

# تحلیل دو جهته غیر خطی لرزه ای به روش زمان دوام

امیرعلی بزمونه<sup>i</sup>، همایون استکانچی<sup>ii</sup>

## چکیده

روش زمان دوام یک روش رانشی دینامیکی در تحلیل لرزه ای سازه است که عملکرد لرزه ای سازه را تحت توابع شتاب افزایشده از پیش طراحی شده بررسی میکند. این روش - به عنوان یکی از کاربرد های اساسی خود - قصد دارد که پاسخ سازه را در زلزله های با شدت و دوره بازگشت متفاوت با صرف تلاش محاسباتی بسیار کمتر تخمین بزند و در کاربردهای ارزیابی لرزه ای و طراحی بر اساس عملکرد بکار گرفته شود. با توجه به ماهیت چند جهته بودن زلزله و لزوم انجام تحلیل دو جهته در برخی سازه ها نظیر ساختمانهای نامنظم در پلان و دارای ستونهایی که در محل تقاطع دو یا چند سیستم مقاوم لرزه ای قرار دارند، روشی برای تحلیل دو جهته توسط روش زمان دوام ارائه شد. برای نمایش و ارزیابی این روش سازه قاب خمشی فولادی سه بعدی نامنظم در پلان، تحت تحلیل دو جهته زمان دوام قرار گرفت. کارایی روش و دقت نتایج در مقایسه با نتایج حاصل از تحلیل تاریخچه زمانی توسط ۷ زوج شتابنگاشت در دو جهت و ۴ سطح خطر (جمعا ۵۶ تحلیل NTH) نشان داده شد.

**کلمات کلیدی:** ارزیابی لرزه ای، تحلیل دو جهته غیر خطی، روش زمان دوام، نامنظمی در پلان، قاب خمشی فولادی

تاریخ پذیرش مقاله: ۸۹/۲/۱۰

تاریخ دریافت مقاله: ۸۸/۰۹/۲۵

<sup>i</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی عمران: amirgimt@yahoo.com

<sup>ii</sup> دانشیار دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی عمران: stkanchi@sharif.edu

هدف جنبی دیگر این مقاله، در ادامه ورود روش زمان دوام به حوزه های غیر خطی و کاربردی تحلیل لرزه ای، ارزیابی این روش در تحلیل لرزه ای ساختمانهای قاب خمشی با تشکیل مفصل خمشی در تیر ها، تسلیم اندرکنشی ستونها و غیر خطی شدن چشمه اتصال است.

## ۲- سیستم سازه ای، مدل سازی، شتاب نگاشتها و توابع شتاب

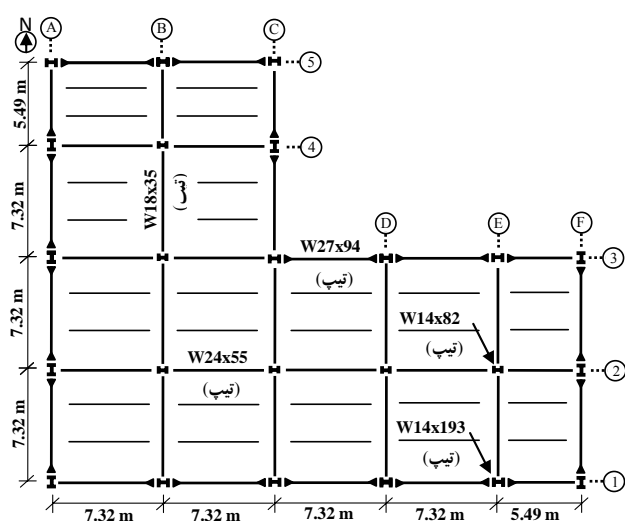
### ۲-۱- سیستم سازه و مدل تحلیلی

سازه مورد بررسی برای نشان دادن اهداف مقاله در یک مثال کاربردی، ساختمان ۳ طبقه قاب خمشی فولادی نامنظم در پلان، مثال نرم افزار Perform [۴] است. که طبق تحلیل خطی در محدوده مجاز میباشد. در تحلیل غیر خطی تحلیل ها با ترکیب بار  $D + 0.25L$  برای بارهای ثقلی

## ۱- مقدمه

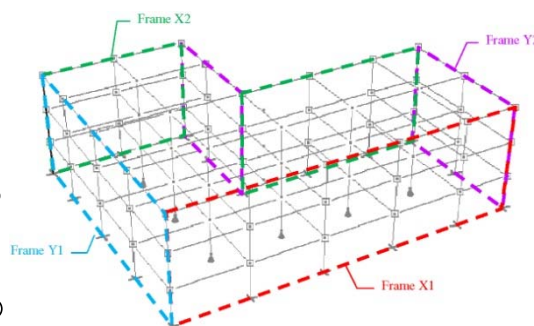
روش زمان دوام برای تحلیل و ارزیابی لرزه ای سازه ها در سالهای اخیر به عنوان روشی سریع و آسان فهم معرفی شده است. و در حوزه های تحلیل یک جهته (۲ بعدی) خطی و غیر خطی بکار گرفته شده است [۱ و ۲] و [۳]. با توجه به ماهیت چند جهته بودن زلزله و حساسیت برخی سازه ها نظیر ساختمانهای نامنظم در پلان و ساختمانهای دارای ستونهایی که در محل تقاطع دو یا چند سیستم مقاوم باربر جانبی قرار دارند، به تحلیل دو جهته لزوم ورود این روش به حوزه تحلیل چند جهته و سه بعدی احساس میشود. هدف این مقاله ارائه روشی است که بتوان روش زمان دوام را در تحلیل غیر خطی دینامیکی دو جهته سازه ها بکار گرفت.

میدآند. ساختمانهای دارای ستونهایی که در محل تقاطع دو یا چند سیستم مقاوم باربر جانبی قرار دارند و دیگر ساختمانهای نامنظم مقاومتی در پلان. معیار این آیین نامه برای تشخیص نامنظمی مقاومت پیشگی بدین صورت است: در هر طبقه اگر دیافراگم طبقه بالایی انعطاف پذیر نباشد، در هر جهت، نسبت DCR (نسبت نیاز به ظرفیت) بحرانی اعضا برای اعضای اصلی در یک طرف مرکز مقاومت طبقه، به DCR اعضای طرف دیگر مرکز مقاومت طبقه، از 1.5 تجاوز کند.



