

Seismic Evaluation of Steel Moment Frames Equipped With Viscous Dampers Using Durability Time Method

Masoud ZabihiSamani^{1*}, Mohammad GhanooniBagha²

1- Department of Civil Engineering, Parand Branch, Islamic Azad University, Parand, Iran

2-Department of Civil Engineering, Tehran-East Branch, Islamic Azad University, Parand, Iran.

ABSTRACT

The use of viscous dampers to improve the seismic performance of buildings is one of the new tools in the design and improvement of buildings. Durability time (ET) method is a simple method of time history analysis in which the structure is exposed to a gradually intensifying acceleration function and one can analyze the structure under the acceleration time function of the structure once the structure performance can be at different performance levels Evaluated. In this study, the application of durability method in nonlinear seismic analysis of steel structures equipped with viscous dampers is investigated and its accuracy is compared with the results of seven-time history records. The parameter of maximum relative displacement of floors and performance level of 3-, 7- and 12-storey buildings with and without viscous dampers have been investigated. Three buildings of 3, 7 and 12 floors have been studied nonlinearly, time history and linear time-duration. For this purpose, the third generation of durability records called ETA20inx accelerometers have been used, which have been proposed to predict nonlinear behavior. Using the durability time curves, it was found that the use of viscous dampers reduces the relative displacement of the floors and the durability time method with a good approximation was able to predict the results of the nonlinear time history method with much less analysis time.

ARTICLE INFO

Receive Date: 05 June 2020

Revise Date: 26 October 2020

Accept Date: 23 January 2021

Keywords:

Structure control

Viscous damping

Durability time method

Nonlinear time history analysis

Functional levels of structural behavior

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: <https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2021.232987.2155>

*Corresponding author: Masoud ZabihiSamani

Email address: mzabihi@iust.ac.ir

ارزیابی لرزه ای قاب های خمشی فولادی مجهز به میراگر ویسکوز با استفاده از روش زمان دوام

مسعود ذبیحی سامانی^{۱*}، محمد قانونی بقا^۲

۱- استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد پرند، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲- استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد تهران شرق، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

چکیده

استفاده از میراگر ویسکوز برای بهبود عملکرد لرزه ای ساختمان ها یکی از ابزارهای نوین در طراحی و بهسازی ساختمان ها است. روش زمان دوام (ET) یک روش ساده تحلیل تاریخچه زمانی است که در آن سازه در معرض یک تابع شتاب تشدید شونده تدریجی قرار می-گیرد و می توان با یکبار آنالیز سازه تحت تابع شتاب زمان دوام می توان عملکرد سازه در سطوح عملکردی مختلف را ارزیابی نمود. در این مطالعه، کاربرد روش زمان دوام در تحلیل لرزه ای غیر خطی اسکلت های فولادی مجهز به میراگر ویسکوز مورد بررسی قرار گرفته و دقت آن با نتایج حاصل از هفت رکورد تاریخچه زمانی مقایسه شده است. پارامتر حداکثر جابجایی نسبی طبقات و سطح عملکرد ساختمان های ۳، ۷ و ۱۲ طبقه با و بدون میراگر ویسکوز مورد بررسی قرار گرفته است. سه ساختمان ۳، ۷ و ۱۲ طبقه مورد بررسی تحلیلی غیر خطی تاریخچه زمانی و خطی زمان-دوام انجام شده است. به این منظور از نسل سوم رکوردهای زمان دوام با نام شتابنگاشت های $ETA20inx$ که برای پیش بینی رفتار غیرخطی پیشنهاد شده اند، استفاده شده است. با استفاده از منحنی های زمان دوام مشخص شد، که استفاده از میراگرهای ویسکوز باعث کاهش جابجایی نسبی طبقات شده و روش زمان دوام با تقریب مناسبی توانسته نتایج روش تاریخچه زمانی غیرخطی را با زمان آنالیز بسیار کمتری پیش بینی کند.

کلمات کلیدی: کنترل سازه، میراگر ویسکوز، روش زمان دوام، تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی، سطوح عملکردی رفتار سازه

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:				
doi:	https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2021.232987.2155	چاپ	انتشار آنلاین	پذیرش	بازنگری	دریافت
	10.22065/jsce.2021.232987.2155	۱۴۰۰/۱۰/۳۰	۱۳۹۹/۱۱/۰۴	۱۳۹۹/۱۱/۰۴	۱۳۹۹/۰۸/۰۵	۱۳۹۹/۰۳/۱۶
مسعود ذبیحی سامانی mzabihi@iust.ac.ir				*نویسنده مسئول: پست الکترونیکی:		

۱- مقدمه

طی زلزله‌های شدید و بارهای غیرطبیعی نظیر انفجار انرژی زیادی به سازه وارد می‌شود. اگر این انرژی وارد شده از ظرفیت سازه تجاوز کند منجر به ایجاد خرابی در اعضای سازه و در نهایت گسترش تدریجی خرابی در کل سازه خواهد شد. برای این منظور می‌توان از سیستم‌های مستهلک کننده انرژی در راستای اتلاف قسمتی از این انرژی وارد شده استفاده کرد. یکی از این سیستم‌های کنترل، میراگرهای ویسکوز می‌باشند. در سازه‌های متداول این انرژی وارد شده از طریق تسلیم شدن یا گسیختگی مصالح جذب می‌شود. استفاده از میراگرهای ویسکوز نیز یک روش بسیار کاربردی در جذب انرژی زلزله محسوب می‌شود [۱]. حرکت رفت و برگشتی در این میراگرها سبب اختلاف فشار و ایجاد یک نیروی مقاوم در برابر حرکت سازه می‌شود. این نیرو با سرعت نسبی بین دو انتهای میراگر رابطه مستقیم دارد [۲]. اولین استفاده از میراگرهای ویسکوز برای هدف لرزه‌ای، در سال ۱۹۹۳ در طرح مقاوم سازی لرزه‌ای مرکز دارویی سان برناردینو در کالیفرنیا می‌باشد [۳].

روش‌های تحلیل سازه‌ها به دو دسته کلی تحلیل‌های خطی و غیرخطی تقسیم می‌شوند. واژه سختی اصلی ترین تفاوت بین تحلیل خطی و غیر خطی را تعریف می‌کند. با انجام تحلیل غیرخطی به سازه اجازه می‌دهیم وارد ناحیه غیرخطی شود و اینگونه سازه می‌تواند در برابر نیروهای بزرگتری مقاومت کند چرا که می‌تواند با تغییر شکل خود نیروی بزرگتری را جذب و میرا کند که این مورد باعث کاهش اندازه مقاطع و بهینه شدن طراحی می‌شود. یکی از بهترین روش‌های تحلیل سازه‌ها تحلیل فزاینده دینامیکی (IDA) می‌باشد، این روش بسیار روش کامل و دقیقی برای تحلیل سازه‌ها می‌باشد ولی باز هم ایراداتی دارد؛ از جمله اینکه انجام این روش بسیار زمان بر است زیرا روش IDA با یک رکورد نمی‌تواند رفتار سازه را برای حوادث آینده به طور کامل بیان کند و بسیار زیاد به تعداد و مشخصات دینامیکی رکوردهای انتخابی وابسته بوده و پاسخ‌ها از یک رکورد دیگر به شدت تغییر می‌کند، لذا تعداد زیادی از رکوردها برای پوشش تمام نواحی پاسخ‌ها مورد نیاز است [۴].

