

بررسی دقت روش پوش آور بهنگام شونده بر اساس روش ضرایب مودی در تخمین پاسخ سازه های نامنظم

علیرضا تاجیک داودی

دکترای مهندسی زلزله، دانشگاه علم و صنعت ایران
A_tajik@civileng.iust.ac.ir

رضا عباس نیا

دانشیار، دانشگاه علم و صنعت ایران
abbasnia@iust.ac.ir

محمد مهدی مداح

دانشجوی دکترای سازه، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله
m.maddah@iiees.ac.ir

کلید واژه‌ها: تحلیل پوش آور بهنگام شونده، مودهای بالاتر، تغییر علامت مودها، تقاضای لرزه ای

چکیده

امروزه روش تحلیل پوش آور بعنوان یک روش قدرتمند در تخمین پاسخ غیر خطی سازه‌ها بکار می‌رود. اخیراً بمنظور بهبود تخمین پاسخ‌های لرزه‌ای، روش های پوش آور بهنگام شونده ارائه شده‌اند. در این روش های پیشرفته علاوه بر در نظر گرفتن مودهای بالاتر، الگوی بارگذاری در طول تحلیل متناسب با شرایط دینامیکی سازه در رنج غیر خطی بهنگام میشوند. این روش ها بعلاوه استفاده از روش های مودال درجه دوم، علامت بردار مودهای بالاتر را در نظر نمیگیرند و همین امر باعث کاهش دقت تخمین ها میشود. در این مقاله یک روش پوش آور بهنگام شونده بر اساس یک ترکیب بار جدید معرفی میگردد که تغییرات علامت مودهای بالاتر را در جریان تعیین الگوی بارگذاری حفظ میکند. توانمندی این روش در تخمین تقاضای لرزه ای سازه های نامنظم بررسی گردیده است. نتایج بدست آمده نشان دهنده دقت بالای این روش در مقایسه با روش های مشابه میباشد.

مقدمه

در سالیان اخیر، با ارائه مفهوم روش طراحی براساس عملکرد، نیاز به یک روش نسبتاً ساده برای تخمین تقاضای لرزه ای یک سازه با دقت مناسب افزایش یافته است. از آنجاییکه روشهای خطی، توزیع نیروها را پس از تسلیم در نظر نمی‌گیرد و همچنین قادر به تعیین مود گسیختگی نمی‌باشد، به استفاده از روشهای خطی می‌تواند منجر به تخمین اشتباهی از تقاضای لرزه ای گردد [Priestley, 1993]. بی تردید، تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی بعنوان دقیق ترین روش تحلیلی برای ارزیابی یک سازه در معرض زلزله محسوب می‌شود. بمنظور تحلیل تاریخچه زمانی صحیح یک سازه احتیاج به یک گروه شتاب نگاشت سازگار با طیف خطر لرزه ای برای یک سایت مشخص می‌باشد. تهیه یک مجموعه مطمئن چه از طریق تولید شتاب نگاشت های مصنوعی، چه شبیه سازی گسل و چه از طریق شتاب نگاشت های طبیعی، کار ساده ای برای دفاتر مهندسی نیست [Bommer et al., 2003].

در روش تحلیل استاتیکی غیرخطی، سازه تحت اثر یک الگوی بارگذاری جانبی، بصورت افزایشی تا رسیدن به یک تغییر مکان از پیش تعیین شده (هدف) هل داده می‌شود. اکثریت روشهای تحلیل پوش آور مراحل اساسی زیر را برای تخمین یک پارامتر لرزه ای بکار می‌برند:

- ۱- یک تحلیل پوش آور همانند تعریف انجام می‌گیرد.
- ۲- یک سیستم یک درجه آزادی معادل براساس منحنی ظرفیت که از تحلیل بدست می‌آید، تعریف می‌گردد.
- ۳- تقاضای جابجایی ماکزیمم براساس یک طیف طراحی تخمین زده می‌شود.
- ۴- پاسخ یک درجه آزادی و پاسخ واقعی سازه براساس شکل و مشارکت مود حاکم (مود اول) به یکدیگر ارتباط داده می‌شوند.
- ۵- در نهایت پارامترهای پاسخ همانند دریافت طبقات و نیروهای اعضا در جابجایی ماکزیمم تخمین زده می‌شوند [Lopez-Menjivar and Pinho, 2004].

