

رفتار لرزه‌ای قاب‌های خمشی فولادی با ترکیبی از اتصالات گیردار و نیمه‌گیردار

یوسف حسین‌زاده	استادیار دانشکده عمران، دانشگاه تبریز
مهدی قلی‌پور فیضی	هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد صوفیان
علاء الدین بهروش	استاد دانشکده عمران، دانشگاه تبریز

چکیده

رفتار لرزه‌ای قاب‌های خمشی فولادی دوگانه با ترکیبی از اتصالات گیردار و نیمه‌گیردار ارزیابی شده است. به این منظور پاسخ دینامیکی غیرخطی سه گروه قاب سه، هشت و پانزده طبقه با اتصالات گیردار، نیمه‌گیردار و ترکیب‌های مختلف از اتصالات گیردار و نیمه‌گیردار، تحت اثر پنج رکورد زلزله تعیین و در تراز خرابی قاب گیردار مقایسه شده‌اند. این بررسی‌ها نشان می‌دهند که در تمام قاب‌ها، حالتی از نیمه‌گیرداری و آرایش اتصالات را می‌توان یافت که به لحاظ برش پایه و تغییرمکان نسبی طبقات بهتر از قاب گیردار رفتار کند. این طرح بهینه قاب با توجه به مشخصات هندسی و مکانیکی قاب، مشخصات رکورد زلزله طراحی، سختی و مقاومت اتصالات تعیین می‌شود.

کلمات کلیدی: اتصالات نیمه‌گیردار، قاب‌های خمشی دوگانه فولادی، رفتار لرزه‌ای، برش پایه، تغییرمکان نسبی طبقات، حالت حدی خرابی.

Seismic Performance of Steel Moment-Resisting Frames with Mixed Use of Rigid and Semi-Rigid Connections

Y. Hossein Zadeh	Civil Engineering Faculty, University of Tabriz
M. Gholipour Feizi	Civil Engineering Faculty, Azad University of Sufian
A. Behravesht	Civil Engineering Faculty, University of Tabriz

Abstract

Seismic performance of dual steel moment-resisting frames with mixed use of rigid and semi-rigid connections is investigated. To this end, nonlinear seismic response of three groups of frames with three, eight and fifteen story is evaluated. These frames with rigid, semi-rigid and combined configuration of rigid and semi-rigid connections are subjected to five earthquake records and in ultimate limit state of rigid frame, their response is compared. This study shows that in all frames, it can be find a state of semi-rigidity and connections configuration which behaves better than rigid frame, because of base shear and storey drifts. This optimization should be done with respect to the factors such as geometrical and mechanical properties of frame, strength and rigidity of connections and properties of design earthquake record.

Key words: Semi-rigid connections, Dual steel Moment-Resisting frames, Seismic behavior, base shear, Story drift, Collapse limit state.

۱- مقدمه

قاب فولادی با اتصالات گیردار جوشی تا قبل از زلزله‌های ۱۹۹۴ نورتریج و ۱۹۹۵ کوبه، به عنوان سیستم سازه‌ای شکل‌پذیر مورد توجه طراحان سازه بود. در اثر این زلزله‌ها، تعداد قابل توجهی از ساختمان‌هایی که در آنها از سیستم قاب خمشی فولادی با اتصالات گیردار جوشی استفاده شده بود، دچار خرابی‌هایی در ناحیه اتصالات تیر به ستون شدند. یکی از علل اصلی این خرابی‌ها شکل‌پذیری کم و تمرکز تنش در ناحیه جوش شده اتصالات گیردار بود [۱]. بعد از این زلزله، محققین در پی یافتن جایگزینی مناسب برای اتصالات گیردار جوشی برآمدند. تحقیقات نشان می‌دهند که قاب‌های با اتصالات نیمه‌گیردار پیچی در برخی شرایط، تحت اثر نیروهای زلزله رفتار بهتری در مقایسه با قاب‌های گیردار از خود نشان می‌دهند [۲]. اتصالات پیچی نیمه‌گیردار با ظرفیت خمشی کمتر نسبت به اتصالات جوشی گیردار، شکل‌پذیری قابل توجه و ظرفیت چرخش پلاستیک بیشتری دارند. ظرفیت چرخش پلاستیک بیشتر اتصالات نیمه‌گیردار، آنها را قادر می‌سازد که بدون ایجاد خرابی مشابه خرابی‌های اتصالات جوشی، بصورت غیرالاستیک تغییرشکل دهند.

تغییرمکان نسبی زیاد طبقات قاب‌های نیمه‌گیردار بویژه در قاب‌های بلند، یکی از موانع عمده کاربرد اتصالات نیمه‌گیردار می‌باشد. اعتقاد عده‌ای از محققین بر این است که با استفاده از ترکیبی از اتصالات گیردار و نیمه‌گیردار (قاب دوگانه)، ضمن حذف مشکل تغییر مکان نسبی زیاد، می‌توان از مزایای اتصالات نیمه‌گیردار نیز بهره برد [۵]. به این ترتیب با ترکیب اتصالات گیردار و نیمه‌گیردار، بدون افزایش در ابعاد اعضا می‌توان محدودیت تغییرمکان نسبی طبقات را برآورده نمود. در قاب‌های دوگانه، اتصالات نیمه‌گیردار شکل‌پذیری لازم را تأمین نموده و با تسلیم در زلزله‌های مخرب، انرژی زلزله و تغییر شکل‌ها را جذب خواهند نمود و اتصالات گیردار نیز با تأمین سختی جانبی، از تغییر مکان جانبی زیاد قاب جلوگیری خواهند نمود.

استفاده از اتصالات نیمه‌گیردار کاهش پیچیدگی اتصال، حذف سخت‌کننده‌ها و صرفه‌جویی در هزینه اجرای قاب را در پی خواهد داشت [۳]. برخی آئین‌نامه‌های ساختمانی از جمله آئین‌نامه ۲۸۰۰ زلزله ایران (پیوست ۲) [۴] با محدود ساختن حداقل مقاومت اتصال به $1/25$ برابر مقاومت تیر، محل تشکیل مفصل پلاستیک را از ناحیه اتصال به تیر متصل به آن منتقل

می‌نمایند. در این حالت نشان داده شده است که هزینه اجرای قاب به خاطر افزایش دستمزد اجرای اتصالات ۲۰ درصد افزایش می‌یابد [۵]. بیشتر اتصالات نیمه‌گیردار، پیچی بوده و در صورت آسیب دیدن حین زلزله، به سادگی و با هزینه کم قابل تعمیر می‌باشند که از دیدگاه مقاوم‌سازی لرزه‌ای سازه‌های آسیب‌دیده، یک مزیت به‌شمار می‌آید [۵].

دابینا و همکاران [۳ و ۵] مناسب بودن رفتار قاب‌های نیمه‌گیردار را در نواحی زلزله‌خیز روی یک قاب سه دهانه شش طبقه دو بعدی مطالعه نمودند. پارامتر اصلی مقایسه، شکل مکانیزم خرابی و لنگر خمشی اعضا بود. آنها به این نتیجه رسیدند که در قاب‌های واقع بر خاک‌های گروه I و II، نیمه‌گیرداری اتصالات باعث بهبود رفتار قاب بوده و در مقابل باعث افزایش تغییر مکان نسبی و در نتیجه پائین آمدن ظرفیت قاب می‌شود. به عنوان نمونه، مقاومت کم اتصال در یک مورد (قاب DU2) باعث کاهش بیش از حد ظرفیت و برآورده نشدن معیار تغییرمکان نسبی شده است.

کیشی و همکاران [۶] استفاده از قاب‌های دوگانه را در ساختمان‌های چهار دهانه هشت طبقه بررسی نمودند. تعداد اتصالات نیمه‌گیردار به عنوان معیار مقایسه هزینه اجرای قاب انتخاب و با تحلیل چهار قاب با آرایش‌های مختلف اتصالات نیمه‌گیردار تحت اثر نیروی باد نشان داده شد که می‌توان با انتخاب مناسب سختی و موقعیت اتصالات نیمه‌گیردار، ضمن کنترل تغییرمکان نسبی با افزایش تعداد اتصالات نیمه‌گیردار در هزینه اجرای قاب صرفه‌جویی نمود.

بولنت و شن [۷] با مطالعه رفتار قاب‌های دوگانه نشان دادند که در این قاب‌ها، سختی اولیه اتصالات گیردار، تغییر مکان نسبی طبقات را در زلزله سطح بهره‌برداری محدود می‌نماید. از طرف دیگر، شکل‌پذیری، ظرفیت استهلاک انرژی و رفتار چرخه ای نسبتاً پایدار اتصالات نیمه‌گیردار در زلزله طرح، باعث جلوگیری از تمرکز تنش در اتصالات گیردار شده و از نیاز به شکل‌پذیری در اعضا می‌کاهد. بولنت و شن [۸] در مطالعه‌ای دیگر رفتار ساختمان‌های دوگانه پنج و ده طبقه را بررسی نمودند. در این ساختمان‌ها، قاب‌های پیرامونی گیردار و قاب‌های داخلی مفصلی یا نیمه‌گیردار بودند. آنها نشان دادند که با استفاده از قاب‌های دوگانه در نواحی با خطر نسبی بالای زلزله، می‌توان با افزایش ظرفیت باربری جانبی سیستم و کاستن از

تیرها و همچنین در پای ستون‌های طبقه اول تشکیل شده و مکانیزم شکست طبقه نرم با ایجاد مفصل‌های پلاستیک در بالا و پایین تمام ستون‌های یک طبقه ایجاد نشود.