لذا برای رفع محدودیت‌های موجود روش زمان دوام توسط استکانچی معرفی شد. روش زمان دوام اساساً یک تحلیل مبتنی بر تاریخچه زمانی می‌باشد که تلاش می‌کند تا پارامتر مورد تقاضای مهندسی سازه‌ها را در اندازه شدت‌های متفاوت، با قرار دادن آنها در معرض تحریکات دینامیکی متفاوت، پیش بینی نماید [۵]. روش تحلیل تاریخچه زمانی معمول، نیازمند صرف زمان زیاد برای هم پایه نمودن شتاب نگاشت‌ها و تعداد تحلیل‌های فراوان است، از این رو روش زمان دوام که نقش اساسی در کاهش تعداد تحلیل‌های لازم دارد، بر پایه تحلیل تاریخچه زمانی ایجاد شد. در روش زمان دوام توابع شتاب فزاینده که طیف خطی و غیرخطی از آن‌ها متناسب با میانگین طیف زلزله‌های واقعی می‌باشند و به صورت یکنواخت با زمان افزایش می‌یابند، ایجاد می‌گردند [۷و۶]. تا به حال عملکرد میراگرهای مختلف جهت بهبود لرزه‌ای سازه‌ها، توسط روش زمان دوام ارزیابی شده است، تا هم کارایی روش زمان دوام در این ارزیابی‌ها نشان داده شود و هم کفایت و درستی طراحی خود میراگر مورد بررسی قرار گیرد لذا در این مقاله از میراگرهای ویسکوز بدین منظور استفاده شده است. این روش مزیت‌های بسیاری دارد از جمله:

- روش زمان دوام با ارائه تخمین مناسب از پاسخ سازه در شدت تحریک‌های مختلف در هر تحلیل تاریخچه زمانی، موجب صرفه جویی زیاد در حجم محاسبات جهت ارزیابی لرزه‌ای سازه‌ها می‌شود [۸].
- روش زمان دوام به علت ماهیت دینامیکی، قابلیت کاربرد برای انواع سازه‌ها و انواع پیچیدگی‌های رفتاری را دارد [۸].
- روش زمان دوام دارای مفهوم و اصول نسبتاً ساده و ملموس برای کاربرد مهندسی می‌باشد [۸].
- این روش برای کارهای آزمایشگاهی با میز لرزان قابلیت بالایی دارد [۸].

^۱ San Bernardino

نوآوری اصلی این روش استفاده از روش زمان دوام در تخمین رفتار سازه مجهز به میراگر ویسکوز است که بنا به تحقیقات نویسندگان تاکنون تحقیقی در این مورد به چاپ نرسیده است. به این منظور، در این تحقیق سه قاب خمشی فولادی ۳، ۷ و ۱۲ طبقه سه دهانه با و بدون میراگر ویسکوز با استفاده از روش زمان دوام (ET) و تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی (NTH)، جهت مقایسه نتایج حاصل از تحلیل‌های مذکور مورد ارزیابی لرزه‌ای قرار گرفت و جهت بررسی اثر میراگر ویسکوز بر عملکرد لرزه‌ای قاب‌ها، تغییر مکان نسبی طبقات مورد بررسی قرار گرفت. در ابتدا به منظور داشتن سازه‌هایی نرم که نیاز به بهسازی داشته باشند، سازه‌ها ابتدا در نرم افزار ایتبس (ETABS) بر اساس آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران به صورت سه بعدی به گونه‌ای که از پایداری کافی برخوردار باشند، بر اساس ۰٫۷۵ درصد برش پایه طراحی شدند و سپس به منظور انجام تحلیل دینامیکی غیرخطی، به صورت دوبعدی در نرم افزار اپنسیس (OpenSEES) مدل‌سازی شدند.

۲- مشخصات قاب‌های فولادی

به منظور ارزیابی لرزه‌ای و مقایسه عملکرد قاب‌های خمشی فولادی با و بدون میراگر ویسکوز، قاب‌های دوبعدی با تعداد طبقات مختلف در نظر گرفته شدند. این قاب‌ها بر اساس ۰٫۷۵ درصد برش پایه و بر طبق آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران [۹] و مبحث دهم مقررات ملی ساختمان [۱۰] که در تطابق خوبی با آیین‌نامه فولادی آمریکا AISC 360-10 [۱۱] می‌باشد [۱۲]، طراحی شدند. سازه‌ها به صورت ۳، ۷ و ۱۲ طبقه، دارای سه دهانه و پلان مربعی شکل در نظر گرفته شدند. طول هر دهانه در تمامی قاب‌ها به صورت ثابت، ۵ متر و ارتفاع تمامی طبقات نیز ۳٫۲ متر است. خاک زمین مورد مطالعه از نوع II آیین‌نامه استاندارد ۲۸۰۰ ایران است که در تطابق خوبی با خاک C آیین‌نامه ASCE41-06 آمریکا است. مقاطع به کار رفته در طراحی ستون‌ها TUBE (یا box) است و برای تیرها از مقاطع I شکل HE استفاده شد. همچنین در طراحی توسط نرم افزار Etabs، تیرها با مهارجانبی طراحی شدند و همچنین تیر و ستون‌ها طوری طراحی شدند که نسبت (Ratio) تنش‌ها بین ۰٫۹۵ و ۱٫۰۵ (دارای مقدار میانگین ۱) قرار گرفت. در نامگذاری قاب‌ها MF نشان دهنده قاب خمشی، شماره قبل از S نشان دهنده تعداد طبقات است [۱۳] همچنین قاب‌های دارای میراگر ویسکوز با پیشوند VD که حروف اول Viscous Damper می‌باشد، مشخص شدند. در جدول (۱) بارهای وارد بر هر سازه آورده شد، در جدول (۲) تا (۴) مقاطع قاب‌های طراحی شده آورده شد. در جدول (۵) مشخصات قاب‌های خمشی فولادی به کار رفته در این تحقیق آمده است و در جدول (۶) پیوند ارتعاش آزاد قاب‌های با و بدون میراگر آمده است. مدل دوبعدی قاب خمشی فولادی مجهز به این میراگر که در نرم افزار OpenSEES مدل‌سازی شده است نیز، برای قاب سه طبقه در شکل (۱) و پلان سازه‌های مورد استفاده نیز در شکل (۲) آمده است.

جدول ۱: بارگذاری سازه‌ها

	بار زنده کف (kgf/m ²)	بار مرده کف (kgf/m ²)	بار دیوار با نما (kgf/m)
طبقات	۲۰۰	۳۱۰	۵۷۰
بام	۱۵۰	۲۵۰	۵۳۶

جدول ۲: مقاطع قاب طراحی شده MF03S

شماره طبقه	مقطع ستون کناری	مقطع ستون میانی	مقطع تیر
۱	Box25x25x1.5	Box25x25x1.2	HE24A
۲	Box20x20x1	Box25x25x1.2	HE24A
۳	Box20x20x1	Box20x20x0.8	HE16A

جدول ۳: مقاطع قاب طراحی شده MF07S

مقطع تیر	مقطع ستون میانی	مقطع ستون کناری	شماره طبقه
HE26A	Box30x30x1.5	Box30x30x1.5	۱
HE30A	Box30x30x1.5	Box30x30x1.2	۲
HE30A	Box30x30x1.5	Box25x25x1.5	۳
HE28A	Box30x30x1.2	Box25x25x1.2	۴
HE26A	Box25x25x1.2	Box20x20x1.5	۵
HE22A	Box20x20x1.5	Box20x20x1.2	۶
HE16A	Box20x20x1	Box15x15x1.2	۷