بر اساس تعریفی که از روش تحلیل پوش آور ارائه شده، دو پارامتر اساسی و مهم در هر تحلیل پوش آور مطرح می‌باشند: الف- تعیین الگوی بارگذاری ب- تعیین تغییر مکان هدف

در حقیقت نحوه تعیین الگوی بارگذاری و همچنین تغییر مکان هدف روی دقت تخمین پاسخ های سازه بسیار تاثیرگذار است و تفاوت اکثر روشهای تحلیل پوش آور از نحوه تعریف این دو پارامتر ناشی می‌شود. بر این اساس در روشهای اولیه و قدیمی تحلیل پوش آور الگوی بارگذاری تنها از روی مود حاکم سازه که اکثرا مود اول می‌باشد؛ محاسبه می‌شود و مودهای بالاتر نادیده گرفته می‌شود [FEMA 356, 2000; Eurocode 8, 2003; ATC-40,1996]. در نسل بعدی، روش های پوش آور اثر مشارکت مودهای مهم بالاتر را در تعریف الگوی بارگذاری در نظر می‌گیرند؛ اما این شکل الگو در سراسر تحلیل ثابت است و تغییر نمی‌کند. این روش ها تحت عنوان روش‌های پوش آور مودال نامیده می‌شوند [Paret et al.,1996; Krawinkler and Seneviratna 1998; Kim and D'Amore, 1999; FEMA 440, 2005; Chopra and Goel, 2002; Kim and Kurama, 2008; Poursha et al., [2009]. در نسل سوم روشهای پوش آور علاوه بر در نظر گرفتن اثر مشارکت مودهای مهم بالاتر سازه، اثر تغییر در مشخصات دینامیکی و مودال سازه پس از تسلیم سازه در الگوی بارگذاری در نظر گرفته می‌شود و بدان وسیله الگوی بار در هر گام در رنج غیرخطی تغییر می‌کند [Reinhorn, 1997; Bracci et al., 1997; Gupta and Kunnath, 2000; Elnashai, 2001]. این گروه روشها تحت عنوان روشهای پوش آور بهنگام شونده مطرح هستند.

مطالعات صورت گرفته نشان میدهد که روش پوش آور بهنگام شونده علی رغم فراهم کردن پاسخ های مناسب تر در مقایسه با تحلیل های سنتی، بطور کلی پاسخ های بدست آمده دست پایین هستند [Lopez-Menjivar and Pinho, 2004; Antoniou. and Pinho, 2004b; Peiarta, 2006; Pinho, 2006; Pinho and Antoniou, 2005; Ferracuti, 2009]. دوم می‌باشد [Lopez-Menjivar and Pinho, 2004; Antoniou and Pinho, 2004b]. مهمترین محدودیت روشهای ترکیب مودال درجه دوم این است که تغییرات در علامت بردارهای بارگذاری مودال مربوط به مودهای بالاتر را در حین ترکیب در نظر نمی‌گیرد. بعبارت دیگر، علامت احتمالی منفی بردارها حذف شده و تمامی آنها با علامت مثبت با یکدیگر ترکیب می‌شوند. این امر باعث ایجاد الگوی بارگذاری غیرواقعی می‌شود و همچنین روشهای پوش آور مودال را بشدت تحت تاثیر قرار می‌دهد.

در این ارتباط با شناخت کامل محدودیت ها و مشکلات روش های موجود، یک روش پوش آور بهنگام شونده بر اساس ضرایب مودی توسط مولفین ارائه شده است که ضمن به حداقل رساندن مشکلات مطرح شده در بالا، منجر به تخمین مناسب تقاضای لرزه ای دینامیکی گردد [Park and Eom, 2007]. در این مقاله دقت روش ارائه شده در تخمین تقاضای لرزه ای سازه های نامنظم مورد بررسی قرار می‌گیرد.