انجام شده است. پلان سیستم سازه ای و مشخصات مقاطع تیرها و ستونها در شکل ۱ نشان داده شده است. مقاومت تسلیم مقاطع تیرها و ستون ها ۳۵۱۵ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع می باشد. بارگذاری روی تیرها شامل بار مرده و زنده برابر 1488 kg/m در جهت شاه تیرهای محیطی شرقی- غربی، 2976 kg/m در جهت شاه تیرهای محیطی شمالی- جنوبی، 1488 kg/m در جهت شاه تیرهای داخلی شرقی- غربی و 2976 kg/m در جهت شاه تیرهای داخلی شمالی- جنوبی میباشد.

آیین نامه ASCE 41-06 [۵] به عنوان مرجعی برای تحلیل غیر خطی، تحلیل دوجته را برای دو حالت الزامی



شکل (۱): سیستم سازه ای و مشخصات مقاطع تیرها و ستونها

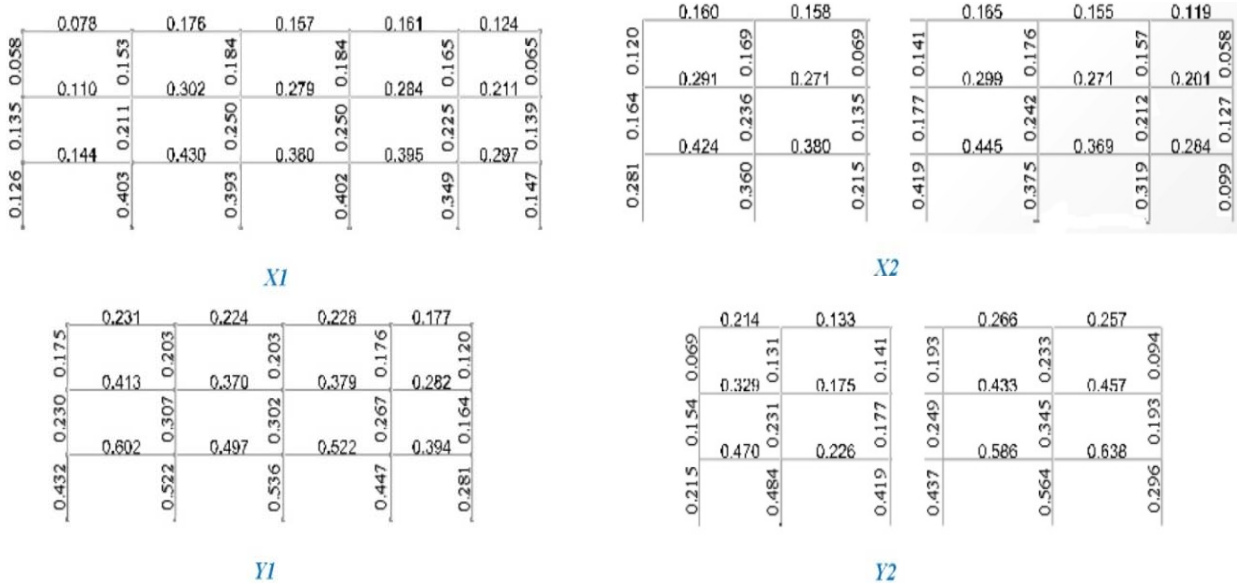
## ۲-۲- مدل تحلیلی اعضا

برای تیرها و ستون های پیرامونی به ترتیب از المان Steel Type , FEMA Beam , و FEMA Column , که پارامترهای Steel Type پذیرش ASCE41-06 با آن هماهنگی دارد و براساس مدل خمش و چرخش تیر است، استفاده شده است. برای مدل سازی ناحیه تقریباً صلب از مرکز ستون تا بر ستون، از خاصیت End Zone for a Beam or Column با فرض سختی ۱۰ برابر سختی اعضای متصل به آن استفاده شده است. برای مدل سازی چشمه اتصال یک المان از نوع المان Connection Panel Zone با سختی سخت شونده 0.02 که کمتر از مقدار مجاز آیین نامه

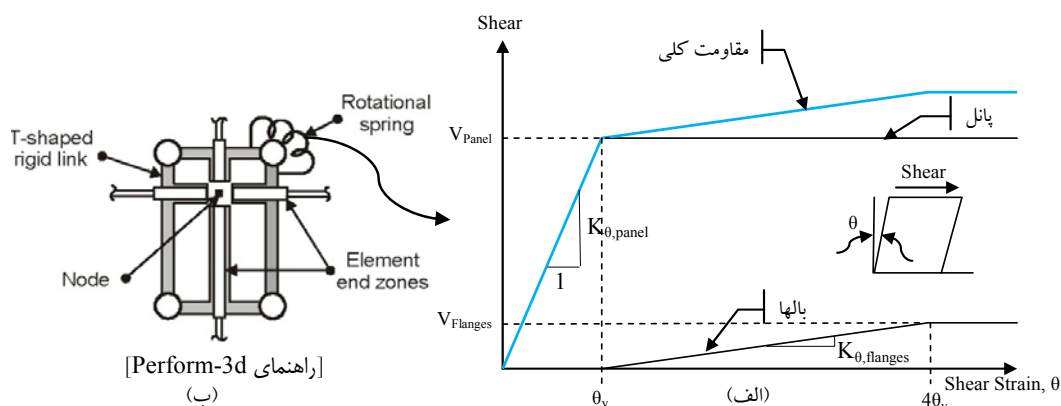
برای بررسی نامنظمی پیشگی مقاومت در سازه مورد بررسی، توسط نرم افزار SAP2000 [۶] بر روی سازه تحلیل خطی انجام شد. برای این کار ضریب زلزله بر اساس آیین نامه ASCE 7-05 [۷] با فرض قرار داشتن ساختمان در شهر تهران، زمین نوع C و با پارامترهای شتاب پاسخ منطقه،  $SS=1.5$ ,  $S1=0.6$  ( معادل  $g$  )  $PGA=0.4$  برای زلزله ۴۷۵ ساله [۸]، محاسبه شد. سپس نسبت نیاز به ظرفیت برای اعضا محاسبه شد (شکل ۲). با توجه به DCR های بدست آمده طبق بند گفته شده، ساختمان مورد بررسی نامنظم مقاومت پیشگی در پلان است. و طبق آیین نامه تحلیل دو جهته برای آن ضروریست و میتواند برای هدف این مقاله بکار گرفته شود.

