بخش سوم

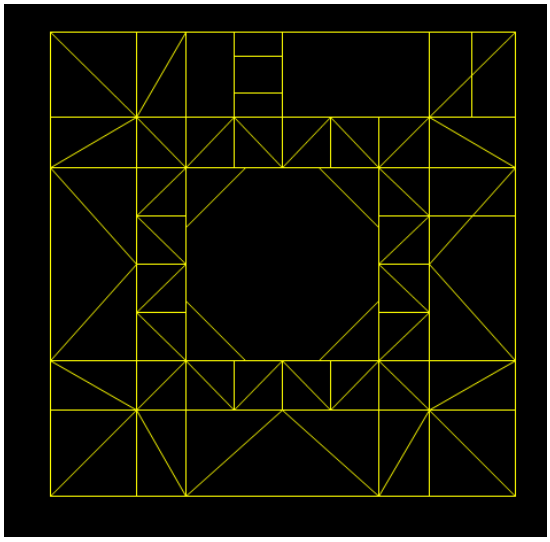
بررسی‌های موردی

به جهت بررسی اثرات استفاده از میراگر تدس بر روی دو سازه بررسی عددی انجام گرفته است. سازه‌ی اول صنعتی و فولادی با ارتفاع حدود ۱۱۰ متر که مربوط به کوره‌ی احیای گل‌گهر مدول II می‌باشد و به سفارش شرکت فن-آور معادن و فلزات MMTE بازطراحی آن با استفاده از ترکیب میراگرهای ویسکوز و تدس انجام گرفته است و سازه‌ی دوم ۱۶ طبقه تجاری – مسکونی و بتنی با زیربنای ۳۰۰۰۰ متر مربع که به سفارش سرمایه‌گذار خصوصی با استفاده از میراگرهای تدس طراحی گردیده است.

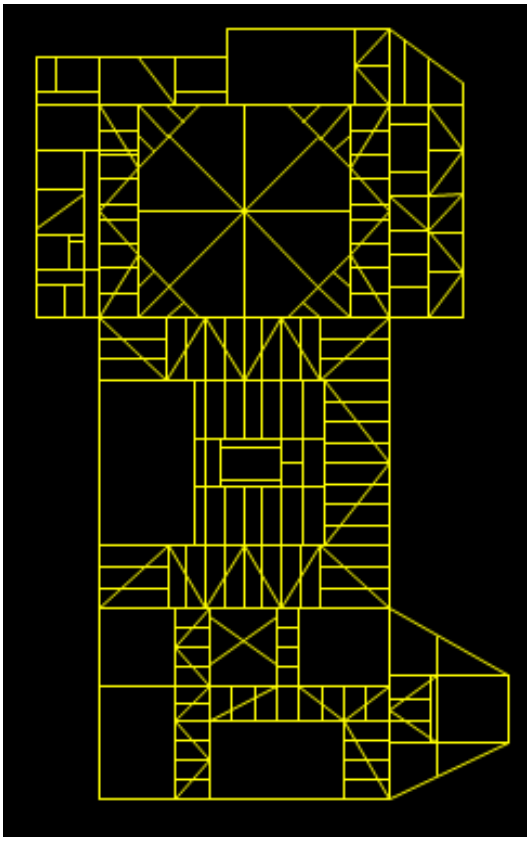
سازه‌ی اول که یک سازه‌ی بلند مرتبه‌ی صنعتی می‌باشد و شکل کلی آن در ادامه آورده شده است به طور کلی فاقد طبقات مجزا و قابل شمارش می‌باشد و در بخش‌های مختلفی در ارتفاع بسته به تاسیسات موجود سکوهایی قرار گرفته است. اما به طور کلی سازه را در ارتفاع می‌توان به دو بخش تقسیم نمود، بخش پایینی که مساحت پلان کف‌ها و سکوها بزرگتر است و بخش بالایی که این مساحت‌ها کوچکتر می‌باشند.

همانطور که پیشتر عنوان شد این سازه در پلان شکل منظم و مشخصی ندارد اما ابعاد تقریبی پلان در بخش پایینی در حدود ۳۱ متر در ۱۳ متر و در بخش بالایی در حدود ۱۳ متر در ۱۳ متر می‌باشد. ضمن اینکه تقریبا در هر ۶ متر یک کف بزرگ و اصلی قابل تشخیص می‌باشد که مجموعا در حدود ۱۹ کف را شامل می‌گردد. نمونه‌ای از پلان کف-ها در ادامه آورده شده است.

لازم به ذکر است که فولاد ساختمانی به کار رفته در این پروژه برای تمام المان‌ها از نوع ST۳۷ می‌باشد.



