



Mojtaba Pashapour
civil engineering

مدلسازی قاب خمشی فولادی دو بعدی (با میراگر تسلیمی)

مدلسازی در نرم افزار SAP2000 تحلیل استاتیکی معادل، تحلیل پوش آور و
تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی

نکات مربوط به مدلسازی، مقیاس سازی زلزله ها و نتایج تحلیل

تهیه کننده مهندس مجتبی پاشاپور آذر (مدرس و طراح سازه)

تدریس خصوصی طراحی سازه بتنی و فولادی با نرم افزار ایتبس و سیف

[@MP Civil](#) لینک کانال آموزش، طراحی اجرا



مدلسازی و پیکربندی الگوهای ساختمانی اولیه

مدل‌های سازه‌ای مورد استفاده در این پروژه به صورت ۲ بعدی و از نوع قاب خمشی فولادی ویژه با تعداد طبقات ۴، ۸، ۱۲ و ۲۰ طبقه و ارتفاع ۳.۲ متر در نظر گرفته شده‌اند که هر کدام دارای ۳ دهانه‌ی ۵ متری می‌باشند. اتصال ستون به فونداسیون به صورت گیردار فرض شده است. طبق استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش چهارم نوع کاربری مسکونی و ضریب اهمیت ساختمان برابر یک منظور گردید. همچنین خاک محل احداث نوع III و کلیه قاب‌ها در منطقه با خطر لرزه‌خیزی خیلی زیاد ($A=0.35$) مطابق با استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش چهارم در نظر گرفته شده است.

جرم مرده لرزه‌ای با استناد به مقادیر پیشنهاد شده در آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها برای کلیه مدل‌ها جرم مرده بعلاوه ۲۰٪ جرم زنده محاسبه گردید.

بار مرده کلیه طبقات ۳۰۰۰ کیلوگرم بر متر و بار زنده ۱۲۵۰ کیلوگرم بر متر فرض شده است.

مقاطع مورد استفاده در مدل‌ها برای تیرها IPE تک، برای ستون‌ها BOX و برای مهاربندها مقطع قوطی می‌باشد. فولاد مورد استفاده در مدل‌سازی نیز ST37 در نظر گرفته شد که تنش تسلیم و تنش نهایی آن به ترتیب برابر با $F_y=2400 \text{ Kg/cm}^2$ و $F_u=3700 \text{ Kg/cm}^2$ می‌باشد. همچنین مدول یانگ برابر $E=2 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2$ و ضریب پواسون ($\nu=0.3$) ملاک عمل قرار گرفت. مشخصات قاب‌های مورد استفاده در پایان‌نامه در جدول (۱-۳) آورده شده است.

جدول (۱-۳): مشخصات قاب‌های مورد بررسی

ردیف	منطقه لرزه‌خیزی	نام مدل	تعداد طبقات	ارتفاع سازه (m)	تعداد دهانه	طول دهانه (m)
۱	پهنه با خطر نسبی خیلی زیاد	SMRF4	۴	۱۲.۸۰	۳	۵
۲	پهنه با خطر نسبی خیلی زیاد	SMRF8	۸	۲۵.۶۰	۳	۵
۳	پهنه با خطر نسبی خیلی زیاد	SMRF12	۱۲	۳۸.۴	۳	۵
۴	پهنه با خطر نسبی خیلی زیاد	SMRF20	۲۰	۶۴	۳	۵



خطی و طراحی قابها و تعیین نتایج

در طراحی اولیه قابهای فولادی نکات زیر در نظر گرفته شده است:

۱- اثرات $P - \Delta$ در نظر گرفته شده است.

۲- در طراحی اولیه قابها کنترل ضابطه دررفت صورت است.

۳- برای بارگذاری قابها از مبحث ۶ مقررات ملی ساختمان ویرایش ۱۳۹۶ استفاده گردیده است.

۴- طراحی قابهای فولادی بر اساس ضوابط طراحی لرزهای مندرج در مبحث ۱۰ مقررات ملی ساختمان ویرایش ۱۳۹۲ و به روش LRFD صورت پذیرفت.

۵- طراحی لرزه‌ای قابها بر اساس ضوابط AISC360-2010 و با رعایت کلیه جزییات طراحی لرزه‌ای در SAP2000 انجام گرفت.

پارامترهای اصلی طراحی شامل پریود T طبق رابطه تجربی استاندارد ویرایش چهارم، ضریب زلزله C و K به ترتیب طبق رابطه (۱-۳) الی (۳-۳) برای هر یک از قابها محاسبه شده‌اند و به همراه نوع آنالیز انجام گرفته در جدول (۲-۳) ارائه شده‌اند.

$$T = 1.25 \times 0.08H^{0.75} \quad (1-3)$$

در رابطه فوق H ارتفاع سازه و T زمان تناوب تجربی مطابق با بند ۳-۳-۱-۲ استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش چهارم هستند.

$$C = \frac{ABI}{R} \quad (2-3)$$

$$K = 0.5T + 0.75 \rightarrow 0.5 \leq T \leq 2.5 \text{ Sec} \quad (3-3)$$

مقادیر K برای مقادیر T کوچکتر از ۰.۵ ثانیه و بزرگتر از ۲.۵ ثانیه باید به ترتیب ۱ و ۲ در نظر گرفته

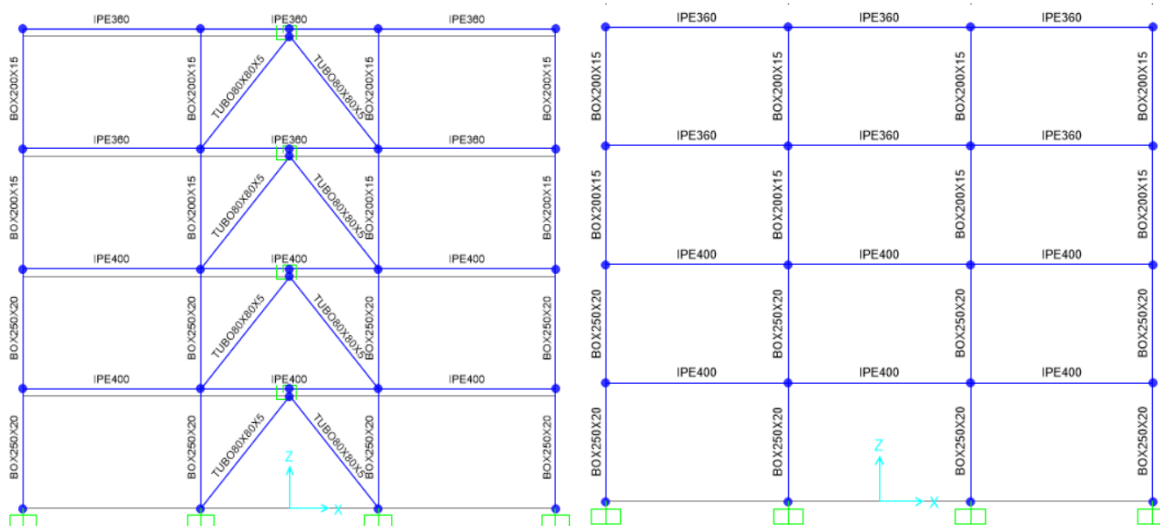
می‌شود.



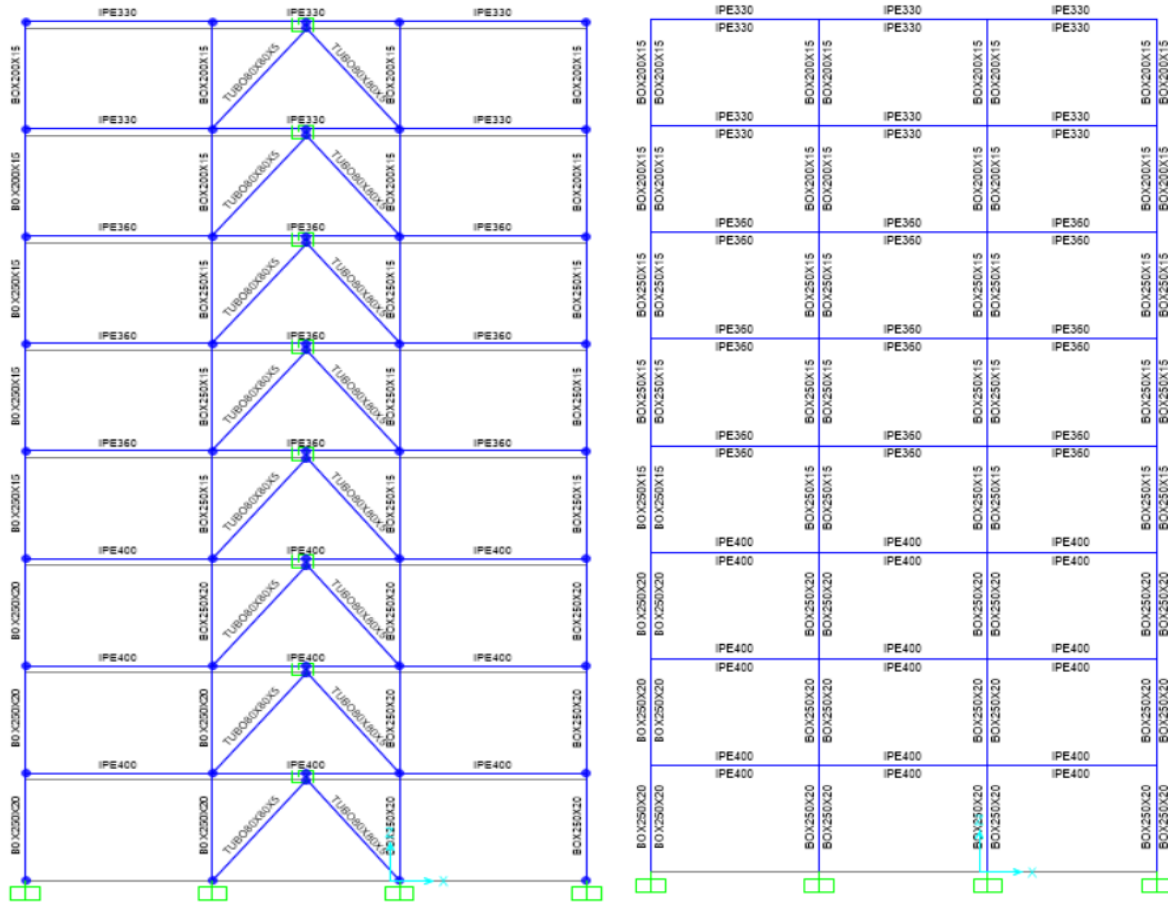
جدول (۲-۳): پارامترهای اصلی طراحی

K	C	B	A	I	R	T (sec)	نوع آنالیز خطی	نام مدل
۱.۰۸	۰.۱۲۸۳	۲.۷۵	۰.۳۵	۱	۷.۵	۰.۵۴۴	استاتیکی معادل	SMRF4
۱.۳۱	۰.۰۸۶۳	۱.۸۵	۰.۳۵	۱	۷.۵	۰.۹۱۲	استاتیکی معادل	SMRF8
۱.۵۲	۰.۰۶۸۶	۱.۴۷	۰.۳۵	۱	۷.۵	۱.۲۳	استاتیکی معادل	SMRF12
۱.۸۸	۰.۰۵۲۹	۱.۱۳	۰.۳۵	۱	۷.۵	۱.۸۰	دینامیکی طیفی	SMRF20

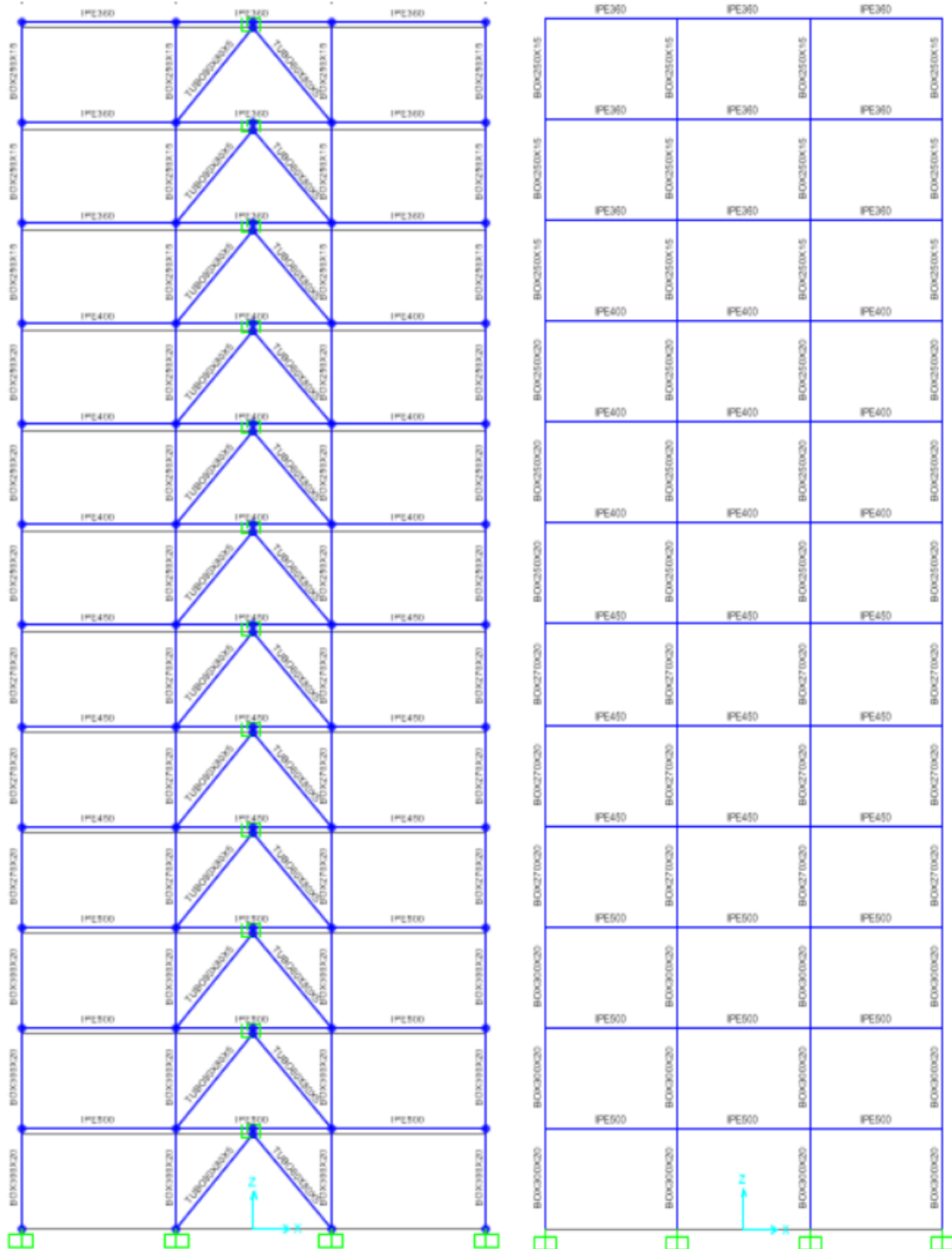
در شکل‌های (۱-۳) الی (۴-۳) مقاطع قاب‌های خمشی و همچنین میراگرها نشان داده شده است.



شکل (۱-۳): مقاطع قاب ۴ طبقه



شکل (۳-۲): مقاطع قاب ۸ طبقه



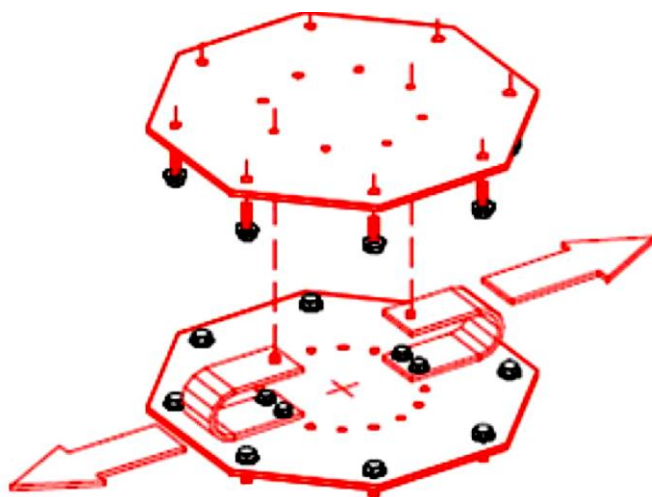
شکل (۳-۳): مقاطع قاب ۱۲ طبقه





میراگر جاری شونده U شکل

میراگر مورد بررسی در این تحقیق از نوع جاری شونده U شکل است و مشخصات آن از رفرنس برداشت شده است. همانگونه که در مقاله مرجع ذکر شده است هر ابزار از دو قطعه U شکل قرار گرفته در مقابل هم تشکیل شده است شکل (۳-۵) میراگر مبنا 1U نام گذاری می شود که متشکل از دو قطعه خمیده می باشد و هر قطعه از ورق فلزی از جنس فولاد نرمه به ابعاد مقطع عرضی $10 \times 100 \text{ mm}$ و شعاع انحنای 50 mm ساخته شده است.