محوری (P-M-M) در ستونها از روابط پلاستیسیته و با روش El-Tawil و Deierlein [۱۰] در نرم افزار Perform مدل شده است. شکل ۴ - الف سطح تسلیم اندرکنشی خمش و نیروی محوری به روش El-Tawil و Deierlein در کنار حد پذیرش آیین نامه ASCE 41-06 برای ستونها، و همچنین خمش و نیروی محوری برای یک ستون سازه تحت تحلیل دینامیکی غیر خطی را نشان میدهد

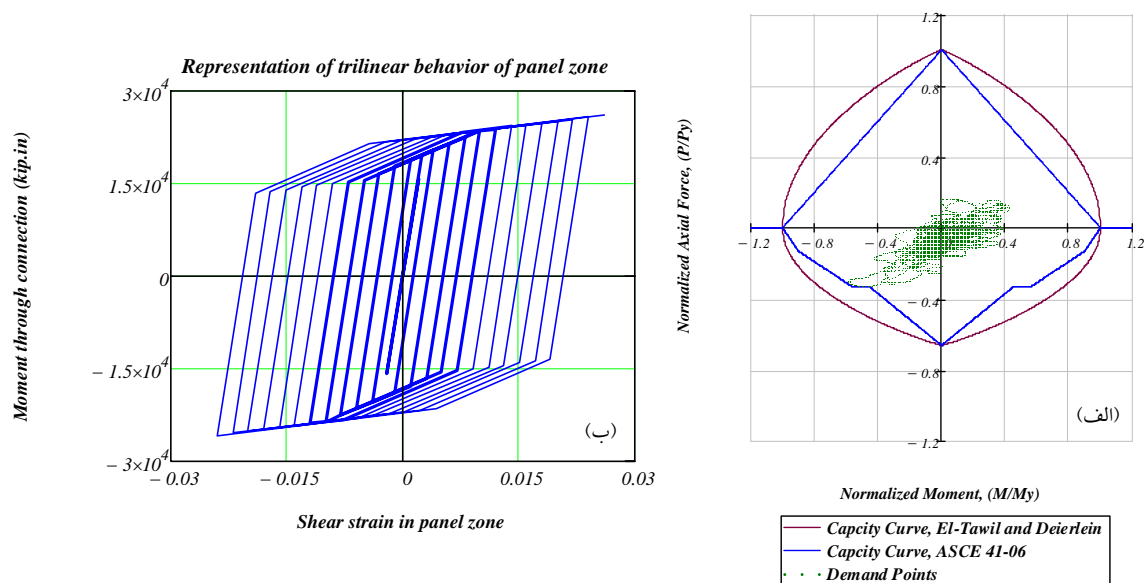
ASCE 41-06 (0.06) می باشد، تعریف شده است. این المان از نوع المان ۱۲ گرهی راوینکلر [۹] می باشد. سختی و مقاومت فنر معادل بر اساس تیر و ستون متقاطع محاسبه میشوند. شکل ۳ مدل تحلیلی المان چشمه اتصال و جزئیات و فرضیات سختی و مقاومت فنر در مدل تحلیلی چشمه اتصال را نمایش میدهد. همچنین در شکل ۴ چرخه پسماند نوعی چشمه اتصال تولید شده در نرم افزار آمده است. سطح تسلیم اندرکنش خمش و نیروی



شکل ۲ - مقدار DCR های اعضای سازه در تحلیل خطی، تحقیق در مورد نامنظمی پیشی مطابق بند 2.4.1.1.4 آیین نامه ASCE 41-06.



شکل ۳ - (الف) جزئیات و فرضیات سختی و مقاومت فنر در مدل تحلیلی چشمه اتصال، (ب) مدل تحلیلی المان چشمه اتصال.



شکل ۴ - (الف) سطح تسلیم اندرکنشی خمش و نیروی محوری به روش El-Tawil و Deierlein در کنار حد پذیرش آیین نامه ASCE 41-06 برای ستونها، و خمش و نیروی محوری برای یک ستون سازه تحت تحلیل دینامیکی غیر خطی، (ب) چرخه پسماند نوعی چشمه اتصال.

۱/۳ طیف آیین نامه ASCE 41-06 در ۴ سطح خطر (شکل ۵- الف) مقیاس سازی انجام شده است. و برای تحلیل زمان دوام از ۳ تابع شتاب سری  $h$  استفاده شده است. که در مجموع با این زوج شتابنگاشتها و توابع شتاب ۶۲ تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی بر سازه انجام شد. شماره های خاکستری در جدول ۱ مربوط به مولفه قوی تر (با دامنه طیفی بزرگتر) زلزله است.

## ۲-۳- شتابنگاشتها و توابع شتاب زمان دوام

در تحلیل تاریخچه زمانی بر اساس شتابنگاشتها واقعی، از شتابنگاشتها استفاده شده در تحقیق FEMA440 برای زمین نوع C [۱۱]، ۷ شتابنگاشتی که در تولید توابع شتاب زمان دوام سری  $h$  بکار گرفته شده است [۲]، و البته مولفه افقی دیگر هر زلزله استفاده شده (جدول ۱) و به روش متوسط گیری (برای جزئیات رجوع کنید به مرجع [۸]) بین دو بازه پریودی 0.2 تا 1.5 برابر پریود سازه به