۳-۲- مکانیزم چرخش زاویه‌ای اتصال

در صورتی که امکان تشکیل مفصل پلاستیک در اتصالات فراهم شود، این اتصالات باید قادر به تحمل چرخش‌های پلاستیک باشند. آیین‌نامه اروپا حداقل ظرفیت چرخش پلاستیک اتصال را 0.03 رادیان پیشنهاد نموده است [۵].

۴-۲- شکل‌پذیری تیرها و ستون‌ها

اگر مفصل پلاستیک در تیرها یا ستون‌ها ایجاد شود، مقاطع تیرها و ستون‌ها باید بدون کمانش قادر به تأمین چرخش مورد نیاز این مفصل‌ها باشند. ظرفیت چرخش پلاستیک تیرها و ستون‌ها از رابطه زیر بدست می‌آید [۱۰]:

$$\theta_u = (1 + R_{av}) \frac{M_p L_{sb}}{E_b I_b} \quad (1)$$

مقدار R_{av} تیرها و ستون‌ها به ترتیب از روابط (۲) و (۳) بدست می‌آید.

$$R_{av} = \frac{423 \times 10^4 t_f [0.8 + 0.2(f_{yw}/f_{yf})]}{(b - 0.5t_w - 0.8r)L_{sb}f_{yw}} \quad (2)$$

$$R_{av} = \frac{165b(1 + 44.2n_p)(\bar{\lambda} \frac{b}{t_f} \sqrt{f_y})^{-1.25 + 0.9n_p}}{b - 0.5t_w - 0.8r} \quad (3)$$

در روابط فوق:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{N(L_{sb})^2}{\pi^2 E_b I_b}} \quad (4)$$

$$n_p = \frac{N}{N_p} \quad (5)$$

بر اساس مفاد آیین‌نامه ۲۸۰۰ [۴]، پس از محاسبه برش پایه و توزیع آن در ارتفاع قاب، با انجام تحلیل استاتیکی و در

برش پایه و لنگر خمشی ستون‌ها و اتصالات، به طرح‌های بهینه‌ای دست یافت. در این بررسی معیاری برای صرفه‌جویی هزینه اجرای قاب ارائه نشده است.

در این مقاله رفتار دینامیکی سیستم قاب دوگانه مورد بررسی قرار گرفته و با رفتار قاب گیردار و نیمه‌گیردار کامل مقایسه شده است. به این منظور پاسخ دینامیکی غیرخطی سه گروه قاب سه، هشت و پانزده طبقه با اتصالات‌گیردار، نیمه‌گیردار و ترکیبی از این دو، تحت اثر پنج رکورد زلزله تعیین و در تراز خرابی قاب گیردار مقایسه شده‌اند. در این حالت اثر مقاومت و سختی اتصال در رفتار دینامیکی قاب‌ها ارزیابی شده است. نرم‌افزار [۹] Drain-2DX برای تحلیل دینامیکی غیرخطی قاب‌ها بکار رفته است. برش پایه، تغییر مکان نسبی طبقات، شکل‌پذیری اعضا و اتصالات و مکانیزم شکست طبقه نرم، معیارهای بکار رفته برای مقایسه رفتار قاب‌ها در این تحقیق می‌باشند.

۲- معیارهای خرابی قاب‌ها

برای بررسی پاسخ دینامیکی غیرخطی قاب‌ها، از تراز خرابی قاب گیردار به عنوان تراز مقایسه استفاده شده است. به این منظور، با انجام تحلیل‌های متوالی برای قاب گیردار هر گروه تحت اثر پنج رکورد زلزله، شتاب نظیر خرابی محاسبه و با اعمال این شتاب به سایر قاب‌های گروه، پاسخ دینامیکی آنها تعیین شده است. برای تعیین حالت حدی خرابی قاب، معیارهای تغییر مکان نسبی مجاز طبقات، مکانیزم شکست طبقه نرم و حداکثر ظرفیت دورانی اعضا و اتصالات در نظر گرفته شده‌اند.

۲-۱- تغییر مکان نسبی طبقات

برای کنترل سازه و جلوگیری از وارد آمدن خسارات کلی به سازه، تغییر مکان نسبی طبقات نباید از حد معینی بیشتر باشد. در تراز خرابی تغییر مکان نسبی مجاز طبقات، 0.03 ارتفاع طبقه در نظر گرفته می‌شود [۴].

۲-۲- مکانیزم شکست طبقه نرم

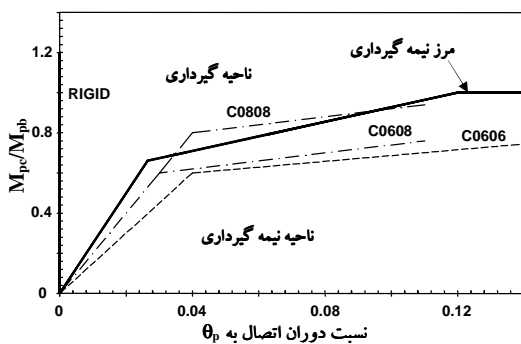
با پیروی از فلسفه طرح تیر ضعیف و ستون قوی، طرح اسکلت‌های فولادی باید چنان باشد که مفصل پلاستیک در

جدول ۱- مشخصات اعضای قاب‌های سه، هشت و پانزده طبقه

تیر	ستون داخلی	ستون خارجی	طبقات	قاب
W18×175	W14×283	W14×211	1	سه طبقه
W18×119	W14×211	W14×145	2-3	
W24×335	W14×550	W14×370	1-2	هشت طبقه
W24×279	W14×370	W14×257	3-4	
W24×192	W14×257	W14×211	5-6	
W24×131	W14×211	W14×193	7-8	
W36×650	W14×730	W14×665	1-4	پانزده طبقه
W36×439	W14×665	W14×455	5-6	
W36×280	W14×455	W14×426	7-8	
W36×245	W14×426	W14×398	9-10	
W36×210	W14×398	W14×342	11-12	
W36×194	W14×342	W14×311	13-15	

جدول ۲- مشخصات اتصالات

اتصال	مقاومت اتصال	سختی اتصال
RIGID	1.2 M _{pl,beam}	∞
C0808	0.8 M _{pl,beam}	0.8 K _{sup}
C0608	0.6 M _{pl,beam}	0.8 K _{sup}
C0606	0.6 M _{pl,beam}	0.6 K _{sup}



شکل ۲- موقعیت اتصالات در سیستم طبقه‌بندی آیین‌نامه اروپا

۵- مشخصات نمونه‌های تحلیلی

قاب‌ها به سه گروه سه، هشت و پانزده طبقه تقسیم شده‌اند. هر گروه شامل یک قاب با اتصالات گیردار، یک قاب با

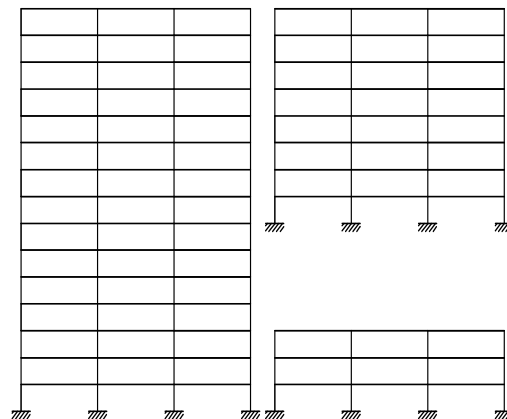
نظرگرفتن هر دو حالت رفت و برگشت زلزله، نیروی محوری ستون‌ها (N) تعیین می‌شود.

۳- مشخصات هندسی و مصالح قاب‌ها

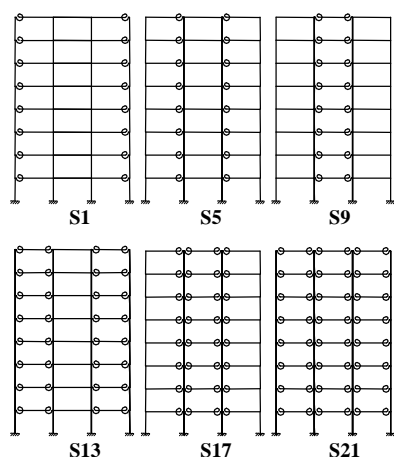
رفتار قاب‌های نشان داده شده در شکل (۱) مورد بررسی قرار گرفته است. مشخصات اعضای این قاب‌ها در جدول (۱) ذکر گردیده است. سلازر و هالدار این قاب‌ها را طراحی و رفتار آنها بررسی نموده‌اند [۱۱]. تیرها و ستون‌های قاب‌ها به ترتیب از فولاد A36 و G50 با حد تسلیم ۲۵۰ و ۳۴۵ مگاپاسکال می‌باشند. بار مرده و زنده به ترتیب برابر ۴/۹ و ۲/۵ کیلونیوتن بر مترمربع و ضریب استهلاک قاب‌ها پنج درصد در نظر گرفته شده است. دهانه، ارتفاع طبقات و عرض بارگیر قاب‌ها به ترتیب برابر ۷/۳۲، ۳/۶۶ و ۷/۳۲ متر می‌باشند.

