

مقایسه رفتار سازه ها در آنالیز استاتیکی فرآینده غیر خطی ناشی از تأثیر فنرهای ویسکوالاستیک

رامین اسماعیلی زلیوا^{۱*}، حمیدرضا باباعلی^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی-دانشگاه آزاد اسلامی-واحد خرم آباد-ایران

ramin.esmaili1212@gmail.com

۲- دانشیار-دانشکده فنی و مهندسی-دانشگاه آزاد اسلامی-واحد خرم آباد-ایران h.babaali@khau.ac.ir

خلاصه

فنرهای ویسکوالاستیک، که ترکیبی از خواص الاستیک و ویسکوز هستند، به طور گسترده برای مدل سازی رفتار غیرخطی سازه ها استفاده می شوند. این فنرها به مدل سازی دقیق تر خزش و میرایی سازه ها کمک می کنند. تحلیل استاتیکی غیرخطی یک روش مؤثر برای در نظر گرفتن رفتار غیرخطی مصالح و المان ها است که نسبت به تحلیل های دینامیکی تاریخچه زمانی، سریع تر و ساده تر اجرا می شود. میراگرهای ویسکوالاستیک نیز برای کاهش دامنه جابجایی سازه ها و افزایش جذب انرژی مؤثر هستند، که این جذب انرژی متناسب با میزان ویسکوالاستیک مورد استفاده است. هدف از انجام این تحقیق مقایسه رفتار سازه ها در آنالیز استاتیکی فرآینده غیر خطی ناشی از تأثیر فنرهای ویسکوالاستیک می باشد. در این تحقیق از روش های مودال و انتگرال گیری مستقیم برای آنالیز دینامیکی خطی و غیرخطی استفاده می شود. در ادامه، تأثیر میراگرها بر عملکرد سازه و پاسخ آن در برابر زلزله مورد بررسی قرار می گیرد. پاسخ های سازه با و بدون میراگر مقایسه خواهد شد. برای آنالیز دینامیکی، روش های مودال و انتگرال گیری مستقیم به کار برده می شوند و همچنین تأثیر میراگرها با استفاده از آنالیز استاتیکی فرآینده غیرخطی مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت. علاوه بر این، تحلیل های استاتیکی غیرخطی یا تحلیل های پوش اور که برای تخمین پاسخ لرزه ای سازه ها با پلان نامنظم به کار می روند، با خطاهایی مواجه هستند که شامل عدم توانایی در ارزیابی دقیق اثرات پیچشی و مودهای بالا در طراحی لرزه ای می شود.

کلمات کلیدی: سازه، آنالیز استاتیکی فرآینده غیر خطی، فنرهای ویسکوالاستیک، زلزله، آنالیز دینامیکی

۱. مقدمه

رفتار سازه ها تحت بارگذاری های پیچیده یکی از مسائل اساسی در مهندسی عمران است [۱]. در بسیاری از موارد، مدل های خطی سنتی قادر به پیش بینی دقیق رفتار سازه ها تحت بارگذاری های سنگین نیستند و این امر منجر به انحرافات قابل توجهی در نتایج می شود. برای مقابله با این چالش، استفاده از فنرهای ویسکوالاستیک به عنوان یک روش کارآمد در مدل سازی رفتار غیرخطی سازه ها مورد توجه قرار گرفته است. فنرهای ویسکوالاستیک با ترکیب خواص الاستیک و ویسکوز، امکان مدل سازی دقیق تر پدیده های خزش و میرایی در سازه ها را فراهم می کنند [۲]. در این پژوهش، تحلیل استاتیکی غیرخطی سازه ها با استفاده از فنرهای ویسکوالاستیک مورد بررسی قرار گرفت. تحلیل استاتیکی

غیرخطی این امکان را فراهم می‌کند تا تأثیر رفتار غیرخطی مصالح و المان‌ها در تحلیل لحاظ شود و نسبت به تحلیل دینامیکی سنتی ساده‌تر و سریع‌تر انجام شود. با توجه به نتایج پژوهش‌های اخیر، استفاده از مدل‌های خطی الاستیک به منظور پیش‌بینی دقیق پاسخ سازه‌ها به تحریکات لرزه‌ای کافی نیست و خصوصیات غیرالاستیک رفتار سازه باید در نظر گرفته شود [۳]. فنرهای ویسکوالاستیک ترکیبی از خواص ویسکوز و الاستیک هستند که به سازه‌ها کمک می‌کنند تا انرژی ناشی از بارگذاری‌های سنگین و زلزله را جذب و استهلاک کنند. این امر باعث کاهش دامنه جابجایی سازه‌ها می‌شود که یکی از معیارهای مهم در بهبود عملکرد سازه‌ها در برابر زلزله است [۴]. روش‌های مختلفی برای تحلیل رفتار سازه‌ها تحت بارگذاری غیرخطی وجود دارد. تحلیل استاتیکی غیرخطی و تحلیل دینامیکی فزاینده از جمله این روش‌ها هستند. تحلیل استاتیکی غیرخطی، روشی سریع و ساده برای پیش‌بینی رفتار سازه‌ها است که معمولاً در آیین‌نامه‌های ساختمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش، اثر رفتار غیرخطی مصالح و المان‌ها را در تحلیل لحاظ می‌کند و برای تخمین پاسخ لرزه‌ای سازه‌ها بسیار کاربردی است [۵]. در سازه‌هایی که تحت اثر زمین لرزه قرار دارند، تغییر مکان‌ها توصیف بهتری از پاسخ سازه ارائه می‌دهند و می‌توان با محدود کردن تغییر مکان‌ها به جای نیروها، میزان خرابی را کنترل کرد. میرایی ویسکوالاستیک یکی از روش‌های افزایش میرایی و کاهش ارتعاشات سازه است که در بسیاری از مواد پلیمری مانند پلیمرها و شیشه‌ها وجود دارد [۶]. این مواد با دارا بودن ویژگی‌های خاص مواد ویسکوز و الاستیک، به طور همزمان انرژی را مستهلک و نیروهای وارد شده را میرا می‌کنند. همچنین، میراگرهای ویسکوالاستیک، که از صفحات لاستیکی و فولادی تشکیل شده‌اند، با حرکات جهات مختلف و تغییر شکل برشی لایه‌های لاستیکی به کاهش جابه‌جایی و ارتعاش سازه کمک می‌کنند. هدف از انجام این تحقیق بررسی مقایسه رفتار سازه‌ها در آنالیز استاتیکی فزاینده غیر خطی ناشی از تأثیر فنرهای ویسکوالاستیک است.

