



ارائه الگوی بارگذاری براساس تحلیل استاتیکی غیرخطی به منظور بررسی و ارزیابی روند طراحی در ساختمان‌های فولادی دارای مهاربند شورون

زهرا رحیمی^۱، محمود حسینی^۲

۱- کارشناسی ارشد مهندسی سازه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، za.rahimii@gmail.com

۲- عضو هیأت علمی، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله

چکیده

در این تحقیق، بر روی قاب دارای مهاربند شورون با ۴ و ۷ طبقه و با سه دهنه‌ی ۵ متری ابتدا تحلیل استاتیکی خطی انجام شده و پس از تحلیل و طراحی مقاطع و انتخاب مقاطع تا حد امکان بهینه به انجام تحلیل تاریخچه زمانی پرداخته و برای این منظور از ۷ رکورد استفاده شده است. بعد از انجام تحلیل‌ها و یافتن الگوی بار نیرویی ناشی از ۷ رکورد به انجام تحلیل استاتیکی غیرخطی پرداخته و مقاطع مناسب برای این قاب بر اساس تحلیل استاتیکی غیرخطی به دست می‌آید. بعد از یافتن مقاطع مناسب مجدداً به انجام تحلیل تاریخچه زمانی با همان رکوردها پرداخته و در صورتی که مقطعی در آن ضعیف بود اصلاح شده و مقطع مناسب جایگزین می‌شود. سپس مجدداً تحلیل استاتیکی غیرخطی انجام می‌شود و این روند به صورت سعی و خطا ادامه می‌یابد تا مقاطع مناسب انتخاب شود. در انتها مقاطع بهینه و الگوی طراحی آمده است. در ضمن مقایسه‌ای میان الگوی بار ارائه شده و استاندارد ۲۸۰۰ انجام شده است.

کلمات کلیدی: تحلیل غیرخطی، تغییر مکان هدف، الگوی بارگذاری، بهسازی لرزه‌ای.

تاریخچه

اصول روش تحلیل استاتیکی فزاینده غیرخطی مودی در سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۰۲ توسط چوپرا و گوئل (Chopra & Goel) [۱] ارائه شده است. در این روش با مفهوم سازه یک‌درجه آزاد معادل در هر مود و با اعمال شتاب‌نگاشت زلزله دلخواه، تغییر مکان سازه یک درجه آزاد معادل بدست می‌آید که از روی آن تغییر مکان سازه اصلی در مود مورد نظر محاسبه می‌شود.

گوپتا و کونات [۲] در سال ۲۰۰۲ روشی به نام پوش اور بهنگام شونده ارائه دادند که براساس آن (FAP) روش مبتنی بر نیرو که در آن نیروهای اعمال شونده به طور مداوم متناسب با خصوصیات دینامیکی تغییر می‌کند. در این روش از طیف ویژه ساختگاه استفاده شده است و الگوی بار متناسب با سختی جدید سازه تعیین می‌شود. روش دوم با نام^۱ DAP مبتنی بر جابجایی می‌باشد که در آن از یک الگوی بار بر مبنای جابجایی استفاده شده است.

در سال ۲۰۰۴ چوپرا و گوئل [۳] در تحقیقی اعلام نمودند برای کاستن از حجم انبوه محاسبات، سهم پاسخ مودهای بالاتر با فرض رفتار الاستیک خطی محاسبه می‌شود و آن را روش بار افزون مودی تعدیل شده یا MMPA^۲ نامیدند.

آنتونیو و پینهو (Antoniou & Pinho) [۴] سال ۲۰۰۴ در راستای طراحی بر مبنای جابجایی از یک الگوریتم جدید استفاده کردند که مشکلات و نواقص روش متداول را برطرف سازد.

در سال ۲۰۰۸ Azimi و همکارانش [۵] روشی جدید برای دوخطی سازی منحنی پوش اور ارائه دادند که در عین سادگی بسیاری از نواقص و خطاهای موجود در روش موسوم به ATC40 را کاهش می‌داد.