۴- اتصالات تیر به ستون

برای بررسی اثر اتصالات در رفتار قاب‌های فولادی، علاوه بر اتصال گیردار، از سه نوع اتصال نیمه‌گیردار مطابق جدول (۲) استفاده شده است. شکل (۲) موقعیت این اتصالات را در سیستم طبقه‌بندی آیین‌نامه اروپا نشان می‌دهد. بر اساس این آیین‌نامه، مقدار سختی اتصال برابر با $K_{sup}=25E_bI_b/L_b$ مرز ناحیه نیمه‌گیرداری با ناحیه گیرداری بوده و $\theta_p = M_{pb} / (E_b \cdot I_b / 5d_{br})$ دوران نظیر مقاومت پلاستیک تیری به طول $5d_{be}$ می‌باشد [۳].



شکل ۱- هندسه قاب‌ها [۱۱]



شکل ۴- قاب‌های دوگانه و نیمه گیردار هشت طبقه

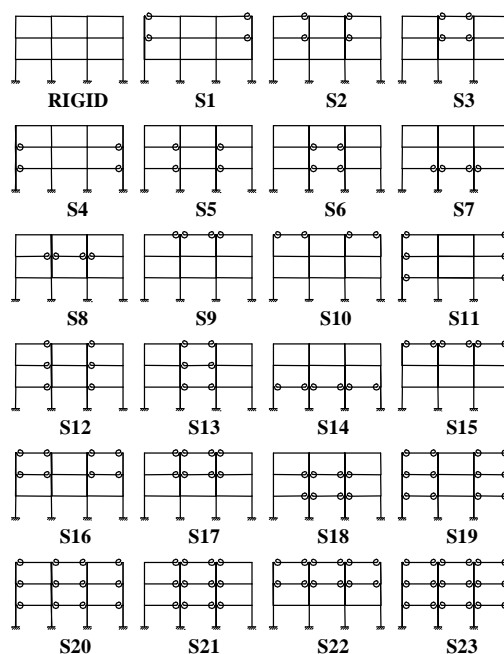
۶- مدل‌سازی قاب‌ها و اتصالات

تحلیل دینامیکی غیرخطی قاب‌ها توسط برنامه Drain-2DX [۹] انجام گرفته است. برای مقاطع تیرها و ستون‌ها از المان شماره دو استفاده شده است. این المان‌ها، امکان ایجاد مفصل‌های پلاستیک را در دو انتهای خود دارا می‌باشند. اتصالات با استفاده از المان شماره چهار مدل شده‌اند. این المان‌ها دارای خاصیت خمشی بوده و از مدل دوخطی برای معرفی رابطه لنگر- دوران اتصالات استفاده شده است. برای تعریف المان اتصال، سه مقدار سختی اولیه، مقاومت تسلیم و نسبت سختی ناحیه سخت‌شوندگی به سختی اولیه اتصال برابر ۰/۱ معرفی می‌شوند. جرم‌ها بصورت متمرکز در طول تیرها مدل شده‌اند و حرکت زلزله بصورت شتاب تکیه‌گاهی اعمال می‌شود. در تحلیل‌های دینامیکی از اثر $P-\Delta$ به خاطر در نظر نگرفتن شتاب قائم زلزله، صرف‌نظر شده است [۹].

پاسخ دینامیکی یک قاب بستگی به مشخصات ارتعاشی رکورد زلزله دارد. برای تعمیم نتیجه‌گیری‌ها از پنج رکورد السنترو مؤلفه S00E (۱۹۴۰)، کوبه مؤلفه NS (۱۹۹۵)، سیلمار نورتریج مؤلفه 360 درجه (۱۹۹۴)، طبس مؤلفه 344 (۱۹۷۹) و تفت مؤلفه E21N (۱۹۵۲) استفاده شده است. گام زمانی تمامی رکوردها، ۰/۰۲ ثانیه می‌باشد. شتابنگاشت‌های مقیاس شده، با ضرایب افزایش یابنده به قاب‌ها اعمال و تحلیل دینامیکی غیرخطی انجام می‌گیرد تا حالت خرابی و ضریب شتاب نظیر خرابی تعیین شود.

اتصالات نیمه‌گیردار و قاب‌های دوگانه با حالت‌های مختلفی از ترکیب اتصالات گیردار و نیمه‌گیردار می‌باشد. شکل (۳)، ترکیب مختلف از توزیع اتصالات نیمه‌گیردار قاب سه طبقه را با علائم اختصاری S1 تا S23 نشان می‌دهد. این گروه با در نظر گرفتن سه نوع اتصال C0606 و C0608، C0808 برای هر کدام از اتصالات نیمه‌گیردار، شامل ۷۰ نمونه خواهد شد. گروه قاب‌های هشت طبقه مطابق شکل (۴) علاوه بر قاب گیردار، ۲۴ قاب دوگانه و نیمه‌گیردار کامل را شامل می‌شود. برای هر یک از نمونه‌های نشان داده شده در شکل به ترتیب با گیردار کردن طبقه یک، طبقات یک و دو و طبقات یک و هشت، سه حالت بعدی بوجود می‌آیند.

گروه پانزده طبقه یک قاب گیردار، ۲۴ قاب دوگانه و یک قاب نیمه‌گیردار کامل را شامل می‌شود که در شکل (۵) نشان داده شده‌اند. برای هر یک از نمونه‌های نشان داده شده در شکل، به ترتیب با گیردار کردن طبقات ۱ و ۲، ۱ تا ۴ و ۱ و ۲، ۱۴، ۱۵، سه حالت بعدی بوجود می‌آید.



شکل ۳- قاب‌های دوگانه و گیردار سه طبقه

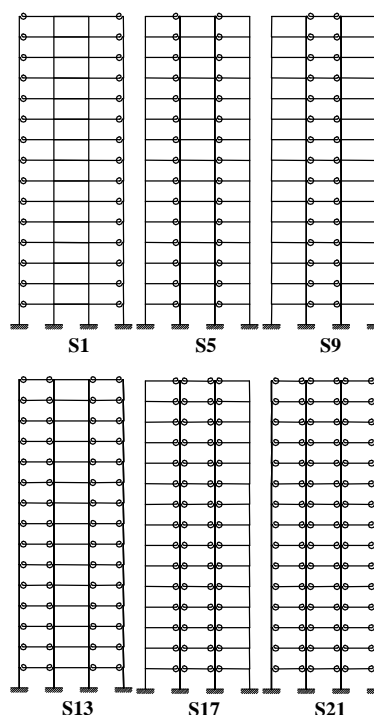
است. برای قاب‌های هشت و پانزده طبقه نیز رفتار مشابهی مشاهده شده است و در اینجا تنها بحث روی قاب‌های سه طبقه انجام می‌شود. قاب گیردار کوتاه‌ترین پریود را دارد، با افزایش تعداد اتصالات نیمه‌گیردار، پریود قاب افزایش می‌یابد و قابی که تمام اتصالات آن نیمه‌گیردار باشد، بیشترین پریود را دارد. گیردار نمودن طبقات پائین تأثیر مهمی در نزدیک ساختن پریود و در نتیجه رفتار قاب به رفتار قاب گیردار دارد.

جدول ۳- پریود قاب‌های نیمه‌گیردار و دوگانه (Sec)

سختی قاب	قاب سه طبقه		قاب هشت طبقه		قاب پانزده طبقه	
	0.6K _{sup}	0.8K _{sup}	0.6K _{sup}	0.8K _{sup}	0.6K _{sup}	0.8K _{sup}
S1	0.535	0.533	0.927	0.920	1.174	1.167
S2	0.535	0.533	0.923	0.917	1.170	1.164
S3	0.534	0.532	0.918	0.914	1.166	1.161
S4	0.541	0.538	0.923	0.917	1.169	1.164
S5	0.540	0.537	0.923	0.917	1.165	1.161
S6	0.538	0.536	0.919	0.914	1.162	1.158
S7	0.540	0.537	0.915	0.911	1.160	1.156
S8	0.540	0.537	0.919	0.914	1.162	1.158
S9	0.530	0.529	0.923	0.918	1.174	1.168
S10	0.530	0.529	0.920	0.915	1.172	1.165
S11	0.543	0.539	0.915	0.912	1.168	1.162
S12	0.542	0.538	0.919	0.915	1.171	1.165
S13	0.540	0.537	0.951	0.939	1.195	1.183
S14	0.549	0.543	0.943	0.933	1.188	1.178
S15	0.532	0.531	0.934	0.926	1.181	1.173
S16	0.544	0.540	0.943	0.933	1.187	1.177
S17	0.544	0.540	0.952	0.939	1.197	1.184
S18	0.554	0.548	0.944	0.933	1.191	1.180
S19	0.559	0.551	0.935	0.926	1.184	1.175
S20	0.560	0.552	0.943	0.933	1.190	1.179
S21	0.559	0.551	0.983	0.963	1.228	1.208
S22	0.554	0.548	0.971	0.953	1.218	1.200
S23	0.578	0.565	0.957	0.942	1.207	1.192
S24	-	-	0.970	0.953	1.217	1.199

جدول ۴- پریود قاب‌های گیردار (Sec)

قاب	قاب سه طبقه	قاب هشت طبقه	قاب پانزده طبقه
RIGID	0.526	0.898	1.145



شکل ۵- قاب‌های دوگانه و نیمه‌گیردار پانزده طبقه

۷- نتایج تحلیل

رفتار سه گروه قاب، تحت اثر پنج رکورد انتخابی و در تراز خرابی قاب گیردار هر گروه تعیین و ارزیابی شده است. با تغییر سختی و مقاومت اتصالات و انتخاب آرایش مختلف برای آنها در قاب، تعداد و نحوه توزیع مفصل‌های پلاستیک و در نتیجه مکانیزم خرابی قاب بررسی شده است. در این قاب‌ها، معیار تغییر مکان نسبی طبقات، معیار خرابی حاکم بوده و مکانیزم‌های شکست طبقه نرم و حداکثر ظرفیت دورانی اعضا و اتصالات تعیین کننده خرابی قاب‌ها نمی‌باشند.

