



ارزیابی استاتیکی غیرخطی قاب مهاربندی زیپی تحت زلزله دور از گسل

جواد واثقی امیری^۱، مریم اصغر نژاد لمراسکی^۲، مرتضی نقی پور^۳

۱- عضو هیأت علمی، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، vaseghi@nit.ac.ir

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

۳- عضو هیأت علمی، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

چکیده

در سال‌های اخیر به دلیل اقبال زیاد مهندسان به طراحی ساختمان‌ها براساس عملکرد، استفاده از روش‌های تحلیل غیرخطی که پاسخ‌های عملکردی سازه را بهتر نشان می‌دهند رو به افزایش است. روش تحلیل دینامیکی غیرخطی به‌عنوان دقیق‌ترین روش در ارزیابی نیاز سازه‌ها شناخته شده است اما به دلیل وجود مشکلات کاربردی و محاسبات پیچیده و زمان بر، به‌طور گسترده قابل استفاده نیستند. در مقابل سادگی مدل‌سازی و همچنین حجم اندک تحلیل و نیاز زمانی کمتر در تحلیل استاتیکی غیرخطی، موجب توجه روزافزون به آن در سال‌های اخیر شده است. از سوی دیگر پذیرش سیستم‌های ساختاری جدید مقاوم در برابر زلزله، به دلیل عدم وجود اطلاعات کافی به‌منظور بررسی عملکرد لرزه‌ای با مشکل روبروست. قاب‌های مهاربندی زیپی که نوعی قاب مهاربند هم‌مرکز ویژه محسوب می‌شوند نیز از این جمله‌اند. بدین منظور قاب مهاربندی شده زیپی ۸،۵ و ۱۲ طبقه فولادی با استفاده از نرم‌افزار PERFORM-3D مدل‌سازی شد و تحت تحلیل استاتیکی غیرخطی قرار گرفت. به‌منظور ارزیابی عملکرد از تحلیل تاریخیچه زمانی غیرخطی تحت ۷ شتاب‌نگاشت حوزه دور استفاده شد و نتایج مقایسه گشته است.

کلمات کلیدی: طراحی بر اساس عملکرد، استاتیکی غیرخطی، دینامیکی غیرخطی، قاب مهاربندی زیپی

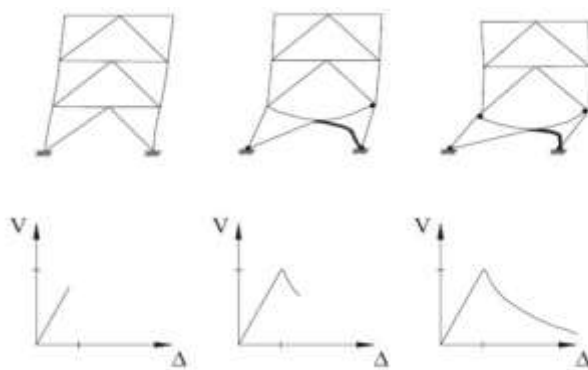
۱- مقدمه

در سال‌های اخیر محققان گام‌های مؤثری در طراحی سازه‌های مقاوم در برابر زلزله برداشته‌اند. این پیشرفت شامل تغییر نگرش دانشمندان از طراحی بر اساس نیرو به طراحی بر اساس رفتار بوده است. این روش اصطلاحاً روش طراحی بر اساس عملکرد نامیده می‌شود. طراحی بر اساس عملکرد در حقیقت به روشی اطلاق می‌شود که در آن معیار طراحی سازه به‌صورت دستیابی به یک رفتار و عملکرد هدف تشریح می‌شود. تاکنون در این مورد مراجع و مؤسسات معتبری در آمریکا روش‌هایی برای ارزیابی و بهسازی ساختمان‌ها و دستورالعمل‌های مدونی بر مبنای طراحی بر اساس عملکرد ارائه کرده‌اند. از میان آن‌ها می‌توان به آیین‌نامه‌های ATC و FEMA اشاره کرد. در پی این آیین‌نامه‌ها در کشور ما نیز دستورالعمل تخصصی بهسازی ساختمان‌های موجود منتشر شده است.