جدول ۴: مقاطع قاب طراحی شده MF12S

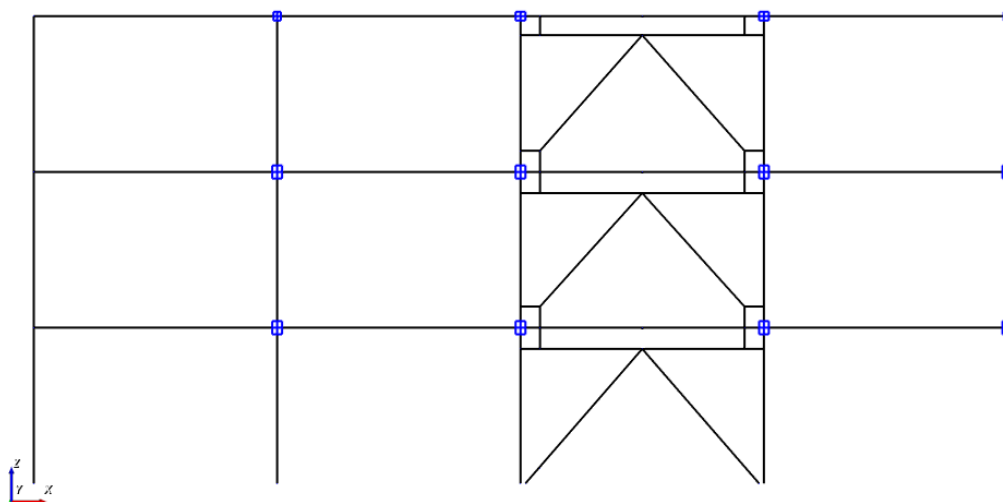
مقطع تیر	مقطع ستون میانی	مقطع ستون کناری	شماره طبقه
HE28A	Box40x40x1.5	Box35x35x2	۱
HE36A	Box35x35x1.5	Box35x35x2	۲
HE36A	Box35x35x1.5	Box35x35x1.5	۳
HE34A	Box35x35x1.5	Box35x35x1.5	۴
HE32A	Box35x35x1.2	Box30x30x1.5	۵
HE32A	Box35x35x1.2	Box30x30x1.2	۶
HE30A	Box30x30x1.5	Box30x30x1.2	۷
HE30A	Box30x30x1.5	Box25x25x1.2	۸
HE28A	Box25x25x1.2	Box25x25x1.2	۹
HE24A	Box25x25x1.2	Box20x20x1.2	۱۰
HE22A	Box20x20x1.2	Box20x20x1.2	۱۱
HE14A	Box15x15x1.2	Box15x15x1	۱۲

جدول ۵: مشخصات قاب های طراحی شده

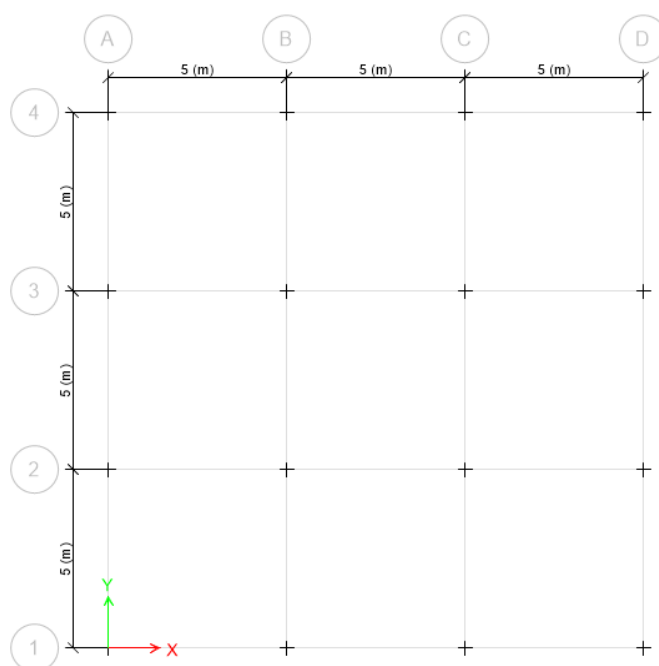
قابها	تعداد طبقات	وزن (KN)	برش پایه طراحی (KN)
MF03S	۳	۵۱۴۱,۶۱۵	۶۷۴,۸۳۷
MF07S	۷	۱۲۴۱۱	۱۰۵۲,۸۴۳
MF12S	۱۲	۲۱۶۳۶,۱۵۷	۱۳۱۹,۵۸۹

جدول ۶: زمان تناوب (پریود) ارتعاش آزاد قاب های با و بدون میراگر

قاب‌ها	پریود آزاد ارتعاش (sec)
MF03S	۱,۲۸۲
MF07S	۲,۱۹
MF12S	۳,۰۱۶
VDMF03S	۱,۱۵۹
VDMF07S	۱,۹۵۵
VDMF12S	۲,۶۸۵



شکل ۱: مدل قاب VDMF03S در نرم افزار اپنسیس



شکل ۲: پلان سازه های مورد نظر

در رابطه با جدول (۱) لازم به ذکر است که برای بارهای وارد بر کف، دهانه‌ی بارگیر نصف مساحت دهانه قاب یعنی $۲,۵ \times ۵$ متر مربع می باشد، همچنین بار مرده ذکر شده بدون احتساب بار بتن و فولاد استفاده شده در سقف در نظر گرفته شد که خود نرم افزار Etabs آنها را وارد محاسبه‌ی طراحی المان‌ها نمود. مورد دیگر اینکه سهم مشارکت بارها در زلزله به صورت ۱۰۰% بارهای زنده بعلاوه‌ی ۲۰% بارهای مرده می باشد. همچنین توجه شود که میراگر ویسکوز تغییر در سختی سازه ایجاد نکرد و فقط میرایی به سازه اضافه نمود، لذا کاهش پیروی که در جدول (۵) مشاهده شد به خاطر وجود المان‌های گاست پلیت (Gusset plate) بود که باعث افزایش جزئی سختی سازه شدند.

در پلان این سازه‌ها، ستون‌های میانی (که وسط پلان در مدل سه بعدی قرار گرفتند) سختی جانبی نداشته و فقط بار ثقلی را تحمل کردند. به منظور نزدیک شدن رفتار سازه دوبعدی مدل شده در نرم افزار OpenSEES به مدل سه بعدی آن، در قاب‌های مدل شده در OpenSEES، یک ردیف ستون وزنی به هر یک از قاب‌ها اضافه گردید. که سهم قاب از وزن کل سازه را به آن منتقل کرد و در عین حال به دلیل مفصلی بودن این ستون‌ها، سختی جانبی ایجاد نکردند. در نتیجه تحلیل‌های این قاب ۲ بعدی به مدل ۳ بعدی آن نزدیکتر شد.

۳- طراحی میراگرهای ویسکوز

نیروی ایجاد شده در میراگر ویسکوز براساس شکل منفذ برابر با رابطه‌ی (۱) می‌باشد:

$$F_d = C|u|^{\alpha} \text{sign}[u] \quad (1)$$

که در آن C ضریب میرایی ویسکوز می‌باشد که به ابعاد میراگر وابسته است؛ α توان عددی سرعت وسیله؛ n سرعت نسبی بین دوانتهای میراگر؛ Sign تابع علامت است که در اینجا علامت نسبی را تعیین می کند. در صورتی که α برابر ۱ باشد رفتار میراگر خطی است و در سایر حالات رفتار میراگر غیرخطی خواهد بود [۱۴ و ۱۵].

در طراحی میراگر ویسکوز هدف یافتن مقدار ضرایب C و α است. ابتدا لازم به ذکر است که برای مقدار ضریب α میراگر، با توجه به تحقیقات کنستانتینو و سیمنز [۱۶]، مقدار ۰,۵ در نظر گرفته شد تا رفتار میراگر غیر خطی در نظر گرفته شود.

میراگرهای استفاده شده در این پژوهش بر اساس روش تحلیل طیفی که در فصل ۱۸ آیین نامه ASCE7-10 [۱۷] بیان شده، طراحی شده‌اند و شرح کامل مراحل طراحی نیز در منبع شماره [۱۸] بیان گردیده است. ضرایب C و α میراگرها برای تمام طبقات به طور ثابت در نظر گرفته شد که مقدار آنها برای هر سه سازه در جدول (۷) آمده است.

