



مقایسه عملکرد لرزه ای سازه های مقاوم خمشی فولادی به روش های ATC-40 و FEMA-356 و تاریخچه زمانی شتاب زلزله

احمد نیکنام¹، علی عطاری²

1- استادیار دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران - نارمک - دانشگاه علم و صنعت

a_nicknam@iust.ac.ir

2- کارشناسی ارشد عمران - زلزله، تهران - نارمک - دانشگاه علم و صنعت

ali.attari61@yahoo.com

چکیده

تحلیل پوش آور به دلیل سادگی از نظر مفهومی و محاسباتی در آئین نامه ها و دستورالعمل های مختلف به عنوان یکی از بهترین روش ها در ارزیابی لرزه ای سازه ها توصیه گردیده است. علیرغم سادگی این روش تحلیل، مطالعات اخیر نشان می دهد که در برخی موارد این روش نمی تواند رفتار دینامیکی سازه ها را به درستی نشان دهد. در این مقاله سعی بر آن است تا روش های استاتیکی غیرخطی موجود در آئین نامه ATC-40، نشریه FEMA-356 با یکدیگر مقایسه شوند. این مقایسه و تعیین میزان برتری آنها نسبت به یکدیگر به کمک روش تحلیل دینامیکی غیرخطی انجام می پذیرد. این مهم به این دلیل است که طبیعی ترین روش تحلیل سازگار با رفتار فیزیکی سازه ها حین زمین لرزه، تحلیل غیرخطی تاریخچه زمانی است. مدل های سازه ای استفاده شده، مدل های منظم سه بعدی با تعداد طبقات مختلف 4، 8، 12 و 16 هستند. سیستم لرزه بر تمامی آنها، سیستم لرزه بر فولادی قاب خمشی ویژه در دو جهت می باشد. نتایج بدست آمده در آنها می تواند منجر به تشخیص هرچه بهتر روش مناسب ارزیابی عملکرد لرزه ای برای سیستم های فولادی قاب خمشی ویژه شوند.

واژه های کلیدی: سیستم لرزه بر فولادی قاب خمشی، FEMA 356 و ATC 40، روش تحلیل بارافزون سنتی، روش تحلیل بارافزون مدال اصلاح شده، روش تحلیل دینامیکی غیرخطی

1. مقدمه

توصیه بیشتر آئین نامه های اخیر استفاده از روش تحلیل پوش آور در بررسی ارزیابی لرزه ای سازه ها می باشد. در این روش هر ساختمان طوری طراحی می شود که دارای عملکرد مورد نیاز در مقابل زمین لرزه هایی با شدت های مختلف باشد. برای مثال یک ساختمان می تواند برای عملکرد قابلیت استفاده بی وقفه برای یک زمین لرزه مشخص طراحی شود و برای زمین لرزه های با شدت بالاتر فقط عملکرد عدم فروریزش از آن انتظار رود. برای رسیدن به این هدف مهندسین نیاز به اطلاعاتی درباره توزیع نیروهای داخلی و تغییر شکلهای المان های سازه در



طی مدت زمین لرزه دارند. آنالیزهای استاتیکی به علت عدم توانایی در بررسی رفتار واقعی سازه پس از آغاز تسلیم مناسب نیستند و انجام آنالیزهای غیر خطی برای مشخص ساختن شکلهای شکست سازه و فروریزش آن ضروری به نظر می رسد و همین موضوع علت اصلی استفاده وسیع از آنالیزهای غیرخطی چون پوش آور در طراحی و ارزیابی لرزه ای سازه هاست.