طراحی ساختمان‌ها با استفاده از روش غیرخطی و بررسی آن‌ها به روش سطح عملکرد، توسط آیین‌نامه‌های بهسازی معتبر از مسائل اساسی صنعت ساختمان در کشورمان است.

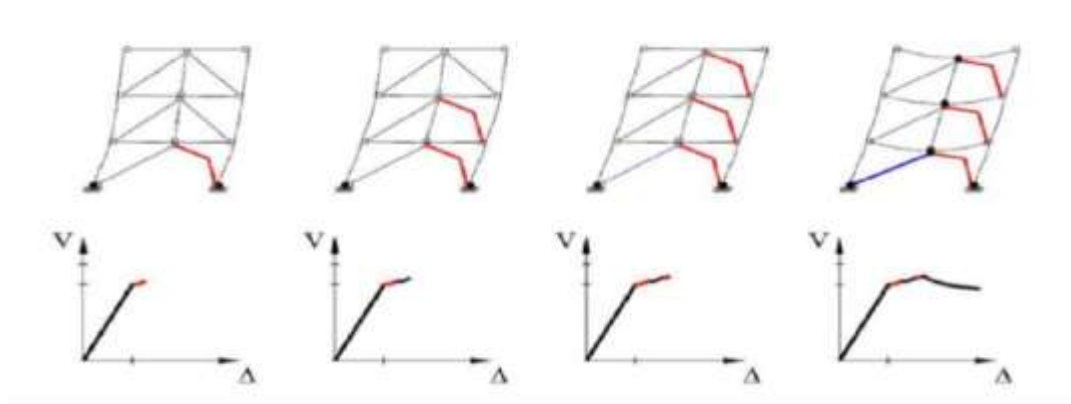
۲- قاب مهاربندی زیپی

قاب‌های شورون، یکی از انواع قاب‌های مهاربندی شده هم‌مرکز هستند. رفتار چنین سیستم‌هایی توسط کمانش مهاربندها کنترل می‌شود. به‌طور کلی این سیستم قابلیت بازپخش نیروها را، پس از خرابی موضعی پیش‌آمده در یک طبقه، ندارد و در زلزله‌های گذشته رفتار خوبی از خود نشان نداده است [۱].



شکل ۱: مکانیسم خرابی قاب مهاربندی شورون

به‌منظور کاهش تشکیل طبقه نرم و برای رسیدن به پاسخ لرزه‌ای غیر الاستیک پایدار در قاب‌های شورون، افزودن ستون زیپی در نقطه اتصال مهارها و تیر توسط خطیب و همکارانش پیشنهاد شد [۲]. کمانش تقریباً هم‌زمان مهاربندها در کل ارتفاع سازه باعث توزیع یکنواخت خرابی و خسارت در سازه می‌شود.



شکل ۲: قاب مهاربندی زیبی مطابق پیشنهاد خطیب [۳].

برای جلوگیری از ایجاد مکانیسم زیپر در ارتفاع سازه، یانگ و لئون در سال ۲۰۰۴، سازه قاب مهاربندی اصلاح شده‌ای را پیشنهاد کردند که زیپر معلق نام گرفت [۴]. بر اساس پیشنهاد ارائه شده توسط آن‌ها، ابعاد مهارها در بالاترین طبقه، باهدف جلوگیری از خرابی کلی سازه، افزایش می‌یابد. همچنین قاب زیپر معلق مسیر روشنی از نیرو را مشخص می‌کند، بنابراین شرایط طراحی بر اساس ظرفیت برای تمام اعضای سازه به آسانی فراهم می‌شود.

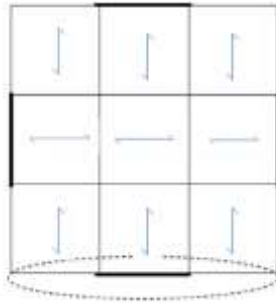
۳- مدل‌سازی و تحلیل خطی

مدل‌های مورد استفاده در این تحقیق دارای پلان مربعی به ابعاد ۱۵ X ۱۵ متر بوده که در هر راستا دارای سه دهانه و دو قاب مهاربندی شده می‌باشند، (شکل ۳) مدل‌های مورد مطالعه شامل قاب‌هایی با تعداد طبقات ۵، ۸ و ۱۲ می‌باشند، (شکل ۴). مشخصات ابعادی قاب‌های مورد مطالعه در جدول (۱) ارائه شده است.