جدول (۱): رکوردهای حرکت زمین در زمین خاک نوع ۲

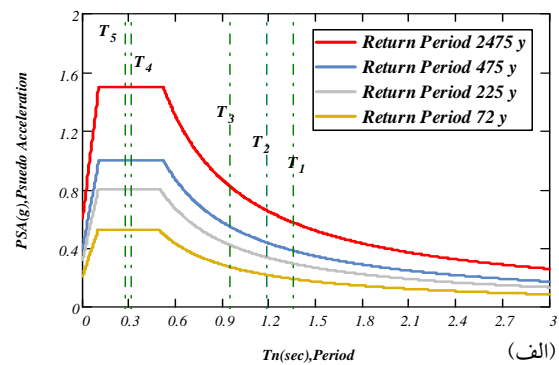
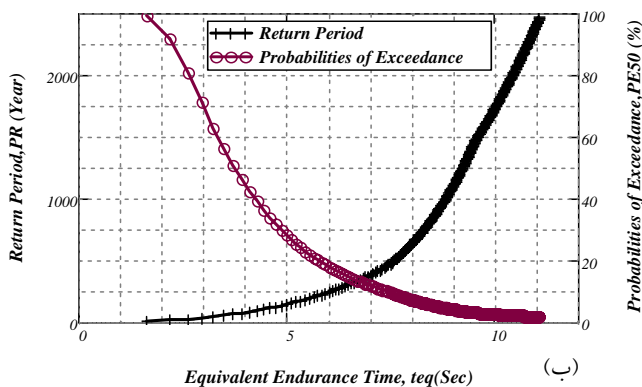
No	Date	Earthquake name	Record name	Magnitude (Ms)	Station number	PGA (g)	Scale factor
1	10/17/89	Loma Prieta	LPAND270	7.1	1652	0.244	2.6092
2			LPAND360			0.24	
3	06/28/92	Landers	LADSP000	7.5	12149	0.171	3.6378
4			LADSP090			0.154	
5	04/24/84	Morgan Hill	MHG06090	6.1	57383	0.292	1.8362
6			MHG06000			0.222	
7	10/17/89	Loma Prieta	LPGIL067	7.1	47006	0.36	2.2035
8			LPGIL337			0.325	
9	10/17/89	Loma Prieta	LPLOB000	7.1	58135	0.45	2.2886
10			LPLOB090			0.395	
11	01/17/94	Northridge	NRORR360	6.8	24278	0.514	1.0731
12			NRORR090			0.568	
13	10/17/89	Loma Prieta	LPSTG000	7.1	58065	0.512	1.437
14			LPSTG090			0.324	

### ۳- تحلیل دو جهت زمان دوام و بررسی

#### صحت نتایج

زمان هدف مبنا مشابه طیف هدف مبنا (طیف مبنای تولید توابع شتاب زمان دوام) و تا زمان دیگری "a" برابر زمان هدف مبنا مشابه "a" برابر طیف هدف میباشد. در نتیجه از نگاه دیگر به این روش، پاسخ سازه تا زمانهای مختلف این توابع شتاب معرف تقاضای زلزله در سطوح خطر متفاوت میباشد. در شکل ۵- ب رابطه هر زمان هدف با دوره بازگشت و احتمال فراگذشت برای سازه مورد بررسی محاسبه و آورده شده است (برای جزئیات روش محاسبه رجوع شود به [۹]).

روش زمان دوام یک روش رانشی دینامیکی در تحلیل لرزه ای سازه است که عملکرد لرزه ای سازه را تحت توابع شتاب افزاینده از پیش طراحی شده (شکل ۳ - الف) بررسی میکند [۲۱]. آستانه زمانی که سازه از حالات حدی دلخواه (مثلا دریافت مجاز و یا چرخش مجاز تیرها) فرا تر رود، "زمان دوام" آن سازه میباشد. توابع شتاب زمان دوام طوری طراحی شده اند که طیف پاسخ آنها تا



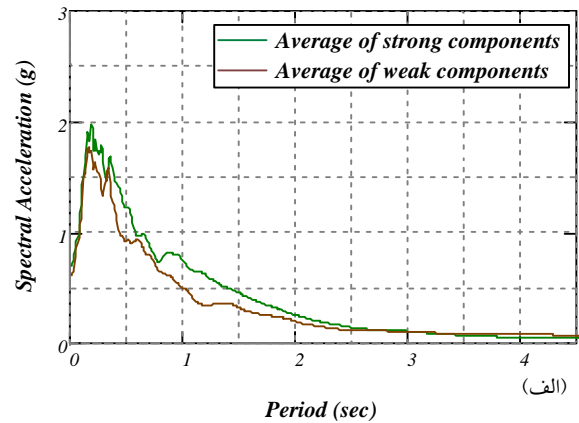
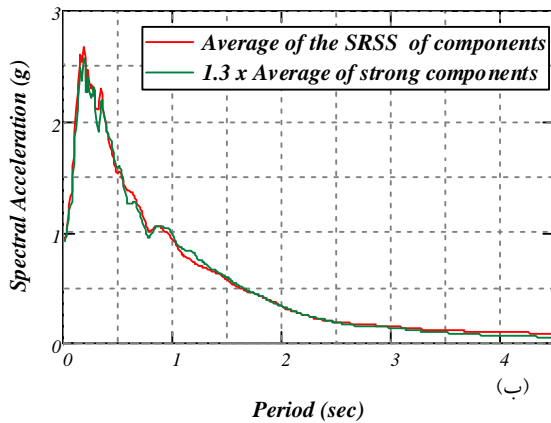
شکل ۵- (الف) طیفهای آیین نامه برای سطوح خطر مختلف و پیرودهای سازه، (ب) طیفهای توابع شتاب زمان دوام سری e تا زمان های مختلف و متوسط طیفهای مقیاس شده شتابنگاشتها (طیفهای هدف)

شتاب نگاشتها در آیین نامه ASCE 41-06 گرفته شد. روش مقیاس سازی زوج شتابنگاشتها در این آیین نامه بدین صورت است که باید متوسط SRSS (ریشه مجموع مجذورهای) طیفهای با میرایی ۵٪ زوج شتابنگاشتهای مقیاس شده، در بازه پیرودی ۰/۲ تا ۱/۵ برابر پیرودهای اصلی سازه باید بالای ۱/۳ برابر طیف آیین نامه قرار بگیرد. ضریب ۱/۳ به نوعی بازگو کننده تفاوت دامنه طیفی دو مولفه زوج شتابنگاشتهاست که دامنه طیفی یک مولفه تا حدودی کمتر از دامنه طیفی مولفه دیگر است. در صورت برابر بودن دامنه طیفی دو مولفه ضریب ۱/۳ باید برابر  $\sqrt{1+1} = 1.4$  می بود (عددی که در آیین نامه ۲۸۰۰ مبنای مقیاس سازی متوسط SRSS طیفها میباشد. البته باید توجه شود که در این آیین نامه ابتدا دو مولفه به شتاب g نرمال شده و هم دامنه میشوند، امری که کمی