شکل (۳-۵): میراگر جاری شونده U شکل مورد استفاده

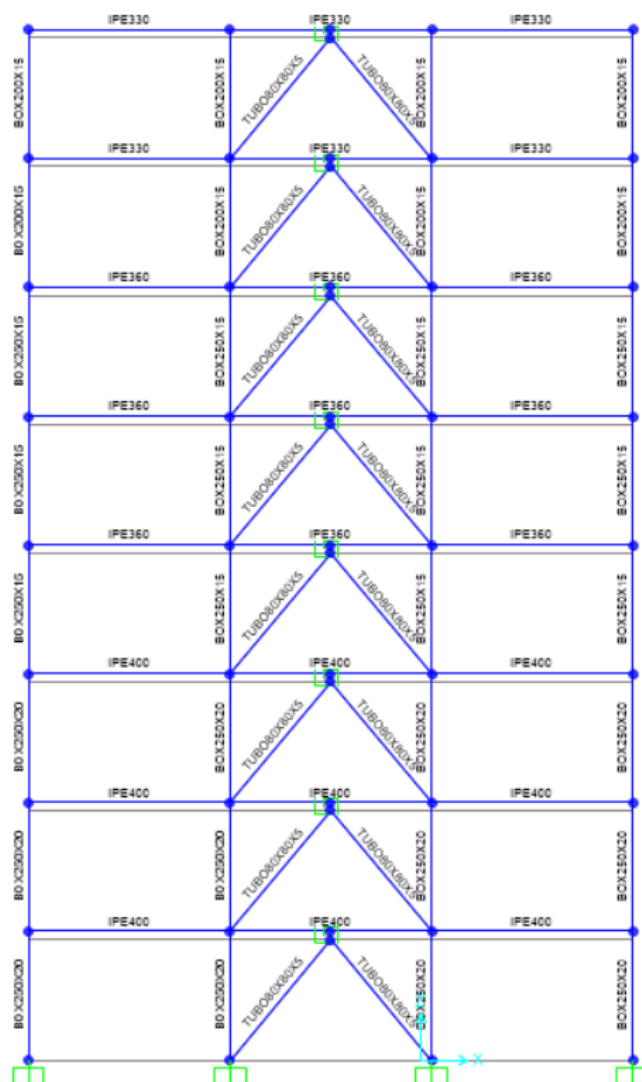
کارکرد این میراگر بدین صورت است که بر حسب نیاز و با سعی و خطا، در قابهای مختلف از میراگر با مشخصات متفاوت استفاده می گردد. در میراگرهای مختلف به کار برده شده کلیه مشخصات میراگر ثابت بوده و تنها با افزایش و یا کاهش تعداد واحدهای میراگر، مثل این است که عرض دستگاه معادل مورد استفاده تغییر پیدا می کند و در نتیجه، فقط سختی و نیروی تسلیم به صورت خطی تغییر می یابد. به عنوان مثال، مقاومت تسلیم و سختی ابزار 2U، دو برابر مقادیر مربوط به ابزار 1U می باشد. برای میراگر 1U با مشخصات ابعادی ذکر شده، سختی اولیه برابر 2000 Kg/cm و نیروی تسلیم 9247 kg می باشد [۲]. در تحقیق حاضر



نیز مطابق با مقاله رفرنس میراگر مبنا 1U نام گذاری شده است و با سعی و خطا میراگر مناسب برای تمامی قاب‌ها و تمامی طبقات 1U انتخاب گردید.

برای مدل سازی میراگر در نرم افزار SAP2000 از المان فنر غیرخطی پلاستیک ون با سختی 20000 kg/cm و نیروی تسلیم 9247kg استفاده شده است. نسبت مقاومت پس از تسلیم میراگر نیز ۰.۰۱ و Yeilding exponent برابر ۲ در نظر شده. جابجایی نهایی میراگر که عملکرد آن به طور کامل از بین می رود همانند اکثر میراگرهای جاری شونده فلزی $10\Delta_y$ فرض گردید.

در شکل (۳-۶) قاب ۸ طبقه به همراه میراگر مدل شده در نرم افزار SAP آورده شده است.



شکل (۳-۶): قاب ۸ طبقه با میراگر در نرم افزار sap



رکوردهای زلزله مورد استفاده و شیوه مقیاس سازی آن‌ها

به منظور بررسی رفتار قاب‌های با و بدون میراگر از ۷ رکورد زلزله نزدیک با رعایت ضوابط پیشنهادی برای انتخاب شتابنگاشت‌ها مطابق با آیین‌نامه ۲۸۰۰ ویرایش چهارم و برگرفته از سایت Peer جهت انجام تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی استفاده شد.

در این پژوهش، برای انجام تحلیل دینامیکی تاریخچه‌ی زمانی غیرخطی از هفت شتابنگاشت میدان نزدیک مربوط به خاک نوع III استفاده شده است. مشخصات شتابنگاشت‌های در نظر گرفته شده در جدول (۳-۳) آورده شده است.

جدول (۳-۳): شتابنگاشت‌های حوزه نزدیک

شماره در دیتا بیس (PEERBERKELEY)	نام شتابنگاشت	نام ایستگاه	فاصله کانونی (Km)	PGA (g)	بزرگا
۸۱۶۱	ال مایر	ال سنترو	۹.۹۸	۰.۴۳۸۶	۷.۲
۱۶۰۲	داز	بلو	۱۲.۰۲	۰.۸۲۷۵	۷.۱۴
۱۱۷۶	کوکائلی	یارمیکا	۱.۳۸	۰.۳۴۴۵	۷.۵۱
۱۱۱۴	کوبه	پورت ایسلند	۳.۳۱	۰.۳۲۵۳	۶.۹
۶۹۰۶	دارفیلد	جی دی ال‌سی	۱.۲۲	۰.۸۷۲۰	۷
۱۸۰	امپریال ولی	ال سنترو	۱.۷۶	۰.۵۳۳۶	۶.۵۳
۷۲۳	سوپر استیشن	پاراکوت	۰.۹۵	۰.۴۳۲	۶.۵۴

مشخصات شتابنگاشت‌ها

بر اساس بند ۲-۵-۳-۱ آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله ۲۸۰۰ ایران حرکت زمین در تعیین اثر زلزله بر ساختمان‌ها را می‌توان مستقیماً با منظور نمودن تغییرات شتاب با زمان در تحلیل دینامیکی سازه به دست آورد. استفاده از این روش در کلیه ساختمان‌ها مجاز است. مشخصات شتابنگاشت‌های انتخابی جهت تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی باید به‌صورت زیر باشد:



الف: شتاب‌نگاشت‌ها متعلق به زلزله‌ای باشند که شرایط طرح را ارضا کنند و در آن‌ها آثار بزرگا، فاصله از گسل، سازوکار چشمه لرزه‌زا در نظر گرفته شده باشد.

ب: ساختگاه‌های شتاب‌نگاشت‌ها باید به لحاظ ویژگی‌های زمین‌شناسی، تکتونیکی، لرزه‌شناسی و بخصوص مشخصات لایه‌ای خاک با زمین محل ساختمان تا حد امکان، مشابهت داشته باشند.

ج: مدت زمان حرکت شدید زمین در شتاب‌نگاشت‌ها حداقل برابر با ۱۰ ثانیه یا سه برابر زمان تناوب اصلی سازه، هر کدام بیشتر است، باشد. مدت زمان حرکت شدید، شتاب‌نگاشت‌ها را می‌توان از روش‌های معتبر مانند روش توزیع تجمعی انرژی، تعیین کرد.

همپایه‌سازی شتاب‌نگاشت‌ها

شتاب‌نگاشت‌های انتخاب‌شده از سایت PEER برای انجام تحلیل تاریخچه زمانی باید مشابهت مناسبی با طیف طراحی داشته باشند که برای این منظور باید مرحله‌ای بنام مقیاس کردن شتاب‌نگاشت‌ها انجام شود. بر اساس ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰، مقیاس کردن شتاب‌نگاشت‌ها بایستی در چهار گام زیر صورت گیرد و قبل از این منظور لازم است در نرم‌افزار SeismoSignal نویزهای اضافی (فیلتراسیون) انجام گیرد.

گام اول: هر زوج شتاب‌نگاشت باید به حداکثر خود مقیاس شوند، به این معنی که حداکثر شتاب در مؤلفه‌ای که دارای بیشینه بزرگ‌تری است، برابر با شتاب ثقل زمین (g) گردد.

گام دوم: پس از مقیاس کردن اولیه هر زوج شتاب‌نگاشت به مقدار حداکثر خود، باید طیف پاسخ شتاب برای هر یک از شتاب‌نگاشت‌ها به دست. چون تحلیل سازه به صورت دویعدی انجام می‌گیرد، طیف مؤلفه بزرگ‌تر شتاب‌نگاشت مورد استفاده قرار می‌گیرد.

گام سوم: شتاب نگاشت چنان مقیاس شود که برای پریود در محدوده $0.2T$ الی $1.5T$ مقدار طیف مربوط به تمام رکوردها، بیش از مقدار متناظر طیف طرح استاندارد کمتر نشود.



گام چهارم: در انتها دو ضریب مقیاس بدست آمده را به هم ضرب نموده و آن‌ها را در مؤلفه‌های اولیه

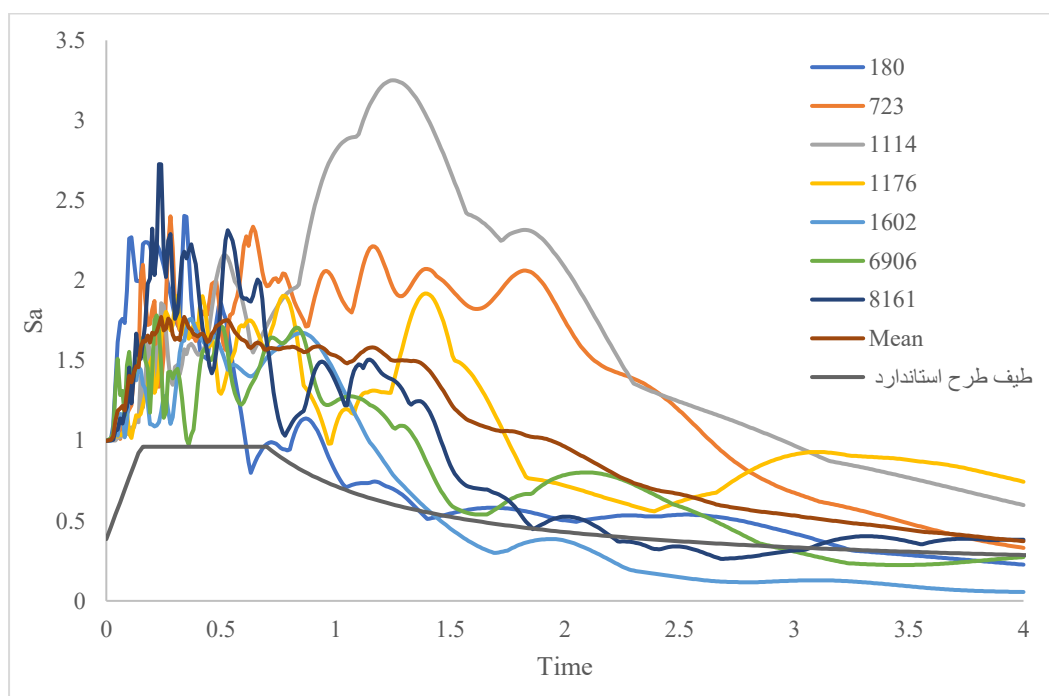
زلزله که مؤلفه اول بزرگ‌تر بوده ضرب نموده و شتاب‌نگاشت حاصل را به عنوان شتاب‌نگاشت مقیاس شده برای هر زلزله به نرم‌افزار وارد خواهیم نمود.

تبصره: در صورتی که طبق ضوابط آیین نامه ۲۸۰۰ تحلیل دو بعدی مجاز باشد، استفاده از حداقل سه

شتاب‌نگاشت مستقل افقی الزامی است. این شتاب‌نگاشت‌ها باید به نحوی مقیاس شوند که مقادیر متوسط طیف بازتاب آن‌ها با ۵٪ میرایی در محدوده دوره تناوب 0.2T-1.5T از میزان نظیر در طیف طرح و یا طیف حداکثر بسته به مورد کمتر نباشد T، زمان تناوب طبیعی اصلی سازه می‌باشد.

روند مقیاس‌سازی برای سازه‌های ۴، ۸، ۱۲ و ۲۰ طبقه در ادامه بیان شده است. در شکل (۷-۳)

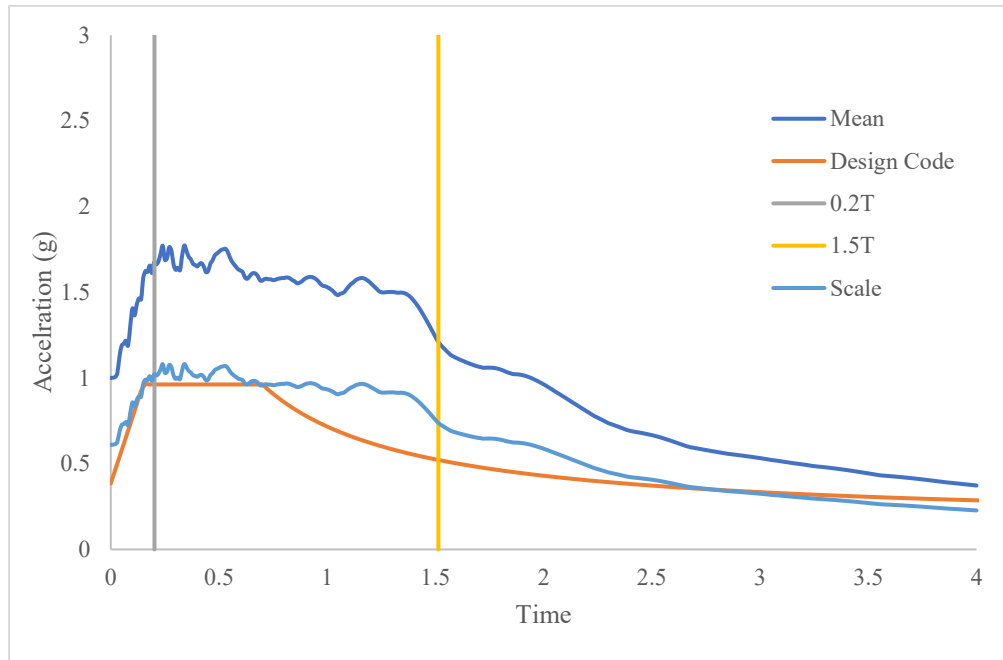
طیف‌های مربوط به رکوردهای حوزه نزدیک نشان داده شده است.



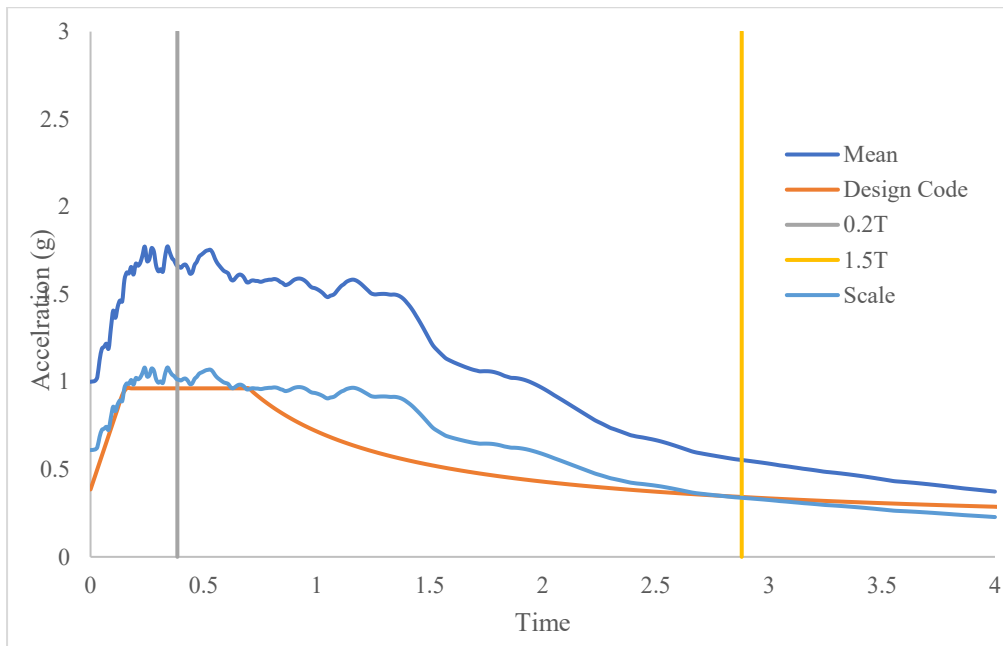
شکل (۷-۳): طیف با میرایی ۵٪ رکوردهای حوزه نزدیک

در شکل (۸-۳) تا (۱۱-۳) نتایج مربوط به مقیاس‌سازی سازه ۴، ۸، ۱۲ و ۲۰ طبقه نشان داده شده

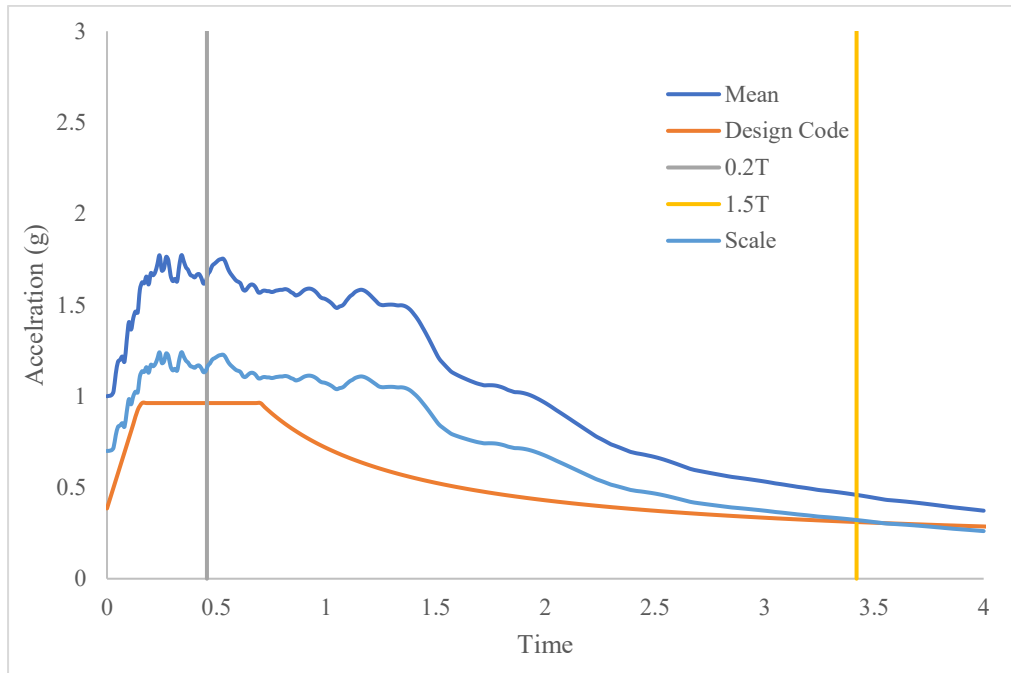
است.



