

## تحلیل استاتیکی غیرخطی فزاینده مدی بر سازه های نامنظم در پلان

جواد واثقی امیری<sup>۱</sup>، مرتضی حسینعلی بیگی<sup>۲</sup>، امیرسازان عربعلی<sup>۳</sup>، سید محمد موسوی<sup>۴</sup>، عیسی مظفری<sup>۵</sup>

۱- استادیار E-mail: Vaseghi@nit.ac.ir

۲- استادیار E-mail: m.beygi@nit.ac.ir

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد E-mail: Sasan\_enj\_1814@Yahoo.com

۴- دانشجوی کارشناسی ارشد E-mail: mosavi622@Yahoo.com

۵- دانشجوی کارشناسی ارشد E-mail: Isa\_326@Yahoo.com

E-mail: Sasan\_enj\_1814@Yahoo.com

### چکیده:

تحلیل استاتیکی غیرخطی فزاینده مدی (Modal Pushover Analysis) MPA روشی بسیار ساده بر مبنای اعمال نیرو استاتیکی بر اساس شکل مدها به سازه می باشد. با توجه به موفقیت این روش در تعیین پاسخهای سازه بخصوص سازه های با ارتفاع بلند، اخیراً تحقیقات گسترده برای گسترش آن بر سازه های با خصوصیات متفاوت دیگر نیز صورت گرفته است. در این روش نیاز لرزه ای برای هر مد بطور مجزا با توزیع نیروی اینرسی مطابق با همان مد با استفاده از آنالیز استاتیکی غیرخطی (Pushover Analysis) تعیین می گردد، برای ساختمان نامتقارن در پلان که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفت این توزیع نیرو شامل دو مولفه جانبی و یک مولفه پیچشی در تراز هر طبقه می باشد. سپس پاسخهای مرتبط با چند مد اول این توزیع مودال برای رسیدن به دقت مناسب، بوسیله یک قانون ترکیب مد معتبر مانند CQC برای تخمین پاسخ نهایی غیرخطی سازه ترکیب می شود. روش مذکور در محدوده الاستیک معادل آنالیز طیف پاسخ استاندارد (Response Spectrum Analysis) RSA می باشد. در این تحقیق ۱۰ مدل با مقادیر خروج از مرکزیت متفاوت تحت آنالیز قرار گرفتند و تغییر مکان ماکزیمم و همچنین تغییر مکان در مرکز جرم با تقریب مناسب تعیین گردید. بر حال در مورد سیستم U2-a مقادیر تغییر مکان ماکزیمم در مرکز جرم با در نظر گرفتن مدهای وابسته به جهت اعمال نیروی زلزله، با روش CQC کم تخمین زده می شود.

واژه های کلیدی: آنالیز استاتیکی غیرخطی، نیاز لرزه ای، منحنی ظرفیت، ساختمانهای نامنظم

### ۱- مقدمه:

امروزه آنالیز استاتیکی غیرخطی بعنوان یک روش استاندارد در تحقیقات مهندسی بطور عمده استفاده می گردد [۱]، [۲]. در سالهای گذشته تحقیقات زیادی در مورد فرضیات اولیه این روش صورت گرفت [۳] و اصلاح الگوی بارهای وارده و توزیع متفاوتی بر اساس نیروی اینرسی مورد توجه قرار گرفت [۴]. در بعضی تحقیقات در نظر گرفتن تعداد مدهای ارتعاشی بیشتر پیشنهاد گردید [۵]. دیگر تحقیقات بر بکاربردن نیروی جانبی، در مکانهای مختلف پلان ساختمانهای نامتقارن متمرکز بوده که در مقایسه با پاسخهای آنالیز دینامیکی غیرخطی خیلی موفق نبود [۶]. روش MPA بر اساس تئوری دینامیک سازه و با در نظر گرفتن سهم مدهای ارتعاشی که در پاسخ لرزه ای سازه بطور اساسی موثر می باشند، گسترش پیدا کرد [۷]. این روش محاسبات بسیار ساده، در عین حال از دقت نسبتاً مناسبی در پاسخ سازه برخوردار می باشد و در واقع در آن، الگوی بار در آنالیز استاتیکی غیرخطی بر اساس مدهای ارتعاشی الاستیک سازه در نظر گرفته می شود. پاسخها در این روش با در نظر گرفتن بار گرانشی و اثر (P-Δ) اصلاح می گردد [۸]. این روش برای ساختمانهای با ارتفاع گوناگون و نامنظم در ارتفاع بکار گرفته شد و پاسخهای مناسب و تخمین بهتر مفاصل پلاستیک حاصل شد [۹]. با توجه به اینکه احداث ساختمانهای نامنظم اجتناب ناپذیر است و نیاز به انطباق روشهای جدید ارزیابی و طراحی بر اساس عملکرد بر این نوع سازه ها ضروری می باشد لذا در این تحقیق ارزیابی MPA در تخمین پاسخ سازه های متعارف نامنظم در پلان برای شناخت بیشتر و کاربردی شدن آن، مورد بررسی قرار گرفته است.