روش پوش آور بهنگام شونده بر اساس ضرایب مودی

بمنظور تخمین الگوی بارگذاری متناظر با ماکزیمم یک تقاضای لرزه ای، Park وهمکاران [Park and Eom, 2007] مطالعه گسترده ای روی تحلیل های تاریخچه زمانی سازه های مختلف در محدوده الاستیک انجام دادند و ترکیب مودال زیر را تحت عنوان روش ضرایب مودی (رابطه-۱) ارائه کردند.

$$R_j^j = 0.9 + 0.125T_1^{\dagger} \quad (j=1, 2, \dots) \quad (\text{الف-۱})$$

$$R_{j\pm 1}^j = 0.5 + 0.125T_2^{\dagger} \quad (j-1 > 1) \quad (\text{ب-۱})$$

$$R_{j\pm 2}^j = 0.4 + 0.125T_2^{\dagger} \quad (j-2 > 1) \quad (\text{ج-۱})$$

$$R_{j\pm k}^j = 0.3 + 0.125T_2^{\dagger} \quad (j-k > 1, k=3,4,\dots) \quad (\text{د-۱})$$

در این رابطه R_j^j ضریب مشارکت مود حاکم بر رفتار سازه می‌باشد. T پریود مربوط به مود مربوطه می‌باشد. T_1^{\dagger} و T_2^{\dagger} بترتیب برابر 0/11 و 0/22 می‌باشد.

بمنظور رفع محدودیت ترکیب مودال های درجه دوم، این روش برای ساخت الگوی بارگذاری در یک تحلیل پوش آور بهنگام شونده بر اساس جابجایی بخدمت گرفته میشود.

همانطور که مشاهده می‌شود در روش ضرایب مودی برای مود حاکم سازه بیشترین مشارکت و برای مودهای دیگر ضرایب کمتری در نظر گرفته میشود. از آنجاییکه در یک تحلیل پوش آور تشخیص مود حاکم سازه امکان پذیر نیست، می‌بایستی تمام حالات ممکن در نظر گرفته شود. از طرف دیگر بمنظور در نظر گرفتن علامت بارهای مودال، علامت های منفی احتمالی باید به تمامی مودهای مهم در نظر گرفته شده اختصاص داده شود. با توجه به توضیحات بالا، اگر سه مود اول سازه در نظر گرفته شود، سه گروه الگوی بارگذاری باید در نظر گرفته شود. در گروه اول مود اول، در گروه دوم مود دوم و در گروه سوم مود سوم حاکم بر طراحی در نظر گرفته می‌شود. بنابراین سه گروه الگوی بارگذاری همانند رابطه (۲) تشخیص داده می‌شود.



$$A: \Delta_1 = R_1^1 \Delta_{i1} \pm R_2^1 \Delta_{i2} \pm R_3^1 \Delta_{i3} \quad (\text{الف-۲})$$

$$B: \Delta_1 = R_1^2 \Delta_{i1} \pm R_2^2 \Delta_{i2} \pm R_3^2 \Delta_{i3} \quad (\text{ب-۲})$$

$$C: \Delta_1 = R_1^3 \Delta_{i1} \pm R_2^3 \Delta_{i2} \pm R_3^3 \Delta_{i3} \quad (\text{ج-۲})$$

همانطور که ملاحظه می‌شود با اختصاص علامتهای منفی احتمالی به مودهای بالاتر، در هر گروه چهار الگوی بارگذاری تشخیص داده می‌شود و در کل ۱۲ الگوی بارگذاری برای تحلیل در نظر گرفته می‌شود. در روش پیشنهادی بردار بارگذاری مربوط به مود Δ_{ij} از رابطه (۳) استفاده می‌شود.

$$\Delta_{ij} = \Gamma_j \cdot (W_{ij} - W_{(i-1)j}) \cdot S_{dj}(\tau_j, T_j) \quad (۳)$$

بر این اساس بردار بارگذاری بر مبنای دریافت بین طبقه ای بصورت رابطه (4) بیان می‌گردد:

$$A: \Delta_1 = (0.9 + 0.125T_1) \Delta_{i1} \pm (0.5 + 0.125T_2) \Delta_{i2} \pm (0.4 + 0.125T_2) \Delta_{i3} \quad (\text{الف-۴})$$

$$B: \Delta_1 = (0.5 + 0.125T_2) \Delta_{i1} \pm (0.9 + 0.125T_1) \Delta_{i2} \pm (0.5 + 0.125T_2) \Delta_{i3} \quad (\text{ب-۴})$$

$$C: \Delta_1 = (0.4 + 0.125T_2) \Delta_{i1} \pm (0.5 + 0.125T_2) \Delta_{i2} \pm (0.9 + 0.125T_1) \Delta_{i3} \quad (\text{ج-۴})$$

در نهایت از رابطه زیر برای ساخت الگوی بارگذاری جایجایی استفاده می‌گردد.

$$D_i = \sum_{m=1}^i \Delta_m \quad (۵)$$

الگوریتم روش پیشنهادی بصورت خلاصه به شرح زیر می‌باشد:

الف- محاسبه خصوصیات مودال سازه (فرکانس طبیعی، شکل مودال، ضریب مشارکت).