از این رو در این مقاله بر آن شدیم تا روش های موجود در نشریه FEMA 356، آئین نامه ATC-40 را بررسی کنیم که برای این منظور سه سازه سه بعدی 4، 8، 12 طبقه با سیستم لرزه بر قاب خمشی در دو جهت به کار برده شده تا به یک نتیجه گیری کلی جهت انتخاب روش مناسب برای تحلیل سازه های منظم با سیستم لرزه بر فوق و تعداد طبقات مشخص برسیم. یادآور می شویم که این پایان نامه از روش های تحلیل دینامیکی غیرخطی، روش تحلیل بارافزون چندمودی (مدال) و روش بارافزون سنتی (روش های بارافزون تک مودی) با انتخاب پنج الگوی توزیع باریکناخت، آیین نامه ای، مثلثی، مطابق با مد اول و مطابق با تحلیل دینامیکی طیفی بهره جسته است. کلیه ساختمان ها با فرض اینکه روی خاک نوع II قرار گرفته و اینکه در منطقه با خطر نسبی خیلی زیاد واقع شده براساس طیف استاندارد طراحی استاندارد 2800 (طیف با خطر 10٪ در 50 سال) طراحی شده اند.

2. اصول طراحی لرزه ای به روش عملکردی:

- انتخاب سطح خطر و سطح عملکرد موردانتظار سازه
- تحلیل و برآورد ظرفیت سازه

انواع الگوی بارگذاری جانبی:

الف - الگوهای توزیع بار ثابت در ارتفاع سازه:

- 1- توزیع یکناخت
 - 2- توزیع متناسب با تحلیل استاتیکی خطی
 - 3- توزیع متناسب با مودهای سازه
 - 4- توزیع متناسب با نیروهای حاصل از تحلیل دینامیکی خطی طیفی
- ب - روش های توزیع بار جانبی با الگوی متغیر

4.2. مراحل تعیین تغییر مکان هدف در دستورالعمل FEMA-356:

- 1- دوخطی کردن منحنی ظرفیت
- 2- محاسبه زمان تناوب اصلی مؤثر
- 3- محاسبه ضرایب C_0 و C_1 و C_2 و C_3
- 4- محاسبه تغییر مکان هدف (δ_f)



$$\delta_i = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g$$

5.2. مراحل تعیین نقطه عملکرد در ATC-40:

- 1- تهیه طیف پاسخ الاستیک با میرائی 5٪ برای منطقه براساس سطح خطر مشخص شده و تبدیل آن بصورت طیف بازتاب شتاب- تغییر مکان.
- 2- انتخاب یک نقطه عملکرد اولیه
- 3- با تحلیل بارافزون منحنی ظرفیت سازه که حداقل تا نقطه عملکرد اولیه ادامه دارد، بصورت طیف شتاب- تغییر مکان $(S_a - S_d)$ تبدیل می شود.
- 4- تقریب منحنی ظرفیت سازه با منحنی دوخطی
- 5- محاسبه زمان تناوب و نسبت میرائی معادل (مؤثر) سیستم یکدرجه آزاد الاستیک (معادل)
- 6- محاسبه ضرایب کاهش طیف
- 7- محاسبه نقطه عملکرد جدید: در این قسمت در ATC-40 سه روش برای بدست آوردن نقطه عملکرد تحت عنوان روش A، B و C ارائه شده است.
« روش A همان روش سعی و خطای معمولی می باشد. به اینصورت که نقطه عملکرد جدید بدست آمده، به عنوان نقطه عملکرد اولیه برای مرحله جدید خواهد بود. در اینصورت به گام 3 برگشته و مجدداً مراحل را طی می کنیم، تا اینکه جابجائی نقطه عملکرد بدست آمده کمتر از 5٪ با جابجائی نقطه عملکرد قبل از آن اختلاف داشته باشد.
- « روش B نیز یک روش سعی و خطا است که فرض می شود نقطه تسلیم و شیب منحنی ظرفیت پس از تسلیم همواره ثابت می ماند. این روش تقریباً مشابه روش برنامه ETABS جهت پیدا کردن نقطه عملکرد سازه است.
- « روش C یک روش ترسیمی می باشد و بیشتر برای تحلیل های دستی مناسب می باشد.

3. روش تحقیق

در این پایان نامه 5 الگوی رایج توزیع بار ثابت زیر جهت این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت.