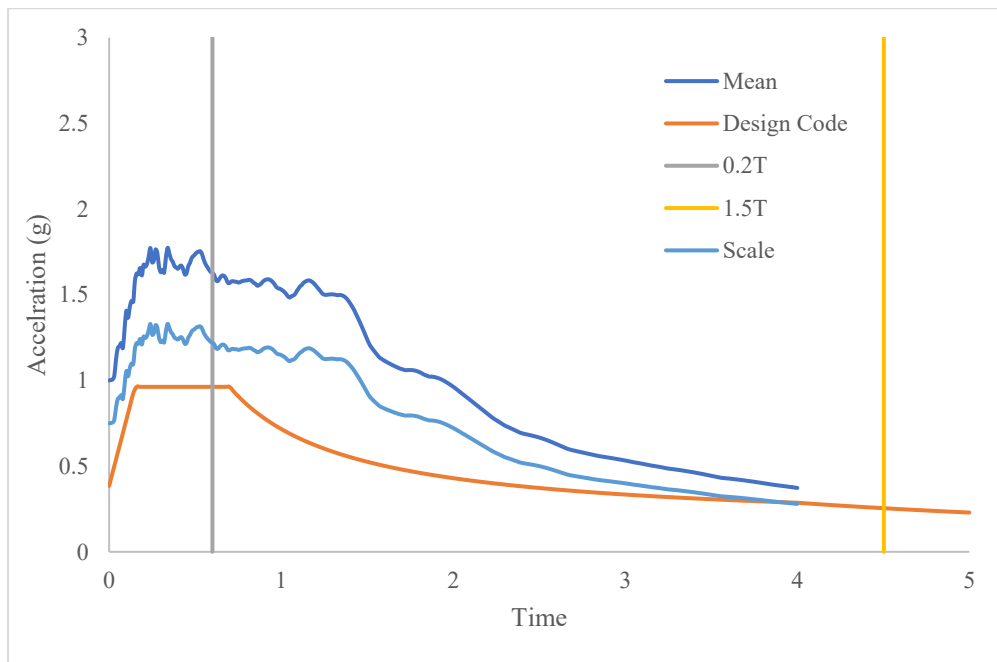
شکل (۳-۸): طیف مقیاس سازی شده سازه ۴ طبقه



شکل (۳-۹): طیف مقیاس سازی شده سازه ۸ طبقه



شکل (۳-۱۰): طیف مقیاس سازی شده سازه ۱۲ طبقه



شکل (۳-۱۱): طیف مقیاس سازی شده سازه ۲۰ طبقه

در جداول (۳-۴) تا (۳-۷) ضرایب مقیاس و شتاب نهایی برای قاب ۴، ۸، ۱۲ و ۲۰ طبقه ارائه شده

است.



جدول (۳-۴): شتاب‌نگاشت‌های حوزه نزدیک (ضرایب مقیاس سازه ۴ طبقه)

شماره در دیتا بیس (PEERBERKELEY)	نام شتاب‌نگاشت	PGA(g)	SF1	SF2	ضریب مقیاس نهایی
۸۱۶۱	ال مایر	۰.۴۳۸۶	۲.۲۸	۰.۶۱	۱.۳۹۰۸
۱۶۰۲	داز	۰.۸۲۷۵	۱.۲۰۸۴	۰.۶۱	۰.۷۳۷۱
۱۱۷۶	کوکائلی	۰.۳۴۴۵	۲.۹۰۲۷	۰.۶۱	۱.۷۷۰
۱۱۱۴	کوبه	۰.۳۲۵۳	۳.۰۷۴۰	۰.۶۱	۱.۸۷۵
۶۹۰۶	دارفیلد	۰.۸۷۲۰	۱.۱۴۶۷	۰.۶۱	۰.۶۹۹۴
۱۸۰	امپریال ولی	۰.۵۳۳۶	۱.۸۷۴۰	۰.۶۱	۱.۱۴۳۱
۷۲۳	سوپر استیشن	۰.۴۸۸۶	۲.۰۴۶۶	۰.۶۱	۱.۲۴۸۴

جدول (۳-۵): شتاب‌نگاشت‌های حوزه نزدیک (ضرایب مقیاس سازه ۸ طبقه)

شماره در دیتا بیس (PEERBERKELEY)	نام شتاب‌نگاشت	PGA(g)	SF1	SF2	ضریب مقیاس نهایی
۸۱۶۱	ال مایر	۰.۴۳۸۶	۲.۲۸	۰.۶۱	۱.۳۹۰۸
۱۶۰۲	داز	۰.۸۲۷۵	۱.۲۰۸۴	۰.۶۱	۰.۷۳۷۱
۱۱۷۶	کوکائلی	۰.۳۴۴۵	۲.۹۰۲۷	۰.۶۱	۱.۷۷۰
۱۱۱۴	کوبه	۰.۳۲۵۳	۳.۰۷۴۰	۰.۶۱	۱.۸۷۵
۶۹۰۶	دارفیلد	۰.۸۷۲۰	۱.۱۴۶۷	۰.۶۱	۰.۶۹۹۴
۱۸۰	امپریال ولی	۰.۵۳۳۶	۱.۸۷۴۰	۰.۶۱	۱.۱۴۳۱
۷۲۳	سوپر استیشن	۰.۴۸۸۶	۲.۰۴۶۶	۰.۶۱	۱.۲۴۸۴

جدول (۳-۶): شتاب‌نگاشت‌های حوزه نزدیک (ضرایب مقیاس سازه ۱۲ طبقه)

شماره در دیتا بیس (PEERBERKELEY)	نام شتاب‌نگاشت	PGA(g)	SF1	SF2	ضریب مقیاس نهایی
۸۱۶۱	ال مایر	۰.۴۳۸۶	۲.۲۸	۰.۷	۱.۵۹۶
۱۶۰۲	داز	۰.۸۲۷۵	۱.۲۰۸۴	۰.۷	۰.۸۴۵۸
۱۱۷۶	کوکائلی	۰.۳۴۴۵	۲.۹۰۲۷	۰.۷	۲.۰۳۱۸
۱۱۱۴	کوبه	۰.۳۲۵۳	۳.۰۷۴۰	۰.۷	۲.۱۵۱۸
۶۹۰۶	دارفیلد	۰.۸۷۲۰	۱.۱۴۶۷	۰.۷	۰.۸۰۲۷
۱۸۰	امپریال ولی	۰.۵۲۹	۱.۸۷۴۰	۰.۷	۱.۳۱۱۸
۷۲۳	سوپر استیشن	۰.۴۸۸۶	۲.۰۴۶۶	۰.۷	۱.۴۳۲۶

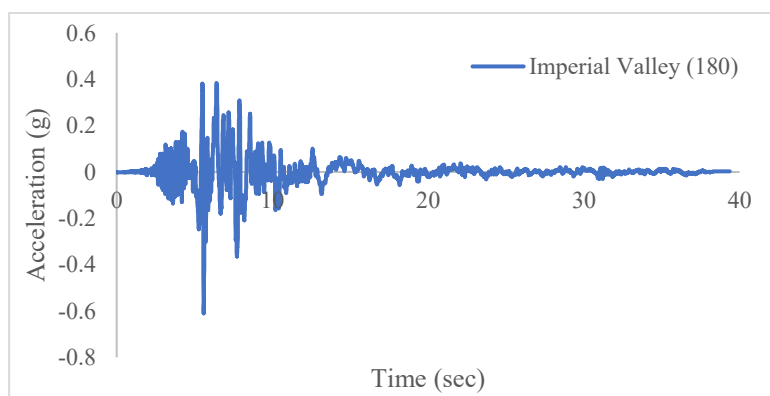


جدول (۷-۳): شتاب‌نگاشت‌های حوزه نزدیک (ضرایب مقیاس سازه ۲۰ طبقه)

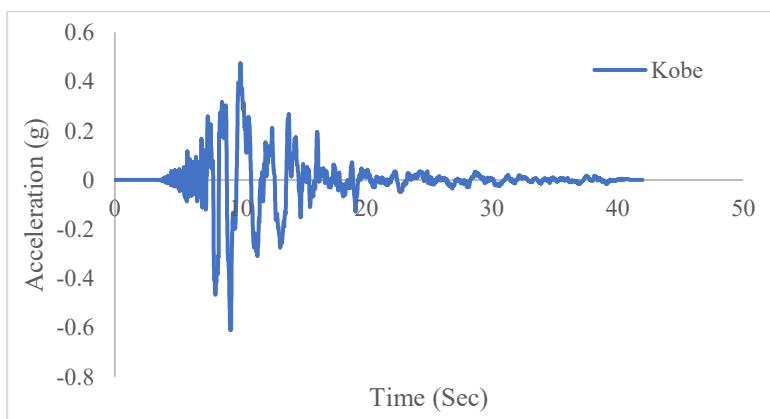
شماره در دیتا بیس (PEERBERKELEY)	نام شتاب‌نگاشت	PGA(g)	SF1	SF2	ضریب مقیاس نهایی
۸۱۶۱	ال مایر	۰.۴۳۸۶	۲.۲۸	۰.۷۵	۱.۷۱
۱۶۰۲	داز	۰.۸۲۷۵	۱.۲۰۸۴	۰.۷۵	۰.۹۰۶۳
۱۱۷۶	کوکائلی	۰.۳۴۴۵	۲.۹۰۲۷	۰.۷۵	۲.۱۷۷۰
۱۱۱۴	کوبه	۰.۳۲۵۳	۳.۰۷۴۰	۰.۷۵	۲.۳۰۵۵
۶۹۰۶	دارفیلد	۰.۸۷۲۰	۱.۱۴۶۷	۰.۷۵	۰.۸۶۰۰
۱۸۰	امپریال ولی	۰.۵۳۳۶	۱.۸۷۴۰	۰.۷۵	۱.۴۰۵۵
۷۲۳	سوپر استیشن	۰.۴۸۸۶	۲.۰۴۶۶	۰.۷۵	۱.۵۳۵۰

همچنین در شکل‌های (۱۲-۳) و (۱۳-۳) رکوردهای دو نمونه از زلزله‌ها برای سازه ۴ طبقه نشان داده

شده است.



شکل (۱۲-۳): رکورد زلزله مقیاس شده سازه ۴ طبقه (امپریال ولی)



شکل (۱۳-۳): رکورد زلزله مقیاس شده سازه ۴ طبقه (کوبه)

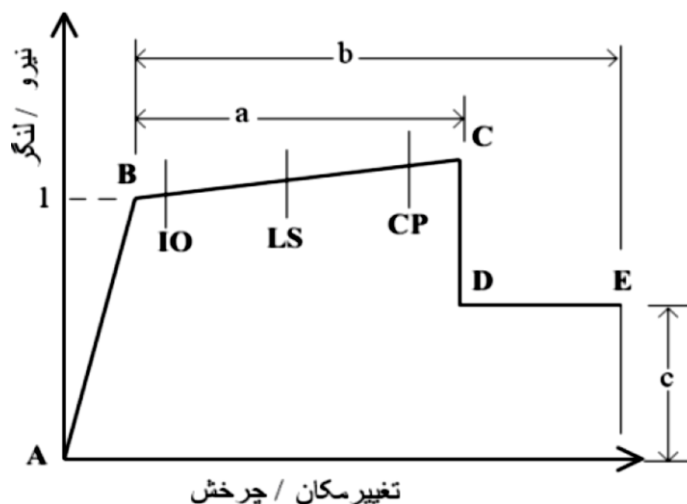


مفاصل پلاستیک

در سازه‌های دارای میراگرهای فلزی جاری شونده معمولاً طراحی اعضای قاب به گونه‌ای است که به صورت الاستیک باقی بمانند و فقط میراگر وارد ناحیه غیرخطی گردد ولی با توجه به اینکه حتی در زلزله‌های شدید با رعایت این فلسفه طراحی ممکن است اعضای قاب نیز تا حدودی رفتار غیرخطی را تجربه نمایند و همچنین برای بررسی رفتار واقعی اعضای سازه در زلزله‌های مختلف، در هر دو حالت قاب بدون میراگر و قاب مجهز به میراگر پتانسیل رفتار غیرخطی از طریق اختصاص مفاصل پلاستیک به تیرها و ستونها در نظر گرفته شد. برای اختصاص مفاصل پلاستیک به تیرها و ستونها از مفاصل پلاستیک اتوماتیک در نرم‌افزار sap که مشخصات آن‌ها براساس آیین‌نامه ASCE-41-13 است استفاده شده است. پارامترهای مدل‌سازی و معیارهای پذیرش تیرها و ستونها در جدول (۳-۱۴) آورده شده است. این پارامترها تعیین کننده مقدار مجاز نسبت نیرو-تغییر مکان (و یا لنگر - چرخش) به مقدار تسلیم متناظر برای سطوح مختلف عملکرد سازه‌ای بوده و در شکل (۳-۱۴) نمایش داده شده‌اند. در این شکل IO معرف سطح عملکرد استفاده بی‌وقفه، LS معرف سطح عملکرد ایمنی جانی، CP معرف آستانه فروپاشی، D مرحله خطر و در نهایت E شکست المان است.

جدول (۳-۱۴): پارامترهای مدل‌سازی و معیارهای پذیرش

معیارهای پذیرش			پارامترهای مدل‌سازی			عضو
CP	LS	IO	c	b	a	
$11\theta_y$	$9\theta_y$	$10\theta_y$	0.6	$11\theta_y$	$9\theta_y$	تیر
$17\left(1 - \frac{5}{3} \frac{P}{P_{CL}}\right)\theta_y$	$14\left(1 - \frac{5}{3} \frac{P}{P_{CL}}\right)\theta_y$	$0.25\theta_y$	0.2	$17\left(1 - \frac{5}{3} \frac{P}{P_{CL}}\right)\theta_y$	$11\left(1 - \frac{5}{3} \frac{P}{P_{CL}}\right)\theta_y$	ستون



شکل (۳-۱۴): پارامترهای مدل سازی و معیارهای پذیرش مفاصل پلاستیک اعضا

تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی

منظور بررسی رفتار قاب‌های با و بدون میراگر تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی (NTHA) از نوع انتگرال-گیری مستقیم (Direct-Integration) به روش Hilber-Hoghes-Taylor، با نسبت میرایی ۵٪ تحت ۷ رکورد زلزله نزدیک گسل برای تمامی رکوردهای زلزله در نرم افزار SAP2000 انجام گرفت و خروجی‌های لازم استخراج گردید.

تحلیل پوش آور

جهت انجام تحلیل پوش آور میانگین حداکثر تغییر مکان مطلق بام حاصل از ۷ رکورد زلزله برای هریک از قاب‌ها در تحلیل NTHA، به عنوان نقطه توقف تحلیل (تغییر مکان هدف) در تحلیل پوش آور وارد گردید. ترکیب بار ثقیلی مطابق با بند (۲-۱) از پیوست ۲ استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش چهارم (1.2D+0.5L) انتخاب شد. الگوی توزیع بار جانبی نیز مطابق با استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش ۴ تعیین گردید.

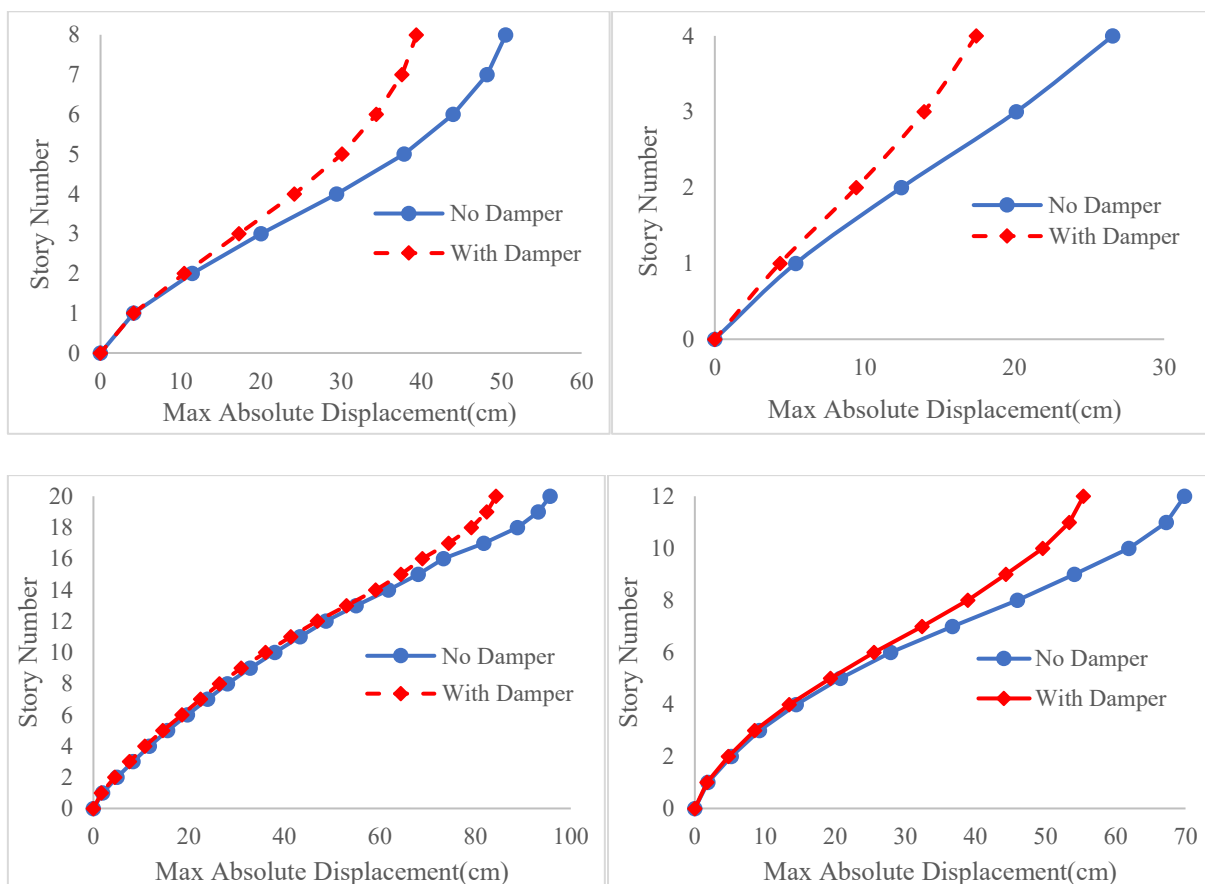
سپس با انجام تحلیل پوش آور منحنی‌های ظرفیت در دو حالت بدون میراگر و مجهز به میراگر ترسیم و پارامترهای عملکرد لرزه‌ای محاسبه گردید.



تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی

منظور بررسی رفتار قاب‌های با و بدون میراگر تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی (NTHA) از نوع انتگرال-گیری مستقیم به روش Hilber-Hoghes-Taylor و با نسبت میرایی ۵٪ تحت ۷ رکورد زلزله نزدیک گسل په به روش استاندارد ۲۸۰۰ مقیاس سازی شده‌اند در نرم‌افزار SAP2000 انجام گرفت؛ و پاسخ‌هایی همچون تغییر مکان مطلق طبقات، حداکثر تغییر مکان بام، تغییر مکان ماندگار بام، دریافت طبقات، تاریخچه برش پایه، منحنی هیستریزیس میراگر و روند تشکیل مفاصل پلاستیک، دوران پلاستیک بحرانیترین تیر و ستون برای هر قاب، استخراج شد. در ادامه نتایج به دست آمده برای هر یک از پارامترها در دو حالت با و بدون میراگر آورده شده است و مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

مقایسه تغییر مکان مطلق طبقات



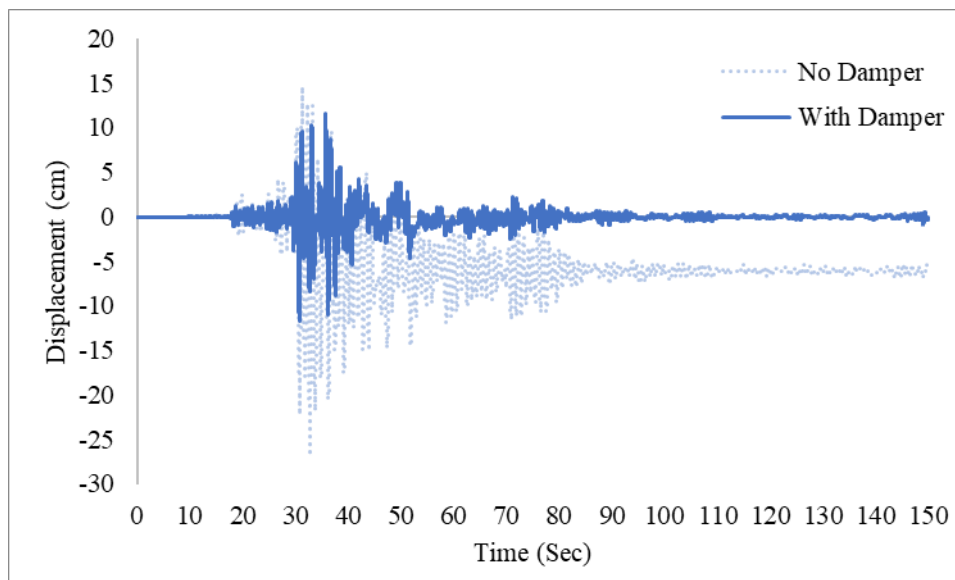
شکل (۴-۲): نمودارهای میانگین تغییر مکان مطلق طبقات قاب ۱۲،۸،۴ و ۲۰ طبقه



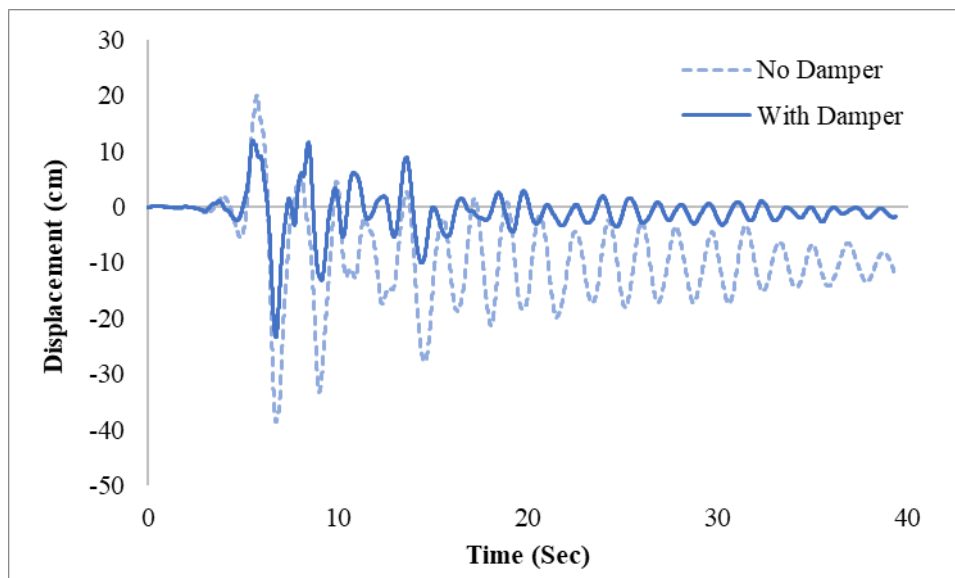
تاریخچه پاسخ تغییر مکان بام

جدول (۳-۴): ماکزیمم درصد کاهش تغییر مکان بام در هر قاب

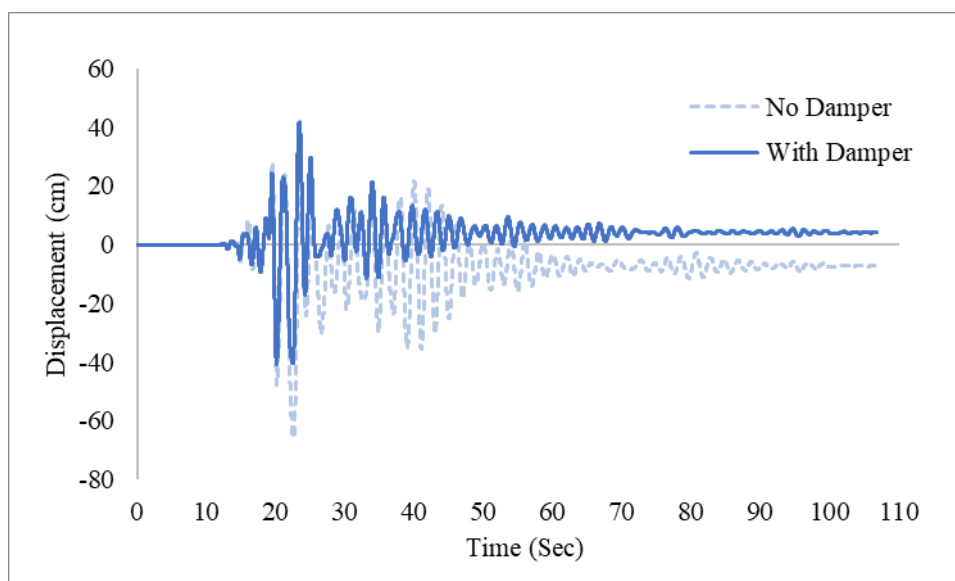
نام مدل	نام زلزله	بیشینه‌ی درصد کاهش تغییر مکان بام	میانگین درصد کاهش تغییر مکان بام تحت ۷ رکورد زلزله
4 Story	8161	۵۶.۳۵	۳۴
8 Story	180	۳۹.۱۶	۲۳.۴۰
12 Story	6906	۴۲.۳۲	۲۳.۰۹
20 Story	1602	۲۵.۷۷	۱۱.۹۲



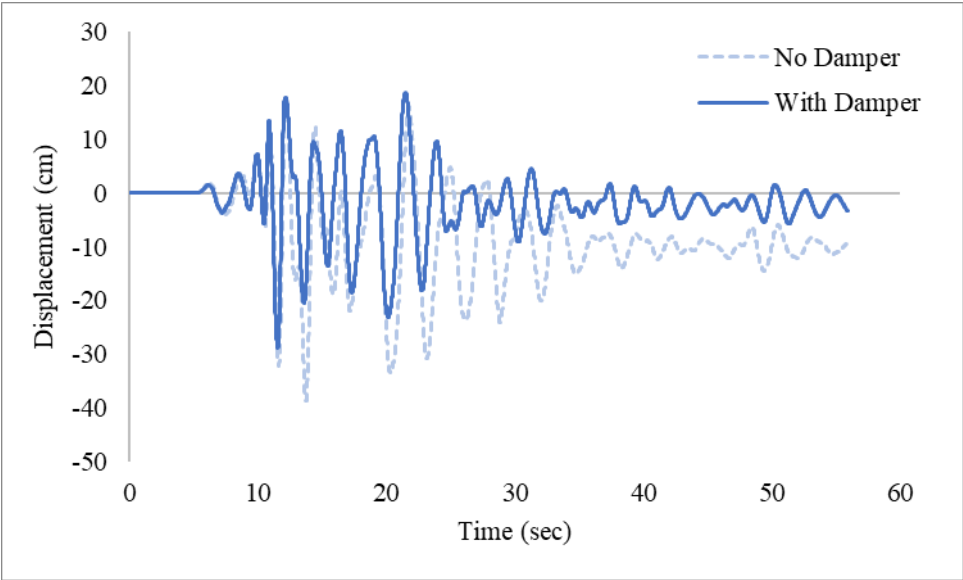
شکل (۳-۴): نمودار تاریخچه تغییر مکان بام تحت رکورد زلزله ال مایر در قاب ۴ طبقه



شکل (۴-۴): نمودار تاریخچه تغییر مکان بام تحت رکورد زلزله امپریال ولی در قاب ۸ طبقه

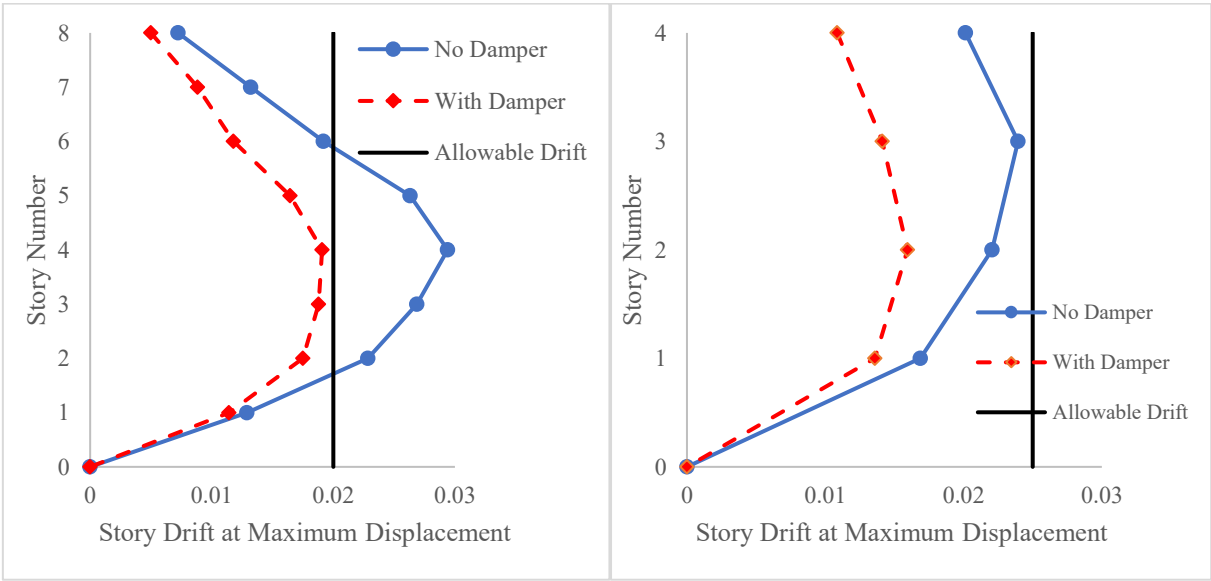


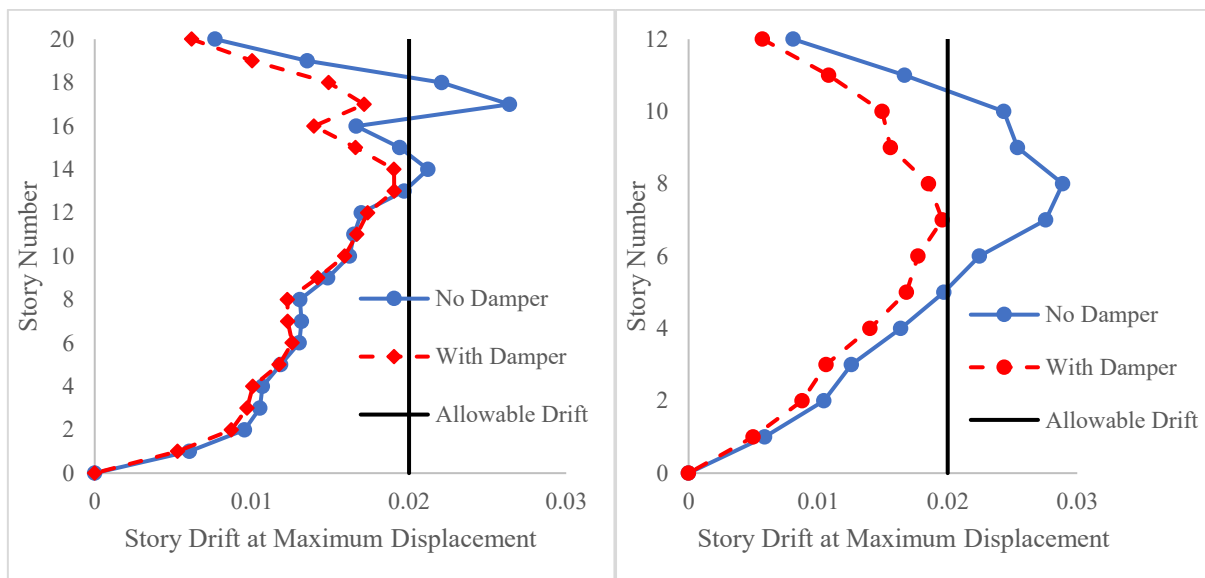
شکل (۴-۵): نمودار تاریخچه تغییر مکان بام تحت رکورد زلزله دارفیلد در قاب ۱۲ طبقه