۷-۱- پریود قاب‌ها

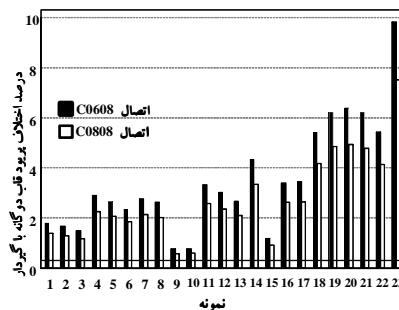
در محاسبه پریود مودهای ارتعاشی، سختی اتصالات تعیین کننده بوده و ظرفیت خمشی اتصالات بی تأثیر است. پریود اصلی قاب‌های سه، هشت و پانزده طبقه در جداول (۳) و (۴) ارائه شده‌اند. شکل (۶) درصد اختلاف پریود اصلی قاب‌های دوگانه سه طبقه را با قاب گیردار سه طبقه نشان می‌دهد. در این شکل اثر تعداد، موقعیت و سختی اتصالات نیمه‌گیردار روی پریود قاب‌های سه طبقه نشان داده شده

نسبت حداکثر برش پایه و Drift نسبت حداکثر تغییر مکان نسبی طبقات قاب‌های دوگانه یا نیمه‌گیردار به قاب گیردار می‌باشند. طرح بهینه قاب‌ها با توجه به معیارهای برش پایه، تغییر مکان نسبی طبقات، شکل‌پذیری مورد نیاز اعضای قاب و احتمال وقوع مکانیزم شکست طبقه نرم انتخاب می‌شود. در حالت کلی در تمام قاب‌ها، حالتی از نیمه‌گیرداری و آرایش اتصالات را می‌توان یافت که قاب دوگانه یا نیمه‌گیردار با توجه معیارهای انتخابی بهتر از قاب‌گیردار رفتار کند. این طرح بهینه قاب به مشخصات هندسی و مکانیکی قاب، سختی و مقاومت اتصالات بستگی دارد. قاب S10 در قاب‌های سه طبقه و قاب S9 در قاب‌های هشت طبقه، دارای رفتار بهینه لرزه‌ای می‌باشند. قاب نیمه‌گیردار S21 در قاب‌های پانزده طبقه، قاب با مناسب‌ترین رفتار می‌باشد، در این قاب محدودیت تغییر مکان نسبی طبقات برآورده نمی‌شود. در ادامه نخست اثر سختی و مقاومت اتصالات و سپس اثر موقعیت و تعداد اتصالات نیمه‌گیردار در رفتار قاب‌های دوگانه و نیمه‌گیردار بررسی شده است.

۲-۱-۱- اثر سختی و مقاومت اتصالات

قاب نیمه‌گیردار S21 پانزده طبقه و قاب‌های دوگانه S10 سه طبقه و S9 هشت طبقه تحت اثر رکوردهای انتخابی مناسب‌ترین رفتار را نشان دادند. در هر سه قاب حداکثر برش پایه ایجاد شده به برش پایه قاب گیردار گروه همواره کوچکتر از یک بوده و به استثنای قاب S21 پانزده طبقه، حداکثر تغییر مکان نسبی طبقات کمتر از مقدار نظیر در قاب گیردار می‌باشد. نمودارهای شکل (۷) نسبت‌های برش پایه، تغییر مکان نسبی و چرخش پلاستیک اعضای قاب دوگانه S9 هشت طبقه به مقادیر نظیر در قاب گیردار را نشان می‌دهند. در قاب‌های سه و پانزده طبقه نیز رفتار مشابهی مشاهده می‌شود با این تفاوت که تغییر مکان‌های نسبی ایجاد شده در قاب پانزده طبقه بیشتر از قاب گیردار می‌باشد. نسبت‌های مقادیر تغییر مکان‌های نسبی و چرخش‌های پلاستیک قاب نیمه‌گیردار S21 پانزده طبقه به قاب گیردار در شکل (۸) نشان داده شده‌اند.

در قاب S21 پانزده طبقه محدودیت تغییر مکان نسبی طبقات برآورده نمی‌شود. حداکثر مقدار تغییر مکان نسبی طبقات این قاب برای اتصال C0606 تحت اثر زلزله السنترو، 1.262 برابر مقدار نظیر در قاب گیردار می‌باشد در حالی که دوران پلاستیک اعضای قاب در این رکورد، 0.43 مقدار نظیر قاب گیردار می‌باشد.



شکل ۶- درصد اختلاف پیروید قاب‌های دوگانه با قاب گیردار سه طبقه

در حالت کلی پیروید قاب با کاهش سختی و افزایش تعداد اتصالات نیمه‌گیردار افزایش می‌یابد. در کنار تعداد، موقعیت اتصالات نیمه‌گیردار عامل مهم و تعیین کننده رفتار قاب می‌باشد. نسبت تعداد اتصالات نیمه‌گیردار به گیردار در قاب‌های S1 تا S10، S11 تا S15، S16 تا S18، S19 تا S22 و S23 به ترتیب 4/18، 6/18، 8/18، 12/18 و 18/18 می‌باشد. در قاب‌های S9، S10 و S15 با وجود اتصالات نیمه‌گیردار، پیروید قاب به پیروید قاب گیردار نزدیک بوده و تغییر سختی اتصال نیمه‌گیردار اثر محسوسی روی پیروید قاب ندارد. در این قاب‌ها، اتصالات نیمه‌گیردار در طبقات بالا قرار گرفته‌اند. به عنوان یک قاعده کلی با اجرای اتصالات گیردار در طبقات پائین و دهنه‌های کناری طبقات بالا و متمرکز نمودن اتصالات نیمه‌گیردار در دهنه‌های میانی طبقات بالا، تغییر قابل توجهی در پیروید قاب‌های دوگانه ایجاد نمی‌شود. به عبارت دیگر با نیمه‌گیردار نمودن اتصالات دهنه‌های میانی در طبقات بالا و در نتیجه کاهش هزینه اجرای قاب، تغییر محسوسی در پیروید قاب ایجاد نمی‌شود و همانطوری که در ادامه دیده خواهد شد این نکته می‌تواند در یافتن طرح بهینه با رفتار لرزه‌ای مناسب قابل استفاده باشد.

۲-۲- رفتار لرزه‌ای قاب‌های دوگانه

نسبت‌های برش پایه و حداکثر تغییر مکان نسبی طبقات قاب‌های دوگانه به قاب گیردار در تراز خرابی قاب گیردار برای اتصالات و رکوردهای السنترو و کوبه در جدول (۵) و نسبت دوران پلاستیک اعضای قاب‌های دوگانه به گیردار هشت و پانزده طبقه تحت اثر زلزله السنترو در جدول (۶) ارائه شده‌اند. در جدول (۵)، λ ضریب شتاب خرابی قاب گیردار، V_{max}

