

اثر میانقاب‌های مصالح بنایی بر رفتار لرزه‌ای قاب‌های فولادی دارای اتصالات خورجینی و اجزای آن

صادق گریوانی^۱، علی‌اکبر آقاچوک^{۲*}، مسعود سلطانی محمدی^۳

۱- کارشناس ارشد سازه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

۲- استاد دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

۳- دانشیار دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

a_gha@modares.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۰۷/۲۷

تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۰۷/۰۷

چکیده- در این مقاله آثار مثبت و منفی میانقاب‌های مصالح بنایی بر رفتار لرزه‌ای قاب‌های فولادی دارای اتصالات خورجینی بررسی شده و نتایج به دست آمده از مدل‌سازی‌ها، با نتایج به دست آمده از روش ارائه شده در آیین نامه بهسازی ایران در مورد میانقاب‌ها مقایسه شده است. مدل‌سازی‌های عددی در این پژوهش با نرم‌افزار اجزاء محدود ABAQUS انجام شده است. ابتدا با مقایسه نتایج مدل‌سازی عددی با نتایج آزمایشگاهی، درستی روش انتخاب شده برای مدل‌سازی میانقاب مصالح بنایی کنترل شده و سپس قاب‌های دودهانه و چهاردهانه فولادی دارای اتصالات خورجینی، مهاربند ضربدیری و میانقاب مصالح بنایی در نرم‌افزار، مدل شده و تأثیر میانقاب بر سختی و مقاومت نهایی قاب بررسی شده است. آثار منفی میانقاب بر اعضای کنار آن (تیر، ستون و اتصال) نیز بررسی شده است. نتایج به دست آمده گویای آثار مثبت میانقاب‌ها بر سختی و مقاومت نهایی قاب مرکب و آثار منفی این اعضا بر اعضای کنار خود (تیر، ستون و به‌ویژه اتصال خورجینی) است که لزوم در نظر گرفتن این آثار منفی و تقویت اعضای کناری را قبل از در نظر گرفتن آثار مثبت میانقاب‌ها گوشزد می‌کند.

واژگان کلیدی: اتصال خورجینی، میانقاب مصالح بنایی، سختی و مقاومت نهایی قاب مرکب

۱- مقدمه

به‌ویژه هنگام وقوع زلزله‌های متوسط و شدید، با قاب محیطی خود برخورد می‌کنند و اندرکنش ایجاد شده بین آن‌ها باعث تغییر رفتار قاب فولادی می‌شود. در حالی که میانقاب‌ها سختی و مقاومت سازه را افزایش می‌دهند از شکل‌پذیری ذاتی قاب (به‌ویژه قاب‌های فولادی) می‌کاهند. در سال‌های اخیر تحقیقات وسیعی روی قاب‌های مرکب انجام شده و در برخی از آیین‌نامه‌ها [۱] به گونه‌ای

قاب‌های ساختمانی معمولاً در نواحی پیرامونی و میانی ساختمان، با دیوارهای مصالح بنایی به عنوان جداکننده یا عایق صوتی و حرارتی پر می‌شوند که باعث ایجاد تفاوت رفتار این‌گونه قاب‌ها با قاب‌های خالی می‌شود. به این نوع دیوارها، میانقاب و به سازه و کار تشکیل شده از قاب و میانقاب، قاب مرکب یا قاب میانپر گویند. میانقاب‌ها

صورت نظری و آزمایشگاهی که بر پارامترهایی مانند مقاومت، سختی، نحوه شکست، چرخش ترک‌خوردگی و دیگر مشخصات تأثیر می‌گذارد در این مورد انجام شده است [۸-۱۱].

با توجه به وسعت کاربرد این نوع اتصالات در ساختمان‌های فولادی ساخته‌شده در گذشته، وجود میانقاب‌های مصالح بنایی در بیشتر این ساختمان‌ها و نیز تفاوت در نحوه تماس قاب و میانقاب در قاب دارای اتصال خورجینی در مقایسه با قاب‌های معمولی، توجه به این نوع ساختمان‌ها و شناخت رفتار قاب‌های مرکب و آثار متقابل قاب و میانقاب بر یکدیگر امری ضروری خواهد بود.