جدول ۷: مقدار ضرایب میراگر ویسکوز

قاب ها	توان α	ضریب C $\left(\frac{kg \cdot sec^{0.5}}{m^{0.5}}\right)$
VDMF03S	۰,۵	۱۸۸۴۶۵,۹۵۹
VDMF07S	۰,۵	۳۳۲۲۸۲,۷۴۴
VDMF12S	۰,۵	۵۰۴۶۲۰,۸۱۷

۴- مفهوم روش زمان دوام

روش زمان دوام (ET) یک روش جدید بارگذاری و تحلیل لرزه‌ای می‌باشد که در آن سازه تحت اثر یک تحریک دینامیکی که شدت آن به تدریج در طول زمان افزایش پیدا می کند قرار داده می‌شود. پاسخ سازه در طول زمان بررسی شده و با توجه به پاسخ متناظر با سطوح مختلف شدت تحریک در طول زمان، نقاط قوت و ضعف و عملکرد سازه ارزیابی می‌گردد [۸]. توابع زمان دوام طوری طراحی شده‌اند که طیف پاسخ آن‌ها تا زمان هدف مبنا مشابه طیف هدف مبنا (طیف مبنای تولید رکوردهای زمان دوام) و تا زمان دیگر x برابر زمان هدف مبنا، مشابه x برابر طیف هدف می‌باشند. بنابراین، پاسخ سازه تا زمان‌های مختلف این توابع شتاب معرف تقاضای زلزله در سطوح خطر

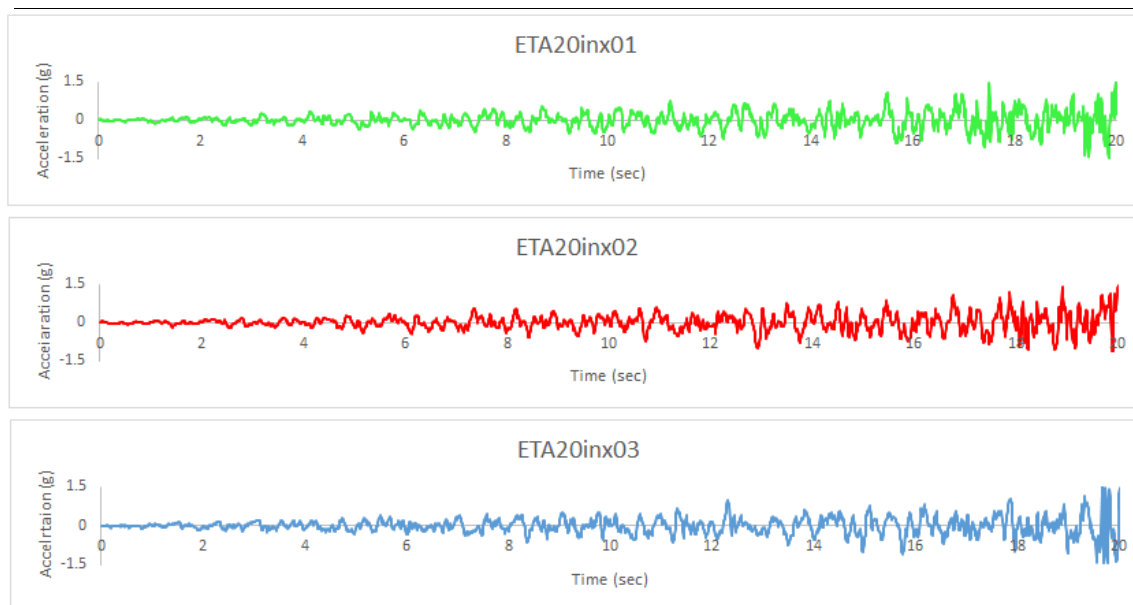
متفاوت می‌باشد. در این تحقیق از شتابنگاشت‌های ETA20inx استفاده شد. این شتابنگاشت‌ها از نسل جدید شتابنگاشت‌های زمان دوام می‌باشد که متوسط ۲۰ رکورد زلزله مخصوص خاک نوع C از آیین نامه FEMA440 [۱۹] است.

برای صحت سنجی نتایج حاصل از روش زمان دوام، در این پژوهش با توجه به خصوصیات خاکی که توابع شتاب زمان دوام بر روی آنها توسعه یافته‌اند، از ۷ زوج رکورد زلزله واقعی که ۵ عدد از آنها جزوه رکوردهای 22 گانه FEMAP695 [۲۰] هستند به همراه ۲ رکورد دیگر که از پایگاه PEER [۲۱] برداشت شدند، استفاده شد، که همگی این رکوردها مخصوص خاک نوع C و دور از گسل می‌باشند. لازم به ذکر است که شتابنگاشت‌های ذکر شده بر اساس ضوابط بیان شده در بند ۲-۴-۱-۴ آیین نامه ۲۸۰۰ ایران و بخش A7 آیین نامه FEMAP695 انتخاب شده‌اند. هر دو آیین نامه تقریباً به موارد مشابهی اشاره می‌کنند از جمله اینکه؛ بزرگای زلزله انتخابی باید بیشتر از ۶٫۵ ریشتر باشد، شرایط خاک سایت مورد نظر پروژه که خاک نوع C است را داشته باشد و مورد دیگر فاصله از منشأ زلزله است که با توجه به شرایط شهر تهران رکوردهای دور از گسل انتخاب شده‌اند [۲۰].

در جدول (۷) مشخصات شتابنگاشت‌های منتخب آمده است، همچنین در شکل (۳) نمودار شتاب-زمان شتابنگاشت‌های ETA20inx که در این تحقیق بکار رفته، ارائه شده است.

جدول ۷: مشخصات شتابنگاشت‌ها

نام زلزله	سال	بزرگای	نام ایستگاه	PGA (g)	ضریب مقیاس
Friuli, Italy	۱۹۷۶	۶٫۵	Tolmezo	۰٫۳۵۷	۲٫۲۳۱
Loma Prieta	۱۹۸۹	۶٫۹۳	Berkeley-Strawberry Canyon	۰٫۰۴۶	۹٫۸۷۷
Loma Prieta	۱۹۸۹	۶٫۹۳	Saratoga, Aloha Ave	۰٫۵۱۲	۱٫۲۴۱
Kobe, Japan	۱۹۹۵	۶٫۹	Nishi-Akashi	۰٫۴۸۳	۱٫۱۶۶
Hector Mine	۱۹۹۹	۷٫۱۳	Hector	۰٫۳۲۸	۱٫۳۰۹
Chi-Chi, Taiwan	۱۹۹۹	۷٫۶۲	TCU045	۰٫۵۰۷	۱٫۴۸۳
Manjil, Iran	۱۹۹۰	۷٫۳۷	Abbar	۰٫۵۱۴	۱٫۱۸۸



شکل ۳: توابع شتاب زمان دوام مجموعه ETA20inx

۵- هم پایه نمودن شتابنگاشت‌ها

برای سازگاری با آیین نامه‌های لرزه‌ای، شتابنگاشت‌ها مقیاس سازی شدند. به دلیل دویبعدی بودن مدلسازی برای تحلیل غیرخطی سازه‌ها، رکوردها به جای زوج شتابنگاشت به صورت تک مولفه‌ای مقیاس شدند. در گام اول این ۷ شتابنگاشت بدون در نظر گرفتن سطح

خطر به گونه‌ای مقیاس شدند که سطح زیر طیف شبه شتاب آنها با سطح زیر طیف آیین نامه ASCE برابر باشد. بازه پریودی برای این مقیاس از ۰ تا ۵ ثانیه است. هدف از انجام این کار این است که از آنجا که تحلیل غیرخطی به شدت و بزرگی زلزله حساس است بهتر است طیف هر یک از شتابنگاشت‌ها نیز حتی الامکان به طیف آیین‌نامه نزدیک باشد [۲۲]. مقیاس‌سازی طبق آیین‌نامه ASCE7-10، به نحوی انجام شد که میانگین طیف پاسخ ۷ شتابنگاشت منتخب، با ۵٪ میرایی پایین تر از طیف پاسخ آیین نامه ASCE مخصوص خاک نوع C، در محدوده $0.2T_i$ تا $1.5T_i$ قرار نگیرد که در آن T_i زمان تناوب اصلی سازه می‌باشد [۱۶ و ۱۷]. ضرایب مقیاس مربوط به گام اول در جدول (۷) و ضرایب مقیاس بر اساس پریود سازه‌ها مطابق با آیین نامه ASCE7-10 در جدول (۸) آورده شده است.