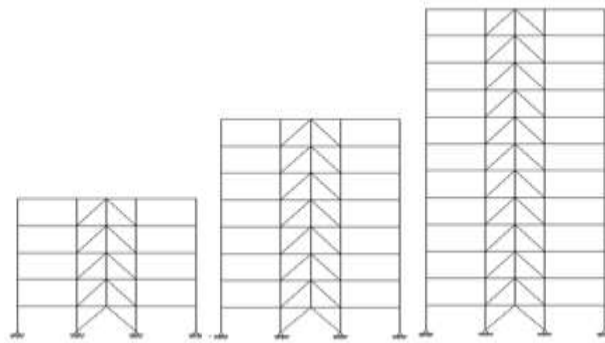
جدول ۱: ابعاد قاب‌های بررسی شده

ارتفاع کل	ارتفاع سایر طبقات	ارتفاع طبقه اول	تعداد دهانه	عرض دهانه	قاب
۱۴/۸ متر	۳ متر	۲/۸ متر	۳	۵ متر	قاب ۵ طبقه
۲۳/۸ متر	۳ متر	۲/۸ متر	۳	۵ متر	قاب ۸ طبقه
۳۵/۸ متر	۳ متر	۲/۸ متر	۳	۵ متر	قاب ۱۲ طبقه

کلیه اتصالات تیرها و مهاربندها به صورت مفصلی فرض شده‌اند. همه قاب‌ها واقع بر خاک نوع ۴ می‌باشند. برای به دست آوردن مقاطع اولیه، بار مرده طبقات 650 kg / m^2 و بار مرده بام 580 kg / m^2 در نظر گرفته شده و برای بار زنده از مقدار تعیین شده توسط آیین‌نامه که برابر 200 kg / m^2 برای طبقات و 150 kg / m^2 برای بام است، استفاده شده است.



شکل ۳: پلان سازه



شکل ۴: نمای قاب‌های بررسی شده (قاب ۵، ۸ و ۱۲ طبقه)

بارگذاری لرزه‌ای و تحلیل سازه‌ها بر اساس ضوابط استاندارد [۵] ۲۸۰۰ و مبحث دهم آیین‌نامه ایران [۶] انجام شده است. بار زلزله طراحی ناشی از شتاب زلزله در جرم ناشی از بارگذاری ترکیب زیر می‌باشد:

$$D + 0.2 L$$

مقاطع ساخته شده به صورت باکس و با استفاده از فولاد St 37 با تنش تسلیم 24000 kg/cm^2 و مدول الاستیسیته 2100000 kg/cm^2 می‌باشند. در ساخت مقاطع به این نکته توجه شده است که ضوابط طرح لرزه‌ای بیان شده در مبحث دهم مقررات ملی رعایت شود. برای طراحی سیستم‌ها به روش LRFD از آیین‌نامه AISC360-05 استفاده شده و برای سازگاری بیشتر با آیین‌نامه ایران تغییراتی در فرضیات آن اعمال شده است [۷]. ابتدا مدل‌ها در نرم‌افزار ETABS با استفاده از روش استاتیکی معادل طراحی اولیه شده‌اند سپس برای بررسی رفتار غیرخطی از نرم‌افزار PERFORM استفاده شده است. در این تحقیق روش پوش آور و بار جانبی پیشنهادی آیین‌نامه بهسازی، توسط روش تاریخچه زمانی غیرخطی ارزیابی می‌گردد.

۴- مدل سازی و تحلیل غیر خطی

ترکیبات بارگذاری ثقلی

مطابق با دستورالعمل بهسازی لرزه ای دو نوع ترکیب بار بایستی تعریف گردد [۸]. این دو ترکیب بار به منظور در نظر گرفتن اثر ثقلی شدیدتر و یا کمتر به منظور تشدید لنگرها در تیرها و ستون ها و یا کاهش آن به منظور کنترل کشش می باشند. این دو ترکیب بار ثقلی به صورت زیر تعریف می شود.

$$Q_1 = 1.1(Q_D + Q_L) \quad \text{معادله ۱}$$

$$Q_2 = 0.9Q_D \quad \text{معادله ۲}$$

در روابط بالا، Q_D بار مرده و Q_L بار زنده مؤثر می باشد.

