





پارت سازه

PART SAZE STRUCTURAL
ENGINEERING

شرکت مهندسی پارت سازه ساینار

محاسبات

سازه و میراگرهای فلزی تدس در ساختمان

۲ طبقه اسکلت فلزی (کاشان)

و مقایسه با سازه بدون میراگر

اردیبهشت ماه ۱۳۹۵

مقدمه؛ معرفی میراگرهای تدس

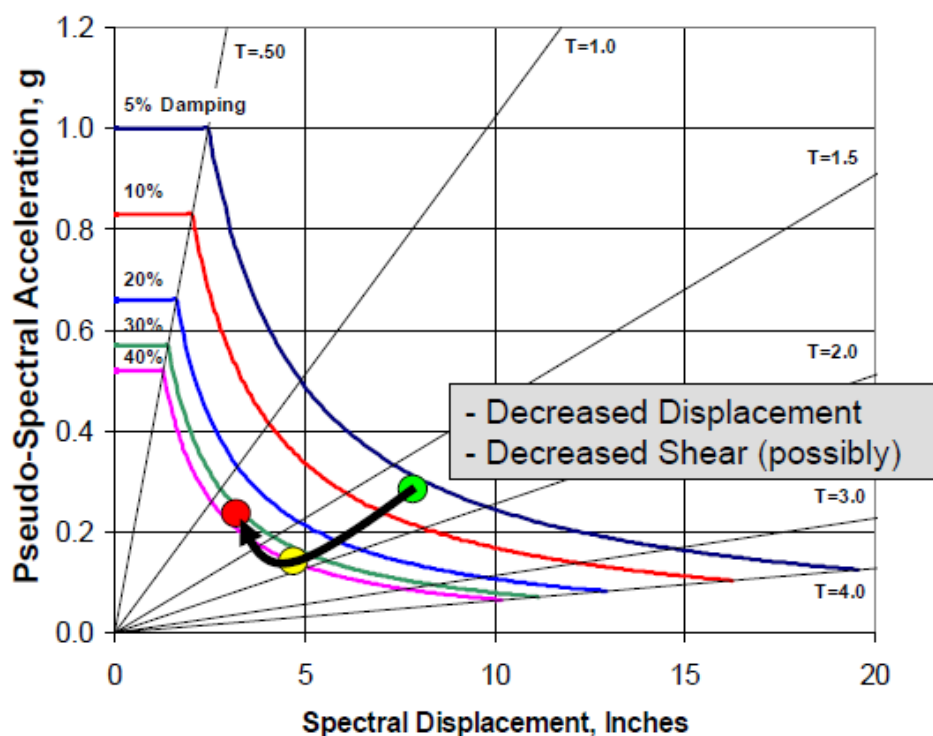
میراگر تدس نوعی از انواع میراگرهای فلزی غیرفعال اتلاف انرژی و ابزاری برای کنترل ارتعاشات سازه‌ها می‌باشد. جهت دریافت اطلاعات بیشتر در مورد کنترل سازه‌ها، ابزار و روش‌های مختلف آن کتابچه میراگر تدس پیوست می‌باشد. روش اتلاف انرژی در این میراگر بدین صورت است که پره‌های مثلی شکل این میراگر معمولاً بسیار زودتر از المان‌های سازه تسلیم و وارد محدوده غیرخطی خود می‌شوند و بدین ترتیب در طی چرخه‌های هیسترتیک خود انرژی تحریک خارجی مخصوصاً زلزله را به صورت گرما اتلاف و از چرخه باربری سازه خارج می‌نمایند. بر این اساس به طور کلی این میراگرها میرایی سازه را افزایش می‌دهند و در عین حال مقداری سختی نیز به سازه اضافه می‌نمایند. اگر چه سختی اضافه‌شده توسط این میراگرها به



شکل شماره ۱- میراگر فلزی پره مثلی یا تدس که یکی از انواع میراگرهای غیرفعال اتلاف انرژی زلزله می‌باشد.

سازه در برابر سختی سازه مقدار بسیار کوچکی می‌باشد. در شکل شماره ۲ می‌توان اثر افزودن همزمان سختی و میرایی به سازه را ملاحظه نمود. با توجه به اینکه سختی میراگر در مقایسه با سختی سازه عدد بسیار کوچکی می‌باشد بنابر در نهایت در اثر اضافه کردن میراگرها، کاهش در برش پایه و ارتعاشات سازه به دلیل افزایش میرایی سازه ملاحظه خواهد گردید.