۲- مدل‌سازی میانقاب مصالح بنایی

نرم‌افزار اجزاء محدود ABAQUS رفتار مصالح را در دو قسمت خطی و غیرخطی شبیه‌سازی می‌کند. برای مدل‌سازی رفتار غیرخطی مصالحی همانند بتن یا مصالح بنایی سه روش وجود دارد:

- مدل ترک پخشی^۱
- مدل شکست ترد^۲
- مدل خرابی پلاستیک بتن^۳

در این پژوهش برای مدل‌سازی مصالح بنایی میانقاب، از روش درشت‌مدل‌سازی^۴ و مدل ترک پخشی استفاده شده است. ترک پخشی یک روش پیوسته برای حل عددی مسائلی از مکانیک شکست است. در این روش گسستگی‌های محلی روی ناحیه‌ای دلخواه در طول المان محدود ترک‌خورده، پخش است.

روش تحلیل انجام شده در این پژوهش نیز به صورت اعمال جابه‌جایی فزاینده است.

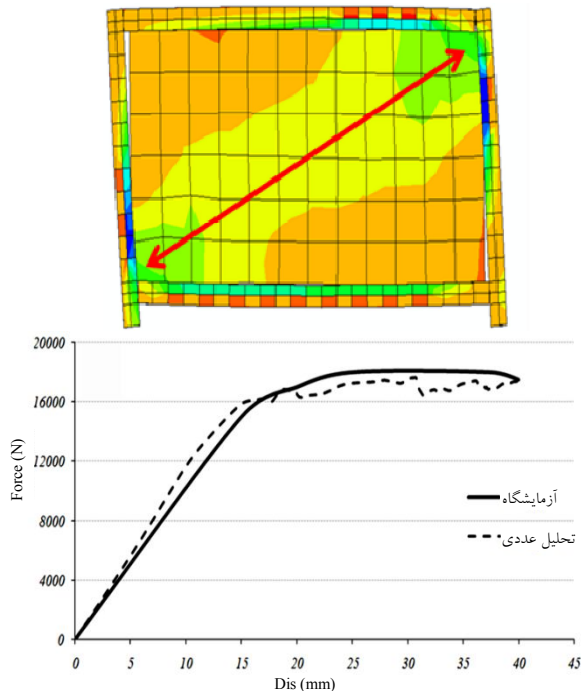
صریح به در نظر گرفتن میانقاب‌ها به صورت المان قطری معادل با مشخصات هندسی و مصالح تعریف‌شده، اشاره شده است. ایده دستک معادل به جای میانقاب آجری برای اولین بار در سال ۱۹۶۰ به وسیله‌ی پولیاکوف مطرح شد [۲]؛ پس از آن استافورد اسمیت [۳ و ۴] و مینستون [۵ و ۶] روش‌هایی برای ارائه خصوصیات میله معادل میانقاب پیشنهاد دادند. صانعی‌نژاد و هابز [۷] در سال ۱۹۹۵ روش جدیدی برای آنالیز قاب‌های مرکب فولادی دارای میانقاب آجری یا بتنی در برابر بارهای درون‌صفحه‌ای ارائه کردند.

قاب‌های فولادی دارای اتصال خورجینی، طیف گسترده‌ای از ساختمان‌های کشور را تشکیل می‌دهد. اتصال خورجینی طبق تعریف، اتصالی است که تیری را که به‌طور پیوسته از کنار ستون عبور کرده به ستون وصل می‌کند. این اتصال در بیشتر موارد از دو نبشی برای اتصال تیر به ستون، در بالا و پایین هر کدام از تیرها تشکیل شده که برای جلوگیری از جوش بالاسری معمولاً نبشی پایین بزرگ‌تر از بال تیر آهن و نبشی بالا کوچک‌تر از بال تیر آهن انتخاب می‌شود و از نظر سهولت اجرا و افزایش باربری در مقابل بارهای گرانشی مزیت چشم‌گیری دارد. چنین اتصالی قادر به انتقال همه‌ی لنگر تیر به ستون نیست و به عبارت دیگر تیر و ستون هر یک چرخش جداگانه‌ای خواهند داشت.