الگوهای بارگذاری جانبی

توزیع بار جانبی بر مدل سازه باید تا حد امکان شبیه ه آنچه در هنگام زلزله رخ خواهد داد، باشد و حالت های بحرانی تغییر شکل و نیروها را در اعضا ایجاد نماید. در این راستا حداقل دو نوع توزیع بار جانبی بر سازه اعمال می گردد. در این تحقیق جهت منظور نمودن اثر خودهای بالاتر، از توزیع متناسب با نیروهای جانبی حاصل از تحلیل دینامیکی خطی طیفی که ترکیب خودهای آن بر اساس روش SRSS صورت گرفته، به عنوان توزیع نوع اول استفاده شده است. و از توزیع یکنواخت که در آن بار جانبی متناسب با وزن هر طبقه محاسبه می شود، به عنوان توزیع نوع دوم استفاده شده است.

۴- مشخصات شتاب نگاشت ها

در این پژوهش رفتار قاب های مدل شده، تحت تأثیر ۷ شتاب نگاشت مربوط به زلزله دور از گسل مورد بررسی قرار گرفته و چگونگی تأثیر زلزله حوزه دور بر پاسخ های لرزه ای سازه بررسی شده است. شتاب نگاشت های انتخابی مطابق جدول (۲) می باشند.

جدول ۲: مشخصات شتاب‌نگاشت‌های انتخابی

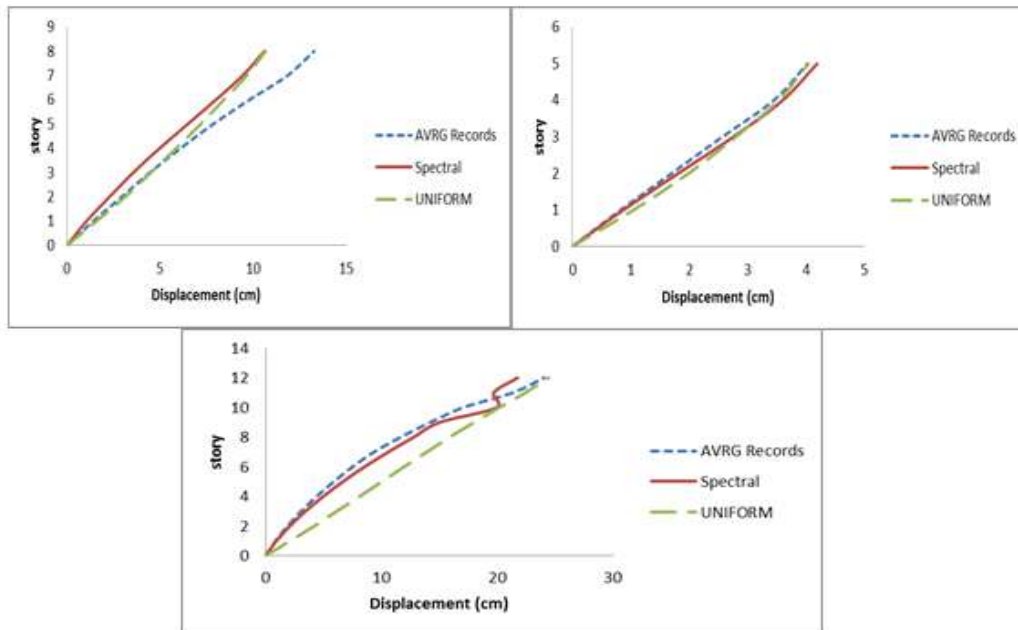
زلزله	ایستگاه	بزرگی زلزله	فاصله از گسل	بیشینه شتاب
CHI-CHI 1999/09/20	P1143	۷/۶	۲۵/۹۶	۰/۶۳۹
CAPE	P0811	۷/۱	۳۲/۶	۰/۲۲۹
KOBE	P1041	۶/۹	۲۶/۴	۰/۳۴۵
LOMA	P0734	۶/۹	۲۰	۰/۲۴
PALM	P0535	۶	۳۲	۰/۲۵
NORTHRIDGE	P0889	۶/۷	۲۰/۸	۰/۶۱۷
LANDERS	P0865	۷/۳	۲۲/۸	۰/۴۱۷

شتاب‌نگاشت‌ها مطابق دستورالعمل آیین‌نامه زلزله ایران، ویرایش سوم مقیاس شده‌اند و در جدول ۳ ارائه گشته‌اند.