1. الگوی توزیع بار یکنواخت
2. الگوی توزیع بار متناسب با تحلیل استاتیکی خطی (روش آئین نامه ای)
3. الگوی توزیع بار متناسب با مد اول سازه
4. الگوی توزیع بار مثلثی وارونه
5. الگوی توزیع بار متناسب با ترکیب مدها (نیروهای حاصل از تحلیل دینامیکی خطی طیفی، روش

به علاوه به دلیل اهمیت تحلیل بارافزون چندمدی (تحلیل بارافزون مدال) این روش نیز در کنار روش بارافزون سستی (این روش شامل 5 الگوی توزیع بار یادشده می باشد) مورد ارزیابی قرار گرفت تا در نهایت نتیجه گیری جامع تری را در پایان کار ارائه دهیم.

مدل سازی و بارگذاری سازه های مورد ارزیابی:

« مدل ها به صورت 3 بعدی، در پلان و ارتفاع کاملاً منظم و شامل سه سازه 4، 8، 12 طبقه می باشند.

« ارتفاع مرکز به مرکز تمام طبقات 3 متر است.

« دهانه های سازه های مورد بررسی 4 متر می باشند.

« آئین نامه های مورد استفاده مبحث ششم [21]، استاندارد 2800 [22] (شامل پارامترهای وابسته به

منطقه مانند طیف، رابطه برش پایه، نوع خاک و ...)، ASCE/SEI 7-05 [23] (شامل پارامترهای مستقل از

منطقه مانند رابطه دوره تناوب تجربی، ضریب رفتار R، رابطه توزیع برش پایه در ارتفاع، ضریب اضافه مقاومت

(Ω_o) و ...) و AISC2005 [24] است.

« نرم افزار مورد استفاده جهت طراحی و تحلیل مدل ها SAP2000 V14.00 می باشد.

« اتصالات تیر به ستون در تمامی قاب ها به دلیل سیستم خمشی انتخاب شده، به صورت گیردار در نظر گرفته

شده اند.

ترکیب بارهای طراحی:

طبق بند 12.3.4.2 آئین نامه ASCE ضریب افزونگی در ترکیب بارها (ρ redundancy factor)

برابر 1/3 و طبق بند 12.3.4.1 برای در نظر گرفتن اثرات P- Δ و محاسبه جابه جایی نسبی (Drift)، برابر با عدد

1 در نظر گرفته می شود. در این روابط S_{DS} شتاب طیفی نظیر 0/2 ثانیه در طیف طراحی می باشد و برابر با

$$S_{DS} = A \times B(T = 0.2 \text{ sec}) = 0.35 \times 2.5 = 0.875 \text{ sec}$$

« ترکیب بارهای پایه جهت طراحی طبق بند 12.4.2.3:

Dead

Dead + Live(snow)

$$(1.0 + 0.14S_{DS})D \pm 0.7\rho Q_E = 1.123D + 0.91Q_E$$

$$(1.0 + 0.105S_{DS})D \pm 0.525\rho Q_E + 0.75L(\text{snow}) = 1.092D + 0.683Q_E + 0.75L$$

$$(0.6 - 0.14S_{DS})D \pm 0.7\rho Q_E = 0.478D + 0.91Q_E$$

« ترکیب بارهای ویژه لرزه ای طبق بند 12.4.3.2:

$$0.7\Omega_0 Q_E = 1.123D + 1.4Q_E \pm 1.(1.0 + 0.14S_{DS})D$$

$$0.525\Omega_0 Q_E + 0.75L(\text{snow}) = 1.092D + 1.05Q_E + 0.75L \pm 2.(1.0 + 0.105S_{DS})D$$

$$0.7\Omega_0 Q_E = 0.478D + 1.4Q_E \pm 3.(0.6 - 0.14S_{DS})D$$

طبق بند 12.4.3.3 آیین نامه ASCE07 در استفاده از ترکیب بارهای ویژه لرزه ای که شامل (Ω_0)

می باشند، می توان تنش مجاز جهت طراحی را تا $1/2$ افزایش داد.