اتصال خورجینی با جزئیات متداول [در دسته‌بندی اتصالات بر اساس میزان صلبیت] در دسته اتصالات نیمه‌صلب است. موارد زیادی مانند طول نبشی‌ها، شماره مقاطع نبشی، شماره نبشی‌ها، نوع تقویت به‌کاررفته برای این اتصال و مشخصات تقویت‌های به‌کار رفته، مقدار جوش‌ها، کیفیت جوش‌ها، نحوه جوش‌کاری، حذف نبشی بالا یا کوتاه‌تر کردن بال آن و نحوه قرار گرفتن تیرها روی نبشی‌ها (فاصله هر یک از تیرها تا ستون) این موارد در رفتار این نوع اتصال مؤثر است. تحقیقات نسبتاً کاملی به

1- Concrete Smeared
2- Cracking Model for Concrete
3- Concrete Damaged Plasticity
4- Macro Modeling

فشاری و نیز جداشدگی قاب و میانقاب نشان داده شده است. این مقایسه نشان‌دهنده تطبیق نتایج به دست آمده از مدل‌سازی با نتایج به دست آمده از آزمایش و در نتیجه قابل قبول بودن نحوه مدل‌سازی است.



شکل (۱) تشکیل دستک فشاری و مقایسه نمودار نیرو-جابجایی در دو حالت آزمایشگاهی و عددی

۴- معرفی قاب‌های مطالعه شده

برای به دست آوردن مقاطع اولیه قاب‌های فولادی برای انجام مطالعات بعدی، ابتدا یک قاب فولادی چهارطبقه دارای اتصال خورجینی به عنوان نمونه‌ای از قاب‌های متداول موجود با رعایت ضوابط آیین‌نامه‌های ایران (آیین‌نامه ۲۸۰۰ [۱۳]) در نرم‌افزار ETABS بارگذاری شده و مقاطع تیر و ستون‌های این قاب به دست آمده است. طول دهانه‌های متعارف ساختمانی، ۳ تا ۶ متر است؛ در نتیجه در مدل‌های کامپیوتری، طول دهانه‌ها ثابت و برابر ۴/۵ متر در نظر گرفته شده است. ارتفاع طبقات نیز ثابت و برابر ۳/۰ متر فرض شده است.

۳- اعتبارسنجی مدل‌سازی میانقاب مصالح بنایی

در این بخش نتایج بررسی درستی مدل‌سازی میانقاب مصالح بنایی ارائه می‌شود. برای مقایسه نتایج تحلیل از آزمایش‌های مسلم و همکارانش [۱۲] در سال ۱۹۹۷ در دانشگاه ایالتی نیویورک در بوفالو، استفاده می‌شود. آن‌ها رفتار قاب‌های دارای میانقاب مصالح بنایی را با استفاده از آزمایش‌های شبه استاتیکی بررسی کردند. مشخصات مصالح استفاده‌شده در این آزمایش‌ها در مرجع ۱۲ به تفصیل آورده شده است.