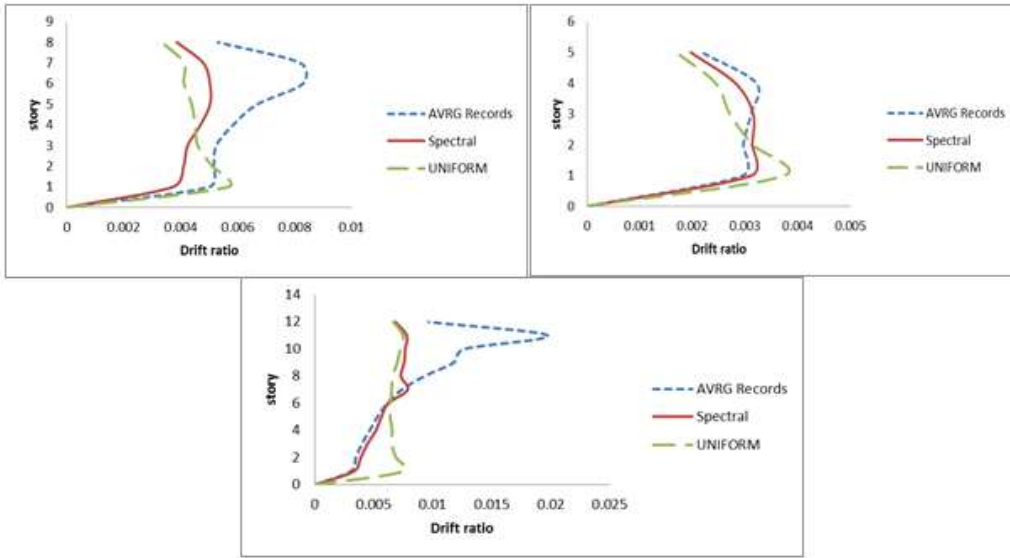
جدول ۳: عدد مقیاس قاب‌ها

زلزله دور از گسل	قاب ۱۲ طبقه	قاب ۸ طبقه	قاب ۵ طبقه
	۱/۲ g	۰/۸۵g	۰/۴۲g

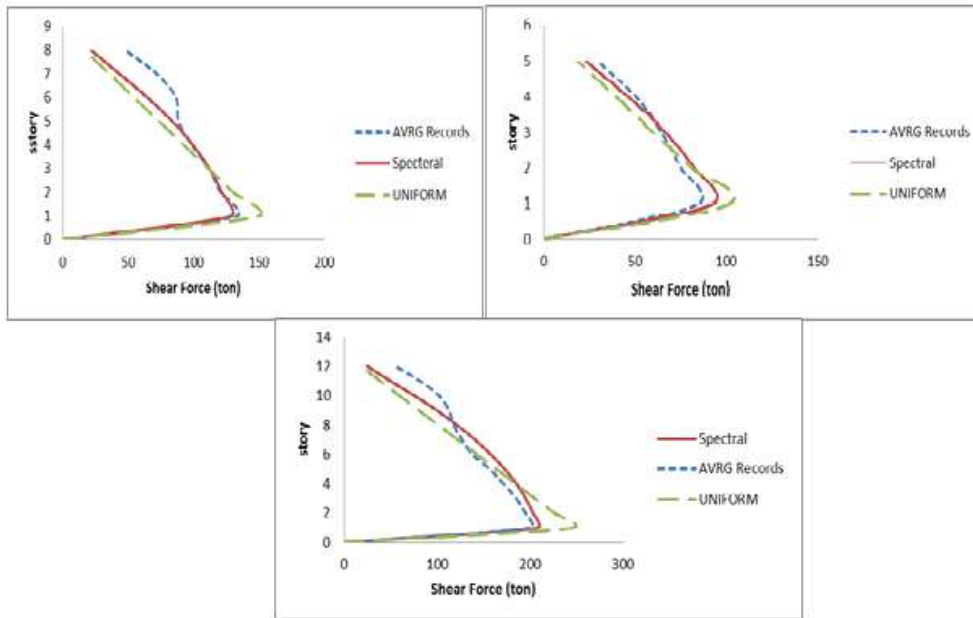
۶- ارائه نتایج



نمودار ۱: نمودار جابجایی طبقات



نمودار ۲: نمودار نسبت دررفت طبقات



نمودار ۳: نمودار برش طبقات

۷- نتیجه گیری:

- ۱- جابجایی به دست آمده برای قاب ۵ طبقه، تحت بار جانبی ناشی از طراحی دینامیکی طیفی و بار یکنواخت، مقادیر نزدیک به هم را نشان می دهد و انطباق خوبی با میانگین جابجایی حاصل از رکوردها دارد.
- ۲- در قاب ۸ طبقه، الگوی بار یکنواخت در طبقات پایینی و میانی از دقت بالایی در تخمین مقدار جابجایی برخوردار است اما در طبقات بالایی مقادیر به دست آمده اختلاف فاحشی دارند.
- ۳- جابجایی به دست آمده در قاب ۱۲ طبقه توسط بار جانبی طیفی با دقت بالایی مقادیری نزدیک به میانگین رکوردها را ارائه می دهد.
- ۴- در برآورد نسبت دریافت، هیچ یک از بارهای جانبی در طبقات بالایی هم پوشانی مناسبی با نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی غیرخطی ندارند. این اختلاف در سازه ۵ طبقه کمتر از دو سازه دیگر است.
- ۵- نسبت دریافت به دست آمده برای قاب ۵ و ۱۲ طبقه در طبقات پایینی و میانی انطباق بیشتری با نتایج به دست آمده حاصل از طیف را نشان می دهد.
- ۶- برش به دست آمده توسط طیف، برای طبقات پایینی در سازه ۵ و ۱۲ طبقه مقادیر دست بالایی را ارائه می دهد و در سازه ۸ طبقه هم پوشانی مناسبی مشاهده می شود.