ب- ساختن الگوی بار مودال برای مود Δ_{ij} از رابطه (3)

ج- ساختن الگوی بارگذاری بر اساس دریافت بین طبقه ای از رابطه (4)

د- ساختن الگوی بارگذاری جایجایی برای اعمال به سازه بر اساس رابطه (5)

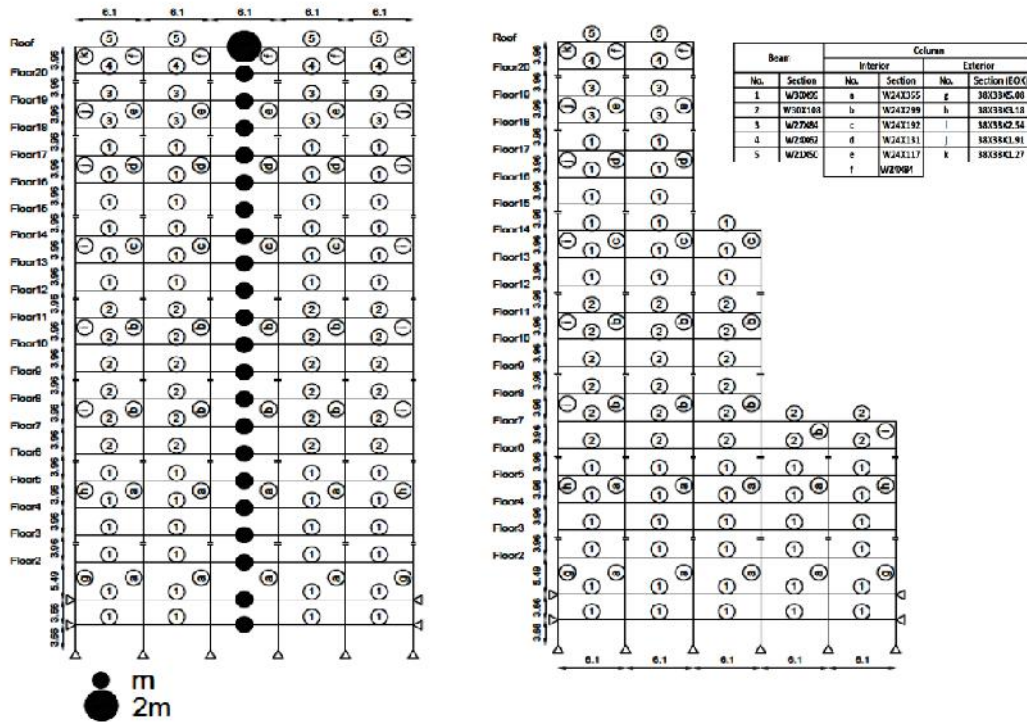
ه- هر کدام از ترکیب بارهای حاصل از مرحله قبل در قالب یک تحلیل پوش آور مستقل بکار گرفته میشود و پاسخ های سازه تحت هر کدام از ترکیب بارها محاسبه میشود و در نهایت پوش پاسخ ۱۲ ترکیب بار بعنوان پاسخ نهایی در نظر گرفته میشود.

صحت سنجی

بمنظور ارزیابی دقت روش پوش آور بهنگام شونده براساس روش ضرایب (FMC 356)، دو قاب خمشی فلزی ۲۰ طبقه با نامنظمی جرمی و هندسی در معرض ۶۰ رکورد زلزله مورد استفاده قرار می‌گیرند.

