

بررسی نتایج تحلیل های استاتیکی غیر خطی (Conventional and Adaptive Pushover) بر روی سازه های سه بعدی نامنظم

حسن عبدال پور^۱، ضیاءالدین زمان زاده^۲
Email:h_abdolpour@yahoo.com

خلاصه

روش pushover معمولی در چند سال اخیر گسترش زیادی یافته و حتی توانسته وارد آیین نامه ها گردد. علیرغم اینکه این روش اطلاعات مفید و قاطعی در مورد پارامترهای پاسخ سازه بدست می دهد ولی ضعفهای قابل توجهی نیز دارد. عدم در نظر گیری اثر مدهای بالاتر و اثر کاهش سختی سازه در حوزه غیر خطی، ضعفهای عمده این روش محسوب می شود. بنابراین نیاز به یک روش دیگر که بتواند ضعفهای فوق را جبران کند ضروری به نظر می رسد. روش adaptive pushover با رفع نواقص موجود در pushover معمولی و همچنین قابلیت ترکیب مدها با روشهای مختلف توانسته است نظر مهندسين را به خود جلب کند.

کلمات کلیدی: push over ، adaptive pushover ، میزان تقاضای سازه، معادل استاتیکی غیر خطی

مقدمه

اصولاً ارزیابی لرزه ای و طراحی سازه ها مبتنی بر روشهای تحلیل خطی و خطی معادل می باشد. ولی این روشها علی رغم سادگی آنها، ضعفهای عمده ای دارند که موجب شده است تا مهندسين زلزله را به فکر ابداع روشهای جدیدتر غیر خطی بیاورند. همانطور که می دانیم روشهای تحلیل دینامیکی غیر خطی بسیار وقت گیر بوده و پیچیدگیهای خاص خود را دارد ولی روشهای استاتیکی غیر خطی می توانند گزینه مناسبی جهت ارزیابی عملکرد سازه ها محسوب شوند. روش pushover معمولی بعنوان اولین و ساده ترین روش تحلیل استاتیکی غیر خطی توانسته است جایگاه خوبی را در چند سال اخیر در میان روشهای مختلف به خود اختصاص دهد. استفاده از این روش (تحلیل استاتیکی غیر خطی) در مهندسی زلزله به کار (sozen 1974) golkan ، حتی جلوتر از آنها بر می گردد که در آن یک سیستم یک درجه آزاد معادل جهت بیان رفتار یک سازه چند درجه آزاد مورد استفاده قرار می گرفت. در این روش ، منحنی بار - جابجایی سیستم ، جایگزین منحنی سازه اصلی چند درجه آزاد می شود تا پارامترهایی همچون سختی اولیه و سختی بعد از تسلیم ، مقاومت تسلیم و مقاومت نهایی آن بدست آید. بهر حال این روش علیرغم اینکه اخیراً گسترش زیادی پیدا کرده است ولی اصولاً فاقد یک پشتوانه تئوریک قوی و مستدل می باشد. عدم در نظر گیری مشارکت مدهای بالاتر ، و کاهش سختی بعد از تسلیم و نداشتن دلیل موجه برای در نظر گرفتن سیستم معادل یک درجه آزاد از ضعفهای این روش محسوب می شود. روش adaptive pushover با توجه به نقصهای فوق و سعی در بر طرف کردن آنها می تواند یک روش کاملاً جالب و دقیقتر نسبت به همتای مشابه خود باشد. در این روش با در نظر گیری اشتراک مدهای بالاتر و حتی بکارگیری روشهای مختلف ترکیب مود و در نظرگیری کاهش سختی سازه در هر گام انتظار می رود یک گام موثر به سمت جلو در پیش بینی رفتار سازه ها برداشته شود [۱].

اصول روش push over معمولی

اصول روش push over معمولی را می توان به ترتیب زیر شرح داد
یک مدل یک درجه آزاد معادل سیستم چند درجه آزاد سازه ، تا تغییر مکان هدف pushover می شود نیروها و تغییر شکلهای داخلی آن مورد ارزیابی قرار می گیرد. یک الگوی بار مشخص انتخاب می شود و این بار مرتباً افزایش داده می شود تا نیروهای داخلی و جابجایی ها بدست آید در این فرایند می توان ترتیب ترک خوردگی های المانها ، تشکیل مفاصل پلاستیک و گسیختگی المانهای سازه را مشاهده نمود این روند تا جایی ادامه داده می شود

^۱ کارشناس ارشد سازه

^۲ کارشناس ارشد سازه

که سازه به حد جابجایی هدف برسد یا دچار فرو پاشی کامل گردد. جابجایی هدف بیشترین جابجایی می باشد که ممکن است به هنگام وقوع زلزله مورد نظر در سازه، اتفاق بیفتد. تحلیل استاتیکی pushover فاقد مبانی تئوریک قوی می باشد. اصول کار این روش مبتنی بر این فرض است که پاسخ

یک سیستم چند درجه آزاد بطور مستقیم با پاسخ سیستم یک درجه آزاد معادل همبستگی دارد. یعنی اینکه پاسخ دینامیکی سیستم چند درجه آزاد فقط از طریق یک مود تعیین می شود که آن مود $\{\Phi\}$ دارای شکل ثابت می باشد. انتخاب یک جابجایی هدف مناسب برای یک سطح عملکرد خاص در تعیین سطح عملکرد یک سازه دارای اهمیت ویژه می باشد. همانطور که قبلاً گفته شد جابجایی هدف، ماکزیمم تغییر شکل مورد انتظار در زلزله طراحی می باشد [۲].