۱- مقدمه

روش تحلیل استاتیکی غیرخطی فزاینده در جامعه مهندسی از اقبال بالایی برخوردار است ولی همچنان در ارزیابی لرزه‌ای سازه‌ها از دقت مناسبی برخوردار نیست. بررسی و ارزیابی دقت الگوهای بارگذاری موجود در دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای و بکارگیری آن در تحلیل بار افزون دو جهته و همچنین پیشنهاد الگوی بارگذاری جدید می‌تواند در کاهش نقاط ضعف آنالیز استاتیکی فزاینده غیرخطی و بهبود دقت نتایج راهگشا بوده و خطای روش آنالیز استاتیکی غیرخطی را نسبت به روش‌های دقیق کاهش می‌دهد.

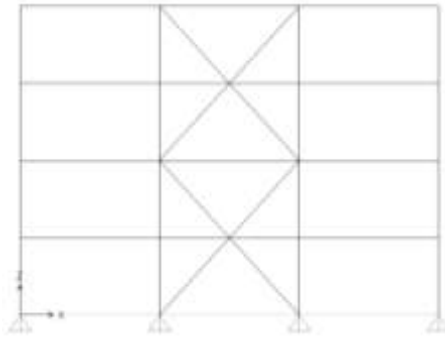
در تحقیق حاضر ۳ قاب مهاربندی ۴ و ۷ طبقه با دهنه به طول ۵ متر و به ارتفاع ۳ متر در نظر گرفته شده است. پس از تحلیل و طراحی سازه طبق آیین نامه ایران و انتخاب مقاطع بهینه، بر روی سازه تحلیل تاریخچه زمانی انجام می‌شود که برای این منظور از ۷ شتاب‌نگاشت استفاده شده است. پس از تحلیل سازه نیروهای وارده بر هر طبقه را یافته و آن مانند الگوی بار به سازه اعمال می‌شود. با استفاده از این الگو، تحلیل استاتیکی غیرخطی دو جهته انجام می‌شود و سازه تا تغییر مکان هدف هل داده می‌شود. سپس به بررسی مفاصل به دست آمده در تحلیل استاتیکی غیرخطی پرداخته و در صورتی مفاصل به دست آمده در این روش مطابقت خوبی با بحرانی‌ترین شرایط ایجاد شده در تحلیل تاریخچه زمانی را داشت این الگوی نیرویی به عنوان الگوی بار ارائه می‌شود و در غیر این صورت با تغییراتی در الگوی بار موجود، الگوی بار مناسب ایجاد می‌شود. پس از بدست آوردن الگوی بار مناسب برای تحلیل استاتیکی غیرخطی، به طراحی سازه با این الگو پرداخته و مقاطع مناسب و بهینه برای این سازه به دست آمده و پس از آن مجدد تحلیل تاریخچه زمانی انجام می‌شود و مراحل قبل را تکرار می‌شود و به اصلاح الگوی بار پرداخته تا در نهایت به الگوی بار نهایی برسد. در نهایت مقاطع بدست آمده و الگوی بار ارائه می‌شود و نسبت وزن کاهش یافته در طراحی طبق استاندارد ۲۸۰۰ و الگوی جدید مقایسه شده است.