شکل شماره ۱ – نمونه‌ای از پلان کف‌های کوچک در پروژه اسکلت فلزی صنعتی(کف در ارتفاع ۹۳/۷۵ متر از روی پی)



شکل شماره ۲ – نمونه‌ای از پلان کف‌های بزرگ در پروژه اسکلت فلزی صنعتی (کف در ارتفاع ۳۷/۸۱ متر از روی پی)

شکل شماره ۳ – شمای کلی کوره‌ی احیای مدول II گل گهر

این سازه در منطقه‌ی با خطر لرزه‌خیزی خیلی زیاد قرار گرفته است و در طراحی به جهت افزایش سطح عملکرد سازه جزو سازه‌های با اهمیت زیاد در نظر گرفته شده است؛ سیستم باربر جانبی این سازه سیستم دوگانه قاب‌های خمشی فولادی به اضافه‌ی مهاربندی‌های هم‌محور فولادی می‌باشد. میرایی ذاتی این سازه در طراحی اولیه که توسط شرکت دیگری انجام گرفته بود برابر با ۵٪ میرایی بحرانی لحاظ گردیده بود. اما در باز طراحی انجام‌شده این میرایی برابر با ۲٪ میرایی بحرانی در نظر گرفته شده است؛ بر اساس طرح اولیه اسکلت این سازه ۲۹۰۰ تن وزن دارد. در بازطراحی سازه برای تحلیل از روش تاریخچه زمانی غیرخطی با الگوریتم عددی انتگرال‌گیری مستقیم به روش

بتای نیومارک استفاده شده است؛ این تحلیل در نرم‌افزار SAP۲۰۰۰ نسخه‌ی ۱۴ انجام گرفته است. بدین منظور تعداد هفت زوج شتاب‌نگاشت با بزرگا، جنس خاک محل ثبت و فاصله از گسل تقریبا مشابه با مشخصات پروژه انتخاب و بر اساس آیین‌نامه‌ی ASCE/SEI ۷-۱۰ مقیاس گردیدند؛ مشخصات این شتاب‌نگاشت‌ها در ادامه آورده شده است؛ بر اساس آیین‌نامه پاسخ سازه برابر با میانگین پاسخ هفت زوج شتاب‌نگاشت می‌باشد.

نام زلزله	تاریخ وقوع	نام ایستگاه	بزرگا (M)	فاصله از گسل (km)	بیشینه شتاب زمین (g)	بیشینه سرعت زمین (cm/sec)
کیپ مندوچینو Cape	۰۴/۲۵/۱۹۹۲	CDMG ۸۹۴۸۶	۷/۱	۲۳/۶	۰/۱۱۶	۳۰
امپریال ولی Imperial	۱۰/۱۵/۱۹۷۹	UNAM/UCSD ۶۶۰۴	۶/۵	۲۶/۵	۰/۱۶۹	۱۸/۶
لوما پریتا Loma	۱۰/۱۸/۱۹۸۹	CDMG ۵۷۵۰۴	۶/۹	۲۲/۳	۰/۱۷۹	۲۲/۶
دوزچه Duzce	۱۱/۱۲/۱۹۹۹	Lamont ۳۶۲	۷/۱	۲۷/۴	۰/۰۴۲	۹/۲
لندرس Landers	۰۶/۲۸/۱۹۹۲	CDMG ۱۲۱۴۹	۷/۳	۲۳/۲	۰/۱۷۱	۲۰/۹
نورث‌ریج Northridge	۰۱/۱۷/۱۹۹۴	USC ۹۰۰۱۴	۶/۷	۲۰/۸	۰/۶۱۷	۴۰/۸
سن فرناندو SanFernando	۰۲/۰۹/۱۹۷۱	CDMG ۱۲۸	۶/۶	۲۰/۳	۰/۳۶۶	۱۷

جدول شماره ۱ – مشخصات شتاب‌نگاشت‌های استفاده شده در تحلیل سازه پروژه اسکلت فلزی صنعتی

بار زلزله پس از اعمال بارگذاری ثقلی به سازه وارد گردید است. به منظور تعیین ضرایب بارها از ترکیبات بارگذاری حالت حدی نهایی LRFD استفاده شده است.