الگوی بار می تواند بر اساس نیرو و یا جابجایی باشد. مطالعات انجام شده توسط (priestley 1993) نشان داده است که الگوی بار مبتنی بر جابجایی مناسبتر و از نظر تئوریک قابل قبول تر از الگوی بار مبتنی بر نیرو می باشد. اشکال الگوی بار مبتنی بر جابجایی نیز این می باشد که این نوع الگوی بار به علت ثابت بودن نمی تواند نامنظمی سختی در ارتفاع سازه را نشان بدهد و این باعث می شود که وجود ضعف سختی (مثلاً وجود طبقه نرم) در سازه پنهان بماند. به همین دلیل استفاده از یک الگوی بار متناسب با سختی سازه در هر گام ضروری به نظر می رسد.

اصول روش adaptive pushover

روش adaptive pushover مبتنی بر نیرو (FAP)

همانطوریکه قبلاً ذکر شد برای جبران ضعفهایی که pushover معمولی داشت روشهای جدیدتر استاتیکی غیر خطی مورد توجه قرار گرفت. روش adaptive pushover یک روش جالب می باشد که علاوه بر پوشش ضعفهای روش قبلی از لحاظ تئوریک نیز پایه قویتری نسبت به pushover معمولی دارد (Gupta(2000 و Kunnath روشی ارائه داده اند که در آن نیروهای اعمال شونده به طور مداوم، متناسب با خصوصیات دینامیکی سازه تغییر می کنند. در این روش همچنین می توان از یک طیف ویژه ساختگاه نیز برای تعیین الگوی بار استفاده نمود. مطابق این روش در هر گام یک تحلیل بردار ویژه سازه انجام می شود و از طریق آن ماتریس سختی سازه در گام مورد نظر بدست می آید و الگوی بار جدید متناسب با سختی جدید سازه تعیین می گردد سپس نیروهای هر مورد مطابق فرمول زیر بدست می آید:

$$F_{ij} = \dot{I}_j \cdot \Phi_{ij} \cdot W_i \cdot S_a(j) \quad (1)$$

که (i) نشان دهنده طبقه سازه و (j) نشان دهنده شماره مود و (N) تعداد مودهای در نظر گرفته شده در آنالیز، Φ_{ij} شکل مودی نرمالایز شده به جرم در طبقه W_i مود j ام و مود i ام می باشد. $S_a(j)$ فاکتور تشدیدکننده طیفی مود j ام و \dot{I}_j ضریب اشتراکی مودی برای مود j ام می باشد که از رابطه زیر بدست می آید:

$$\dot{I}_j = \sum (m_k \cdot \Phi_{kj}) / \sum (m_k \cdot \Phi_{kj}^2) \quad (2)$$

برش پایه هر مود V_j بدست آمده و با ترکیب این برشهای پایه به روش SRSS برش پایه کل بدست می آید. سپس برش های پایه هر مود و نیروهای طبقات دوباره از طریق برشهای پایه و نیروهای قبلی و نسبت S_n بدست می آید که S_n نسبت افزایش برش پایه (ΔV) به کل برش پایه (v) می باشد:

$$V_j = S_n \times V_j = \frac{\Delta V}{V} \times V_j \quad (3)$$

$$F_{ij} = S_n \times F_{ij} = \frac{\Delta V}{V} \times F_{ij}$$

بعداز به دست آمدن پارامترهای فوق برای هر مورد یک تحلیل استاتیکی بصورت جداگانه انجام می گیرد. پارامترهای بدست آمده برای هر مورد بوسیله روش SRSS ترکیب می شود و به مقادیر گام قبلی اضافه می گردد.

در آخر هر گام، ماتریس سختی سازه بدست می آید تا در گام بعد با استفاده از این ماتریس سختی، بردارهای ویژه جدید سازه بدست آید [۳].

روش adaptive pushover مبتنی بر جابجایی (DAP)

در pushover معمولی وقتی که از الگوی جابجایی ثابت برای پوش کردن سازه استفاده می شود یک سری مشکلاتی پیش می آید که باعث می شود ضعف های سازه به خوبی نشان داده نشود. از آنجایی که در این روش جابجایی نسبی طبقات ثابت است برخی خصوصیات سازه همچون وجود بی نظمی در ارتفاع (بی نظمی مربوط به سختی در ارتفاع سازه) و وجود طبقات نرم نشان داده نمی شود و بنابراین نتایج تحلیل می تواند گمراه کننده باشد. بنابراین اگر یک الگوی بارگذاری مبتنی بر جابجایی مورد استفاده قرار گیرد باید به گونه ای این الگوی تغییر شکل را در هر گام تغییر داد که تغییرات سختی سازه در آن وارد شود. بکارگیری الگوی جابجایی به جای الگوی نیرو از لحاظ مفهومی درست تر می باشد و همچنین در راستای حرکتی است که به سوی طراحی بر اساس جابجایی وجود دارد. از این رو یک الگوریتم جدید توسط (Antoniou, pinho 2004 b) بکار گرفته شده است که می-

تواند تحلیل pushover ، مبتنی بر جابجایی را بگونه ای انجام دهد که ضعفهای موجود در روشهای متداول را برطرف سازد . الگوریتم روش مبتنی بر جابجایی نیز یک الگوریتم چهار مرحله ای می باشد که عبارتند از :

- 1 . تعیین بردار بار اسمی و جرم سازه .
- 2 . تعیین ضریب بردار (λ)
- 3 . محاسبه بردار نرمالایز شده (Normalized Scaling Vector) D
- 4 . تغییر دادن بردار بار جابجایی متناسب با شرایط جدید سازه [۳] .