<sup>۱</sup>- استادیار دانشکده فنی دانشگاه مازندران

<sup>۲</sup>- استادیار دانشکده فنی دانشگاه مازندران

<sup>۳</sup>- دانشجوی دانشگاه مازندران و مدرس دانشگاه آزاد اسلامی واحد گرگان

<sup>۴</sup>- دانشجوی دانشگاه مازندران

<sup>۵</sup>- دانشجوی دانشگاه مازندران و مدرس دانشگاه اسلامی واحد گرگان

## ۲-۱ معادلات حرکت:

معادله حرکت برای یک ساختمان چند درجه آزادی تحت شتاب افقی زلزله را میتوان بصورت معادله (۱) نوشت [۸].

$$M\ddot{u} + f_s(u, \text{sign } \dot{u}) = -M I_x \ddot{u}_{gx}(t) - M I_y \ddot{u}_{gy}(t) \quad (1)$$

در معادله (۱)،  $M$  ماتریس جرم بوده و شامل سه زیر ماتریس قطری  $m$ ،  $m$  و  $m$  می باشد، که  $m$  با درجات آزادی انتقالی (DOF) و  $I_o$  با درجات آزادی پیچشی متناسب است. بردارهای موثر  $I_x$  و  $I_y$  متناسب با جهت های  $x$  و  $y$  بصورت معادله (۲) می باشد. جمله مربوط به میرایی هم می تواند به معادله (۱) اضافه گردد.

$$I_x = \begin{Bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad I_y = \begin{Bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (2)$$

هر عضو ماتریس ۱ در معادله (۲) معادل واحد و اعضای ماتریس ۰ معادل صفر می باشد. بنابراین نیروی زلزله موثر بصورت معادله (۳) در نظر گرفته می شود.

$$P_{eff}(t) = -S \ddot{u}_g(t) = - \begin{Bmatrix} m1 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \ddot{u}_{gx}(t) \text{ or } - \begin{Bmatrix} 0 \\ m1 \\ 0 \end{Bmatrix} \ddot{u}_{gy}(t) \quad (3)$$

توزیع نیروی زلزله موثر (معادله ۳) بر ارتفاع سازه با بردار  $S$  تعریف شده است و متغییر زمان زلزله با  $\ddot{u}_g(t) = \ddot{u}_{gx}(t)$  یا  $\ddot{u}_g(t) = \ddot{u}_{gy}(t)$  این توزیع نیرو می توان بصورت مجموعه ای از توزیع نیروی اینرسی مدی ( $S_n$ ) بصورت معادله (۴) بسط داده شود.

$$S = \sum_{n=1}^{3N} S_n = \sum_{n=1}^{3N} \Gamma_n M \phi_n \quad (4)$$

که  $\phi_n$  مد ارتعاشی  $n$  ام سازه بوده و شامل ۳ زیر بردار  $\phi_{xn}$ ،  $\phi_{yn}$  و  $\phi_{\theta n}$  می باشد، ضرایب فوق در ادامه معرفی شده است:

$$S = \sum_{n=1}^{3N} S_n = \sum_{n=1}^{3N} \Gamma_n M \phi_n \quad M_n = \phi_n^T M \phi_n \quad L_n = \begin{cases} \phi_{xn}^T m 1 & \text{for } \ddot{u}_{gx}(t) \\ \phi_{yn}^T m 1 & \text{for } \ddot{u}_{gy}(t) \end{cases} \quad S_n = \Gamma_n \begin{Bmatrix} m \phi_{xn} \\ m \phi_{yn} \\ I_o \phi_{\theta n} \end{Bmatrix} \quad (5)$$

که  $\Gamma_n$  ضریب مشارکت مدی متناسب مولفه موثر نیروی زلزله و  $M_n$  جرم مدی و  $L_n$  ضریب جرم موثر می باشد. و بنابراین نیروی زلزله موثر در هر مد از رابطه (۶) بدست می آید:

$$P_{eff,n}(t) = -S_n \ddot{u}_g(t) \quad (6)$$

در آنالیز MPA، ماکزیمم پاسخ  $r_n$  سازه برای  $P_{eff,n}(t)$  یا عبارتی ماکزیمم پاسخ در هر مد با یک آنالیز الاستاتیکی غیرخطی با استفاده از توزیع نیروی مودال مطابق رابطه (۷) بدست می آید.

$$S_n^* = \begin{Bmatrix} m \phi_{xn} \\ m \phi_{yn} \\ I_o \phi_{\theta n} \end{Bmatrix} \quad (7)$$

ماکزیمم پاسخ مدی  $r_n$  سپس با یک قانون ترکیب مد مناسب نظیر SRSS در سازه های متقارن و CQC (که روشی مناسب در سازه های با پیوند نوسانی متوالی نزدیک بهم می باشد) در سازه های نامتقارن، برای تخمین پاسخهای نهایی سازه ترکیب می شوند. پاسخهای سازه از قبیل (تغییر مکان طبقات و تغییر مکان نسبی طبقات) با استفاده از این روش بطور مستقیم تعیین می شود ولی برای محاسبه مقادیر دوران مفاصل پلاستیک و نیروهای داخلی اعضا، نیاز به در نظر گرفتن پارامترهای دیگری باشد [۱۰].

اگرچه تئوری آنالیز مودال بصورتی که شرح آن گذشت برای تعیین پاسخهای سیستمهای غیرخطی کاملاً غیرمعتبر می باشد ولی بدلیل اینکه مدهای الاستیک حتی در این حالت بصورت بسیار ضعیف باهم درگیر می باشند، در این موارد هم آنالیز مذکور مطابق با آنچه که شرح آن گذشت می توان بعنوان یک روش نسبتاً مناسب برای تخمین پاسخهای سازه استفاده شود [۸].