شکل (۴-۶): نمودار تاریخچه تغییر مکان بام تحت رکورد زلزله داز در قاب ۲۰ طبقه

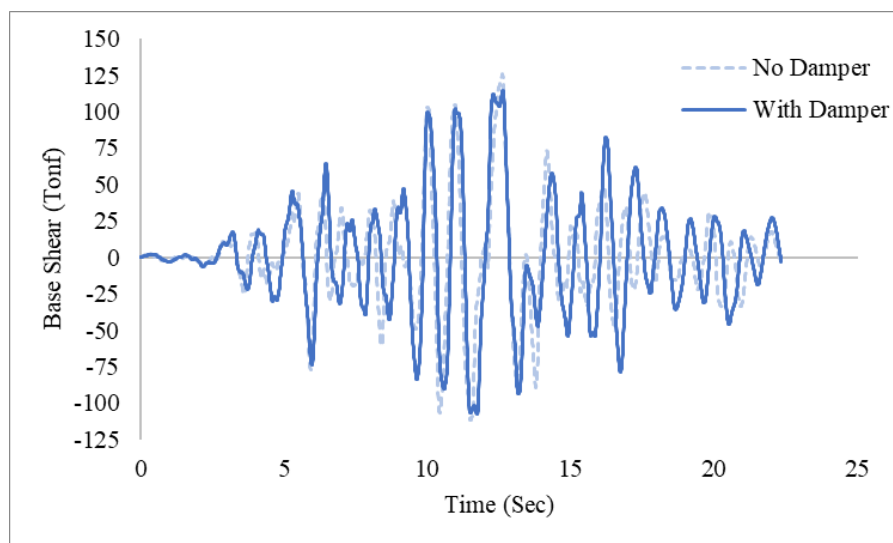
۴-۳-۴- کنترل دریفت طبقات



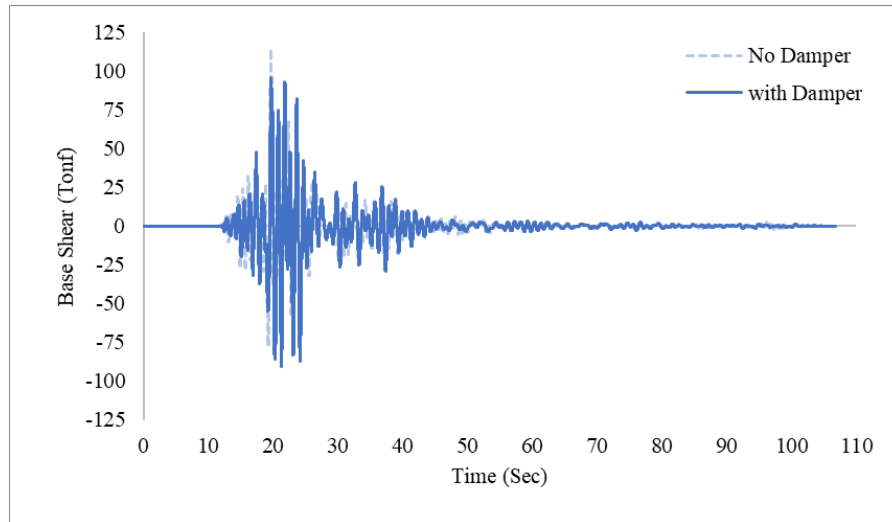


شکل (۴-۷): نمودارهای نسبت دریفت قاب ۴، ۸، ۱۲ و ۲۰ طبقه

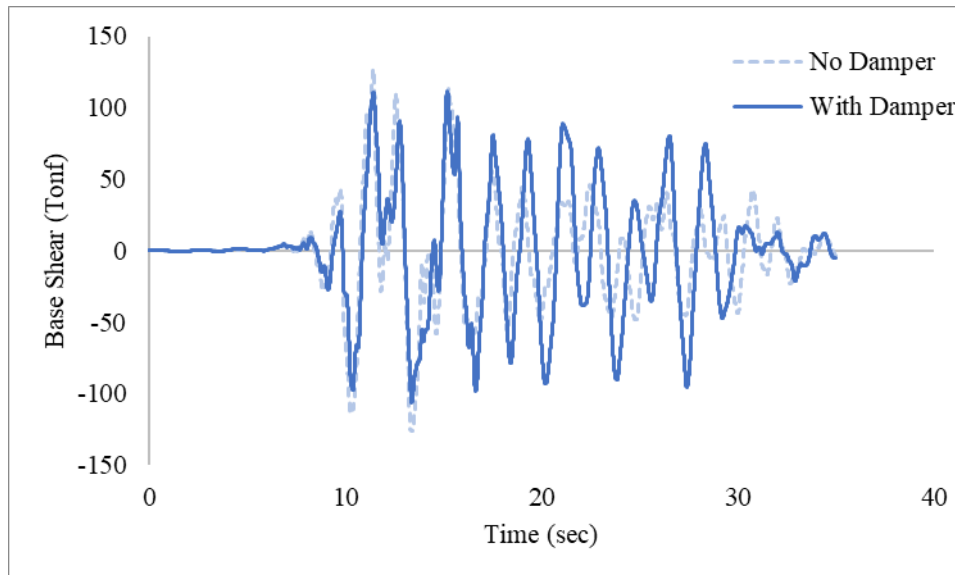
مقایسه برش پایه



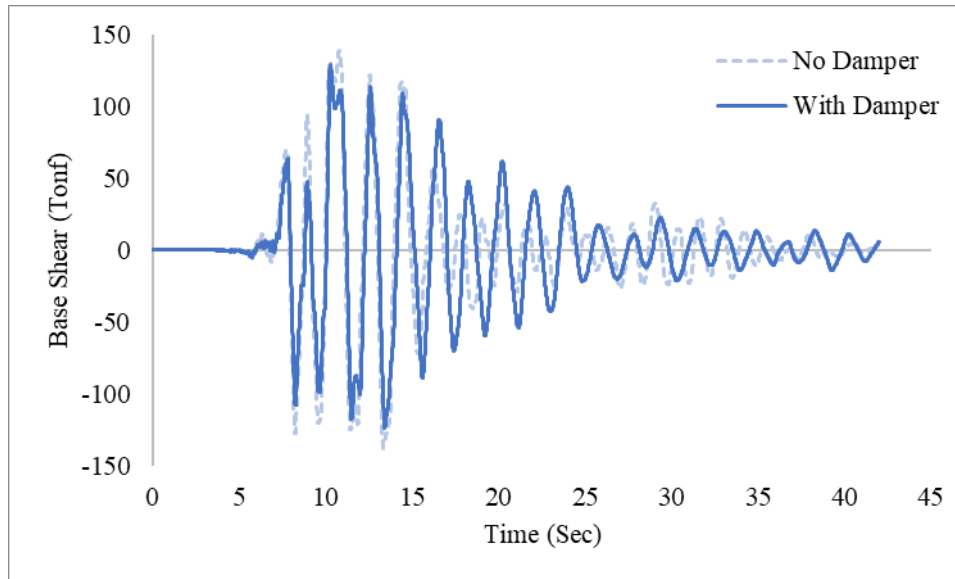
شکل (۴-۸): تاریخچه برش پایه قاب ۴ طبقه تحت زلزله سوپر استیشن



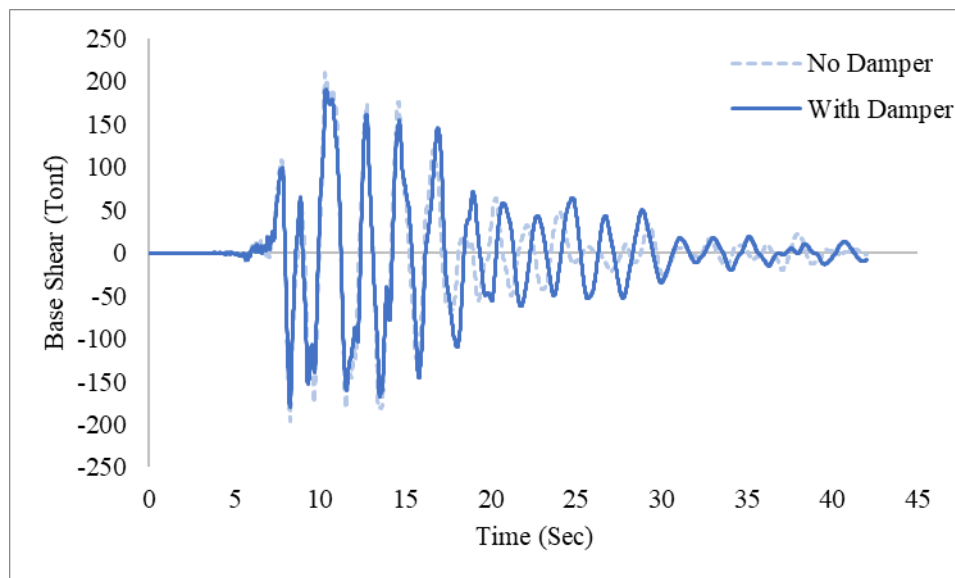
شکل (۹-۴): تاریخچه برش پایه قاب ۴ طبقه تحت زلزله دارفیلد



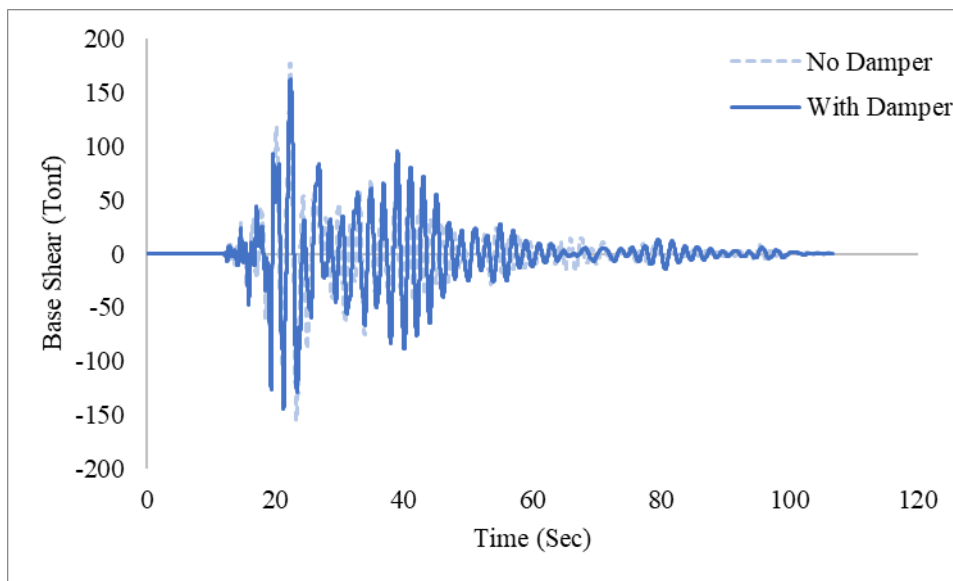
شکل (۱۰-۴): تاریخچه برش پایه قاب ۸ طبقه تحت زلزله کوکائلی



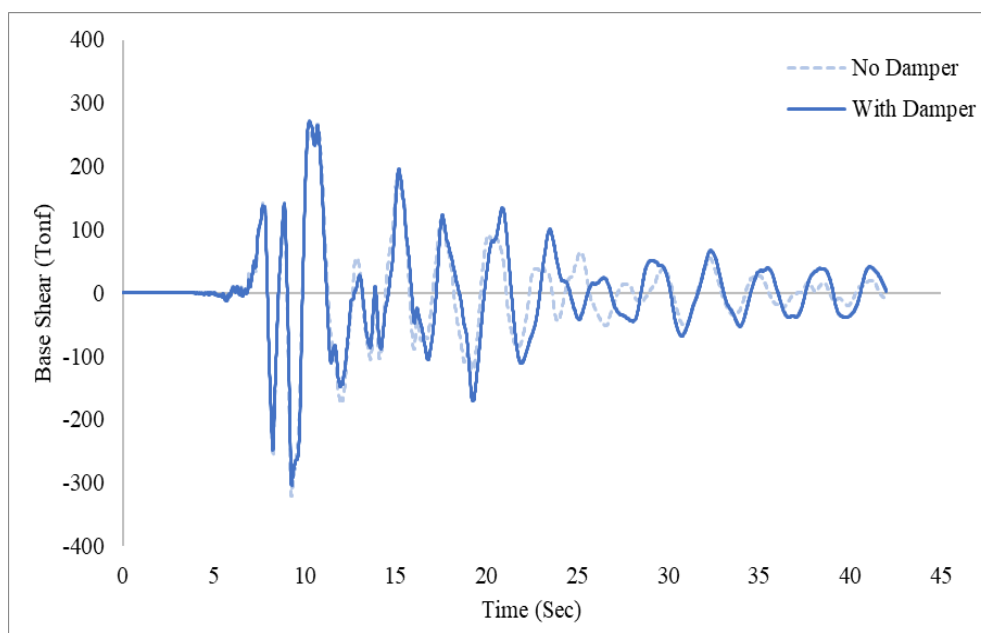
شکل (۴-۱۱): تاریخچه برش پایه قاب ۸ طبقه تحت زلزله کوبه



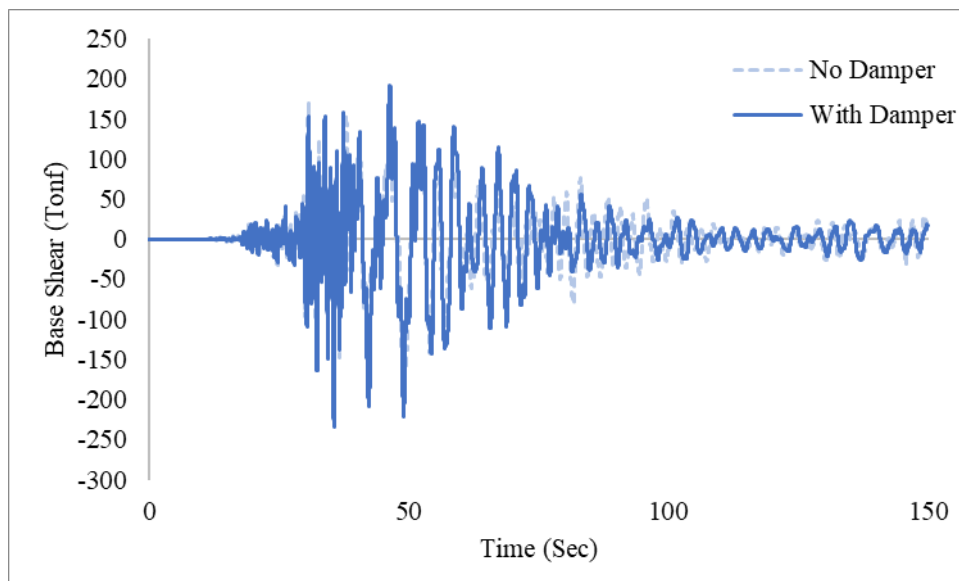
شکل (۴-۱۲): تاریخچه برش پایه قاب ۱۲ طبقه تحت زلزله کوبه



شکل (۴-۱۳): تاریخچه برش پایه قاب ۱۲ طبقه تحت زلزله دارفیلد



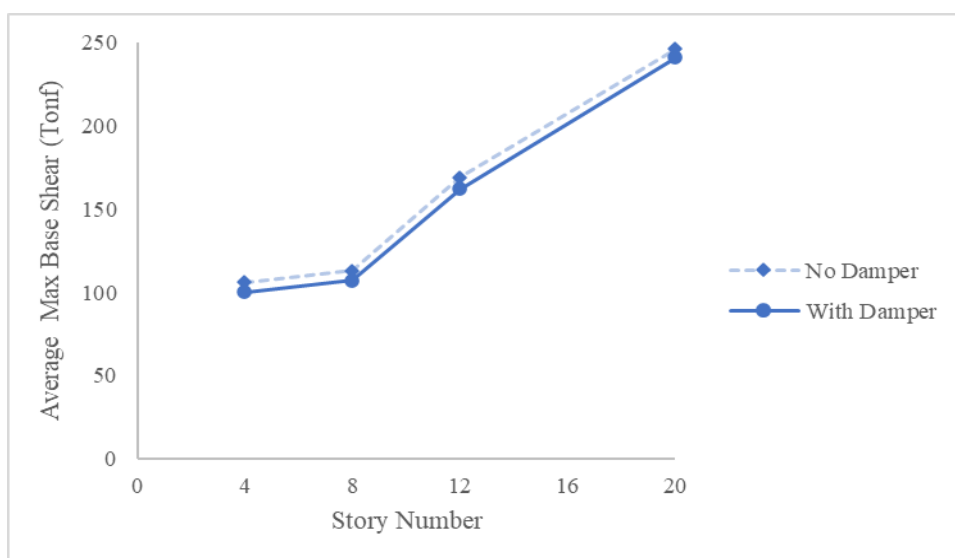
شکل (۴-۱۴): تاریخچه برش پایه قاب ۲۰ طبقه تحت زلزله کوبه



شکل (۴-۱۵): تاریخچه برش پایه قاب ۲۰ طبقه تحت زلزله ال مایر

جدول (۴-۴): مقادیر میانگین ماکزیمم برش پایه برای قابهای مورد مطالعه

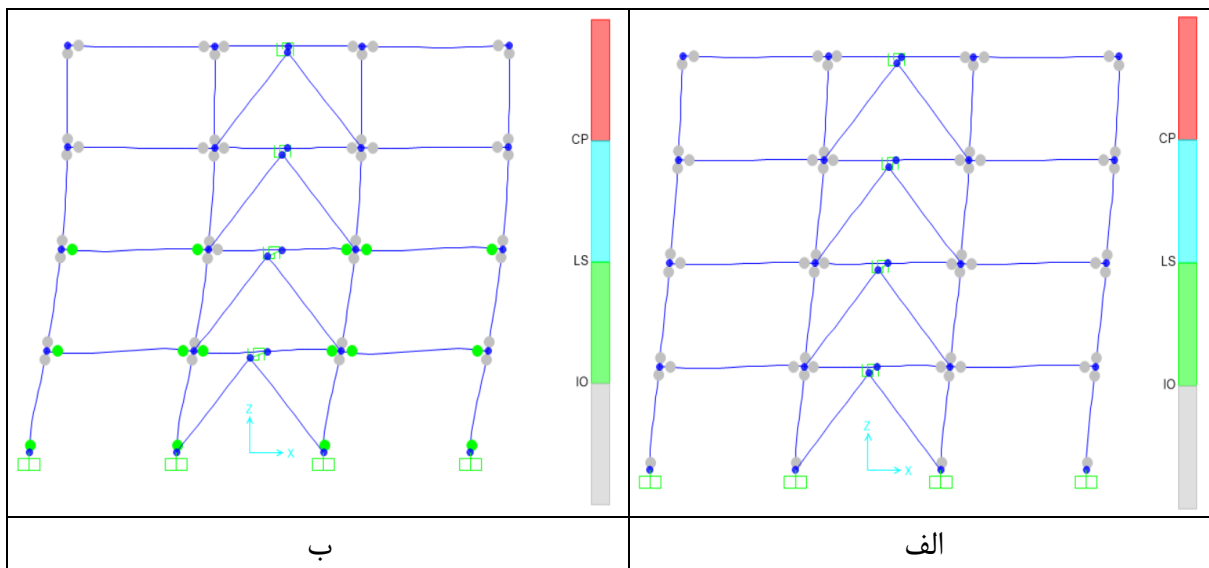
نام مدل	بدون میراگر (Tonf)	با میراگر (Tonf)	درصد کاهش
4 Story	۱۰۶	۱۰۰	۶٪
8 Story	۱۱۳	۱۰۷	۵٪
12 Story	۱۶۹	۱۶۲	۴٪
20 Story	۲۴۶	۲۴۱	۲٪



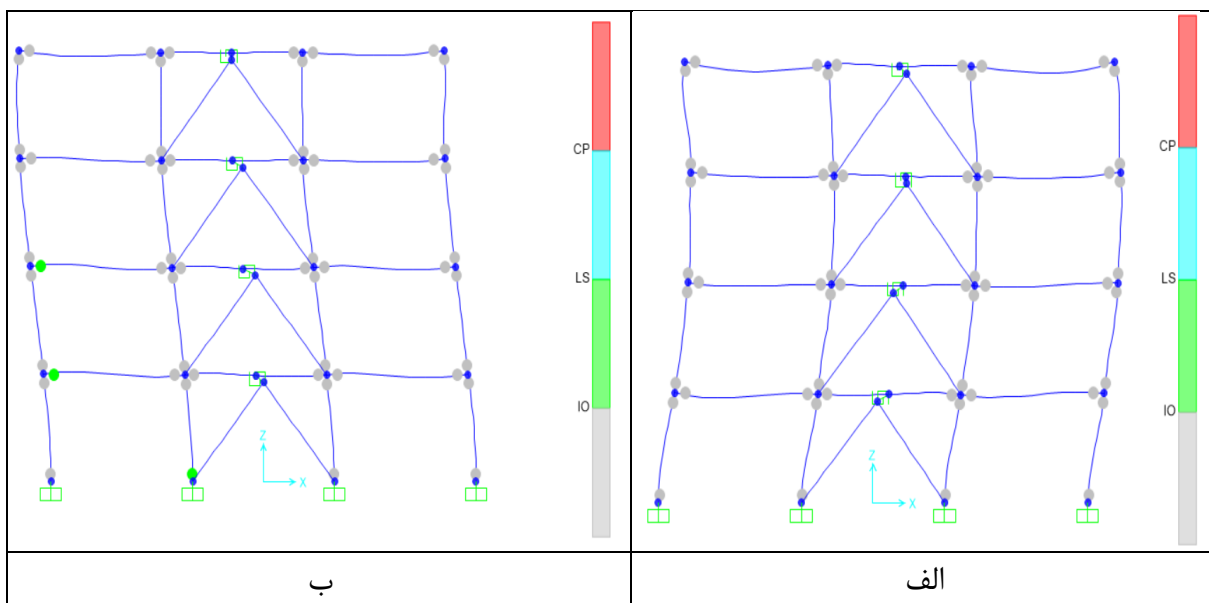
شکل (۴-۱۶): نمودار میانگین ماکزیمم برش پایه در ۲ حالت با و بدون میراگر برای قابهای مورد بررسی