روش های ترکیب مد :

در روشهای مختلف تحلیل سازه ها که اثرات موده های مختلف در نظر گرفته می شود ، غالباً دو روش SRSS و CQC جهت ترکیب موده ها مورد استفاده قرار می گیرد. روشهای فوق دارای دو ضعف عمده می باشند.

نتایج بدست آمده از ترکیب مدها شرایط تعادل سازه را ارضاء نمی کنند . همچنین علامت منفی پارامترها در این روشها به هنگام ترکیب مدها از بین می رود چون کمیت های منفی بعد از به توان ۲ رسیدن با علامت مثبت وارد ترکیب مدها می شوند .

ضعف اشاره شده دوم به نظر Lopez – menjivar در سازه های سه بعدی بتنی می تواند نقش مهمی را ایفا بکند و موجب بروز نتایج غیر قابل قبول شود . چنین مشکلی از طرف Priestley(2003) و Antonion,Pinho(2004a) گزارش شده بنابراین یک ترکیب مد جدید مورد نیاز می باشد .

روش جمع برداری مستقیم (Direct Vectorial Addition ,DVA) با در نظر گرفتن علامت مدها و وارد کردن پارامترها با علامتهای اصلی خود به ترکیب مود می تواند روش بهتری برای ترکیب مدها باشد و ضعف فوق را به خوبی برطرف سازد .

در این روش (DVA) بردارهای بار جانبی (Ψ_{ij}) را می توان به شکل زیر برای موده های مختلف با هم ترکیب کرد :

$$\Psi_i = \sum_{j=1}^n \eta_{ij} \cdot \Psi_{i,j} \quad (4)$$

که در آن (Ψ_i) بار طبقه i ام می باشد که می تواند به شکل نیرو یا جابجایی باشد .

η ضریب اشتراک مود j ام می باشد که می تواند مثبت یا منفی باشد .

$(\Psi_{i,j})$ نیز بردار بار جانبی طبقه i ام در مود j ام می باشد .

Pinho (2004) با بکارگیری این روش ترکیب مود در سازه های دو بعدی بهبود قابل ملاحظه ای را در تخمین میزان دریافت طبقات گزارش نموده است. در هر دو روش مبتنی بر نیرو (FAP) و مبتنی بر جابجایی (DAP) وقتی مودها با روش DVA ترکیب می شود خطاهای قبلی خود را به

میزان قابل توجهی کاهش می دهند. لذا بکارگیری این روش در سازه های سه بعدی نا متقارن می تواند قابل توجه باشد .

اجرای تحلیلهای استاتیکی غیر خطی در سازه ها

مدلسازی , ابزار تحلیل

برنامه تحلیل المان محدود seismo struct برای تحلیلهای استاتیکی و دینامیکی غیر خطی نرم افزار مناسبی می باشد که در کارهای مختلف از این نرم افزار استفاده شده است. این نرم افزار قادر به پیش بینی جابجایی های بزرگ سازه های فضایی تحت بارگذاری دینامیکی می باشد. همچنین این نرم

افزار قادر است تغییر شکل غیر خطی هندسی و مصالح را در نظر بگیرد. seismo struct هم بارگذاری استاتیکی (نیرو و جابجایی) و هم بارگذاری دینامیکی (شتاب) را قبول می کند. همچنین اجرای تحلیل مقادیر ویژه ، تحلیل استاتیکی غیر خطی push over (هم push over معمولی و هم

adaptive) و نیز تحلیل دینامیکی غیر خطی را می توان از قابلیت های این نرم افزار بر شمرد .

در بسته جدید این نرم افزار (seismo struct(2007) قابلیت اجرای سه بعدی adaptive pushover نیز گنجانده شده است .