- ۷- به دلیل اختلاف ناگهانی سختی در بالاترین طبقه، هیچ یک از بارهای جانبی بررسی شده، برای طبقات بالایی، برآورد واقع بینانه ای از نسبت دریافت و برش طبقه را ارائه نمی دهند.

مراجع

- [۱] بربریان، امنویل، "اولین کاتالوگ زلزله و پدیده های طبیعی ایران"، انتشارات موسسه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله ایران، تهران ۱۳۷۴
- [2] Khatib, I.F. Mahin, S.A. and Pister, K.S., (1988), "Seismic Behavior of Concentrically Braced Steel Frame," Report No. UCB/EERC-88/01, Berkeley, Earthquake Engineering Research Center, University of California
- [3] Chen L. "Innovative Bracing System for Earthquake Resistant Concentrically Braced Frame Structures," A Thesis in the Department of Building Civil & Environmental Engineering, (2011).
- [4] Yang CS, Leon RT, Des Roches R. "Pushover response of a braced frame with suspended zipper struts". *J Struct Eng, ASCE* 2008;10:1619-26.
- [5] مرکز ت تحقیقات مسکن، آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله، استاندارد ۲۸۰۰، ویرایش سوم.
- [6] دفتر امور مقررات ملی ساختمان، مقررات ملی ساختمان، مبحث دهم طرح و اجرای ساختمان های فولادی، ۱۳۸۸.
- [7] جعفری، احمد رضا، "اعمال ضوابط طرح لرزه ای مبحث دهم به روش LRFD با استفاده از ضوابط آیین نامه AISC360 در نرم افزار ETABS"، اولین همایش ملی سازه-زلزله-ژئوتکنیک، ۱۳۸۹.
- [8] سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، دستورالعمل بهسازی لرزه ای ساختمان های موجود، نشریه شماره ۳۶۰.