

نوع مقاله: پژوهشی

چکیده

عموماً در تحلیل و طراحی ساختمان‌ها، پی را صلب فرض کرده و به تأثیری که نشست خاک زیر پی و انعطاف‌پذیری پی سازه ممکن است بر روی پاسخ سازه داشته باشد توجهی نمی‌شود. در صورتی که اندرکنش بین سازه، پی و محیط خاک تکیه‌گاهی آن، رفتار واقعی سازه را به‌طور قابل توجهی در مقایسه با بررسی رفتار سازه به‌تنهایی تغییر می‌دهد و یکی از موارد بسیار مهم در زمینه اندرکنش خاک و سازه، حرکت گهواره‌ای سازه روی پی می‌باشد. سیستم‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل سیستم سازه‌ای دیاگرید دارای حرکت گهواره‌ای با در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه روی پی و مقایسه آن با سیستم سازه‌ای دیاگرید دارای قاب حرکت گهواره‌ای است که برای مدل‌سازی بهتر این سیستم نوین ابتدا طراحی کابل‌های پس کشیده و همچنین جزئیات دقیق اتصالات پای ستون و همچنین میراگرهای تسلیمی در نرم‌افزار ABAQUS با در نظر گرفتن ابعاد اتصال برای دهانه مهاربندی ۱۲ طبقه طراحی می‌گردد و سپس در نرم‌افزار SAP2000 طراحی اعضای سازه‌ای برای سازه‌های ۱۶ و ۱۲ طبقه دیاگرید دارای حرکت گهواره‌ای انجام شده است. نتایج بیانگر بهبود عملکرد حرکت گهواره‌ای روی پی در کاهش تنش‌های توزیع شده در سازه دیاگرید می‌باشد همچنین در سازه دیاگرید دارای قاب گهواره‌ای شاهد کاهش تغییر مکان‌های سازه نسبت به حرکت گهواره‌ای روی پی بوده‌ایم زیرا با کابل‌های پس کشیده تغییر مکان‌های سازه به میزان زیادی کاهش یافته است و این در حالی است که در سازه دیاگرید با حرکت گهواره‌ای روی پی تغییر مکان‌های سازه به میزان ۲۰ درصد به دلیل اثرات اندرکنشی خاک و سازه افزایش یافته است با این وجود به دلیل میرایی بسیار خاک، سیستم عملکرد لرزه‌ای مناسبی را از خود نشان داده است زیرا علاوه بر کاهش تعداد مفاصل پلاستیک، سطح مفاصل پلاستیک نیز به ناحیه LS و کمتر از آن محدود شده است.

واژگان کلیدی: اندرکنش خاک و سازه، حرکت گهواره‌ای کنترل‌شده، تاریخچه زمانی غیرخطی، دیاگرید.

مقایسه رفتار لرزه‌ای ساختمان‌های دارای سازه دیاگرید در حالت سازه گهواره‌ای و فاقد گهواره‌ای با در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه

فاطمه گرجی سینکی (نویسنده مسئول)

دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه عمران، دانشکده فنی و مهندسی واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران،
st_f_gorji@azad.ac.ir

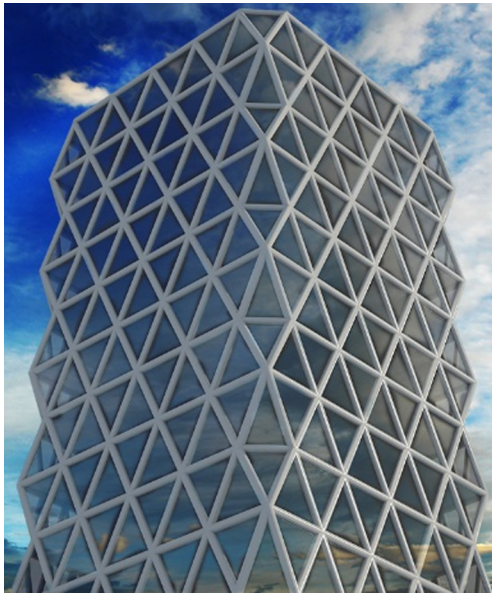
عبدالرضا سروقد مقدم

دانشیار، پژوهشکده مهندسی سازه، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران

۱- مقدمه

توزیع نیروها در المان‌های سازه نمی‌شود. اندرکنش بین سازه، پی و خاک زیرین آن رفتار واقعی سازه را در مقایسه با حالتی که سازه به‌تنهایی بررسی می‌شود تغییر می‌دهد. امروزه بسیاری از ساختمان‌ها نیاز دارند که پس از زلزله به سرعت به عملکرد و وظیفه اولیه خود بازگردند. یکی از روش‌هایی که پیشنهاد می‌شود استفاده از حرکت گهواره‌ای ساختمان در پایه خودش به وسیله

در کشور ما اغلب سازه‌ها و شاید تمامی ساختمان‌های متعارف به‌طور مستقل تحلیل و طراحی می‌شوند، بدین معنی که این سازه‌ها بیشتر توسط نرم‌افزارهای متعارف و با در نظر گرفتن یک تکیه‌گاه صلب و یا مفصلی، تحلیل و طراحی شده و سپس نیروهای به‌دست آمده در پای ستون‌ها برای تحلیل و طراحی پی سازه مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این روند توجهی به تأثیر نشست پی بر



شکل (۲): نمایی از سیستم سازه‌ای دیاگراید مدل‌سازی شده در نرم‌افزار 3Ds MAX

۲-۲- مروری بر پژوهش‌های انجام شده در زمینه حرکت گهواره‌ای

امروزه بسیاری از ساختمان‌ها نیاز دارند که پس از زلزله به سرعت به عملکرد و وظیفه اولیه خود بازگردند. یکی از روش‌هایی که پیشنهاد می‌شود استفاده از حرکت گهواره‌ای ساختمان در پایه خودش به وسیله سازوکار حرکت گهواره‌ای است، در حقیقت در این سیستم از اثر وزن ساختمان در تمرکز و هدایت آسیب استفاده می‌شود، این سیستم از تسلیم شدن سازه‌های فلزی در اثر تغییر شکل‌های پسماند جلوگیری کرده و سازه بعد از چندین زلزله قابل استفاده می‌باشد.

به‌طور کلی حرکت گهواره‌ای به چهار دسته زیر تقسیم می‌شود:

- ستون‌های دارای حرکت گهواره‌ای،
- دیوارهای برشی دارای حرکت گهواره‌ای،
- قاب‌هایی دارای حرکت گهواره‌ای،
- ساختمان‌هایی با حرکت گهواره‌ای کل سازه.

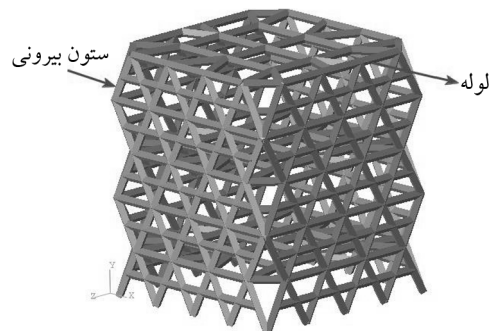
هجار و همکاران [۵] در سال ۲۰۰۸ به مطالعه سیستم‌هایی با عملکرد بالا که به سازه اجازه می‌دهند به راحتی پس از زلزله تعمیر شوند پرداختند. آنها این کار را با استفاده از قاب‌های

سازوکار حرکت گهواره‌ای می‌باشد. در حقیقت در این سیستم از اثر وزن ساختمان در تمرکز و هدایت آسیب استفاده می‌شود، این سیستم از تسلیم شدن سازه‌های فلزی در اثر تغییر شکل‌های پسماند جلوگیری کرده و سازه بعد از چندین زلزله قابل استفاده می‌باشد [۱]. از طرف دیگر زلزله سال ۲۰۱۱ کرایست چرچ نیوزلند اهمیت سیستم‌های خسارت محدود را بیش از پیش نمایان نمود [۲].

۲- معرفی سیستم‌های سازه‌ای بناهای بلند مرتبه

۲-۱- معرفی سیستم سازه‌ای شبکه قطری

سیستم شبکه قطری که با توسعه تئوری سازه‌های لوله‌ای پدید آمد، نمونه خاصی از خرپای فضایی است که شامل شبکه‌ای پیرامونی است که از خرپاهای مثلث شکل ساخته شده است. سیستم شبکه قطری از تقاطع اعضای مورب و افقی، شکل گرفته است [۳]. اعضای مورب در سیستم سازه‌ای شبکه قطری به دلیل ساختار و موقعیت شبکه مثلثی خود می‌توانند نیروهای ثقلی به‌علاوه نیروهای جانبی را تحمل کنند. در شکل (۱) نمای کلی این سیستم سازه‌ای نشان داده شده است.



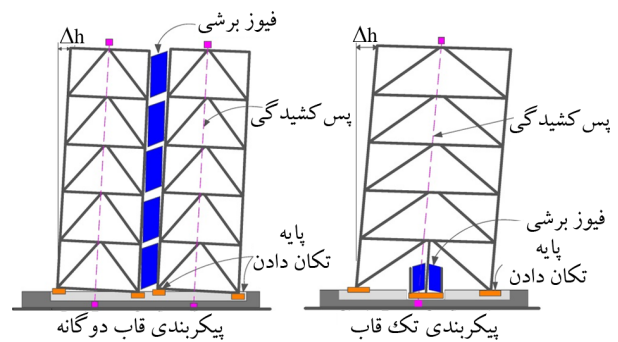
شکل (۱): تصویر کلی سیستم شبکه قطری.

زاویه اعضای مورب (ستون‌های مورب) نقش کلیدی در سازه‌هایی با سیستم دیاگراید ایفا می‌نماید. منظور از زاویه بهینه در سازه‌هایی با سیستم دیاگراید زاویه‌ای است که به ازای آن حداقل مصالح در سازه مصرف شود و جابه‌جایی جانبی نیز کمتر باشد. بنا بر مطالعات صورت گرفته توسط مون [۴] این زاویه بهینه در حدود ۶۰ تا ۷۰ درجه است. در شکل (۲) تصویر سازه دیاگراید مدل‌سازی شده در 3D Max دیده می‌شود.

که منجر به تغییر شکل‌های ماندگار کمتری تحت بارگذاری زلزله می‌شوند. این قاب‌های برگشت‌پذیر با انگیزه کمتر کردن آسیب سازه‌ای تحت بارگذاری زلزله و فراهم آوردن ظرفیت جابه‌جایی نسبی غیرخطی و تغییر شکل ماندگار به کار گرفته شده است.

ایترتون و همکاران [۹] در سال ۲۰۱۰ یک سیستم جدید سازه‌ای را توسعه دادند که در آن از قاب‌هایی با حرکت گهواره‌ای کنترل شده و فیوزهای سازه‌ای قابل تعویض استفاده شده است. نتایج آزمایش‌های عملکرد مناسب سیستم گهواره‌ای کنترل شده را نشان می‌دهد. پولینو و برونیو [۱۰] در سال ۲۰۱۵ به ارائه روشی به‌عنوان سیستم‌های سازه‌ای برگشت‌پذیر و گهواره‌ای جدید به‌صورت قاب‌های فولادی مهاربندی شده گهواره‌ای پرداختند. در این روش انتقال نیروها از طریق استفاده از ابزارهای جاذب انرژی منفعل تشریح شده و یک روش ساده شده به‌منظور اندازه‌گیری تغییر شکل بیشینه دینامیکی و نیروهای به وجود آمده پیشنهاد شده است. دیانتی و هوانگ [۱۱] در سال ۲۰۱۵ به ارزیابی عملکرد سیستم‌های خودمحمور و مرکز‌گرا به‌منظور افزایش ظرفیت جابه‌جایی نسبی سیستم‌های قاب مهاربندی شده قبل از بروز آسیب پرداختند. سیستم دارای اجزایی در پایه ستون است که اجازه بلند شدگی به ستون در سطح مشخصی از لنگر واژگونی، در نتیجه نیروهای جانبی را می‌دهد. در ادامه کارهای پیشین، حسینی و نوروزی‌نژاد [۱۲] در مقاله‌ای برای دستیابی به ساختمان تعمیرپذیر پس از زلزله بر اساس ایده هدایت عمودی آسیب به ارائه یک سیستم سازه‌ای پرداختند که در آن آسیب به قسمت‌های از پیش تعیین شده از سیستم سازه‌ای هدایت می‌شود و بدین ترتیب قسمت‌های دیگر دچار تغییر شکل‌های پلاستیک نمی‌شوند. این عمل با استفاده از حرکت الکلنگی ساختمان و با استفاده از ستون مرکزی عظیم و ستون‌های دایره‌ای جاذب انرژی در پایین‌ترین طبقه انجام می‌شود. حسینی و همکاران [۱۳] سال ۲۰۱۳ با استفاده از ایده هدایت عمودی آسیب یک سیستم سازه‌ای چهار کپسولی ارائه نمودند که قابلیت جذب انرژی در آن بیش از سیستم‌های پیشین است.