۲. مرور ادبیات

معیری و همکاران [۷] در تحقیقی ارتعاشات آزاد غیرخطی میکرو ورق دایره‌ای توپر و توخالی ویسکوالاستیک را مورد بررسی قرار دادند. این میکرو ورق بر روی بستر متقارن و نامتقارن ویسکوالاستیک غیرخطی قرار گرفت. اثر مقیاس کوچک با استفاده از تئوری تنش کوپل اصلاح شده لحاظ شد. معادلات غیرخطی میکرو ورق با اصل همپلتون بر اساس نظریه تغییر شکل برشی مرتبه اول* به دست آمد. برای به دست آوردن فرکانس طبیعی غیرخطی از روش اجزای محدود[†] و الگوریتم تکرار نیوتن استفاده شد. نتایج به دست آمده با نتایج محققان مقایسه شده است و تطابق خوبی بین آن‌ها مشاهده گردید. سپس اثرات پارامترهای مختلف مانند پارامتر مقیاس طول، نسبت شعاع بیرونی به ضخامت، حداکثر انحراف به ضخامت، بستر غیرخطی نرم و سخت شونده، بسترهای غیرخطی متقارن و نامتقارن، شرایط مرزی مختلف، میرایی سازه و بستر بررسی شد. نتایج نشان داد که شرایط مرزی آزاد و گیردار به ترتیب دارای بالاترین و کمترین فرکانس غیرخطی میکرو ورق دایره‌ای توپر و توخالی هستند. همچنین، بسترهای ویسکوالاستیک غیرخطی متقارن و نامتقارن بر فرکانس غیرخطی تأثیر معناداری دارند و فرکانس غیرخطی میکرو ورق دایره‌ای توخالی در حضور بستر نامتقارن سخت شونده به مقادیر بالاتر برای هر نسبت دامنه به ضخامت تغییر می‌کند. فرضیه این تحقیق بیان می‌دارد مقایسه رفتار سازه‌ها در آنالیز استاتیکی فزاینده غیر خطی ناشی از تأثیر فنرهای ویسکوالاستیک بیشترین تأثیر را داشته است که بهتر از رفتار سازه‌ها تحت تأثیر فنرهای ویسکوالاستیک می‌تواند به طراحی سازه‌های مقاوم‌تر و ایمن‌تر در برابر بارگذاری‌های سنگین و پیچیده کمک کند [۶].

* FSDT

† FEM

تحلیل دقیق رفتار سازه ها تحت این شرایط می تواند به کاهش خسارات و افزایش پایداری و ایمنی سازه ها منجر شود. همچنین، استفاده از میراگرهای ویسکوالاستیک به دلیل ویژگی های خاص آن ها مانند نیاز کمتر به نگهداری و عدم وجود مشکلاتی مانند نشتی، به عنوان یک راهکار کارآمد و اقتصادی برای کنترل لرزش و ارتعاشات در سازه ها به شمار می آید [۸]. از این رو، پژوهش حاضر با تمرکز بر استفاده از این فنرها و تحلیل تأثیر آن ها بر رفتار سازه ها، می تواند نتایج عملی و کاربردی را برای مهندسين عمران و طراحان سازه به ارمغان بیاورد. با توجه به افزایش خطر زلزله و نیاز به بهبود مقاومت سازه ها، استفاده از روش های کارآمد و اقتصادی مانند فنرهای ویسکوالاستیک ضروری است. این پژوهش از نظر ابعاد عملی و کاربردی خود دارای اهمیت فراوانی است و می تواند به بهبود عملکرد سازه ها در برابر تحریکات لرزه ای و بارگذاری های پیچیده کمک کند. استفاده از این فنرها نه تنها به بهبود طراحی سازه ها و کاهش خسارات احتمالی منجر می شود، بلکه امکان تحلیل دقیق تر رفتار سازه ها را نیز فراهم می کند که این خود به نوبه خود به پیشرفت علم و فناوری در حوزه مهندسی عمران کمک خواهد کرد.

۳. روش پژوهش

در این پژوهش، رفتار لرزه ای قاب های بادبندی شون مجهز به میراگرهای ویسکوالاستیک تحت بارگذاری زلزله با استفاده از تحلیل های دینامیکی خطی، غیرخطی و آنالیز استاتیکی فزاینده غیرخطی بررسی شد. برای این منظور، چهار مدل مختلف شامل قاب های ۶ و ۱۰ و ۱۵ طبقه با بادبندی همگرا و واگرا طراحی و مدل سازی شدند. تحلیل دینامیکی خطی با روش مودال برای شناسایی فرکانس های طبیعی و تحلیل دینامیکی غیرخطی با روش انتگرال گیری مستقیم برای بررسی دقیق تر تغییرات غیرخطی استفاده شد. آنالیز استاتیکی فزاینده نیز برای ارزیابی رفتار سازه ها تحت بارگذاری های فزاینده و بررسی کارایی میراگرهای ویسکوالاستیک به کار رفت. تمامی مدل سازی ها با استفاده از نرم افزارهای المان محدود انجام شد و نتایج به دست آمده جهت ارزیابی تأثیر تعداد طبقات، نوع بادبندی و حضور میراگرها بر پاسخ لرزه ای سازه مورد تحلیل آماری قرار گرفتند. ابزارهای استفاده شده در این تحقیق شامل نرم افزارهای مهندسی المان محدود مانند SAP2000 یا ETABS برای مدل سازی و تحلیل بودند. مصالح به کار رفته در مدل ها شامل فولاد برای اعضای سازه ای و مواد ویسکوالاستیک برای میراگرها بود. جامعه مورد مطالعه شامل قاب های بادبندی شون در ساختمان های با تعداد طبقات مختلف (۶، ۱۰ و ۱۵ طبقه) بود. نمونه ها به گونه ای انتخاب شدند که به خوبی نمایانگر انواع مختلف قاب های بادبندی شون با و بدون میراگرهای ویسکوالاستیک باشند. در این تحقیق، به منظور بررسی رفتار لرزه ای قاب های بادبندی شون مجهز به میراگرهای ویسکوالاستیک، از ترکیب تحلیل های دینامیکی خطی و غیر خطی و آنالیز استاتیکی فزاینده غیر خطی استفاده شد. این روش ها اثرات میراگرها را در بهبود عملکرد لرزه ای سازه ها مورد بررسی قرار داد و نتایج به دست آمده برای ارائه راهکارهایی در جهت بهینه سازی طراحی قاب های بادبندی و افزایش مقاومت لرزه ای آن ها به کار گرفته خواهد شد.

