



اثر مدهای بالاتر در تحلیل استاتیکی فزاینده غیر خطی

محسن تهرانی زاده، استاد و علیرضا شایان، فارغ التحصیل کارشناسی ارشد مهندسی سازه، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۱- چکیده

عملکرد صحیح لرزه‌ای یک سازه مستلزم آن است که مقاومت قابل دسترسی و ظرفیتهای تغییر شکل اعضا، بیش از نیازهای تحمیل شده به سازه بر اثر زمین لرزه باشد. با توجه به رفتار سازه در زمان وقوع زمین لرزه، ارزیابی عملکرد آن باید توسط تحلیل دینامیکی غیر خطی تاریخچه زمانی و با استفاده از زمین لرزه‌های منتخب صورت گیرد. اگرچه، تحلیل‌های پیچیده بجز در موارد خیلی خاص و یا با فرض وجود اطلاعات کافی برای نشان دادن رفتار صحیح سیکلی بار - تغییر شکل اعضای سازه‌ای، از نظر اقتصادی توجیه پذیر نمی باشد.

روش ساده‌تر تخمین ظرفیت مقاومت و تغییر شکل مورد نیاز سازه، تحلیل استاتیکی فزاینده غیر خطی آن (Pushover) می باشد. در تحقیقات انجام شده به منظور مقایسه نتایج حاصل از تحلیل استاتیکی فزاینده غیر خطی و تحلیل دینامیکی غیر خطی تاریخچه زمانی فقط از مد اول نوسان سازه در تحلیل استاتیکی فزاینده غیر خطی استفاده شده است. این موضوع بخصوص برای سازه‌های بلند (که اثر مدهای بعدی نوسان نیز در رفتار سازه قابل توجه است)، موجب کاهش دقت نتایج به دست آمده از تحلیل استاتیکی فزاینده غیر خطی می شود.

در این پژوهش، اثر مدهای بالاتر در روش تحلیلی مذکور مورد بررسی قرار گرفته است. قابهای مختلف خمشی و مهاربندی شده فلزی توسط روش استاتیکی فزاینده غیر خطی بر اساس مدهای اول، دوم و سوم نوسان تحلیل، نتایج حاصل از آن بر اساس مدهای مختلف به روشهای گوناگون با هم ترکیب و نتایج به دست آمده با نتایج حاصل از تحلیل استاتیکی فزاینده غیر خطی فقط بر اساس مد اول و تحلیل دینامیکی غیر خطی تاریخچه زمانی مقایسه شده است. نتایج به دست آمده مبین آن است که استفاده از مدهای بالاتر نوسان در تحلیل استاتیکی فزاینده غیر خطی برای سازه‌هایی که اثر مدهای بالاتر در آنها قابل توجه می باشد، نتایج نزدیکتری به تحلیل دینامیکی غیر خطی در مقایسه با تحلیل استاتیکی غیر خطی فقط بر اساس مد اول نوسان می دهد.

واژه‌های کلیدی: تحلیل استاتیکی فزاینده غیر خطی، تحلیل دینامیکی غیر خطی تاریخچه زمانی، تغییر مکان هدف، الگوی بار جانبی، پاسخ لرزه‌ای، ظرفیت مقاومت و تغییر شکل، اثر مدهای بالاتر.

۲- مقدمه

استفاده از روشهای استاتیکی غیر خطی برای تخمین

بیشینه تغییر مکان ساختمانها و پلها در طراحی لرزه ای رو به گسترش است. از این روش نیز می توان برای مقایسه مستقیم نیازهای وابسته به تغییر شکل و ظرفیت سیستم ها استفاده - کرد. این مقایسه ها بسیار با معنی تر از مقایسه های سنتی بر اساس نیرو می باشد.

روش مذکور بر این فرض استوار است که پاسخ سازه متناسب با پاسخ سیستم یکدرجه آزاد معادل می باشد و در نتیجه، پاسخ با یک مد تنها مورد بررسی قرار می گیرد؛ به طوری که شکل این مد در طی تاریخچه زمانی پاسخ، ثابت باقی می ماند که فرض صحیحی نمی باشد. البته مطالعاتی در زمینه الگوی بارگذاری و انتخاب مدل ریاضی مناسب به منظور پیش بینی بهتر حداکثر پاسخ لرزه ای سیستم های چند درجه آزاد انجام شده است [۱].

روش تحلیل استاتیکی فزاینده غیرخطی شامل دو مرحله است. در مرحله اول یک تغییر مکان هدف تعیین می شود. (یک تخمین از تغییر مکان بالا ترین تراز سازه هنگامی که در معرض تحریکات زلزله طرح قرار می گیرد). این کار معمولاً با به دست آوردن پاسخ غیرارتجاعی یک سیستم یکدرجه آزاد معادل (ارائه دهنده پاسخ کلی سازه) انجام می شود. در مرحله دوم نیروهای جانبی به طور فزاینده به مدل سازه اعمال می شود تا تغییر مکان گره کنترل آن برابر تغییر مکان هدف شود (گره کنترل معمولاً در مرکز جرم بام ساختمان در نظر گرفته می شود). در هنگام تحلیل، تغییرشکلهای سازه و نیروهای داخلی اعضا به طور پیوسته کنترل و نیروی طراحی و نیاز تغییر شکل در هر عضو برای تغییر مکانهای زلزله محاسبه می گردد و قابلیت پذیرش سازه با مقایسه نیروی محاسبه شده و تغییر شکل مورد نیاز با ظرفیتهای در دسترس ارزیابی می شود.

البته تفاوت نتایج حاصل از تحلیلهای استاتیکی و دینامیکی غیرخطی، یکی از ضعفهای این روش محسوب می شود. یکی از علل این ضعف، در نظر نگرفتن اثر مدهای بالاتر می باشد. این موضوع، بخصوص در سازه های بلند که اثر مدهای بالاتر قابل توجه است بیشتر مشهود می باشد. در این پژوهش با توجه به ارتفاع و نوع سیستم سازه ای، اثر مدهای مؤثر بالا ترین در پاسخ لرزه ای سازه مورد بررسی قرار گرفته و بر حسب میزان اهمیت مدهای بالاتر، تحلیل استاتیکی غیرخطی بر اساس مدهای دوم و سوم نیز انجام شده است. نتایج حاصل از تحلیل بر اساس مدهای مختلف به روشهای گوناگون با هم ترکیب و نتایج به دست آمده با نتایج حاصل از تحلیل استاتیکی فزاینده غیرخطی فقط بر اساس مد اول نوسان سازه و تحلیل دینامیکی غیرخطی تاریخچه زمانی مقایسه شده است.

۳- روش تحلیل استاتیکی فزاینده غیرخطی

مراحل انجام تحلیل استاتیکی فزاینده غیرخطی به شرح زیر است.

۳-۱- تعیین الگوی توزیع بار جانبی

الگوی توزیع بار جانبی استفاده شده در تحلیل استاتیکی غیرخطی الگوی توزیع بار $m\phi$ است. این الگو متناسب با حاصلضرب جرم طبقه در اندازه بردار شکل همان طبقه است که مقادیر به دست آمده در طبقات بر حسب مقدار متناظر در بام تراز می شوند [۲ و ۳].

۳-۲- تعیین تغییر مکان هدف

برای تعیین تغییر مکان هدف از روشی که به اختصار $N2$ نام دارد [۲ و ۳] استفاده شده است. اصول این روش عبارتند از: - استفاده از دو مدل مجزای ریاضی؛

- تحلیل استاتیکی فزاینده غیر خطی؛

- کاربرد روش طیف پاسخ.