پاسخ های لرزه ای که بعنوان معیار سنجش مورد استفاده قرار می‌گیرند شامل دریافت بین طبقه ای و همچنین جایجایی کلی طبقه می‌باشد. در اینجا علاوه بر پاسخ های بدست آمده روش پیشنهادی، پاسخ های ناشی از روش تحلیل DAP و روش تحلیل (NTH) بعنوان پاسخ های دقیق با یکدیگر مقایسه می‌شوند. قاب های مورد بررسی در شکل (۱) نشان داده شده است [تاجیک داودی، ۱۳۹۲]

بمنظور مدلسازی این قاب ها از نرم افزار Opensees استفاده شده است. در تمامی تحلیل ها، پایه ستون ها به فونداسیون گیردار فرض شده است. المان Nonlinear Beam-Column که یک المان تیر- ستون غیر خطی و یک مدل بر پایه المان فیبری با مدل پلاستیسیته گسترده می‌باشد، برای مدلسازی تیرها و ستون ها بکار رفته است. مدل ساخته شده در بر گیرنده غیر الاستیک بودن مصالح می‌باشد. غیر الاستیک بودن مصالح به طور صریح و بوسیله اعمال روش المان فیبری که امکان تخمین دقیقی از توزیع غیر الاستیک بودن مصالح در مقطع و در طول عضو را فراهم می‌کند، صورت گرفته است.

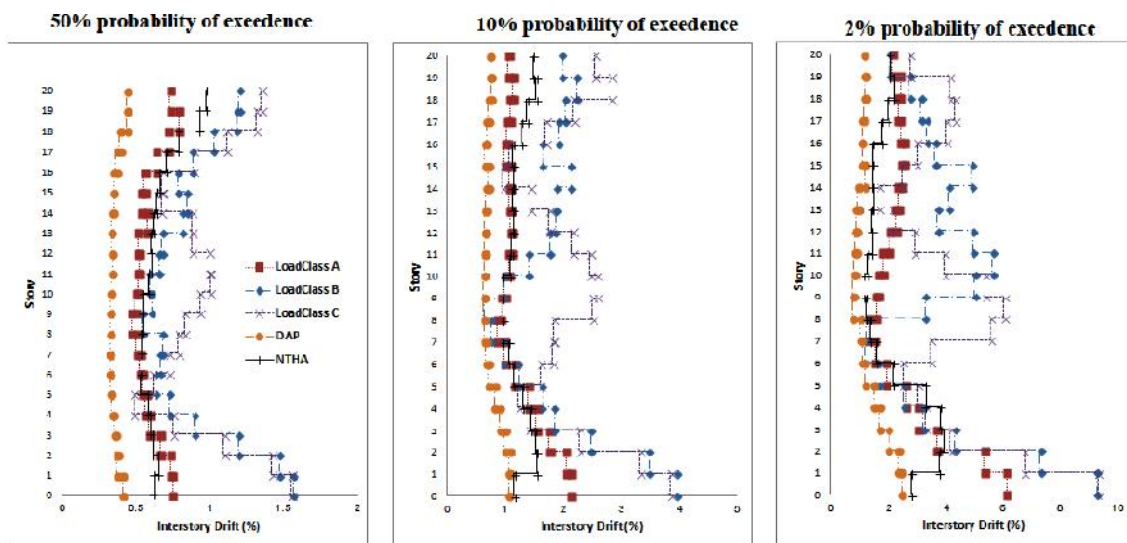


شکل ۱: قاب های مورد استفاده برای صحت سنجی روش پیشنهادی

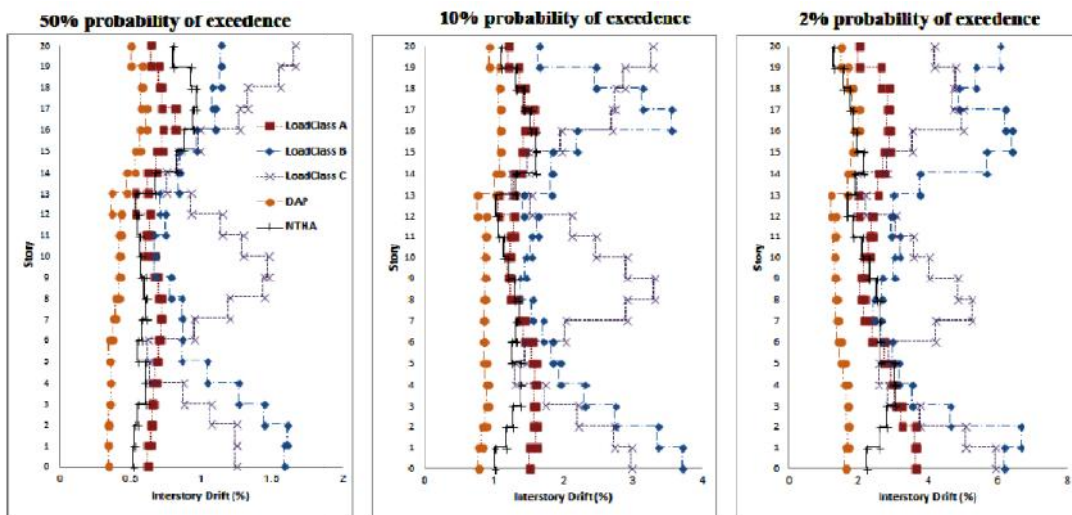
۶۰ رکورد زلزله تحت عنوان (LA-01-LA60) بمنظور ارزیابی دقت روش پیشنهادی مورد استفاده قرار گرفته اند. این رکوردها طوری مقیاس شده اند که طیف پاسخ آنها بترتیب با طیف های پاسخ با احتمال تجاوز خطر ۵۰ درصد، ۱۰ درصد و ۲ درصد در ۵۰ سال یکسان شود [Somerville et al., 1997]. علت اصلی این انتخاب آن است که ارزیابی دقت روش در سطوح جابجایی مختلف در رنج غیرخطی انجام شود.