مدلهای سازه ای مطالعه شده

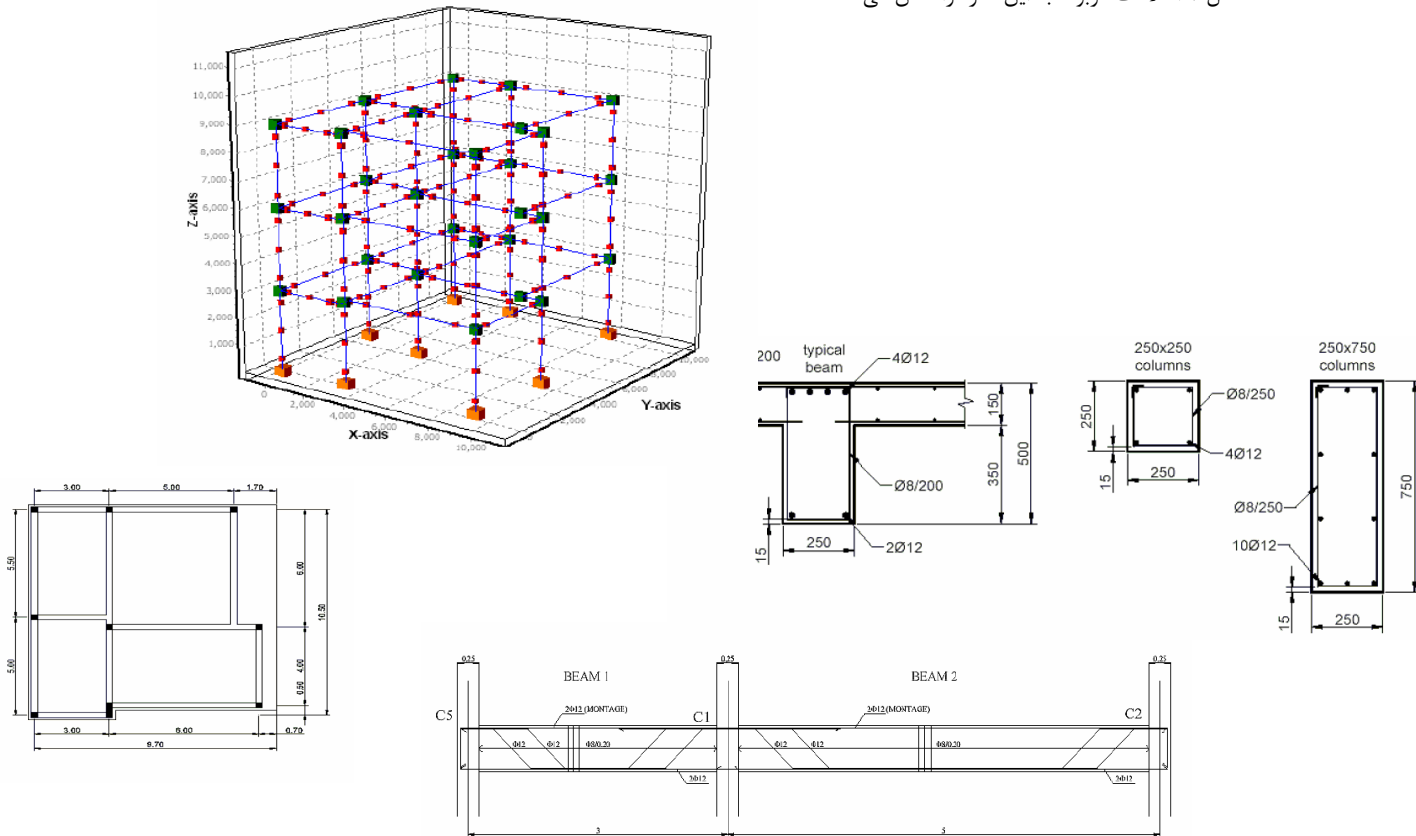
مدل spear یک مدل سه بعدی می باشد که بر اساس کار (spear) seismic performance assessment and rehabilitation با مقیاس واقعی طراحی شده است. این سازه سه طبقه دارای نامنظمی در پلان و در ارتفاع می باشد که بر اساس آیین نامه های قدیمی طراحی شده است و فاقد سیستم لرزه بری مناسب می باشد .

نتایج تحقیقات دو تیم مختلف که روی این سازه کار کرده اند در این گزارش آمده است .

menjivar , Pinho (2003) و نیز (2005) papanikolaou و elnashai و pareja در کارهای جداگانه ای رفتار این سازه را تحت تحلیلهای

push over معمولی و adaptive مطالعه نموده و با نتایج تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی مقایسه نموده اند .

شکل ۱ اطلاعات مربوط به این سازه را نشان می دهند :

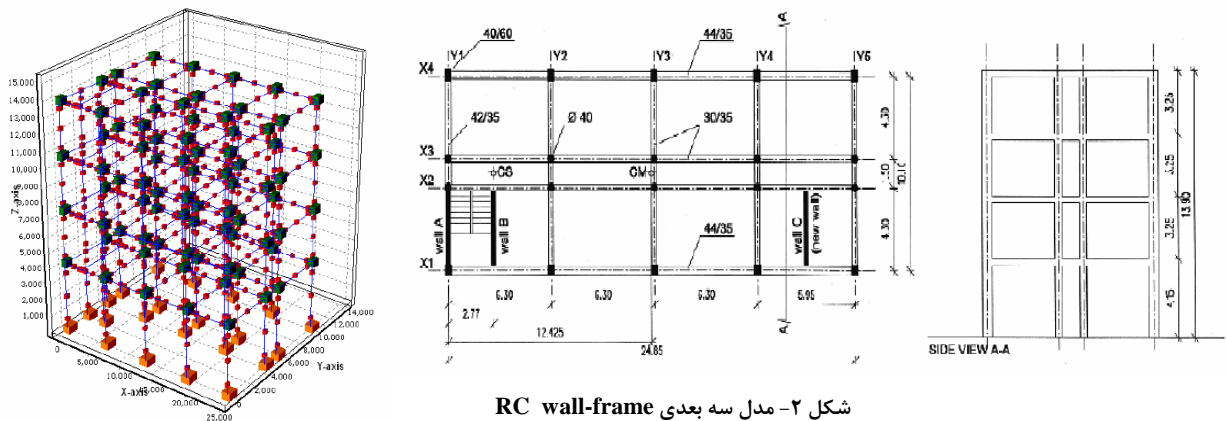


شکل ۱- مدل سه بعدی spear frame

مدل RC wall-frame

مدل فوق یک سازه چهار طبقه بتنی می باشد که بعلت وجود دیوارهای برشی در یک قسمت از سازه دارای نامنظمی شدید در پلان می باشد. (دیوارهای a,b دور راه پله). خروج از مرکزیت سختی سازه حدود 40٪ بعد بزرگتر سازه می باشد. محورهای Y_1 و Y_2 قسمت سخت سازه و محورهای Y_4 و Y_5 قسمت نرم سازه محسوب می شوند. مرکز جرم سازه نیز روی محور Y_3 واقع شده است. نتایج کار (2003) Pinho و Menjivar روی این مدل که در این گزارش آمده است در سه نقطه از این سازه (قسمت سخت سازه، قسمت نرم سازه و مرکز جرم سازه) مورد بررسی قرار گرفته است [4].