در تحلیل دو جهت دینامیکی بر اساس شتابنگاشتها طبق آیین نامه مولفه های مقیاس شده زلزله باید بطور همزمان به سازه اعمال شوند [۱۲]. با نگاهی به طیف دو مولفه شتابنگاشتهای زلزله ها دیده میشود که این دو مولفه از شدت یکسانی برخوردار نیستند و دامنه طیفی یک مولفه تا حدودی کمتر از دامنه طیفی مولفه دیگر است (شکل ۶ الف). حال در روش تحلیل زمان دوام اگر بخواهیم توابع شتاب را به طور همزمان در دو راستای متعامد بر سازه اعمال کنیم دلیل دامنه طیفی تقریباً یکسان توابع شتاب در هر زمان، پاسخهای بدست آمده دست بالاتر از نتایج تحلیل توسط زوج شتابنگاشتها میشود. این مسئله را میتوان توسط اعمال دو تابع شتاب زمان دوام یکی با ضریب یک و دیگری با ضریبی کوچکتر از یک ( $\alpha$ ) حل کرد. ایده انتخاب ضریب ( $\alpha$ ) از روش مقیاس سازی زوج

کنار هم کشیده شده اند که نمایانگر تطابق خوب آنهاست و در نتیجه منطقی بودن این ضریب حداقل برای این شتابنگاشتها مشاهده میشود.

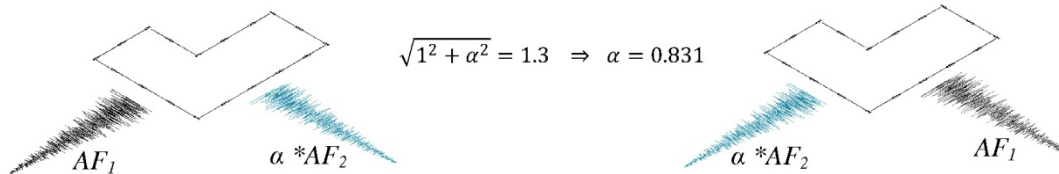
سوال برانگیز است). برای اطمینان از منطقی بودن عدد 1.3 در شکل 6 ب میانگین SRSS زوج شتابنگاشتها و 1.3 برابر میانگین طیف مولفه های قوی شتابنگاشتها در



شکل ۶- (الف) مقایسه میانگین طیف مولفه های قوی و ضعیف شتابنگاشتها، (ب) مقایسه میانگین SRSS زوج شتابنگاشتها و 1.3 برابر میانگین طیف مولفه های قوی شتابنگاشتها.

دوام به سازه در دو جهت اعمال شود و سپس ماکزیم پاسخ سازه بین این دو تحلیل پاسخ سازه میباشد. شکل 7 بصورت شماتیک این روش را نشان میدهد.

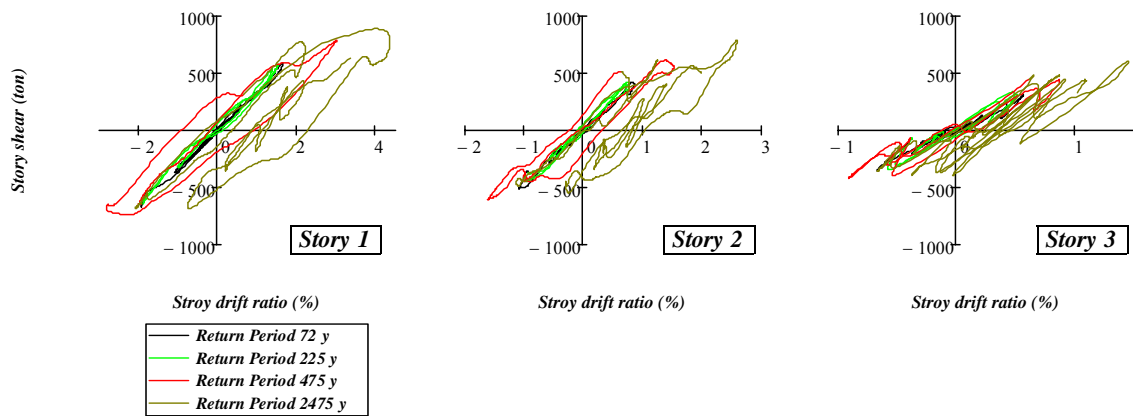
در نتیجه اگر ضریبی به یکی از توابع شتاب اعمال کنیم که SRSS زوج طیف آنها 1.3 برابر طیف یکی از آنها شود، میتواند ترکیب آنها بعنوان تحلیل دوجته به روش زمان



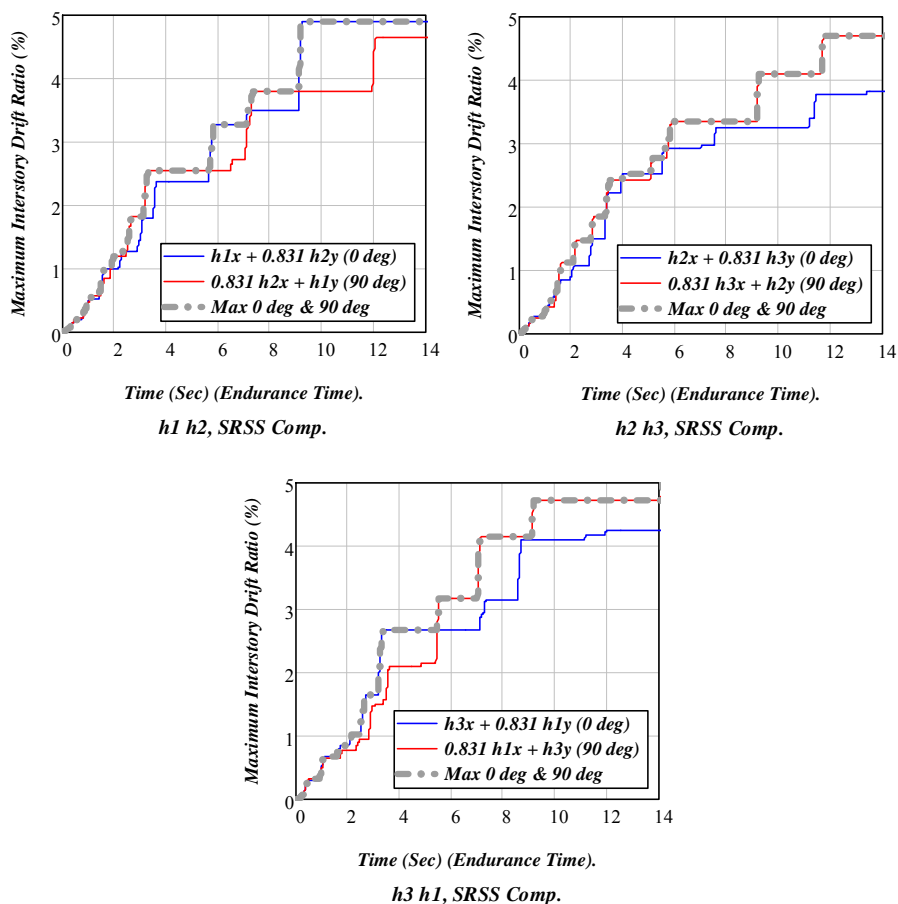
شکل ۷- نحوه انجام تحلیل دوجته به روش زمان دوام