مدل‌سازی میانقاب مصالح بنایی به صورت درشت‌مدل‌سازی و سه‌بعدی انجام شده است. المان‌های استفاده‌شده برای مدل‌سازی مصالح بنایی، SOLID و از نوع المان‌های شش‌وجهی هشت‌گره‌ای است. توابع شکل از نوع خطی و انتگرال‌گیری به صورت کاهش‌یافته انتخاب می‌شود. طبق نتایج ارائه‌شده در آزمایش‌ها، مقاومت فشاری و مدول الاستیسیته مصالح بنایی به ترتیب ۵ و ۲۰۰۰ مگاپاسکال در نظر گرفته شده است. مدل‌سازی قاب فولادی نیز به صورت سه‌بعدی انجام شده است؛ ولی با توجه به این‌که مقطع تیر ستون در قاب بررسی شده، I شکل و در نتیجه ضخامت‌های کمی دارد، مدل‌سازی مقاطع واقعی، باعث ریز شدن مش‌بندی و در نتیجه افزایش چشم‌گیر زمان محاسبات خواهد شد؛ بنابراین برای کاهش حجم و در نتیجه زمان محاسبات، مقاطع فولادی I شکل با مقاطع مستطیلی معادل شده است. تماس بین قاب و میانقاب از نوع تماس سخت^۱ تعریف شده است.

پس از انجام مدل‌سازی قاب آزمایشگاهی، چگونگی تماس قاب و میانقاب، مود خرابی میانقاب و در نهایت نمودار نیرو-جابجایی قاب مرکب، در دو حالت آزمایشگاهی و عددی با یکدیگر مقایسه شده است. در شکل ۱، نمودارهای نیرو-جابجایی، نحوه تشکیل دستک

1- Hard Contact

است و مقاومت نهایی اتصال در راستای قائم نیز، بر اساس روابط ارائه شده در نشریه ۳۲۴ [۱۵] است. متأسفانه تحقیقات چندانی درباره‌ی تعیین سختی قائم اتصال خورجینی وجود ندارد و تنها مرجع موجود در این زمینه مربوط به شکیب و سعادت نیا [۱۴] است؛ بنابراین سختی اتصال در راستای قائم، با استفاده از مدل‌سازی سه‌بعدی و با در نظر گرفتن مشخصات، ۲۵۰۰۰ تن بر متر در نظر گرفته شده است.

جدول (۱) مشخصات در نظر گرفته شده برای اتصال

مشخصات پیمشی		مشخصات راستای قائم اتصال	
سختی اولیه (ton.m/rad)	۱۰۰۰	سختی اولیه (ton/m)	۲۵۰۰۰
مقاومت تسلیم (ton.m)	۸/۰	مقاومت تسلیم (ton)	۱۶/۴۴
نسبت سختی پس از تسلیم به سختی اولیه	۰/۱	نسبت سختی پس از تسلیم به سختی اولیه	۰/۲

در این پژوهش برای مدل‌سازی اتصال خورجینی، تیرها به صورت یکسره مدل شده و در کنار ستون قرار داده شده است. سپس دو گره، یکی در تیر و دیگری در ستون انتخاب شده و دو المان رابط بین این دو گره معرفی شده است. به یکی از این المان‌های رابط، یک فنر پیچشی و به دیگری یک فنر انتقالی برای معرفی سختی قائم اختصاص داده شده است. مشخصات این فنرها بسته به مدلی که بررسی شده انتخاب شد.

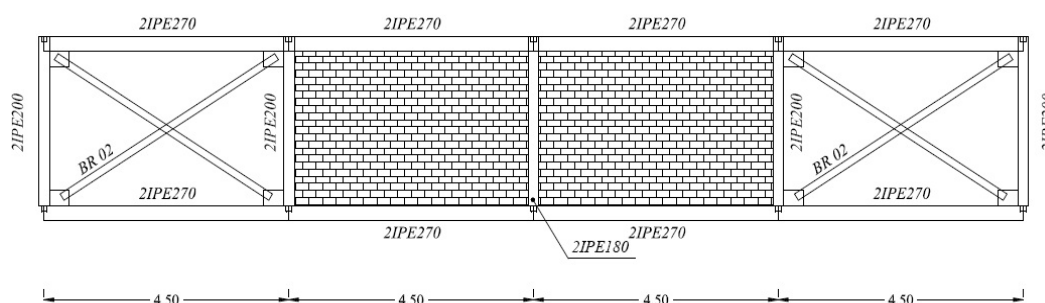
پس از به دست آمدن مقاطع قاب فولادی، یک قاب یک‌طبقه دودخانه فولادی بدون مهاربند و دارای میانقاب‌های مصالح بنایی و یک قاب یک‌طبقه چهاردهانه فولادی دارای مهاربند ضربدری در دهانه‌های کناری و میانقاب مصالح بنایی در دهانه‌های میانی، از قاب طراحی و جدا شده و در نرم‌افزار ABAQUS مدل شده است.