جدول ۸: ضرایب مقیاس بر اساس پریود قاب‌ها

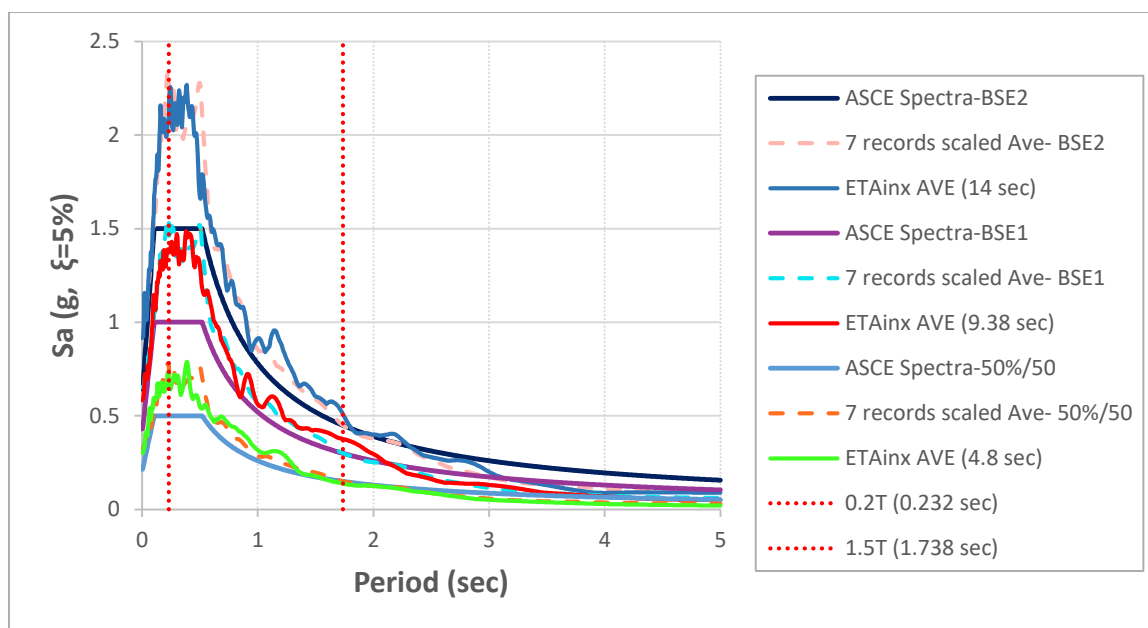
قاب‌ها	MF03S	MF07S	MF12S	VDMF03S	VDMF07S	VDMF12S
ضریب مقیاس	۱,۱۲۲	۱,۷۹۷	۱,۹۳۸	۱,۰۷۴	۱,۵۶۶	۱,۹۲۱

۶- تعیین زمان هدف برای توابع شتاب زمان دوام برای قاب‌ها

مقایسه نتایج بر اساس مقادیر بدست آمده از تحلیل زلزله‌ها با نتایج زمان دوام در پنجره زمانی صفر تا زمان هدف انجام می‌شود [۸]. برای بدست آوردن زمان هدف روش‌های مختلفی وجود دارد، معمولاً برای بدست آوردن زمان معادل هر سطح خطر، طیف پاسخ شتاب شتابنگاشت‌های زمان دوام با طیف طرح آیین نامه مقایسه می‌شود ولی در این پژوهش ابتدا شتابنگاشت‌های واقعی مقیاس شدند و بعد شتابنگاشت‌های زمان دوام با طیف میانگین این شتابنگاشت‌ها جهت یافتن زمان معادل سطح خطر مقایسه شدند. دلیل این امر نیز این بود که طیف آیین نامه تقلیدی از زلزله‌های واقعی است نه برعکس و لذا در این پژوهش ما به سراغ منبع اصلی که زلزله‌های واقعی باشند رفتیم. در این پژوهش زمان هدف به گونه‌ای تعیین شد که در هر سطح خطر، مساحت زیر طیف شتاب میانگین شتابنگاشت‌های زمان دوام برابر مساحت زیر طیف شتاب میانگین ۷ شتابنگاشت منتخب مقیاس شده قرار گرفت. بازه پریودی برای انجام این فرایند، $0.2T$ تا $1.5T$ است که در آن T پریود اصلی سازه‌ها است. در جدول (۹) زمان هدف مربوط به سطح خطر ۱ برای قاب‌ها ارائه شد، همچنین در شکل (۴) نتایج مقیاس‌سازی و یافتن زمان هدف برای سازه VDMF03S ارائه شد.

جدول ۹: زمان‌های هدف برای قاب‌ها

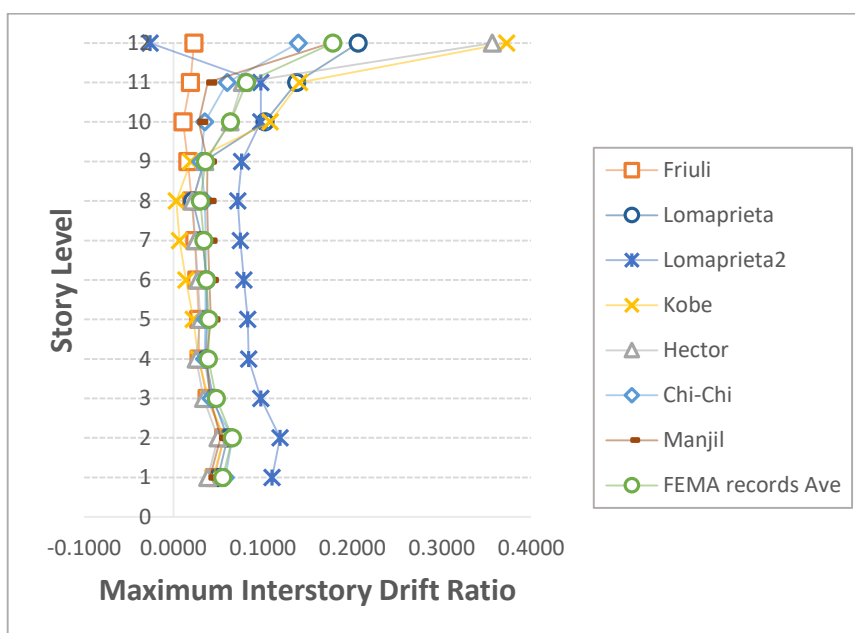
قاب‌ها	MF03S	MF07S	MF12S	VDMF03S	VDMF07S	VDMF12S
زمان هدف (ثانیه)	۹,۴۷	۱۵,۴۶	۱۷	۹,۳۸	۱۳,۳۶	۱۶,۴۶



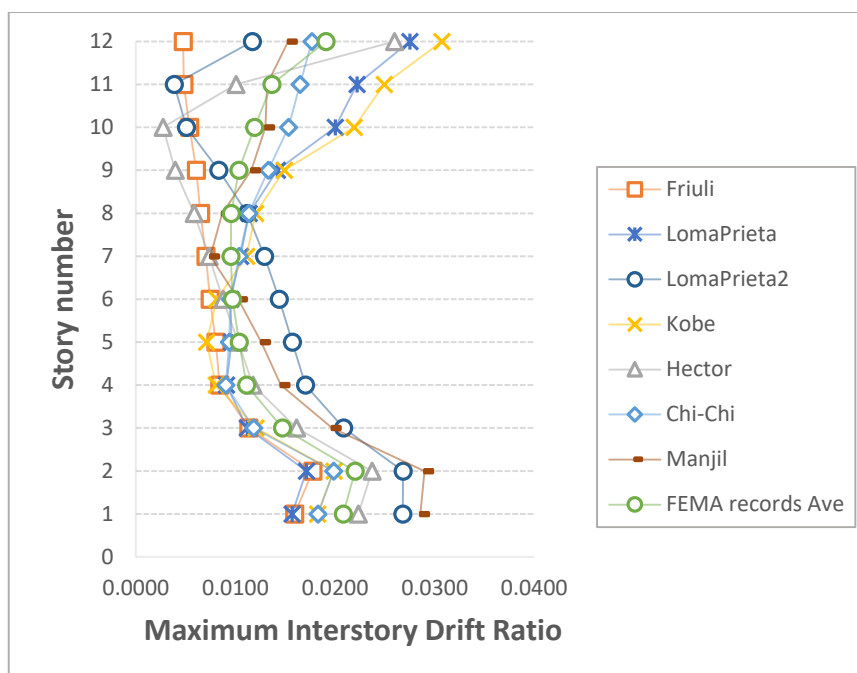
شکل ۴: طیف آیین نامه ASCE41، طیف مقیاس شده میانگین و طیف میانگین ETA20inx در سطوح خطر مختلف برای قاب MF03S