جدول ۵- نسبت برش پایه و تغییر مکان نسبی طبقات قاب‌های نیمه‌گیردار به گیردار

ردیف	قاب	قاب سه طبقه						قاب هشت طبقه						قاب پانزده طبقه								
		C0606		C0608		C0808		C0606		C0608		C0808		C0606		C0608		C0808				
		λ	V_{max}	Drift	V_{max}	Drift	V_{max}	Drift	λ	V_{max}	Drift	V_{max}	Drift	V_{max}	Drift	λ	V_{max}	Drift	V_{max}	Drift		
السترو	S1	1.28	0.927	1.058	0.94	1.05	0.971	1.035	1.57	0.896	0.909	0.932	0.914	0.956	0.956	2.21	0.906	1.116	0.919	1.09	0.958	1.089
	S2	1.28	0.938	1.054	0.951	1.046	0.977	1.029	1.57	0.917	0.923	0.946	0.927	0.964	0.963	2.21	0.948	1.108	0.952	1.084	0.985	1.077
	S3	1.28	0.949	1.044	0.959	1.039	0.979	1.025	1.57	0.944	0.958	0.964	0.961	0.972	0.981	2.21	0.96	1.102	0.965	1.079	0.985	1.072
	S4	1.28	0.929	1.102	0.948	1.092	0.962	1.064	1.57	0.92	0.927	0.949	0.931	0.966	0.967	2.21	0.951	1.114	0.955	1.088	0.985	1.078
	S5	1.28	0.95	1.069	0.966	1.065	0.978	1.046	1.57	0.904	0.9	0.93	0.907	0.958	0.951	2.21	0.975	1.095	0.976	1.074	0.996	1.067
	S6	1.28	0.955	1.049	0.972	1.051	0.982	1.037	1.57	0.935	0.914	0.955	0.921	0.971	0.958	2.21	0.978	1.085	0.978	1.065	0.994	1.058
	S7	1.28	0.98	1.076	0.998	1.078	1.002	1.049	1.57	0.966	0.944	0.974	0.95	0.977	0.97	2.21	0.981	1.08	0.98	1.062	0.994	1.054
	S8	1.28	0.916	1.098	0.939	1.08	0.962	1.059	1.57	0.938	0.917	0.957	0.924	0.973	0.961	2.21	0.979	1.086	0.979	1.066	0.995	1.057
	S9	1.28	0.956	1.014	0.96	1.015	0.983	1.001	1.57	0.913	0.909	0.932	0.913	0.959	0.951	2.21	0.976	1.101	0.974	1.081	0.996	1.074
	S10	1.28	0.967	1	0.968	1.003	0.985	0.996	1.57	0.944	0.919	0.958	0.924	0.974	0.957	2.21	0.973	1.095	0.972	1.076	0.992	1.067
	S11	1.28	0.91	1.092	0.928	1.089	0.955	1.06	1.57	0.968	0.942	0.976	0.948	0.982	0.967	2.21	0.979	1.092	0.979	1.073	0.994	1.064
	S12	1.28	0.932	1.066	0.946	1.066	0.969	1.042	1.57	0.947	0.923	0.96	0.927	0.976	0.96	2.21	0.974	1.092	0.974	1.073	0.993	1.063
	S13	1.28	0.945	1.041	0.961	1.045	0.975	1.033	1.57	0.809	0.85	0.828	0.859	0.896	0.919	2.21	0.88	1.189	0.896	1.153	0.947	1.156
	S14	1.28	0.963	1.092	0.982	1.097	0.992	1.073	1.57	0.826	0.866	0.843	0.873	0.918	0.928	2.21	0.931	1.18	0.946	1.145	0.979	1.139
	S15	1.28	0.938	1.018	0.94	1.022	0.975	1.001	1.57	0.909	0.906	0.906	0.914	0.949	0.949	2.21	0.954	1.173	0.96	1.139	0.981	1.131
	S16	1.28	0.871	1.105	0.886	1.098	0.937	1.06	1.57	0.824	0.873	0.844	0.878	0.924	0.935	2.21	0.943	1.192	0.95	1.154	0.982	1.141
	S17	1.28	0.871	1.121	0.886	1.11	0.938	1.063	1.57	0.798	0.802	0.827	0.825	0.894	0.899	2.21	0.909	1.192	0.923	1.15	0.986	1.148
	S18	1.28	0.883	1.115	0.924	1.108	0.95	1.08	1.57	0.821	0.827	0.841	0.867	0.919	0.912	2.21	0.944	1.18	0.944	1.141	0.982	1.134
	S19	1.28	0.851	1.097	0.887	1.101	0.922	1.076	1.57	0.89	0.885	0.9	0.907	0.956	0.934	2.21	0.958	1.173	0.956	1.135	0.987	1.127
	S20	1.28	0.842	1.113	0.88	1.118	0.92	1.082	1.57	0.816	0.828	0.851	0.869	0.925	0.918	2.21	0.949	1.191	0.951	1.148	0.985	1.132
	S21	1.28	0.844	1.111	0.886	1.116	0.932	1.073	1.57	0.673	0.786	0.732	0.778	0.826	0.863	2.21	0.835	1.262	0.845	1.211	0.943	1.227
	S22	1.28	0.829	1.156	0.838	1.162	0.894	1.104	1.57	0.718	0.794	0.748	0.811	0.842	0.881	2.21	0.901	1.251	0.904	1.197	0.964	1.208
	S23	1.28	0.75	1.107	0.818	1.129	0.88	1.11	1.57	0.849	0.854	0.856	0.881	0.919	0.916	2.21	0.936	1.234	0.943	1.188	0.971	1.199
	S24	-	-	-	-	-	-	-	1.57	0.72	0.803	0.77	0.813	0.851	0.891	2.21	0.913	1.263	0.917	1.212	0.971	1.215
کوبه	S1	1.46	0.979	1.021	0.981	1.014	0.98	1.005	0.8	0.881	0.854	0.899	0.871	0.96	0.935	1.59	0.874	0.98	0.88	0.987	0.91	1.033
	S2	1.46	0.973	1.015	0.976	1.011	0.979	1.003	0.8	0.914	0.883	0.928	0.9	0.979	0.948	1.59	0.926	0.965	0.921	0.974	0.933	1.015
	S3	1.46	0.969	1.018	0.971	1.013	0.979	1.004	0.8	0.967	0.925	0.978	0.937	0.992	0.964	1.59	0.931	0.97	0.928	0.977	0.943	1.009
	S4	1.46	0.978	1.048	0.981	1.031	0.982	1.005	0.8	0.91	0.883	0.925	0.9	0.978	0.948	1.59	0.927	0.971	0.921	0.978	0.935	1.015
	S5	1.46	0.964	1.021	0.967	1.011	0.972	0.995	0.8	0.914	0.887	0.918	0.9	0.957	0.965	1.59	0.932	1.039	0.939	1.033	0.956	1.057
	S6	1.46	0.961	1.01	0.963	1.002	0.969	0.993	0.8	0.952	0.918	0.951	0.928	0.969	0.979	1.59	0.934	1.032	0.939	1.028	0.957	1.049
	S7	1.46	0.995	1.032	0.998	1.019	0.989	0.996	0.8	0.985	0.951	0.982	0.956	0.983	0.993	1.59	0.94	1.029	0.945	1.025	0.958	1.047
	S8	1.46	0.946	1.036	0.95	1.019	0.962	1.005	0.8	0.951	0.917	0.95	0.928	0.968	0.979	1.59	0.936	1.033	0.941	1.027	0.959	1.047
	S9	1.46	1.015	1.005	1.014	1.006	0.997	1.008	0.8	0.904	0.902	0.906	0.911	0.946	0.966	1.59	0.94	1.018	0.932	1.016	0.955	1.037
	S10	1.46	1.01	1.002	1.009	1.004	0.996	1.003	0.8	0.948	0.928	0.947	0.936	0.965	0.978	1.59	0.929	1.015	0.922	1.013	0.954	1.032
	S11	1.46	0.985	1.058	0.989	1.037	0.982	1.008	0.8	0.976	0.958	0.973	0.962	0.98	0.992	1.59	0.928	1.023	0.93	1.021	0.955	1.035
	S12	1.46	0.972	1.029	0.975	1.019	0.972	0.998	0.8	0.946	0.929	0.946	0.936	0.963	0.978	1.59	0.929	1.011	0.924	1.009	0.956	1.029
	S13	1.46	0.965	1.019	0.968	1.01	0.969	0.998	0.8	0.789	0.771	0.807	0.782	0.895	0.9	1.59	0.849	0.972	0.867	0.971	0.899	1.052
	S14	1.46	1.009	1.116	1.01	1.075	0.997	1.018	0.8	0.834	0.798	0.853	0.813	0.932	0.924	1.59	0.928	0.931	0.928	0.948	0.929	1.032
	S15	1.46	1.028	1.003	1.025	1.002	0.995	1.005	0.8	0.915	0.856	0.932	0.872	0.983	0.957	1.59	0.937	0.939	0.935	0.954	0.933	1.028
	S16	1.46	0.968	1.054	0.97	1.035	0.965	1.013	0.8	0.829	0.797	0.849	0.812	0.932	0.923	1.59	0.932	0.944	0.93	0.958	0.931	1.036
	S17	1.46	0.976	1.063	0.977	1.039	0.964	1.012	0.8	0.788	0.718	0.8	0.749	0.897	0.898	1.59	0.887	0.963	0.91	0.974	0.943	1.056
	S18	1.46	0.982	1.128	0.978	1.083	0.968	1.022	0.8	0.812	0.756	0.853	0.793	0.935	0.928	1.59	0.923	0.942	0.929	0.961	0.936	1.046
	S19	1.46	0.979	1.171	0.983	1.116	0.97	1.04	0.8	0.898	0.823	0.928	0.855	0.98	0.961	1.59	0.932	0.947	0.936	0.967	0.934	1.047
	S20	1.46	0.977	1.194	0.984	1.126	0.972	1.038	0.8	0.813	0.754	0.852	0.793	0.933	0.927	1.59	0.929	0.953	0.932	0.972	0.936	1.048
	S21	1.46	0.98	1.174	0.987	1.111	0.97	1.032	0.8	0.735	0.662	0.749	0.665	0.837	0.834	1.59	0.772	0.893	0.82	0.893	0.883	1.05
	S22	1.46	0.943	1.157	0.964	1.093	0.961	1.022	0.8	0.765	0.68	0.77	0.69	0.866	0.857	1.59	0.851	0.858	0.898	0.868	0.925	1.014
	S23	1.46	0.969	1.434	0.977	1.313	0.984	1.116	0.8	0.826	0.726	0.828	0.754	0.947	0.907	1.59	0.883	0.854	0.921	0.869	0.94	0.997
	S24	-	-	-	-	-	-	-	0.8	0.759	0.674	0.765	0.686	0.858	0.857	1.59	0.86	0.859	0.905	0.868	0.933	1.013