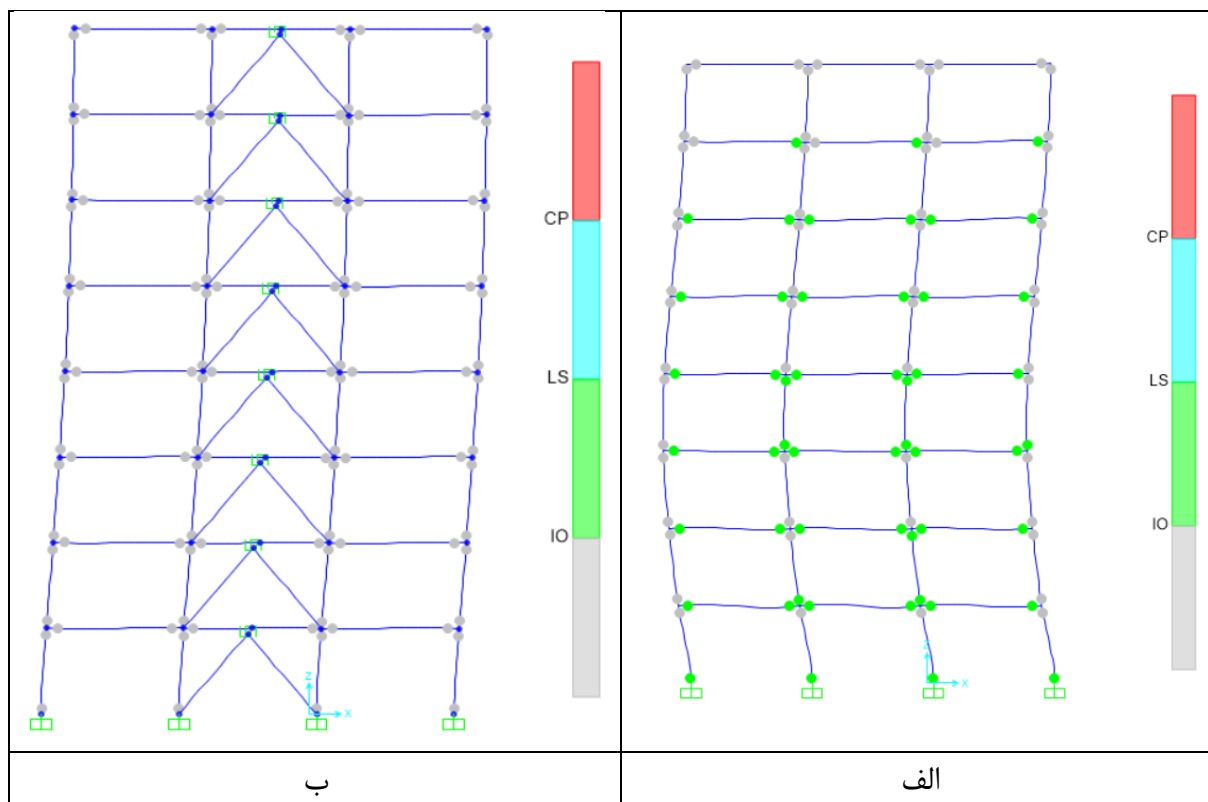
بررسی تشکیل مفاصل پلاستیک



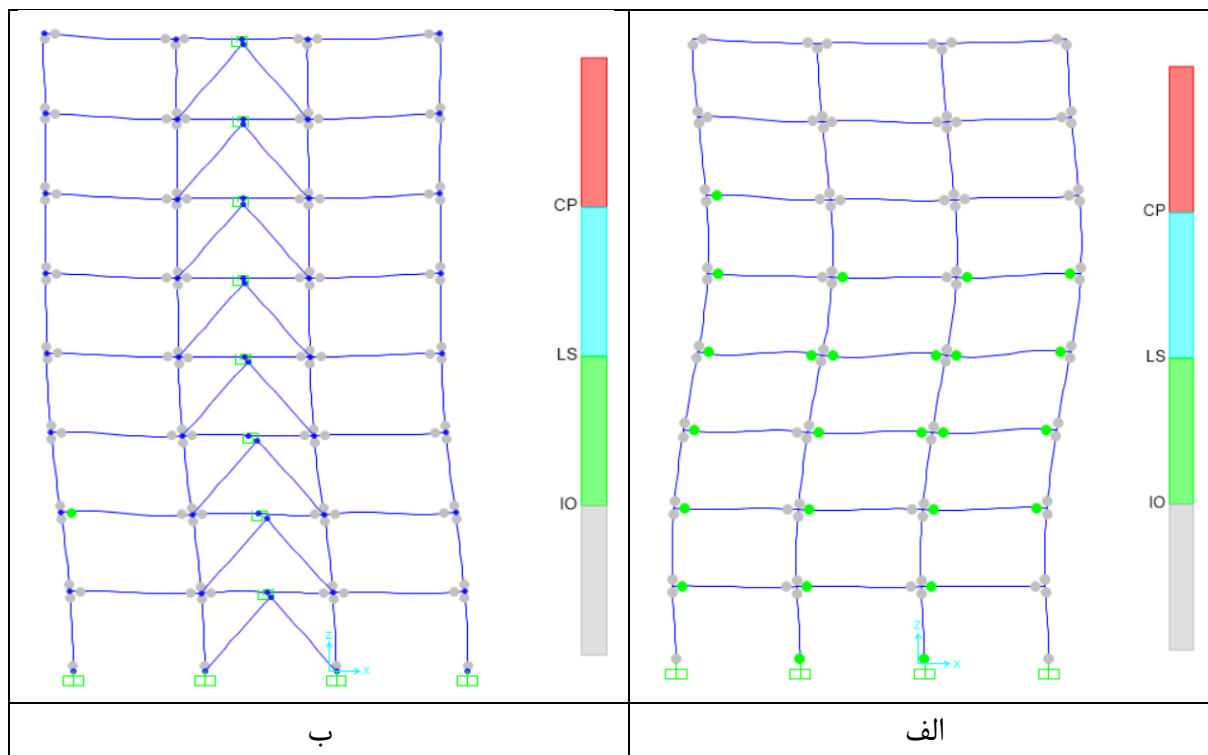
شکل (۴-۱۷): مفاصل پلاستیک قاب ۴ طبقه (الف) بدون میراگر و (ب) با میراگر تحت زلزله کوبه



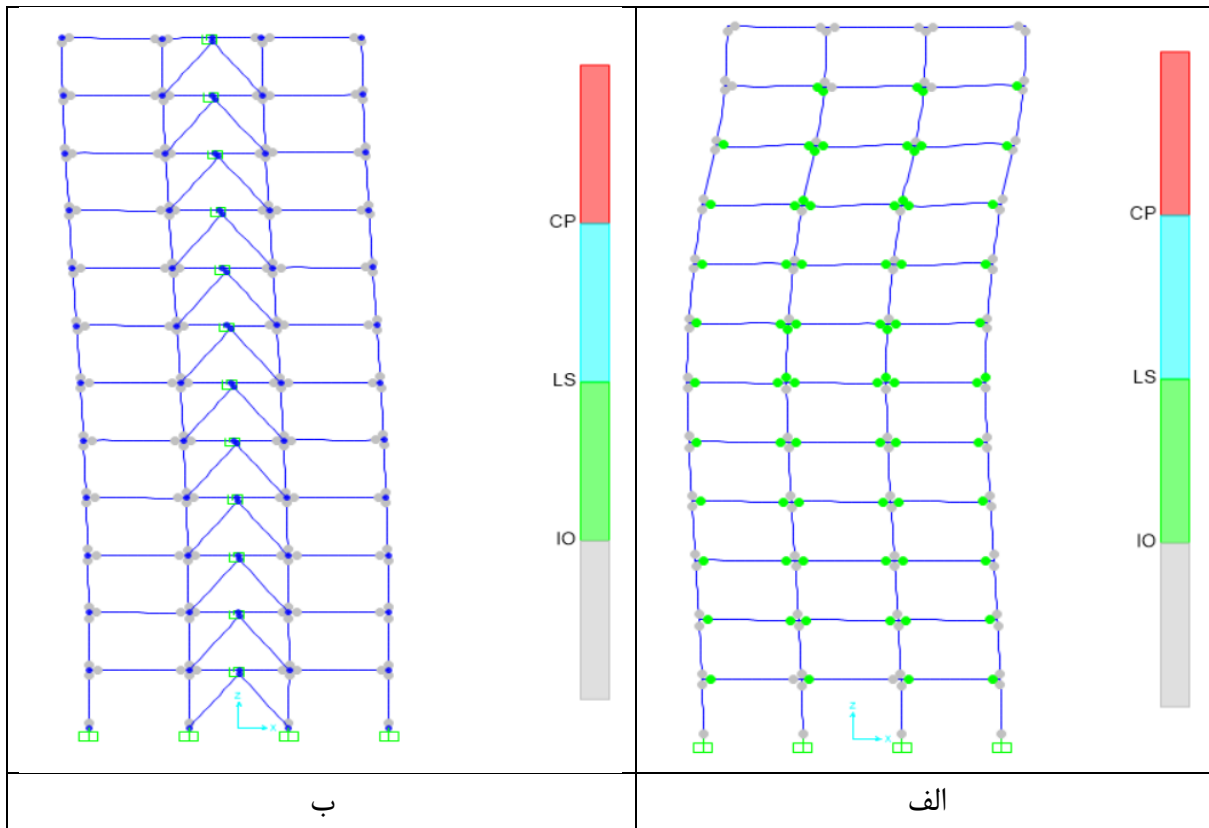
شکل (۴-۱۸): مفاصل پلاستیک قاب ۴ طبقه (الف) بدون میراگر و (ب) با میراگر تحت زلزله دارفیلد



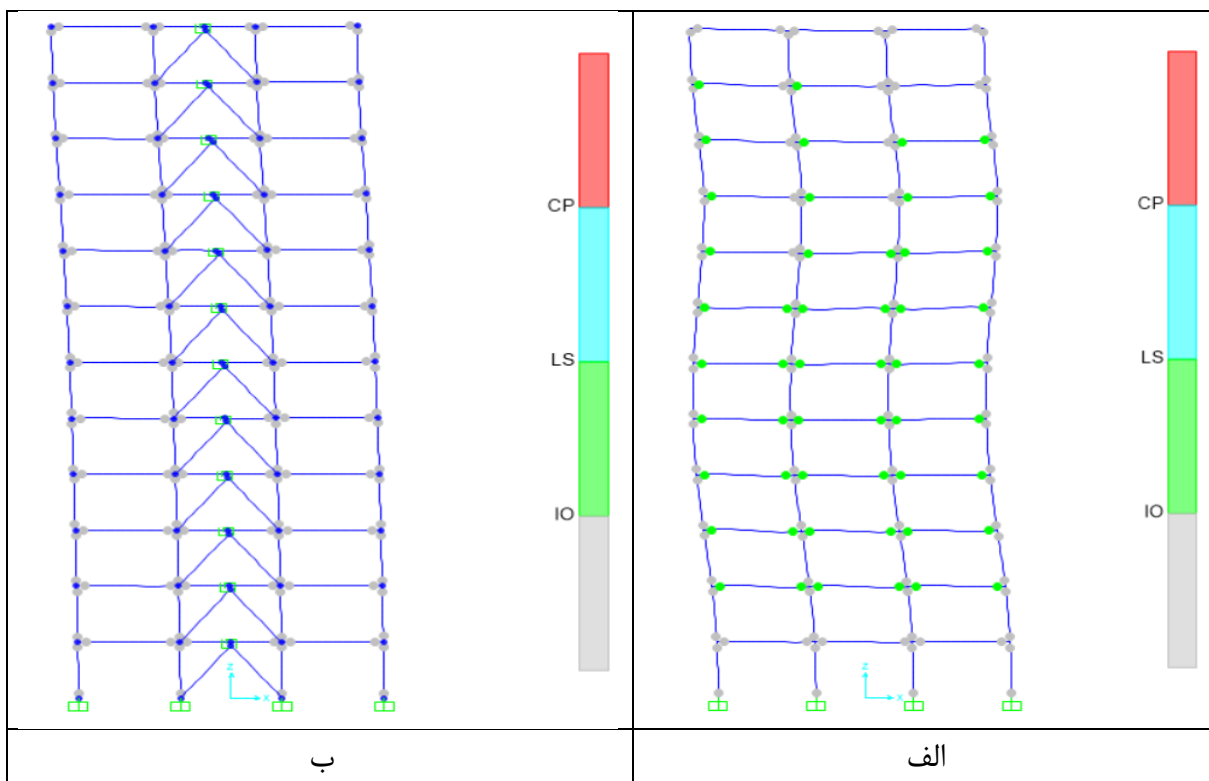
شکل (۴-۱۷): مفاصل پلاستیک قاب ۸ طبقه (الف) بدون میراگر و (ب) با میراگر تحت زلزله کوبه



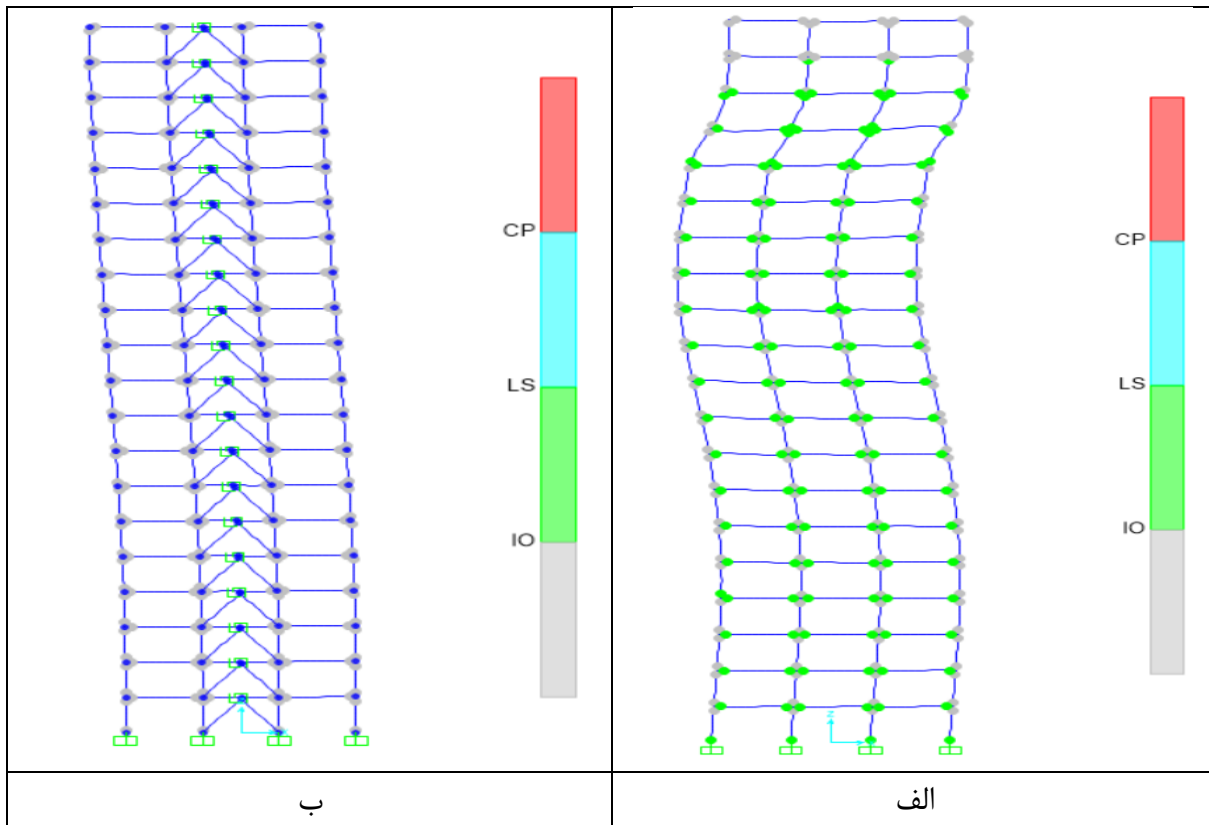
شکل (۴-۱۸): مفاصل پلاستیک قاب ۸ طبقه (الف) بدون میراگر و (ب) با میراگر تحت زلزله دارفیلد