^۱-Displacement analysis pushover

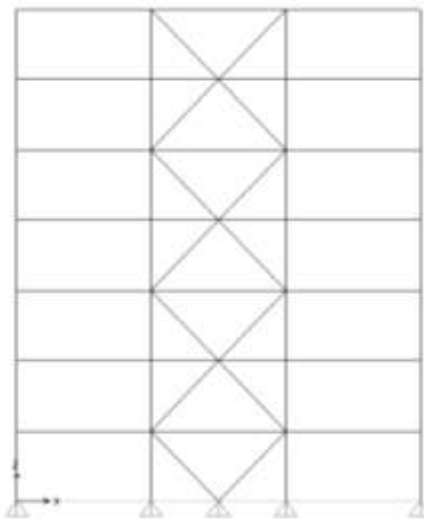
^۲-Modified Modal Pushover Analysis

۲- فرضیات مدل سازی

در این تحقیق برای ستونها و مهاربندها از مقاطع **BOX** و در تیرها از مقاطع **IPE** استفاده شده است. برای تحلیل غیرخطی مدلها از نرم افزار **SAP2000** استفاده شده است. اتصالات تیر و ستونها و تکیه گاه ها صلب هستند و اتصال مهاربندها مفصلی می باشد. جرم و وزن موثر لرزه ای به صورت متمرکز و بر اساس سطح بارگیر روی گره ها اعمال شده اند.



شکل ۱- سازه ۴ طبقه



شکل ۲- سازه ۷ طبقه

۳- زلزله های مورد استفاده

جدول شماره ۱

NORTHR/LOS270	PGA(max)(g): 0.401
Lake Hughes	PGA(max)(g): 0.366
Whitter1987	PGA(max)(g): 0.3
Morgan Hill 1984	PGA(max)(g): .292
Rio Dell Overpass	PGA(max)(g): 0.549
Cerro Prieto	PGA(max)(g): 0.621
Loma Prieta 1989	PGA(max)(g): 0.244

۴- روش کار

ابتدا تحلیل دینامیکی غیرخطی براساس زلزله‌های ذکر شده انجام شده و سپس با توجه به برشهای به‌دست آمده یک الگوی بار ایجاد و این الگو به سازه اعمال می‌شود و سپس آنالیز پوش‌اور تا تغییر مکان هدف به دست آمده از تحلیل تاریخچه زمانی ادامه می‌یابد و این روند سعی و خطا تا به دست آمدن الگوی مناسب ادامه می‌یابد و بعد از یافتن الگوی مناسب بر روی سازه طراحی انجام می‌شود تا مقاطع مناسب و بهینه تعیین شود.

روش کار به صورت گام به گام به شرح زیر است:

گام اول- ساخت مدل سازه‌ای که در آن روابط غیرخطی لحاظ گردیده است.

گام دوم - تهیه طیف الاستیک (زلزله‌های مورد نظر) جهت تعیین شتابهای طیفی مودال

گام سوم-انجام تحلیل مودال (تحلیل مقادیر ویژه سازه) با توجه به سختی موجود و محاسبه فرکانس ارتعاش طبیعی سازه و اشکال مودی

سازه

$$\Phi_n = \{\Phi_{x_n} \Phi_{y_n} \Phi_{z_n}\}^T \quad (1)$$

$$\Phi_{x_n} = \{\Phi_{x_{1n}} \Phi_{x_{2n}} \dots \Phi_{x_{nn}}\}^T \quad (2)$$

$$\Phi_{y_n} = \{\Phi_{y_{1n}} \Phi_{y_{2n}} \dots \Phi_{y_{nn}}\}^T \quad (3)$$

$$\Phi_{\theta_n} = \{\Phi_{\theta_{1n}} \Phi_{\theta_{2n}} \dots \Phi_{\theta_{nn}}\}^T \quad (4)$$

گام چهارم - محاسبه برش طبقات برای هر یک از N مورد تحلیل تاریخچه

گام پنجم- محاسبه نیرو و استخراج الگوی بار جانبی

$$F_{xi} = V_{xi} - V_{x(i-1)} \quad (5)$$

$$F_{yi} = V_{yi} - V_{y(i-1)} \quad (6)$$

گام ششم- نرمال کردن الگوی بار افزایشی محاسبه شده در گام پنجم نسبت به مجموع مولفه‌هایش با استفاده از رابطه (۷) و (۸)

$$F_{Xi} = \frac{F_{xi}}{F_{ximax}} \quad (7)$$

$$F_{yi} = \frac{F_{yi}}{F_{yimax}} \quad (8)$$

گام هفتم- اعمال نیروهای مقیاس شده در طبقات و انجام تحلیل استاتیکی و هل دادن و کشیدن همزمان سازه .