در میراگرهای تدس با توجه به حرکت قائم آزادانه پین در داخل شیار (رجوع کنید به شکل شماره ۱) در هنگام زلزله سختی محوری پره‌ها تاثیری در سختی سیستم باربر جانبی نخواهد داشت و از طرف دیگر این میراگرها متحمل بار ثقلی نخواهند شد. این مسئله منجر به مشخص بودن و قابل پیش‌بینی بودن عملکرد این میراگر در حین زلزله خواهد شد. دیگر مزیت بزرگ این میراگر در شکل هندسی آن است؛ با توجه به اینکه میراگرها در راستای افق همانند تیر کنسول عمل می‌کنند و نیروی ناشی از



شکل شماره ۲- اثر افزودن همزمان سختی و میرایی به سازه (اثر حضور میراگرهای فلزی در سازه)

زلزله در پایین این ورق‌ها وارد می‌شود، لنگر به صورت خطی در ارتفاع ورق افزایش می‌یابد تا به مقدار بیشینه‌ی خود در بالای ورق‌ها که به ورق فوقانی میراگر متصل هستند برسد. از طرفی شکل مثلی این پره‌ها بدان معناست که ممان اینرسی مقطع عرضی به صورت خطی از کمترین مقدار خود در پایین ورق تا بیشترین مقدار در بالای ورق افزایش می‌یابد؛ بنابراین تنش عمودی ناشی از خمش $\sigma = \frac{Mc}{I}$ در ارتفاع مقطع تقریباً عدد ثابتی است؛ بر این اساس تمام مقطع همزمان تسلیم شده و از ظرفیت تمام فلز به کار رفته در هر پره استفاده می‌شود. بنابراین میراگر تدس به نسبت کارایی خود هزینه‌ی مناسب‌تری به نسبت سایر میراگرهای فلزی خواهد داشت.

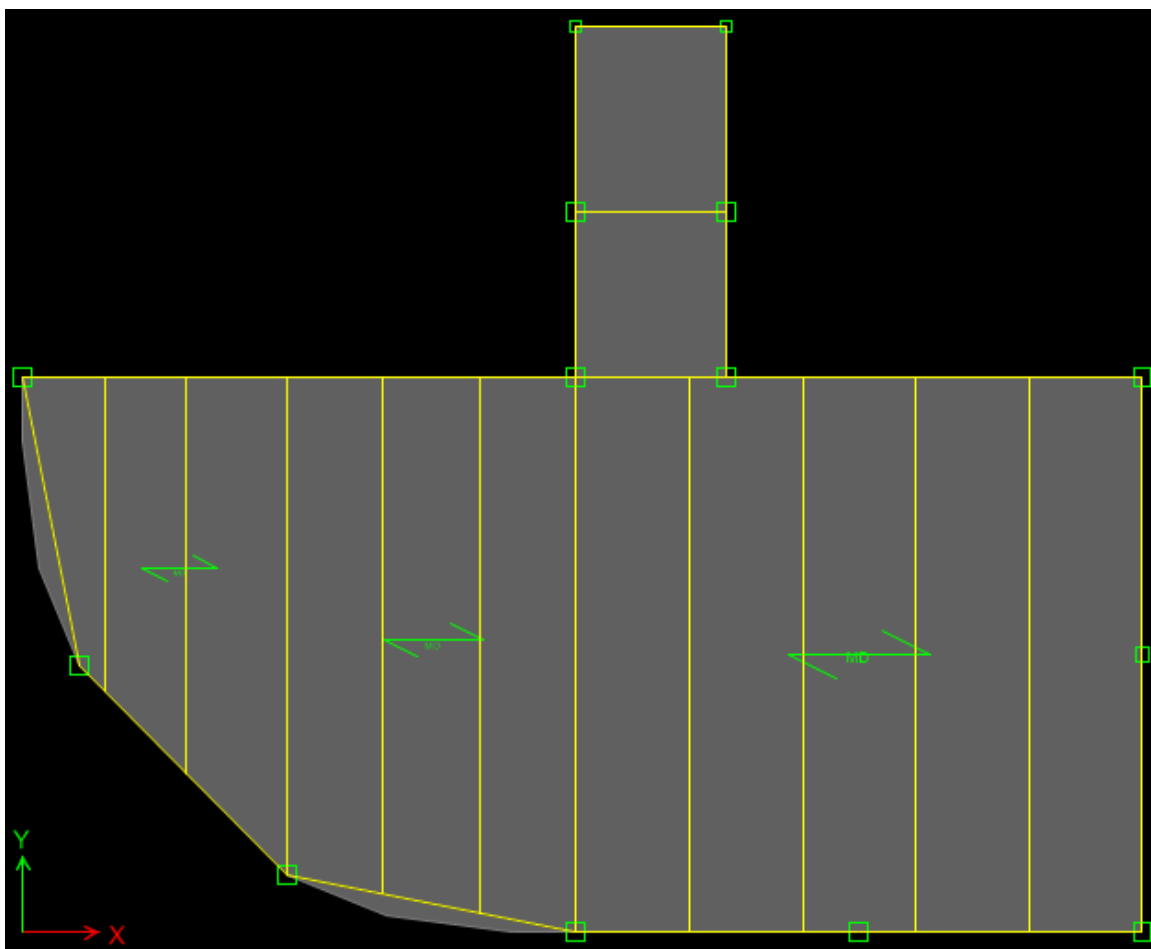
معرفی پروژه حاضر

این پروژه مربوط به ساختمان دو طبقه با اسکلت فلزی و متراژ تقریبی زیربنای ۷۰۰ متر مربع واقع در شهرستان کاشان می‌باشد. شکل پلان به صورت شکل شماره ۳ می‌باشد. همچنین شکل سه بعدی ساختمان که در نرم‌افزار Etabs مدل شده است در شکل شماره ۴ قرار داده شده است. مساحت کف‌های طبقات مختلف و ارتفاع طبقات در جدول شماره ۱ آورده شده است.