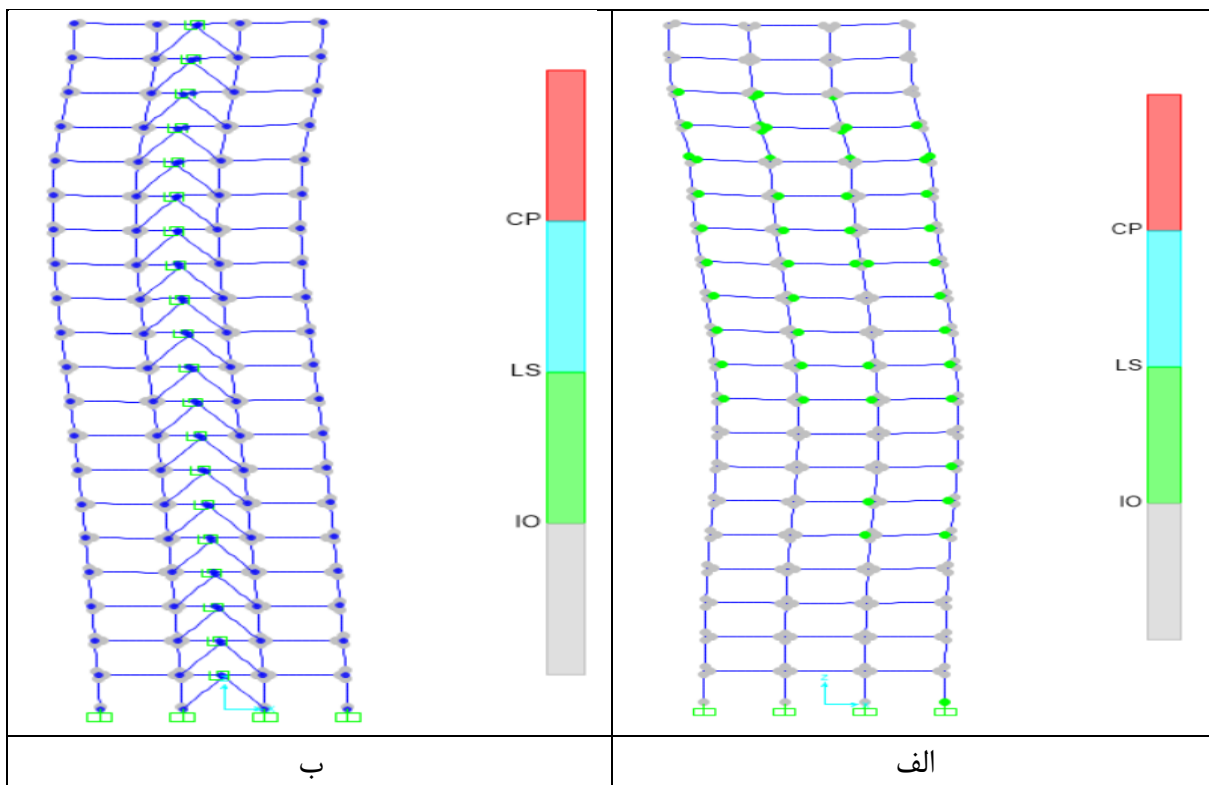
شکل (۴-۱۹): مفاصل پلاستیک قاب ۱۲ طبقه (الف) بدون میراگر و (ب) با میراگر تحت زلزله کوبه



شکل (۴-۲۰): مفاصل پلاستیک قاب ۱۲ طبقه (الف) بدون میراگر و (ب) با میراگر تحت زلزله دارفیلد



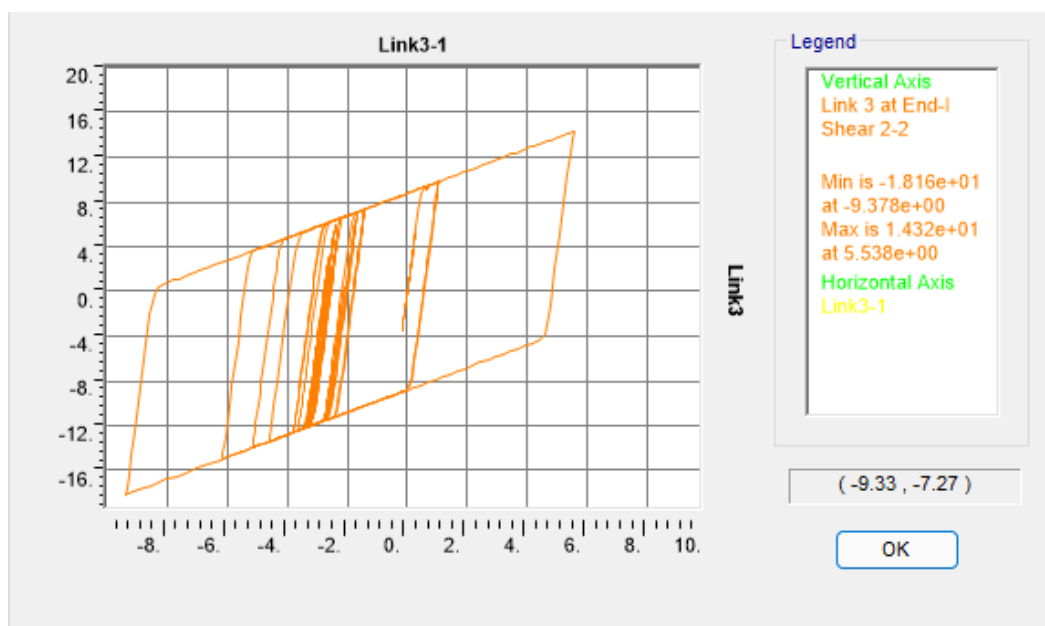
شکل (۴-۲۱): مفاصل پلاستیک قاب ۲۰ طبقه (الف) بدون میراگر و (ب) با میراگر تحت زلزله کوبه



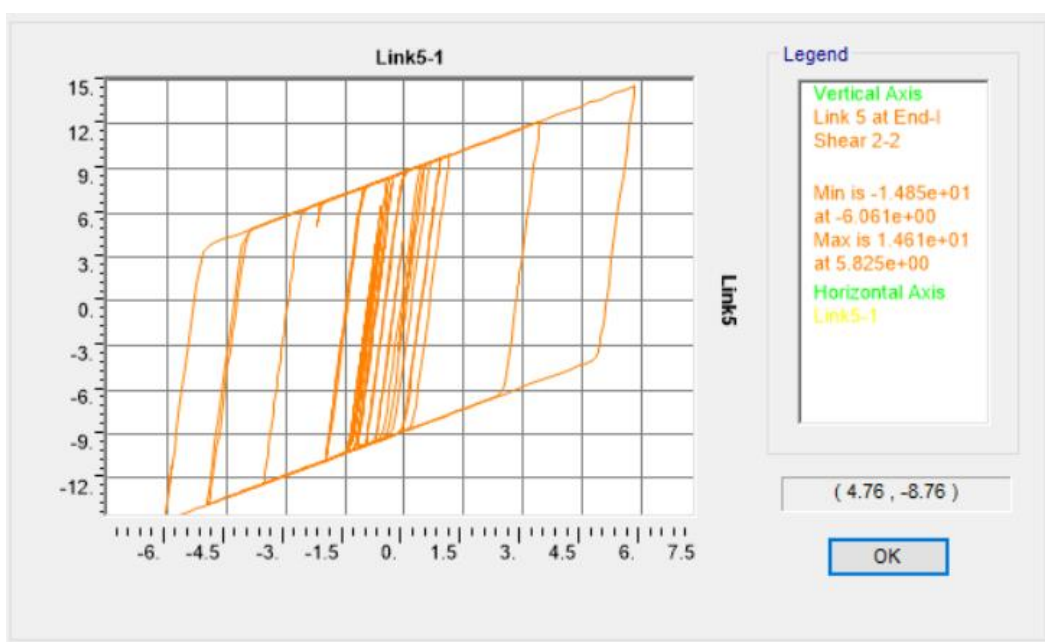
شکل (۴-۲۲): مفاصل پلاستیک قاب ۲۰ طبقه (الف) بدون میراگر و (ب) با میراگر تحت زلزله دارفیلد



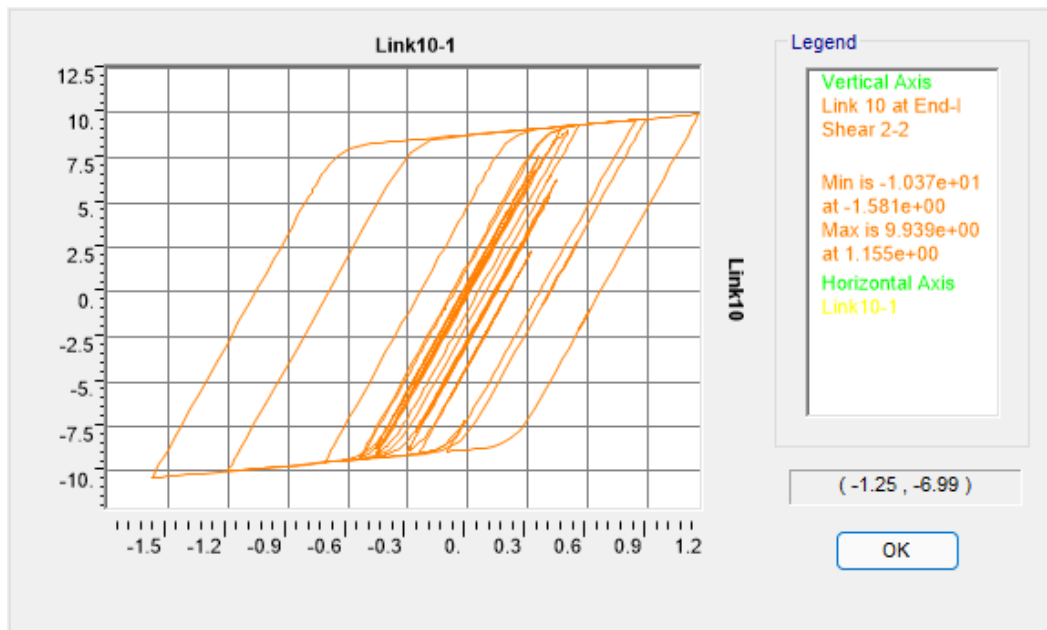
بررسی منحنی هیستریزیس قطعه میراگر



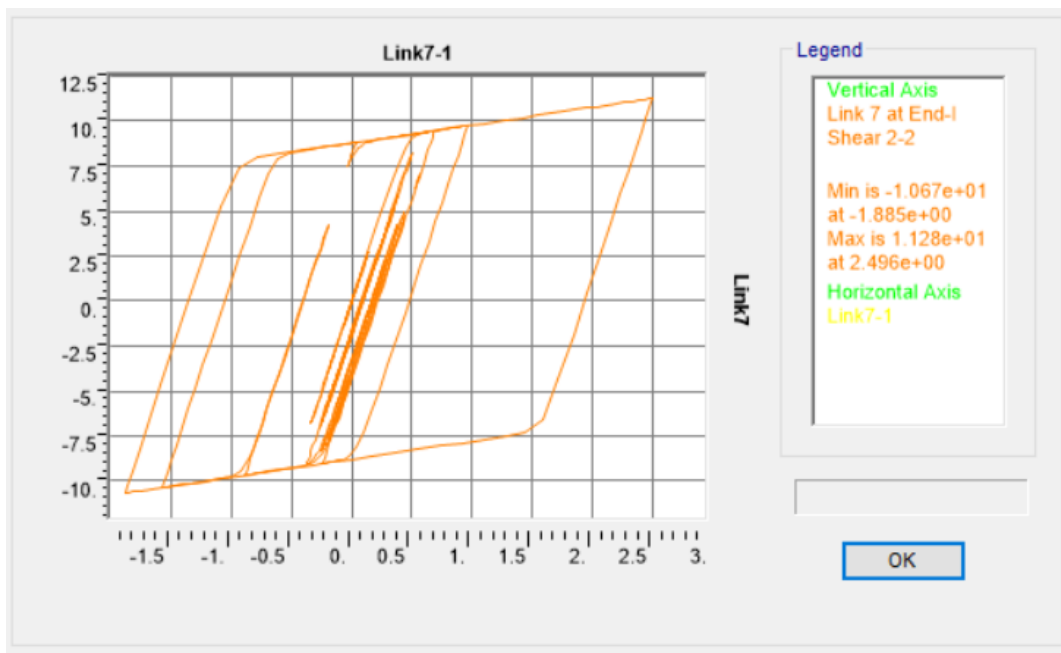
شکل (۴-۲۳): منحنی هیستریزیس طبقه اول قاب ۴ طبقه زلزله کوبه



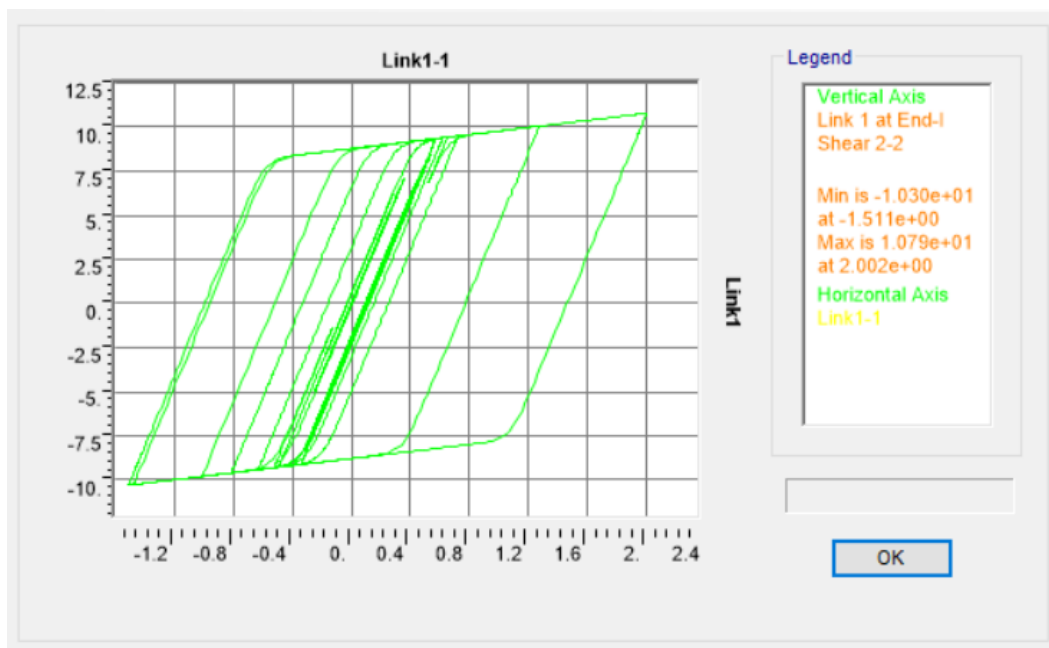
شکل (۴-۲۴): منحنی هیستریزیس طبقه سوم قاب ۴ طبقه زلزله کوبه



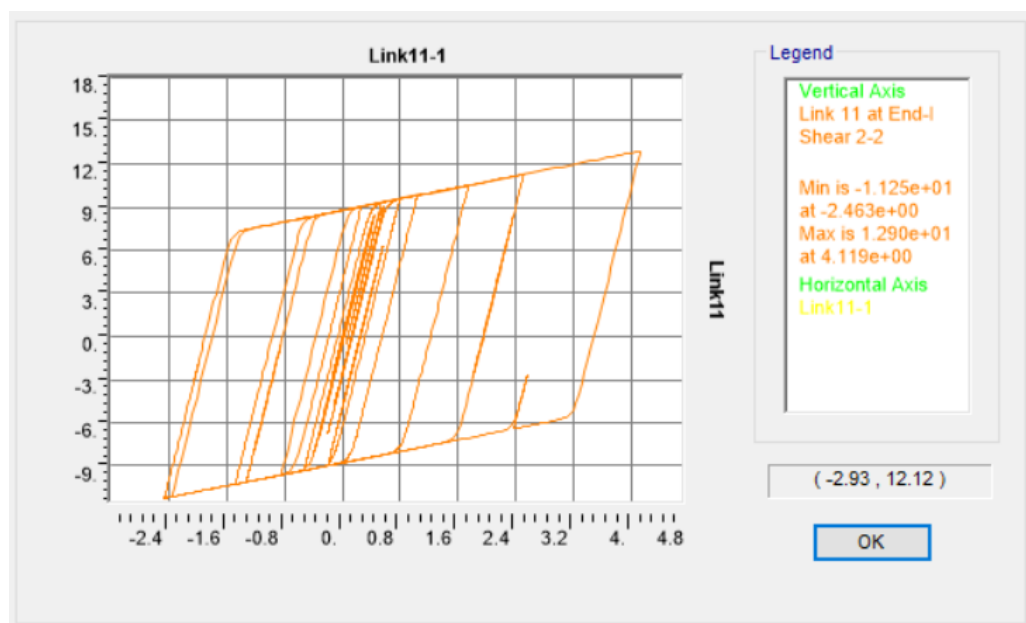
شکل (۴-۲۵): منحنی هیستریزیس طبقه اول قاب ۸ طبقه زلزله داز



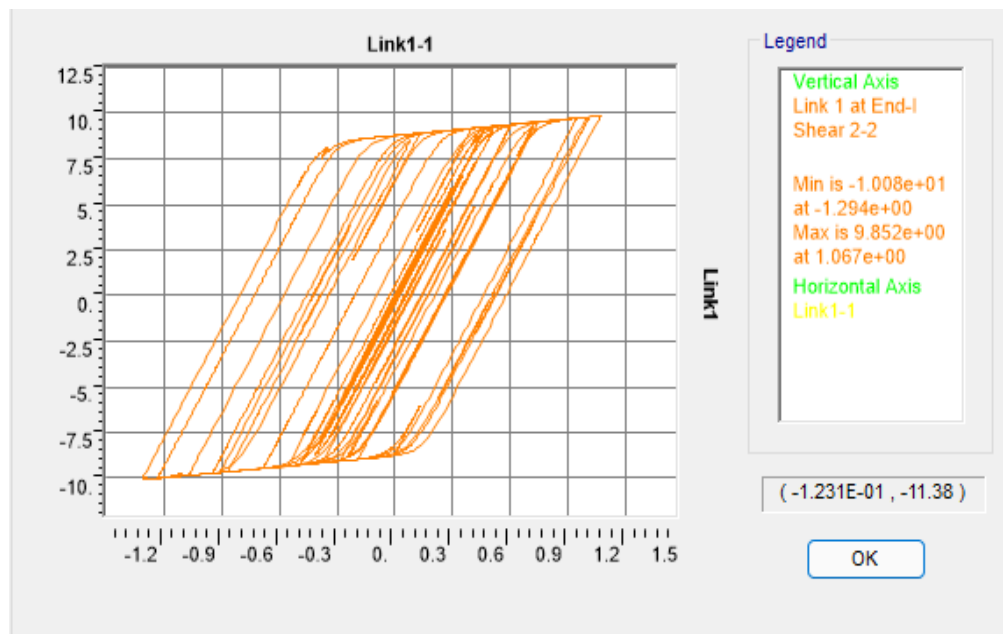
شکل (۴-۲۶): منحنی هیستریزیس طبقه هفتم قاب ۸ طبقه زلزله داز