۷- نتایج تحلیل های تاریخچه زمانی غیر خطی و زمان دوام

در این مطالعه، حداکثر تغییر مکان نسبی طبقات در سازه های با و بدون میراگر ویسکوز مورد بررسی قرار گرفت. هدف تحقیق حاضر مقایسه نتایج حداکثر جابجایی نسبی طبقات محاسبه شده توسط روش های تحلیل تاریخچه زمانی و زمان دوام به منظور بررسی صحت نتایج زمان دوام است. در شکل های (۶ و ۵) حداکثر جابجایی نسبی طبقات که توسط تحلیل تاریخچه زمانی برای قاب های MF12S و VDMF12S بدست آمده نشان داده شد.

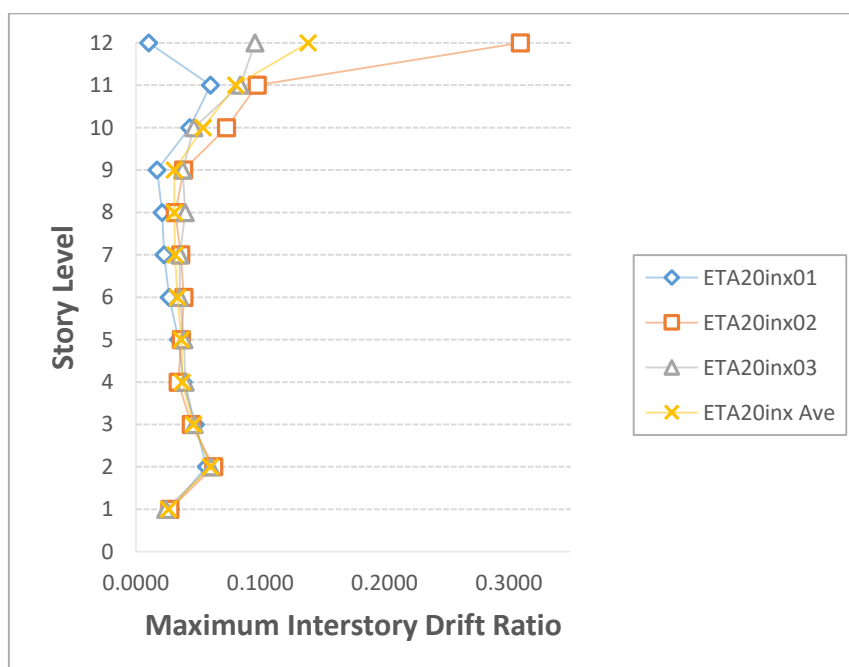


شکل ۵: حداکثر جابجایی نسبی طبقات برای قاب MF12S بدست آمده از NTH

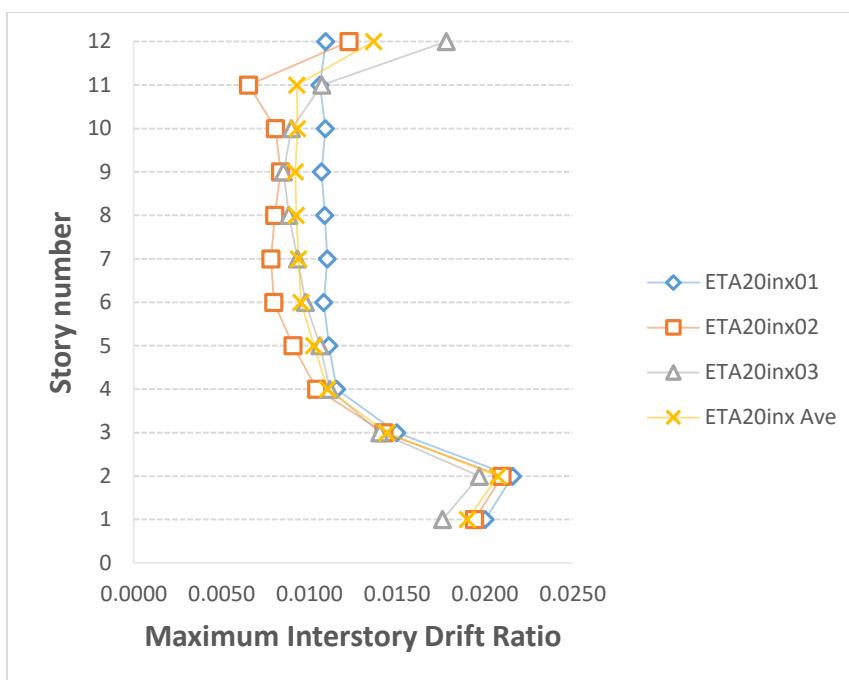


شکل ۶: حداکثر جابجایی نسبی طبقات برای قاب VDMF12S بدست آمده از NTH

همانطور که در شکل‌های بالا مشاهده شد، در شکل (۵) حداکثر جابجایی نسبی در طبقه بام توسط شتابنگاشت Kobe گزارش شده است و حداکثر جابجایی نسبی برای میانگین هفت شتابنگاشت ذکر شده هم، در همان طبقه بام ایجاد شده است. همچنین با مقایسه دو نمودار برای این طبقه مشخص شد که حداکثر جابجایی نسبی در اثر استفاده از میراگر ویسکوز برای میانگین هفت شتابنگاشت، ۳٫۸۹٪ کاهش یافته است. در ادامه در شکل‌های (۸ و ۷) نمودارهای این دوقاب برای شتابنگاشت‌های زمان دوام ارائه شد.