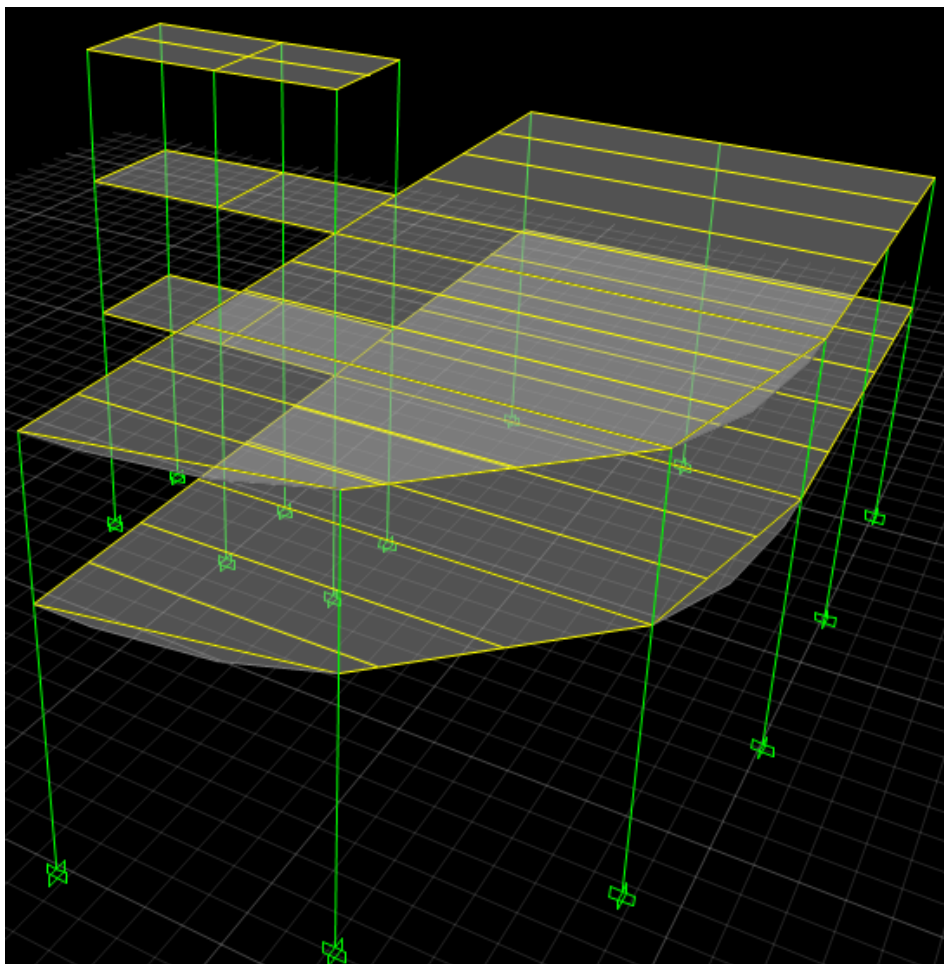
جدول شماره ۱ - مشخصات طبقات مختلف ساختمان ۲ طبقه اسکلت فلزی کاشان

نام طبقه	ارتفاع طبقه (متر)	مساحت کف (مترمربع)
طبقه اول	۷/۲۸	۳۳۶/۳۱
طبقه دوم (بام)	۴/۲۵	۳۳۶/۳۱
خرپشته	۳/۹۸	۲۸/۷
مجموع (بدون ارتفاع خرپشته)	۱۱/۵۳	۷۰۱/۳۲

مدلی که محاسبات اولیه بر روی آن انجام گرفته است سازه اسکلت فولادی با استفاده از فولاد نرمه ST37 می باشد. سقف سازه از نوع عرشه فولادی و بتن مورد استفاده دارای مقاومت ۲۱۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع می باشد. سیستم باربر جانبی سازه در هر دو جهت قاب خمشی با شکل پذیری متوسط در نظر گرفته شده است. با توجه به اینکه در پیشنهادیه حاضر تمرکز بر روی میراگرهای پروژه است توضیحات بیشتر و طرح دقیق سازه ی مسلح به میراگر و نیز طرح سیستم میراگری در طراحی انجام خواهد شد.



شکل شماره ۳ - پلان پروژه ۲ طبقه اسکلت فلزی کاشان



شکل شماره ۴ - شکل سه بعدی ساختمان ۲ طبقه اسکلت فلزی کاشان

در ادامه با توجه به ناقص بودن طرح اولیه و احتیاج به یک طراحی اولیه قابل قبول، بازطراحی سازه بدون میراگر انجام شده است و سپس با استفاده از شرایط و بارگذاری کاملاً مشابه طرح سازه مسلح به میراگر نیز انجام گرفته است؛ در پایان دو طرح با یکدیگر مقایسه شده‌اند. لازم به ذکر است که به جهت تحلیل و طراحی سازه بدون میراگر از نرم‌افزار Etabs 15.1.0 و برای ارزیابی و طرح اولیه سازه مسلح به میراگر از همان نرم‌افزار و آیین‌نامه‌ی ASCE/SEI7-10 استفاده شده است.