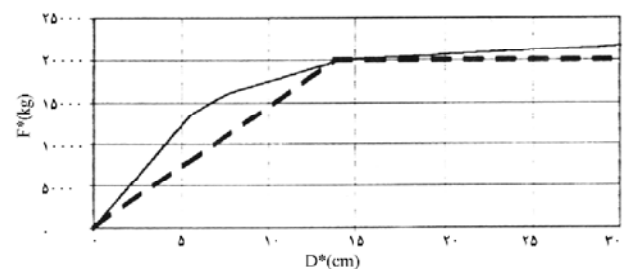
روش N2 مشابه روش ضریب تغییر مکان است که در قالب روش طیف ظرفیت فرمولبندی شده است. مراحل این روش به شرح زیر است.

الف) تحلیل غیر خطی استاتیکی اولیه جهت رسم منحنی ظرفیت

در این قسمت سازه با استفاده از الگوی بار تعیین شده و روش کنترل بار، تحلیل می شود. در این مرحله، تحلیل تا جایی ادامه می یابد که از تسلیم سازه و تبدیل سیستم به ساز و کار خمیری اطمینان حاصل شود. منحنی تغییر مکان گره کنترل در برابر برش پایه رسم می گردد. محل گره کنترل روی بام در نظر گرفته می شود. این فرض برای مداول صحیح ولی برای مدهای بالا تر مورد تأمل است.

ب) انتقال نتایج تحلیل سیستم چند درجه آزاد به سیستم یکدرجه آزاد معادل

در این مرحله مقادیر برش پایه و تغییر مکان گره کنترل به دست آمده در تحلیل غیر خطی استاتیکی اولیه به مقادیر متناظر نیرو (F^*) و تغییر مکان (D^*) در سیستم یکدرجه آزاد معادل تبدیل می شوند. پس از محاسبه مقادیر متناظر نیرو و تغییر مکان (F^*-D^*) سیستم یکدرجه آزاد معادل، منحنی نیرو و تغییر مکان سیستم یکدرجه آزاد معادل و منحنی ایده آل ارتجاعی - خمیری با توجه به تعیین سختی موثر مطابق شکل

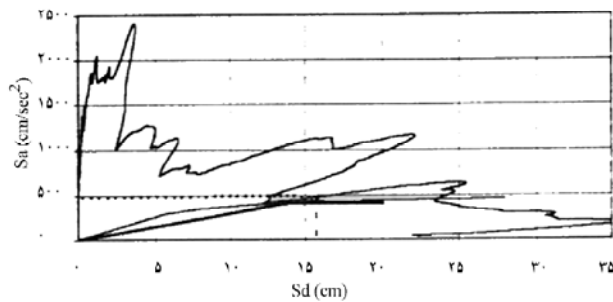


شکل (۱): منحنی نیرو و تغییر مکان سیستم یکدرجه آزاد معادل و منحنی ایده آل ارتجاعی - خمیری

(۱) رسم و پس از آن مقادیر نیروی تسلیم (F^*_y) و تغییر مکان تسلیم (D^*_y) که مقادیر متناظر با نقطه تغییر شیب منحنی است، تعیین می گردد.

پ) تعیین نیاز لرزه ای برای سیستم یکدرجه آزاد معادل

با تقسیم مقادیر نیرو (F^*) بر جرم (m^*) در سیستم یکدرجه آزاد معادل و به دست آوردن مقادیر شتاب متناظر می توان منحنی شتاب - تغییر مکان (منحنی ظرفیت) مدل یکدرجه آزاد را مطابق شکل (۲) رسم کرد. با رسم منحنی ظرفیت به دست آمده و منحنی نیاز زلزله در مختصات مشابه، شتاب مورد نیاز



شکل (۲): تعیین نیازهای ارتجاعی سازه

ارتجاعی و تغییر مکان مورد نیاز ارتجاعی سازه برای زلزله منتخب به دست می آید و ضریب کاهش (R_{μ}) محاسبه می شود [۳].

ت) تعیین تغییر مکان هدف برای مدل چنددرجه آزاد

تغییر مکان مورد نیاز غیر ارتجاعی گره کنترل در سیستم چند درجه آزاد (تغییر مکان هدف) با استفاده از تغییر مکان مورد نیاز غیر ارتجاعی مدل یکدرجه آزاد (S_d) با رابطه (۱) محاسبه می شود:

$$D_{en,1} = \Gamma_1 \times S_d \quad (1)$$

در رابطه (۱)، Γ_1 ضریب مشارکت مد اول و S_d تغییر مکان طیفی می باشد.

۳-۳- تحلیل استاتیکی فزاینده غیر خطی نهایی

در این مرحله، تحلیل استاتیکی فزاینده غیر خطی به روش

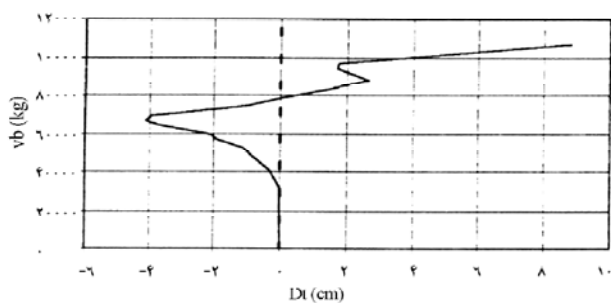
در رابطه (۲)، M_T جرم مؤثر کل سازه می باشد. به عنوان مثال، اگر u_{ki} تغییر مکان طبقه K ام در مد i ام باشد، تغییر مکان کلی طبقه K ام به صورت رابطه (۴) محاسبه می شود:

$$U_{kt} = \left[\sum_{i=1}^N (PF_{mi} \times u_{ki})^2 \right]^{1/2} \quad (4)$$

در روابط (۲ تا ۴)، N تعداد مدهای مؤثر شرکت کننده است.

۵- تعیین محل گره کنترل در تحلیل بر اساس مدهای بالاتر

به علت تغییر علامت نیروهای طبقات بر اساس الگوی بار $(m\phi)$ در مدهای بالاتر، تراز بام در برخی موارد تراز مناسبی برای گره کنترل نیست؛ زیرا به علت شکل خاص اعمال نیرو ممکن است گره منتخب در تراز بام همواره در یک جهت تغییر مکان نکند و نمودار برش پایه- تغییر مکان بام منحنی مطلوبی نباشد (شکل ۳). سختی مؤثر سیستم معادل یکدرجه آزاد نیز ممکن است به حدی اضافه شود که پریود طبیعی



شکل (۳): تغییر مکان نامناسب بام

سیستم معادل یکدرجه آزاد (T^*) از پریود سیستم چند درجه آزاد در مد تحت بررسی کمتر شود (این موضوع با فرضیات اولیه مغایرت دارد). در چنین مواردی باید تراز دیگری که دو شرط بالا را ارضاء می کند، انتخاب شود. در این حالت، طبقه ای را که بیشترین اندازه ϕ را در مد مورد نظر دارد به عنوان تراز مناسب می توان انتخاب کرد. شایان توجه است

کنترل تغییر مکان روی مدل چند درجه آزاد انجام می شود تا تغییر مکان گره کنترل به مقدار تعیین شده (تغییر مکان هدف) برسد. در این مرحله می توان نیازهای لرزه ای موضعی سازه را تخمین زد. در این پژوهش نیازهای لرزه ای بررسی شده عبارتند از:

- پروفیل تغییر مکان کلی سازه (Disp)؛

- تغییر مکان جانبی بین طبقات (Drift)؛

- متوسط چرخش مفصل خمیری برای ستونهای طبقات (R_c) ؛

- متوسط چرخش مفصل خمیری برای تیرهای طبقات (R_b) .

۴- ترکیب نتایج حاصل از مدهای مختلف

نتایج حاصل از تحلیلهای استاتیکی در مدهای مختلف به روشهای جذر مجموع مربعات و جذر مجموع مربعات اصلاح شده با هم ترکیب می شوند.

۴-۱- روش جذر مجموع مربعات: در این روش، سازه برای هر مد به طور جداگانه بر اساس الگوی بار و بردار شکل آن مد تحلیل می شود و نتایج حاصل از تحلیل مدها به روش جذر مجموع مربعات با هم ترکیب می شوند.