بر اساس تحلیل بر روی سازه‌ی اولیه بدون میراگر مشخص گردید که بسیاری از ستون‌های سازه وارد محدوده‌ی غیرخطی خود می‌شوند که برای سازه‌ای با کارکرد صنعتی که تمایل جدی به ایجاد کمترین توقف در بهره‌برداری

از آن پس از تحریکی مانند زلزله وجود دارد نامطلوب می‌باشد. همچنین مقدار جابه‌جایی جانبی متوسط کف‌هایی که در تراز ارتفاعی ۱۰۳/۷۵ متر و تراز ارتفاعی ۵۶/۱۷ متر قرار دارند به ترتیب برابر با ۶۹/۵ و ۳۲/۶ سانتی‌متر برای جهت X و ۶۰/۴ و ۲۷/۳ سانتی‌متر برای جهت Y محاسبه گردیده است.

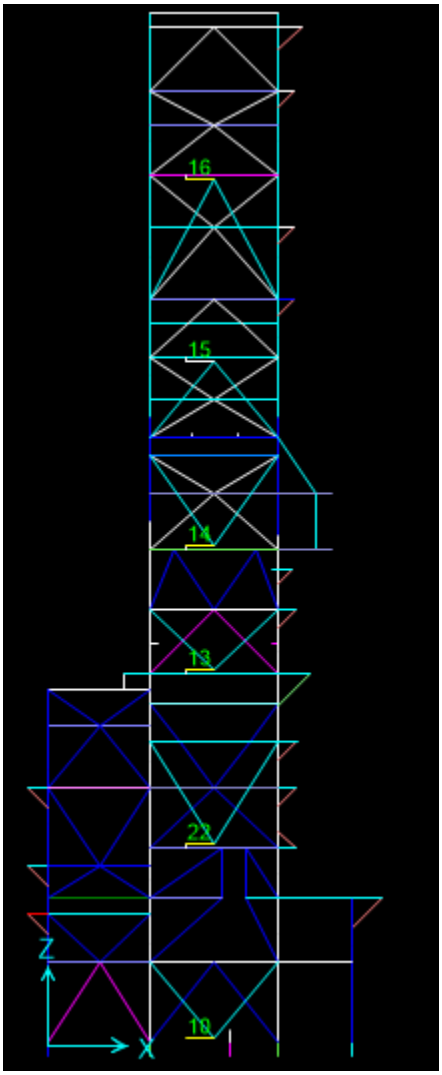
برای استفاده از میراگر در سازه حالت‌های مختلفی با تعداد و آرایش‌های مختلف میراگرها در سازه مورد بررسی قرار گرفته است که در نهایت مشخص گردیده است که استفاده از تعداد ۱۲ میراگر ویسکوز با ظرفیت ۳۰۰۰ کیلونیوتن و ۱۰ میراگر تدس دوازده پره‌ی ۵۷۰ کیلونیوتنی وضعیت مناسبی را برای سازه از لحاظ کاهش در نیروهای داخلی ایجاد می‌نماید. پس از استفاده از میراگرها وزن اسکلت سازه به حدود ۲۱۰۰ تن کاهش یافت، هیچ‌کدام از ستون‌ها وارد محدوده‌ی غیرخطی نمی‌شوند و علاوه بر این دو، جابه‌جایی جانبی متوسط کفهایی که در تراز ارتفاعی ۱۰۳/۷۵ متر و تراز ارتفاعی ۵۶/۱۷ متر قرار دارند به ترتیب برابر با ۶۳/۲ و ۲۷/۷ سانتی‌متر برای جهت X و ۵۴/۳ و ۲۳/۵ سانتی‌متر برای جهت Y محاسبه گردید که کاهش قابل ملاحظه‌ای داشته است؛ نتایج ذکر شده در ادامه در دو جدول برای دو تراز ارتفاعی مختلف آورده شده است.

میانگین پاسخ جابه‌جایی نسبی نقاط تراز ارتفاعی ۱۰۳/۷۵ متر (cm)			
جهت مورد بررسی	سازه بدون میراگر (سازه اولیه) (میرایی ذاتی ۲ درصد)	سازه مسلح به ۲۲ میراگر (میرایی ذاتی ۲ درصد)	درصد اختلاف
X	۶۹/۵	۶۳/۲	۹/۱
Y	۶۰/۴	۵۴/۳	۱۰/۱

جدول شماره ۲ - میانگین پاسخ جابه‌جایی نسبی نقاط تراز ارتفاعی ۱۰۳/۷۵ متر (cm) در پروژه اسکلت فلزی صنعتی

میانگین پاسخ جابه‌جایی نسبی نقاط تراز ارتفاعی ۵۶/۱۷ متر (cm)			
جهت مورد بررسی	سازه بدون میراگر (سازه اولیه) (میرایی ذاتی ۲ درصد)	سازه مسلح به ۲۲ میراگر (میرایی ذاتی ۲ درصد)	درصد اختلاف
X	۳۲/۶	۲۷/۷	۱۵/۰
Y	۲۷/۳	۲۳/۵	۱۳/۹