بخش اول: سازه بدون میراگر

بارگذاری

الف) بار مرده

بارگذاری مرده به میزان ۶۲۰ کیلوگرم بر متر مربع برای تمام کف‌ها انجام شده است که ۳۰۰ کیلوگرم بر متر مربع آن برای سقف عرشه فولادی می‌باشد. همچنین وزن مرده المان‌ها توسط نرم‌افزار به صورت خودکار محاسبه گردیده است.

ب) بار زنده

بار زنده برابر با ۱۰۰ کیلوگرم بر متر مربع برای بام و خرپشته، ۳۵۰ کیلوگرم بر متر مربع برای راه‌پله و ۲۵۰ کیلوگرم بر متر مربع برای سایر کف‌ها اعمال گردیده است.

پ) بار خطاهای ناشی از ساخت

بار خطاهای ناشی از ساخت بر اساس مبحث دهم از مقررات ملی ساختمان ایران چاپ ۱۳۹۲ انجام شده است.

ت) بار جانبی زلزله

محاسبات بار زلزله بر اساس ویرایش چهارم ۲۸۰۰ انجام شده است. خلاصه‌ای از محاسبات مربوط به پارامترهای ضریب زلزله در جدول شماره ۲ آورده شده است. بر اساس پارامترهای محاسبه شده برش پایه یک سازه و ضریب زلزله مربوطه به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$V = CW \quad , \quad C = \frac{ABI}{R} \rightarrow C = \frac{0.3 \times 2 / 75 \times 1}{5} \rightarrow \boxed{C = 0.198}$$

جدول شماره ۲ - پارامترهای مورد نیاز در محاسبه ضریب زلزله ساختمان ۲ طبقه اسکلت فلزی کاشان

ضریب اهمیت (متوسط)	شتاب مبنای طرح (خطر نسبی زیاد)	زمان تناوب سازه (قاب خمشی) فولادی بدون ممانعت جدایشگرها	ضریب بازتاب (خاک نوع III)	ضریب رفتار (قاب خمشی متوسط)	ضریب درجه نامعینی	ضریب بزرگنمایی جابه جایی (قاب خمشی متوسط)
$I = 1$	$A = 0.3$	$T = 1/25 \times (0.08H^{-1/75})$ $T = 0.6257 \text{ sec}$	$B = NB_1$ $N = 1$ $B = 2/75$	$R = 5$	$\rho = 1/2$	$c_d = 4$

برش پایه برابر با $V = CW$ بر اساس رابطه‌ی زیر در ارتفاع توزیع خواهد شد:

$$F_i = \frac{w_i h_i^k}{\sum_{j=1}^n (w_j h_j^k)} V$$

در رابطه‌ی فوق F_i نیروی اینرسی وارد بر تراز i ام، w_i وزن تراز i ام، h_i ارتفاع تراز i ام از تراز پایه، k ضریب توزیع نیرو در ارتفاع است که بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ حداقل آن ۱ و حداکثر آن ۲ می‌باشد و از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌گردد:

$$k = 0.5T + 0.75$$

$$k = 1.03$$

با دانستن پارامترهای فوق محاسبات نهایی توزیع نیروهای زلزله در ارتفاع ساختمان انجام می‌گردد که خلاصه آن در جدول شماره ۳ قابل رویت می‌باشد. لازم به ذکر است که وزن لرزه‌ای هر طبقه w_i بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش چهارم برابر با تمام بار مرده به اضافه‌ی ۲۰٪ از بار زنده در نظر گرفته شده است. همانگونه که ملاحظه می‌شود نیروی برش پایه اولیه در حدود ۱۱۶ تن می‌باشد. میرایی ذاتی سازه برابر با ۵ درصد میرایی بحرانی لحاظ شده است.

جدول شماره ۳ - توزیع نیروی برش پایه در ارتفاع در سازه بدون میراگر

نام طبقه	وزن لرزه‌ای (تن)	نیروی اینرسی طبقه (تن)
طبقه اول	۳۰۶	۵۱
طبقه دوم (به اضافه خرپشته)	۲۷۱	۶۵
مجموع	۵۷۷	۱۱۶

ترکیبات بارگذاری طراحی

به جهت تعیین ترکیبات بارگذاری از ترکیبات مبحث ششم از مقررات ملی ساختمان ایران چاپ ۱۳۹۲ در بند ۶-۲-۳ که مطابق زیر می‌باشد استفاده گردیده است. نکته قابل ذکر دیگر آنکه در مورد بارهای فرضی که به جهت وارد نمودن اثر خطاهای ساخت و تنها بر روی بارهای ثقیلی در طراحی اعمال می‌شوند؛ بار فرضی هر بار ثقیلی ضریبی مشابه بار ثقیلی مادر خواهد داشت. به عنوان مثال بار فرضی بار زنده که $0/3$ درصد بار زنده است با ضریبی مشابه بار زنده در محاسبات و ترکیبات بارگذاری وارد می‌شود.