به نوبه خود احتمال کمناش موضعی اعضا و تشکیل مکانیزم طبقه نرم را کاهش می‌دهد. همانطوری که شکل (V) نشان می‌دهد کاهش مقاومت اتصال از $0.8M_p$ در C0808 به $0.6M_p$ در C0608 در حالت کلی باعث کاهش برش پایه و تغییر مکان نسبی طبقات شده است. به عنوان مثال، حداکثر مقدار کاهش برش پایه، 4.2 %

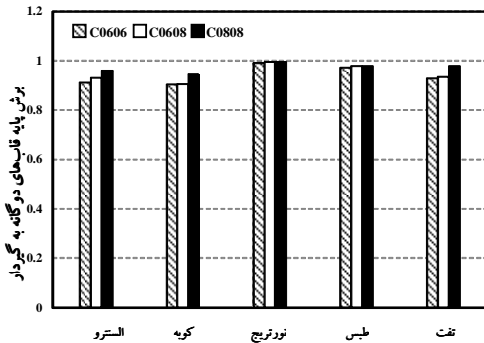
وجود اتصالات نیمه‌گیردار سبب انتقال مفصل‌های پلاستیک از اعضا به محل اتصالات گردیده و اتصالات نیمه‌گیردار با دوران پلاستیک خود در تغییر شکل جانبی قاب و افزایش آن مشارکت می‌کنند، از طرف دیگر وجود اتصالات نیمه‌گیردار چرخش پلاستیک اعضا را کاهش می‌دهد. کاهش چرخش پلاستیک اعضا

در $0.6K_{sup}$ در C0606 در قاب S21 پانزده طبقه باعث کاهش قابل توجه در چرخش پلاستیک اعضا شده است به گونه‌ای که این کاهش در زلزله کوبه به ۱۱٪ می‌رسد. بنابر این کاهش همزمان سختی و مقاومت در محدوده نیمه‌گیرداری آئین نامه اروپا باعث کاهش برش پایه، کاهش چرخش پلاستیک اعضا و تغییرمکان نسبی طبقات می‌شود.

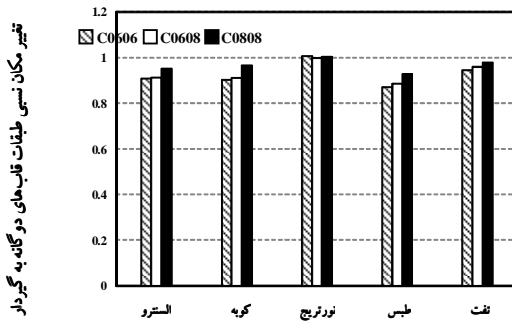
در زلزله تفت و حداکثر کاهش تغییر مکان نسبی، ۵.۵٪ در زلزله کوبه می‌باشد.

جدول ۶- نسبت دوران پلاستیک اعضای قاب‌های نیمه‌گیردار به گیردار در زلزله السنترو

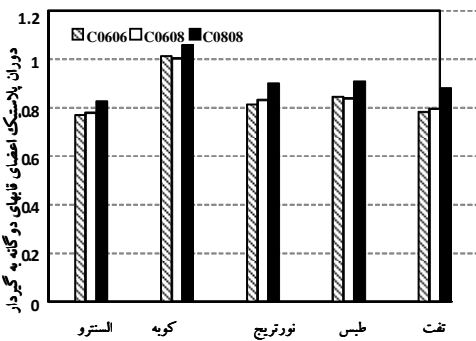
	هشت طبقه			پانزده طبقه		
	C0606	C0608	C0808	C0606	C0608	C0808
S1	0.6723	0.6987	0.8010	0.9234	0.9199	0.9249
S2	0.6922	0.7229	0.8191	0.9367	0.9329	0.9299
S3	0.7534	0.7846	0.8571	0.9416	0.9368	0.9313
S4	0.6942	0.7253	0.8236	0.9515	0.9461	0.9395
S5	0.6686	0.6545	0.7365	1.1286	1.0824	1.0349
S6	0.6909	0.6769	0.7513	1.1267	1.0825	1.0314
S7	0.7372	0.7163	0.7814	1.1272	1.0825	1.0327
S8	0.6954	0.6802	0.7553	1.1381	1.0903	1.0404
S9	0.7696	0.7795	0.8278	1.1421	1.1160	1.1142
S10	0.7914	0.8021	0.8458	1.1405	1.1159	1.1123
S11	0.8358	0.8450	0.8703	1.1455	1.1211	1.1147
S12	0.7967	0.8064	0.8503	1.1655	1.1377	1.1223
S13	0.6565	0.6330	0.6308	1.1747	1.1220	1.0726
S14	0.6664	0.6473	0.6483	1.1707	1.1192	1.0613
S15	0.7073	0.6922	0.6907	1.1693	1.1229	1.0643
S16	0.6702	0.6492	0.6562	1.1952	1.1427	1.0796
S17	0.5672	0.5996	0.6807	1.1222	1.1130	1.1094
S18	0.5846	0.6250	0.7031	1.1125	1.1082	1.1001
S19	0.6416	0.6825	0.7354	1.1115	1.1101	1.0991
S20	0.5862	0.6282	0.7087	1.1411	1.1355	1.1165
S21	0.1684	0.2237	0.4025	0.3434	0.4313	0.5603
S22	0.1915	0.2501	0.4129	0.3328	0.4366	0.5545
S23	0.2567	0.3201	0.4717	0.3556	0.4477	0.5474
S24	0.1954	0.2501	0.4203	0.3643	0.4503	0.5608



(a)



(b)



(c)

شکل ۷ - نسبت برش پایه، تغییرمکان نسبی و چرخش پلاستیک اعضای قاب دوگانه هشت طبقه S9 به قاب گیردار (a) نسبت برش پایه (b) نسبت تغییرمکان نسبی طبقات (c) نسبت چرخش اعضای قاب

از این نمودارها دیده می‌شود که حداکثر دوران پلاستیک ایجاد شده اعضا، در زلزله کوبه برابر قاب گیردار بوده و در سایر رکوردها حدود ۸۰٪ درصد قاب گیردار می‌باشد. بنابراین با کاهش مقاومت اتصال و انتقال مفصل‌های پلاستیک از اعضا به اتصالات، اتصالات در تغییرمکان جانبی مشارکت نموده و با کاهش نیاز به چرخش پلاستیک اعضا، احتمال کمانش موضعی اعضا و تشکیل مکانیزم طبقه نرم کاهش می‌یابد.

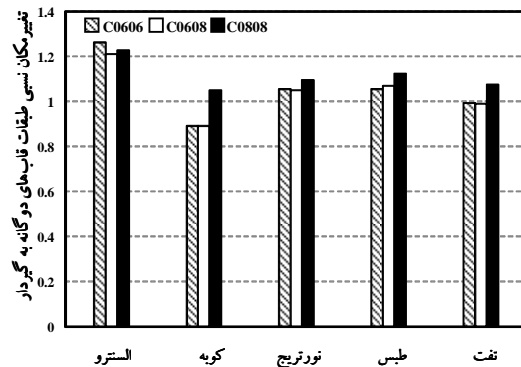
همانطوریکه از جداول (۴) و (۵) و شکل‌های (۷) و (۸) مشاهده می‌شود با کاهش سختی اتصال از $0.8K_{sup}$ در C0608 به $0.6K_{sup}$ در C0606 و ثابت نگه داشتن مقاومت اتصال، حداکثر برش پایه به اندازه ۴.۱٪ در S10 سه طبقه و ۱.۹٪ در S9 هشت طبقه و ۴.۸٪ در S21 پانزده طبقه کاهش می‌یابد. در مورد تغییرمکان نسبی طبقات برای این قاب‌ها حداکثر کاهش به ۱.۵٪ درصد محدود می‌شود.