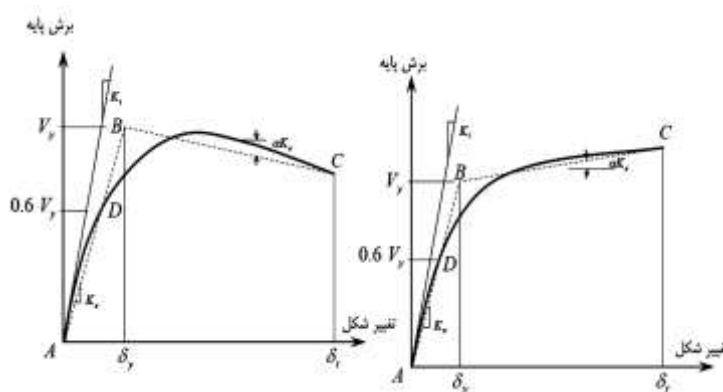
۴. یافته ها

۱.۴. بررسی رفتار سازه و آنالیز استاتیکی غیرخطی

تحلیل های استاتیکی برای ساختمان های کوتاه و منظم که تأثیر موده های بالاتر نادیده گرفته می شود، مناسب هستند. در ساختمان های بلند و نا منظم، روش های تحلیل دینامیکی لازم است. تحلیل استاتیکی خطی بر پایه رفتار خطی مصالح و تخمین نیرو با ضرایب مربوط به وزن ساختمان استوار است [۹]. در سازه های شکل پذیر، رفتار غیرخطی مصالح در زمان زلزله ملاحظه می شود و نیاز به اصلاحات در تحلیل خطی است. تحلیل غیرخطی با در نظر گرفتن ترک خوردگی و اثرات غیرخطی هندسی انجام می شود که در آن مفصل های خمیری در نقاط حداکثر لنگر پیش بینی می شوند.

تحلیل استاتیکی غیرخطی فزاینده برای برآورد رفتار مورد انتظار سازه ها با تخمین مقاومت و تغییر شکل در نظر گرفته شده است. این تحلیل به صورت گام به گام با در نظر گرفتن کاهش سختی اعضاء و افزایش بار جانبی انجام می شود تا سطح عملکرد سازه مشخص شود [۱۰]. روش پوش اور شامل دو نوع توزیع بار جانبی است که به شبیه سازی حالات بحرانی سازه کمک می کند. این روش ها با هدف مشارکت حداقلی جرم سازه در مودهای ارتعاشی و بررسی نیروهای جانبی اعمال شده انجام می گیرد. رفتار سازه با استفاده از مدل رفتاری دو خطی ساده سازی می شود که برای محاسبه سختی جانبی و برش تسلیم استفاده می شود.

این مدل شامل تنظیم نقطه B برای مطابقت با سطح زیر منحنی رفتار غیرخطی و اطمینان از این که برش تسلیم بیش از حداکثر برش پایه نیست، می باشد. در ساختمان هایی با سختی مثبت یا منفی پس از تسلیم، مدل های رفتاری متفاوتی دنبال می شوند.



شکل ۱: منحنی رفتار دو خطی

۲.۴. تعیین دوره تناوب غالب

زمان تناوب اصلی موثر T_e در امتداد مورد بررسی بر اساس مدل رفتار دو خطی برابر است با:

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \quad (1)$$

که در آن T_i زمان تناوب اصلی ساختمان با فرض رفتار خطی است و K_i سختی جانبی ارتجاعی مطابق شکل فوق است.

۳.۴. تغییر جهت هدف

جابجایی نهایی سازه با دیافراگم صلب تحت بارگذاری باید با در نظر گرفتن عملکرد غیرخطی آن محاسبه گردد. به عنوان یک روش تقریبی می توان مقدار تغییر مکان هدف را از رابطه (۲) محاسبه نمود.

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g \quad (2)$$

که در آن T_e زمان تناوب اصلی موثر ساختمان مطابق رابطه قبل برای امتداد مورد نظر می باشد. C_0 ضریب اصلاح برای ارتباط تغییر مکان طیفی سیستم یک درجه آزادی به تغییر مکان بام سیستم چند درجه آزادی است که برابر یکی از مقادیر جدول (۱) انتخاب می شود :

جدول ۱: مقادیر ضریب C0

تعداد طبقات ساختمان	ساختمان های برشی		سایر ساختمان ها
	توزیع نوع اول مطابق بند (۳-۳-۳-۱)	توزیع یکنواخت بار	هر نوع توزیع بار
۱	۱/۰	۱/۰	۱/۰
۲	۱/۲	۱/۱۵	۱/۲
۳	۱/۲	۱/۲	۱/۳
۵	۱/۳	۱/۲	۱/۴
۱۰ و بیشتر	۱/۳	۱/۲	۱/۵

$$T_e \geq T_s \rightarrow C_1 = 1.0 \quad (۳)$$

$$T_e < T_s \rightarrow C_1 = \frac{[1.0 + [R - 1] \frac{T_s}{T_e}]}{R} \quad (۴)$$

در هر صورت مقدار C1 نباید کوچک تر از ۱ باشد. در این رابطه R نسبت مقاومت است که از رابطه (۵) محاسبه می شود:

$$R = \frac{S_a}{V_y/W} C_m \quad (۵)$$

در این رابطه S_a شتاب طیفی به ازای زمان تناوب اصلی موثر سازه T_e است و C_m ضریب جرم مؤثر است که می تواند با استفاده از جدول ۲ یا از تحلیل دینامیکی به دست آید.

جدول ۲: مقادیر ضریب C_m

تعداد طبقات	قاب خمشی بتنی یا فولادی	قاب فولادی مهاربندی شده با محورهای متقارب یا غیرمتقارب	سازه با دیوار برشی	سایر سیستم های سازه ای
یک یا دو	۱	۱	۱	۱
سه و بیش تر	۰/۹	۰/۹	۰/۸	۱

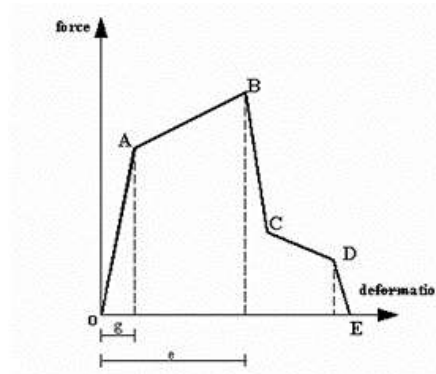
ضریب C2 اثرات کاهش سختی و مقاومت اعضای سازه ای را بر تغییر مکان ها به دلیل رفتار غیر ارتجاعی آن ها منظور می کند و مقدار آن با استفاده از جدول ۳ تعیین می شود.

جدول ۳: مقادیر ضریب C2

عملکرد مورد نظر سطح	≤ ۰/۸ T		T ≥ T ₃	
	قاب نوع یک	قاب نوع دو	قاب نوع یک	قاب نوع دو
قابلیت استفاده بی وقفه	۱/۰	۱/۰	۱/۰	۱/۰
ایمنی جانی	۱/۳	۱/۰	۱/۱	۱/۰
آستانه فرو ریزش	۱/۵	۱/۰	۱/۲	۱/۰

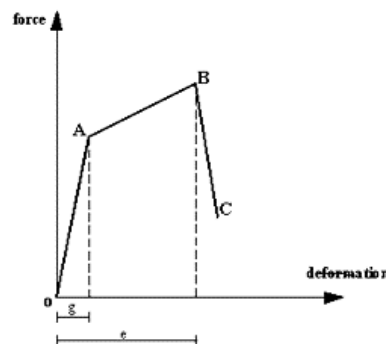
در جدول ۳، قاب های نوع یک به سیستم های سازه ای اشاره دارند که بیش از ۳۰٪ بار جانبی توسط اعضای دچار کاهش سختی و مقاومت در زلزله بار برداری می شوند. این دسته شامل قاب های خمشی معمولی، قاب های

مهاربندی شده با محورهای متقارب، قاب های با اتصالات نیمه صلب، مهاربندهای لاغر طراحی شده برای کشش، دیوارهای بنایی غیرمسلح و دیوارهای غیرشکل پذیر در برش است. سازه هایی که پس از تسلیم دارای سختی مثبت یا منفی هستند با ضرایب مختلفی بر اساس پارامترهایی مانند T ، T_s و R ارزیابی و طبقه بندی می شوند. منحنی نیرو- تغییرشکل اجزای سازه بسته به نوع تلاش داخلی و شکل پذیری آن ها متفاوت است و می تواند شکل پذیر، نیمه شکل پذیر یا ترد باشد که شامل بخش های مختلفی از جمله رفتار ارتجاعی خطی، خمیری و کاهش شدید مقاومت می باشد (شکل ۲).



شکل ۲: منحنی رفتار عضو شکل پذیر

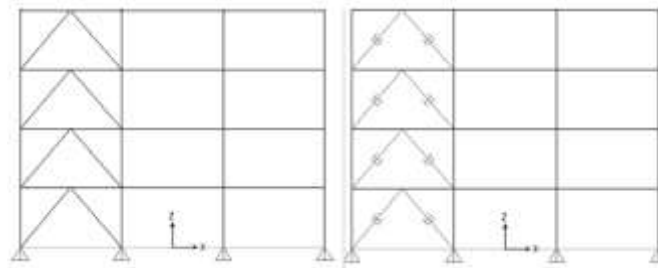
در شاخه CD منحنی نیرو-تغییرشکل، رفتار خمیری نرم شونده مشاهده می شود. اعضای اصلی سازه که نسبت تغییر شکل شان (e/g) بیش از ۲ است، تحت کنترل تغییرشکل قرار می گیرند. برای اعضای غیر اصلی، هر نسبت e/g قابل قبول است. رفتار نیمه شکل پذیر شامل سه فاز است: خطی، خمیری با امکان سخت شوندگی، و نهایتاً کاهش شدید مقاومت به صفر (شکل ۳).



شکل ۳: منحنی رفتار عضو نیمه شکل پذیر

۴.۴. تحلیل رفتار قاب بادبند

در این قسمت، به بررسی یک قاب ۴ دهانه و ۸ طبقه با سیستم مهاربندی همگرا شامل ۸ مهاربند ویژه و میراگرهای ویسکوالاستیک پرداخته می شود (شکل ۴) و (جدول ۴).

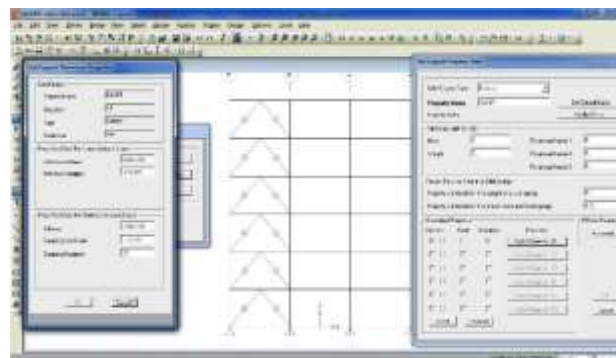


شکل ۴: نمای قاب با میراگر و بدون میراگر برای مدل ۴ طبقه با بادبند همگرا

جدول ۴: مشخصات میراگر برای مدل ۴ طبقه با بادبند همگرا

F_{d1} (Hz)	G' (MPa)	$k_d \left(\frac{N}{mm} \right)$	c_d
2.90	2.01	20053.14	1319.95

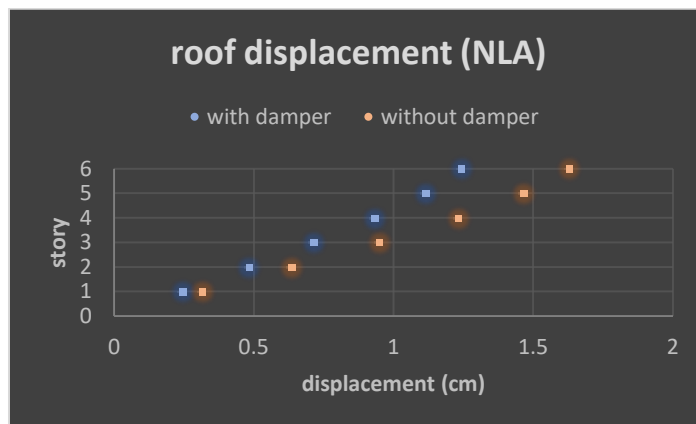
دمپر را به نرم افزار SAP معرفی کرده مقدار سختی و میرایی به دست آمده را برای میراگر تعریف می‌کنیم (شکل ۵).



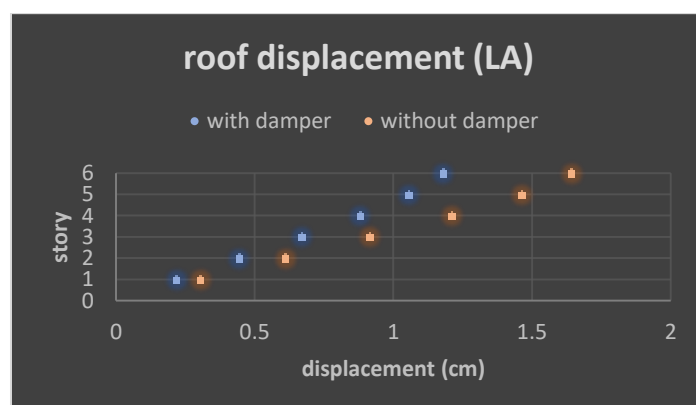
شکل ۵: اعمال سختی و میرایی معادل برای میراگر ویسکو الاستیک

۵.۴. تحلیل جابجایی طبقات در ساختمان ۴ طبقه مجهز به بادبند همگرا

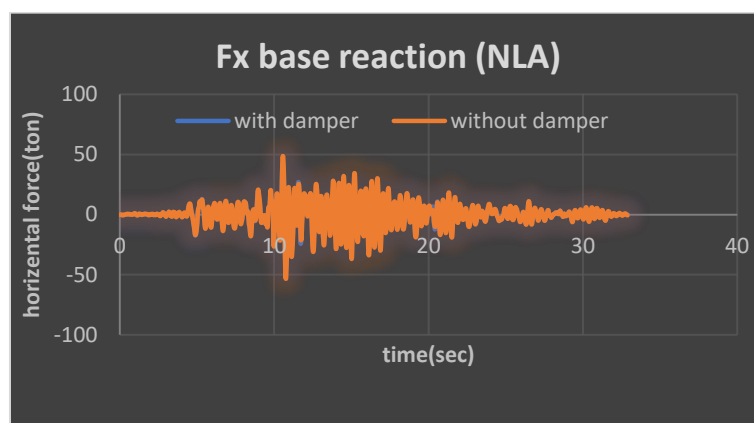
در این جا بیشترین جابجایی نسبی بین طبقات در تحلیل های خطی و غیر خطی نمایش داده شده است. همان طور که ملاحظه می‌شود در سازه با میراگر حضور میراگر باعث کاهش تغییر مکان‌های جانبی در سازه در آنالیز خطی و غیر خطی شده است. همان طور که مشاهده می‌شود با افزایش طبقات تأثیر میراگر در کاهش جابجایی طبقات بیشتر شده است (شکل‌های ۶ تا ۹).



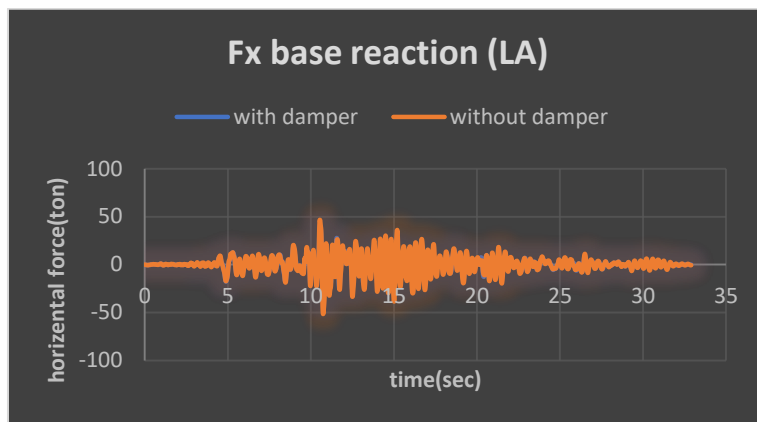
شکل ۶: مقایسه جابجایی بام برای آنالیز غیر خطی برای مدل ۴ طبقه با بادبند همگرا



شکل ۷: مقایسه جابجایی بام برای آنالیز خطی برای مدل ۴ طبقه با بادبند همگرا

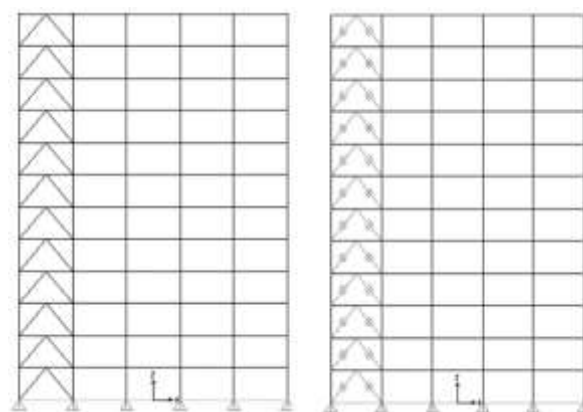


شکل ۸: مقایسه نیروی افقی تکیه گاه برای آنالیز غیر خطی برای مدل ۴ طبقه با بادبند همگرا



شکل ۹: مقایسه نیروی افقی تکیه گاه برای آنالیز خطی برای مدل ۴ طبقه با بادبند همگرا