کلی در هر زمان معرفی میشود که در نتیجه منحنی پاسخ کلی ماکزیم برای تمام اعضا در طول زمان برای هر تابع شتاب رسم میشود. سپس بین سه نمودار مربوط به تحلیل ۳ زوج تابع شتاب بعد ماکزیم گیری بین هر زوج تحلیل (شکل ۹) میانگین گیری میشود و بعد از هموار کردن نمودار بدست آمده به روش حرکت متوسط نمودار نهایی رسم میشود (شکل ۱۱) (در مورد گریز بین طبقه ای این کار برای گریز طبقات انجام میشود). مقدار پاسخ یا شاخص خرابی در هر زمان در این نمودار بیانگر تقاضای زلزله با دوره بازگشت معادل هر زمان دوام، از سازه میباشد.

نحوه استخراج منحنی های پاسخ- زمان در روش زمان دوام بدین صورت است: ابتدا سازه تحت سه شتاب نگاشت زمان دوام تحلیل میشود. شکل ۸ رابطه بین برش و گریز بین طبقه ای، برای طبقات مختلف و تحت توابع شتاب ETA40h01-02 را نمایش میدهد که نشانگر رفتار کلی سازه در سطوح مختلف خطر است و میتوان در آن میزان ورود سازه به ناحیه غیر خطی را در هر سطح خطر مشاهده کرد. پس از انجام تحلیل مقدار پاسخ مورد نظر مثلا کرنش مهاربند ها برای هر مهاربند در طول زمان بدست می آید. سپس در هر زمان ماکزیم قدر مطلق پاسخ در هر زمان، تا آن زمان بدست می آید. سپس ماکزیم عدد بدست آمده برای همه اعضا به عنوان پاسخ



شکل ۸- رابطه بین برش و گریز بین طبقه‌ای برای طبقات مختلف و تحت توابع شتاب  $\text{ETA40h01-02}$  نشانگر رفتار کلی سازه سطوح مختلف خطر



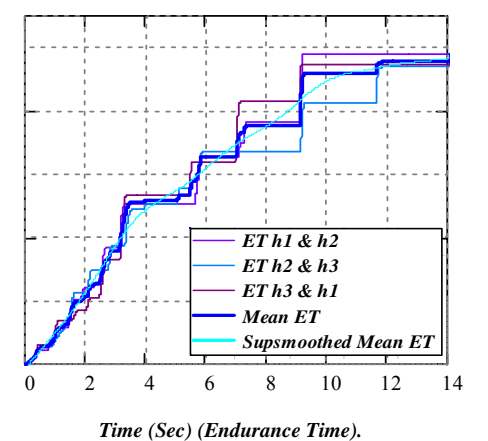
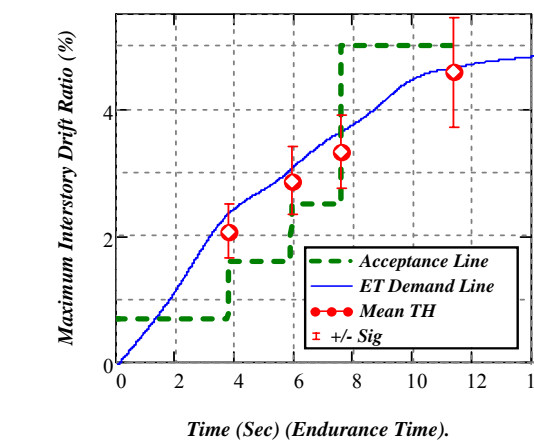
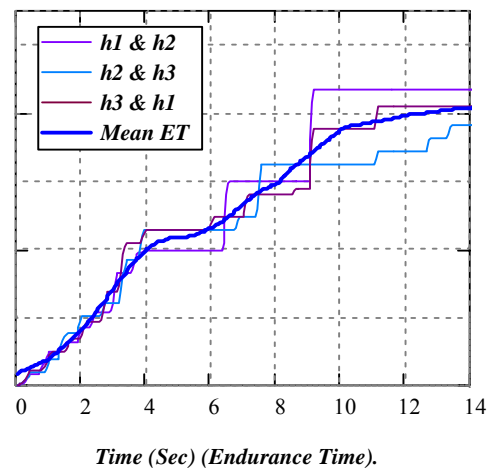
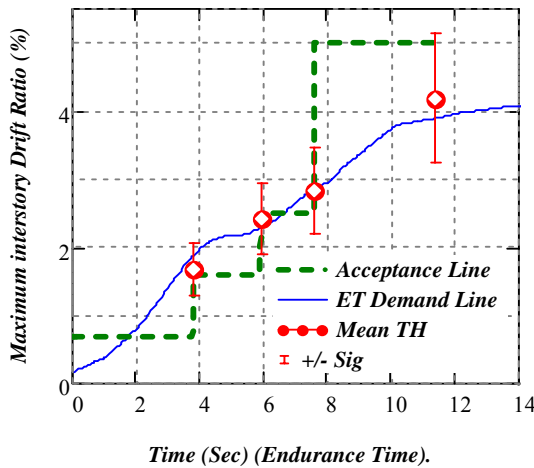
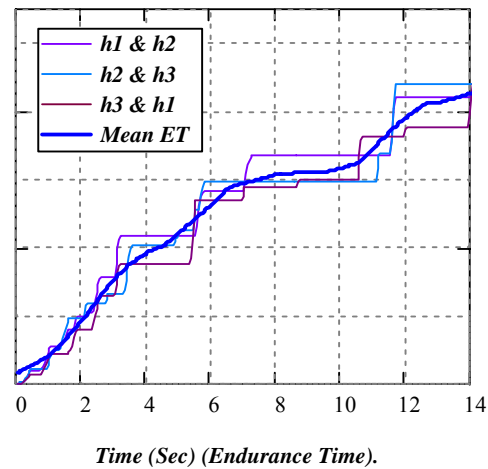
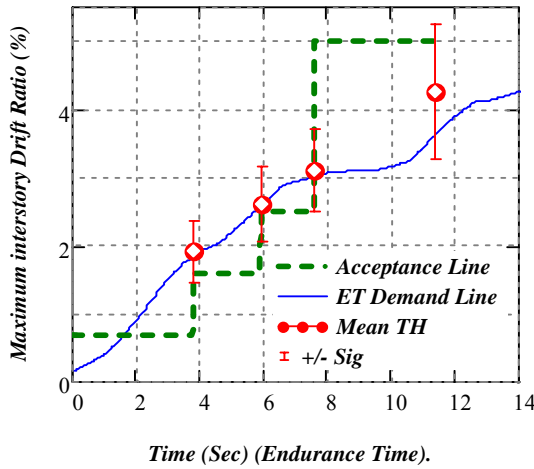
شکل ۹ - منحنی تقاضای زمان دوام و معیارهای پذیرش برای بیشترین گریز بین طبقه‌ای، نمایش نحوه تولید منحنی‌ها در تحلیل دو جهته، جمع برداری راستای  $X$  و  $Y$ .