شکل ۲ اطلاعات مربوط به این سازه را نشان می دهد.



شکل ۲- مدل سه بعدی RC wall-frame

تحلیل های انجام شده

در همه مدلها سه نوع تحلیل دینامیکی غیر خطی، تحلیل pushover معمولی و تحلیل adaptive pushover صورت گرفته است. در تحلیل pushover معمولی دو نوع الگوی بار مستطیلی و مثلثی به کار گرفته شده است. در کار (2003) Pinho, Menjivar الگوی بارها در دو جهت

متعامد سازه (جهت های X,Y) بطور جداگانه و مستقل از هم و نیز بطور همزمان وارد شده است. در روش adaptive pushover دو نوع الگوی بار مبتنی بر نیرو (FAP) و مبتنی بر جابجایی (DAP) مورد استفاده قرار گرفته است. این الگوهای بار در دو جهت متعامد X,Y بطور مستقل و نیز بطور همزمان وارد شده اند و نتایج بدست آمده با منحنی های pushover معمولی و تحلیل دینامیکی مقایسه شده است. نیروهای جانبی وارد به سازه های سه بعدی در گره های اصلی هر طبقه (محل اتصال تیر - ستون) به طبقات اعمال می شوند و این بدلیل در نظر گرفتن اثر دیافراگم کف طبقات در عملکرد سازه می باشد. البته اثر نوع عملکرد دیافراگم در رفتار سازه یک موضوع جداگانه می باشد که باید به عنوان یک موضوع جداگانه مورد مطالعه قرار گیرد. در مراحل بعد با ارائه نتایج حاصل از تحلیل سازه های فوق با سه روش گفته شده بصورت نمودارهای جابجایی - برش پایه و پروفایلهای دررفت طبقات سعی خواهد شد که میزان دقت هر یک از روشهای adaptive و معمولی با مقایسه آنها با نمودارهای تحلیل دینامیکی مورد ارزیابی قرار گیرد.

ارزیابی و مقایسه نتایج

بررسی اثر ترکیب مدها در نتایج تحلیل ها

برای مقایسه اثر ترکیب مدها در میزان دقت نتایج از پارامتر خطای استاندارد در این قسمت استفاده شده است. مقدار این خطا با توجه به مقایسه نتایج تحلیل استاتیکی غیر خطی با نتایج تحلیل دینامیکی غیر خطی (که به عنوان دقیق ترین تخمین از رفتار سازه تلقی می شود) با استفاده از فرمول زیر به دست می آید:

$$\text{Error} (\%) = 100 * \sqrt{[(1/n) \sum_{i=1}^n (\Delta iD - \Delta iP) / \Delta iD]} \quad (5)$$

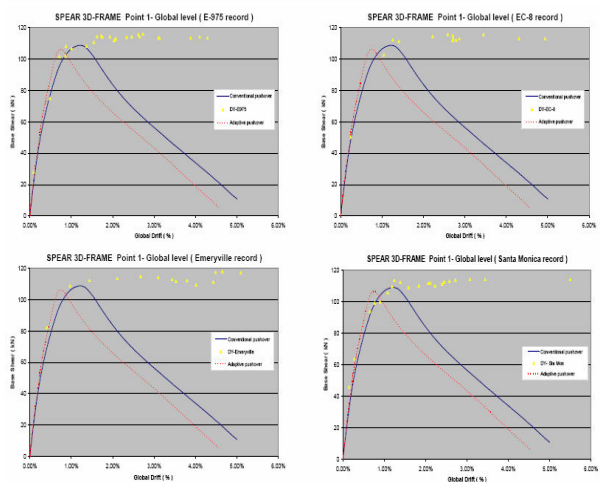
که در آن ΔiD دررفت بین طبقات در طبقه i ام می باشد که از تحلیل دینامیکی به دست آمده است و ΔiP دررفت بین طبقات در طبقه i ام می باشد که از تحلیل pushover به دست آمده است و n تعداد طبقات می باشد. هر چقدر میزان خطای استاندارد به صفر نزدیک تر باشد، میزان خطا کمتر و روش تحلیلی مورد مطالعه دقیقتر می باشد. در نمودارها از پوش دررفت ماکزیمم طبقات جهت مقایسه نتایج استفاده شده است [5].

مدل Spear Frame

نرم افزار مورد استفاده برای بررسی رفتار این سازه توسط Papanicalaou و همکارانش، نرم افزار Zeus - NL بوده است که قابلیت های مشابهی با نرم افزار seismo struct دارد. پارامتری که برای مقایسه نتایج pushover غیر خطی و تحلیل دینامیکی غیر خطی بکار رفته، فاکتور اختلاف منحنی ظرفیت (CCDF) Capacity Curve Discrepancy Factor می باشد. اشکال 3 نتایج و نمودارهای تحلیل های دینامیکی غیر خطی و adaptive pushover را نشان می دهد [6].