نتایج

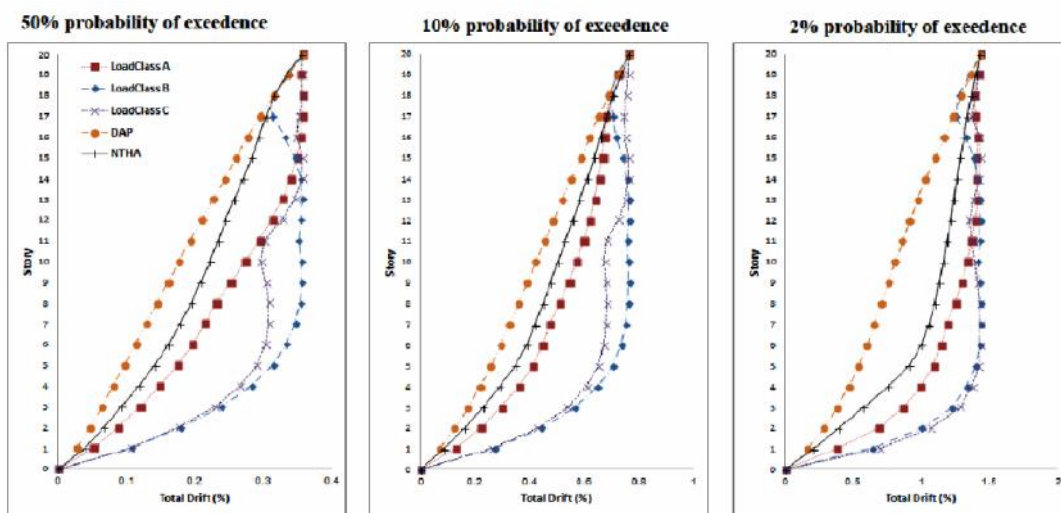
نتایج بدست آمده از روش پوش آور پیشنهادی شامل پروفیل دررفت های بین طبقه ای و دررفت های کلی طبقات در شکل های ۲ تا ۵ نشان داده شده است.



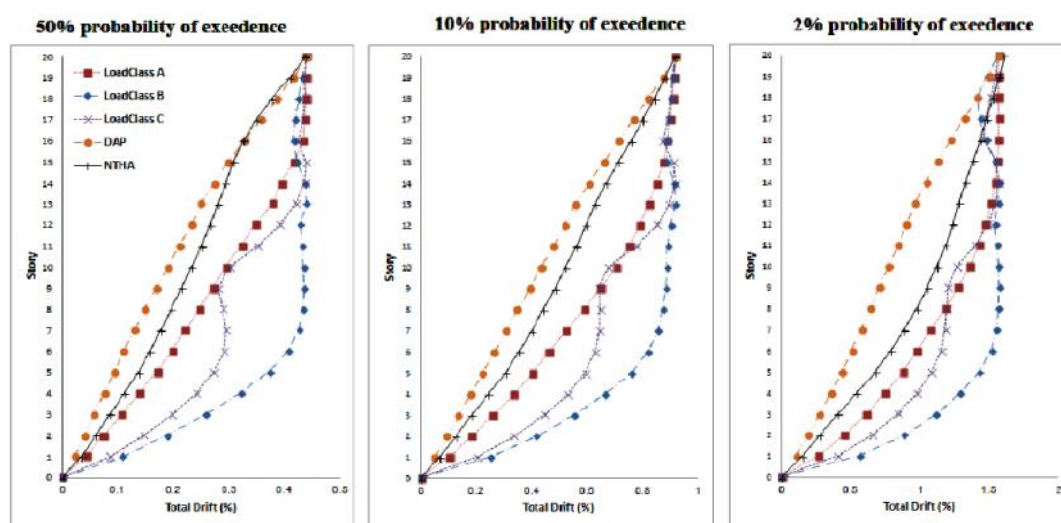
شکل ۲: تخمین های بدست آمده از دررفت های بین طبقه ای برای ساختمان ۲۰ طبقه با نا منظمی جرمی از روش پیشنهادی در مقایسه با روش DAP و روش تاریخچه زمانی غیر خطی



