

یادداشت فنی

۳. شایانفر محسنعلی، صفایی سید مهدی، " بررسی تأثیر الگوهای بار جانبی در تحلیل استاتیکی غیرخطی در قابهای ساده بلندمرتبه واگرا"، چهارمین همایش ملی نگرشی برآیین نامه ۲۸۰۰، ۱۳۸۸.

4. Chopra, A.K and Goel, R.K " A modal Pushover Procedure to estimate seismic demands for buildings :Summery and evaluation " fifth National conference on Earthquake, Istanbul, Turkey, Keynot Lecture, 2003

5. FEMA "NEHRP guidelines for the seismic rehabilitation of buildings", FEMA 273, and "NEHRP Commentary on the guidelines for the seismic rehabilitation of buildings", FEMA 274. Federal Emergency Management Agency, Washington D.C, 1997.

6. FEMA "Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures", FEMA 440, Federal Emergency Management Agency, Washington D.C, 2005 .

7. Naeim, F. " The seismic design hand book, chapter 15, Performance Based Seismic Engineering ", Van Nostrand, 2000.

8. Shakeri, M.A. Shayanfar and Kabeyasawa "A story shear-based adaptive pushover procedure for estimating seismic demands of buildings" Journal of Engineering structures, Vol 32, issue 1, p174-183, January 2010

9. Shakeri, M.A. Shayanfar and M. Mohebbi Asbmarz "A Spectra-Based Multi Modal Adaptive Pushover Procedure for Seismic Assessment of Buildings." Proceedings of the 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China, 2008.

10. Kamil Khandelwal, Sherif El-Tawil, Fahim Sadek. " Progressive collapse analysis of seismically designed steel braced frames" Journal of Constructional Steel Research, 2008.

11. AISC 2005. American Institute of Steel Construction, Seismic Provisions for Structural Steel Buildings.

12. Shakeri, M.A. Shayanfar and A.S. Moghaddam. "An Efficient Method for Optimum Combination of Modes Required for Pushover Analysis" Proceeding of the 9th Canadian Conference on Earthquake Engineering, Canada, 2007.

13. Kalkan, Kunnath. "Method of Modal

حتی از روش MPA نیز بالاتر می باشد و تأثیر روش MPA در بهبود دقت برآوردهای جابجایی نسبی نیمه پایینی طبقات بسیار محسوس و چشمگیر می باشد.

۷- نتیجه گیری

با انجام مدلسازی ها و مطالعه بر روی نتایج تحلیل ها و تفسیر آنها می توان نتایج کلی مقاله را بصورت زیر بیان نمود:

در روش MPA مخصوصا در قابهای کوتاه مرتبه و میان مرتبه در نظر گیری مود سوم تأثیر چندانی در بهبود پاسخ-ها نخواهد داشت و می توان از آن صرفنظر نمود و با این نظر گیری دو مود اول سازه به دقت مطلوبی رسید. با این وجود، با بالا رفتن ضریب مشارکت مودهای دیگر غیر از مود اول، تأثیر در نظر گرفتن مودهای بالاتر به خصوص در نتایج طبقات فوقانی زیادتر می شود.

هم چنین به طور کلی روش MPA پاسخ ها را نسبت به الگوهای توزیع بار FEMA دقیقتر و با خطای کمتری برآورد می نماید. بعلاوه در میان الگوهای توزیع بار FEMA، بطور نسبی الگوهای ELF و SRSS برآورد بهتری از پاسخ ها را نسبت به الگوی توزیع بار یکنواخت ارائه می دهند. هم چنین دقت روش MPA با بالا رفتن ارتفاع طبقات در مدل های مختلف کمتر می شود که این بدلیل ورود سازه به مرحله غیرالاستیک بوده که دقت فرضیات روش را کاهش می دهد.

۷- مراجع

۱. صفایی، سید مهدی، " بررسی و ارزیابی روش های پوش آور پیشرفته " سمینار کارشناسی ارشد مهندسی عمران، گرایش سازه، دانشکده عمران دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۸۸

۲. شایانفر محسنعلی، صفایی سید مهدی، " بررسی اثرات الگوهای مختلف توزیع بار جانبی و مودهای بالاتر در آنالیز استاتیکی غیر خطی (Pushover) قابهای مهاربندی شده واگرا"، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران، گرایش سازه، دانشکده عمران دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۸۸.



یادداشت فنی

Combinations for Pushover Analysis of Buildings"
13th World Conference on Earthquake Engineering,
Canada, 2007.

14. Yi Jiang, Gang Li and Dixiong Yang. "A modified approach of energy balance concept based multimode pushover analysis to estimate seismic demands for buildings". Journal of Engineering structures, Vol 32, issue 5, p1272-1283, May 2010

15. Kalkan , Kunnath . "Assessment of current nonlinear static procedures for seismic evaluation of buildings" Journal of Engineering structures, Vol 29, issue 3, p305-316, March 2007

16. Moghaddam, Hajirasouliha. "An investigation on the accuracy of pushover analysis for estimating the seismic deformation of braced steel frames". Journal of Constructional Steel Research, Vol 62, issue 43, p343-351, April 2006