گام هشتم-انجام تحلیل استاتیکی تا رسیدن سازه به تغییر مکان محاسبه شده از ماکزیمم تغییر مکان تحلیل تاریخچه زمانی.

گام نهم-مطابقت شکل مفاصل حاصل از تحلیل استاتیکی غیرخطی با مفاصل حاصل از تحلیل تاریخچه زمانی.

گام دهم-ادامه این روند تا رسیدن به الگوی بار مناسب و تشکیل مفاصل منطبق با تاریخچه زمانی.

گام یازدهم-ارائه الگوی بار نهایی

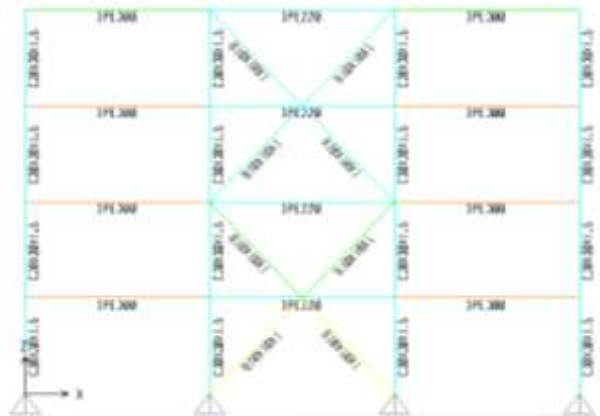
گام دوازدهم-طراحی سازه

گام سیزدهم- انجام دوباره گام ۴ تا ۱۰ تا رسیدن با الگوی بار نهایی

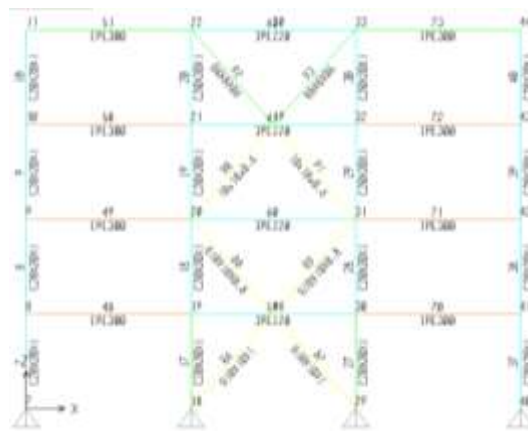
گام چهاردهم: ارائه الگوی بار نهایی

۵- طراحی مقاطع سازه مدل شده طبق الگوی بار جدید

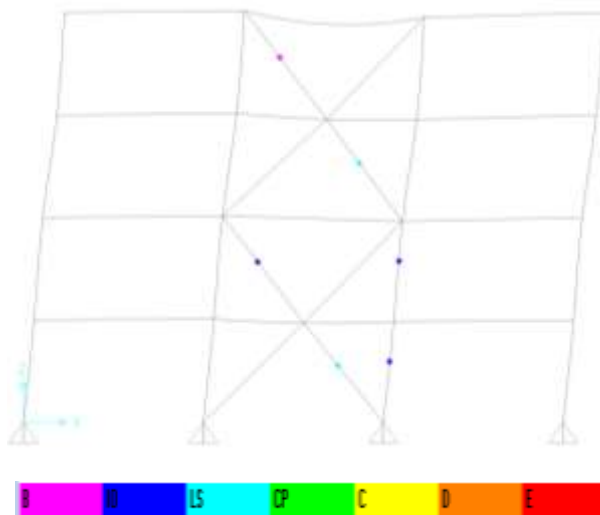
بعد از یافتن الگوی بار نهایی به طراحی سازه با این الگوی بار معرفی شده پرداخته و مقاطع بهینه به دست می‌آید و سپس نحوه تشکیل مفاصل آورده شده است. پس از انجام تحلیل و ایجاد مفاصل به بررسی هر عضو پرداخته و چنانچه هر عضوی چه از لحاظ تغییرشکل یا دوران، بیش از حد در محدوده غیرخطی وارد شده است و سطح عملکرد مورد نظر سازه را رد کرده باشد و چه نیروی آن، حد نهایی نیرو را رد کرده باشد احتیاج به تقویت دارد. طراحی بر اساس سعی و خطا می‌باشد و روند تا به دست آمدن مقاطع بهینه ادامه می‌یابد.