۱) $1/4D$

۲) $1/2D + 1/6L + 0/5(L_T \text{ یا } S \text{ یا } R)$

۳) $1/2D + 1/6(L_T \text{ یا } S \text{ یا } R) + [L \text{ یا } 0/5(1/4W)]$

۴) $1/2D + 1/10(1/4W) + L + 0/5(L_T \text{ یا } S \text{ یا } R)$

۵) $1/2D + 1/10E + L + 0/2S$

۶) $0/9D + 1/10(1/4W)$

۷) $0/9D + 1/10E$

۸) $1/2D + 0/5L + 0/5(L_T \text{ یا } S) + 1/2T$

۹) $1/2D + 1/6L + 1/6(L_T \text{ یا } S) + 1/10T$

طراحی و بیان نتایج

پس از تحلیل سازه با بارهای موجود و ترکیبات بارگذاری معرفی شده اعضای سازه شامل تیرها و ستونها طراحی می‌شوند. لازم به ذکر است که تیرهای فرعی دو سر مفصل به صورت مرکب و سایر تیرها به صورت فلزی طراحی شده‌اند. پس از طرح اولیه مقاطع موجود (ستونها، تیرهای اصلی و مرکب) به بهینه‌ترین حالت ممکن بهینه شده‌اند. در جدول شماره 4 وزن اسکلت سازه به تفکیک طبقه آورده شده است. در این حالت وزن کل اسکلت فلزی (عدد خام نرم‌افزار) برابر با ۷۵/۲ تن بوده است که با توجه به زیربنای سازه به عدد ۱۰۷/۳ کیلوگرم به ازای هر متر مربع از زیربنای سازه می‌رسیم. لازم به ذکر است که مقاطع ستونها از نوع جعبه‌ای، تیرهای اصلی از نوع تیورق I شکل و تیرهای فرعی از نوع IPE انتخاب گردیده‌اند.

جدول شماره 4 - وزن اسکلت فلزی به تفکیک نوع المان و طبقه و جمع کل در طرح بدون میراگر

Story	Element Type	Total Weight kgf	Floor Area m ²	Unit Weight kgf/m ²
KH	Column	4498.99	28.7	156.76
KH	Beam	1156.27	28.7	40.29
ROOF	Column	12677.74	336.31	37.7
ROOF	Beam	1912.03	336.31	5.69
ROOF	Beam	12640.14	336.31	37.58
STORY1	Column	21716.24	336.31	64.57
STORY1	Beam	740.45	336.31	2.2
STORY1	Beam	19897.96	336.31	59.17
SUM	Column	38892.97	701.32	55.46
SUM	Beam	3808.76	701.32	5.43
SUM	Beam	32538.1	701.32	46.4
TOTAL	ALL	75239.83	701.32	107.3

در نهایت بر اساس طراحی انجام شده میزان جابه‌جایی‌های نهایی سازه بدست می‌آید که در **جدول شماره ۵** آورده شده است. با یک حساب ساده با استفاده از تحلیل انجام گرفته مشخص می‌گردد میزان جابه‌جایی طبقات در اثر زلزله طرح در حدود ۲/۵ درصد ارتفاع طبقه و بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش چهارم عملکرد سازه، **حد عملکردی ایمنی جانی می‌باشد.** (بر اساس ۲۸۰۰ ویرایش چهارم مقدار این حد عملکردی برای ساختمان با زمان تناوب کمتر از ۰/۷ ثانیه برابر ۰/۰۲۵ ارتفاع طبقه است) – با توجه به آنکه هدف استاندارد ۲۸۰۰ برای ساختمان‌های با اهمیت متوسط رسیدن به سطح عملکرد ایمنی جانی تحت زلزله طرح می‌باشد. نکته دیگر آنکه جابه‌جایی‌های سازه بر اساس زمان تناوب دینامیکی سازه در دو راستا محاسبه شده است و نه زمان تناوب تجربی. (بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ می‌توان این کار را انجام داد). البته حتی اگر بر اساس پررود تجربی نیز جابه‌جایی‌ها را محاسبه نماییم در حد ۲/۵ درصد ارتفاع باقی خواهد ماند.

جدول شماره ۵ – پاسخ جابه‌جایی سازه و مقایسه آن با مقدار مجاز

جابه‌جایی کل X	جابه‌جایی کل Y	دریفت X	دریفت Y	بیشینه نسبت دریفت به ارتفاع طبقه برای دو راستای اصلی
(میلی‌متر)	(میلی‌متر)	(میلی‌متر)	(میلی‌متر)	
۱۱۸	۱۲۷	۱۱۸	۱۲۷	۰/۰۱۸ (معادل ایمنی جانی)
۱۷۲	۱۹۵	۵۴	۶۸	۰/۰۱۶ (معادل ایمنی جانی)

بخش دوم: سازه مسلح به میراگرهای تدس

بارگذاری

الف) بار مرده

همانند حالت بدون میراگر می باشد.

ب) بار زنده

همانند حالت بدون میراگر می باشد.

پ) بار خطاهای ناشی از ساخت

همانند حالت بدون میراگر می باشد.