شکل ۳: تخمین های بدست آمده از دررفت های بین طبقه ای برای ساختمان ۲۰ طبقه با نا منظمی هندسی از روش پیشنهادی در مقایسه با روش DAP و روش تاریخچه زمانی غیر خطی



شکل ۴: تخمین های بدست آمده از دررفت های کلی برای ساختمان ۲۰ طبقه با نا منظمی جرمی از روش پیشنهادی در مقایسه با روش DAP و روش تاریخچه زمانی غیر خطی



شکل ۵: تخمین های بدست آمده از دررفت های کلی برای ساختمان ۲۰ طبقه با نا منظمی هندسی از روش پیشنهادی در مقایسه با روش DAP و روش تاریخچه زمانی غیر خطی

همانطور که ملاحظه می‌گردد، پوش تخمین‌های بدست آمده از روش پیشنهادی (پیک تخمین‌های بدست آمده از الگوی بارگذاری A تا C) دریافت بین طبقه ای را دست بالا تخمین می‌زند. مشاهده مهم دیگر آنکه الگوی بارگذاری A به تنهایی تخمین‌های بسیار مناسبی را از پروفیل ماکزیمم دریافت بین طبقه ای در تمامی طبقات ارائه می‌کند. همچنین مشاهده می‌شود که روش DAP تخمین‌های نامناسبی را در تمام سطوح خطر و طبقات، دریافت‌های بین طبقه ای را دست پایین تخمین می‌زند.

همچنان الگوی بارگذاری (A) تخمین‌های مناسب تری از دریافت‌های کلی طبقات در مقایسه با روش DAP و الگوی بارگذاری B و C بدست می‌دهد. علت این امر آن است که مود اول حاکم بر شکل دریافت کلی طبقات است و به همین علت الگوی بارگذاری (A) پاسخ‌های بهتری را بدست می‌دهد.

نتیجه‌گیری

نتایج بدست آمده از روش " روش پوش آور بهنگام شونده بر اساس ضرایب مودی " نشان می‌دهد که پوش پاسخ‌های بدست آمده از الگوی بارگذاری A، B و C منجر به تخمین‌های بسیار دست بالا می‌گردد. مشاهده مهم دیگر آنکه الگوهای بارگذاری B و C که بترتیب متناسب با حاکمیت مودهای دوم و سوم می‌باشند؛ تخمین‌های مناسبی فراهم نمی‌کنند. این در حالیست که الگوی بارگذاری A تخمین‌های منطقی تری را بدست می‌دهد. این امر نشان می‌دهد که میزان مشارکت نسبی مود اول (R1) بیشتر از میزان مشارکت نسبی مودهای بالاتر می‌باشد. بطور کلی پاسخ‌های بدست آمده از مجموع الگوهای بارگذاری B و C بسیار دست بالا است و مناسب طراحی اقتصادی نمی‌باشد.

فهرست مراجع

Antoniou, S. and Pinho, R. "Development and verification of a displacement-based adaptive pushover procedure," Journal of Earthquake Engineering, Vol. 8, No.5, pp. 643-661. (2004b).

ATC. "Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings". Report ATC-40. Redwood City (CA): Applied Technology Council, (1996).

Bommer, J.J., Acevedo, A.B. and Douglas, J. "The selection and scaling of real earthquake accelerograms for use in seismic design and assessment," Proceedings of the ACI International Conference on seismic bridge design and retrofit, American Concrete Institute. USA, (2003).