SPEAR 3D-FRAME													
Monitoring Point	Feature	Dy-1 E-975			Dy-2 EC-8			Dy-3 Emerville			Dy-4 Sta Monica		
		Avg Difference Conventional Pushover	Avg Difference Adaptive Pushover (Uniform Load)	Reduction (i) or Increase in the error	Avg Difference Conventional Pushover	Avg Difference Adaptive Pushover (Uniform Load)	% Error above or below the Conventional	Avg Difference Conventional Pushover	Avg Difference Adaptive Pushover (Uniform Load)	% Error above or below the Conventional	Avg Difference Conventional Pushover	Avg Difference Adaptive Pushover (Uniform Load)	% Error above or below the Conventional
Point 1	Base Shear vs. Total Drift	29.49%	41.23%	39.86%	38.70%	50.19%	29.39%	49.80%	81.15%	22.70%	29.78%	36.89%	38.70%
Point 2	Story 1 - Shear vs. Drift	12.31%	14.18%	15.03%	10.98%	13.12%	20.81%	13.37%	15.25%	13.91%	11.14%	12.58%	13.23%
Point 8	Story 2 - Shear vs. Drift	10.85%	8.86%	-38.44%	9.48%	3.84%	-26.41%	12.00%	1.62%	-88.50%	4.28%	13.94%	218.86%
Point 11	Story 1 - Rightmost column Moment vs. Curvature	13.20%	15.16%	14.85%	9.33%	13.43%	43.94%	13.20%	19.31%	49.29%	11.46%	13.45%	17.36%

همانطور که در شکل های فوق دیده می شود، روش pushover معمولی نتایج بهتری را نسبت به روش adaptive pushover در مقایسه با نمودارهای تحلیل دینامیکی غیر خطی ارائه می دهد و فقط در تراز طبقه دوم نتایج adaptive نسبت به روش معمولی بهتر می باشند. نکته بارز در این منحنی ها کاهش ناگهانی سختی در منحنی های pushover می باشد و این چیز است که در منحنی های تحلیل دینامیکی مشاهده نمی شود. پدیده فوق را می توان اینگونه تفسیر کرد که یکی از ضعف های عمده روش های تحلیلی استاتیکی غیر خطی این می باشد که به هنگام بروز ضعف در یک قسمت سازه در هر مرحله ای از تحلیل، این روش های تحلیل، به شدت نیرو را در آن قسمت متمرکز می کنند که این موجب می شود که مقاومت سازه کمتر تخمین زده شود. این ضعف به خصوص در روش adaptive pushover بسیار بارزتر می باشد. و همانطور که می بینیم منحنی ظرفیت سازه بسیار کمتر از آنچه که هست تخمین زده می شود [7].

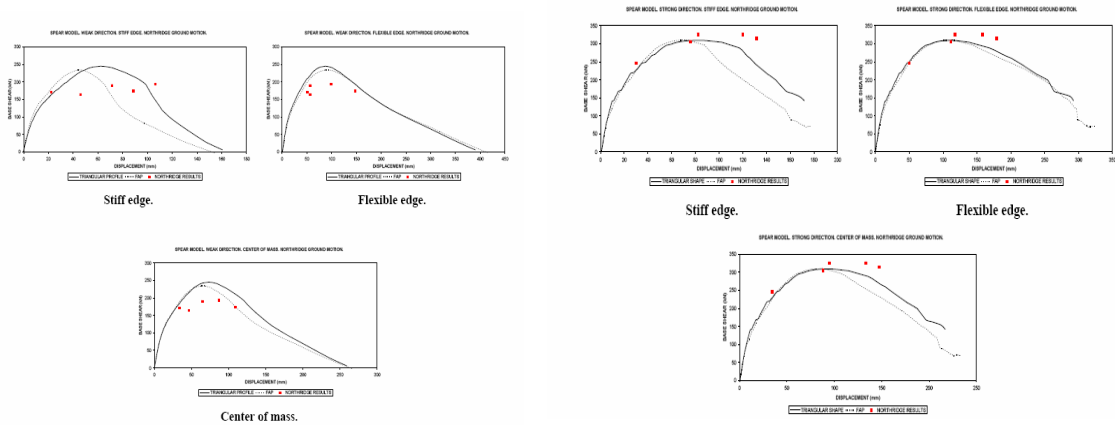


شکل 3- مدل سه بعدی Spear Frame

نکته جالب دیگر در رابطه با پدیده فوق این است که چون روش adaptive pushover اصولاً تمرکز نیروهایش روی قسمت خراب شده سازه می باشد ، لذا اگر در یک سازه ای مکانیسم خرابی به گونه ای باشد در کل سازه پخش می شود، این روش نمی تواند تخمین خوبی از خرابی سازه داشته باشد .

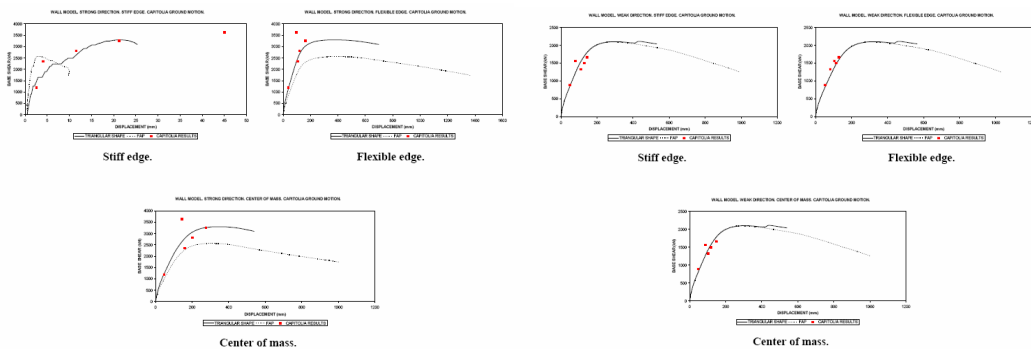
مقایسه روش های pushover معمولی و adaptive