ترکیب بارهای ثقلی:

$$Q_G = 1.1(Q_d + Q_{Le}) = 1.1(DL + 0.25LL) = 1.1DL + 0.275LL$$

$$Q_G = 0.9(Q_d)$$

مشخصات شتاب نگاشت های بکار رفته در تحلیل:

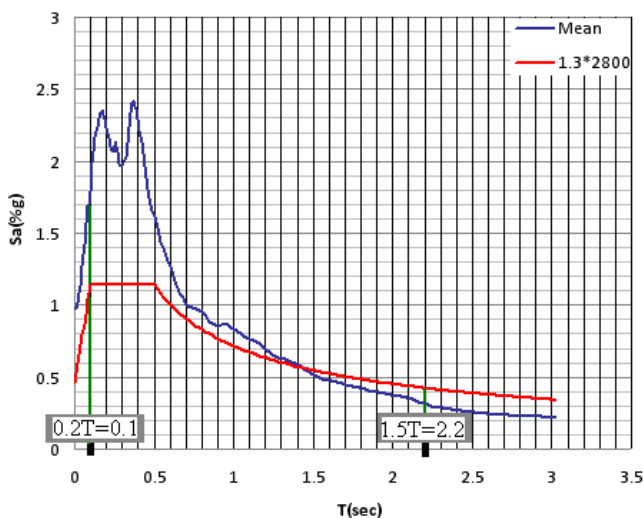
1- نگاشت ها بر روی خاک نوع II ($360 \text{ m/s} \leq V_{S(30m)} \leq 760 \text{ m/s}$) ثبت شده اند.

2- فاصله ایستگاه های ثبت تا مرکز سطحی زلزله بین 20 تا 45 کیلومتر می باشد.

3- ماکزیمم شتاب زمین (PGA) در رکوردها بین 0/26 و 0/79 شتاب ثقل می باشند.

با اعمال ضرایب مقیاس، متوسط هفت شتاب نگاشت (هر شتاب نگاشت نماینده یک زوج شتاب نگاشت

SRSS شده می باشد) نسبت به $1/3$ طیف طرح استاندارد به مانند شکل (1) در می آید:



شکل (1): متوسط هفت شتاب نگاشت نسبت به $1/3$ طیف طرح استاندارد

در این مقاله، تحلیل دینامیکی غیرخطی با استفاده از روش HHT (Hilber-Hughes-Taylor) انجام

گردیده است.

4. نتایج و تفسیر آنها

کمیت‌های پاسخ در ارائه نتایج تحلیل‌های استاتیکی غیرخطی در این تحقیق به‌ازای سطح خطر 10٪ و سطح عملکرد ایمنی جانی تعیین شده است.

ارزیابی کمیت‌های پاسخ:

1- جابه‌جایی کلی طبقات و بام

2- جابه‌جایی نسبی طبقات بصورت درصدی از ارتفاع طبقه

3- برش طبقات

4- لنگر واژگونی طبقات

FEMA-356						
number of Story	Parameter & Values		مود اول	مثلی وارونه	یکنواخت	آئین نامه ای
4	Parameter	Floor Displacement	5%	4%	10%	4%
	Value of Parameter in...	FEMA-356	29.80	28.80	24.80	28.80
		Dynamic Analysis	22.86			
	Parameter	InterStory Drift	10%	10%	15%	11%
	Value of Parameter in...	FEMA-356	2.88%	2.84%	2.61%	2.86%
		Dynamic Analysis	2.25%			
	Parameter	Story Shear	22%	20%	22%	18%
	Value of Parameter in...	FEMA-356	265.8	257.03	255.87	264.2
		Dynamic Analysis	498.3			
	Parameter	Overturning Moment	14%	15%	19%	15%
Value of Parameter in...	FEMA-356	797.4	771.09	767.61	792.6	
	Dynamic Analysis	290.22				
8	Parameter	Floor Displacement	10%	14%	15%	10%
	Value of	FEMA-356	67.44	64.44	86.17	67.44