فولادی که به‌صورت گهواره‌ای کنترل شده‌اند انجام دادند. با استفاده از فیوزهای اتلاف انرژی قابل تعویض در این سیستم‌ها، تغییر مکان‌های ماندگار حذف شده و آسیب‌های سازه‌ای در المان‌های فیوز متمرکز می‌شوند. در شکل (۳) انواع سیستم‌های گهواره‌ای دیده می‌شود.



شکل (۳): انواع سیستم‌های گهواره‌ای [۵].

آزوهاتا و همکاران [۶] در سال ۲۰۰۸ به‌منظور کاهش آسیب لرزه‌ای یک سیستم برگشت‌پذیر که از اعضای سازه‌ای گهواره‌ای تشکیل یافته را پیشنهاد کردند که در این سیستم قسمت‌هایی از سازه قابلیت بلند شدگی در هنگام زمین‌لرزه را دارا می‌باشند. پولینو و برونیو [۷] در سال ۲۰۰۸ به تحلیل و بررسی پاسخ لرزه‌ای دینامیکی ستون‌های پل مهاربندی شده فولادی که قابلیت بلند شدگی و حرکت گهواره‌ای در فونداسیون خود را دارند، پرداختند. حرکت گهواره‌ای در ستون‌ها این امکان را ایجاد می‌کند که آسیب به قسمت محدودی هدایت شود که این المان‌های آسیب‌دیده قابل تعویض هستند. در طول حرکت گهواره‌ای، همان‌گونه که ستون‌ها در حال چرخش از یک پایه به پایه دیگر هستند، ضربه و بلند شدگی فونداسیون، مدهای ارتعاشی عمودی را تحریک کرده و باعث افزایش برش پایه و افزایش نیروی محوری در پایه‌ها می‌شود. در این مقاله روشی ارائه کردند که مقدار افزایش نیروی دینامیکی به‌منظور تعیین ظرفیت المان‌های موجود مشخص می‌شود. سائوز و همکاران [۸] در سال ۲۰۱۰ به مطالعه یک نوع جدیدی از قاب‌های فولادی مهاربندی شده هم‌محور پرداختند که ظرفیت تغییر مکان نسبی بیشتری قبل از آسیب دارد

رستمی و همکاران [۱۷] سیستم حرکت گهواره‌ای را در ساختمان‌های بلند مرتبه دیاگرید و لوله‌ای به کار برده‌اند که جزئیات دقیق اتصالات آنها در این پژوهش توسعه یافته است.

۳- روش تحقیق

در ابتدا از آنجایی که در جزئیات اتصالات پای ستون دارای حرکت گهواره‌ای از میراگر جاری شونده استفاده شده است صحت‌سنجی یک نمونه میراگر جاری شونده با کار آزمایشگاهی انجام شده است [۱۸]. در جدول (۱) مشخصات خطی فولاد ST-37 دیده می‌شود.

جدول (۱): مشخصات خطی فولاد ST-37.

فولاد نرمه ساختمانی ST37	
تنش تسلیم	۲۴۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع
تنش نهایی	۴۰۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع
تنش گسیختگی	۳۷۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع
مدول الاستیسیته	2.1×10^6 کیلوگرم بر سانتی متر مربع
ضریب پواسون	۰/۳
وزن واحد حجم	۷۸۵۰ کیلوگرم بر سانتی متر مکعب
جرم واحد حجم	۸۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مکعب

همچنین خصوصیات غیر خطی فولاد بر مبنای داده‌های موجود در مقاله صحت‌سنجی به شرح زیر است. از این داده‌ها برای در نظر گرفتن خصوصیات غیر خطی در سازه دیاگرید نیز استفاده شده است. برای وارد کردن رفتار تنش کرنش در ABAQUS باید از داده‌های مربوط به تست کشش استفاده کرد که توسط تست کشش مقادیر تنش مهندسی و کرنش مهندسی به دست می‌آیند؛ در حالی که در ABAQUS باید مقادیر تنش و کرنش حقیقی در مازول خصوصیات وارد شود. برای تبدیل تنش-کرنش مهندسی به تنش-کرنش حقیقی از روابط زیر استفاده می‌شود:

$$\varepsilon = \ln(1 + e) \quad (1)$$

$$\sigma = S(1 + e) \quad (2)$$

آنها این کار را با استفاده از تقسیم سازه ساختمان به چهار بخش مشابه (چهار کپسول) که هریک می‌تواند در طی زلزله حرکت گهواره‌ای داشته باشد و استفاده از ستون‌های مورب در اولین تراز ساختمان انجام دادند که تمامی این ستون‌ها مورب مجهز به میراگرهای جاری شونده به صورت دوگانه می‌باشند و به تیرهای قوی در اولین سقف ساختمان متصل هستند. این تیرهای قوی به الاستیک ماندن سقف‌های بالایی کمک می‌نماید. در پایان با انجام تحلیل‌های غیرخطی بر روی ساختمان‌های معمولی و ساختمان پیشنهادی به این نتیجه رسیدند که ایده پیشنهادی می‌تواند دارای رفتار لرزه‌ای مناسب‌تری باشد. همچنین حسینی و بزرگ‌زاده [۱۴] در سال ۲۰۱۴ با به کارگیری ایده هدایت عمده آسیب سیستم ساختمانی تعمیرپذیر را بر اساس حرکت الاکلنگی ساختمان که مجهز به ابزارهای جاذب انرژی هستند را ارائه نمودند. برای این کار، از ایجاد حرکت الاکلنگی در ساختمان با استفاده از یک تکیه‌گاه مفصلی مرکزی و ابزارهای جاذب انرژی که در ستون‌های پیرامونی نصب می‌شوند، استفاده نمودند. نتایج کار آنها نشان می‌دهد که ساختمان‌های مذکور، نه تنها زمان تناوب سازه را افزایش می‌دهند، منجر به آسیب کمتری نیز می‌شوند. حسینی و ابراهیمی [۱۵] در سال ۲۰۱۵ با ارتقاء ایده «هدایت عمده آسیب» به طراحی بر اساس هدایت آسیب به ارائه یک سیستم سازه‌ای دارای حرکت گهواره‌ای برای ساختمان‌های ۱۰، ۱۵ و ۲۰ طبقه پرداختند که در آن نوع جدیدی از فیوزهای تسلیمی نیز به کار گرفته شده است. فیوزهای پیشنهاد شده در آن پژوهش فقط در حرکت پای ستون‌های مربوطه در تراز بالاتر از تراز پی (در جابه‌جایی‌های مثبت) عمل می‌نماید و با حرکت ستون به سمت پایین به تراز پایین‌تر از تراز پی با یک المان گپ با طول صفر و سختی متناسب با سختی پی نواری مقابله می‌شود. همچنین رستمی و همکاران [۱۶] در پژوهشی به بررسی و ارزیابی سیستم‌های سازه‌ای دیاگرید و لوله‌ای در ساختمان‌های بلند مرتبه بایونیک پرداخته‌اند که نتایج پژوهش آنها در زمینه سازه‌های دیاگرید یکی از ایده‌های این پژوهش می‌باشد. در پژوهش دیگری

۴- صحت‌سنجی در نرم‌افزار ABAQUS

در ابتدا از آنجایی که در جزئیات اتصالات پای ستون دارای حرکت گهواره‌ای از میراگر جاری شونده استفاده شده است صحت‌سنجی یک نمونه میراگر جاری شونده با کار آزمایشگاهی [۱۸] انجام شده است. در شکل (۴) مدل‌سازی صحت‌سنجی و نمونه آزمایشگاهی دیده می‌شود که شکل (۵) تطابق کامل نمودارهای مدل‌سازی و مدل آزمایشگاهی را نشان می‌دهد.

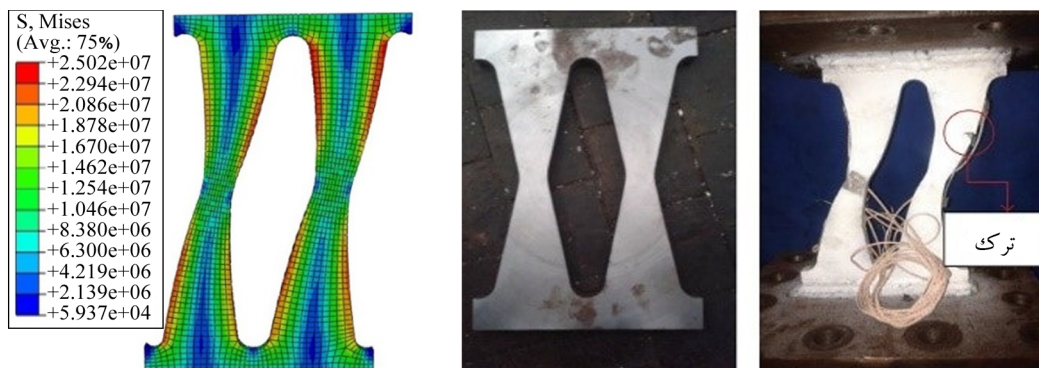
۵- مفهوم و طراحی جزئیات ستون دارای حرکت گهواره‌ای

در شکل (۶) جزئیات مدل‌سازی سازه‌های دیاگراید بدون در نظر گرفتن اثرات اندرکنشی خاک و سازه و مدل سازه دیاگراید به همراه در نظر گرفتن اثرات اندرکنشی خاک و سازه دیده می‌شود. همان‌طور که دیده می‌شود خاک یک محیط نیمه‌بی‌نهایت به همراه فنرهایی در نظر گرفته شده است و خاک به صورت چند لایه مدل‌سازی شده است.

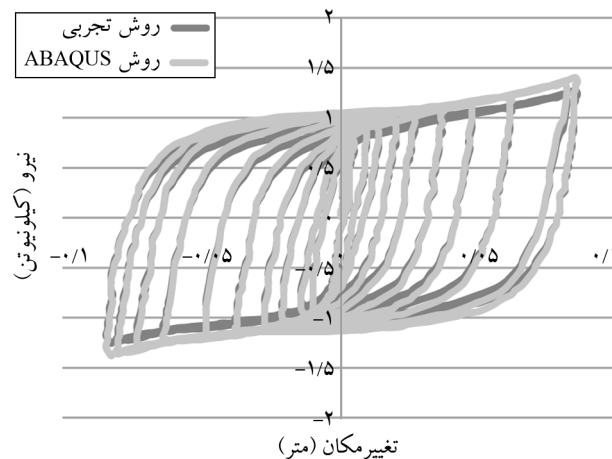
آزمون کشش (تست کشش) یکی از آزمون‌های مخرب علم مواد است که در آن یک نمونه تحت اثر کشش تک‌محوری تا حد شکست مورد مطالعه قرار می‌گیرد. در جدول (۲) خصوصیات غیر خطی فولاد St-37 دیده می‌شود.

جدول (۲): خصوصیات غیر خطی فولاد St-37.