برای بررسی صحت منحنی‌های تقاضای زمان دوام، در ۴ سطح خطر با متوسط دوره بازگشت ۷۲، ۲۲۵، ۴۷۵ و ۲۴۷۵ ساله، نتایج توسط تحلیل تاریخچه زمانی توسط ۷ شتابنگاشت زلزله معرفی شده بررسی میشود. برای این منظور میانگین شتابنگاشتها با مقیاس اولیه در جدول ۱،

به طیف آیین نامه در سطح خطر مربوطه مقیاس شده و به سازه اعمال میگردد. که در مجموع ۵۶ تحلیل برای ارزیابی نتایج زمان دوام در سه سطح خطر انجام گرفته است. میانگین ماکزیمم پاسخ تحت ۷ زوج شتابنگاشت با یکبار چرخش و انحراف معیار آنها (برای بررسی

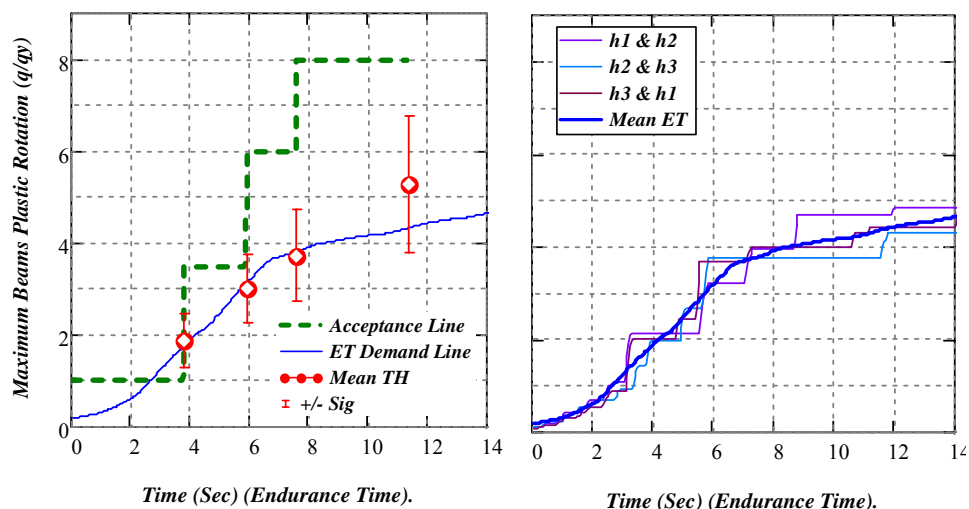
مشاهده میشود نتایج روش زمان دوام از دقت خوبی برخوردار میباشند.

پراکنندگی نتایج) در شکلهای ۱۰ تا ۱۳ در کنار منحنی های تقاضای زمان دوام آورده شده است. همطور که

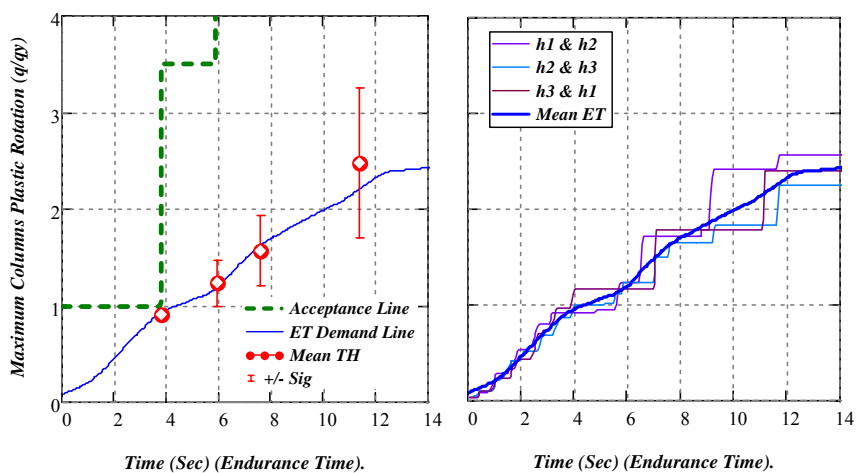


شکل ۱۰ - منحنی تقاضای زمان دوام و معیار های پذیرش برای بیشترین گریز بین طبقه ای و مقایسه نتایج با تحلیل تاریخچه زمانی در سطوح خطر متفاوت.