	Parameter in...	Dynamic Analysis	74.93			
	Parameter	InterStory Drift	10%	13%	15%	13%
	Value of Parameter in...	FEMA-356	2.75%	2.17%	2.12%	2.83%
		Dynamic Analysis	2.50%			
	Parameter	Story Shear	31%	30%	33%	28%
	Value of Parameter in...	FEMA-356	568.9	577.12	552.42	593.61
		Dynamic Analysis	824.46			
	Parameter	Overturning Moment	18%	20%	21%	27%
Value of Parameter in...	FEMA-356	8160	7960.8	7860.8	7263.8	
	Dynamic Analysis	9950.4				
12	Parameter	Floor Displacement	7%	8%	15%	7%
	Value of Parameter in...	FEMA-356	84.45	83.54	104.43	84.45
		Dynamic Analysis	90.805			
	Parameter	InterStory Drift	16%	17%	20%	15%
	Value of Parameter in...	FEMA-356	3.09%	2.21%	2.13%	2.26%
		Dynamic Analysis	2.66%			
	Parameter	Story Shear	30%	36%	35%	30%
	Value of Parameter in...	FEMA-356	681.9	623.33	633.1	681.76
		Dynamic Analysis	973.95			
	Parameter	Overturning Moment	29%	25%	31%	26%
Value of Parameter in...	FEMA-356	9037	9546.14	8782.4	9418.84	
	Dynamic Analysis	12728.22				

ATC-40

number of Story	Parameter & Values		مود اول	مثلی وارونه	یکنواخت	آئین نامه ای
4	Parameter	Floor Displacement	5%	4%	10%	4%

	Value of Parameter in...	ATC-40	18.50	18.00	16.50	18.00
		Dynamic Analysis	22.86			
	Parameter	InterStory Drift	15%	15%	14%	15%
	Value of Parameter in...	ATC-40	1.83%	1.85%	1.71%	1.85%
		Dynamic Analysis	2.25%			
	Parameter	Story Shear	17%	16%	14%	16%
	Value of Parameter in...	ATC-40	217.7	219.11	194.40	202.40
		Dynamic Analysis	498.3			
	Parameter	Overturning Moment	17%	17%	20%	17%
	Value of Parameter in...	ATC-40	653.1	657.33	583.2	607.2
	Dynamic Analysis	290.22				
8	Parameter	Floor Displacement	12%	15%	16%	12%
	Value of Parameter in...	ATC-40	65.94	63.69	86.92	65.94
		Dynamic Analysis	74.93			
	Parameter	InterStory Drift	12%	16%	19%	15%
	Value of Parameter in...	ATC-40	2.80%	2.10%	2.02%	2.88%
		Dynamic Analysis	2.50%			
	Parameter	Story Shear	37%	35%	33%	33%
	Value of Parameter in...	ATC-40	519.42	535.9	552.42	552.42
		Dynamic Analysis	824.46			
	Parameter	Overturning Moment	18%	22%	23%	21%
Value of Parameter in...	ATC-40	8160	7761.8	7661.8	7860.8	
	Dynamic Analysis	9950.4				
12	Parameter	Floor Displacement	21%	22%	21%	21%
	Value of Parameter in...	ATC-40	71.74	70.83	109.87	71.74
		Dynamic Analysis	90.805			

Parameter	InterStory Drift	25%	27%	29%	25%
Value of Parameter in...	ATC-40	3.33%	1.94%	1.89%	1.99%
	Dynamic Analysis	2.66%			
Parameter	Story Shear	37%	39%	31%	36%
Value of Parameter in...	ATC-40	613.6	594.11	672	623.33
	Dynamic Analysis	973.95			
Parameter	Overturning Moment	29%	34%	36%	29%
Value of Parameter in...	ATC-40	9037	8400.64	8146.4	9037
	Dynamic Analysis	12728.22			