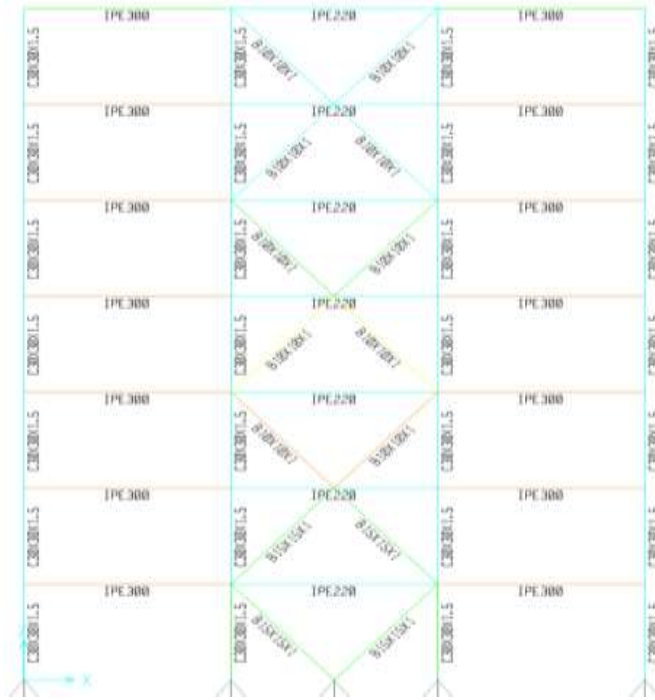
شکل(۳)- مقاطع سازه ۴ طبقه قبل از طراحی



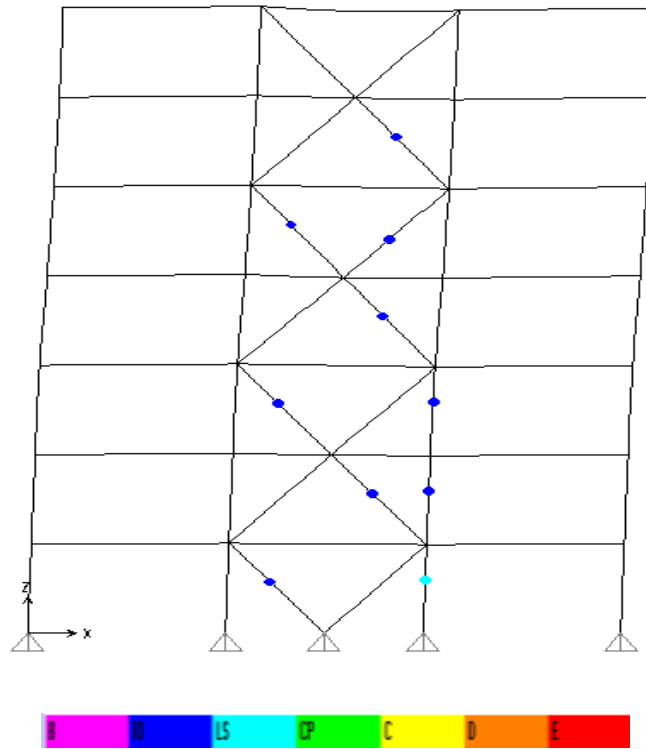
شکل(۴)- مقاطع سازه ۴ طبقه بعد از طراحی



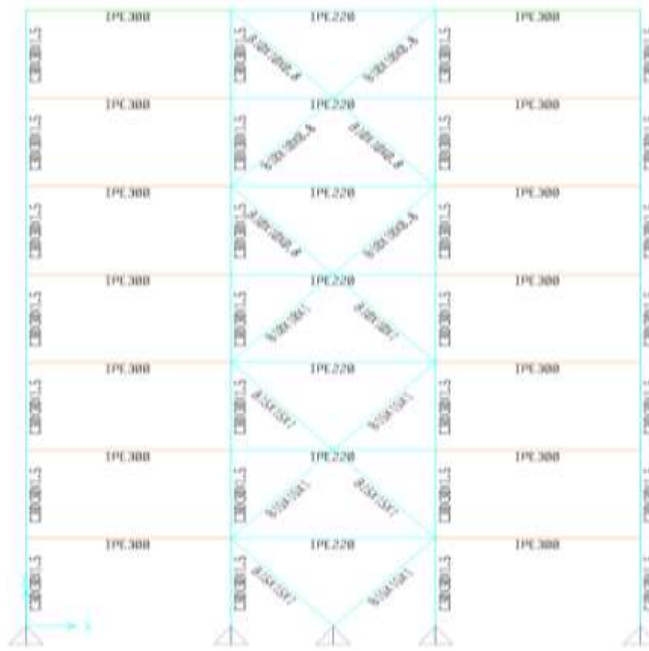
شکل(۵)- مفاصل سازه ۴ طبقه بعد از طراحی



شکل (۶) - مقاطع سازه ۷ طبقه قبل از طراحی