ت) بار جانبی زلزله

در این پروژه و در طراحی و بررسی اولیه از میراگرهای ۶ پره تدس با ضخامت پره های ۳۰ میلی متر و ارتفاع پره های ۳۰ سانتی متر محاسبات طرح اولیه انجام شده است. مشخصات میراگرهای مورد استفاده در طرح اولیه سازه در جدول شماره ۶ قرار داده شده است. مدل سازی میراگرها در سازه نیز بر اساس استاندارد ASCE/SEI7-10 انجام خواهد شد؛ در این پروژه برای بررسی اولیه از روش بار جانبی معادل استفاده می گردد. بر این اساس نیازی به مدل سازی صریح میراگرها در سازه نمی باشد و کافی است اثر آن میراگرها مطابق ASCE/SEI7-10 بر روی سازه دیده شود. در این طرح در مجموع از تعداد ۸ میراگر ۶ پره تدس در دو طبقه بهره گرفته شده است که این میراگرها در ۸ دهانه از سازه تعبیه شده اند؛ میرایی اضافه شده به سازه (علاوه بر ۵٪ میرایی ذاتی سازه) در این طرح در حدود ۱۸ درصد

میرایی بحرانی در دو جهت است که به معنای کاهش حدود ۴۰٪ از میزان شتاب زلزله و ۴۰٪ کاهش در برش پایه می‌باشد. مقدار میرایی اضافه شده به سازه در اثر میراگرها با استفاده از تئوری دینامیک سازه‌ها که در آیین‌نامه‌های مختلف همانند استاندارد ASCE/SEI7-10 نیز ذکر گردیده است محاسبه می‌گردد؛ لازم به ذکر است که سختی میراگرها بر اساس سختی سکانتی در جابه‌جایی نهایی آنها باید در مدل وارد گردد تا نیرویی که در میراگر ایجاد می‌گردد و المان‌های سازه را تحت تاثیر قرار می‌دهد در طراحی نهایی المان‌ها دیده شود.

جدول شماره ۶ - مشخصات میراگرهای مورد استفاده در طرح اولیه ساختمان ۲ طبقه اسکلت فلزی کاشان

تعداد پره ها	ضخامت پره ها	ارتفاع پره ها	وزن هر میراگر	ظرفیت آزمایش شده میراگر
۶ پره	۳۰ میلی‌متر	۳۰ سانتی‌متر	حدود ۱۸۰ کیلوگرم	۱۶ سانتی‌متر

همچنین لازم به ذکر است که بر اساس استاندارد ASCE/SEI 7-10 ضریب کاهش در برش پایه از جدول شماره ۷ به دست می‌آید. گفتنی است که بر اساس استاندارد ذکر شده بنابر ملاحظات و در جهت اطمینان نمی‌توان برش پایه طراحی سیستم باربر جانبی را بیش از ۲۵ درصد حالت بدون میراگر کاهش داد.

در این قسمت لازم است برش پایه از روش نیروی جانبی معادل بر اساس برش پایه در دو مود اول و مود مانده با روابط مربوط که در استاندارد ASCE/SEI 7-10 وجود دارد محاسبه گردد؛ لازم به ذکر است که این فرآیند یک فرآیند تکراری است تا مقدار میرایی نهایی در دو راستای اصلی سازه به یک مقدار مشخص همگرا شود و سختی میراگرها

نیز بر اساس جابه‌جایی طبقات در اثر زلزله‌ی طرح به درستی در مدل وارد شود. در اینجا از بیان این فرآیند تکراری خودداری نموده و نتیجه نهایی را قرار داده‌ایم.

بر این اساس میزان ضریب زلزله نهایی طراحی سازه در اثر ترکیب مودهای اول و مانده برابر با مقدار زیر خواهد بود:

$$C_t = 0.15$$

یکی از نکات مهم در تعیین بار جانبی زلزله آن است که در روند محاسبات برش پایه سازه با میراگر از ضریب شکل‌پذیری برابر واحد استفاده شده است؛ بدان معنا که انتظار می‌رود سیستم باربر جانبی سازه در اثر زلزله طرح وارد محدوده غیرخطی نشود و الاستیک باقی بماند که این مسئله مهمی در سطح عملکرد سازه تحت زلزله طرح به شمار می‌رود.

جدول شماره 7 - ضریب کاهش پاسخ بر اساس مقدار میرایی

Effective Damping, β (percentage of critical)	$B_{v+I}, B_{1D}, B_R, B_{1M}, B_{mD}, B_{mM}$ (where period of the structure $\geq T_0$)
≤ 2	0.8
5	1.0
10	1.2
20	1.5
30	1.8
40	2.1
50	2.4
60	2.7
70	3.0
80	3.3
90	3.6
≥ 100	4.0

ترکیبات بارگذاری طراحی

مطابق حالت سازه بدون میراگر می‌باشند.

طراحی

پس از تحلیل سازه با بارهای موجود و ترکیبات بارگذاری معرفی شده اعضای سازه شامل تیرها و ستونها طراحی می‌شوند. لازم به ذکر است که تیرهای فرعی دو سر مفصل به صورت مرکب و سایر تیرها به صورت فلزی طراحی شده‌اند. پس از طرح اولیه مقاطع موجود (ستونها، تیرهای اصلی و مرکب) به بهینه‌ترین حالت ممکن بهینه شده‌اند. در **جدول شماره 8** وزن اسکلت سازه به تفکیک طبقه آورده شده است. در این حالت وزن کل اسکلت فلزی (عدد خام نرم‌افزار) برابر با ۶۶/۸ تن بوده است که با توجه به زیربنای سازه به عدد ۹۴/۵۳ کیلوگرم به ازای هر متر مربع از زیربنای سازه می‌رسیم.