بنابر این کاهش سختی اتصال در رفتار قاب از این دو دیدگاه تأثیر مهمی نداشته و رفتار قاب‌ها در تراز خرابی بیشتر از مقاومت اتصال متأثر می‌شود. در حالت کلی اتصالات با ظرفیت خمشی کمتر، رفتار بهتری در مقابل زلزله از خود نشان می‌دهند. تغییر سختی اتصال در قاب‌های سه و هشت طبقه نیز بی‌تأثیر می‌باشد و حداکثر افزایش یا کاهش در چرخش پلاستیک اعضا به ۱.۹٪ درصد محدود می‌شود. کاهش سختی از $0.8K_{sup}$ در C0608 به

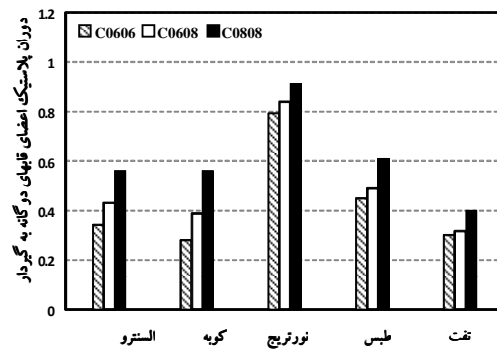
نشان دادند. در این قسمت با استفاده از اتصالات نیمه گیردار C0606 و با ثابت نگهداشتن مشخصات اتصال نیمه گیردار، اثر تغییر در تعداد و موقعیت اتصالات نیمه گیردار را روی رفتار قاب دوگانه تحت اثر پنج رکورد زلزله انتخابی بررسی می‌کنیم. در تراز خرابی قاب گیردار، برای یک رکورد مشخص، رفتار قاب‌های دوگانه (مقادیر برش پایه، تغییر مکان نسبی طبقات و حداکثر دوران پلاستیک اعضا) با افزایش تعداد و تغییر آرایش اتصالات نیمه گیردار مطابق الگوی مشخصی تغییر پیدا می‌کند. با مراجعه به شکل (۹) ملاحظه می‌شود که تحت اثر سایر رکوردهای زلزله، رفتار قاب‌های دوگانه با افزایش تعداد و تغییر آرایش اتصالات نیمه گیردار از همان الگو تبعیت خواهد نمود. بنابر این نتایج بررسی رفتار قاب در یک رکورد زلزله را می‌توان به سایر رکوردها تعمیم داد. در ادامه رفتار قاب‌های دوگانه تحت اثر رکورد السنترو بررسی و نتایج حاصل برای سایر رکوردها تعمیم می‌یابند. قاب نیمه گیردار با تأمین شکل‌پذیری بیشتر و برش پایه کمتر رفتار لرزه‌ای مناسبی را در مقایسه با قاب گیردار نشان می‌دهد. عیب عمده قاب‌های نیمه گیردار، تغییر مکان نسبی زیاد طبقات آنها بویژه در قاب‌های با تعداد طبقات زیاد می‌باشد. برای حل این مشکل یکی از دو راه حل افزایش ابعاد تیرها و ستون‌ها یا گیردار نمودن برخی از اتصالات تیر به ستون را می‌توان انتخاب نمود. در این مقاله برای اصلاح رفتار قاب، راه حل دوم یعنی استفاده از قاب‌های دوگانه بررسی شده است.

انتقال اتصالات نیمه گیردار از دهانه‌های خارجی به دهانه‌های داخلی، کاهش سختی جانبی، کاهش برش پایه، افزایش تغییر مکان نسبی و افزایش میزان شکل‌پذیری لازم اعضا را در پی دارد. بنابر این قرارگرفتن اتصالات نیمه گیردار در دهانه‌های کناری باعث بهبود رفتار قاب خواهد شد. به عنوان مثال قاب S9 هشت طبقه با انتقال اتصالات نیمه گیردار قاب S1 از دهنه‌های کناری به دهنه میانی ساخته شده است. با این انتقال، با ثابت ماندن تغییر مکان نسبی طبقات، برش پایه و شکل‌پذیری لازم در اعضا به ترتیب 1.9 و 14.47 درصد افزایش یافته که افزایش شدید شکل‌پذیری لازم عیب عمده انتقال اتصالات نیمه گیردار به دهنه‌های میانی است.

در تعداد ثابت اتصالات نیمه گیردار، اجرای این اتصالات در طبقات پائین باعث نرمی قاب و ایجاد برش پایه کمتر شده و کاهش شکل‌پذیری لازم برای اعضا را در پی خواهد داشت. در این حالت اتصالات نیمه گیردار در قسمت پائین قاب، در جذب مؤثر تغییر شکل‌ها مشارکت می‌نمایند. به عنوان مثال قاب S15 با انتقال اتصالات نیمه گیردار قاب S14 از طبقه اول به طبقه سوم ایجاد شده است و نیمه‌گیرداری در طبقات بالای قاب، باعث



(a)



(b)

شکل ۸- نسبت تغییر مکان نسبی و چرخش پلاستیک اعضای قاب نیمه گیردار S21 پانزده طبقه به قاب گیردار (a) نسبت تغییر مکان نسبی طبقات (b) نسبت چرخش اعضا

در قاب پانزده طبقه با وجود کاهش برش پایه، شکل‌پذیری مورد نیاز، کاهش خطر کمانش موضعی و مکانیزم شکست طبقه نرم، محدودیت تغییر مکان‌های نسبی برآورده نمی‌شود. در این قاب‌ها به منظور تأمین محدودیت تغییر مکان نسبی طبقات، نیاز به افزایش ابعاد برخی تیرها و ستون‌ها وجود دارد، در مقابل هزینه اتصالات نسبت به قاب گیردار کمتر است. بنابر این برای قضاوت در مورد هزینه ساخت و اجرای قاب گیردار و دوگانه (یا نیمه‌گیردار) با تعداد طبقات زیاد، باید هزینه افزایش ابعاد مقاطع اعضا و کاهش هزینه ناشی از کاربرد اتصالات نیمه گیردار در قاب دوگانه با هزینه اجرای اتصالات گیردار و اعضای قاب‌گیردار مقایسه شود.

۲-۲-۷- اثر موقعیت و تعداد اتصالات نیمه گیردار

برای یک قاب دوگانه مشخص، همانطوری که در قسمت قبل مشخص شد قاب‌های با اتصالات نیمه گیردار C0606 مناسب‌ترین رفتار لرزه‌ای را با توجه به معیارهای انتخابی از خود

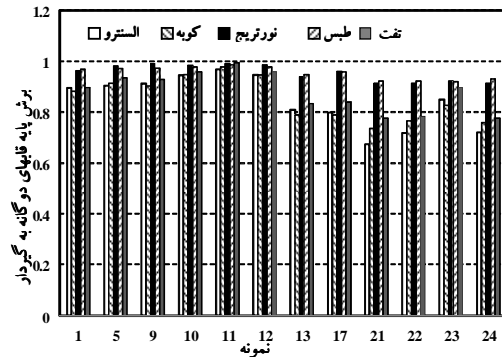
رفتار نامناسبی را برای قاب سبب خواهد شد. از طرف دیگر توزیع مناسب اتصالات گیردار و نیمه‌گیردار و ایجاد فیوزهای مناسب برای جذب نیروها و تغییر شکل‌ها در سرتاسر قاب، رفتار مناسب تری را برای قاب در پی خواهد داشت. به عنوان مثال با تعداد اتصالات نیمه‌گیردار برابر در دو قاب S9 و S10 سه طبقه، اتصالات نیمه‌گیردار قاب S10 در ناحیه نسبتاً وسیعتری نسبت به اتصالات نیمه‌گیردار قاب S9 توزیع شده‌اند. توزیع بهتر اتصالات نیمه‌گیردار در قاب S10 باعث کاهش تغییرمکان نسبی طبقات و شکل‌پذیری لازم اعضا به ترتیب به مقدار 1.4 و 4.4 درصد شده است. با قرار گرفتن اتصالات نیمه‌گیردار در موقعیت‌های مناسب افزایش تعداد اتصالات نیمه‌گیردار نه تنها باعث نامناسب شدن رفتار قاب نمی‌شود بلکه در مواردی بهبود رفتار را نیز سبب خواهد شد. در قاب سه طبقه S11 با افزایش تعداد اتصالات نیمه‌گیردار نسبت به قاب S4 و قرار دادن آنها در مکان‌های مناسب با تأمین سختی لازم برای محدود ساختن تغییرمکان نسبی، رفتار قاب بهبود یافته است بطوری‌که کاهش برش پایه و تغییر مکان نسبی طبقات به ترتیب 2.04 و 0.91 درصد بوده و افزایش شکل‌پذیری لازم 3.7 درصد خواهد بود. در مقابل با افزایش تعداد اتصالات نیمه‌گیردار هزینه قاب کاهش می‌یابد. از این رو روش مناسبی برای یافتن توزیع بهینه اتصالات نیمه‌گیردار در قاب‌های دوگانه لازم است.