## ۲-۲ مراحل آنالیز الاستاتیکی غیرخطی فزاینده مدی (MPA)

همانگونه که بیان شد آنالیز الاستاتیکی غیرخطی مدی، در واقع آنالیز سازه یک درجه آزاد در هر مد برای تعیین پاسخ نهایی سازه می باشد. مراحل انجام آنالیز فوق بصورت گام بگام در زیر ارائه شده است:

- ۱- فرکانسهای طبیعی را محاسبه کرده ( $\omega_n$ ) و مدهای الاستیک سیستم ( $\phi_n$ ) تعیین می شود.
- ۲- الگوی بارگذاری جانبی بر مبنای شکل مدها معادله (۷) می باشد. براین اساس در هر مد آنالیز الاستاتیکی غیرخطی انجام می شود.
- ۳- منحنی ظرفیت سازه Pushover در هر مد بدست می آید و باید به نحوی مناسب بصورت منحنی دوخطی ایده آل شود.
- ۴- منحنی ایده آل با استفاده از تبدیل (Acceleration Displacement Response Spectrum) ADRS از حالت چند درجه آزاد MDOF (Multi Degree OF Freedom) به یک درجه آزاد SDOF تبدیل می شود.

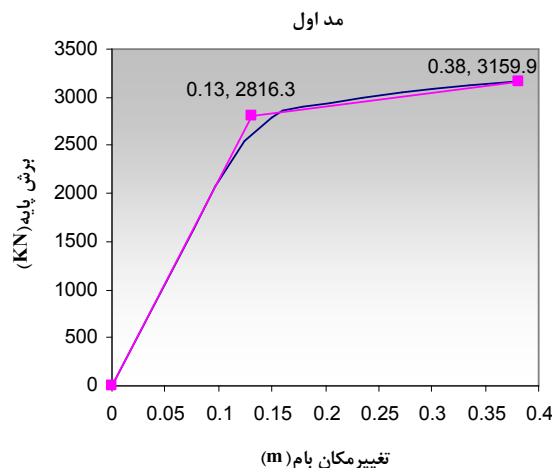
۵- ماکزیمم پاسخ معادل هر سیستم SDOF بایک آنالیز دینامیکی غیرخطی تاریخچه پاسخ (NL-RHA Nonlinear Response Historical Analysis) یا با یک طیف طرح الاستوپلاستیک بدست می آید.

۶- ماکزیمم پاسخ سیستم SDOF برای هرمد بطور جداگانه، به تغییر مکان هدف MDOF تبدیل می گردد.

۷- از داده های ظرفیت سازه (Pushover)، (مرحله ۲) مقادیر پاسخ سازه بدست می آید و چنانچه مقادیر خالص مربوط به بارهای گرانشی قابل توجه باشد از پاسخ نهایی کم می شود.

۸- مقادیر پاسخهای مربوط به بارهای جانبی در هر مد با یکی از قوانین ترکیب مدها SRSS، CQC، و یا هر قانون مناسب دیگر برای رسیدن به پاسخهای مناسب ترکیب شده و در نهایت مقادیر مربوط به بارهای گرانشی به آن اضافه می گردد.

در اینجا لازم به ذکر است که برای ایده آل کردن منحنی Pushover برنامه ای طراحی شده است [۱۱]. در شکل (۱) نحوه ایده آل شدن منحنی ظرفیت برای مد اول سیستم سازه متقارن ۵ طبقه که در ادامه مشخصات آن ارائه گردیده توسط برنامه فوق الذکر نشان داده شده است. همچنین برای تعیین پاسخ سازه یک درجه آزاد در برنامه SAP2000 از المانهایی موسوم به المان پیوند و تحلیل دینامیکی غیرخطی استفاده شده است. با توجه به اینکه تحلیل دینامیکی غیرخطی سازه یک درجه آزادی و بدون نیاز به زمان زیادی انجام می شود و همچنین تفسیر نتایج در این حالت نسبت به آنالیز دینامیکی غیر خطی (که بعنوان روش شاهد برای مقایسه نتایج این روش مورد استفاده قرار گرفت) بسیار راحتتر است، لذا تعیین پاسخ سازه به این فرم بسیار مفید می باشد. ممکن است در این بین برای تعیین نقطه عملکرد نهایی به سعی و خطا، بخصوص در مد اول (که معمولاً پاسخ سازه در آن غیرخطی می شود) نیاز باشد که برای این منظور در هر مرحله نقطه هدف بدست آمده بعنوان نقطه ماکزیمم منحنی ظرفیت سازه در مرحله بعدی مورد استفاده قرار می گیرد.