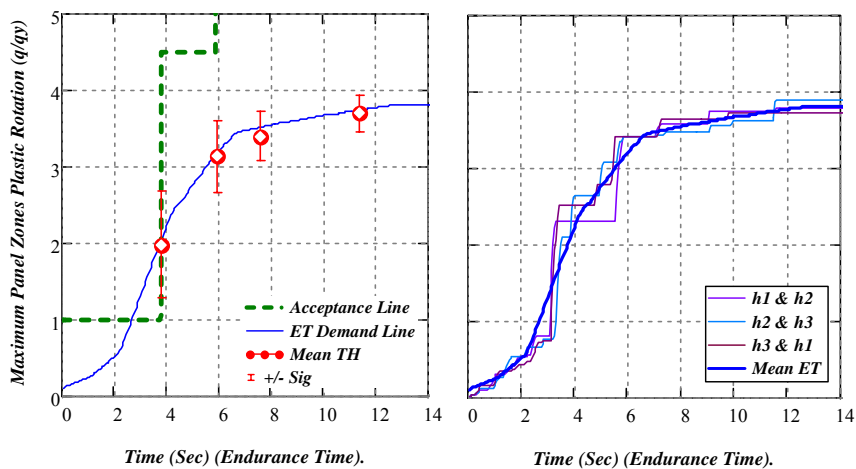




شکل (۱۱) - منحنی تقاضای زمان دوام و معیارهای پذیرش برای بیشترین رخس پلاستیک تیرها و مقایسه نتایج با تحلیل تاریخچه زمانی در سطوح خطر متفاوت



شکل ۱۲ - منحنی تقاضای زمان دوام و معیارهای پذیرش برای بیشترین چرخس پلاستیک ستونها و مقایسه نتایج با تحلیل تاریخچه زمانی در سطوح خطر متفاوت.



شکل ۱۳ - منحنی تقاضای زمان دوام و معیارهای پذیرش برای بیشترین چرخس پلاستیک چشمهای اتصال و مقایسه نتایج با تحلیل تاریخچه زمانی در سطوح خطر متفاوت.

Seismology Geneva, Switzerland, 3-8 september, Paper Number 443

Estekanchi, H.E., Valamanesh, V. and Vafai, A. (2007), "Application of Endurance Time Method in Linear Seismic Analysis", Engineering Structures, doi:10.1016/j.engstruct.2007.01.009.

Estekanchi, H. E., Arjomandi, K and Vafai, A. (2007), "Estimating Structural Damage of Steel Moment Frames by Endurance Time Method", Journal of Constructional Steel Research, doi:10.1016/j.jcsr.2007.05.010

PERFORM-3D, (2007), "Nonlinear analysis and performance assessment for 3D structures", Version 4.03, Computers and Structures, Inc. Berkeley, California.

ASCE, (2006), "Seismic Rehabilitation of Existing Buildings", ASCE Standard ASCE/SEI 41-06, American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia.

SAP2000, (2007), "Linear and Nonlinear Static and Dynamic Analysis and Design Of Three-Dimensional Structures", Version 11.0.8, Computers and Structures, Inc. Berkeley, California.

ASCE, (2006), "Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures", ASCE Standard ASCE/SEI 7-05, Including Supplement No. 1, American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia.

بزمونه، ا.ع. و استکانچی، ه. (۱۳۸۸)، " زمان هدف معادل سطوح خطر زلزله در روش زمان دوام"، مجموعه مقالات هشتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران، ۲۱-۲۳ اردیبهشت.

FEMA 355-F. (2000) "State of the Art Report on Performance Prediction and Evaluation of Steel Moment-Frame Structures", Federal Emergency Management Agency, Washington, DC.

El-Tawil, S., Deierlein, G. (2001), "Nonlinear Analysis of Mixed Steel-Concrete Frames, Parts I and II", Journal of Structural Engineering, Vol. 126, No. 6

FEMA 440 (2005). "Improvement of nonlinear static seismic analysis procedures", Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C., 2 v.

FEMA 274 (1997). "NEHRP commentary on the guidelines for the seismic rehabilitation of buildings", Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C., 2 v.

- حدود پذیرش پاسخهای سازه ای از آیین نامه ASCE 41-06 برای قاب خمشی فولادی میباشد. پله های ایجاد شده در خط پذیرش نشان دهنده پذیرش سطح عملکرد استفاده بی وقفه در سطح خطر با دوره بازگشت ۷۲ ساله (معادل زمان هدف ۳/۷ ثانیه)، سطح عملکرد میانی در سطح خطر با دوره بازگشت ۲۲۵ ساله (معادل زمان هدف ۵/۸ ثانیه)، سطح عملکرد ایمنی جان در سطح خطر با دوره بازگشت ۴۷۵ ساله (معادل زمان هدف ۷/۵ ثانیه) و سطح عملکرد آستانه فروریزش در سطح خطر با دوره بازگشت ۲۴۷۵ ساله (معادل زمان هدف ۱۱/۲ ثانیه) میباشد.

#### ۴- نتیجه گیری

- در این مقاله روشی برای تحلیل دوجهته توسط روش زمان دوام ارائه شد روش ارائه شده بدین صورت است که : تحلیل توسط اعمال همزمان یک تابع شتاب در یک راستا و ۰/۸۳۱ برابر تابع شتاب دیگر در راستای مقابل بر روی سازه انجام میشود.
- برای ارزیابی این روش سازه قاب خمشی سه بعدی تحت تحلیل دو جهته زمان دوام قرار گرفت و صحت نتایج بدست آمده در مقایسه با نتایج حاصل از تحلیل تاریخچه زمانی توسط ۷ زوج شتابنگاشت در دو جهت و ۴ سطح خطر (جمعا ۵۶ تحلیل NTH) نشان داده شد.
- همچنین به عنوان هدف جنبی، کارایی روش زمان دوام در ارزیابی لرزه ای ساختمان ها در حوزه های غیر خطی ( ایجاد مفصل خمشی در تیر ها و ستونها و تسلیم چشمه اتصال) نشان داده شد.

#### ۵- مراجع

- Riahi, H.T. and Estekanchi, H.E. and Vafai, A., (2006), "Endurance time Method: A Dynamic Pushover Procedure for Seismic Evaluation of Structures", First European conference on Earthquake Engineering and