۴-۲- روش جذر مجموع مربعات اصلاح شده: این روش مانند روش جذر مجموع مربعات است. با این تفاوت که نتایج حاصل از هر مد قبل از ترکیب، در ضریب مشارکت جرمی (نسبت جرم مؤثر مدی به جرم مؤثر کل) آن مد ضرب می شود. ضریب مشارکت جرمی مد مؤثر n ام از رابطه (۲) به دست می آید [۱]:

$$PF_{mn} = \frac{\left(\sum_{i=1}^N m_i \phi_{in} \right)^2}{\sum_{i=1}^N m_i \phi_{in}^2 \times M_T} \quad (2)$$

$$M_T = \sum_{i=1}^N m_i \quad (3)$$

که در این صورت پارامتر Γ (ضریب مشارکت مدی) باید در اندازه ϕ طبقه منتخب ضرب شود [۴].

غیرخطی استاتیکی و دینامیکی بررسی و نتایج حاصل از آنها با هم مقایسه شده‌اند. شاخصهای این مقایسه عبارتند از:

۶- کلیات طرح و مشخصات مدل‌های مورد استفاده

به منظور بررسی اثر مدهای بالاتر در تحلیل استاتیکی غیرخطی از چند قاب خمشی و قاب مهاربندی شده فولادی با تعداد دهانه‌ها و طبقات مختلف استفاده شده است. به منظور افزایش اثر مدهای بالاتر در بعضی از مدل‌ها جرم طبقات تحتانی بیشتر از طبقات فوقانی در نظر گرفته شده که این افزایش جرم مطابق با ضوابط ساختمانهای منظم در استاندارد ۲۸۰۰ زلزله ویرایش دوم صورت پذیرفته است. مشخصات قابهای مورد بررسی در جدول (۱) آورده شده است. در قابهای مذکور طول تمام دهانه‌ها ۶ متر و ارتفاع تمام طبقات ۳ متر می‌باشد.

- پروفیل تغییر شکل کلی سازه؛
- تغییر مکان جانبی بین طبقه ای؛
- متوسط چرخش مفصل خمیری تیرها و ستونهای طبقات به طور جداگانه.

به منظور مقایسه تحلیلی بهتر، از طیفهای هموار و یاطیف طرح استفاده نگردید؛ بلکه، در روش غیرخطی استاتیکی، طیف پاسخ برای یک زمین لرزه منتخب به دست آمد و تحلیل غیرخطی استاتیکی بر اساس آن طیف پاسخ بخصوص انجام شد. نتایج به دست آمده نیز با نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی غیرخطی تحت همان زلزله مقایسه گردید.

روش مورد نظر برای تحلیل استاتیکی غیرخطی روش N_2 می‌باشد. تحلیل استاتیکی غیرخطی مقدماتی مدل‌ها با استفاده از روش کنترل بار و تحلیل استاتیکی غیرخطی نهایی آنها با استفاده از روش کنترل تغییر مکان انجام گردید و در کلیه تحلیل‌های غیرخطی، میرایی و سختی کرنشی برابر ۵٪ و

تحلیل استاتیکی خطی مدل‌ها برای طراحی اعضا با برنامه SAP90 و تحلیل مدی و تحلیلهای غیرخطی استاتیکی و دینامیکی قابها با استفاده از برنامه DRAIN-2DX انجام گرفته است [۵]. رفتار هر یک از مدل‌ها با کاربرد تحلیلهای

جدول (۱): مشخصات کلی قابهای مورد بررسی

نام قاب	تعداد طبقه	تعداد دهانه	سیستم سازه ای	نوع زمین انتخابی	طبقات دارای جرم بیشتر
5S2B-MR	۵	۲	قاب خمشی	I	-
5S2BW-MR	۵	۲	قاب خمشی	I	اول و دوم
5S3B-BR	۵	۳	قاب ساده مهاربندی شده	I	-
8S2B-MR	۸	۲	قاب خمشی	IV	-
8S2BW-MR	۸	۲	قاب خمشی	IV	اول و دوم
8S3B-BR	۸	۳	قاب ساده مهاربندی شده	IV	-
15S3B-MR	۱۵	۳	قاب خمشی	IV	-
15S3BW-MR	۱۵	۳	قاب خمشی	IV	اول تا سوم
15S3B-BR	۱۵	۳	قاب ساده مهاربندی شده	IV	-

جدول (۲): مشخصات شتابنگاشتهای مورد استفاده

نام شتابنگاشت	سال وقوع (میلادی)	فاصله محل ثبت از مرکز زلزله (km)	ژرفای کانونی (km)	بزرگا (ML)	شدت (MM)	بیشینه شتاب حرکت زمین (cm/sec ²)	فرکانس مرکزی (rad/sec)
طیس	۱۹۷۸	۳	-	۶/۵	-	۹۴۷۰	۳۷۰۸
لومپریتا	۱۹۸۹	۱۰۰/۰	۱۱	۷/۱	۸	۱۲۴/۷	۱۷۰۶
سان فرناندو	۱۹۷۱	۴۷۰	۸	۶/۵	۱۱	۴۸۷۰	۱۵۲۸
کرن کانتی	۱۹۵۲	۰	۱۶	۷/۷	۱۱	۱۷۵/۹	۲۲۷۱

- زمین منطقه از نوع I (خاک سخت یا بستر سنگی) است -
(T=0.4sec).

- ساختمان، با اهمیت متوسط و دارای ضریب اهمیت I=1 است.

- سیستم سازه قاب خمشی فولادی معمولی و ضریب رفتار آن R=6 می باشد.

چون قاب برای زمین نوع I طراحی شده است باید از شتابنگاشتهای اصلاح شده روی بستر سنگی استفاده کرد که به عنوان نمونه در این تحلیل از شتابنگاشت اصلاح شده طیس استفاده شده است.

۷-۱- تحلیل غیرخطی استاتیکی

با توجه به کوتاه بودن سازه، تحلیل استاتیکی غیرخطی فقط بر اساس مدهای اول و دوم انجام شد. در قسمتهای بعد نتایج حاصل از تحلیل استاتیکی غیرخطی بر اساس مد اول و دوم و ترکیب نتایج به دست آمده آورده شده است.

۷-۱-۱- تحلیل بر اساس مد اول

الگوی بار در این قسمت پس از ضرب جرم طبقات در اندازه بردار شکل همان طبقه و تراز کردن مقادیر نسبت به بام به صورت رابطه (۵) می باشد:

$$P_1^T = [0.241, 0.625, 1.0261, 1.00] \quad (5)$$

در جدول (۳) خلاصه نتایج حاصل از تحلیل بر اساس مد اول آورده شده است.

دیافراگم طبقات، صلب در نظر گرفته شد. این موضوع در مدل ها با ثابت نگهداشتن تغییر مکان افقی گرهای هر طبقه به یک گره آن طبقه رعایت گردید و در همه تحلیلها اثر P-Δ مد نظر قرار گرفت.

در این پژوهش، از چهار شتابنگاشت استفاده شد که مشخصات آنها در جدول (۲) آورده شده است. شتابنگاشت اول از مرجع [۶] و شتابنگاشتهای دوم تا چهارم نیز از مرجع [۷] تهیه شده است. به منظور رعایت تناسب نتایج حاصله، کلیه شتابنگاشتها به بیشینه 0.7g شتاب مقیاس شده اند.

۷- مدلسازی و تحلیل قاب خمشی نمونه

در این پژوهش نتایج تحلیل استاتیکی غیرخطی و دینامیکی غیرخطی با استفاده از روشهای متفاوت بارگذاری و در نظر گرفتن مدهای بالا تر برای قابهای خمشی پنج طبقه، هشت طبقه و پانزده طبقه به عنوان مدل های تحلیلی مقایسه شده ارائه و مراحل محاسباتی یک قاب چهار طبقه یک دهانه به تفصیل شرح داده شده است. این قاب دارای طول دهانه ۶، ارتفاع طبقات ۳ و سهم باربر ۵ متر می باشد و مشخصات لرزه ای آن عبارتند از:

- سازه در منطقه با خطر نسبی بالا قرار داشته و شتاب مبنای طرح A=0.35 می باشد.

جدول (۳): خلاصه نتایج تحلیل برای مدل اول

نیاز	تراز طبقه	تغییر مکان (cm)	Drift (cm)	R _c (radx10 ⁻³)	R _b (radx10 ⁻³)
۱	۱	۵/۸۲۸	۵/۸۲۸	۷/۱۶۵	۱۷/۰۸
۲	۲	۱۲/۱۸۳	۶/۳۵۵	۰/۰	۹/۳۵۶
۳	۳	۱۷/۸۷۹	۵/۶۹۶	۱۱/۰۴	۳/۷۱۵
۴	۴	۲۰/۹۵	۳/۰۷۱	۰/۰	۰/۱۹۵

۲-۱-۷- تحلیل بر اساس مدل دوم

تحلیل غیرخطی استاتیکی برای مدل دوم نیز به روش مذکور انجام و خلاصه نتایج حاصل از آن در جدول (۴) آورده شده است.

جدول (۴): خلاصه نتایج تحلیل برای مدل دوم

نیاز	تراز طبقه	تغییر مکان (cm)	Drift (cm)	R _c (radx10 ⁻³)	R _b (radx10 ⁻³)
۱	۱	۷/۱۵	۷/۱۵	۰/۰	۰/۰
۲	۲	۷/۹۶	۰/۸۱	۰/۰	۰/۰
۳	۳	۰/۵۷۲	-۱/۳۹	۰/۰	۰/۰
۴	۴	-۲/۳۶	-۲/۹۳	۰/۲۶۶	۱/۴۱۵

۲-۲-۷- ترکیب نتایج تحلیل مدهای اول و دوم

نتایج تحلیل رامی توان به دو روش متفاوت به شرح زیر با هم ترکیب کرد.

۱-۲-۷- روش جذر مجموع مربعات (SRSS)

در این روش نتایج حاصل از تحلیل بر اساس مدل اول و دوم با هم به روش جذر مجموع مربعات ترکیب می شوند:

$$u_t = \left(\sum_{i=1}^N u_i^2 \right)^{1/2} \quad (6)$$

نتایج حاصل از این روش در جدول (۵) ارائه شده است.

جدول (۵): نتایج حاصل از روش جذر مجموع مربعات (SRSS)

نیاز	تراز طبقه	Disp (cm)	Drift (cm)	R _c (radx10 ⁻³)	R _b (radx10 ⁻³)
۱	۱	۵/۹۴۰	۵/۹۴۰	۷/۱۶۵	۱۷/۰۸
۲	۲	۱۲/۳۴۰	۶/۴۰۶	۰/۰	۹/۳۵۶
۳	۳	۱۷/۸۸۸	۵/۸۶۳	۱۱/۰۴	۳/۷۱۵
۴	۴	۲۷/۰۸۳	۴/۲۴۶	۰/۲۶۶	۱/۴۲۸

۲-۲-۷- روش جذر مجموع مربعات اصلاح شده (SRSMS)

در این روش ابتدا نتایج هر مدل در ضریب مشارکت جرمی آن مدل ضرب شده، سپس به روش جذر مجموع مربعات ترکیب می شوند:

$$u_t = \left(\sum_{i=1}^N (PF_{mi} \times u_i)^2 \right)^{1/2} \quad (7)$$

نتایج حاصل از این روش در جدول (۶) آورده شده است.

جدول (۶): نتایج حاصل از روش جذر مجموع مربعات اصلاح شده (SRSMS)

نیاز	تراز طبقه	Disp (cm)	Drift (cm)	R _c (radx10 ⁻³)	R _b (radx10 ⁻³)
۱	۱	۵/۰۱۴	۵/۰۱۴	۶/۱۶۱	۹/۵۲۷
۲	۲	۱۰/۴۷۹	۵/۴۶۵	۰/۰	۸/۰۴۴
۳	۳	۱۵/۳۷۳	۴/۹۰۱	۰/۹۴۹	۳/۱۹۴
۴	۴	۱۷/۰۱۶	۲/۶۷۲	۰/۰۳۷	۰/۲۶۰

۳-۷- تحلیل دینامیکی غیرخطی (N.D.T.H.)

تحلیل دینامیکی غیرخطی تاریخچه زمانی سازه نیز بر اساس شتابنگاشت طقس انجام گردید. نتایج این تحلیل در جدول (۷) آورده شده است. شایان ذکر است که در این جدول پوش نتایج مشاهده می شود.

جدول (۷): نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی غیرخطی سازه بر حسب شتابنگاشت طقس (N.D.T.H.)

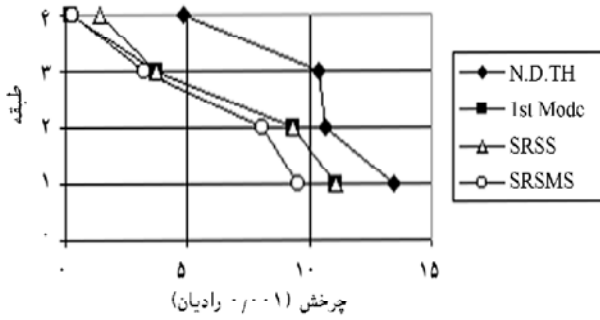
نیاز	تراز طبقه	Disp (cm)	Drift (cm)	R _c (radx10 ⁻³)	R _b (radx10 ⁻³)
۱	۱	۴/۶۷۶	۴/۶۷۹	۵/۶۶۳	۱۳/۴۹
۲	۲	۹/۵۷۶	۵/۱۱۴	۰/۰۷۹	۱۰/۶۵
۳	۳	۱۴/۶۵	۵/۱۵۱	۱/۲۸	۱۰/۳۹
۴	۴	۱۷/۲۹	۴/۷۸۵	۰/۰	۴/۸۶۸

۴-۷- تحلیل نتایج عددی

در این بخش نتایج به دست آمده از تحلیل غیرخطی استاتیکی و دینامیکی برای قاب چهار طبقه و تعدادی از قابهای منتخب آورده شده است.

۷-۴-۱- قاب خمشی چهار طبقه یک دهانه

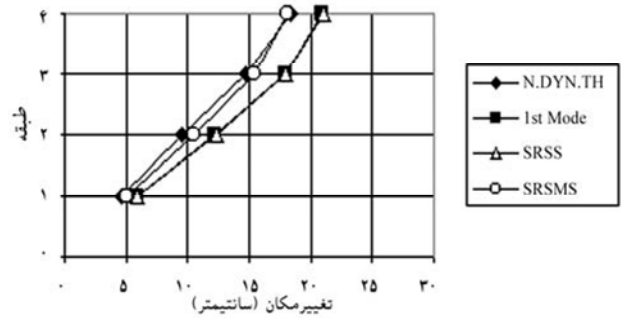
در شکل‌های (۴ تا ۷) نتایج حاصل از تحلیل قاب خمشی چهار طبقه یک دهانه تحت شتابنگاشت زلزله طبرس برای پارامترهای مورد بررسی با استفاده از روش‌های مختلف ترکیب نتایج تحلیل غیرخطی استاتیکی بر اساس مدهای اول و دوم، تحلیل غیرخطی دینامیکی و تحلیل غیرخطی استاتیکی بر اساس مد اول مقایسه شده‌اند.



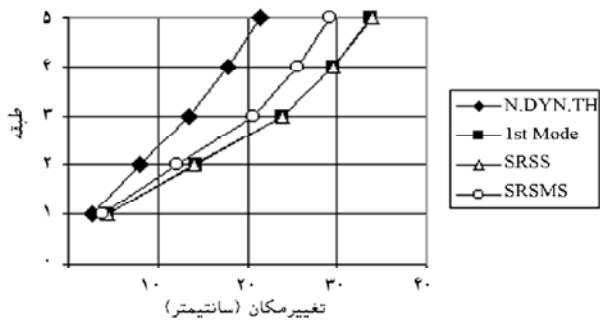
شکل (۷): متوسط حداکثر چرخش مفصل خمیری در تیرهای طبقات قاب خمشی چهار طبقه یک دهانه

۷-۴-۲- قاب خمشی پنج طبقه دو دهانه

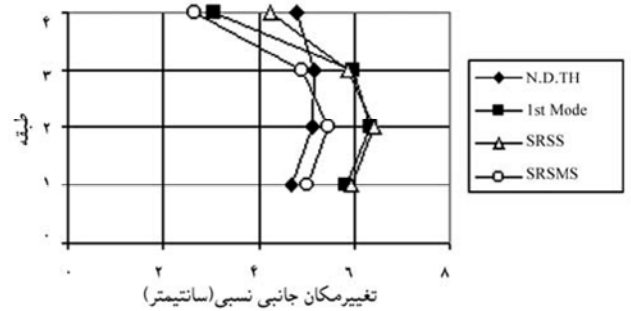
نتایج به دست آمده برای قاب خمشی پنج طبقه دو دهانه تحت شتابنگاشت زلزله طبرس برای پارامترهای مورد بررسی با استفاده از روش‌های مختلف ترکیب نتایج، تحلیل غیرخطی استاتیکی بر اساس مدهای اول و دوم، تحلیل غیرخطی دینامیکی و تحلیل غیرخطی استاتیکی بر اساس مد اول در شکل‌های (۸) تا (۱۱) مقایسه شده‌اند.



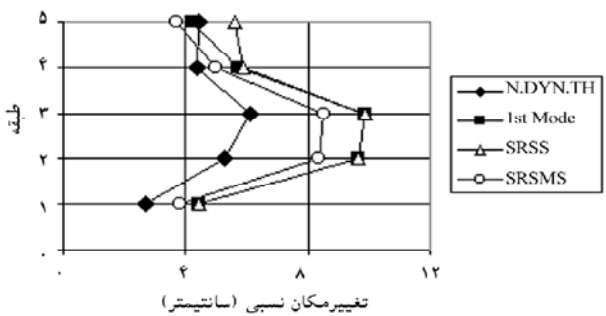
شکل (۴): تغییر مکان جانبی طبقات قاب خمشی چهار طبقه یک دهانه



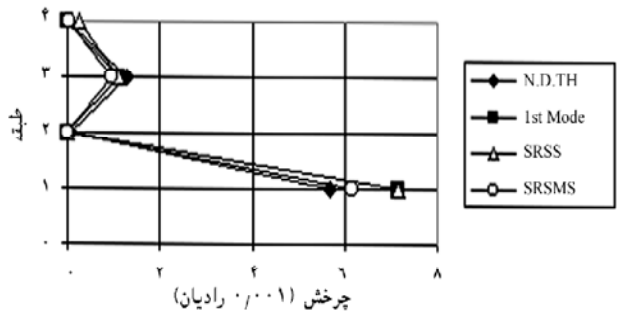
شکل (۸): تغییر مکان جانبی طبقات قاب خمشی پنج طبقه دو دهانه



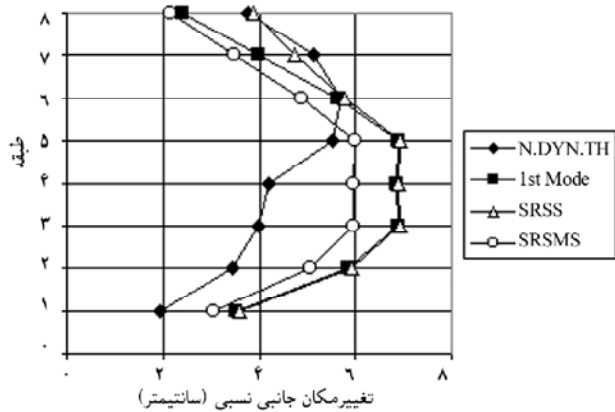
شکل (۵): تغییر مکان جانبی نسبی بین طبقات قاب خمشی چهار طبقه یک دهانه



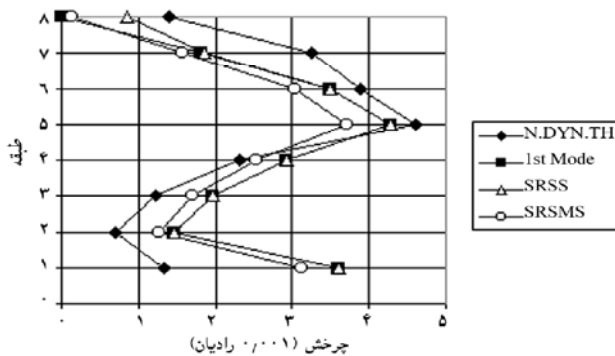
شکل (۹): تغییر مکان جانبی نسبی بین طبقات قاب خمشی پنج طبقه دو دهانه



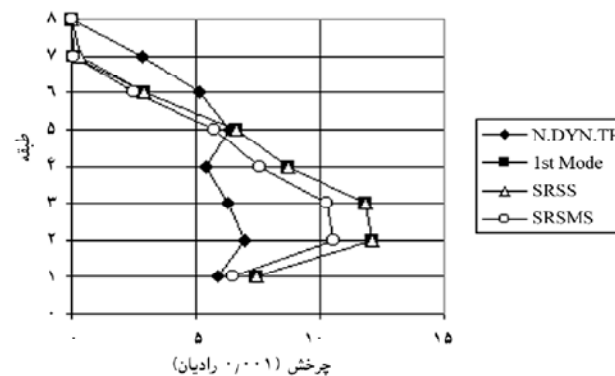
شکل (۶): متوسط حداکثر چرخش مفصل خمیری در ستونهای طبقات قاب خمشی چهار طبقه یک دهانه



شکل (۱۳): تغییر مکان جانبی نسبی بین طبقات (قاب خمشی هشت طبقه دو دهانه)



شکل (۱۴): متوسط حداکثر چرخش مفصل خمیری در ستونهای طبقات (قاب خمشی هشت طبقه دو دهانه)

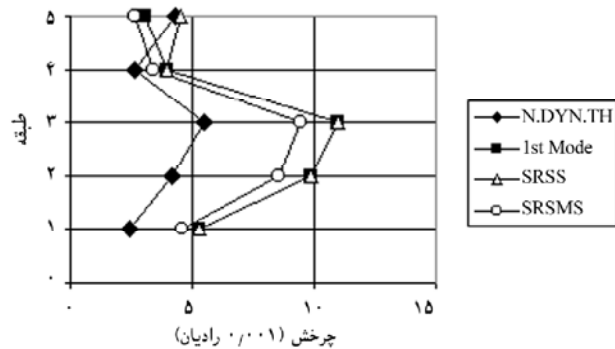


شکل (۱۵): متوسط حداکثر چرخش مفصل خمیری در تیرهای طبقات (قاب خمشی هشت طبقه دو دهانه)

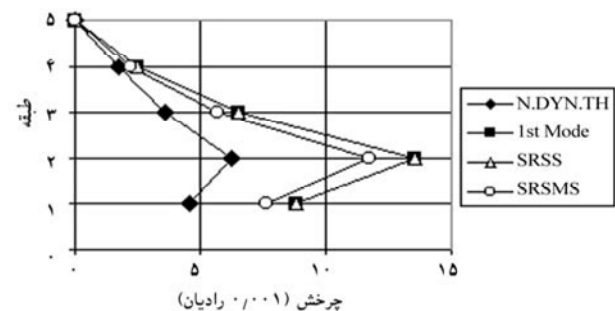
۷-۴-۴- قاب خمشی پانزده طبقه سه دهانه

در قابهای پانزده طبقه برای تیرها فاصله صلب انتهایی در نظر گرفته شده، در نتیجه مقاطع تیرها نسبت به حالات قبل، ضعیفتر طراحی گردیده است.

نتایج به دست آمده برای قاب خمشی پانزده طبقه سه



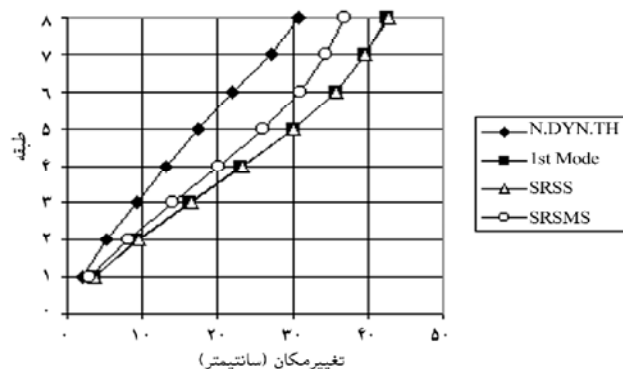
شکل (۱۰): متوسط حداکثر چرخش مفصل خمیری در ستونهای طبقات (قاب خمشی پنج طبقه دو دهانه)



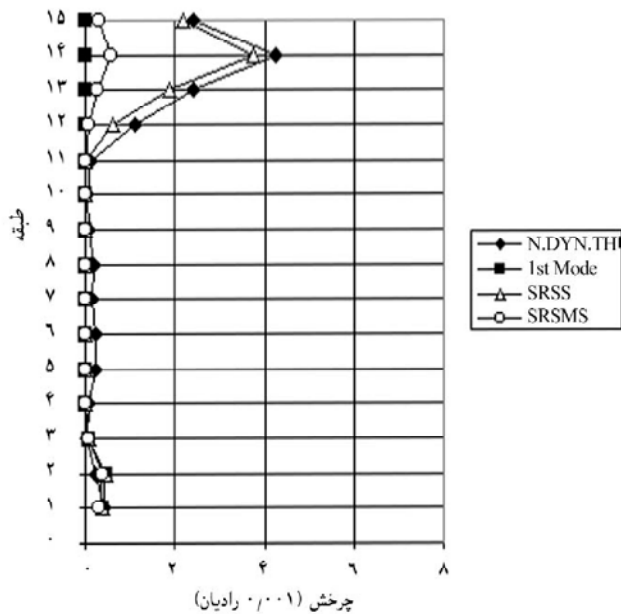
شکل (۱۱): متوسط حداکثر چرخش مفصل خمیری در تیرهای طبقات (قاب خمشی پنج طبقه دو دهانه)

۷-۴-۳- قاب خمشی هشت طبقه دو دهانه

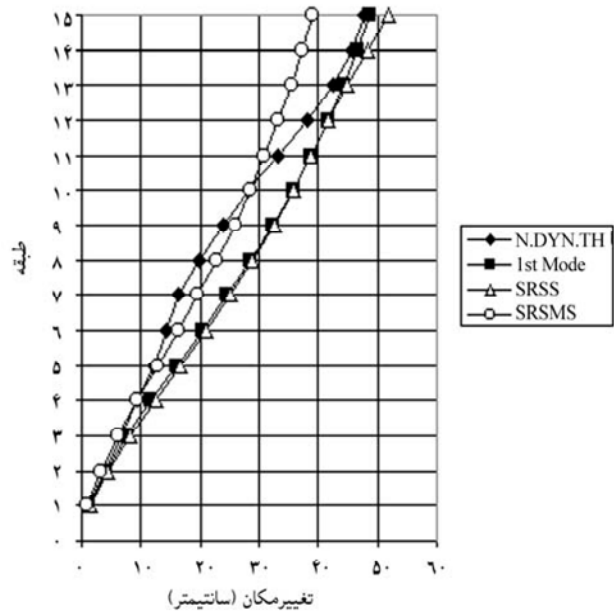
نتایج به دست آمده برای قاب خمشی هشت طبقه دو دهانه تحت شتابنگاشت زلزله سان فرناندو برای پارامترهای مورد بررسی با استفاده از روشهای مختلف ترکیب نتایج تحلیل غیرخطی استاتیکی بر اساس مدهای اول و دوم تحلیل غیرخطی دینامیکی و تحلیل غیرخطی استاتیکی بر اساس مدل اول در شکلهای (۱۲ تا ۱۵) مقایسه شده اند.



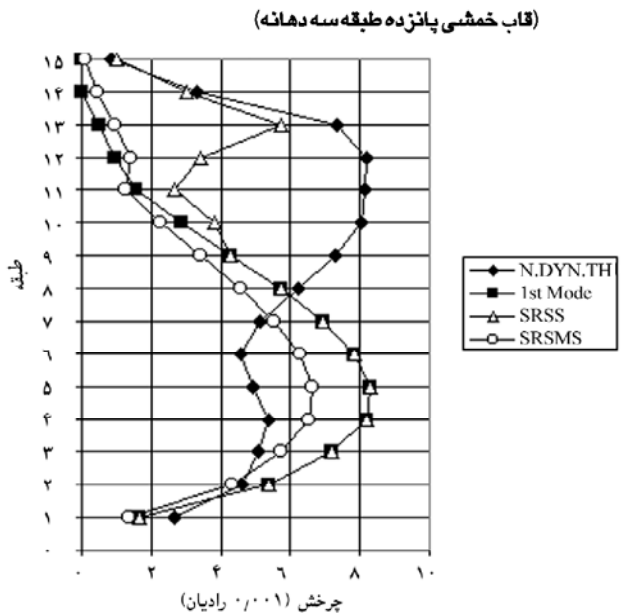
شکل (۱۲): تغییر مکان جانبی طبقات (قاب خمشی هشت طبقه دو دهانه)



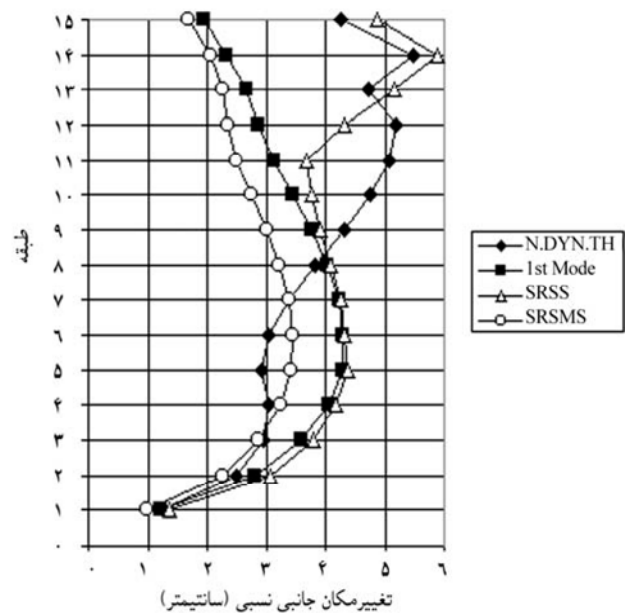
شکل (۱۸): متوسط حداکثر چرخش مفصل خمیری در ستونهای طبقات قاب خمشی پانزده طبقه سه دهانه



شکل (۱۶): تغییر مکان جانبی طبقات قاب خمشی پانزده طبقه سه دهانه



شکل (۱۹): متوسط حداکثر چرخش مفصل خمیری در تیرهای طبقات قاب خمشی پانزده طبقه سه دهانه



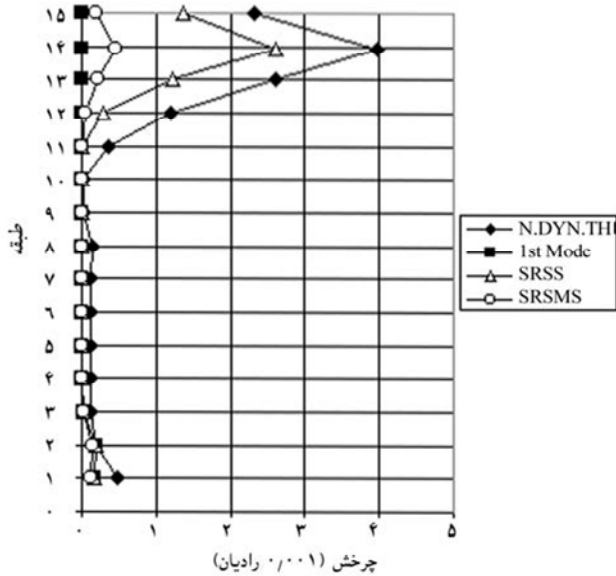
شکل (۱۷): تغییر مکان جانبی نسبی بین طبقات قاب خمشی پانزده طبقه سه دهانه

۷-۴-۵- قاب خمشی پانزده طبقه سه دهانه دارای سه طبقه تحتانی با جرمهای زیاد

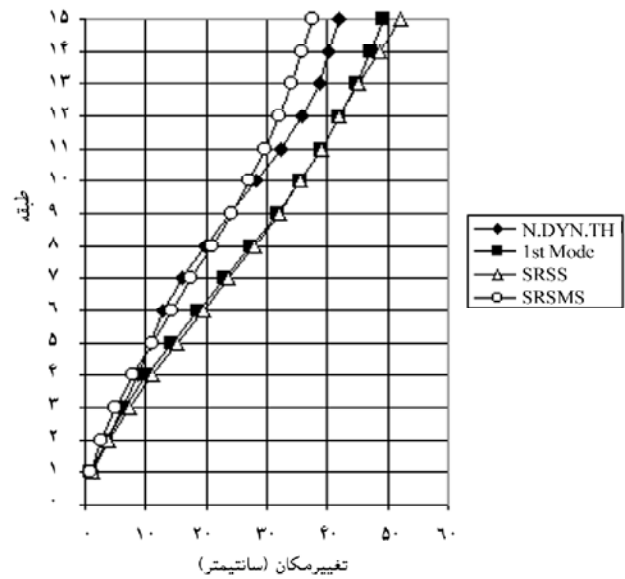
نتایج به دست آمده برای قاب خمشی پانزده طبقه سه دهانه با جرمهای طبقات تحتانی بیشتر تحت اثر شتابنگاشت زلزله کرن کانتی برای پارامترهای مورد بررسی

دهانه تحت شتابنگاشت زلزله کرن کانتی برای پارامترهای مورد بررسی با استفاده از روشهای مختلف ترکیب نتایج تحلیل غیرخطی استاتیکی برای مدهای اول تا سوم، تحلیل غیرخطی دینامیکی و تحلیل استاتیکی بر اساس مد اول در شکلهای (۱۶ تا ۱۹) مقایسه شده اند.

سه دهانه تحت شتابنگاشت زلزله سان فرناندو برای پارامترهای مورد بررسی با استفاده از روشهای مختلف ترکیب نتایج تحلیل غیر خطی استاتیکی بر اساس مدهای اول و دوم، تحلیل غیر خطی استاتیکی بر اساس مدهای اول و دوم، تحلیل غیر خطی دینامیکی و تحلیل غیر خطی استاتیکی بر اساس مدهای اول در شکل‌های (۲۰ تا ۲۶) مقایسه شده‌اند.

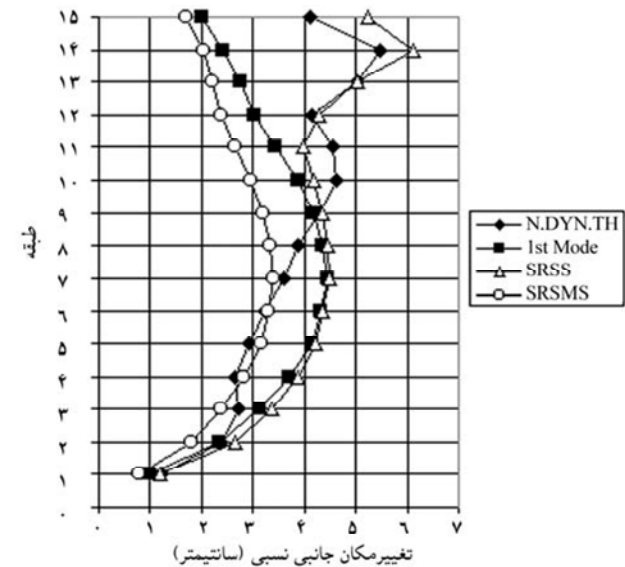
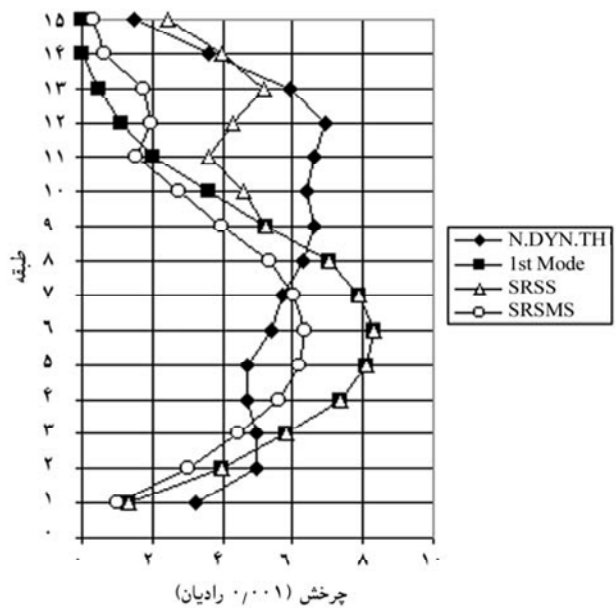


با استفاده از روشهای مختلف ترکیب نتایج تحلیل غیر خطی استاتیکی بر اساس مدهای اول تا سوم، تحلیل غیر خطی دینامیکی و تحلیل غیر خطی استاتیکی بر اساس مدهای اول در شکل‌های (۲۰ تا ۲۳) مقایسه شده‌اند.



شکل (۲۰): تغییر مکان جانبی طبقات قاب خمشی پانزده طبقه سه دهانه دارای سه طبقه تحتانی با جرمهای زیاد

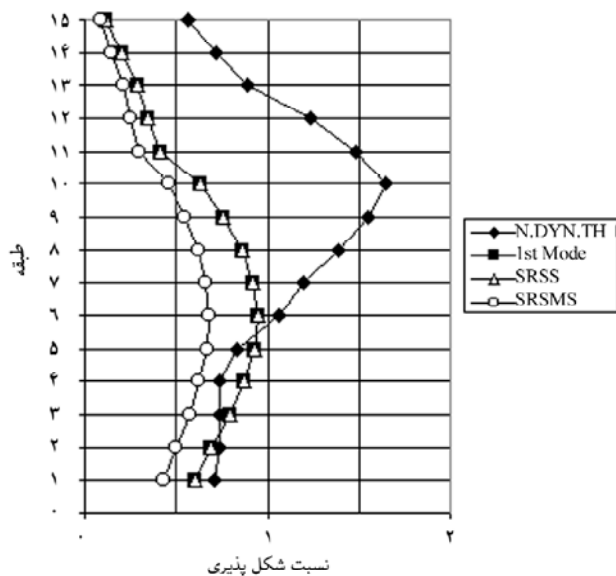
شکل (۲۲): متوسط حداکثر چرخش مفصل خمیری در ستونهای طبقات قاب خمشی پانزده طبقه سه دهانه دارای سه طبقه تحتانی با جرمهای زیاد



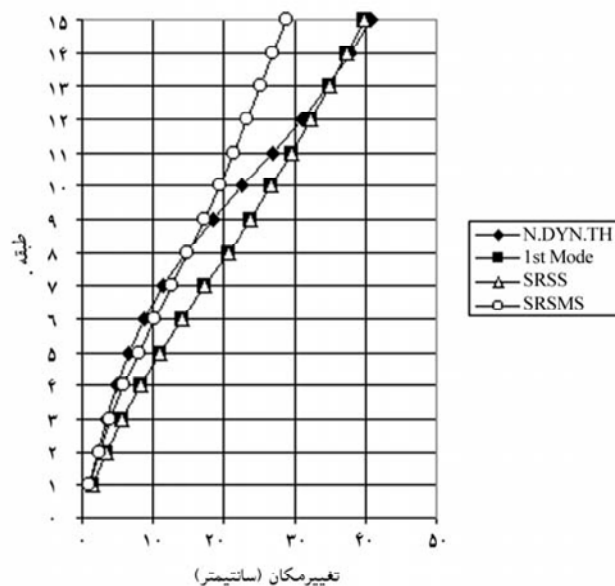
شکل (۲۱): تغییر مکان جانبی نسبی بین طبقات قاب خمشی پانزده طبقه سه دهانه دارای سه طبقه تحتانی با جرمهای زیاد

شکل (۲۳): متوسط حداکثر چرخش مفصل خمیری در تیرهای طبقات قاب خمشی پانزده طبقه سه دهانه دارای سه طبقه تحتانی با جرمهای زیاد

۷-۴-۶- قاب مهاربندی شده پانزده طبقه سه دهانه
نتایج به دست آمده برای قاب مهاربندی شده پانزده طبقه



شکل (۲۶): نسبت شکل پذیری اعضای مهاربندی (قاب مهاربندی شده پانزده طبقه سه دهانه)

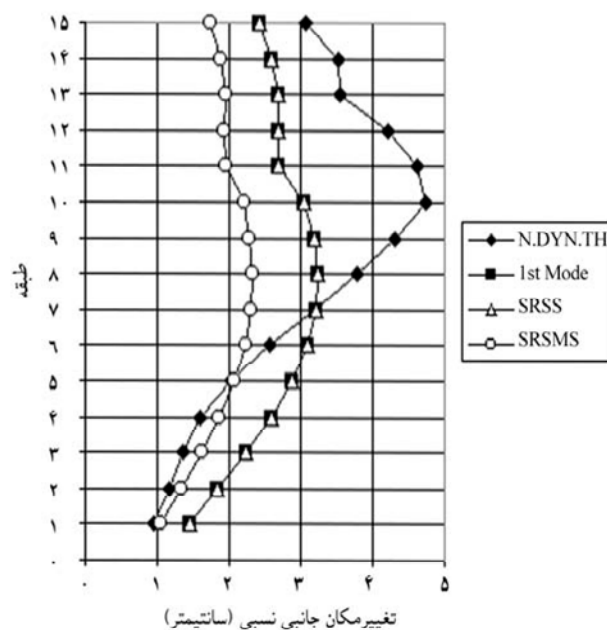


شکل (۲۴): تغییر مکان جانبی طبقات (قاب مهاربندی شده پانزده طبقه سه دهانه)

در ستونها، روش جذر مجموع مربعات در طبقات بالا نتایج نزدیکتری به تحلیل دینامیکی غیر خطی دارد. در قاب خمشی پانزده طبقه نتایج حاصل از روش جذر مجموع مربعات به تحلیل دینامیکی غیر خطی نزدیکتر است؛ بخصوص، در طبقات بالا انطباق بسیار خوبی با نتایج تحلیل دینامیکی غیر خطی دارد. در قاب پانزده طبقه مهاربندی شده نتایج حاصل از روشهای ترکیب نتایج مدهای مختلف تفاوت چندانی با نتایج تحلیل استاتیکی غیر خطی بر اساس مد اول ندارد و حتی روش جذر مجموع مربعات اصلاح شده در طبقات بالا تر نتایج ضعیفتری به دست می دهد. در قاب خمشی پانزده طبقه دارای سه طبقه تحتانی با جرهای زیاد روش جذر مجموع مربعات اصلاح شده در طبقات پایین و روش جذر مجموع مربعات در طبقات بالا به نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی غیر خطی نزدیکتر است.

۸- نتیجه گیری

اهم نتایج این تحقیق عبارتند از:



شکل (۲۵): تغییر مکان جانبی نسبی بین طبقات (قاب مهاربندی شده پانزده طبقه سه دهانه)

۷-۴-۷- بررسی نتایج

در قابهای چهار، پنج و هشت طبقه نتایج حاصل از روش جذر مجموع مربعات اصلاح شده نسبت به سایر روشها به نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی غیر خطی نزدیکتر است؛ فقط در مورد تغییر مکان نسبی بین طبقات و چرخش مفصل خمیری

استاتیکی برای سیستم‌های مختلف سازه‌ای"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده عمران، ۱۳۷۸.

2. Fajfar, P. and Gaspersic, P., 1996, The N2 Method for the Seismic Damage Analysis of R/C Buildings, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 25. pp. 31 - 46.

3. Fajfar, P., 1999, Approximate Methods for Nonlinear Seismic Analysis of Building Structures. 3rd International Conf. on Seismology and Earthquake Engineering, Tehran, pp. 507 - 521.

4. FEMA - 274, 1996, NEHRP, Commentary on the Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings Ballot Version, Federal Emergency Management Agency, Report No. FEMA - 274, Sep.

5. Prakash, V., Powell, G.H., and Filippou, F.C., 1992, Drain - 2DX : Base Program User Guide, Report No. UBC/SEMM - 92/29, University of California.

۶- جامی، م.، "به دست آوردن طیف طراحی بر اساس شتابنگاشت‌های استان خراسان به روش نیومارک - هال"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، مؤسسه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ۱۳۷۶.

7. National Geophysical Data Center, 1996, Earthquake Strong Motion CD - Rom United States Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Environmental Satellite Data and Information Services U.S.A. ◀

تاریخ دریافت مقاله: ۸۲/۵/۱۲

-در سازه‌هایی که اثر مدهای بالاتر در رفتار آنها مهم است، روش جذر مجموع مربعات نتایج بهتری دارد؛ زیرا، در ترازهایی که نتایج حاصل از این روش از نتایج تحلیل دینامیکی غیرخطی فاصله می‌گیرد، این فاصله در جهت اطمینان می‌باشد.

- روش جذر مجموع مربعات اصلاح شده در جهت عدم اطمینان از نتایج روش دینامیکی غیرخطی فاصله می‌گیرد و برای سازه‌هایی که اثر مدهای بالاتر نوسان در رفتار سازه اهمیت زیادی ندارند، تحلیل استاتیکی غیرخطی بر اساس مد اول نوسان کفایت می‌کند. هر چند که در طبقات بالاتر از نتایج تحلیل دینامیکی غیرخطی فاصله می‌گیرد، ولی روش‌های دیگر هم نتایج بهتری را ارائه نمی‌دهند.

- در قاب‌های مهاربندی شده نسبت شکل‌پذیری اعضای مهاربندی در مقایسه با تحلیل دینامیکی غیرخطی تخمین دست‌پایینی را می‌دهد. این موضوع به علت اعمال بار یک‌جهته در تحلیل استاتیکی است که باعث تسلیم کششی یک عضو از دو عضو مهاربندی در یک دهانه می‌شود؛ در حالی که در تحلیل دینامیکی غیرخطی هر دو عضو مهاربندی در یک دهانه دچار تسلیم کششی می‌شوند و نیاز به اصلاح روش بارگذاری و یا اعمال ضرایبی جهت نزدیک‌تر شدن نتایج حاصل از تحلیل غیرخطی استاتیکی و دینامیکی به هم احساس می‌شود.

۹- مراجع

۱- شایان؛ علی‌رضا. "مقایسه نتایج حاصل از تحلیل غیرخطی دینامیکی تاریخچه زمانی و تحلیل غیرخطی