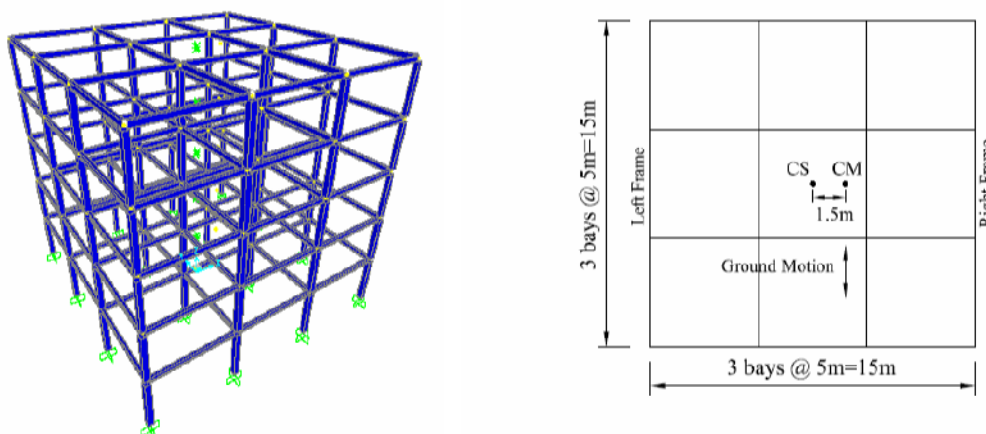


شکل (۱): منحنی ظرفیت و منحنی ایده آل دوخطی سازه متقارن در مد اول

### ۳-۲ مدل‌های انتخابی

در مقام مقایسه برای بررسی بهتر رفتار دینامیکی، ساختمان ۵ و ۸ طبقه اسکلت فلزی متقارن و ۴ مدل نامتقارن با شکل پذیری متوسط برای هر کدام و با ۳ دهانه ۵ متری در هر جهت در نظر گرفته و بر اساس آئین نامه ایران طراحی گردید. شکل (۲-الف و ب) بترتیب نمای سه بعدی مدل ۵ طبقه انتخابی و پلان آن را نشان می دهد. در واقع بدلیل حساسیتهای ویژه سیستم قاب خمشی به خروج از مرکزیت، ارزیابی آنالیز مذکور براین نوع سیستم صورت گرفته است.

سازه متقارن اولیه برای تولید سه سیستم نامتقارن مورد استفاده قرار گرفت که در ادامه به آن اشاره می شود: درحالیکه خصوصیات سختی سیستم در مرکز هندسی طبقه حفظ گردید، مرکز جرم طبقه (CM) با خروج از مرکزیت معادل ۱۰٪ بعد پلان ساختمان نسبت به مرکز سختی طبقه (CS) مطابق شکل (۲-ب) تعریف گردید.

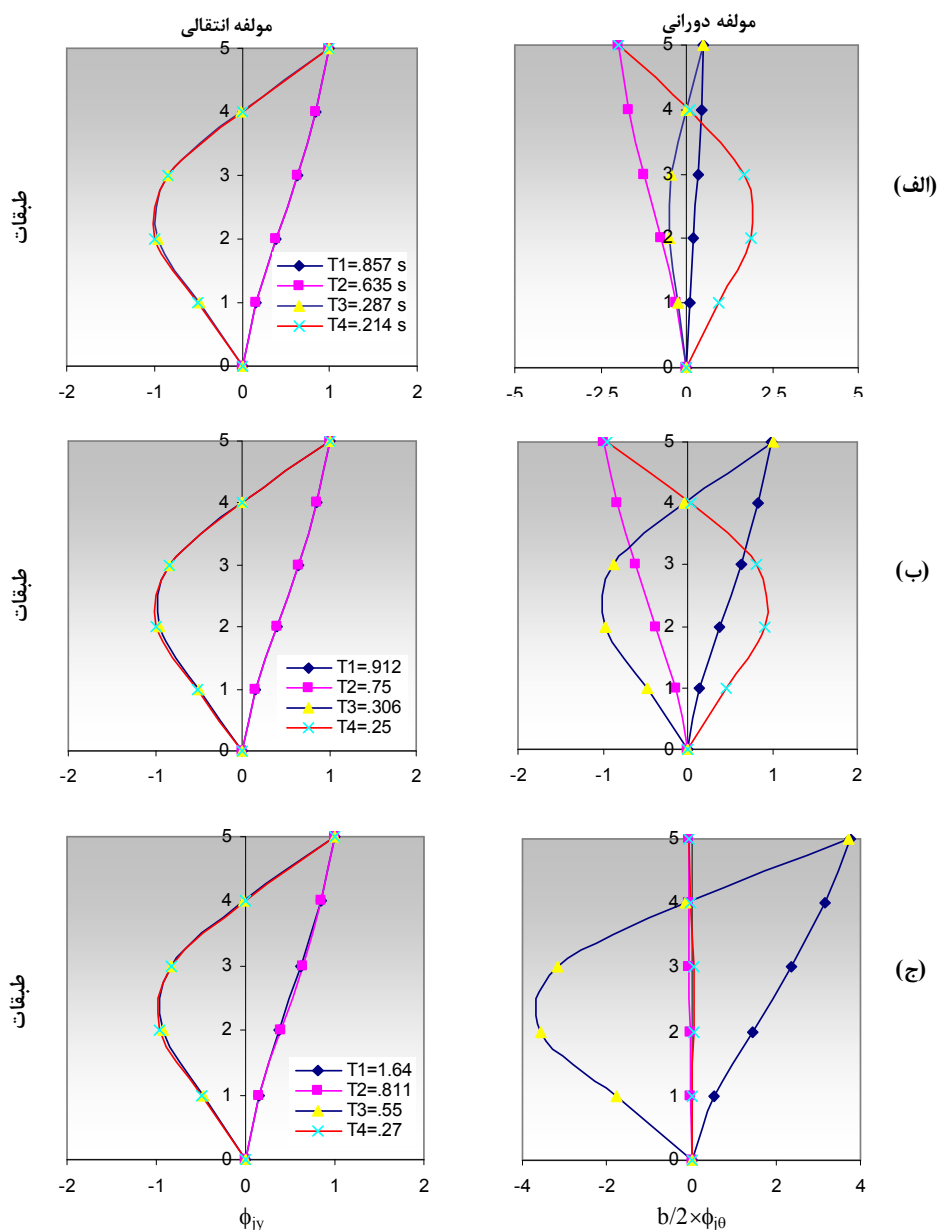


شکل (۲): (تصویر سمت چپ) نمای سه بعدی از مدل انتخابی؛ (تصویر سمت راست) پلان مدل

۱- سیستم نامتقارن (U1): در این سیستم مقادیر  $m_j$  و  $I_{Oj}$  در CM مشابه سیستم متقارن تعریف شد و در واقع نسبت  $m_j / I_{Oj}$  معادل سیستم متقارن در نظر گرفته شد. شکل (۳-الف) نشان دهنده میزان درگیر بودن مولفه مدها برای مدل‌های ۵ طبقه می باشد.

۲- سیستم نامتقارن (U2): در این حالت دو سازه که مقدار  $I_{Oj}$  بترتیب با ضرایب معادل (a)  $1/565$  و (b)  $2/5$  نسبت به حالت U1 (در مرکز جرم) افزایش داده شد. حالت (a): پیوند دو مد اول نزدیک بهم و دامنه حرکت پیچشی و انتقالی بسیار به هم شبیه می باشد و نشان می دهد مدها به شدت درگیر می باشند و حالت (b): با مدهای نسبتاً درگیر نشان دهنده این موضوع می باشد که دو مد اول نسبتاً با هم درگیر می باشند (اندیس  $J$  شماره طبقه مورد نظر می باشد).

۳- سیستم نامتقارن (U3): در این سیستم مقدار  $I_{Oj}$  طبقات با ضریب معادل ۶ نسبت به سیستم U1 افزایش داده شد. مقدار دوران در اولین مد حاکم می باشد و تغییر مکان جانبی در مد دوم حاکم می باشد که نشان دهنده شدت کم درگیری بین مولفهای انتقالی و پیچشی مدها می باشد. شکل ۳ دوره تناوب، مقادیر مولفه انتقالی و دورانی مدها و میزان درگیر بودن مدها در چهار مد اول، بترتیب برای سیستمهای U1، U2-a، U3 نشان می دهد. برای سیستمهای ۸ هم بهمین شکل گرافها تکرار می گردد.



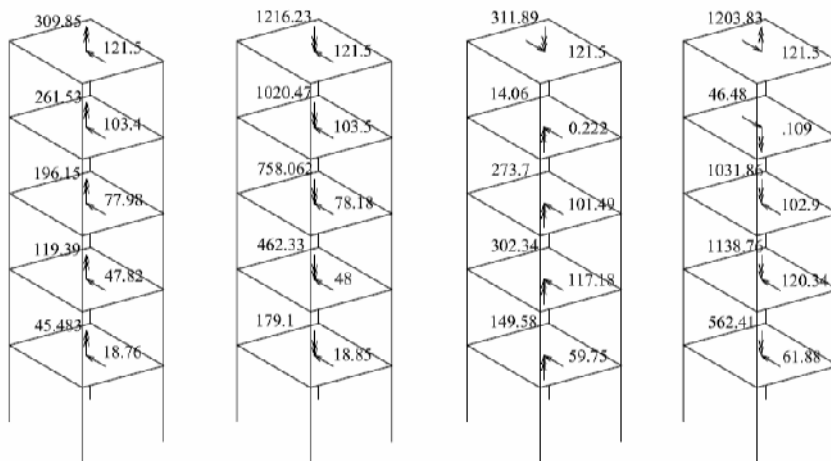
شکل (۳): دوره تناوب و مدهای ارتعاشی (۴ مد اول) برای سه سیستم نامتقارن در نظر گرفته شده: (الف) سیستم نامتقارن U1، (ب) سیستم نامتقارن U2-a، (ج) سیستم نامتقارن U3

## ۲-۴ معرفی زلزله های مورد استفاده

جهت تحلیل دینامیکی غیرخطی تاریخچه پاسخ از ۴ شتابنگاشت بعنوان رکورد زلزله های مورد نیاز تحلیل استفاده شده است. شتاب ها شامل زلزله طبس، ناغان، منجیل و السنترو می باشد. همه رکوردها مقیاس شده و در تحلیل ها مقادیر مقیاس شده مورد استفاده قرار گرفت. در آنالیز دینامیکی از روش هیبر- هیوز- تیلور استفاده شد و در مجموع برای این سری مدل های ۵ و ۸ طبقه تعداد ۴۰ آنالیز دینامیکی غیرخطی انجام گرفت.

## ۲-۵ الگوی بارگذاری

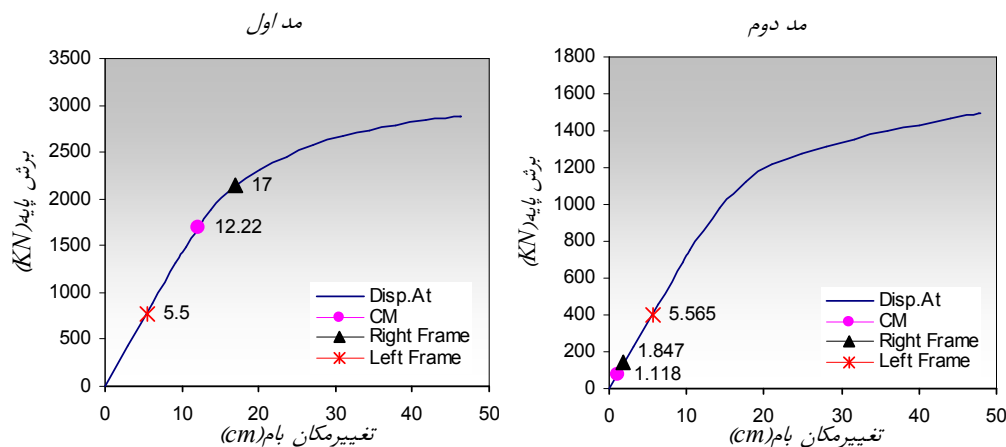
همانطور که قبلاً بیان شده الگوی بار وارده براساس مدها معادله (۷) می باشد که در شکل (۴) بعنوان نمونه برای ۴ مد اول سیستم UI ارائه گردیده است. با توجه به شکل ۴ مشاهده می شود که در مد اول مقادیر نیروها جانبی و پیچش در جهت مثبت (خلاف جهت عقربه های ساعت) می باشد درحالیکه در مد دوم جهت پیچش برعکس می شود.



شکل (۴): توزیع مودال  $S = m_i \gamma$  اعمالی به تراز طبقات برای سیستم UI، تحت مولفه  $y$  زمین لرزه برای ۴ مد اول

## ۲-۶ انجام آنالیز استاتیکی غیرخطی مدی

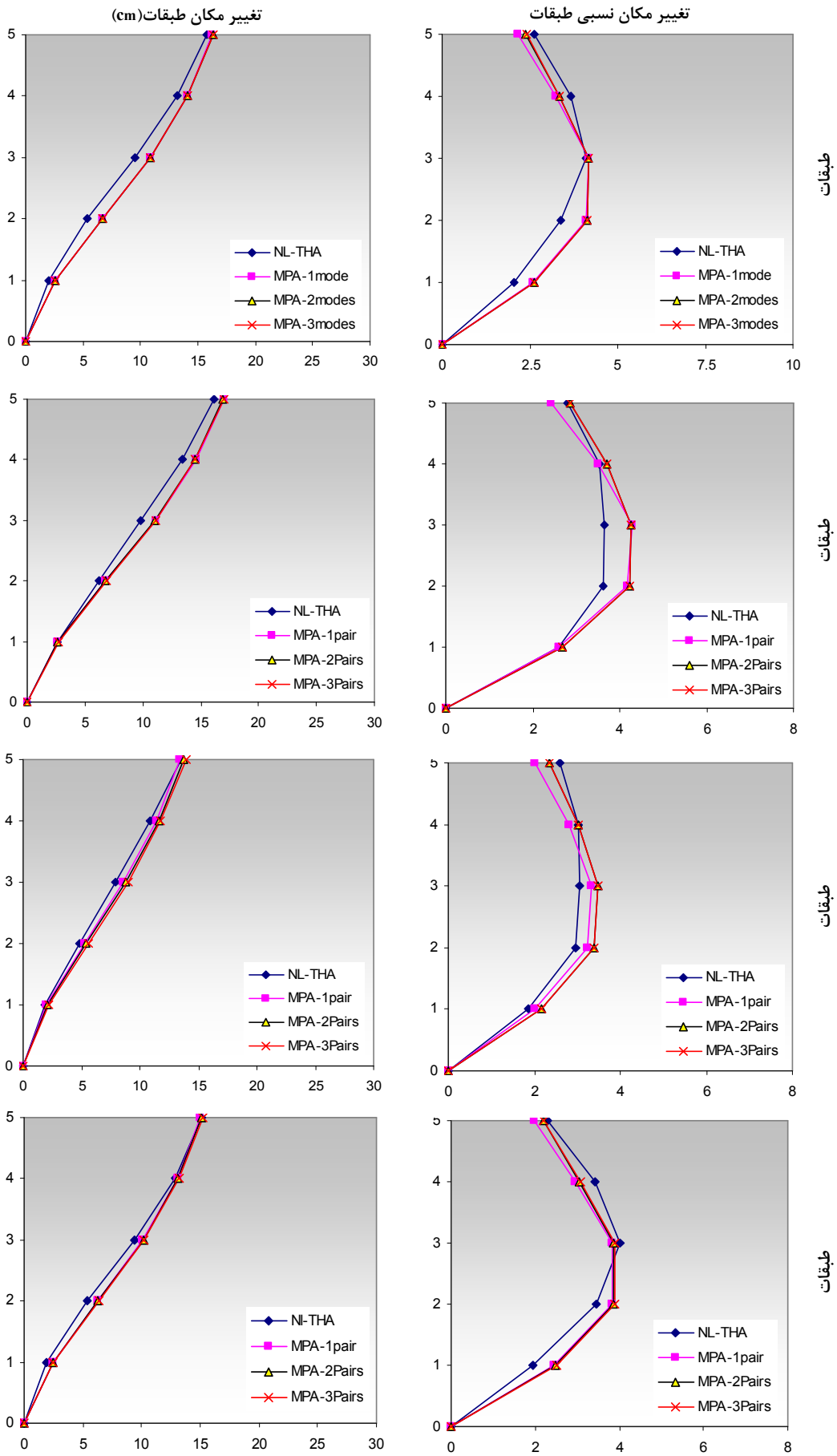
مراحل انجام MPA بطور مختصر در قسمتهای قبل ارائه شد و در اینجا فقط به ذکر چند نکته اشاره می شود:  
 - همانگونه که میدانیم در آنالیز استاتیکی غیرخطی بر سازه های متقارن فقط الگوی بار مهم می باشد و مقدار آن اهمیتی ندارد ولی در خصوص سازه های نامتقارن علاوه بر اهمیت الگوی بار وارده مقادیر آن هم مهم می باشد.  
 - معمولاً در مد اول مفاصل پلاستیک بیشتر در طبقات اولیه تشکیل شده در حالیکه که در مدهای بالاتر مفاصل بیشتر در طبقات فوقانی ایجاد میگردد و سعی شده پس از تبدیل به فرمت ADRS خصوصیات مودال سیستم حفظ گردد.  
 در جدول (۱) مقادیر تغییر مکان ماکزیمم و همچنین در شکل (۵) مقادیر مربوط به تغییر مکان هدف سازه تحت زلزله منجیل برای سیستم UI در قاب سمت راست، قاب سمت چپ، مرکز جرم طبقه بام در دو مد اول ارائه شده است.