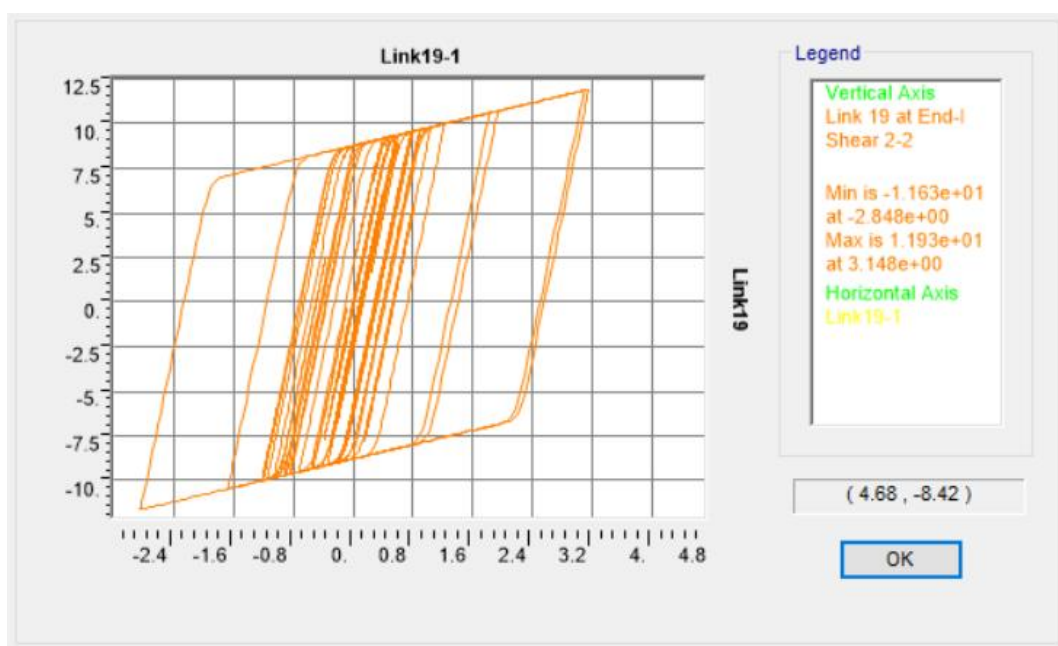
شکل (۴-۲۷): منحنی هیستریزیس طبقه اول قاب ۱۲ طبقه زلزله دارفیلد



شکل (۴-۲۸): منحنی هیستریزیس طبقه یازدهم قاب ۱۲ طبقه زلزله دارفیلد



شکل (۴-۲۹): منحنی هیستریزیس طبقه اول قاب ۲۰ طبقه زلزله ال مایر

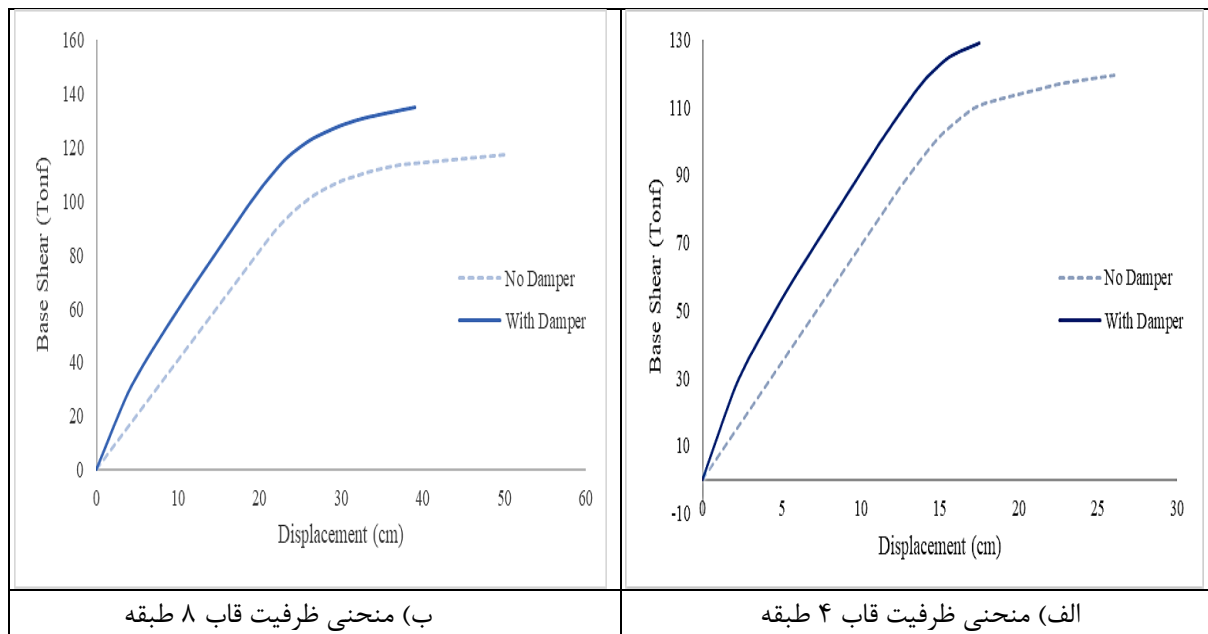


شکل (۴-۳۰): منحنی هیستریزیس طبقه نوزدهم قاب ۲۰ طبقه زلزله ال مایر

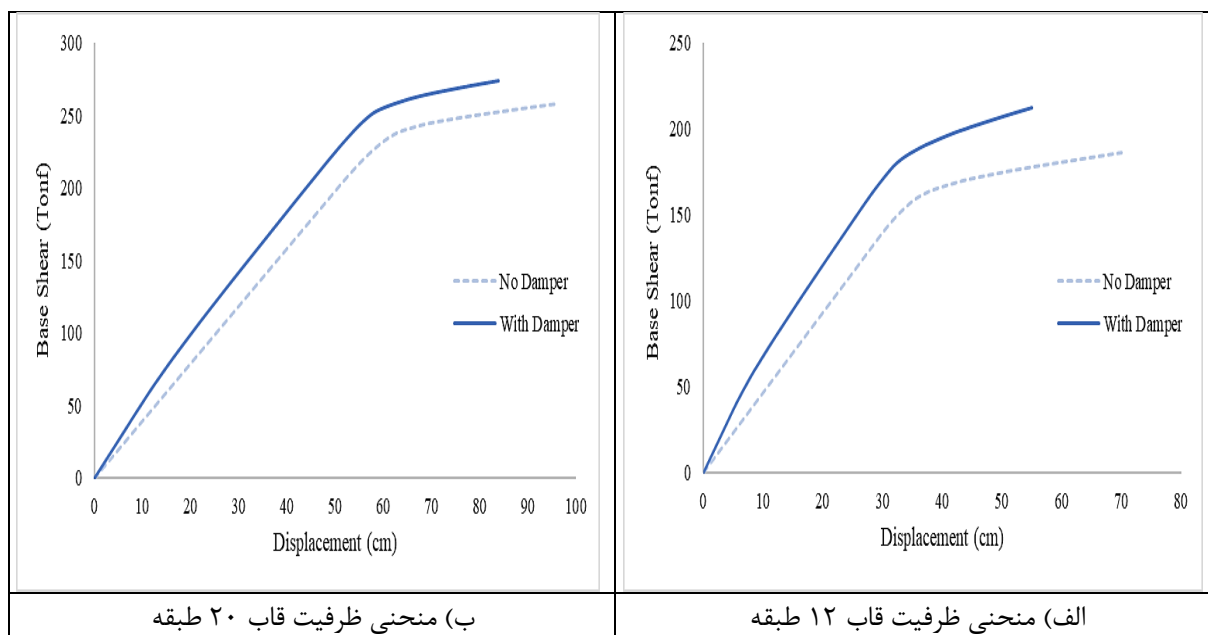


تحلیل استاتیکی غیر خطی (پوش آور)

منحنی ظرفیت سازه



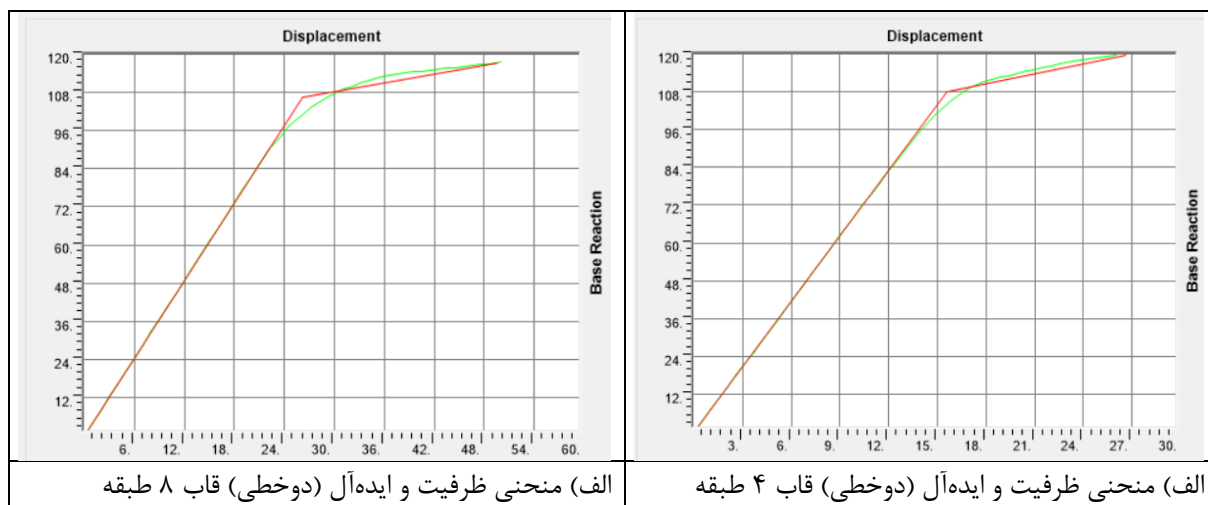
شکل (۴-۳۱): منحنی ظرفیت قاب‌های ۴ و ۸ طبقه



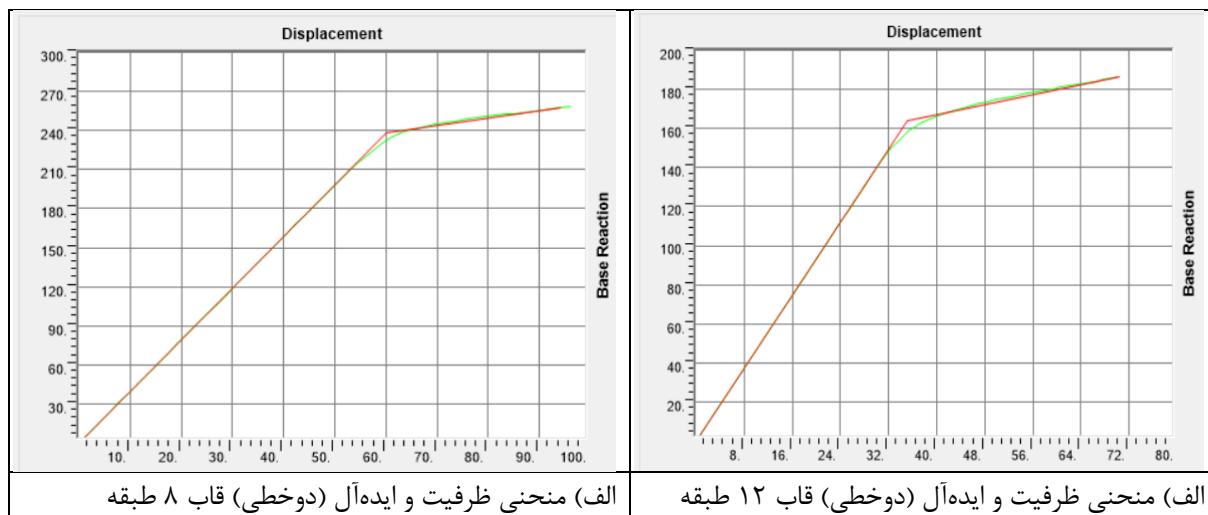
شکل (۴-۳۲): منحنی ظرفیت قاب‌های ۱۲ و ۲۰ طبقه



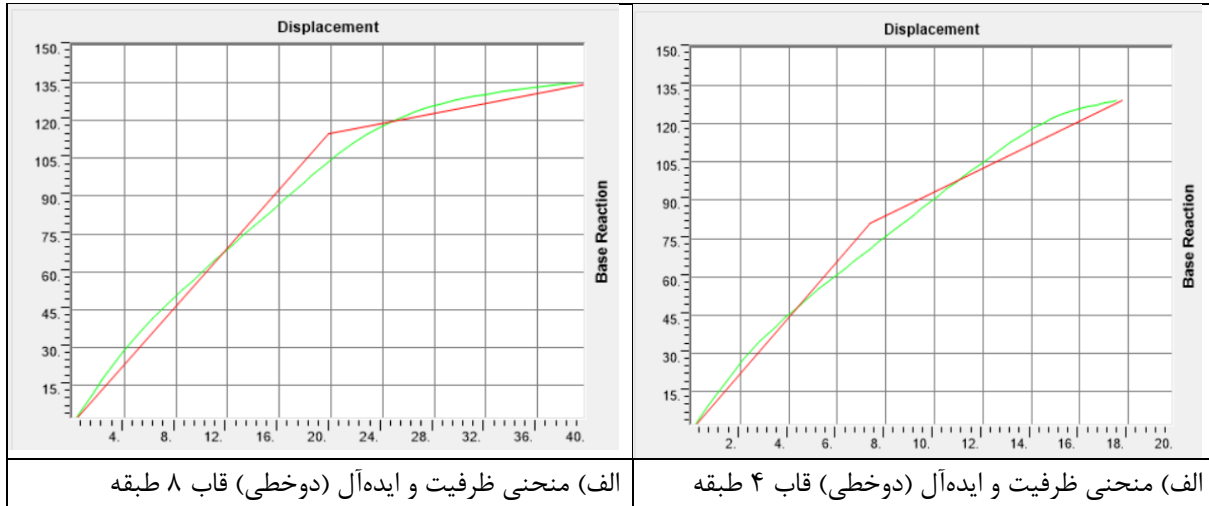
محاسبه ضریب اضافه مقاومت، ضریب شکل پذیری و ضریب رفتار در تحلیل پوش آور



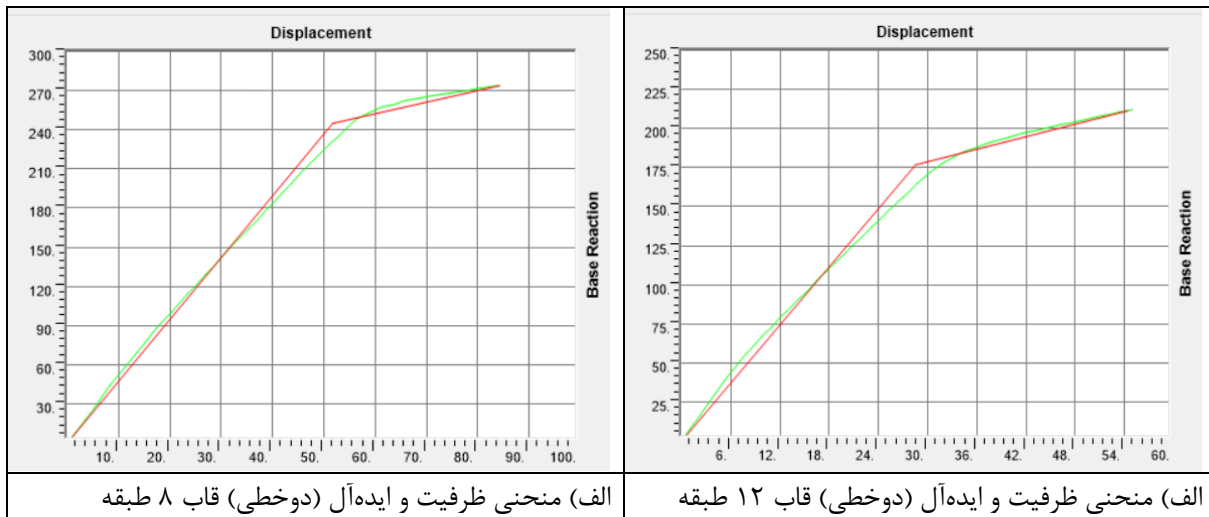
شکل (۴-۳): منحنی ظرفیت و ایده آل (دوخطی) قابهای ۴ و ۸ طبقه (بدون میراگر)



شکل (۴-۳): منحنی ظرفیت و ایده آل (دوخطی) قابهای ۱۲ و ۲۰ طبقه (بدون میراگر)



شکل (۴-۳۵): منحنی ظرفیت و ایده آل (دوخطی) قاب‌های ۴ و ۸ طبقه (با میراگر)



شکل (۴-۳۶): منحنی ظرفیت و ایده آل (دوخطی) قاب‌های ۱۲ و ۲۰ طبقه (با میراگر)



جدول (۴-۵): محاسبه پارامترهای ضریب اضافه مقاومت، شکل پذیری و ضریب رفتار در تحلیل پوش آور

نام مدل	V_y	V_s	Ω_0	$\delta_m(cm)$	$\delta_y(cm)$	μ	R_μ	R_U
4 Story	بدون میراگر	۱۰۸	۸۶	۱.۲۵	۲۶	۱۵.۵۰	۱.۶۷	۲.۰۸
	با میراگر	۸۱	۵۰	۱.۶۲	۱۷.۵	۷.۵	۲.۳۳	۳.۳۸
8 Story	بدون میراگر	۱۰۶	۸۶	۱.۲۳	۵۰	۳۰	۱.۶۷	۲.۰۵
	با میراگر	۱۱۵	۷۵	۱.۵۳	۳۹	۲۰	۱.۹۵	۲.۹۸
12 Story	بدون میراگر	۱۶۴	۱۴۳	۱.۱۴	۷۰	۴۲	۱.۶۷	۱.۹۰
	با میراگر	۱۷۶	۱۱۵	۱.۵۳	۵۵	۲۷	۲.۰۴	۳.۱۲
20 Story	بدون میراگر	۲۳۸	۲۱۰	۱.۱۳	۹۶	۵۹	۱.۶۲	۱.۸۳
	با میراگر	۲۴۴	۱۶۰	۱.۵۲	۸۴	۵۱	۱.۶۴	۲.۵۰