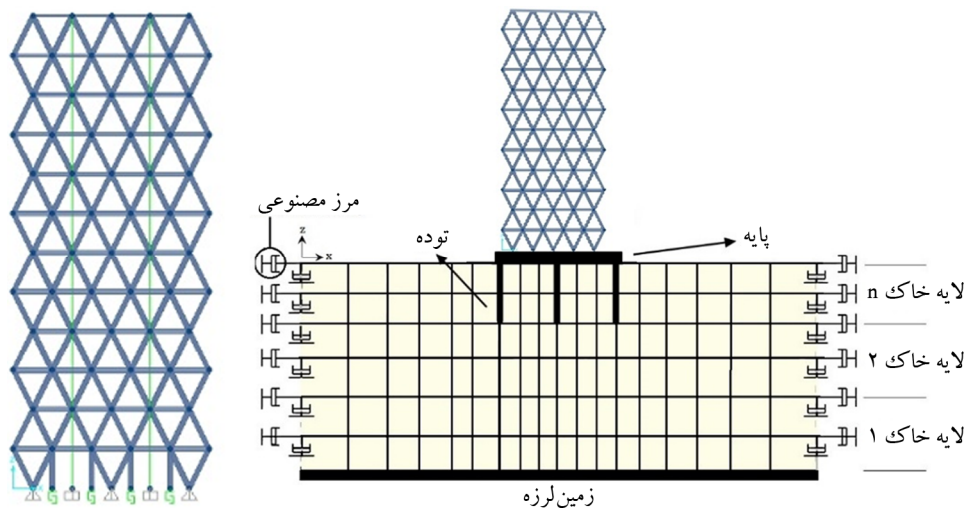
کشش بازده (نیوتن بر مترمربع)	کشش پلاستیکی (درصد)
۲۴۰۰۰۰۰۰	۰
۲۴۴۰۰۰۰۰	۰/۰۱۲
۲۹۰۰۰۰۰۰	۰/۰۳۵۵
۳۱۴۰۰۰۰۰	۰/۰۵۹
۳۳۰۰۰۰۰۰	۰/۰۸۲۵
۳۴۰۰۰۰۰۰	۰/۱۰۶
۳۴۸۰۰۰۰۰	۰/۱۲۹۵
۳۵۳۰۰۰۰۰	۰/۱۵۳
۳۵۷۰۰۰۰۰	۰/۱۷۶۵
۳۶۰۰۰۰۰۰	۰/۲



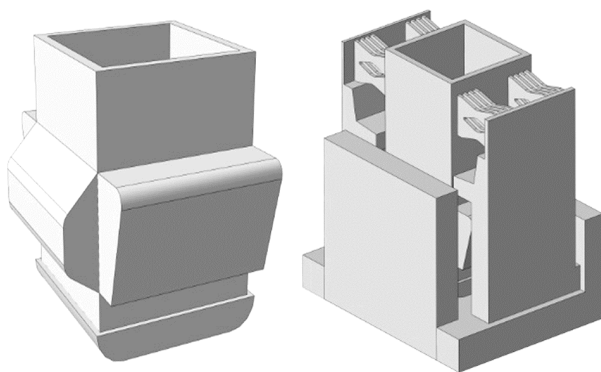
شکل (۴): نمونه آزمایشگاهی میراگر و مدل‌سازی انجام شده در نرم‌افزار ABAQUS [۱۸].



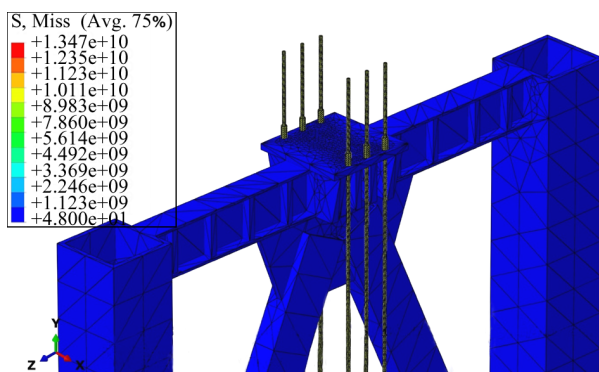
شکل (۵): نمودار صحت‌سنجی بر مبنای مدل آزمایشگاهی در نرم‌افزار ABAQUS [۱۸].



شکل (۶): سازه دیاگرایدارای حرکت گهواره‌ای و محل میراگرها و کابل‌های پس کشیده (سمت راست) و سازه دیاگرایدارای گیردار با در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه.



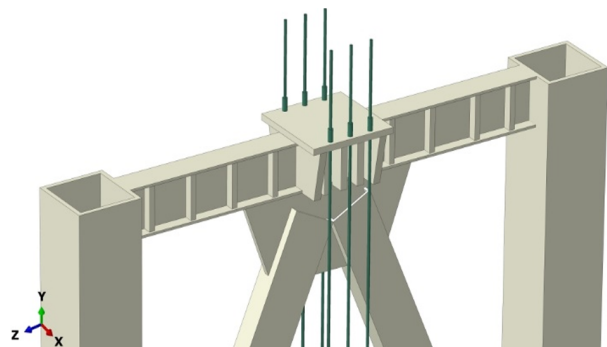
شکل (۸): اتصال اصلی سیستم حرکت گهواره‌ای و میراگرهای تسلیمی متصل به آن جهت مستهلک‌سازی انرژی لرزهای.



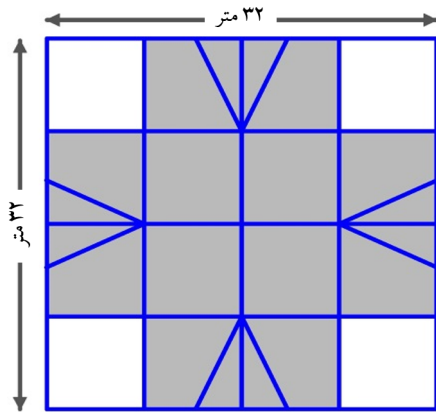
شکل (۹): تنش در کابل‌های پس کشیده.

در این سیستم نوین گهواره‌ای همان‌طور که از خروجی‌های نرم‌افزار ABAQUS مشاهده می‌گردد کابل‌های پس کشیده تقریباً نقش اصلی را در تأمین برگشت‌پذیری سیستم به موقعیت اولیه

به علت اهمیت بسیار زیاد جزئیات اتصالات و نحوه ایجاد بلند شدگی در ستون‌های دهانه مهاربندی، در ابتدا مدل‌سازی و تحلیل ستون‌های دهانه‌های مهاربندی در نرم‌افزار ABAQUS انجام شده است. این ستون‌های دهانه‌های مهاربندی به همراه کابل‌های پس کشیده نقش اصلی در ایجاد حرکت گهواره‌ای در سازه را ایفا می‌کنند، در حقیقت قسمت عمده برگشت‌پذیری چنین سیستم‌هایی با کابل‌های پس کشیده تأمین می‌گردد. در شکل (۷) کابل‌های پس کشیده در دهانه دارای حرکت گهواره‌ای به‌منظور برگشت‌پذیری سازه دیده می‌شود. همچنین در شکل (۸) اتصال اصلی سیستم حرکت گهواره‌ای و میراگرهای تسلیمی متصل به آن جهت مستهلک‌سازی انرژی لرزهای و در شکل (۹) تنش در کابل‌های پس کشیده دیده می‌شود.



شکل (۷): کابل‌های پس کشیده در دهانه دارای حرکت گهواره‌ای به‌منظور برگشت‌پذیری سازه.



شکل (۱۰): پلان سازه‌های مدل سازی شده.

جدول (۳): جدول مقاطع به کار رفته جهت طراحی سازه‌های دیاگرید ۱۲ طبقه.

مقطع تیر	مقطع ستون	سازه ۱۲ طبقه
		طبقه ۴-۱
		طبقه ۹-۵
		طبقه ۱۲-۱۰

خود ایفا می‌کنند. این کابل‌ها در نرم‌افزار SAP2000 با استفاده از المان CABLE مدل‌سازی و تحلیل شده‌اند. کابل‌های مذکور طبق استاندارد ASTM-A421 تولید می‌شوند. کابل هفت رشته‌ای از تابیده شدن شش رشته مفتول، حول محور میانی ساخته شده و طبق ASTM-A416 از نظر کیفیت مورد بررسی قرار می‌گیرد. با توجه به سر خوردن مفتول‌ها روی یکدیگر در هنگام کشیده شدن (پس کشیده کردن کابل‌ها)، مدول الاستیسیته کابل اندکی از فولاد معمولی کمتر و مساوی ۱۸۶۰۰۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع در نظر گرفته می‌شود. کابل‌ها در دو استاندارد Grade 250 با تنش نهایی ۱۷۵۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع و Grade 270 با تنش نهایی ۱۸۹۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع تولید می‌شوند. در این پژوهش با توجه به موارد اشاره شده از کابل Grade 270 برای تمامی مدل‌سازی‌های نرم‌افزاری استفاده شده است. در ادامه پس از طراحی کابل‌های پس کشیده و جزئیات اتصالات پای ستون دارای حرکت گهواره‌ای در نرم‌افزار ABAQUS به مدل‌سازی سازه‌های ۱۲ و ۱۶ طبقه دیاگرید دارای حرکت گهواره‌ای و فاقد آن با ابعاد هندسی و بارگذاری کاملاً مشابه در نرم‌افزار SAP2000 پرداخته می‌شود. لازم به ذکر است که در تمامی مدل‌سازی‌ها فرض بر این است که فاصله بین دیوارها با تیرها و ستون‌های سازه به گونه‌ای است تا اثر میانقاب‌ها حذف شود. همچنین اسکلت تمامی سازه‌ها فولادی هستند. در جدول‌های (۳) و (۴) ابعاد و مشخصات سازه‌های مدل‌سازی شده ارائه شده است. همان گونه که به وضوح مشخص است ابعاد پلان در تمامی سازه‌ها ۳۲ متر در ۳۲ متر بوده و ارتفاع طبقات نیز برابر ۳/۸ متر می‌باشد. شکل (۱۰) تصویر پلان سازه‌های مدل‌سازی شده می‌باشد که در تمامی سازه‌ها یکسان است.

جدول (۴): مشخصات سیستم‌های سازه‌ای مدل‌سازی شده.

سیستم سازه‌ای	تعداد طبقه	ارتفاع هر طبقه (متر)	ارتفاع کل سازه (متر)	بعد طولی پلان (متر)	بعد عرضی پلان (متر)
حرکت گهواره‌ای با در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه روی پی	۱۲	۳/۸	۴۵/۶	۳۲	۳۲
دیاگرید دارای حرکت گهواره‌ای قاب	۱۲	۳/۸	۴۵/۶	۳۲	۳۲
حرکت گهواره‌ای با در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه روی پی	۱۶	۳/۸	۶۰/۸	۳۲	۳۲
دیاگرید دارای حرکت گهواره‌ای قاب	۱۶	۳/۸	۶۰/۸	۳۲	۳۲

آن احداث کنند. از طرفی به دلیل اشباع نبودن خاک مورد نظر نشست‌های تحکیم مقادیر قابل توجهی نداشته و می‌توان از آنها در مقابل نشست آبی چشم‌پوشی نمود. مشخصات خاک زیر پی ساختمان به صورت زیر است:

E_s : مدول ارتجاعی: ۶۲۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع،

μ_s : ضریب پواسون: ۰/۳،

M_{vi} : ضریب تراکم‌پذیری حجمی: 10^{-3} کیلونیوتن بر مترمربع،

γ_{sat} : وزن مخصوص اشباع: ۱۸ کیلونیوتن بر مترمکعب،

γ_d : وزن مخصوص خشک: ۱۶ کیلونیوتن بر مترمکعب.

لازم به ذکر است که عمق در نظر گرفته شده برای توده خاک پی، جهت محاسبات مربوط به نشست ساختمان، پنج برابر عرض پی ساختمان می‌باشد.

۷- طراحی و تحلیل لرزه‌ای مدل‌های سازه‌ای مورد مطالعه

برای فرآیند مدل‌سازی، تحلیل و طراحی سازه‌های شبکه قطری از روند نمای شکل (۱۱) استفاده شده است.

در شکل (۱۲) اثرات اندرکنشی خاک و سازه بر روی سازه دیاگرید دارای حرکت گهواره‌ای و خروجی تغییر مکان‌های ایجاد شده در خاک ناشی از تحلیل لرزه‌ای سازه دیاگرید دیده می‌شود. همان‌طور که به وضوح مشخص است اطراف خاک سازه دیاگرید دچار تغییر مکان‌هایی شده است که ناشی از حرکت گهواره‌ای رخ داده شده بر روی خاک می‌باشد.

پس از مدل‌سازی و تحلیل و طراحی سازه‌های ۱۲ و ۱۶ طبقه دیاگرید دارای حرکت گهواره‌ای و فاقد آن بر مبنای موارد ذکر شده به مقایسه نتایج حاصل از تحلیل سازه‌های مذکور پرداخته می‌شود. در شکل (۱۳) جزئیات دقیق اتصالات پای ستون و کابل‌های پس کشیده دیده می‌شود.

یکی از موارد بسیار مهم در حرکت گهواره‌ای کنترل شده وجود کابل‌های پس کشیده و تعیین نیروی مناسب برای پس کشیدگی کابل‌ها می‌باشد، زیرا اگر نیروی پس کشیدگی کابل‌ها بسیار زیاد باشد باعث ایجاد اثرات نامناسب بر روی سازه

همان‌گونه که به وضوح مشخص است تمامی اتصالات داخلی از نوع مفصلی است اما اتصالات قاب پیرامونی خارجی از نوع گیردار است.

۶- مدل موهر کولمب (MC)

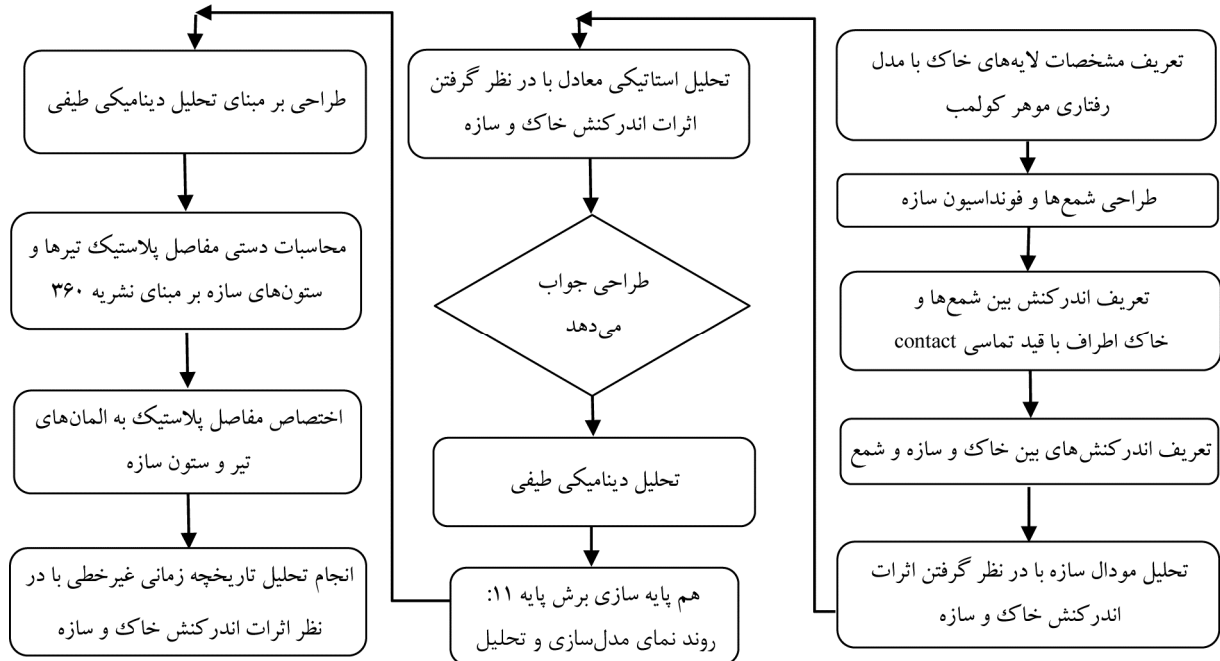
مدل موهر کولمب الاستیک-پلاستیک پنج پارامتر ورودی را شامل می‌شود؛ یعنی E و ν برای الاستیسیته خاک، ϕ و c پلاستیسیته خاک و ψ برای یک زاویه اتساع. این مدل موهر کولمب یک تقریب مرتبه اول از رفتار خاک و سنگ را نشان می‌دهد. برای هر لایه یک سختی میانگین ثابت حدس زده می‌شود و به واسطه این ثابت سختی محاسبات نسبتاً سریع می‌شوند و می‌توان یک تصور اولیه از تغییر شکل‌ها پیدا کرد. علاوه بر پنج پارامتر مدل اشاره شده در بالا، شرایط اولیه خاک نقش اساسی در بیشتر مسائل تغییر شکل خاک را دارد. تنش‌های افقی اولیه خاک باید به وسیله انتخاب اولیه صحیح k_0 به وجود آیند. نشست در خاک‌های ریزدانه و تراکم‌پذیر قابل توجه می‌باشد و شامل مؤلفه‌های نشست تحکیمی و آبی خاک می‌شود. در بین خاک‌های ریزدانه نیز خاک‌های رسی انعطاف‌پذیری بیشتری را از خود نشان می‌دهند و نشست در آنها حائز اهمیت است. در نتیجه دو نوع خاک در نظر گرفته شده جهت مدل‌سازی از نوع رس نرم و رس سخت می‌باشند که مقادیر مدول ارتجاعی (E_s)، مقاومت نهایی (q_u) و ضریب پواسون (μ_s) آنها در جدول (۵) آمده است.

خاک زیر پی انتخاب شده در محدوده رس سخت نیمه‌اشباع قرار دارد، زیرا معمولاً در محل‌هایی که خاک‌هایی کم مقاومت از جنس رس نرم دارند، سعی می‌شود چندین لایه روی خاک برداشته شود تا به لایه‌ای با مقاومت بیشتر برسند و پی را بر روی

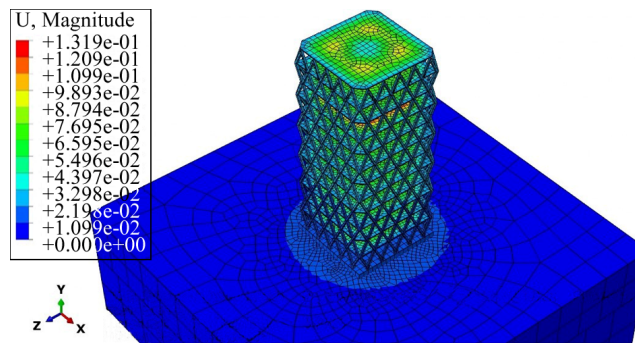
جدول (۵): مدول ارتجاعی (E_s)، مقاومت نهایی (q_u) و ضریب پواسون (μ_s) خاک‌های رسی.

نوع خاک رس	E_s (کیلوگرم بر سانتی متر مربع)	q_u (کیلوگرم بر سانتی متر مربع)	μ_s
رس نرم	۲۵۰	۱	۰/۳
رس سخت	۶۲۵	۲/۵	۰/۳۵

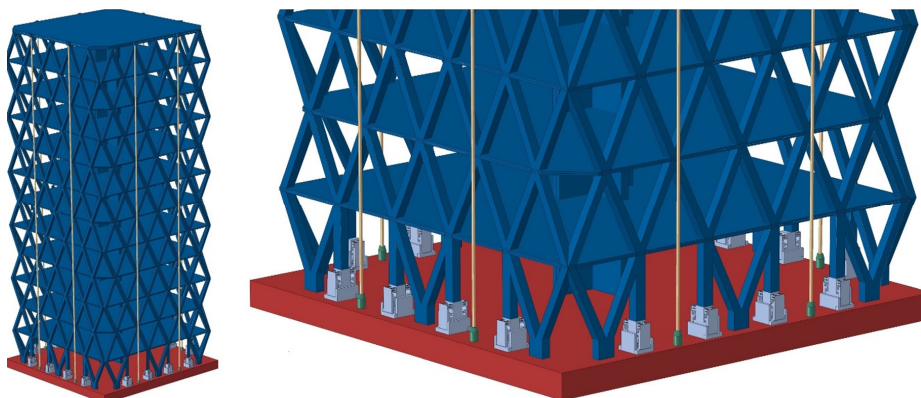
می‌گردد، به همین دلیل تعیین نیروی پس کشیدگی کابل‌ها امری مهمی در کاهش تغییر مکان‌های سازه و افزایش درصد کمی در لازم و ضروری است زیرا علاوه بر موارد ذکر شده تأثیر بسیار برش پایه می‌گردد.



شکل (۱۱): روند نمای طراحی و تحلیل سازه‌های دیاگرید با در نظر گرفتن اثرات اندرکنش خاک و سازه.



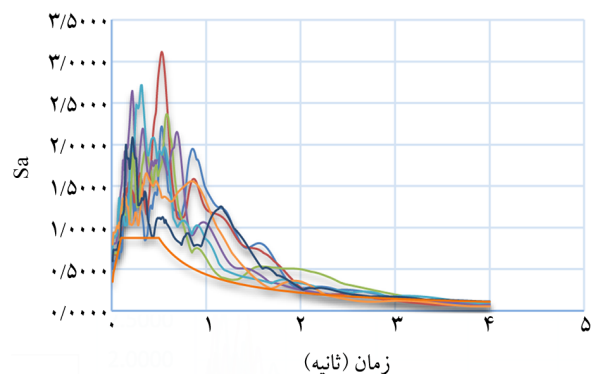
شکل (۱۲): خروجی تغییر مکان‌های ایجاد شده در خاک ناشی از تحلیل لرزه‌ای سازه دیاگرید.



شکل (۱۳): جزئیات اتصالات و سازه دیاگرید دارای حرکت گهواره‌ای.

۸- هم‌پایه‌سازی رکوردهای لرزه‌ای

برای هم‌پایه‌سازی رکوردهای لرزه‌ای حوزه نزدیک از روند نمای شکل (۱۴) استفاده شده است.



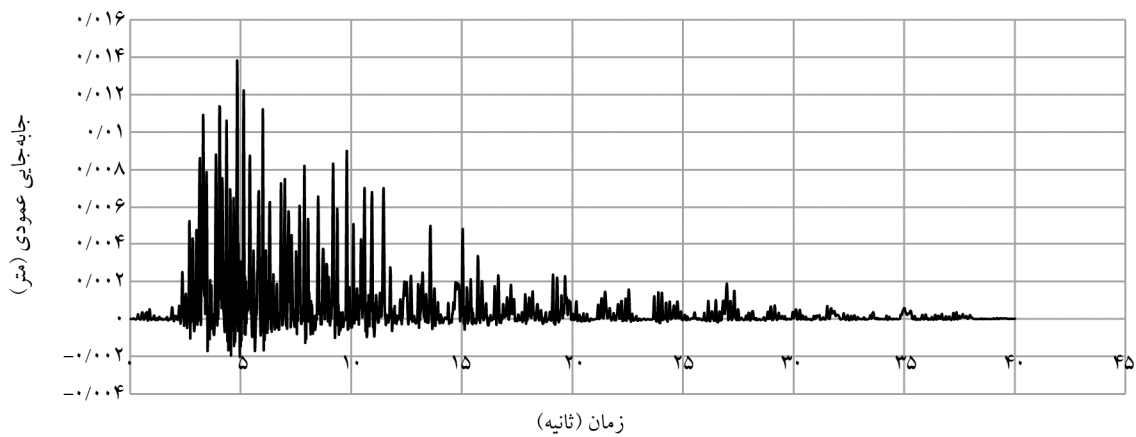
شکل (۱۴): روند نما و رکوردهای لرزه‌ای حوزه نزدیک هم‌پایه‌سازی شده بر مبنای ASCE 4113.

۹- تحلیل و ارزیابی سازه‌های دیاگراید ۱۶ طبقه با در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه روی پی و مقایسه آن با قاب دارای حرکت گهواره‌ای

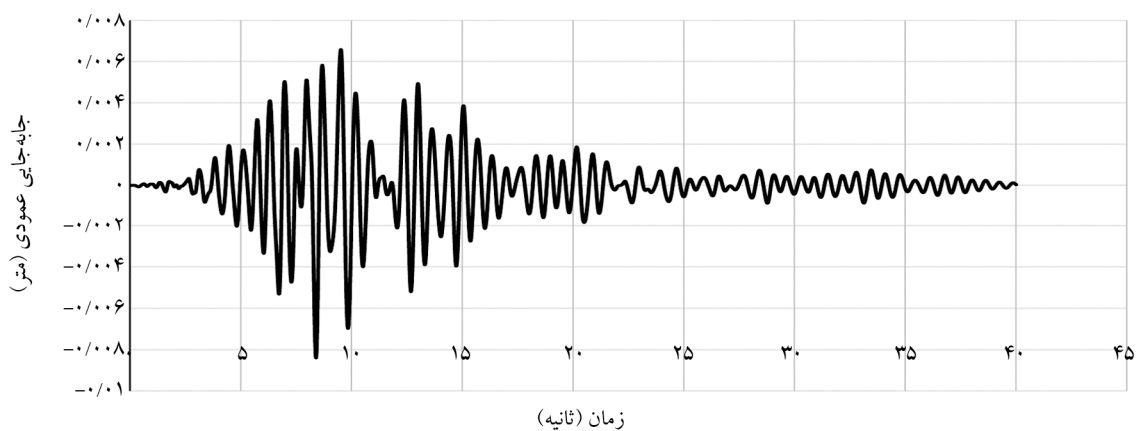
همچنین یکی از موارد بسیار مهمی که در بحث حرکت گهواره‌ای کنترل شده باید مد نظر قرار گیرد میزان تغییر مکان‌های قائم در ستونی است که دارای حرکت گهواره‌ای

می‌باشد، زیرا اگر میزان این تغییر مکان‌های قائم زیاد باشد (بیشتر از ۵ سانتی‌متر) می‌تواند اثرات نامطلوبی را بر روی سیستم سازه‌ای بگذارد، لذا در این پژوهش با در نظر گرفتن تمامی موارد اشاره شده طراحی حرکت گهواره‌ای کنترل شده در سازه به گونه‌ای انجام شده است که تغییر مکان قائم ستون دارای حرکت گهواره‌ای به میزان ۱/۵ سانتی‌متر محدود گردد. برای اینکه بلند شدگی و اثرات ضربه ستون دارای حرکت گهواره‌ای به ورق پای ستون به صورت صحیح مدلسازی شده لازم است تا ابتدا یک طراحی در نرم‌افزار ABAQUS برای این ناحیه انجام شود که در ابتدا به این طراحی اشاره شده است، سپس این قسمت در نرم‌افزار SAP2000 مدلسازی شود. در نرم‌افزار SAP2000 برای مدلسازی اثرات ضربه از المان GAP استفاده شده است. شکل (۱۵) نمودار بلند شدگی ستون تحت زلزله نورث‌ریج را نشان می‌دهد که میزان بلند شدگی ستون در آن کمتر از ۱/۵ سانتی‌متر است و شکل (۱۶) که مربوط به بلند شدگی ستون در سازه با لحاظ اثرات اندرکنش خاک و سازه می‌باشد این میزان بلند شدگی به کمتر از ۱ سانتی‌متر رسیده است که به دلیل اثرات اندرکنشی خاک و سازه فرورفتگی و بلند شدگی یکسانی داریم همین موضوع منجر به تفاوت زیادی در رفتار لرزه‌ای سازه‌های اشاره شده دارد به گونه‌ای که در سازه دیاگراید با لحاظ اثرات اندرکنشی خاک و سازه میزان بسیار بیشتر از سازه دیاگراید دارای حرکت گهواره‌ای می‌باشد.

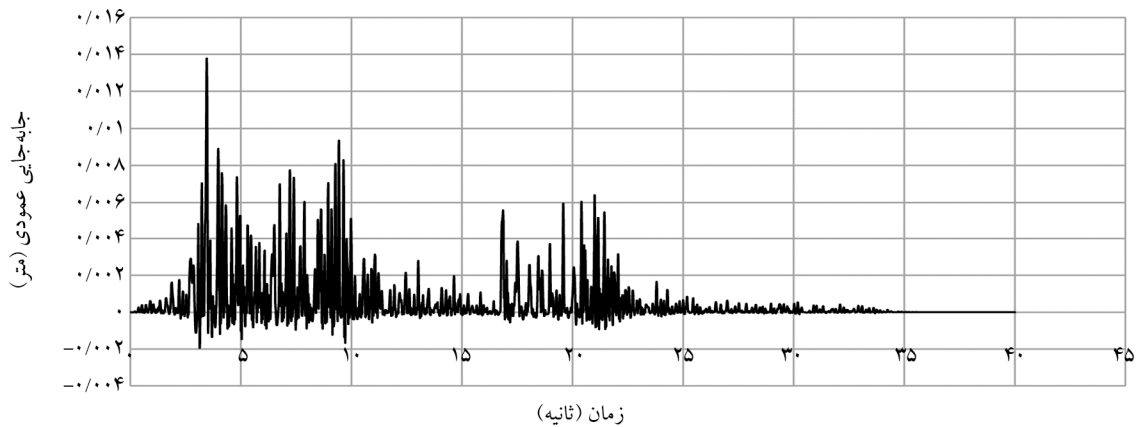
شکل (۱۷) نمودار بلند شدگی ستون تحت زلزله نورث‌ریج را نشان می‌دهد که میزان بلند شدگی ستون در آن کمتر از ۱/۴ سانتی‌متر است و شکل (۱۸) که مربوط به بلند شدگی ستون در سازه با لحاظ اثرات اندرکنش خاک و سازه می‌باشد این میزان بلند شدگی به کمتر از ۱ سانتی‌متر رسیده است که به دلیل اثرات اندرکنشی خاک و سازه فرورفتگی و بلند شدگی یکسانی داریم همین موضوع منجر به تفاوت زیادی در رفتار لرزه‌ای سازه‌های اشاره شده دارد به گونه‌ای که در سازه دیاگراید با لحاظ اثرات اندرکنشی خاک و سازه میزان بسیار بیشتر از سازه دیاگراید دارای حرکت گهواره‌ای می‌باشد.



شکل (۱۵): خروجی بلند شدگی ستون قاب دارای حرکت گهواره‌ای ناشی از زلزله نورتریج در سازه ۱۶ طبقه دیاگرید دارای حرکت گهواره‌ای.



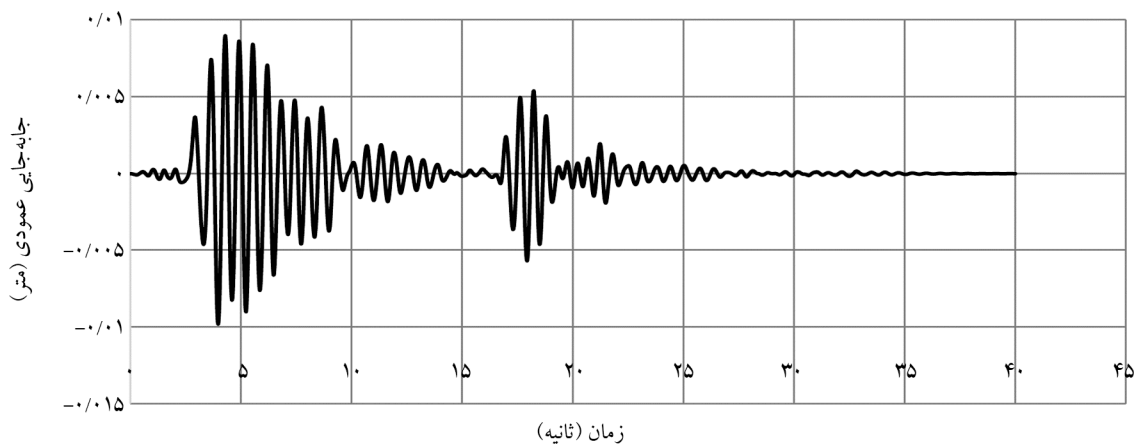
شکل (۱۶): خروجی بلند شدگی ستون قاب کناری سازه دیاگرید ۱۶ طبقه با اندرکنش خاک و سازه دارای حرکت گهواره‌ای ناشی از زلزله نورتریج.



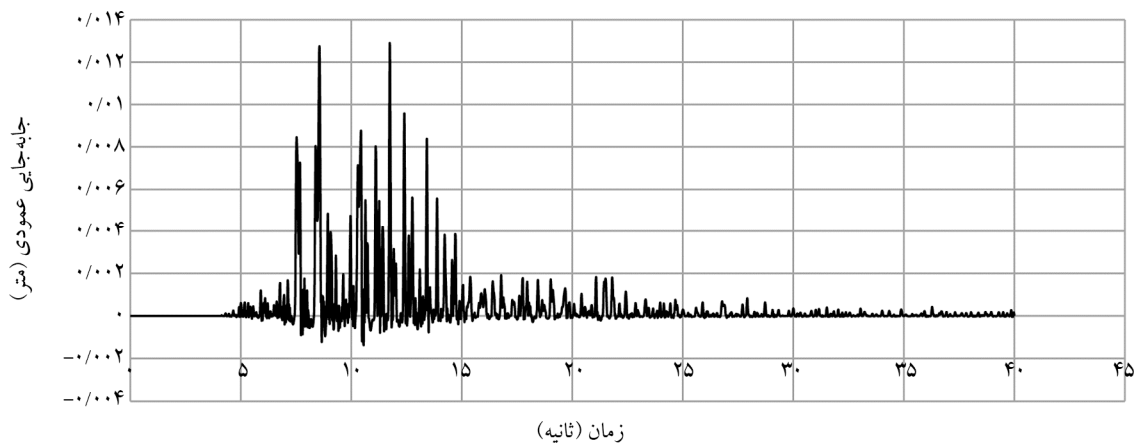
شکل (۱۷): خروجی بلند شدگی ستون قاب دارای حرکت گهواره‌ای ناشی از زلزله کبک مندوسینو در سازه ۱۶ طبقه دیاگرید دارای حرکت گهواره‌ای.

اندرکنشی خاک و سازه فرورفتگی و بلند شدگی یکسانی داریم. همین موضوع منجر به تفاوت زیادی در رفتار لرزه‌ای سازه‌های اشاره شده دارد به گونه‌ای که در سازه دیاگرید با لحاظ اثرات اندرکنشی خاک و سازه میزان بسیار بیشتر از سازه دیاگرید دارای حرکت گهواره‌ای می‌باشد.

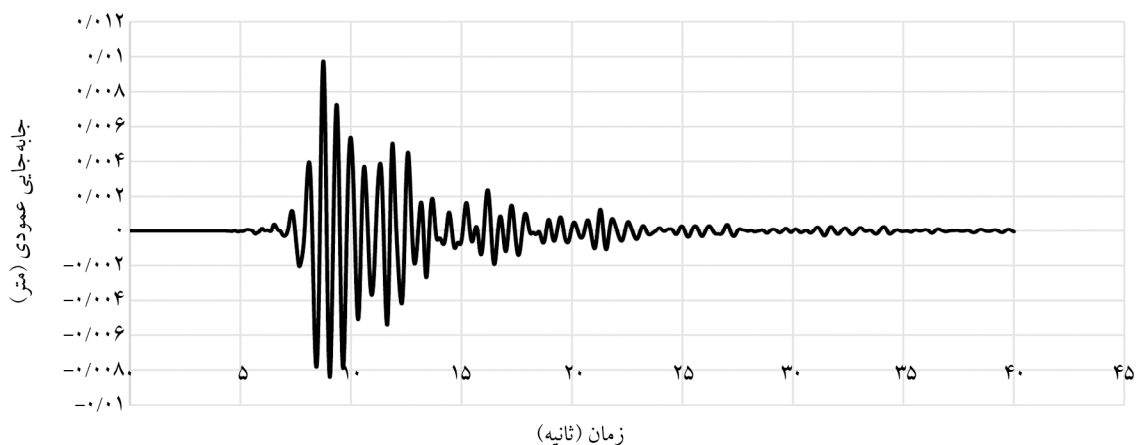
شکل (۱۹) نمودار بلند شدگی ستون تحت زلزله نورتریج را نشان می‌دهد که میزان بلند شدگی ستون در آن کمتر از $1/3$ سانتی‌متر است و شکل (۲۰) که مربوط به بلند شدگی ستون در سازه با لحاظ اثرات اندرکنش خاک و سازه می‌باشد این میزان بلند شدگی به کمتر از 1 سانتی‌متر رسیده است که به دلیل اثرات



شکل (۱۸): خروجی بلند شدگی ستون قاب کناری سازه دیاگرید ۱۶ طبقه با اندرکنش خاک و سازه دارای حرکت گهواره‌ای ناشی از زلزله کیپ‌مندوسینو.



شکل (۱۹): خروجی بلند شدگی ستون قاب دارای حرکت گهواره‌ای ناشی از زلزله کوبه در سازه ۱۶ طبقه دیاگرید دارای حرکت گهواره‌ای.



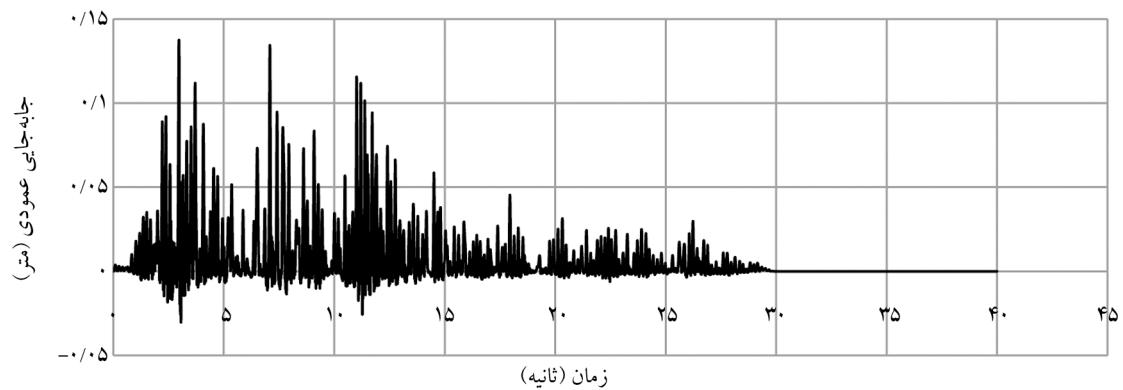
شکل (۲۰): خروجی بلند شدگی ستون قاب کناری سازه دیاگرید ۱۶ طبقه با اندرکنش خاک و سازه دارای حرکت گهواره‌ای ناشی از زلزله کوبه.

سازه با لحاظ اثرات اندرکنش خاک و سازه می باشد این میزان بلند شدگی به کمتر از ۱ سانتی متر رسیده است که به دلیل اثرات اندرکنشی خاک و سازه فرورفتگی و بلند شدگی یکسانی

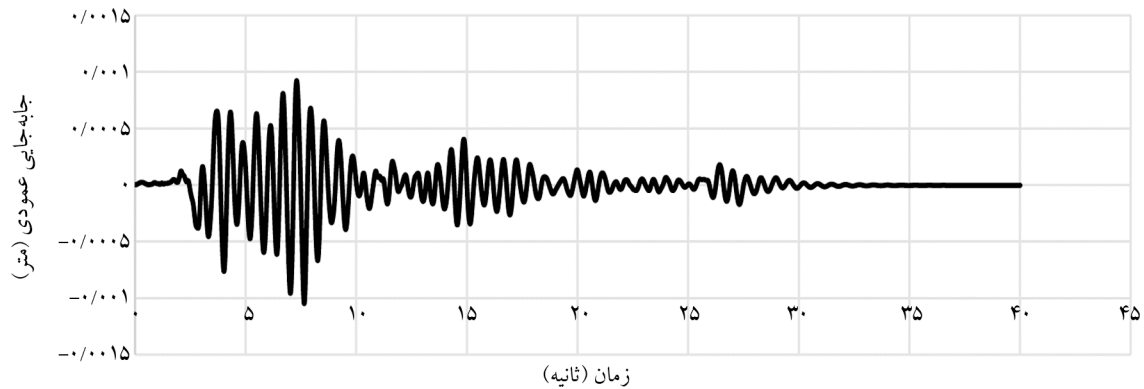
شکل (۲۱) نمودار بلند شدگی ستون تحت زلزله نورث‌ریچ را نشان می‌دهد که میزان بلند شدگی ستون در آن کمتر از ۱/۵ سانتی متر است و شکل (۲۲) که مربوط به بلند شدگی ستون در

سازه با لحاظ اثرات اندرکنش خاک و سازه می باشد این میزان بلند شدگی به کمتر از ۱ سانتی متر رسیده است که به دلیل اثرات اندرکنشی خاک و سازه فرورفتگی و بلند شدگی یکسانی داریم همین موضوع منجر به تفاوت زیادی در رفتار لرزه‌ای سازه‌های اشاره شده دارد به گونه‌ای که در سازه دیاگرید با لحاظ اثرات اندرکنشی خاک و سازه میزان بسیار بیشتر از سازه دیاگرید دارای حرکت گهواره‌ای می باشد.

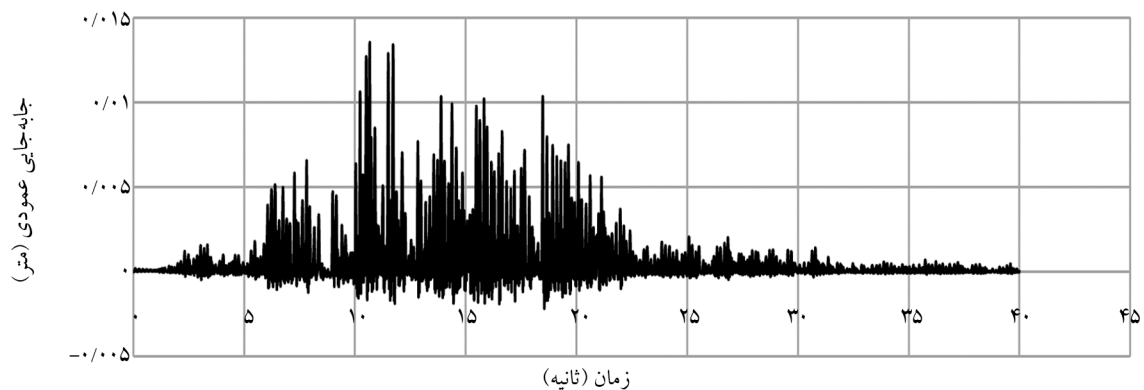
داریم. همین موضوع منجر به تفاوت زیادی در رفتار لرزه‌ای سازه‌های اشاره شده دارد به گونه‌ای که در سازه دیاگرید با لحاظ اثرات اندرکنشی خاک و سازه میزان بسیار بیشتر از سازه دیاگرید دارای حرکت گهواره‌ای می باشد. شکل (۲۳) نمودار بلند شدگی ستون تحت زلزله نورتریج را نشان می دهد که میزان بلند شدگی ستون در آن کمتر از ۱/۵ سانتی متر است و شکل (۲۴) که مربوط به بلند شدگی ستون در



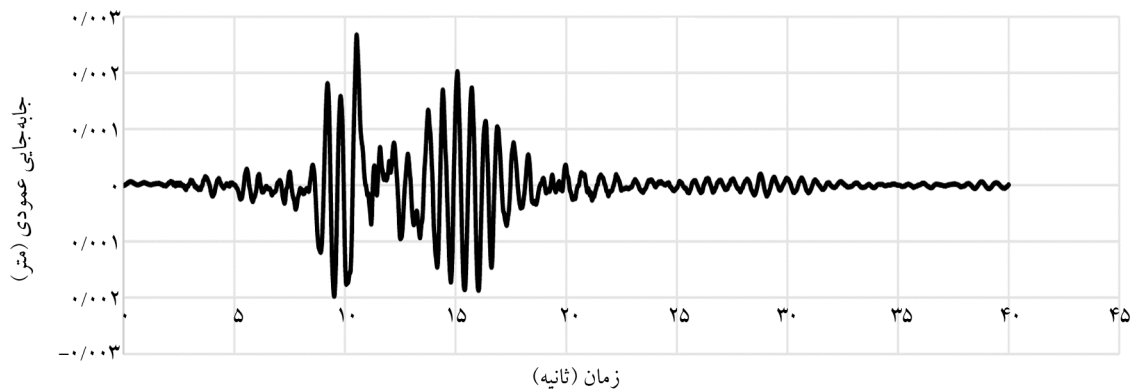
شکل (۲۱): خروجی بلند شدگی ستون قاب دارای حرکت گهواره‌ای ناشی از زلزله کوچایلی در سازه ۱۶ طبقه دیاگرید دارای حرکت گهواره‌ای.



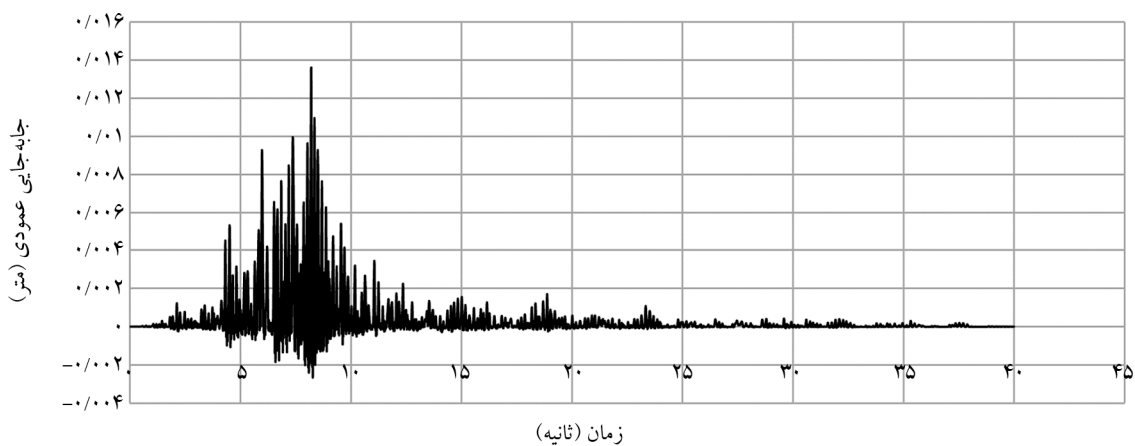
شکل (۲۲): خروجی بلند شدگی ستون قاب کناری سازه دیاگرید ۱۶ طبقه با اندرکنش خاک و سازه دارای حرکت گهواره‌ای ناشی از زلزله کوچایلی.



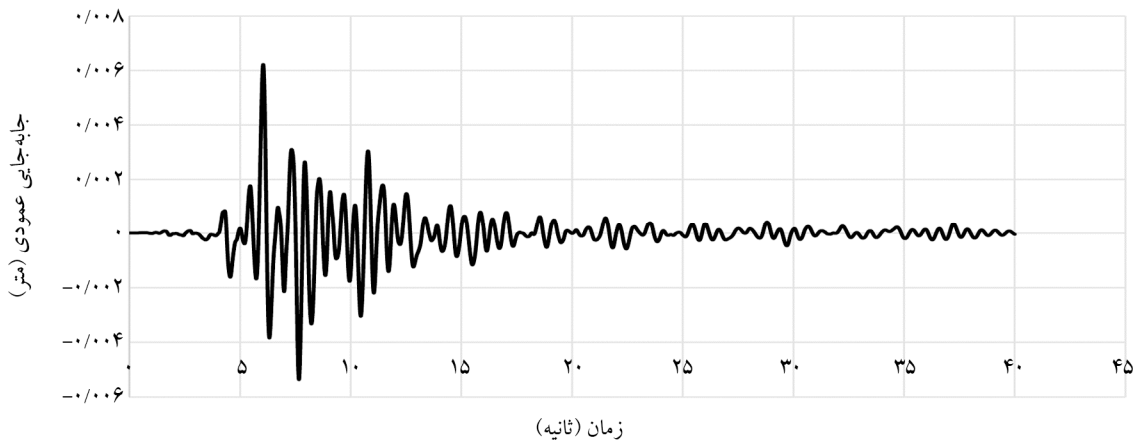
شکل (۲۳): خروجی بلند شدگی ستون قاب دارای حرکت گهواره‌ای ناشی از زلزله لندرز در سازه ۱۶ طبقه دیاگرید دارای حرکت گهواره‌ای.



شکل (۲۴): خروجی بلند شدگی ستون قاب کناری سازه دیاگرید ۱۶ طبقه با اندرکنش خاک و سازه دارای حرکت گهواره‌ای ناشی از زلزله لندرز.



شکل (۲۵): خروجی بلند شدگی ستون دارای حرکت گهواره‌ای ناشی از زلزله لوما پرتا در سازه ۱۶ طبقه دیاگرید دارای حرکت گهواره‌ای.



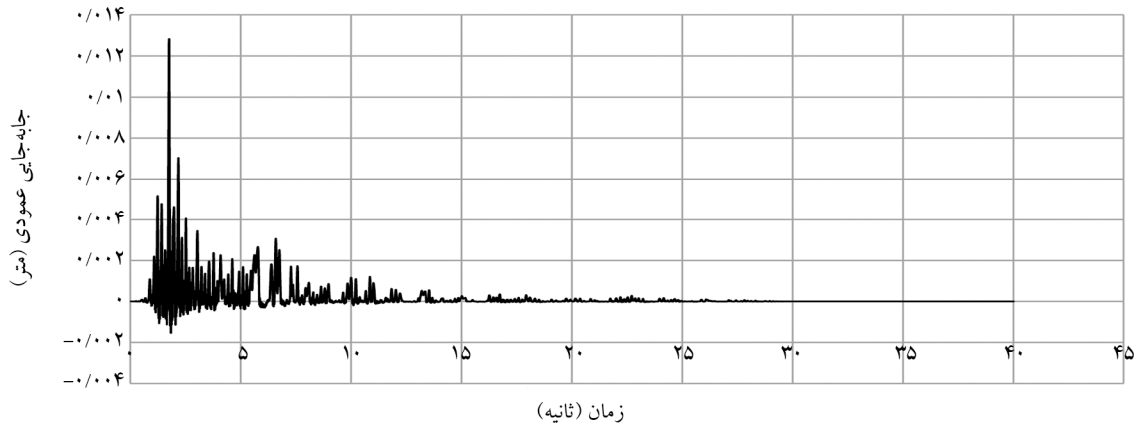
شکل (۲۶): خروجی بلند شدگی ستون قاب کناری سازه دیاگرید ۱۶ طبقه با اندرکنش خاک و سازه دارای حرکت گهواره‌ای ناشی از زلزله لوما پرتا.

اندرکنشی خاک و سازه فرورفتگی و بلند شدگی یکسانی داریم. همین موضوع منجر به تفاوت زیادی در رفتار لرزه‌ای سازه‌های اشاره شده دارد به گونه‌ای که در سازه دیاگرید با لحاظ اثرات اندرکنشی خاک و سازه میزان بسیار بیشتر از سازه دیاگرید دارای حرکت گهواره‌ای می‌باشد.

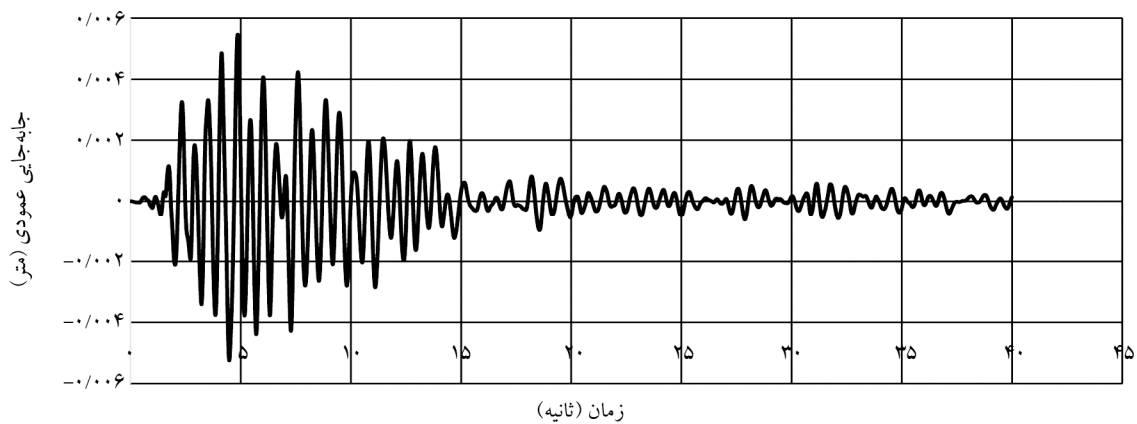
شکل (۲۵) نمودار بلند شدگی ستون تحت زلزله نورتریج را نشان می‌دهد که میزان بلند شدگی ستون در آن کمتر از ۱/۵ سانتی‌متر است و شکل (۲۶) که مربوط به بلند شدگی ستون در سازه با لحاظ اثرات اندرکنش خاک و سازه می‌باشد این میزان بلند شدگی به کمتر از ۱ سانتی‌متر رسیده است که به دلیل اثرات

رفتار لرزه‌ای سازه‌های اشاره شده دارد به گونه‌ای که در سازه دیاگراید با لحاظ اثرات اندرکنشی خاک و سازه میزان بسیار بیشتر از سازه دیاگراید دارای حرکت گهواره‌ای می‌باشد. در شکل (۲۹) نمودار بلند شدگی و فرورفتگی ستون دارای حرکت گهواره‌ای تحت رکوردهای لرزه‌ای دیده می‌شود. میزان فرورفتگی بسیار ناچیز و قابل صرف نظر است.

شکل (۲۷) نمودار بلند شدگی ستون تحت زلزله نورث‌ریج را نشان می‌دهد که میزان بلند شدگی ستون در آن کمتر از $1/3$ سانتی‌متر است و در شکل (۲۸) بلند شدگی ستون در سازه با لحاظ اثرات اندرکنش خاک و سازه کمتر از ۶ میلی‌متر است که به دلیل اثرات اندرکنشی خاک و سازه فرورفتگی و بلند شدگی یکسانی داریم. همین موضوع منجر به تفاوت زیادی در



شکل (۲۷): خروجی بلند شدگی ستون قاب دارای حرکت گهواره‌ای ناشی از زلزله سان‌فرانسیسکو در سازه ۱۶ طبقه دیاگراید دارای حرکت گهواره‌ای.



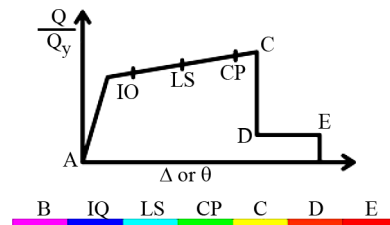
شکل (۲۸): خروجی بلند شدگی ستون قاب کناری سازه دیاگراید ۱۶ طبقه با اندرکنش خاک و سازه دارای حرکت گهواره‌ای ناشی از زلزله سان‌فرانسیسکو.



شکل (۲۹): نمودار بلند شدگی و فرورفتگی ستون دارای حرکت گهواره‌ای.

۱۰- مقایسه سطوح عملکرد بین سیستم شبکه قطری دارای حرکت گهواره‌ای و فاقد آن

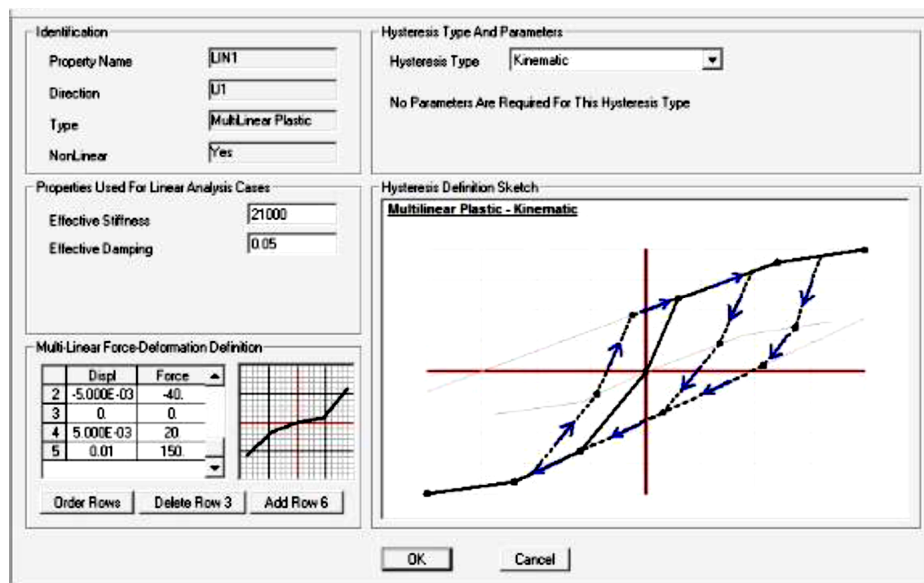
در شکل (۳۰) منحنی نیرو-تغییر شکل تعمیم یافته برای اعضا و اجزای فولادی دیده می‌شود که بر اساس این منحنی و جداول مربوطه در نشریه ۳۶۰ [۱۳] محاسبات دستی مربوط به مفاصل پلاستیک انجام شده و سپس در نرم‌افزار SAP2000، این مفاصل در تیرها در ۵ درصد ابتدا و انتهای طول تیر و در ستون‌ها در ابتدا و انتهای طول عضو و در مهاربندها نیز در وسط طول عضو تعریف شده است.



شکل (۳۰): منحنی نیرو و تغییر شکل تعمیم یافته برای اعضا و اجزای فولادی.

مطابق با شکل (۳۰) هرچقدر که رفتار سازه به سمت سطح استفاده بی‌وقفه حرکت کند مناسب‌تر است زیرا سطوح عملکردی در سازه به سمت ایمنی بیشتر متمایل می‌گردد. همچنین یکی از موارد بسیار مهمی که در بحث حرکت گهواره‌ای کنترل شده باید مد نظر قرار گیرد میزان تغییر مکان‌های

قائم در ستونی است که دارای حرکت گهواره‌ای می‌باشد زیرا اگر میزان این تغییر مکان‌های قائم بسیار زیاد باشد (بیشتر از ۵ سانتی متر) می‌تواند اثرات نامطلوبی را بر روی سیستم سازه‌ای بگذارد، لذا در این پژوهش با در نظر گرفتن تمامی موارد اشاره شده طراحی حرکت گهواره‌ای کنترل شده در سازه به گونه‌ای انجام شده است که تغییر مکان قائم ستون دارای حرکت گهواره‌ای به میزان ۱ سانتی متر محدود شود. در زیر هر یک از رشته کابل‌های سازه که دارای Grade ۲۷۰ می‌باشند یک میراگر جاری شونده از نوع فنر چند خطی قرار داده شده است تا در هنگامی که نیروی محوری زیادی در کابل‌ها ناشی از حرکت گهواره‌ای ایجاد می‌گردد در ابتدا میراگر جاری شده و سپس کابل دچار جاری‌شدگی گردد. البته باید به این موضوع توجه بسیار مهمی شود که تحت هیچ شرایطی نباید کابل دچار گسیختگی گردد زیرا این موضوع می‌تواند مشکلاتی نظیر تغییر مکان‌های بیش از حد را برای سازه و عدم خودمحموری را در سیستم ایجاد کند. در شکل (۳۱) برای مدل‌سازی میراگرهای جاری شونده در نرم‌افزار SAP2000 از المان فنر چند خطی استفاده شده است و همچنین در شکل (۳۲) رفتار غیر خطی کابل‌های پس کشیده (پس کشیدگی کابل‌ها از نوع کرنشی) مدل‌سازی شده است.

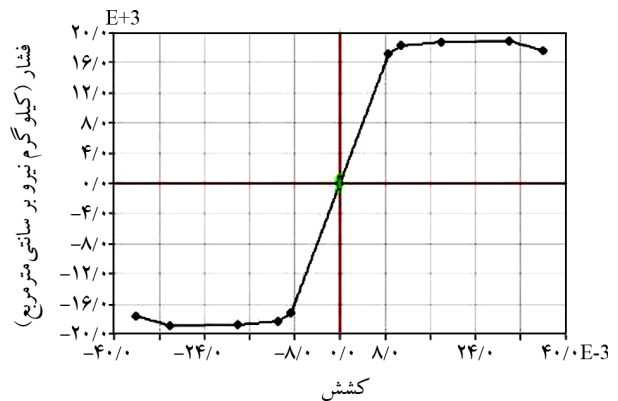


شکل (۳۱): میراگر جاری شونده مدل‌سازی شده در نرم‌افزار SAP2000 با استفاده از المان لینک Multilinear Plastic.

می‌باشند. پس استفاده از سیستم حرکت گهواره‌ای منجر به افزایش سطح ایمنی در سازه شده است. همچنین مشاهده می‌گردد که در سازه دارای حرکت گهواره‌ای ۱۶ طبقه مفاصل پلاستیک در ناحیه کمتر از IO یا ناحیه B قرار دارند در حالی که در سازه ۱۶ طبقه فاقد حرکت گهواره‌ای این مفاصل در ناحیه LS می‌باشند.

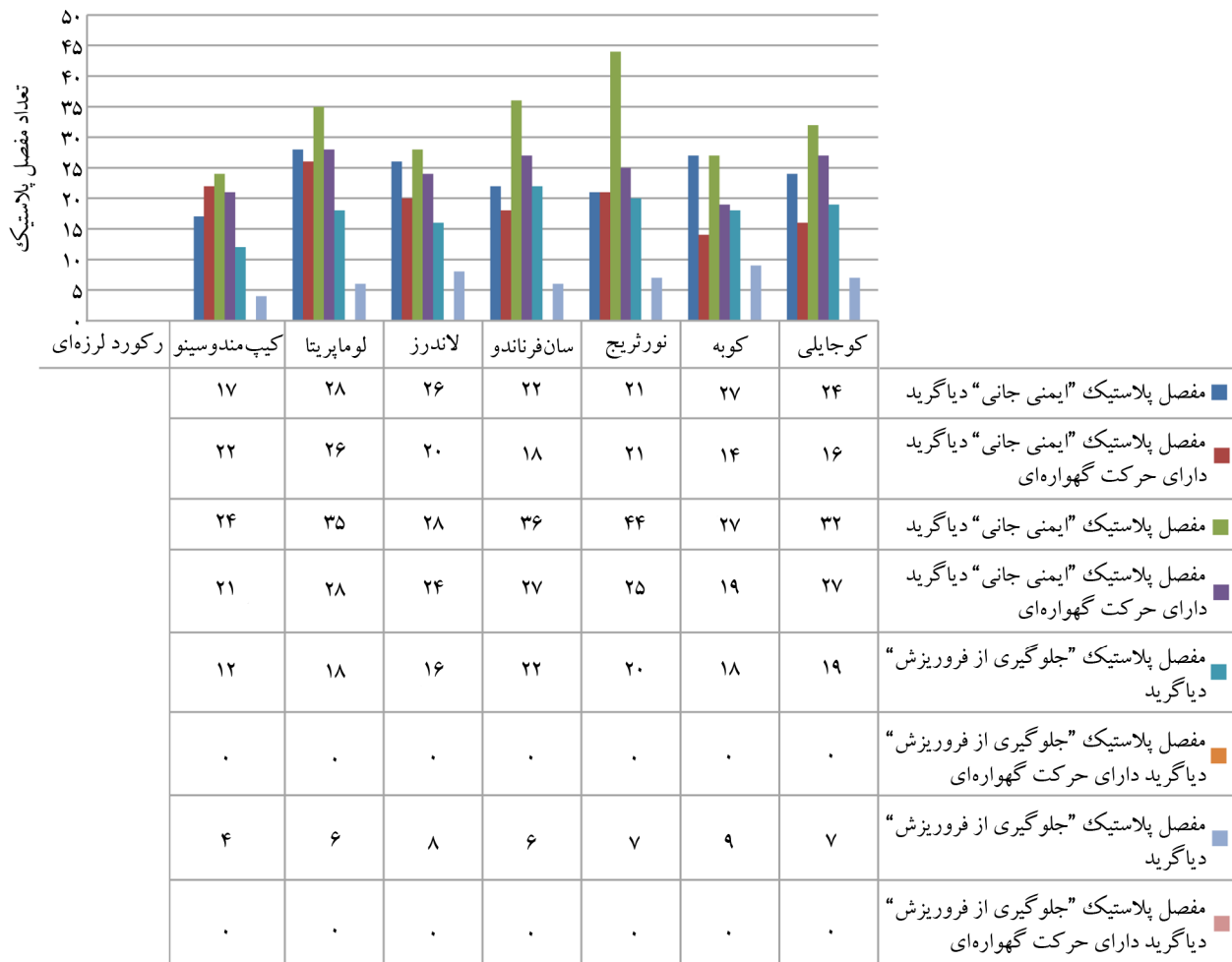
۱۱- بحث و نتیجه گیری

۱. سازه‌های دیاگرید دارای حرکت گهواره‌ای به علت وجود کابل‌های پس کشیده دارای قابلیت بسیار مهم خودمحموری هستند که باعث می‌شود که بعد از زلزله تغییر مکان‌های ماندگار کمتری در حدود ۳۰ درصد داشته باشند ولی سازه دیاگرید دارای اثرات اندرکنش خاک و سازه کمی دارای تغییر مکان ماندگار خواهد بود.



شکل (۳۲): رفتار غیر خطی کابل‌های پس کشیده (پس کشیدگی کابل‌ها از نوع Strain مدل سازی شده است).

شکل (۳۳) محل تشکیل مفاصل پلاستیک در هر دو سازه دیده می‌شود. به وضوح قابل مشاهده است که در سیستم حرکت گهواره‌ای مفاصل پلاستیک در ناحیه IO هستند، اما در سازه شبکه قطری فاقد حرکت گهواره‌ای مفاصل پلاستیک در ناحیه LS



شکل (۳۳): مفاصل پلاستیک تشکیل شده در سازه‌های ۱۶ طبقه دیاگرید با اندرکنش خاک و سازه و دیاگرید دارای حرکت گهواره‌ای.

2. PEER (2010) TBI, *Guidelines for Performance-Based Seismic Design of Tall Buildings*. Report 2010/05.
 3. Kim, J., Jun, Y., and Lee, Y.-Ho (2010) Seismic performance evaluation of diagrid system buildings. *International Journal of High-Rise Building*, 5(5), 112-130, Department of Architectural Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon, Korea.
 4. Moon, K. (2009) Design and construction of steel diagrid structures. *International Journal of High-rise Building*, 4(3), 122-130.
 5. Hajjar, J., Eatherton, M., and Deierlein, G. (2009) Controlled rocking of steel frames as a sustainable new technology for seismic resistance in buildings. *Engineering Structures*, 28, 232-221.
 6. Azuhata, T., Midorikawa, M., and Ishihara, T. (2008) Earthquake damage reduction of buildings by self-centering systems using rocking mechanism. *The 12th World Conference on Earthquake Engineering*, Beijing, China.
 7. Pollino, M. and Bruneau, M. (2015) Dynamic seismic response of controlled rocking bridge steel-truss piers. *Engineering Structures*, 34(3), 247-262.
 8. Sause, R., Ricles, M., Roke, D.A., and Chancellor, N.B. (2010) Seismic performance of a self-centering rocking concentrically-braced frame. *Structural Engineering*, ASCE.
 9. Eatherton, M., Hajjar, J., and Xiang, Ma. (2008) Seismic design and behavior of steel frames with controlled rocking – part I: concepts and quasi-static subassembly testing. *The 12th World Conference on Earthquake Engineering*, Beijing, China.
 10. Pollino, M. and Bruneau, M. (2015) Bidirectional seismic behavior of controlled rocking four-legged bridge steel truss piers. *Structural Engineering*, ASCE.
 11. Dyanati, M. and Huang, Q. (2015) Seismic demand models and performance evaluation of self-centering and conventional concentrically braced frames. *Engineering Structures*, 22, 232-221.
 12. Hosseini, M. and Noroozinejad Farsangi, E. (2012) Telescopic columns as a new base isolation system for vibration control of high-rise buildings. *Earthquakes and Structures*, 3(6), 853-867.
۲. در بررسی سازه‌های دیاگرید دارای حرکت گهواره‌ای و کابل‌های پس کشیده مشخص شد که مفاصل پلاستیک تشکیل شده در این سازه‌ها در ناحیه IO و کمتر از IO می‌باشد اما مفاصل پلاستیک تشکیل شده در سازه‌های دیاگرید دارای اثرات اندرکنش خاک و سازه حتی به ناحیه C نیز رسیده‌اند.
۳. در سیستم حرکت گهواره‌ای به علت طراحی صحیح توزیع خسارت و مفاصل پلاستیک تنها در دهانه‌های مهاربندی شده رخ می‌دهد و سایر قسمت‌های سازه بدون خسارت باقی می‌مانند.
۴. سازه‌های مذکور به علت طراحی سازوکار حرکت گهواره‌ای به صورت مدولار قابلیت تعویض و تعمیر راحتی پس از زلزله را دارند.
۵. در سازه دیاگرید دارای قاب گهواره‌ای شاهد کاهش تغییر مکان‌های سازه نسبت به حرکت گهواره‌ای روی پی بوده‌ایم زیرا با کابل‌های پس کشیده تغییر مکان‌های سازه به میزان زیادی کاهش یافته است درحالی که در سازه دیاگرید با حرکت گهواره‌ای روی پی تغییر مکان‌های سازه افزایش یافته است اما به دلیل میرایی بسیار زیاد عملکرد لرزه‌ای بسیار مناسبی را از خود نشان داده است.
۶. میزان بلند شدگی ستون‌های دارای حرکت گهواره‌ای در تمامی زلزله‌های وارده کمتر از ۳ سانتی‌متر بوده است و این نشان‌دهنده‌ی این است که با کنترل بلند شدگی ستون‌ها می‌توان تمامی مزایای حرکت گهواره‌ای را به دست آورد اما در سازه‌های دیاگرید دارای اثر اندرکنش خاک و سازه میزان فرورفتگی و بلند شدگی روی ستون کمتر از ۱ سانتی‌متر است و این منجر می‌شود تا رفتار لرزه‌ای سازه با لحاظ اثرات اندرکنشی بهبود قابل ملاحظه‌ای داشته باشد.

مراجع

1. Kim, J. (2008) Seismic performance of twisted diagrid building. *International Journal of High-Rise Building*, 3(3), 222-230.

13. Hosseini, M., Mousavi Tirabadi, Y., and Hosseinzadeh, N.A. (2012) *An Innovative Seismic Design for Repairable Regular Steel Buildings by using Rocking Motion and Circumferential Energy Dissipating Columns at Base Level*. Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers.
14. Hosseini, M. and Bozorgzadeh, S. (2013) *An Innovative Design for Repairable Regular Steel Buildings by using a 2-Cell Configuration Structure with Some Inclined Columns at Base Level, Equipped with Double-ADAS Devices, and Security Cables at Corners*. Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers: HUSCAP 2013-02-17.
15. Hosseini, M. and Ebrahimi, H. (2015) Proposing a yielding-plate energy dissipating connection for circumferential columns of steel rocking buildings and investigating its circumferential properties by nonlinear proper finite element analyses. *3rd International Conference on Advances in Experimental Structural Engineering*, University of Illinois, Urbana-Champaign, United States.
16. Rostami, M., Gorji Sinaki, F., and Moghadam, A.S. (2016) Evaluation of DIAGRID and TUBE structural systems in bionic high-rise buildings. *4th International Conference on Modern Research's in Civil Engineering, Architectural and Urban Development, Barcelona, Spain*.
17. Rostami, M., Gorji Sinaki, F., and Moghadam, A.S. (2017) Evaluation of DIAGRID and Tube structural systems in steel high-rise building with rocking motion. *2nd International Conference of Steel and Structure*. Tehran, Iran.
18. Teruna, D. (2015) Experimental study of hysteretic steel damper for energy dissipation capacity. *Advances in Civil Engineering*, **24**, 210-224.
19. Instruction for Seismic Rehabilitation of Existing Building. (Fourth Revision).

Comparison of Seismic Behavior of Buildings with Diagrid Structure in Rocking motion and moment frame Structure Considering Soil-Structure Interaction

Fatemeh Gorji Sinaki^{1*} and Abdolreza S.Moghadam²

1. M.Sc. Graduate, Department of Civil Engineering, Islamic Azad University, South Tehran Branch, Tehran, Iran, *Corresponding Author, email: st_f_gorji@azad.ac.ir
2. Associate Professor, Structural Engineering Research Center, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES), Tehran, Iran

Generally, in the analysis and design of buildings, the foundation is assumed to be rigid and the effect that soil subsidence under the foundation and the flexibility of the foundation may have on the response of the structure is not considered. If the interaction between the structure, the foundation and its supporting soil environment significantly changes the actual behavior of the structure compared to the study of the behavior of the structure alone, and one of the most important issues in soil-structure interaction is the Diagrid Rocking motion of the structure.

Examination of the behavior of structures in past earthquakes shows that asymmetric torsion has been one of the causes of severe vulnerabilities. Considering the advantages of modern seismic design methods in which energy dissipation additives such as dampers are used to control the responses in an earthquake, it is possible to control the seismic torsion in the structure. However, recent earthquakes have shown that Steel structures are damaged by earthquakes, making them very difficult and even impossible to repair. For this reason, after relatively severe earthquakes, these buildings have been damaged and destroyed, and in order to reuse the structure, it is necessary to spend a lot of time and money due to the extent of damage to the structure, and this issue creates a new idea to limit damage specific points of the structure. In this way, buildings can be exploited more quickly by replacing damaged elements. One of the new methods to improve the seismic performance of steel buildings is the use of systems that limit damage to the structure. Among these methods, we can mention systems with rocking motion. In these systems, the main building behaves elastically so that the energy absorption and nonlinear performance occur only in certain parts of the building that have been predicted. Therefore, in this study, a new system has been introduced, using the mechanism of Rocking movement in the shear walls of the structure, transmits damage to the structural fuses and makes the steel structure safe during and after earthquake, and very repairable. The systems used in this research include Diagrid structural system considering the interaction of soil and structure on the foundation and its comparison with Diagrid structural system. To better model this new system, first design post-tensioned cables as well as the exact details of the column connections in ABAQUS software are designed considering the connection dimensions for the 12th story. Then, in SAP2000 software, structural members were designed for 12-story and 16-story diagrid structures with rocking motion. The Results show the high performance of rocking motion on the foundation in reducing the stresses distributed in the diagrid structure. Because with the post-tensioned cables, the displacement of the structure is greatly reduced, while in the diagrid structure, with the movement of the Diagrid, the displacement of the structure is increased by 20%, but due to high attenuation, it has good seismic performance. It has been shown because the number of plastic joints in the LS area has reached less than that. The use of a controlled rocking motion system significantly reduces axial force in structural members by about 30 % and retractable cables in the rocking drive system have an effect more than 70 % in reducing the deformation of the structure and then the flow damper is placed.

Keywords: Soil Structure Interaction, Controlled Rocking Motion, Nonlinear Time History, Diagrid.