شکل (۵): مقادیر تغییر مکان هدف مدل ۵ طبقه در قاب سمت راست، قاب سمت چپ، مرکز جرم در سیستم UI برای مدهای اول و دوم

جدول (۱): نتایج مربوط به مقادیر تغییر مکان ماکزیمم MPA و NL-RHA بترتیب در بالا و پایین برای قاب سمت راست، مرکز جرم، قاب سمت چپ مدل‌های ۵ طبقه

سیستم	زلزله منجیل		زلزله السنترو		زلزله طبس		زلزله ناغان	
	قاب سمت راست	-	قاب سمت راست	-	قاب سمت راست	-	قاب سمت راست	-
متقارن	قاب سمت راست	-	قاب سمت راست	-	قاب سمت راست	-	قاب سمت راست	-
	مرکز جرم	۱۶/۲۹	مرکز جرم	۱۳/۱	مرکز جرم	۹/۴۳	مرکز جرم	۶/۴
		۱۵/۷۸		۱۲/۲۵		۹/۶۴		۶/۵۳
قاب سمت چپ	-	قاب سمت چپ	-	قاب سمت چپ	-	قاب سمت چپ	-	
U1	قاب سمت راست	۱۷	قاب سمت راست	۱۵/۳۲	قاب سمت راست	۱۱/۶	قاب سمت راست	۷/۷۶
		۱۶/۲		۱۵/۷۲		۱۲/۱۳		۸/۲
	مرکز جرم	۱۲/۴۳	مرکز جرم	۱۱/۳۱	مرکز جرم	۸/۵۹	مرکز جرم	۵/۸۲
		۱۲/۱		۱۰/۹۲		۸/۲۷		۶/۰۳
	قاب سمت چپ	۷/۸۹	قاب سمت چپ	۸/۲۳	قاب سمت چپ	۵/۳۳	قاب سمت چپ	۴/۹۴
		۸/۲۲		۷/۲۱		۴/۵۴		۵/۳۸
U2-a	قاب سمت راست	۱۳/۹۱	قاب سمت راست	۱۴/۰۵	قاب سمت راست	۸/۲	قاب سمت راست	۶/۲۳
		۱۳/۵۱		۱۴/۰۵		۸/۲		۶/۳۲
	مرکز جرم	۱۲/۴۸	مرکز جرم	۱۰/۲۸	مرکز جرم	۸/۵	مرکز جرم	۵/۴۴
		۹/۵۲		۱۰/۸۷		۸/۸۵		۶
	قاب سمت چپ	۱۸/۶	قاب سمت چپ	۱۲	قاب سمت چپ	۱۴/۰۵	قاب سمت چپ	۷/۹
		۱۷/۶		۱۱/۶۲		۱۴/۱۶		۷/۸۷
U2-b	قاب سمت راست	۱۲	قاب سمت راست	۹/۵۴	قاب سمت راست	۷/۹۱	قاب سمت راست	۵/۳۳
		۱۳/۴۶		۱۱/۱۴		۸/۶۶		۵/۹۸
	مرکز جرم	۱۵/۱۵	مرکز جرم	۱۰/۵۵	مرکز جرم	۹/۴۸	مرکز جرم	۶/۱۱
		۱۵/۱۲		۱۱/۲		۱۰		۶/۱
	قاب سمت چپ	۲۱/۲۷	قاب سمت چپ	۱۳/۹۴	قاب سمت چپ	۱۲/۵۲	قاب سمت چپ	۷/۹۸
		۱۸		۱۳/۶۴		۱۲/۱۶		۸/۰۳
U3	قاب سمت راست	۱۵/۲۱	قاب سمت راست	۱۱/۸۵	قاب سمت راست	۹/۰۵۷	قاب سمت راست	۶/۱۵
		۱۵/۱۲		۹/۵۱		۷/۲۷		
	مرکز جرم	۱۶/۳۵	مرکز جرم	۱۲/۵۱	مرکز جرم	۹/۴۴	مرکز جرم	۶/۳۹
		۱۶/۰۲		۱۲/۹۵		۹/۶۷		۷/۱۶
	قاب سمت چپ	۱۸/۱۵	قاب سمت چپ	۱۳/۶۲	قاب سمت چپ	۱۰/۱۳	قاب سمت چپ	۶/۸۶
		۱۷/۳۷		۱۳/۹۷		۱۰/۰۲		۷/۰۲



شکل (۶): مقادیر تغییر مکان سیستم متقارن و سه سیستم نامتقارن (U3,U2-a,U1) مدل‌های ه طبقه در قاب سمت راست شکل (ب-۲) و همچنین تغییر مکان نسبی طبقات برای زلزله منجیل