مطالعه ای که برای pushover معمولی روی این دو مدل انجام شده است، نشان داده است که الگوی بار مثلی نتایج بهتری را نسبت به الگوی بار مستطیلی نشان می دهد. همانطور که در بحث قبلی هم دیدیم ، برای روش adaptive نیز الگوی FAP نتایج بهتری را برای این دو مدل ارائه کرد . در این قسمت مقایسه ای بین نتایج pushover معمولی با الگوی بار مثلی و adaptive با الگوی FAP انجام گرفته است که در زیر نمودارها و دریافت های این دو روش همراه با نتایج تحلیل دینامیکی ارائه شده است:



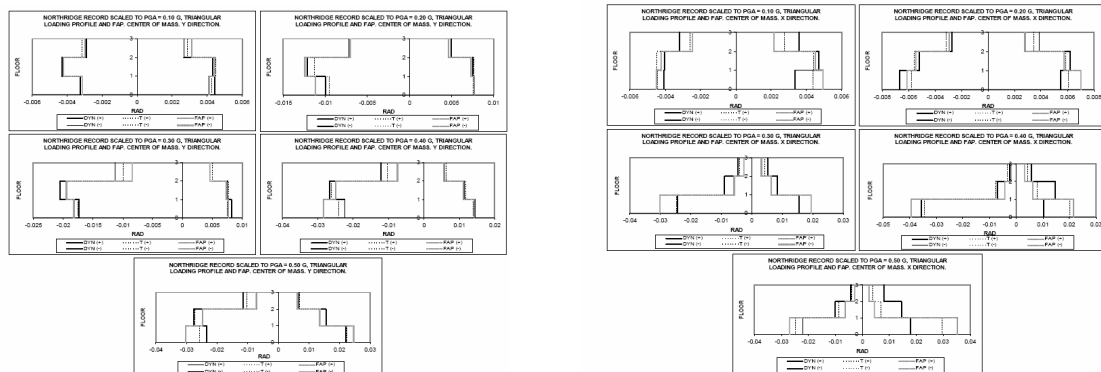
Triangular conventional pushover ,force pushover and dynamic results from the Northridge Adaptive record Strong and weak direction .SPEAR model

شکل ۴- منحنی های ظرفیت SPEAR model با الگوی بار مثلی تحت زلزله Northridge



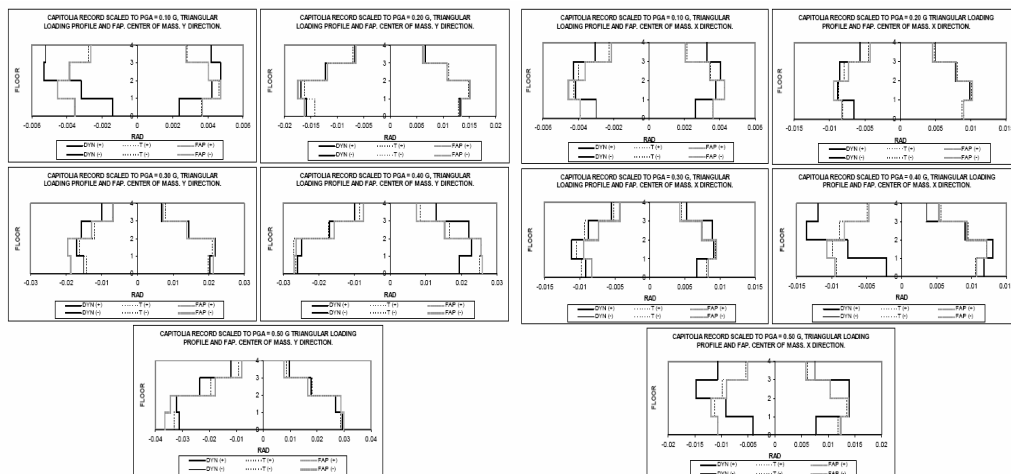
Triangular conventional pushover ,force pushover and dynamic results from the Northridge Adaptive record Strong and weak direction .RC-WALL frame model

شکل ۵- منحنی های ظرفیت RC-WALL frame model با الگوی بار مثلی تحت زلزله Northridge



Inter story drift profiles for the center of mass .weak and strong direction .SPEAR model

شکل ۶- منحنی های دررفت طبقات SPEAR model با الگوی بار مثلی تحت زلزله Northridge



شکل ۷- پروفیل های دریفت طبقات RC-WALL frame model با الگوی بار مثلثی تحت زلزله Northridge
Inter story drift profiles for the center of mass .weak and strong direction .RC-WALL frame model