۶.۴. ساختمان ۱۲ طبقه با ۵ دهانه و مهاربندی شورن همگرا



شکل ۱۰: نمای قاب با میراگر و بدون میراگر برای مدل ۱۲ طبقه با بادبند همگرا

جدول ۵: نتایج طراحی اعضا برای مدل ۱۲ طبقه با بادبند همگرا

سازه	تیرها	ستون ها	بادبندها
12 طبقه	IPE360	IPB650	2U220

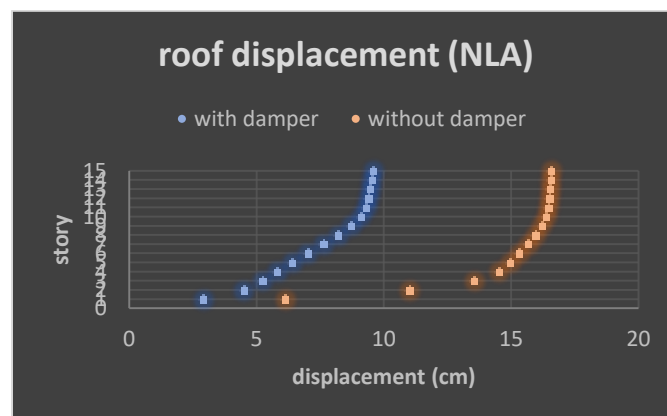
جدول ۶: مشخصات میراگر برای مدل ۱۲ طبقه با بادبند همگرا

c_d	$k_d \left(\frac{N}{mm} \right)$	$G' (MPa)$	$F_{d1} (Hz)$
2622.627	10762.08	1.076208	0.78372

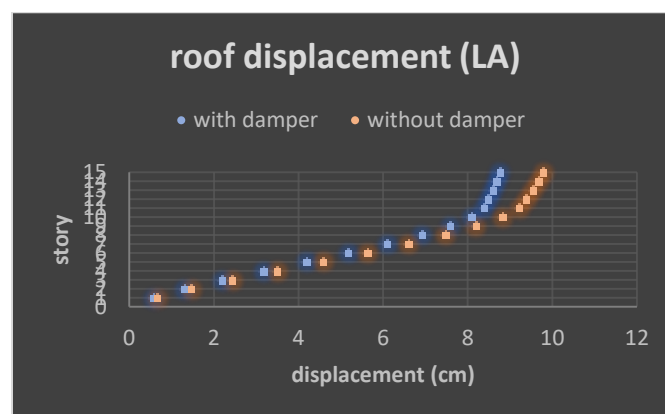
جدول ۷: مشخصات میرایی کل سازه در دو مود اول برای مدل ۱۲ طبقه با بادبند همگرا

ξ_i	$\omega_{di} \left(\frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right)$	$\omega_i \left(\frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right)$	mode
0.06	4.92	4.87	1
0.07	19.37	19.04	2

۷.۴. نمودار انحراف طبقات در یک سازه ۱۲ طبقه مجهز به بادبند همگرا

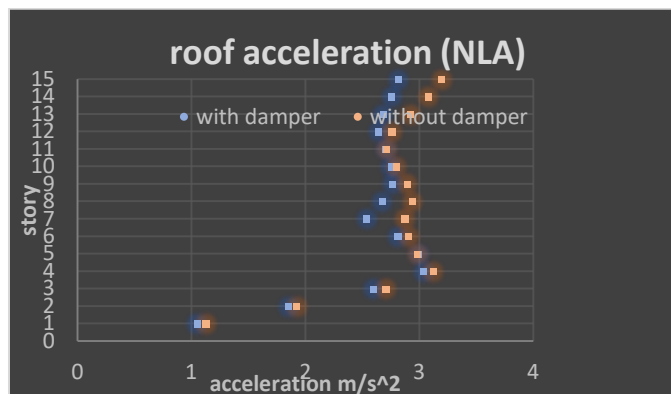


شکل ۱۱: مقایسه جابجایی بام برای آنالیز غیر خطی برای مدل ۱۲ طبقه با بادبند همگرا

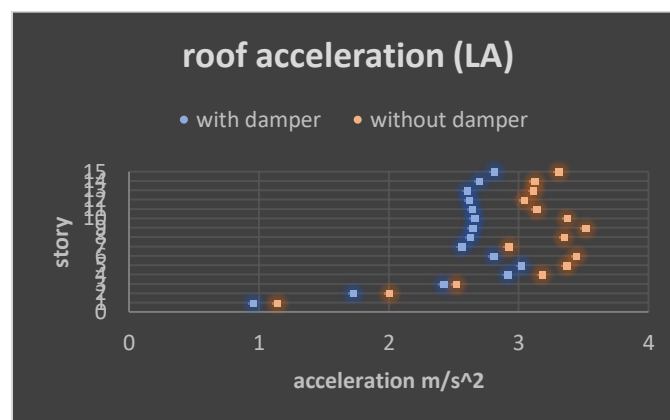


شکل ۱۲: مقایسه جابجایی بام برای آنالیز خطی برای مدل ۱۲ طبقه با بادبند همگرا

۸.۴. توزیع شتاب در طبقات مختلف یک ساختمان ۱۲ طبقه با بادبند همگرا

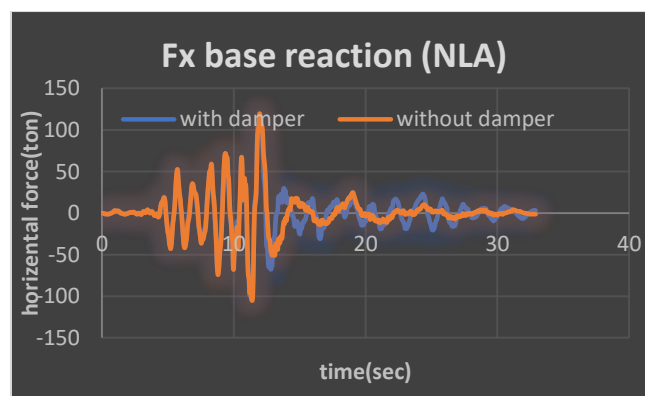


شکل ۱۳: مقایسه شتاب بام برای آنالیز غیر خطی برای مدل ۱۲ طبقه با بادبند همگرا

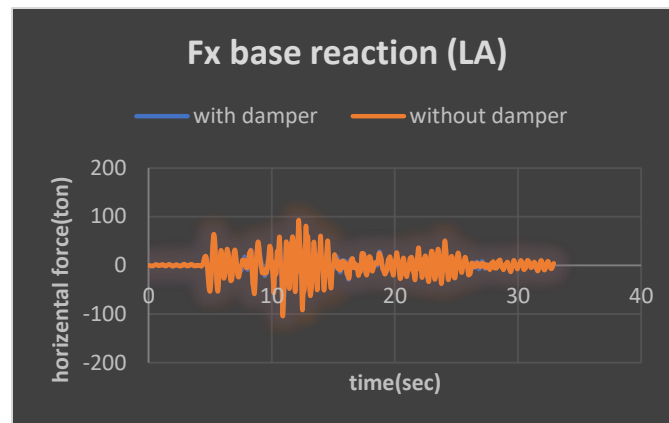


شکل ۱۴: مقایسه شتاب بام برای آنالیز خطی برای مدل ۱۲ طبقه با بادبند همگرا

۹.۴. رفتار لرزه‌ای پایه ۱۲ طبقه با بادبند همگرا



شکل ۱۵: مقایسه نیروی افقی تکیه گاه برای آنالیز غیر خطی برای مدل ۱۲ طبقه با بادبند همگرا



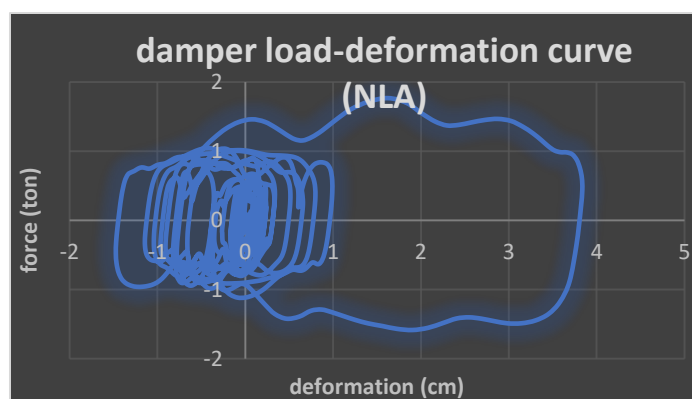
شکل ۱۶: مقایسه نیروی افقی تکیه گاه برای آنالیز خطی برای مدل ۸ طبقه با بادبند همگرا

۱۰.۴. تحلیل رفتار لرزه‌ای مدل ۱۲ طبقه با بادبند همگرا

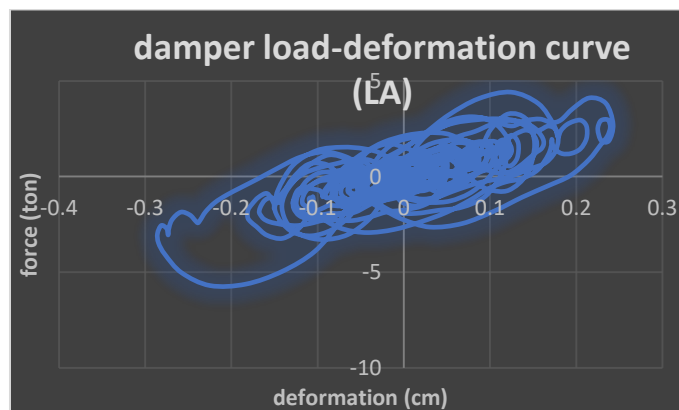
جدول ۸: مقایسه نیروی تکیه گاهی برای مدل ۱۲ طبقه با بادبند همگرا

		با میراگر سازه		سازه بدون میراگر	
		نیروی قائم (تن)	نیروی افقی (تن)	نیروی قائم (تن)	نیروی افقی (تن)
غیر خطی	Max	118.77	1.77	119.67	2.52
خطی	Max	120.80	1.10	138.49	3.50

۱۱.۴. نمایش تغییر مکان در برابر بار اعمال شده به میراگر طبقه اول در مدل ۱۲ طبقه با بادبند همگرا



شکل ۱۷: نمودار بار جابجایی میراگر در آنالیز غیر خطی برای مدل ۱۲ طبقه با بادبند همگرا



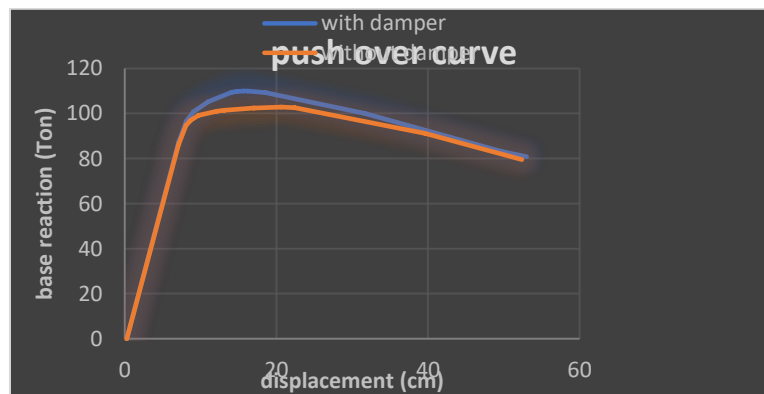
شکل ۱۸: نمودار بار جابجایی میراگر در آنالیز خطی برای مدل ۱۲ طبقه با بادبند همگرا

جدول ۹: نتایج آنالیز پوش اور برای مدل ۱۲ طبقه با بادبند همگرا

Item	with damper	without damper
C0	1.124	1.124
C1	1.000	1.000
C2	1.000	1.000
C3	1.230	1.214
Sa	0.614	0.640

Te (sec)	1.284	1.291
Ti (sec)	1.284	1.291
Ki (ton/cm)	12.315	12.183
Ke (ton/cm)	12.315	12.183
Alpha	-0.047	-0.036
R	4.395	4.866
Vy (ton)	112.115	105.670
Weight (ton)	803.064	803.064
Cm	1.000	1.000
δ (cm)	34.520	35.890

همان طور که در نمودار (۱۹) مشاهده می شود در سازه با میراگر مقدار برش پایه تا حدودی افزایش یافت اما جابجایی بام تغییری نکرد. این مطلب بدین معناست که حضور میراگر در سازه باعث شده سختی سازه افزایش یابد.