جدول شماره 8 - وزن اسکلت فلزی به تفکیک نوع المان و طبقه و جمع کل در طرح با میراگر تدس

Story	Element Type	Total Weight kgf	Floor Area m ²	Unit Weight kgf/m ²
KH	Column	2774.38	28.7	96.67
KH	Beam	1172.68	28.7	40.86
ROOF	Column	10329.03	336.31	30.71
ROOF	Beam	2069.69	336.31	6.15
ROOF	Beam	12359.29	336.31	36.75
ROOF	Brace	720.99	336.31	2.14
STORY1	Column	17693.02	336.31	52.61
STORY1	Beam	880.04	336.31	2.62
STORY1	Beam	17204.77	336.31	51.16
STORY1	Brace	1092.22	336.31	3.25
SUM	Column	30796.42	701.32	43.91
SUM	Beam	4122.41	701.32	5.88
SUM	Beam	29564.07	701.32	42.15
SUM	Brace	1813.21	701.32	2.59
TOTAL	ALL	66749.41	701.32	94.53

در وزن سازه مسلح به میراگر، وزن قطری‌های نگهدارنده میراگر و اتصالات مورد نیاز نیز دیده شده است؛ همچنین از همان مقاطع طرح بدون میراگر استفاده شده است.

پس از طراحی سازه میزان پاسخ نهایی جابه‌جایی در سازه مسلح به میراگر در اثر زلزله طرح محاسبه می‌گردد؛ مقادیر پاسخ و نسبت بیشینه پاسخ به ارتفاع طبقه در جدول شماره ۹ آمده است. هر چند بیان دقیق این مسئله نیاز به انجام تحلیل عملکردی کامل دارد اما با یک حساب ساده بر اساس تحلیل استاتیکی صورت گرفته و با توجه به مفاهیم و کلیات سطوح عملکردی مشخص می‌گردد که حد عملکردی سازه در سازه با میراگر به **سطح عملکردی خدمت-رسانی بی‌وقفه ارتقا یافته است**. (در سازه‌های قاب خمشی در صورتی که دریفت از ۰/۰۱ ارتفاع تجاوز ننماید می‌توان گفت که المان‌های سیستم باربر جانبی تسلیم نشده و الاستیک باقی خواهند ماند).

جدول شماره ۹ - پاسخ جابه‌جایی سازه مسلح به میراگر و مقدار مجاز

جابه‌جایی کل X (میلی‌متر)	جابه‌جایی کل Y (میلی‌متر)	دریفت X (میلی‌متر)	دریفت Y (میلی‌متر)	نسبت بیشینه دریفت به ارتفاع طبقه برای دو راستای اصلی	
۶۹	۷۰	۶۹	۷۰	۰/۰۰۹۶ (معادل خدمت رسانی بی‌وقفه)	طبقه اول
۱۰۱	۱۰۸	۳۲	۳۸	۰/۰۰۸۹ (معادل خدمت رسانی بی‌وقفه)	طبقه دوم (بام)

مقایسه‌ی دو سازه (بدون میراگر و مسلح به میراگر تدسی)

۱ – مقایسه هزینه‌ای دو سازه.

همانگونه که بررسی‌ها نشان داد وزن مورد نیاز در واحد زیربنای سازه برای سازه بدون میراگر برابر با $۱۰۷/۳$ کیلوگرم و برای سازه مسلح به میراگر برابر با $۹۴/۵$ کیلوگرم می‌باشد که **کاهش حدود ۱۵ درصدی را نشان می‌دهد.** لازم به ذکر است که شرایط بارگذاری، مقاطع مورد استفاده، طرح و محاسبه و روند تیپ‌بندی مقاطع در دو حالت کاملاً یکسان و مشابه است.

از لحاظ قیمت و هزینه در حدود ۸۵۰۰ کیلوگرم در وزن تیرهای اصلی و ستون‌ها صرفه‌جویی می‌شود – وزن تیرهای فرعی با توجه به اینکه تنها بار ثقلی را متحمل می‌شوند کاهش نخواهد یافت – که با توجه به ردیف‌های ۰۹۰۱۰۶ و نیز ۰۹۰۲۱۵ از فهرست‌بهای واحد رشته ابنیه سال ۱۳۹۵ قیمت تهیه، ساخت و نصب تیر اصلی و ستون قوطی شکل از ورق برابر با حدود ۳۱۰۰ تومان به ازای هر کیلوگرم می‌باشد. (ر.ک به جدول شماره ۱۰) در صورتی که یک ضریب برابر با $۱/۲$ به عنوان ضریب بالاسری در نظر گرفته شود – قیمت واحد تهیه، ساخت و نصب حدود ۳۷۰۰ تومان لحاظ گردد که عدد معقولی برای ساختمان دو طبقه به نظر می‌رسد – قیمت تهیه، ساخت و نصب این ۸۵۰۰ کیلوگرم برابر با حدود $۳۱,۵۸۰,۰۰۰$ تومان (سی و یک میلیون و پانصد و هشتاد هزار تومان) خواهد بود.