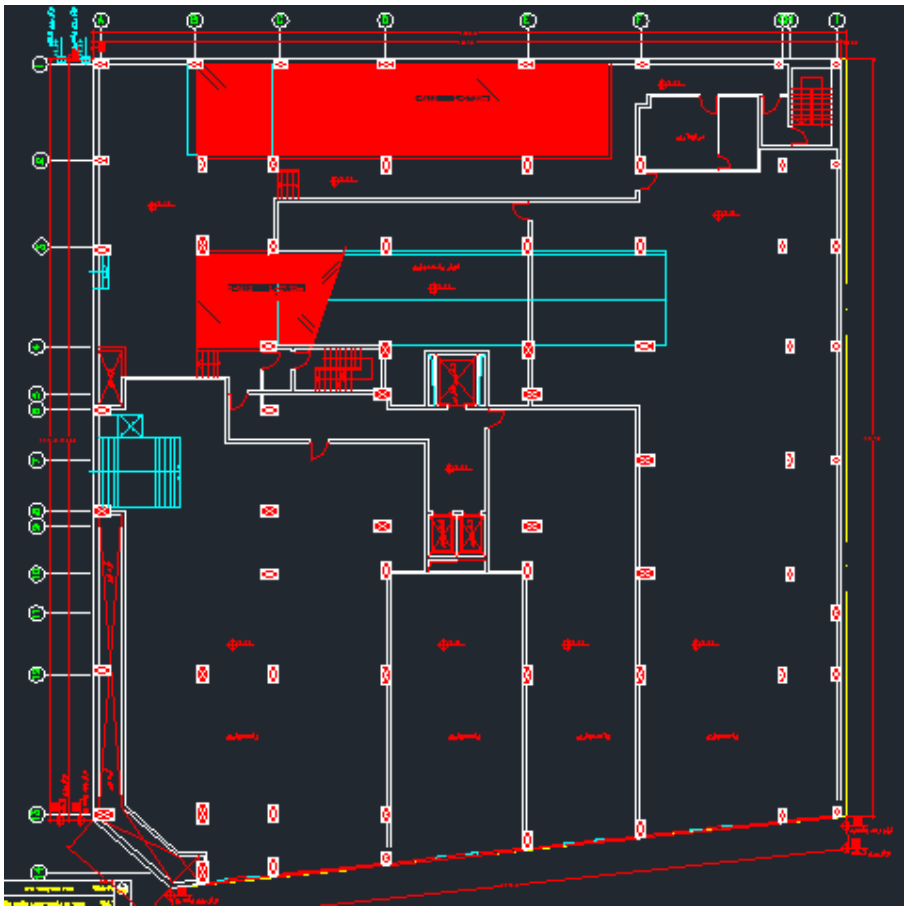
جدول شماره ۳ - میانگین پاسخ جابه‌جایی نسبی نقاط تراز ارتفاعی ۵۶/۱۷ متر (cm) در پروژه اسکلت فلزی صنعتی



شکل شماره ۴ – آرایش نصب میراگرها در یکی از قاب‌های سازه در پروژه اسکلت فلزی صنعتی ؛ این میراگرها با شماره مشخص گردیده‌اند. (تمامی میراگرهای این قاب ویسکوز می‌باشند.)

میراگرهای تدس به کار رفته ۱۲ پره با ضخامت پره‌های ۴۰ میلی‌متر، ارتفاع پره‌ها ۵۰ سانتی‌متر و پارامترهای a و b به ترتیب برابر با ۳ و ۱۴ سانتی‌متر می‌باشند.

سازه‌ی دومی که در این بخش مورد بررسی قرار گرفته است، سازه‌ی بتنی شانزده طبقه با کاربری تجاری مسکونی و زیر بنای تقریبی ۳۰۰۰۰ متر مربع واقع در شهر تهران می‌باشد؛ این سازه دارای چهار طبقه‌ی پارکینگ، یک طبقه‌ی تجاری و یازده طبقه اداری می‌باشد. ابعاد پلان طبقات با کمی اغماض مربعی شکل به ابعاد ۴۴ متر در ۴۴/۵ متر می‌باشد؛ شکل پلان طبقات در ادامه آورده شده است.