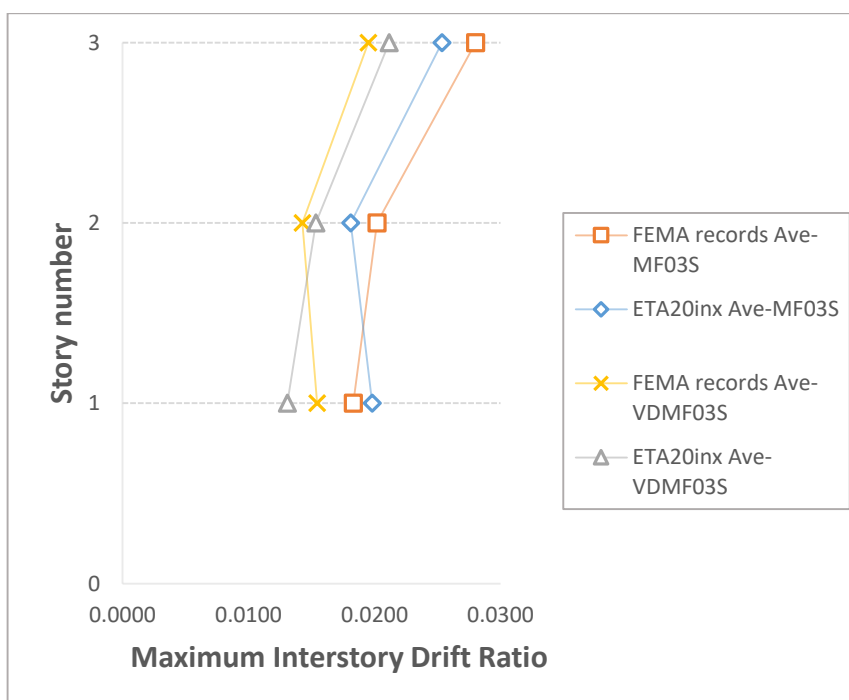


شکل ۷: حداکثر جابجایی نسبی طبقات برای قاب MF12S بدست آمده از ET

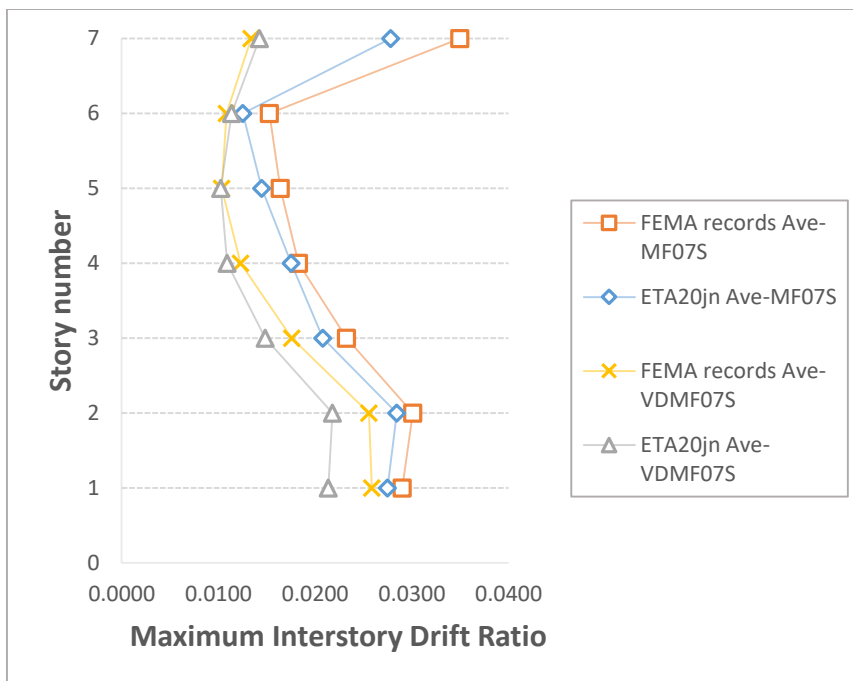


شکل ۸: حداکثر جابجایی نسبی طبقات برای قاب VDMF12S بدست آمده از ET

مانند نتایجی که از NTH گرفته شد، در اینجا هم مشاهده شد حداکثر جابجایی نسبی طبقات برای میانگین شتابنگاشت های زمان دوام در طبقه بام رخ داده است، همچنین میراگرهای ویسکوز مقدار حداکثر جابجایی نسبی در این طبقه را به طور میانگین برای سه شتابنگاشت زمان دوام، ۱، ۹۰٪ کاهش دادند. در ادامه نتایج NTH و ET در مقدار میانگین شتابنگاشت ها برای قاب های ۳ و ۷ طبقه نیز آورده شد.

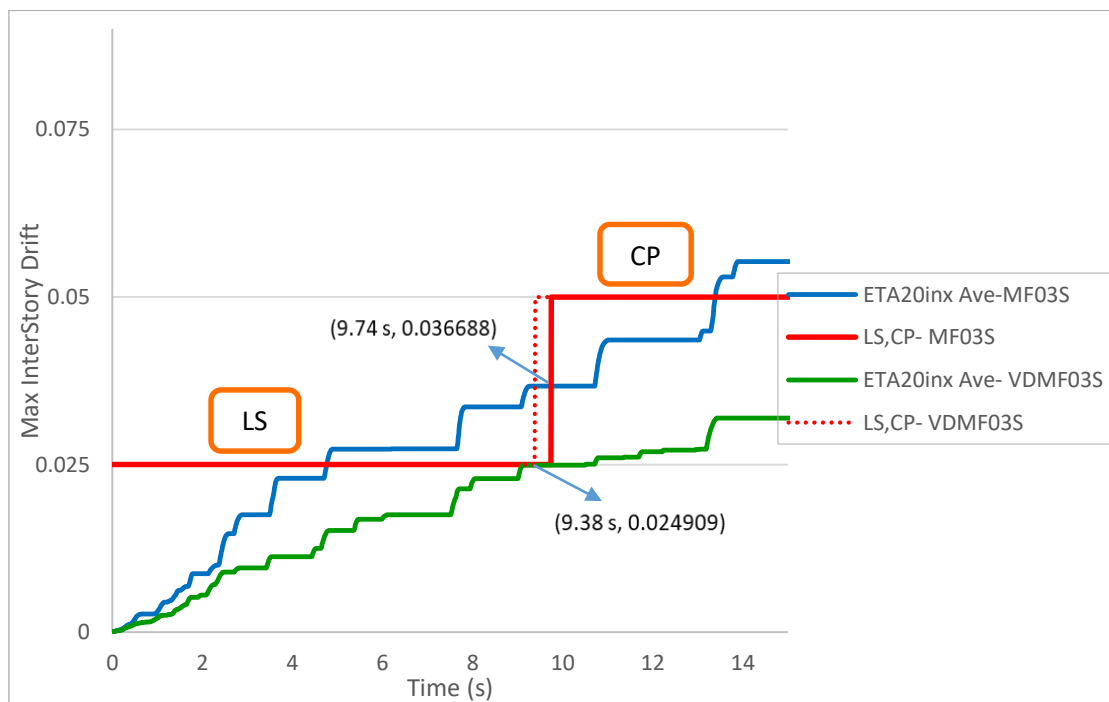


شکل ۹: مقایسه حداکثر جابجایی نسبی طبقات در قاب های MF03S و VDMF03S



شکل ۱۰: مقایسه حداکثر جابجایی نسبی طبقات در قاب های MF07S و VDMF07S

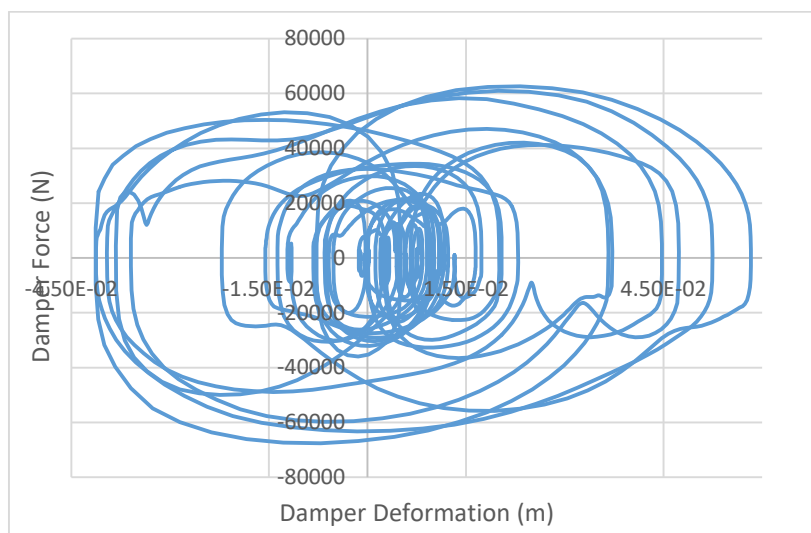
همانطور که در شکل های (۷ تا ۱۰) مشاهده شد، نتایج NTH و ET اختلاف بسیار کمی داشتند به طوری که در تمام قاب های ذکر شده حداکثر مقدار اختلاف نتایج کمتر از ۱۲٫۸٪ بود که این خود صحت نتایج روش زمان دوام را رساند. در ادامه به منظور بررسی کفایت و بهینه بودن میراگرهای ویسکوز، نمودارهای زمان دوام قاب ها قبل و بعد از بهسازی رسم شدند که نتایج کفایت میراگر ویسکوز و بهینه بودن طراحی را نشان دادند. در شکل (۱۱) به عنوان نمونه نمودار زمان دوام قاب ۳ طبقه قبل و بعد از بهسازی آورده شد.