۸- نتیجه‌گیری

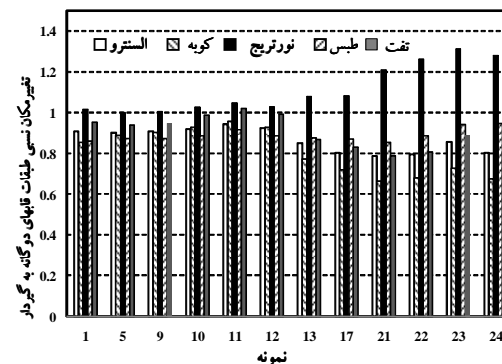
رفتار لرزه‌ای قاب‌های دوگانه بعنوان سیستم جایگزین قاب گیردار بررسی و با رفتار قاب گیردار و نیمه‌گیردار کامل مقایسه شده است. قاب نیمه‌گیردار با تأمین شکل‌پذیری بیشتر و برش پایه کمتر، رفتار لرزه‌ای مناسبی را در مقایسه با قاب گیردار نشان می‌دهد. عیب عمده قاب‌های نیمه‌گیردار، تغییرمکان نسبی زیاد طبقات بویژه در قاب‌های با تعداد طبقات زیاد می‌باشد. برای حل این مشکل یکی از دو راه حل افزایش ابعاد تیرها و ستون‌ها یا گیردار نمودن برخی از اتصالات را می‌توان انتخاب نمود. در این مقاله برای اصلاح رفتار قاب، راه حل دوم یعنی استفاده از قاب‌های دوگانه بررسی شده است.

در تراز خرابی، رفتار قاب‌ها بیشتر از مقاومت خمشی اتصال متأثر شده و کاهش سختی اتصال در رفتار قاب تأثیر مهمی ندارد. اتصالات با ظرفیت خمشی کمتر، رفتار بهتری در مقابل زلزله از خود نشان می‌دهند و کاهش همزمان سختی و مقاومت اتصالات در محدوده نیمه‌گیرداری آئین‌نامه اروپا باعث کاهش برش پایه، کاهش چرخش پلاستیک اعضا و تغییرمکان نسبی طبقات می‌شود. با کاهش مقاومت خمشی اتصالات، محل تشکیل

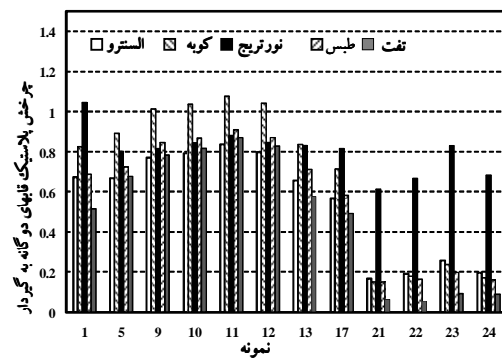
کاهش زیاد در سختی نشده و برش پایه و تغییرمکان نسبی را به ترتیب 2.6 و 6.8 درصد کاهش داده و در مقابل شکل‌پذیری لازم را به اندازه 23.49 درصد افزایش داده است.



(a)



(b)



(c)

شکل ۹- تغییرات برش پایه، تغییرمکان نسبی طبقات و دوران

پلاستیک قاب‌های دوگانه هشت طبقه

(a) برش پایه نمونه‌ها (b) تغییر مکان نسبی طبقات نمونه‌ها (c)

دوران پلاستیک اعضای نمونه‌ها

تمرکز اتصالات گیردار یا نیمه‌گیردار در یک ناحیه قاب ب^۰ اغتشاش در توزیع نیروهای داخلی و تغییر شکل‌ها منجر شده

ظرفیت خمشی پلاستیک اتصال و تیر	M_{pb} و M_{pc}
مدول یانگ و ممان اینرسی تیر	I_b و E_b
نیروی محوری و مقاومت لهیدگی پلاستیک مقطع ستون	N_p و N
در فشار	
طول استاندارد عضو و عمق تیر	d_{be} و L_{sb}

مراجع

- [1] Di Sarno, L., Elnashai, A.S. 2002. Seismic Retrofitting of Steel and Composite Building Structures. Mid-America Earthquake Center. University of Illinois
- [۲] دانش، فخرالدین. ۱۳۷۸. مقایسه رفتار دینامیکی قاب‌های اسکلت فلزی با اتصالات صلب و نیمه صلب. مجموعه مقالات سومین کنفرانس بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله. ۲۷ الی ۲۹ اردیبهشت، تهران، صفحه ۱۹۷-۲۰۴.
- [3] Dubina, D., Stratan, A., Dinu, F. 1998. Suitability of Semi- Rigid Joint Steel Building Frames in Seismic Areas. Proceedings of European Conference on Earthquake Engineering, Balkema. Rotterdam.
- [۴] کمیته دائمی بازنگری آئین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله. ۱۳۸۴. آئین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله. ویرایش سوم. مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.
- [5] Dubina, D., Stratan, A., De Matteis, G., and Landolfo, R. 2000. Seismic Performance of dual steel moment - resisting frames. Proceedings of International Conference on Behavior of Steel Structures in Seismic Areas, Rotterdam, pp. 569-576.
- [6] Kishi, N., Chen, W.F., Goto, Y., Hassan, R. 1996. Behavior of Tall Buildings with Mixed Use of Rigid and Semi- Rigid Connections. Journal of Computers & Structures. Vol. 61, No. 6, pp. 1193-1206.
- [7] shen, J., Astaneh-Asl, A. 1999. Hysteretic Behavior of Bolted- Angle Connections. Journal of Constructional Steel Research. Vol. 51: 201-218.
- [8] Bulent, A., and Shen, J. 2003. Seismic Behavior of Steel Buildings with Combined Rigid and Semi- Rigid Frames. Turkish J. Eng. Env. Sci. V27. pp.253-264.
- [9] Parkash, V., Powell, G.H., and Campbell, S. 1993. Drain - 2DX: Base program description and user guide, version 1.1. Department of Civil Engineering, University of California Berkeley.
- [10] Gioncu, V., and Petcu, D. 1997 Available Rotation Capacity of Wide- Flange Beams and Beam- Columns, Part 1: Theoretical Approaches. Journal of Constructional Steel Research. Vol. 43: 161- 217.
- [11] Reyes-Salazar, A., Haldar, A. 1999. Nonlinear seismic response of steel structures with semi-rigid and composite connections. Journal of Constructional Steel Research. Vol. 51: 37-59.

مفصل‌های پلاستیک از تیرها و ستون‌ها به سمت اتصالات حرکت نموده و با جذب بیشتر تغییرشکل‌ها در اتصالات، قسمت عمده تغییرمکان جانبی قاب با تغییرشکل‌های پلاستیک اتصالات تأمین خواهد شد. در نتیجه از تعداد مفصل‌های پلاستیک در تیرها و ستون‌ها کاسته شده و نیاز به شکل‌پذیری و احتمال کماتش موضعی آنها نیز کاهش خواهد یافت.

در حالت کلی در تمام قاب‌ها، حالتی از نیمه‌گیرداری و آرایش اتصالات را می‌توان یافت که به لحاظ نیروهای داخلی، تغییرمکان‌های نسبی و چرخش پلاستیک اعضا بهتر از قاب‌گیردار رفتار کند. در تعداد ثابت اتصالات نیمه‌گیردار، اجرای این اتصالات در طبقات پائین و دهانه‌های کناری، باعث نرمی قاب و ایجاد برش پایه کمتر شده و به کاهش شکل‌پذیری لازم برای اعضا منجر خواهد شد. در این حالت، اتصالات نیمه‌گیردار نقش مؤثری در جذب تغییرشکل‌ها خواهند داشت.

گیرداری چند طبقه از پایین یا چند طبقه از بالا و پایین قاب، بر رفتار قاب تأثیر منفی دارد. تمرکز اتصالات نیمه‌گیردار یا گیردار در یک ناحیه قاب، به اغتشاش در توزیع نیروهای داخلی و تغییرشکل‌ها منجر شده، رفتار نامناسبی را برای قاب سبب خواهد شد. با توزیع مناسب اتصالات گیردار و نیمه‌گیردار، سختی لازم برای محدود ساختن تغییرمکان نسبی تأمین و محل‌های مناسب برای جذب نیروها و تغییرشکل‌ها ایجاد شده و رفتار قاب بهبود خواهد یافت. در این حالت با افزایش تعداد اتصالات نیمه‌گیردار و قرار دادن آنها در مکان‌های مناسب، می‌توان هزینه را کاهش داده و رفتار لرزه‌ای قاب را اصلاح نمود. برای یافتن محل‌های مناسب اتصالات نیمه‌گیردار قاب‌های دوگانه روش مناسبی برای بهینه‌سازی لازم است.

در قاب‌های دوگانه بلند به منظور برآورده ساختن محدودیت تغییرمکان نسبی طبقات، نیاز به افزایش ابعاد برخی تیرها و ستون‌ها وجود دارد. در این قاب‌ها باید کاهش هزینه ناشی از کاربرد اتصالات نیمه‌گیردار و افزایش هزینه ناشی از بزرگ نمودن مقاطع اعضا را با هم در نظر گرفته و با هزینه اجرای قاب گیردار مقایسه نمود تا بتوان در مورد اقتصادی بودن کاربرد قاب‌های دوگانه اظهار نظر نمود. صرفنظر از جنبه اقتصادی، شکل‌پذیری تأمین شده در این حالت، مشکلات ناشی از شکست ترد اتصالات جوشی گیردار را از بین خواهد برد.

نمادها

ضخامت جان و ضخامت بال مقطع	t_f و t_w
نصف عرض بال و شعاع ناحیه اتصال جان به بال	r و b
حد تسلیم جان و بال مقطع	f_{yf} و f_{yw}