تفسیر

SPEAR model: اشکال ۴ و ۵ و ۶ نشان می دهند که منحنی adaptive در مرکز جرم و قسمت نرم سازه ای در جهت ضعیف تر سازه انطباق بهتری با منحنی تحلیل دینامیکی نشان می دهد، ولی در قسمت سخت سازه منحنی pushover معمولی با منحنی تحلیل دینامیکی انطباق بهتری را نشان می دهد. در جهت قوی نیز، این منحنی pushover معمولی می باشد که برای همه سطوح PGA با نقاط تحلیل دینامیکی انطباق بهتری نشان می دهد و این در حالی است که منحنی adaptive pushover بعد از رسیدن به بالاترین نقطه منحنی دچار افت سریع در مقاومت می شود. برای رکوردهای با شدت کمتر هر دو روش pushover نتایج مناسبی را نشان می دهند. لازم به ذکر است که در تمام نقاط مدل هر دو روش، منحنی های بسیار مشابهی را ارائه می دهند، به جز در جهت ضعیف و در قسمت سخت مدل که pushover معمولی مقاومت بیشتری را نسبت به روش adaptive pushover نشان می دهد. در پروفایل دریفت مدل در جهت قوی هر دو روش انطباق خوبی را با نتایج تحلیل دینامیکی نشان می دهند که البته روش pushover معمولی اندکی نتایج بهتری را نشان می دهد. در جهت ضعیف تر هر دو روش در پیش بینی دریفت طبقات نتایج نامطلوبی نشان می دهند که البته باز هم روش pushover معمولی در مقایسه با روش adaptive نتایج نسبتاً بهتری نشان می دهد.

RC wall-frame: با توجه به نمودارهای این مدل باز هم نمی توان یکی از دو روش را نسبت به دیگری ارجحیت داد. در منحنی های مقاومت - جابجایی جهت ضعیف تر سازه هیچ یک از روش ها نسبت به دیگری ارجحیت ندارد. اما در جهت قویتر روش pushover معمولی به نظر می رسد انطباق بهتری با نتایج تحلیل دینامیکی داشته باشد. در مورد دریفت طبقات نیز هیچ کدام از روش ها برتری چشمگیری نسبت به روش دیگری ندارد. هر دو روش در پیش بینی دریفت طبقات در جهت قویتر سازه و در مرکز جرم و قسمت نرم سازه نتایج خوبی به دست می دهند ولی هر دو روش در پیش بینی دریفت قسمت سخت سازه در جهت قویتر عملکرد ضعیف و نامطلوبی نشان می دهند. در جهت ضعیف تر نیز نتایج به خوبی جهت سخت (جهت قویتر سازه) نمی باشد.

نتیجه گیری

با توجه به اطلاعات جمع آوری شده و نتایج به دست آمده از کل گزارش، نمودارها، عکس ها و تفسیرهای مربوط به آنها در قسمت های قبلی می توان نکات زیر را به عنوان جمع بندی کلی ارائه نمود.

پارامترهایی که برای مقایسه نتایج روش های مختلف بکار می روند متنوع و زیاد می باشد. منحنی های ظرفیت سازه، پروفایل دریفت طبقات و منحنی های لنگر - انحناء اعضا هر یک می تواند در بررسی های مختلف مورد مقایسه قرار گیرد. از طرفی انتخاب نوع منحنی ها نیز یک پارامتر تعیین کننده می باشد. منحنی ها را می توان با توجه به مقادیر ماکزیمم بدون توجه به زمان وقوع آن و یا پوش منحنی ها را رسم کرده و با هم مقایسه نمود.

در اکثر حالات منحنی ماکزیمم برش پایه در مقابل جابجایی مربوطه اش پارامتر مناسبی جهت مقایسه می تواند باشد. در روش pushover معمولی همانطور که دیدیم الگوی بار مثلثی نتایج بهتری را ارائه می دهد. اما در روش adaptive پیچیدگی کار بیشتر می باشد. چرا که در مدل های دو بعدی دیدیم که با روش ترکیب مود DVA، الگوی بار DAP نتایج خیلی بهتری نسبت به روش FAP ارائه کرد. در حالی که در مدل های سه بعدی با ترکیب مود SRSS نتایج FAP برتری نسبی به نتایج روش DAP نشان دادند. در نهایت می توان گفت که برای رسیدن به یک نتیجه جامع و کلی در مورد این متودولوژی های جدید، احتیاج به انجام آزمایش و تحقیق های بیشتری روی مدل های دو بعدی و سه بعدی با خصوصیات متنوع ضروری به نظر می رسد.

- 1 . Antoniou,s and pinho , R (2003 a) , Advatages and limitations of the force – baced adaptive pushover procedure , submitted for publication .
- 2 . Antoniou,s and pinho , R (2003 a) , Advatages and limitations of the displacemet – baced – adaptive pushover procedure, submitted for publication .
- 3 . Antoniou,s and pinho , R (2004 a) , Advatages and limitations of adaptive and non adaptive force – based pushover procedures . jurnal of earthquake engineering vol 8 , no . 4 (2004) , pp 497 – 522
- 4 . Antoniou , s (2003) pushover Anaysis for Seismic Design and Assessment of RC structures , PhD Thesis , Engineering Seismology and Earthquake Engineering section , Imperrial College , London , UK
- 5 . papanikolaou , V and Elnashai , A and Pareja , J , (2005) , limits of applicability of Conventional and Adaptive Pushover Analysis for Seismic Response Assessment , Mid – America Earthquake Center , Univercity of Illinois
- 6 . Pinho , R (2004) , A review of existing pushover methods for 2 – D reinforced Concrete buildings , PhD thesis , Europeam school of advanced studies in reduction of seismic risk , Rose school .
- 7 . pinho . R (2003) , 3D pushover of irregular reinforced Concrete buildings , Europeam school of advemced studies in reduction of seismic risk , Rose school .
- 8 . seismo struct (2003) computer program for static and dynamic nonlinear analysis of frame structures ,, { online } .

Available from URL : [http : // www . seismosoft . com](http://www.seismosoft.com)

سمینار کارشناسی ارشد حسن عبدل پور- دانشگاه آزاد اسلامی واحد مهاباد-۹