Bracci JM, Kunnath SK, Reinhorn AM. "Seismic performance and retrofit evaluation of reinforced concrete structures". Journal of Structural Engineering, ASCE;123(1):3-10. (1997).

CEN. Eurocode 8: "design of structures for earthquake resistance", Part 1: Pr- EN1998-1, Final Draft. Brussels (BEL): European Committee for Standardization, (2003).

Chopra AK, Goel RK. A "modal pushover analysis procedure for estimating seismic demands for buildings". Earthquake Engineering & Structural Dynamic, Vol. 31, PP. 561-82. (2002).

Elnashai AS. "Advanced inelastic static (pushover) analysis for earthquake applications". Structural Engineering and Mechanics; Vol. 12. No.1, PP. 51-69. (2001).

FEMA. "Improvement of nonlinear static seismic analysis procedures", FEMA 440. Washington (DC): Federal Emergency Management Agency; (2005).

FEMA. Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings, FEMA 356. Washington (DC): Federal Emergency Management Agency, (2000).

Ferracuti B, Pinho R, Savoia M and Francia R. "Verification of displacement-based adaptive pushover through multi-ground motion incremental dynamic analyses," Engineering Structure. Vol. 31, PP. 1789-99. (2009).

Gupta B, Kunnath SK. Adaptive spectra-based pushover procedure for seismic evaluation of structures. Earthquake Spectra; Vol. 16. No. 2. PP. 367-91. (2000).

Kim S, D'Amore E. "Pushover analysis procedures in earthquake engineering". Earthquake Spectra; Vol. 15, No.3, PP. 417-34, (1999).

Kim S, Kurama Y. "An alternative pushover analysis procedure to estimate seismic displacement demands". Engineering Structures, Vol. 30, PP. 3793-807. (2008).



- Krawinkler H, Seneviratna GDPK. "Pros and cons of a pushover analysis of seismic performance evaluation". Engineering Structures; Vol. 20(4-6), PP. 452-64, (1998).
- Lopez-Menjivar MA, Pinho R. A review of existing pushover methods for 2-D reinforced concrete buildings. Pavia (Italy): Rose School, (2004).
- Paret TF, Sasaki KK, Elibeck DH, Freeman SA. "Approximate inelastic procedures to identify failure mechanism from higher mode effects". In: Proceeding of the eleventh world conference on earthquake engineering, (1996).
- Park HG, Eom T, Lee H. "Factored modal combination for evaluation of earthquake load profiles". Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 133. No. 7, PP. 956-68. (2007).
- Peierta D, Pinho R and Antoniou S. "Verification of displacement-based adaptive pushover for seismic assessment of high-rise steel buildings," Proceedings of the first European conference on earthquake engineering and seismology. Geneva, Switzerland, Paper 956. (2006).
- Pinho R and Antoniou S. "A displacement-based adaptive pushover algorithm for assessment of vertically irregular frames," 4th European workshop on the seismic behavior of irregular and complex structure. Thessaloniki, Greece. (2005).
- Pinho R, Antoniou S and Peierta D. "A displacement-based adaptive pushover for seismic assessment of steel and reinforced concrete buildings," Proceedings of the 8th US national conference on earthquake engineering. San Francisco, US, Paper 1701. (2006).
- Poursha M, Khoshnoudian F, Moghadam AS. "A consecutive modal pushover procedure for estimating the seismic demands of tall buildings". Engineering Structures, Vol. 31. PP. 591-9. (2009).
- Priestley, M.J.N. "Myths and fallacies in earthquake engineering-conflicts between design and reality," Bulletin of New Zealand National Society for Earthquake Engineering, Vol. 26, No. 3, pp. 329-341, (1993).
- Reinhorn AM, "Inelastic analysis techniques in seismic evaluation". In: Proceedings of the international workshop on seismic design methodologies for the next generation of codes; (1997).
- Somerville P, Smith N, Punyamurthula S and Sun J. "Development of ground motion time histories for phase 2 of the FEMA/SAC steel project," report SAC/BD-97/04. Prepared for the SAC Joint Venture. Sacramento (CA): Structural Engineers Association of California. (1997).

تاجیک داودی، ع. (۱۳۹۲)، "روش پوش آور بهنگام شونده اصلاح شده بر اساس جابجایی"، پایان نامه دکترا، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران.