



کد مقاله: ۲-۱۳۴

ارزیابی روش‌های مختلف بهنگام کردن الگوی بار بر دقت نتایج آنالیز پوش اور بهنگام شونده در سازه‌های بلند مرتبه با توزیع نامتقارن مقاومت در ارتفاع

آرین خانه دانی^۱، آرمین عظیمی نژاد^۲، عبدالرضا سروقدمقدم^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد زلزله، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، ariankhanedani@gmail.com

۲- عضو هیأت علمی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران

۳- عضو هیأت علمی، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله

چکیده

با توجه به اینکه روش‌های دقیقی مانند آنالیز دینامیکی غیر خطی تاریخچه زمانی برای تحلیل لرزه‌ای سازه‌ها وجود دارد، اما انجام این تحلیل زمان بر بوده و نیاز به داشتن تخصص و تجربه کافی در انتخاب رکوردهای زمین لرزه اعمالی به سازه و تفسیر نتایج دارد. از این روی روش استاتیکی غیر خطی (پوش اور) همواره جایگزین مناسبی در تحلیل لرزه‌ای سازه‌ها می‌باشد. مشکل عمده روش‌های استاتیکی غیرخطی متداول در دستورالعمل‌ها و آیین‌نامه‌های جاری این است که الگوی بار جانبی در این روش‌ها در طول تحلیل ثابت بوده و قادر به لحاظ کردن تغییرات ایجاد شده در مشخصات مودال سازه نمی‌باشند. در راستای رفع این مشکل تعدادی از محققین در سال‌های اخیر به معرفی روش پوش اور بهنگام-شونده (Adaptive)، پرداخته‌اند که الگوی بار جانبی در آنها بر اساس ماتریس سختی لحظه‌ای تغییر می‌یابد. در این مقاله به ارزیابی روش‌های مختلف بهنگام کردن الگوی بار بر دقت نتایج تحلیل پوش اور بهنگام شونده در ارزیابی پارامترهای جابجایی و جابجایی نسبی طبقات از طریق مقایسه با نتایج دقیق به دست آمده از تحلیل‌های دینامیکی غیر خطی تاریخچه زمانی پرداخته شده است. تمامی تحلیل‌ها با استفاده از نرم افزار SAP2000 بر روی یک سری قاب‌های خمشی ۲۰ طبقه دارای توزیع نامتقارن مقاومت در ارتفاع انجام شده است. نتایج حاصل از این مطالعه بیانگر آن است که روش پوش اور با الگوی بار بهنگام شونده بر اساس برش طبقات، بیشترین دقت را در میان سایر روش‌های پوش اور با الگوی بار بهنگام شونده در تخمین پارامترهای جابجایی و جابجایی نسبی طبقات به خود اختصاص داده است.

کلمات کلیدی: پوش اور بهنگام شونده، نامنظمی در ارتفاع، طبقه ضعیف، تحلیل دینامیکی غیرخطی، قاب خمشی فولادی

۱- مقدمه

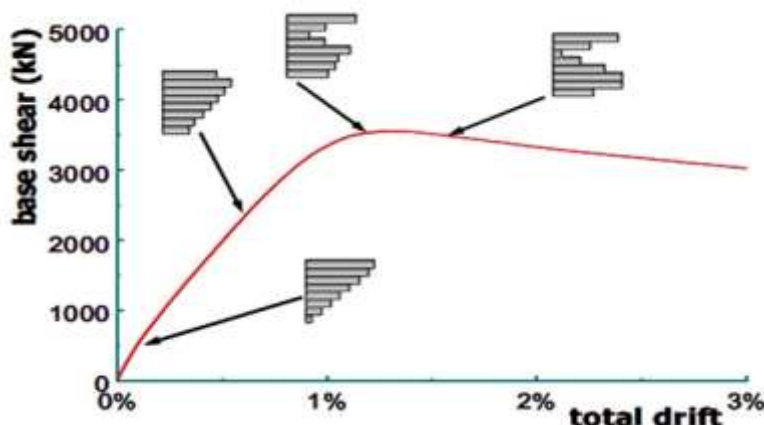
در یک تقسیم بندی کلی میتوان نامنظمی سازه‌ها را به دو دسته‌ی نامنظمی در پلان و نامنظمی در ارتفاع تفکیک نمود. نامنظمی در پلان ناشی از عدم انطباق مراکز جرم و سختی ایجاد می‌شود. در حالی که نامنظمی در ارتفاع به دلیل تغییر در مشخصات دینامیکی سازه در راستای قائم ایجاد می‌شود. این امر موجب می‌شود که جرم، سختی و مقاومت در طبقات مختلف سازه به طور قابل ملاحظه‌ای با یکدیگر اختلاف داشته باشند. از

عوامل ایجاد این نوع نامنظمی میتوان به کاربری متفاوت طبقات مختلف، تغییرات در نوع سیستم باربر جانبی سازه، تغییر ابعاد پلان سازه در طبقات مختلف اشاره نمود. لذا با توجه به اینکه نامنظمی در ارتفاع ممکن است به دلایل فوق به طراحان سازه تحمیل شود، آشنایی بیشتر مهندسین از عملکرد لرزه‌ای این نوع از سازه‌ها و روش‌های مناسب در تحلیل و طراحی سازه‌های نامنظم در ارتفاع ضروری به نظر می‌رسد. در این تحقیق از سازه‌های بلند مرتبه با توزیع‌های نامنظم مقاومت در ارتفاع مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته‌اند.

روشهای طراحی در اکثر آئین‌نامه‌های فعلی براساس معیار مقاومت می‌باشد و این در حالی است که تحقیقات و رفتار ساختمان‌ها در زلزله‌های اخیر نشان می‌دهد که مقاومت را به تنهایی نمی‌توان معیار مناسبی جهت طراحی در نظر گرفت و افزایش مقاومت لزوماً به معنای افزایش ایمنی نیست. بنابراین در آئین‌نامه‌های جدید معیار رفتار جایگزین معیار مقاومت برای طراحی سازه شده است. استفاده از معیار رفتار به این مفهوم است که در یک ساختمان علاوه بر مقاومت، نحوه توزیع مقاومت و تغییر شکل در اجزای سازه‌ای نیز مهم می‌باشد. این شیوه طراحی براساس رفتار سازه، طراحی براساس عملکرد نیز نامیده می‌شوند. برای گسترش عملی روش‌های طراحی بر اساس عملکرد نیاز به روش‌های آنالیز لرزه‌ای قابل اعتماد که بتواند ضمن سادگی، از دقت بالایی نیز برخوردار باشد به وضوح احساس می‌گردد.

۲- روش‌های پوش‌اور با الگوی بار بهنگام شونده

از جمله روشهای تحلیل سازه، تحلیل استاتیکی غیرخطی (پوش‌اور) است که با توجه به توسعه طراحی سازه بر اساس عملکرد پیشرفت-های قابل توجهی داشته است. مشکل عمده روش‌های پوش‌اور متداول در دستورالعمل‌ها و آیین‌نامه‌های جاری این است که محدود به یک شکل مود فرضی ثابت بوده و قادر به لحاظ کردن اثرات مودهای بالاتر و تغییرات ایجاد شده در مشخصات مودال سازه در طول تحلیل دینامیکی غیر خطی نیستند، لذا در راستای رفع این مشکلات در سال‌های اخیر روش‌های پوش‌اور متعددی با استفاده از الگوهای بار بهنگام شونده توسعه یافته-اند [۱]. دسته‌ای از روشهای پوش‌اور که در طول آنالیز الگوی بار جانبی در آنها بر اساس ماتریس سختی لحظهای تغییر می‌یابد، روشهای پوش‌اور بهنگام شونده (Adaptive pushover) نامیده می‌شوند. در این روشها در هر مرحله بارگذاری، شکل الگوی بار وارده متناسب با مشخصات مودال سازه تغییر کرده و بهنگام می‌شود. به طور مثال بهنگام شدن الگوی بار در مراحل مختلف یک تحلیل پوش‌اور در شکل (۱) نشان داده شده است. روش‌های پوش‌اور استفاده شده در این تحقیق به دو دسته‌ی با الگوی بار ثابت و با الگوی بار بهنگام شونده تقسیم می‌شوند. در دسته اول از الگوهای بار جانبی متناسب با شکل مود اول (Mode 1)، مستطیلی (Rectangular) و مثلثی وارون (Inverted Triangular) استفاده شده است. در دسته دوم، روشهای پوش‌اور با الگوی بار بهنگام شونده بر پایه بر پایه نیرو، جابجایی نسبی طبقات، شکل مود اول سازه، و نیز روش پوش-اور با الگوی بار بهنگام شونده بر اساس برش طبقات مورد استفاده قرار گرفته است. در ادامه به نحوه محاسبه الگوی بار در روش‌های بهنگام-شونده پرداخته شده است.



شکل (۱): شکل بردار بار در هر مرحله بارگذاری بهنگام می‌شود [۲]

۲-۱- روش پوش اور با الگوی بار بهنگام‌شونده بر پایه نیرو (FAP)

برای تعیین شکل بردار بار در هر مرحله از تحلیل، از بردار مودال نرمال شده \bar{F} که در ابتدای هر مرحله از بارگذاری محاسبه می‌شود، استفاده می‌گردد.

نیروی جانبی حاصل از مود ارتعاشی زام در طبقه i ام طبق رابطه (۱) تعریف شده و برای ترکیب نیروهای مودال در این تحقیق از روش SRSS

(رابطه ۲) استفاده شده است. به علت آنکه مقادیر نسبی بین نیروهای طبقات، جهت تعیین شکل بردار بار مورد توجه هستند بنابراین بردار نرمال

شده مودال \bar{F} در هر مرحله بارگذاری از رابطه (۳) حاصل می‌شود. [۳]

$$F_{ij} = \Gamma_j \phi_{ij} M_i S_a(j) \quad (1)$$

$$F_i = \sqrt{\sum_{j=1}^n F_{ij}^2} \quad (2)$$

$$\bar{F}_i = \frac{F_i}{\sum F_i} \quad (3)$$

در رابطه (۱)، i شماره طبقه، j شماره مود، Γ_j ضریب مشارکت مود زام، $S_a(j)$ شتاب طیفی در مود زام، ϕ_{ij} مولفه بردار شکل مود زام در طبقه i ام و M_i جرم طبقه i ام می‌باشد.

در آخر نیز الگوی بار محاسبه شده در هر گام با الگوی بار مرحله قبل جمع شده و الگوی بار جدید بدست آمده بر سازه اعمال می‌شود.

۲-۲- روش پوش اور با الگوی بار بهنگام شونده بر پایه جابجایی نسبی طبقات (DRAP)

در این روش جهت تعیین الگوی بار جانبی در هر مرحله از تحلیل، از بردار مودال مقیاس شده \bar{D} استفاده می‌شود. بدین منظور قبل از هر مرحله بارگذاری براساس مشخصات سختی موجود در سازه تحلیل مقادیر ویژه صورت گرفته و براساس اشکال مودی و ضرایب مشارکت مودها و نیز تغییر مکان طیفی، بارهای مودال محاسبه می‌شوند. برای بهنگام کردن الگوی بار در این روش از جابجایی نسبی طبقات استفاده می‌شود. بدین منظور ماکزیمم جابجایی نسبی بین طبقات در هر مود به‌طور مستقیم محاسبه شده و بوسیله روش جذر مجموع مربعات (SRSS) با هم ترکیب می‌شوند جابجایی هر طبقه نیز از مجموع جابجایی نسبی آن طبقه و طبقات پایین‌تر حاصل خواهد شد [۴]. (رابطه ۴ و ۵)

$$\Delta_i = \sqrt{\sum_{j=1}^N \Delta_{ij}^2} = \sqrt{\sum_{j=1}^N [\Gamma_j (\phi_{ij} - \phi_{i-1,j}) S_d(j)]^2} \quad (4)$$

$$D_i = \sum_{k=1}^i \Delta_k \quad (5)$$

در رابطه (۴ و ۵)، i شماره طبقه، j شماره مود، Γ_j ضریب مشارکت مود j ام، ϕ_{ij} مولفه بردار شکل مود j ام در طبقه i ام، $S_d(j)$ جابجایی طیفی در مود j ام، Δ_i جابجایی نسبی طبقه i ام و D_i جابجایی نسبی طبقه i ام می‌باشد. با توجه به اینکه هدف تعیین شکل بردار بار می‌باشد و نه مقدار آن، بنابراین بردار D_i با استفاده از رابطه (۶) به صورت بردار مقیاس شده نرمال \bar{D}_i تبدیل می‌شود.

$$\bar{D}_i = \frac{D_i}{\max D_i} \quad (6)$$

۲-۳- روش پوش اور با الگوی بار بهنگام شونده بر اساس شکل مود اول سازه (A-M1)

الگوی بار جانبی در این روش متناسب با شکل مود اول سازه می‌باشد که در هر گام بهنگام می‌شود. این روش نرم شدگی منحنی ظرفیت را که در اثر کاهش سختی سازه رخ می‌دهد، در نظر می‌گیرد. این عامل باعث تغییر شکل مودها می‌شود [۵].

۲-۴- روش پوش اور با الگوی بار بهنگام شونده بر اساس برش طبقات (SAP)

در این روش به منظور تعیین شکل توزیع بار جانبی در هر گام، از بردار \bar{f}_i استفاده می‌شود. در ابتدا طبق رابطه (۷) با استفاده از جرم طبقات، اشکال مودی و شتاب طیفی، نیروی مودال در هر طبقه بدست می‌آید.

$$F_{ij} = M_i \phi_{ij} S_d(j) \quad (7)$$

سپس این نیروها در هر مود با یکدیگر جمع شده تا برش مودال طبقات حاصل شود (رابطه ۸).

$$V_{ij} = \sum_{k=i}^{k=n} F_{kj} \quad (8)$$

نیروهای برشی مودال هر طبقه توسط روش ترکیب مودال SRSS با یکدیگر ترکیب شده تا یک پروفیل برش برای سازه بدست آید (رابطه ۹).

$$V_i = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij})^2} \quad (9)$$

پس از آن نیروی وارده به هر طبقه از قدر مطلق تفاضل نیروی برشی آن طبقه با برش طبقه بالایی حاصل می شود (رابطه ۱۰).

$$f_i = |V_i - V_{i+1}| \quad (10)$$

درانتها نیز بردار نیروی f_i توسط رابطه (۱۱) به بردار نیروی نرمال شده \bar{f}_i تبدیل می شود. [۶]

$$\bar{f}_i = \frac{f_i}{\sum_{i=1}^n f_i} \quad (11)$$

۳- معرفی مشخصات زمین لرزه‌ها

در این پژوهش، از رکوردهای یازده زمین لرزه معرفی شده در فیما ۴۴۰ برای انجام تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی، استفاده شده است. مشخصات این زمین لرزه‌ها در جدول (۱) نشان داده شده است. هم‌پایه کردن شتابنگاشت‌ها نیز با استفاده از ضوابط آئین‌نامه ASCE7-10 صورت پذیرفته است [۷].