شکل ۱۹: نمودار پوش اور برای سازه بدون میراگر و با میراگر برای مدل ۱۲ طبقه با بادبند همگرا

۱۲.۴. بررسی تطبیقی عملکرد و رفتار سازه ها تحت بارگذاری افزایشی غیر خطی

جهت مقایسه عملکرد سازه های فنردار و بدون فنر در تحلیل استاتیکی غیر خطی افزایشی، جدولی در ادامه ارائه شده است (جدول ۱۰) که در آن وضعیت مفاصل پلاستیک و تغییر مکان بام را در حالت های مختلف هر سازه نمایش داده شده است.

جدول ۱۰: مقایسه رفتار سازه ها در آنالیز استاتیکی فزاینده غیر خطی

سازه	cm تغییر مکان هدف	وضعیت بحرانی ترین مفصل پلاستیک در تغییر مکان هدف	سطح عملکرد سازه
۴ طبقه با میراگر همگرا	5.019	CP-C	در آستانه فروریزش
۴ طبقه بدون میراگر همگرا	3.706	CP-C	در آستانه فروریزش
۱۲ طبقه با میراگر همگرا	34.52	CP-C	در آستانه فروریزش
۱۲ طبقه بدون میراگر همگرا	35.89	CP-C	در آستانه فروریزش

۵. بحث و نتیجه گیری

۱. در تحلیل سازه: مطالعه رفتار سازه تحت بارگذاری‌های مختلف یکی از جنبه‌های اساسی مهندسی سازه است که با روش‌های تحلیلی متنوعی انجام می‌شود.

۲. روش‌های تحلیل: روش‌های تحلیل شامل تحلیل استاتیکی خطی، تحلیل استاتیکی غیرخطی و تحلیل دینامیکی هستند که هر کدام برای شرایط خاصی مناسب‌تر هستند.

۳. تحلیل استاتیکی خطی: این روش بر اساس فرض خطی بودن رابطه بین بار و تغییر شکل سازه عمل می‌کند و در مواردی که سازه‌ها به رفتار خطی نزدیک هستند، مؤثر است.

۴. تحلیل استاتیکی غیرخطی: این روش پیشرفته‌تر بوده و برای سازه‌هایی که تحت تغییر شکل‌های بزرگ یا فرایندهای شکست قرار دارند، مناسب است.

۵. آنالیز استاتیکی افزایشی غیرخطی: در این فنیک، بار به صورت گام‌به‌گام اعمال می‌شود و رفتار سازه در هر گام ارزیابی می‌شود.

۶. فنرهای ویسکوالاستیک: این فنرها به عنوان جزء مهمی در مدل‌سازی رفتار میرایی سازه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند و می‌توانند به کاهش پاسخ دینامیکی سازه‌ها کمک کنند.

۷. NLSA آنالیز استاتیکی افزاینده غیرخطی (NLSA) ابزاری قدرتمند برای مطالعه و تحلیل رفتار سازه‌ها در تأثیر فنرهای ویسکوالاستیک است.

۸. مدل‌سازی رفتار غیرخطی: این روش به مدل‌سازی رفتار غیرخطی پیچیده سازه‌ها کمک کرده و برای بررسی تأثیر فنرهای ویسکوالاستیک بر پاسخ دینامیکی آن‌ها کاربرد دارد.

۶. مراجع

1. Shahryarifard, M., Golzar, M., Tibert, G. (2021). Modeling Bistable Behaviors in Exposure of Thermo-Viscoelastic Conditions by Link-Spring-Dashpot Structures. *Modares Mechanical Engineering*, 21 (9), 589-600. URL: <http://mme.modares.ac.ir/article -15-47083-fa.html>.
2. Karataş, EE., Filippi, M., Carrera, E. (2021). Dynamic analyses of viscoelastic three-dimensional structures with advanced one-dimensional finite elements. *European Journal of Mechanics-A/Solids*, 88, 104241.
3. Haji Karimi, P., Rahi, M., Maniei, S., Moghaddam Nejad, F. (2019). Investigation of the effect of adding rubber powder on the nonlinear viscoelastic properties of bitumen. *Journal of Transportation*, 17(2), 220-209.
4. Menga, N., Bottiglione, F., Carbone, G. (2021). Nonlinear viscoelastic isolation for seismic vibration mitigation, *Mechanical Systems and Signal Processing*, 157, 107626. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2021.107626>.

5. Jian, Z., Run-Qing, C., Ye-Wei, Z. (2021). Steady-state response of a viscoelastic beam with asymmetric elastic supports coupled to a lever-type nonlinear energy sink. *Nonlinear Dynamics*, 105, 1327-1341.
6. Zaheed, M. (2019). *Modeling and analysis of time-dependent creep and creep behavior of polymeric materials using standard three-parameter viscoelastic mathematical models of fractional derivatives and nano-indentation laboratory data*. Master's thesis, Kashan University, Faculty of Mechanical Engineering.
7. Moayeri, M., Darabi, B., Hoseini Sianaki, A., & Adamian, A. (2022). Effect of small scale on nonlinear vibrations of viscoelastic circular microplate rested on nonlinear viscoelastic foundation. *Journal of Aeronautical Engineering*, 24(2), 152-166. doi: 10.22034/joae.2022.344528.1100.
8. Lin, WC., Yu, CH., Tsai, MA., Chang, YW., Peng, SK., Wang, SJ. (2022). Hysteretic behavior of viscoelastic dampers subjected to damage during seismic loading. *Journal of Building Engineering*, 53 (1), 104538.
9. Yumi, M., Takeshi, S., Quan, Ch., Hiroshi, W. (2023). Rouse Analysis of Nonlinear Rheology of Unentangled Polymer Melts under Fast Shear: Viscoelastic Response to Superposed Oscillatory Strain. *Macromolecules*, 56(8), 2930-2938.
10. Akrami Nia, E., Ekhteraei Toussi, H. (2019). Investigating the Static Deformation and Instability Voltage of Viscoelastic Curved Microbeam. *Modares Mechanical Engineering*, 19 (10), 2375-2385. URL: <http://mme.modares.ac.ir/article-15-25008-fa.html>.