5. جمع‌بندی

- 1- تخمین کمیت‌های پاسخ از قبیل جابه‌جایی کلی طبقات، لنگر واژگونی و برش طبقات با استفاده از روش MMPA نسبت به انواع الگوهای توزیع بار برتری دارد.
- 2- تخمین جابه‌جایی طبقات در مدل‌های 4 و 8 طبقه با استفاده از تمامی الگوهای توزیع بار و روش MMPA مناسب بوده و با افزایش ارتفاع مدل‌ها تمامی روش‌ها تخمین دست‌بالایی از کمیت ارائه می‌کنند.
- 3- در محاسبه برش و لنگر واژگونی طبقات روش FEMA 356 در تمامی ساختمان‌ها برتری دارند. این در حالی است که روش ATC-40 تنها در محاسبه جابه‌جایی کلی و نسبی طبقات ساختمان 16 طبقه دارای تخمین بهتری هستند.
- 4- در مواردی که سختی پس از تسلیم مثبت باشد (با یا بدون اثرات $P-\Delta$) تخمین نیازهای لرزه‌ای از طریق تمامی روش‌ها از دقت مناسبی برخوردار است. اما در مواردی که سختی پس از تسلیم منفی باشد (بدلیل اثرات $P-\Delta$) روش FEMA-356 تخمین مناسبی از تغییر مکان هدف ارائه می‌کند. سختی پس از تسلیم در ساختمان‌های 4، 8 و 12 طبقه مثبت است.
- 5- روش‌های بارافزون (NSPs) برای طراحی و ارزیابی سازه‌های کوتاه مرتبه مناسب و قابل اطمینان می‌باشند. ولی اثرات چند درجه‌آزادی خصوصاً در مورد سازه‌های بلند باعث انحراف زیادی در تخمین کمیت‌های پاسخ توسط روش‌های بارافزون تک مودی می‌شود. در یک دید کلی روش بارافزون مودال اصلاح‌شده نسبت به روش‌های تک مودی تخمین بهتری از کمیت‌های پاسخ دارد.

6. تقدیر و تشکر

در انتها جا دارد که از زحمات بی دریغ استاد ارجمند جناب آقای دکتر احمد نیک‌نام که در تهیه و به ثمر رسیدن این تحقیق نقش به سزایی را داشتند کمال تقدیر و تشکر را بنمایم.

7. مراجع

- [1] SERMIN OGUZ, "EVALUATION OF PUSHOVER ANALYSIS PROCEDURES FOR FRAME STRUCTURES" APRIL 2005
- [2] Krawinkler H. New trends in seismic design methodology. Proc. 10th Eur. Conf. Earthquake Engineering. Vol. 2, Vienna, 1994, Balkema, Rotterdam, Vol. 2, 1995, pp. 821-831
- [3] Applied Technology Council (1996), "Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Building", Report ATC-40. Redwood City.
- [4] Federal Emergency Management Agency (FEMA), 2000, Prestandard and Commentary for the Rehabilitation of Building, FEMA-356.
- [5] FEMA 440, 2005, "Draft Camera-Ready for the Improvement of nonlinear static seismic Analysis procedures", prepared by the Applied Technology Council (ATC-55 project) for the Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.
- [6] Chopra AK, Goel RK. A modal pushover analysis procedure for estimating seismic demands for buildings. Earthquake and Structural Dynamics 2002, 31:561-582.
- [7] Chopra AK, Goel RK, C Hintamapakdee C. Evaluation of a modified MPA [23] procedure assuming higher modes as elastic to estimate seismic demands Earthquake Spectra 2004. To appear
- [8] Antoniou, S. And Pinho, R. [2004B]. Development And Verification of a Displacement-Based Pushover Procedure. Journal of Earthquake Engineering, VOL. 8, NO 5, PP.643-661.
- [9] Naeim, F. The Seismic Design Handbook, Mc Graw Hill, 2001
- [10] SAP2000 Nonlinear, Analysis Reference Manual, Version 14, August 2008, Computers & Structures, INC. Berkeley, California. Earthquake Spectra, Vol. 5, No. 3, August, Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, CA.
- [11] مبحث ششم از مقررات ملی مدل، بارهای وارد بر مدل، دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی مدل، 1381
- [12] آیین‌نامه طراحی مدل‌ها در برابر زلزله - استاندارد 2800 ویرایش سوم (1384)، کمیته دائمی بازنگری آیین‌نامه طراحی مدل‌ها در برابر زلزله، مرکز تحقیقات مدل و مسکن.
- [13] ASCE/SEI 7-05. American Society of Civil Engineering, Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures.
- [14] AISC (2005), Specification for Structural Steel Buildings, ANSI/AISC 360-05, March 9, American Institute of Steel Construction, Inc. Chicago, IL.



[15] دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود، نشریه‌ی شماره 360، معاونت امور فنی، دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله، 1385.

[16] Bracci, J. M. Kunnath. S. K. and reinhorn. A. M. [1997]. Seismic performance and retrofit evaluation of reinforced concrete structure. Journal of Structural Engineering, 123(1), PP. 3-10