جدول ۱: مشخصات یازده رکورد انتخابی [۵]

#	Identifier	Earthquake	Date	Magnitude	Station Location (Number)	Component	PGA (g)	PGV (cm/sec)
1	ICC000	Superstittn	11-24-87	Ms=6.6	El Centro Imp. Co.Cent(01335)	000	0.358	46.4
2	LOS000	Northridge	1-17-94	Ms=6.7	Canyon Country-W Lost Cany(90057)	000	0.41	43
3	G02090	Loma Prieta	10-18-89	Ms=7.1	Gilroy Array #2 (47380)	090	0.322	39.1
4	TCU122N	Chi-Chi,Taiwan	9-20-99	Ms=7.6	(TCU122)	N	0.261	34
5	G03090	Loma Prieta	10-18-89	Ms=7.1	Gilroy Array #3 (47381)	090	0.367	44.7
6	CNP196	Northridge	1-17-94	Ms=6.7	Canoga Park-Topanga Can(90053)	196	0.42	60.8
7	CHY101W	Chi-Chi,Taiwan	9-20-99	Ms=7.6	(CHY101)	w	0.353	70.6
8	ICC090	Superstittn	11-24-87	Ms=6.6	El Centro Imp. Co.Cent(01335)	090	0.258	40.9
9	CNP106	Northridge	1-17-94	Ms=6.7	Canoga Park-Topanga Can(90053)	106	0.356	32.1
10	E02140	Imperial Valley	10-15-79	Ms=6.9	El Centro Array #2 (5115)	140	0.315	31.5
11	E11230	Imperial Valley	10-15-79	Ms=6.9	El Centro Array #11 (5058)	230	0.38	42.1

۴- محاسبه تغییر مکان هدف

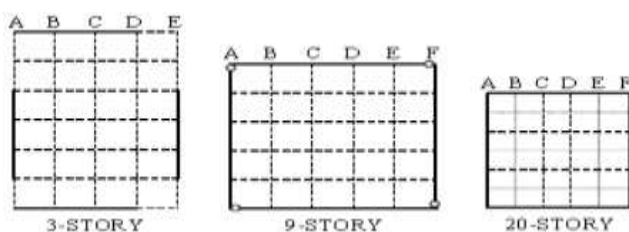
جهت ارزیابی هر چه دقیقتر عملکرد و کارایی روش‌های پوش‌اور به‌نگام‌شونده، پارامتر تغییر مکان هدف مستقیماً از نتایج تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی تاریخیچه زمانی (NTHA) محاسبه شده است. بدین صورت که در ابتدا برای هر مدل سازه‌ای، تحلیل دینامیکی غیرخطی برای تمام رکوردهای زلزله انجام شده، سپس حداکثر تغییر مکان مرکز جرم بام (نقطه کنترلی سازه) برای هر یک از ۱۱ تحلیل دینامیکی غیرخطی محاسبه شده و نهایتاً میانگین این مقادیر به عنوان تغییر مکان هدف در روش‌های تحلیل استاتیکی غیر خطی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۵- معرفی مدل‌های سازه‌ای

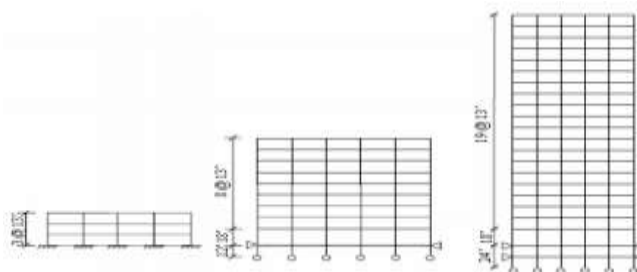
مدل‌های سازه‌ای مورد مطالعه در این مقاله به دو دسته‌ی مدل مرجع و مدل‌های با توزیع نامتقارن مقاومت در ارتفاع تقسیم بندی می‌شوند. از مدل سازه‌ای ۲۰ طبقه گروه SAC به عنوان مدل مرجع استفاده شده است که در ادامه تحت عنوان SAC20 از آن یاد می‌شود. ساختمان‌های SAC دارای سیستم قاب خمشی مقاوم فولادی پیرامونی می‌باشد که توسط مهندسین مشاور، جهت انجام فاز دوم پروژه تحقیقاتی گروه SAC طراحی شده‌است. در طراحی این سازه‌ها ملزومات لرزه‌ای آئین‌نامه ۱۹۹۴ UBC برای منطقه لوس‌آنجلس رعایت شده است [۸]. در این تحقیق از مدل‌های دوبعدی استفاده گردیده و فقط یکی از قاب‌های مقاوم خمشی پیرامونی که در جهت شمال - جنوب ساختمان قرار دارد، مدل شده است. برای مثال در شکل (۲) محل قرار گیری قابهای خمشی در پلان طبقات نشان داده شده است. همچنین در شکل (۳) مقطع عرضی ساختمانهای گروه SAC به نمایش گذاشته شده است. یادآوری می‌شود که فقط از مدل ۲۰ طبقه‌ی ساختمان‌های SAC در این تحقیق

استفاده شده است. دسته‌ی دوم مدل‌های ارزیابی شده مدل‌های دارای توزیع نامتقارن مقاومت در ارتفاع می‌باشند که با اعمال تغییراتی در اجزای سازه‌ای مدل مرجع (SAC20) ساخته شده‌اند. بدین منظور ۴ مدل از الگوی‌های توزیع نامتقارن مقاومت در ارتفاع سازه که در مطالعات صورت گرفته توسط العلی و کراوینکلر [۹] معرفی شده‌اند در نظر گرفته شده‌اند.

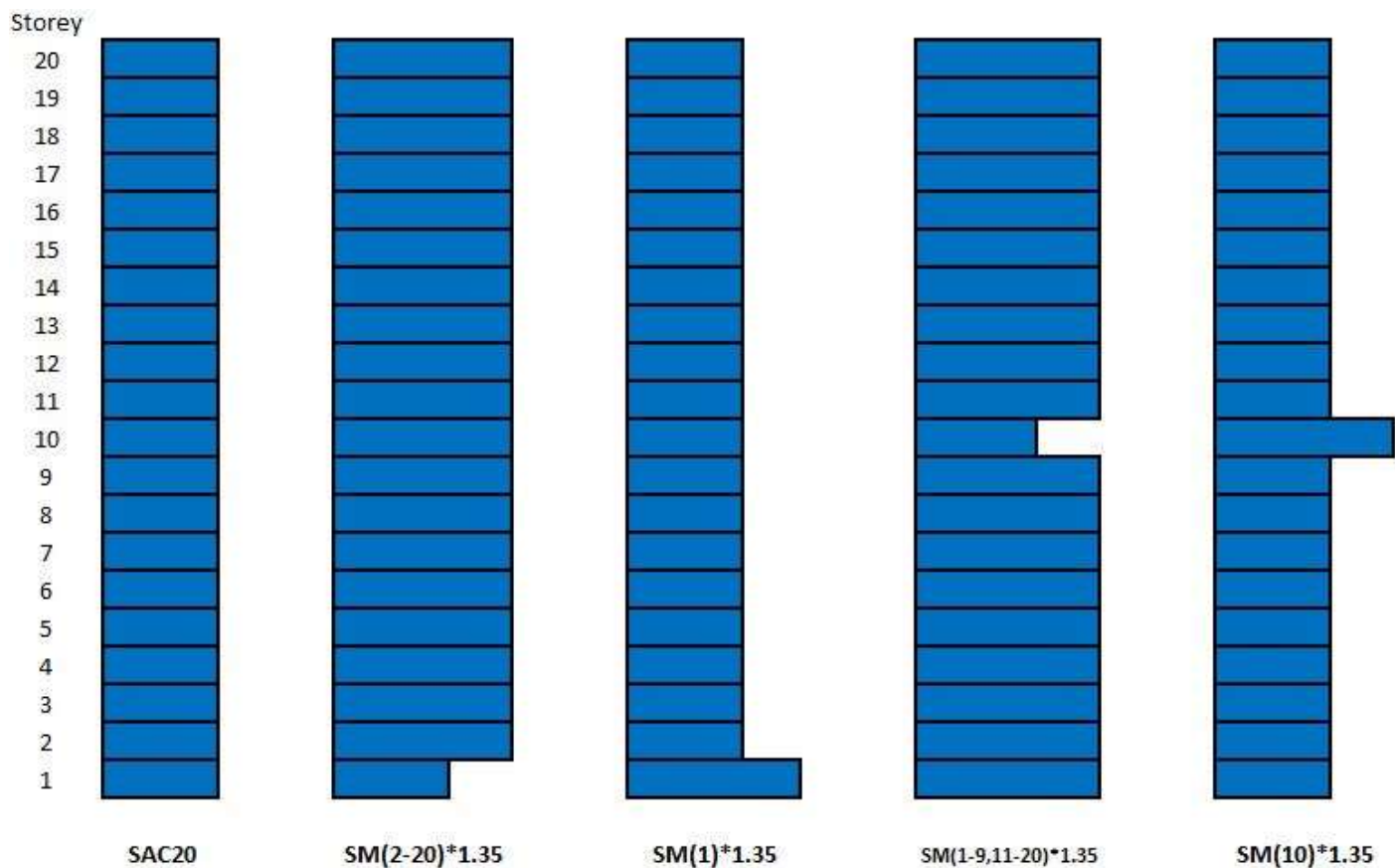
نحوه‌ی نامگذاری مدل‌های نامنظم به صورت $SM(X-Y) \times Z$ می‌باشد که $(X-Y)$ بیانگر طبقاتی هستند که مقاومت آن‌ها افزایش داده شده است. (اگر فقط شماره یک طبقه استفاده شده باشد، به این معنا است که تنها مقاومت یک طبقه اصلاح شده است). پارامتر Z نیز مقدار ضریب اصلاح مقاومت را نشان می‌دهد، مقدار این ضریب بیانگر نسبت مقاومت طبقات مورد نظر در مدل نامنظم به مقاومت همان طبقات در مدل مبنا می‌باشد. مقدار این ضریب با توجه به معیار آیین نامه 7 ASCE در مورد نامنظمی مقاومتی در ارتفاع می‌باشد که بیان می‌کند طبقه ضعیف در جایی وجود دارد که مقاومت جانبی طبقه کمتر از ۸۰ درصد از مقدار آن در طبقه فوقانی باشد. منظور از مقاومت جانبی طبقه، مجموع مقاومت جانبی تمام المان‌های مقاوم لرزه‌ای است که برش طبقه را در جهت مورد نظر تحمل می‌کنند. در شکل شماره (۴) شکل شماتیک نسبت مقاومت طبقات در مدل‌های دارای توزیع نامتقارن مقاومت در ارتفاع نسبت به مدل SAC20 نشان داده شده است.



شکل (۲) نمایش قابهای خمشی در پلان [۱۰]



شکل (۳) مقطع عرضی ساختمانهای گروه SAC [۱۰]



شکل ۴: شکل شماتیک نسبت مقاومت طبقات در مدل‌های دارای توزیع نامتقارن مقاومت در ارتفاع نسبت به مدل SAC20

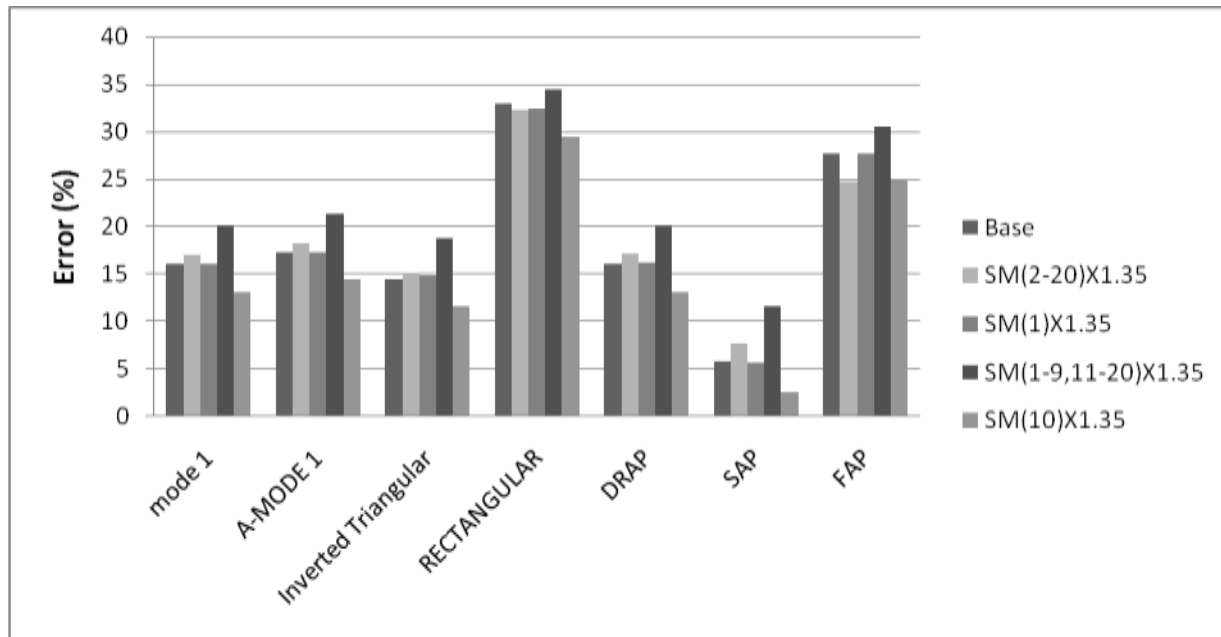
۶- خروجی تحلیل‌ها

جهت ارزیابی دقت روش‌های پوش‌اور بررسی شده در این مطالعه، نتایج به دست آمده از این تحلیل‌ها برای پارامترهای جابجایی و جابجایی نسبی طبقات با مقدار دقیق این پارامترها که از میانگین حداکثر پاسخ‌های تحلیل‌های دینامیکی غیر خطی به دست آمده‌اند مقایسه شده است. شایان ذکر است که برای محاسبه خطای روش‌های مختلف از رابطه‌ی (۱۲) استفاده شده است.

$$Error (\%) = 100 \times \left| \frac{R_{NTHA} - R_{PUSH}}{R_{NTHA}} \right| \quad (12)$$

۱-۶ ارزیابی پارامتر جابجایی طبقات

نمودار (۱) میزان میانگین خطای جابجایی طبقات را برای سازه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. طبق این نمودار روش SAP بهترین عملکرد را در میان سایر روش‌ها دارد و حداکثر میزان خطا در روش برابر ۱۱/۵۶٪ می‌باشد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در تمامی روش‌های تحلیل میزان خطای مدل $SM(10)*1.35$ نسبت به مدل مرجع کاهش یافته است، همچنین میزان خطای مدل $SM(1-9,11-20)*1.35$ نسبت به مدل مرجع افزایش یافته است. همان‌طور که در شکل (۴) نشان داده شده است الگوی توزیع مقاومت در ارتفاع این دو مدل نیز برعکس یکدیگر می‌باشد. میزان خطای جابجایی طبقات در مدل $SM(1)*1.35$ و SAC20 در تمام روش‌ها تقریباً برابر می‌باشد. در مورد مدل $SM(2-20)*1.35$ نیز تمام روش‌ها به غیر از Rectangular و FAP خطای بیشتری نسبت به مدل SAC20 دارند. پس از روش SAP روش DRAP بهترین عملکرد را در میان سایر روش‌ها دارد که عملکرد این روش مشابه روش Mode1 می‌باشد. با مقایسه دو روش Mode 1 و A-Mode 1 می‌توان دریافت که بهنگام کردن الگوی بار متناسب با مود اول سازه در روش A-Mode 1 تاثیری در بهبودی نتایج این روش نسبت به روش Mode 1 نداشته است. همچنین روش مستطیلی (Rectangular) با میزان خطای ۳۴/۴٪ در سازه $SM(1-9,11-20)*1.35$ بیشترین میزان میانگین خطای جابجایی طبقات را به خود اختصاص داده است. در میان روش‌های پوش‌اور با الگوی بار بهنگام شونده روش FAP عملکرد ضعیفی از خود نشان داده و کمترین دقت را داشته است.



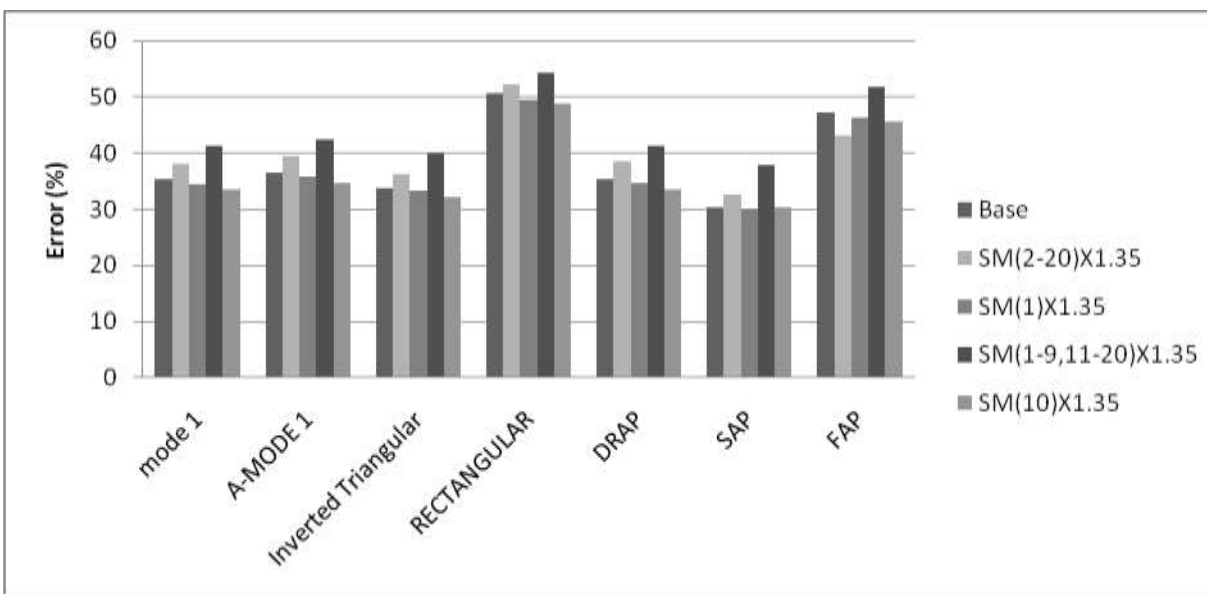
نمودار (۱): میانگین خطای جابجایی طبقات بر حسب درصد برای روش‌های استاتیکی غیر خطی مورد مطالعه

۲-۶ ارزیابی پارامتر جابجایی نسبی طبقات

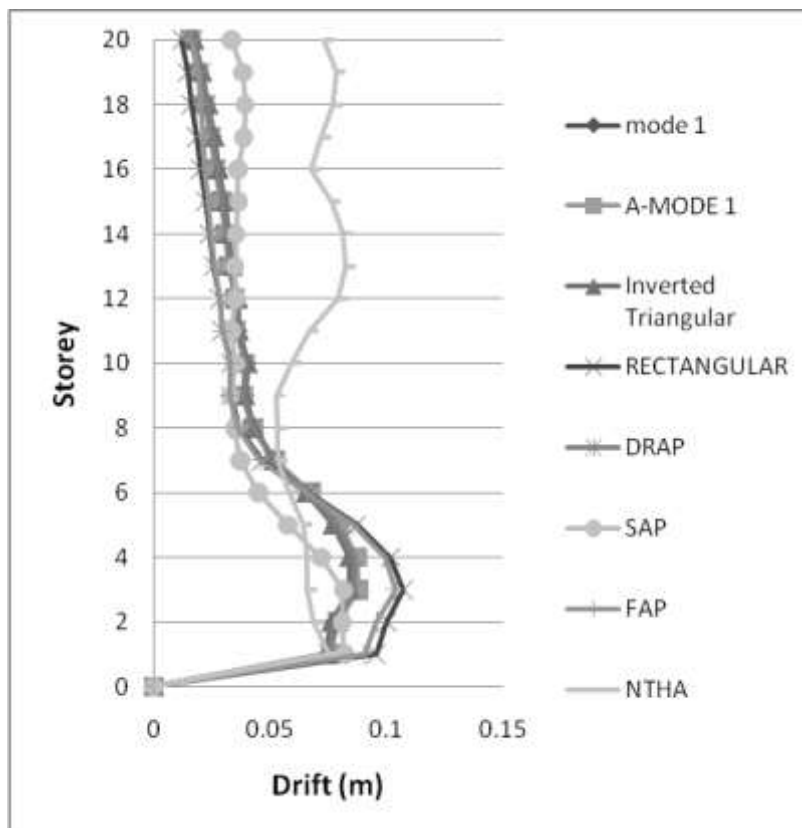
نمودار (۲) میزان میانگین خطای جابجایی نسبی طبقات را برای سازه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. همان‌طور که در این نمودار مشخص است در مدل‌های $SM(1)*1.35$ و $SM(10)*1.35$ تمامی روش‌ها جابجایی نسبی طبقات را با خطای کمتری نسبت به مدل اولیه SAC20 تخمین

زده‌اند. در مدل $SM(1-9,11-20)*1.35$ تمامی روش‌ها جابجایی نسبی طبقات را با خطای بیشتری نسبت به مدل اولیه SAC20 تخمین زده‌اند اما در مورد مدل $SM(2-20)*1.35$ که دارای طبقه اول ضعیف می‌باشد تمام روش‌ها به غیر از FAP، جابجایی نسبی طبقات را با خطای بیشتری نسبت به SAC20 محاسبه کرده‌اند. در میان تمام روش‌ها، روش SAP همچنان بهترین عملکرد را برای تمام سازه‌ها دارد، که حداکثر میزان خطا در این روش ۳۷/۸۱٪ می‌باشد. روش Rectangular نیز ضعیفترین عملکرد را دارد و حداکثر خطا در این روش، ۵۲/۲۶٪ و مربوط به مدل $SM(1-9.11-20)*1.35$ می‌باشد.

پروفیل تغییرمکان نسبی طبقات مدل $SM(1-9,11-20)*1.35$ به عنوان نمونه در شکل (۵) نشان داده شده است. همانطور که مشخص است تمامی روشهای استاتیکی غیرخطی در طبقات پایینی سازه نتایج محافظه کارانه‌ای نسبت به روش دینامیکی غیرخطی از خود به نمایش گذاشته‌اند. اما در طبقات میانی و بالایی سازه این روال تغییر پیدا کرده و تمامی روشها پارامتر جابجایی نسبی طبقات را دست پایین تخمین زده‌اند. روش SAP در طبقات پایینی و بالایی سازه دقیقترین عملکرد را نسبت به دیگر روشها از خود نشان داده اما در طبقات میانی سازه این روش با کاهش دقت همراه بوده است. همچنین پروفیل جابجایی نسبی طبقات در روشهای Model1 و A-Model1 کاملاً بر هم منطبق بوده و اختلافی میان این دو روش دیده نمی‌شود.



نمودار (۲): میانگین خطای جابجایی نسبی طبقات بر حسب درصد برای روشهای استاتیکی غیر خطی مورد مطالعه



شکل (۵) پروفیل جابجایی نسبی طبقات سازه $SM(1-4,6-9) \times 1.45$ برای روشهای استاتیکی غیرخطی مورد مطالعه

۷- نتیجه گیری

- ۱- با افزایش مقاومت طبقه میانی در سازه مرجع تمام روش‌های مورد مطالعه پارامتر جابجایی و جابجایی نسبی طبقات را با خطای کمتری نسبت به مدل مبنا ارزیابی کرده‌اند.
- ۲- با افزایش مقاومت تمام طبقات به غیر از طبقه میانی در سازه مرجع تمام روش‌های مورد مطالعه پارامتر جابجایی و جابجایی نسبی طبقات را با خطای بیشتری نسبت به مدل مبنا ارزیابی کرده‌اند.
- ۳- روش پوش‌اور با الگوی بار بهنگام شونده بر اساس برش طبقات (SAP)، بهترین عملکرد را در تخمین پارامترهای مورد مطالعه در میان روش‌های پوش‌اور با الگوی بار بهنگام شونده از خود نشان داده است.
- ۴- بهنگام کردن الگوی بار متناسب با مود اول سازه در روش A-Mode 1 تأثیری در بهبودی نتایج این روش نسبت به روش Mode 1 نداشته است.
- ۵- روش Rectangular در تخمین هر دو پارامتر ضعیفترین عملکرد را در میان سایر روشها داشته است.

مراجع

- [۱] شاکری، کاظم. (۱۳۸۷). تحلیل پوش‌اور مودال بهنگام شونده جهت ارزیابی لرزه ای سازه‌ها. پایان‌نامه دکتری عمران-زلزله. دانشکده عمران. دانشگاه علم و صنعت ایران
- [۲] Gupta, B. and Kunnath. S.K. (2000). "Adaptive spectra-based pushover procedure for seismic evaluation of Structures." *Earthquake Spectra*, 16(2). Pp. 367-391

- [۳]Antoniou, S. and Pinho, R (2004a). "Advantages and ;imitations of adaptive and non-adaptive force-based pushover procedures". Journal of Earthquake Engineering, 8(4), pp. 497-522.
- [۴]Antoniou, S. and Pinho, R (2004b). "Develoment and verification of a displacement-based adaptive pushover procedure," Journal of Earthquake Engineering, Vol. 8, No.5, pp. 643-661.
- [۵]FEMA (2005). "Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures", (ATC-55 Project) FEMA 440. Federal Emergency Management Agency, Washlnton, D.C.
- [۶]زارع زاده مهریزی، مهدی.(۱۳۹۲). "ارزیابی عملکرد روش تحلیل استاتیکی غیر خطی بهنگام شونده در سازه‌های فولادی با اتصالات صلب". پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی زلزله.دانشکده فنی و مهندسی.دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات
- [7]ASCE, 2010, "Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures", ASCE/SEI 7-10, American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia.
- [۸]Ohtori Y., Christenson R.E., Spencer B.F. and Dyke S.J., 2003, "Benchmark problems in seismically excited nonlinear buildings", Journal of Engineering Mechanics, ASCE, 129, to appear, <http://cee.uiuc.edu/sst/>.
- [۹] A. A. K.AI-Ali, H. Krawinkler, "Effects of vertical irregularities on seismic behavior of building structures", *John A.Blume Earthquake Engineering Center*, Stanford Calif.,1998, 130:198
- [۱۰]Piettra, D. and Dr.Pinho , D.(2008). " *Evaluation of pushover procedures for the seismic design of buildings*", Rose school.