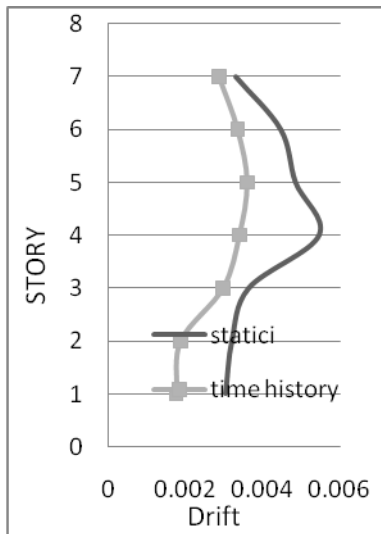


شکل (۷) - مفاصل سازه ۷ طبقه بعد از طراحی

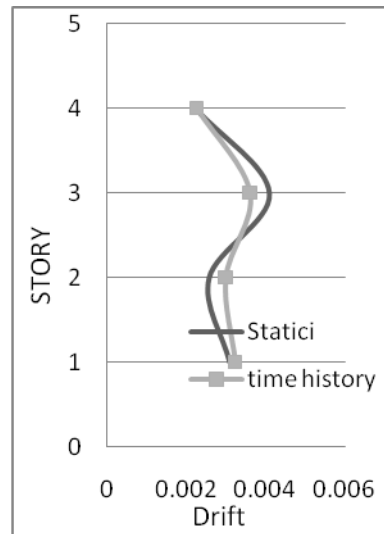


شکل (۸) - مقاطع سازه ۷ طبقه بعد از طراحی

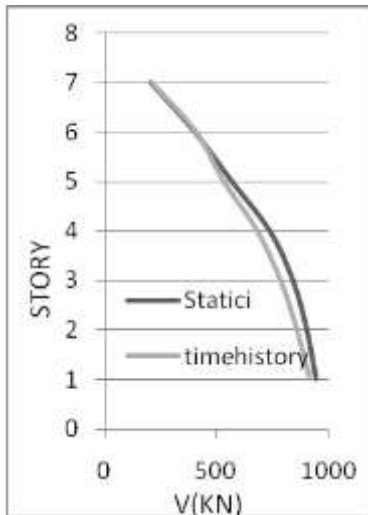
۶- مقایسه پروفیل دریفت و برش در الگوی ارائه شده و تحلیل تاریخچه زمانی



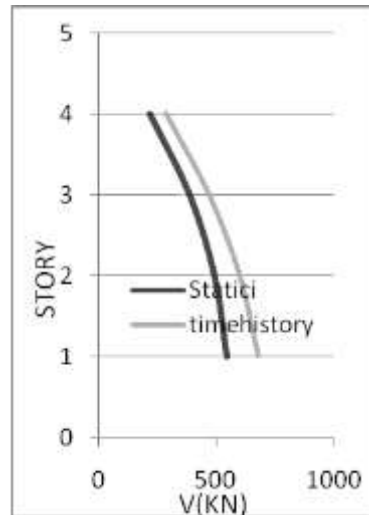
پروفیل دریفت ۴ طبقه در LOMA



پروفیل دریفت ۴ طبقه در NORTHRIDGE

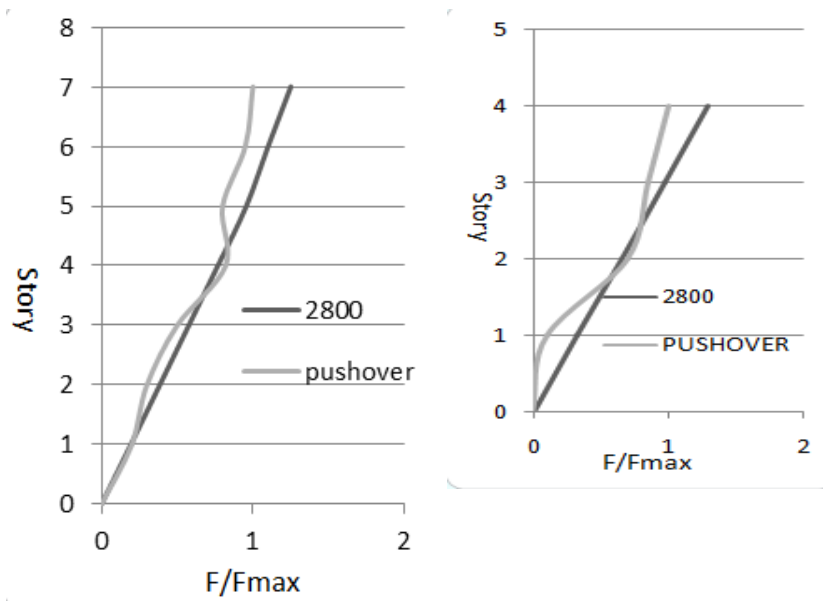


برش قاب ۷ طبقه

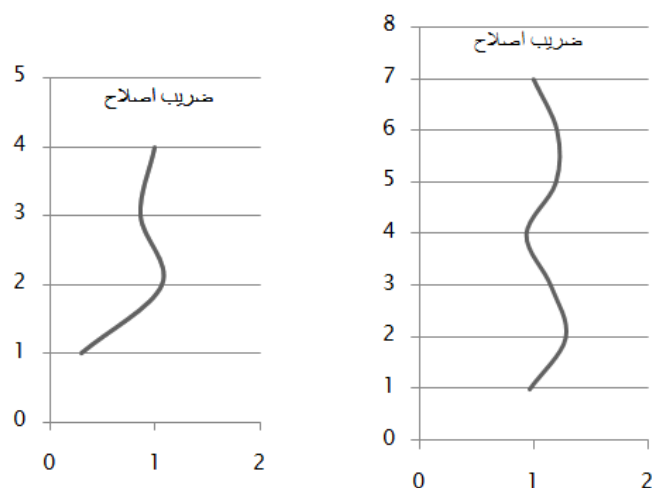


برش قاب ۴ طبقه

شکل (۹) - مقایسه الگوی بار جانبی ایین نامه ۲۸۰۰ و الگوی بار ارائه شده

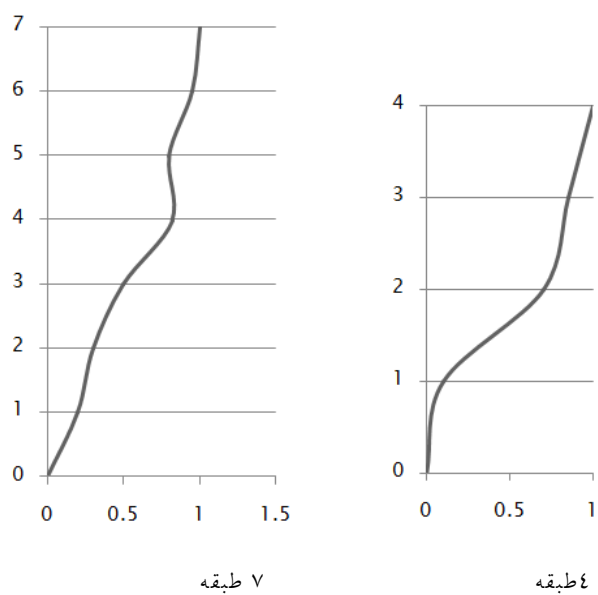


شکل (۱۰) - مقایسه الگوی بار جانبی ایین نامه ۲۸۰۰ و الگوی بار ارائه شده



شکل (۱۱) - ضرب اصلاح الگوی بار جانبی استاندارد ۲۸۰۰

سپس مقایسه میان الگوی بار جانبی به دست آمده از استاندارد ۲۸۰۰ و الگوی بار ارائه شده انجام شده و نتایج و مقایسه ضرایب اصلاح قاب ها نشان می دهد که در قاب ۷ و ۴ طبقه این ضریب حول و حوش یک می باشد.



شکل (۱۲) - الگوی بار ارائه شده در سازه ۴ و ۷ طبقه

۷- نتیجه گیری

۱. الگوی بار معرفی شده بر اساس نتایج نیرویی به دست آمده از تحلیل تاریخچه زمانی و شکل مفاصل ایجاد شده در تحلیل تاریخچه زمانی می باشد.
۲. الگوی بار پیشنهادی که بر اساس برش طبقات به دست آمده از دقت مناسبی در نحوه تشکیل مفاصل در مقایسه با نتایج به دست آمده از تحلیل های تاریخچه زمانی دارد.
۳. الگوی بار پیشنهادی در سازه ها تا حد بسیار زیادی از لحاظ تنش ایجاد شده در ستونها منطبق بر حداکثر تنش ایجاد شده در تحلیل تاریخچه زمانی می باشد.