شکل ۱۱: مقایسه نمودار زمان دوام قاب های MF3S و VDMF3S

۸- سیکل هیستریزیس میراگر ویسکوز

در شکل (۱۲) چرخه‌های هیستریزیس برای میراگر ویسکوز طبقه بام قاب VDMF12S تحت شتاب نگاشت Manjil نشان داده شد که به کمک نرم افزار OpenSEES رسم شده است. همانطور که مشخص است میراگر عملکرد خوبی داشته و مقدار زیادی انرژی را مستهلک کرده است.



شکل ۱۲: چرخه‌های هیستریزیس میراگر طبقه دوازدهم قاب VDM12S تحت شتاب‌نگاشت Manjil

۹- نتیجه گیری

نوآوری اصلی این روش استفاده از روش زمان دوام در تخمین رفتار سازه مجهز به میراگر ویسکوز است که بنا به تحقیقات نویسندگان تاکنون تحقیقی در این مورد به چاپ نرسیده است. روش زمان دوام (ET) یک روش تحلیل دینامیکی غیرخطی جدید است که هدف از آن ارزیابی عملکرد لرزه‌ای سازه‌ها با قرار دادن آنها در معرض توابع شتاب تشدید شونده می‌باشد. مزیت این روش همانطور که در شکل (۱۱) مشاهده شد این است که با یک مرتبه تحلیل می‌توان پاسخ سازه در سطح خطرهای مختلف را بدست آورد که این مورد باعث صرفه جویی زیادی در زمان و هزینه می‌شود. از آنجا که تاکنون تحقیقات کافی در مورد استفاده از روش ET برای ارزیابی اثرات میراگر ویسکوز بر روی اسکلت‌های فولادی انجام نشده است، این روش در این مقاله مورد امتحان و بررسی قرار گرفته است. به طور کلی نتایج زیر از این پژوهش بدست آمد:

۱. هرچه سازه مرتفع‌تر شد (در شرایط یکسان و در مقایسه با سازه‌های کم ارتفاع‌تر) آسیب پذیرتر شد و برای مواجهه با زلزله‌های شدید بیشتر نیازمند بهسازی گردید.
۲. در این پروژه در سازه‌های بلند مرتبه و میان مرتبه (سازه‌های ۱۲ و ۷ طبقه) طبقه‌ی بحرانی به منظور کنترل جابجایی نسبی، طبقه‌ی بام بود و در سازه‌های کوتاه مرتبه (سازه ۳ طبقه) طبقه‌ی بحرانی طبقه‌ی اول بوده است.
۳. هرچه ارتفاع و تعداد طبقات سازه بیشتر گردید میراگر ویسکوز نقش موثرتری در کاهش جابجایی نسبی طبقات سازه ایفا کرد به طوری که در سازه ۱۲ طبقه مقدار جابجایی نسبی را در طبقه بام که بیشترین مقدار را داشت به مقدار ۹۰٪ کاهش داد و این مقدار برای سازه‌های ۷ و ۳ طبقه به ترتیب ۴۸٪ و ۳۳٪ بوده است. همچنین این موضوع و روند در میانگین کاهش جابجایی نسبی در طبقات مختلف در هر سه سازه نیز صادق بوده است.

۴. روش زمان دوام هم در مقایسه با روش‌های رایج دیگر (مانند IDA و SPI)، در بدست آوردن مقدار مناسب ظرفیت میراگر بسیار خوب عمل کرد و یک روش آنالیز سریع با نتایج قابل قبول با دقت خوب می‌باشد که باعث صرفه جویی بسیار در وقت و هزینه می‌شود.
۵. نتایج نشان داد فرضی که در محاسبه‌ی زمان هدف گرفته شد فرض درستی بوده که نتایج بسیار خوب با دقت قابل قبول گرفته شده گویای صحت کار انجام شده است.
۶. در آخر اینکه هرچه ارتفاع و تعداد طبقات سازه بیشتر شد نتایج زمان دوام به مقدار بسیار کمی از نتایج شتابنگاشت‌های واقعی فاصله گرفت که باز هم قابل صرف نظر کردن است، زیرا که به عنوان مثال بیشترین اختلاف نتایج دو گروه شتابنگاشت مربوط به سازه ۱۲ طبقه با مقدار ۱۲٫۷٪ اختلاف است که مقدار کم و قابل قبولی است و گویای صحت نتایج روش زمان دوام است.

مراجع

- [1] Hejazi F, Zabihi A, and Jaafar M S. (2014). *Development of elasto-plastic viscous damper finite element model for reinforced concrete frames*. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Pages 284-293.
- [2] Lee D, and Taylor D P. (2001). *viscous damper Development and Future Trends*. International Journal of The Structural Design of Tall Buildings, Pages 311-320.
- [3] Nikbayan A. (2012). *An Investigation of Seismic Performance of Steel Structures with Viscous Dampers*. Shomal University, Faculty of Engineering.
- [4] Arshadi H. (2014). *Familiarity with the concepts and methodology of increasing dynamic analysis IDA with several records*. In: 5th National Conference on Earthquakes and Structures. City: Jahad daneshgahi Kerman.
- [5] Estekanchi H E, Vafai A, and Sadeghazar M. (2004). *Endurance Time Method for Seismic Analysis and Design of Structures*. Scientia Iranica. Volume (11), Pages 361-370.
- [6] Riahi H T, Estekanchi H E, and Seyedain Boroujeni S. (2011). *Application of Endurance Time Method in Nonlinear Seismic Analysis of Steel Frames*. Procedia Engineering. Volume (14), Pages 3237-3244.
- [7] Shirkhani A, Shabakhti N, Mousavi S R, and Pour Javadi A. (2014). *Seismic performance evaluation of steel bending frames reinforced with coaxial bracing by durability method*. In: 4th National Conference on Earthquakes and Structures. City: Jahad daneshgahi Kerman.
- [8] Sharif edu, (2012).
- [۹] آیین نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰) (۱۳۹۴) - ویرایش چهارم، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، وزارت مسکن و شهرسازی، تهران.
- [۱۰] مقررات ملی ساختمان، مبحث دهم. (۱۳۹۲). طرح و اجرای ساختمان‌های فلزی، دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، ویرایش چهارم، تهران.
- [11] AISC 360-10, (2016). *American Institute of Steel Construction. Specification for Structural Steel Buildings*. Chicago.
- [12] Riahi H T, and Estekanchi H E. (2010). *Seismic Assessment of Steel Frames with the Endurance Time Method*. Journal of Constructional Steel Research. Volume (66), Pages 780-792.
- [13] Shirkhani A, Mulla I, Shabakhti N, and Mousavi S R. (2015). *Behavior of steel frames with rotational friction dampers by endurance time method*. Journal of Constructional Steel Research. Volume (107), Pages 211-222.
- [14] Cheng F Y, Jiang H, and Lou K. (2008). *Smart Structures Innovative Systems for Seismic Response Control*. Taylor & Francis Group.
- [15] Kelly J M, Skinner R I, and Heine A J. (2010). *Mechanism of Energy Absorption in Special Devices for Use in Earthquake Resistant Structure*. Bulletin of the New Zealand National Society for Earthquake. Pages 36-88.
- [16] Symans M D, and Constantinou M C. (1998). *Passive fluid viscous damping systems for seismic energy dissipation*. ISET Journal of Earthquake Technology. Pages 185-206.
- [17] ASCE/SEI7-10. (2010). *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*. Virginia.
- [18] Sepehri A. (2018). *Analysis and design of seismic dampers and baseisolators accordance with ASCE7-10 by perform3D-SAP2000-OpenSees*. Tehran: Civil Science Publications, Pages 33-88.
- [19] FEMA440. (2005). *Improvement of nonlinear static seismic analysis procedures*, Washington: Federal Emergency Management Agency.
- [20] FEMAP695. (2009). *Qualification of Building seismic Performance Factors*. Washington: Federal Emergency Management Agency.
- [21] PEER Strong Motion Catalog www.peer.brekeley.edu.

- [22] Estekanchi H E, and Charkhtab Basim M. (2010). *Application of endurance time method in optimal design of viscouse dampers based on seismic performance of steel frames*. 5th National Congress of Civil Engineering. Mashhad: Ferdowsi university of mashhad.