### ۳- نتیجه :

- همانگونه که در شکل ۶ مشاهده شد بطور کلی در نظر گرفتن یک مد برای تغییر مکان طبقات کافی می باشد ولی در مورد تغییر مکان نسبی طبقات تعداد ۲ مد برای تخمین پاسخ بهتر مناسب می باشد و با افزایش تعداد طبقات تاثیر ۲ مد در تعیین تغییر مکانهای نسبی طبقات بیشتر می شود.
- در شرایط یکسان پاسخها در آنالیزهای دینامیکی با رکودهای متفاوت یکسان نمی باشد که نشان دهنده تاثیر محتوی فرکانسی رکوردها در تحلیل می باشد و همچنین مقادیر پاسخ سازه در شتاب نگاشت ناغان نسبت به بقیه رکوردها کمتر می باشد که گویای تاثیر مدت زمان زلزله علاوه بر محتوی فرکانسی می باشد به همین دلیل در ویرایش سوم آئین نامه ۲۸۰۰ تاکید می شود مدت زمان زلزله انتخابی (در صورت انتخاب ۳ رکورد) کمتر از ۱۰S نباشد.
- پاسخ سیستمهای U1 و U3 مناسب و با توجه به اینکه در سیستم U1 مدها کمی درگیر می باشند پاسخها برای سازه ۵ و ۸ طبقه مناسب بدست می آید و همچنین در سیستم U2-b پاسخها در قاب سمت راست کمی کم تخمین زده می شود.
- تعیین مناسب تغییر مکان هدف در آنالیز استاتیکی غیرخطی برای رسیدن به پاسخهای مناسب بسیار مهم می باشد.
- با استفاده از این روش در سیستم U2-a مقادیر تغییر مکان هدف در مرکز جرم کم تخمین زده می شود که یکی از دلایل آن همانطوری که شکل (۲) نشان داده شد اینست که مدهای الاستیک بشدت درگیر می باشند و مقادیر مولفه های مدها بطور همزمان به ماکزیمم مقدار خود می رسند. برای تعیین پاسخی مناسب در مرکز جرم با استفاده از روش CQC باید مقادیر مربوط به مد پیچش هم در ترکیب مدها منظور شود و یا از روشهای دیگر نظیر ABSSUM (جمع قدر مطلق پاسخ هر مد که معمولاً جوابهای دست بالاتری میدهد) استفاده شود. در این سیستم پاسخها در قاب سمت راست و همچنین قاب سمت چپ پلان مورد نظر (تغییر مکان ماکزیمم) مناسب می باشد (شکل ۸).
- تغییر مکان هدف را می توان با در نظر گرفتن یکی از طبقات بجای طبقه بام بدست آورد.
- مقادیر تغییر مکان ماکزیمم در شرایطی که در سازه نامتقارن مقدار  $I_{0j}$  با ضریبی بین ۱ تا ۱/۴ نسبت به مقدار  $I_{0j}$  در حالت متقارن افزایش یابد در قاب سمت راست و با مقادیر بزرگتر از ۱/۴ در قاب سمت چپ بدست می آید.

### ۴- مراجع

- [1] Building Seismic Safety Council. NEHRP *Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings*, FEMA-273, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C. (1997)
- [2] American Society of Civil Engineers; *Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings*, FEMA-356, Federal Emergency Management Agency, Washington D.C. (2000)
- [۳] Krawinkler, H. and Seneviratna, G. D. P. K.; *Pros and cons of a pushover analysis of seismic performance evaluation*, *Engrg. Struc.*; 20(4-6):452-464. (1998)
- [۴] Gupta, B., and Kunnath, S. K.; *Adaptive spectra-based pushover procedure for seismic evaluation of structures*, *Earthq. Spectra*, 16(2):367-392. (2000)
- [۵] Matsumori, T.; Otani, S.; Shiohara, H.; and Kabeyasawa, T.; *Earthquake member deformation demands in reinforced concrete frame structures*, *Proc.*, U.S.-Japan Workshop on Performance Based Earthq. Engrg. Methodology for R/C Bldg. Struc., pp. 79-94, Maui, Hawaii. (1999)
- [۶] Faella, G. and Kilar, V.; *Asymmetric multistory R/C frame structures: push-over versus nonlinear dynamic analysis*, *Proc.*, 11th Eur. Conf. Earthq. Engrg., A.A. Balkema, Rotterdam. (1998)
- [۷] Chopra, A. K.; and Goel, R. K.; *A modal pushover analysis procedure for estimating seismic demands for buildings*, *Earthq. Engrg. Struc. Dyn.*, 31(3):561-582. (2002)
- [۸] Goal, R. K.; and Chopra; A.K. *Evaluation of Modal and FEMA pushover analyses: SAC buildings*, *Earthq. Spectra*, to appear. (2004)
- [۹] Chintanapakdee, C, and Chopra, A. K. *Seismic response of vertically irregular frames: Response history and modal pushover analyses*, ASCE, *J. Struc. Engrg.*, to appear. (2004)
- [۱۰] Gupta, A. and Krawinkler, H. *Seismic demands for performance evaluation of steel moment resisting frame structures* (SAC Task 5.4.3), Report No. 132, John A. Blume Earthq. Engrg. Center, Stanford Univ., Stanford, Calif. (1999)

[۱۱] عربعلی، امیرساسان، "ارزیابی آنالیز غیرخطی فزاینده مدی بر سازه های نامنظم در پلان"، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه مازندران (بهار ۱۳۸۶)