۴. الگوی بارگذاری در نحوه تشکیل مفاصل با نتایج تحلیل دینامیکی غیرخطی تفاوت دارد اما خطای کلی الگوی بارگذاری در رنج قابل قبولی بود.
۵. در قاب چهار طبقه فقط ستون طبقه دوم نتوانست با مفاصل تحلیل تاریخچه زمانی منطبق شود.
۶. در الگوی بار ارائه شده مفاصل بادبندها و ستونها در قاب هفت طبقه با اینکه کاملاً منطبق بر مفاصل تحلیل تاریخچه زمانی نبودند اما به طور کامل مفاصل تاریخچه زمانی را پوشش داد.

مراجع

- 7-Chopra A & Goel, R. k.,(2001),” A Modal pushover analysis procedure to estimate Seismic Demands for Building”. theory and preliminary evaluation. University of California, Berkeley ,CA,2003.
- 8-Gupta & kunath S, K,(2001),”Adaptive modal combination producer for nonlinear static analysis”
- 9-Goel, R. K & Chopra, Anil K, (2003),”Role of Higher-Mode Pushover Analysis in Seismic Analysis of Building”.
- 10-Pinho, R, S. Antoniou and D Pietra, (2004),” Advantage and limitation of adaptive and non -adaptive force based pushover procedure”. Journal of earthquake engineering, Vol.8, No.4, pp.497.522
- 11-Azimi, H, Gaalal, KH.” A Modal Pushover Analysis Procedure to Estimate Seismic Demand for Building” Pacific Earthquake Engineering Research Center