بر اساس برآورد‌های انجام شده هزینه طراحی، ساخت و نصب میراگرها و نیز طراحی سازه مسلح به میراگر، تهیه و ارایه نقشه‌های اجرایی پی و سازه در حدود همان عدد فوق خواهد بود.

تهیه و نصب ستون مسجل از یک یا چند تیرآهن یا ناودانی یا نبشی، که وصله های اتصال و یا ورقهای تقویتی در آن به کار رفته باشد، به طور کامل.	کیلوگرم	۲۵,۱۰۰	۰۶۰۱۰۱
تهیه، ساخت و نصب ستونهای مشبک از انواع تیرآهن، ناودانی، نبشی و مانندآن، با جوشکاری، ساییدن، وصله و اتصالهای مربوط به ساخت آنها.	کیلوگرم	۲۵,۸۰۰	۰۹۰۱۰۵
تهیه و نصب ستون از ورق با مقطع چهارگوش، H و شکل های دیگر.	کیلوگرم	۳۱,۱۰۰	۰۹۰۱۰۶
تهیه و کار گذاشتن تیر ساده (تیرریزی ساده) از یک تیرآهن.	کیلوگرم	۲۰,۱۰۰	۰۹۰۲۰۱
تهیه، ساخت و کار گذاشتن تیر، ساده (تیرریزی ساده) از دو یا چند تیرآهن با اتصالهای مربوط و یا به طریق جوشکاری مستقیم به یکدیگر.	کیلوگرم	۲۴,۹۰۰	۰۹۰۲۰۲

تهیه و ساخت تیرهای مشبک به اشکال مختلف، متشکل از تیرآهن، ناودانی نبشی، سپری، ورق و تسمه و نصب آن برای دهانه بیش از ۲۰ متر تا ۳۰ متر در هر ارتفاع، شامل شابلون سازی بریدن، جوشکاری و ساییدن با وصله های اتصال و قطعات اتصالی به اعضای دیگر.	کیلوگرم	۲۴,۲۰۰	۰۹۰۲۱۴
تهیه، ساخت و نصب تیر و یا تیرهای حمال از ورق به شکل تیر آهن یا اشکال دیگر با ورق های اتصالی وصله های تقویتی لازم با برشکاری، جوشکاری و ساییدن همراه با جوشکاری در محل اتصال با عضو دیگر.	کیلوگرم	۳۱,۰۰۰	۰۹۰۲۱۵
اضافه بها به ردیف های ۰۹۰۱۰۶ و ۰۹۰۲۱۵ در صورتی که برای نصب اسکلت به جای جوش از پیچ و مهره استفاده شود همراه با سوراخ کاری.	کیلوگرم	۲,۰۰۰	۰۹۰۲۱۶

جدول شماره ۱۰ - فهرست بهای واحد رشته ابنیه (بخش ستون و تیرهای اصلی)

۲ - مقایسه عملکردی دو سازه.

پیشینه نسبت دریافت به ارتفاع طبقه برای دو راستای اصلی برای سازه بدون میراگر در زلزله طرح استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش چهارم برابر با حدود ۰/۰۱۸ می باشد که عملکرد این سازه معادل سطح عملکردی ایمنی جانی می باشد؛ حال

آنکه این عدد برای سازه مسلح به میراگر به حدود $0/0096$ کاهش یافته است که می توان گفت عملکرد این سازه معادل سطح عملکردی قابلیت خدمت رسانی بی وقفه می باشد. بنابر این عملکرد سازه به طرز چشمگیری بهبود یافته است.

ضمن اینکه در روند طراحی سازه مسلح به میراگر تقاضای شکل پذیری سیستم باربر جانبی سازه برابر با ۱ در نظر گرفته شد؛ بدین معنا که المان های سازه تحت زلزله طرح وارد محدوده ی غیرخطی خود نمی شوند. این مسئله اثبات دیگری بر مدعای افزایش سطح عملکرد از ایمنی جانی به خدمت رسانی بی وقفه می باشد.

جمع بندی

در پایان می توان گفت که از مقدار صرفه جویی در میزان آهن آلات مصرفی در اسکلت سازه، هزینه ی طرح سازه مسلح به میراگر تدس و پی، ارایه نقشه های اجرایی سازه مسلح به میراگر تدس و پی، هزینه طراحی، ساخت و نصب میراگرهای تدس تامین می گردد. در این حال علاوه بر آنکه سازه بدون هیچ هزینه ای - و حتی با کمی برگشت سرمایه ناشی از صرفه جویی در هزینه طرح و ارایه نقشه های اجرایی سازه و پی - مسلح به میراگر تدس شده است، با توجه به کاهش حدود ۴۵ درصدی میزان پاسخ جابه جایی در زلزله طرح و نیز الاستیک ماندن المان های سیستم باربر جانبی در اثر زلزله طرح عملکرد بسیار مناسب تری نسبت به سازه بدون میراگر خواهد داشت.