شکل شماره ۵ – شمای کلی پلان طبقات در پروژه اسکلت بتنی تجاری مسکونی

محل این پروژه در شهر تهران با سرعت موج برشی خاک بستر بین ۳۷۵ تا ۷۵۰ متر بر ثانیه می‌باشد؛ سیستم باربر جانبی قاب خمشی بتنی ویژه، سیستم سقف تیرچه یونولیت و با توجه به کاربری ذکر شده، ساختمان با اهمیت متوسط می‌باشد. بتن مورد استفاده در اسکلت دارای وزن مخصوص ۲۴۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب، نسبت پواسون ۰/۱۵ ، مدول الاستیسیته‌ی ۲۳۱۳ کیلوگرم بر میلی‌متر مربع، ضریب انبساط حرارتی $۱۰^{-۵}$ و مقاومت فشاری ۲۸ روزه‌ی ۲۱۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع در نظر گرفته شده است و همچنین میلگرد مورد استفاده از نوع AIII می-باشد. بر اساس طراحی‌های بدون سیستم کنترلی که توسط شرکت‌های دیگر انجام گرفته و پس از متره پروپوزال طرح به کارفرمای پروژه ارایه شده بود، مقدار آرماتور مورد نیاز اسکلت و پی در بهینه‌ترین طراحی حدود ۵۰ کیلوگرم بر متر مربع بوده است که این عدد شامل تمام آرماتورها به جز آرماتورهای افت و حرارت به کار رفته در سقف‌ها می‌باشد.

طراحی این سازه با میراگر در تعداد، ظرفیت و آرایش‌های مختلف میراگرها انجام گردیده است. در نهایت مشخص گردید که استفاده از تعداد ۱۲۸ میراگر تدس با تعداد پره‌های ۱۲ و ضخامت ۳ سانتی‌متر برای هر پره با تعدادی مشخص از میراگرها در طبقات که در ادامه در جدول آمده است طراحی مناسبی را بدست می‌دهد. در این طراحی وزن تمام میلگردهای مورد نیاز برای ساخت پی و اسکلت سازه به جز میلگردهای سقف برابر با ۳۲ کیلوگرم به ازای هر متر مربع می‌باشد. به عبارت دیگر ۱۸ کیلوگرم فولاد به ازای هر متر مربع از زیر بنای پروژه صرفه‌جویی خواهد گردید که با ضرب آن در مساحت زیر بنا به عدد ۵۴۰ تن خواهیم رسید؛ هزینه‌ی ساخت و اجرای خود میراگرها و کلیه المان‌های دیگر که برای نصب میراگرها در سازه نیاز است به همراه اتصالات مورد نیاز آنها در پروژه تنها در حدود ۳۵٪ از این میزان صرفه‌جویی خواهد بود. علاوه بر کاهش در میزان فولاد مصرفی، بتن مورد نیاز نیز کاهش خواهد داشت. از طرف دیگر بر اساس طراحی بدون میراگر لازم است تعدادی از ستون‌های میانی در طبقات زیرین

با ابعاد ۷۰ در ۱۴۰ سانتی‌متر اجرا شوند ولی در طراحی با میراگر حداکثر ابعاد ستون‌ها ۶۰ در ۱۲۰ سانتی‌متر می‌باشد. در نهایت آنکه ارتفاع آویزها در سازه با میراگر در طبقات مختلف کاهش می‌یابد به نحوی که در طراحی بدون میراگر آویز در طبقات زیرین ۴۰ سانتی‌متر، در طبقات میانی ۳۰ و ۲۰ سانتی‌متر و در طبقات بالایی سازه ۱۰ سانتی-متر می‌باشد ولی در طراحی با میراگر این مقادیر به ۳۰، ۲۰، ۱۰ و صفر کاهش می‌یابد.

علاوه بر سه مزیت ذکرشده کلیه کنترل‌های مد نظر آیین‌نامه آمریکا (و ایران) انجام گردیده است و بر این اساس جابه‌جایی نسبی نهایی سازه در طبقات مختلف، ضریب اطمینان واژگونی سازه، شاخص پایداری طبقات سازه و ... در محدوده‌ی مجاز خود قرار دارند.

نام طبقه	جهت X	جهت Y	مجموع
Roof	۲	۲	٤
Story۱۱	۲	۲	٤
Story۱۰	۲	۲	٤
Story۰۹	۲	۲	٤
Story۰۸	٦	٦	۱۲
Story۰۷	۸	۸	۱٦
Story۰٦	۸	۸	۱٦
Story۰٥	۸	۸	۱٦
Story۰٤	٦	٦	۱۲
Story۰۳	٤	٤	۸
Story۰۲	۲	۲	٤
Story۰۱	٤	٤	۸
Pilot	٤	٤	۸
Basement۱	۲	۲	٤
Basement۲	۲	۲	٤
Basement۳	۲	۲	٤

جدول شماره ۴ – توزیع میراگرها در طبقات در پروژه اسکلت بتنی تجاری مسکونی