۴-۱- مشخصات مقاطع تیر و ستون

در شکل (۲)، مشخصات مقاطع تیر، ستون و مهاربندهای قاب چهاردهانه مدل‌سازی شده نشان داده شده است. مشخصات قاب دودخانه مطالعه شده نیز همان مقاطع دودخانه میانی قاب نشان داده شده در شکل (۲) است. همان‌طور که اشاره شد، با توجه به I شکل بودن مقاطع تیر و ستون، مدل‌سازی مقاطع واقعی، باعث ریز شدن مش‌بندی و در نتیجه افزایش چشم‌گیر زمان محاسبات خواهد شد؛ بنابراین در مدل‌سازی‌های انجام شده برای کاهش حجم و در نتیجه زمان محاسبات، مقاطع فولادی I شکل با مقاطع مستطیلی معادل شده است.

۴-۲- مشخصات اتصالات خورجینی و نحوه مدل‌سازی آن‌ها

در جدول (۱)، مشخصات در نظر گرفته شده برای اتصال خورجینی ارائه شده است. سختی و مقاومت پیچشی اتصال بر اساس تحقیقات انجام شده در این زمینه انتخاب شده



شکل (۲) مشخصات قاب پیرامونی دارای مهاربندهای ضربدری

۴-۲- مشخصات میانقاب‌های مصالح بنایی

مدل‌سازی میانقاب مصالح بنایی به روشی که در بند ۳ به آن اشاره شد انجام شده و مصالح بنایی معرفی شده به نرم‌افزار کیفیت متوسط و مشخصات زیر را دارد:

$$f'_m = 5 \text{ MPa}$$

$$E_m = 550f'_m \Rightarrow E_m = 2750 \text{ MPa}$$

$$f_t = 0.06f'_m$$

۵- بررسی اثر میانقاب‌ها بر سختی و مقاومت نهایی قاب مرکب

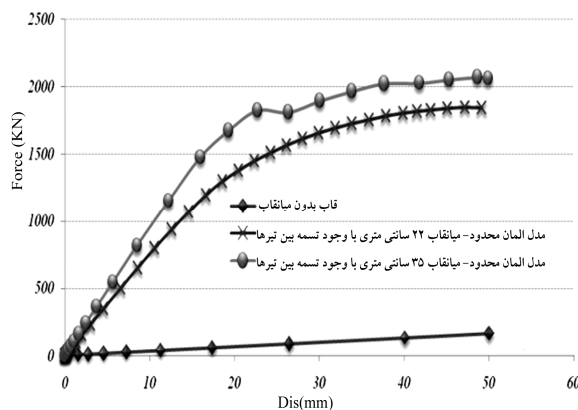
در بخش اول مطالعات، رفتار قاب‌های مرکب با فرض کفایت اتصال خورجینی برای تحمل نیروهای وارد شده ناشی از اندرکنش قاب و میانقاب بررسی شده است.

۵-۱- قاب مرکب دودهانه بدون مهاربند

شکل (۳) نمودار نیرو- جابه‌جایی قاب دودهانه فولادی دارای اتصال خورجینی برای حالت‌های بدون میانقاب و دارای میانقاب‌های به ضخامت ۲۲ و ۳۵ سانتی‌متری را نشان می‌دهد. از آنجا که عرض ستون‌های قاب پیرامونی برابر ضخامت قسمت سازه‌ای میانقاب ۲۲ سانتی‌متری است، در حالت عادی هیچ گونه تماسی بین تیرهای خورجینی و میانقاب برقرار نخواهد شد؛ پس در حالت میانقاب ۲۲ سانتی‌متری در محل تماس تیر به ستون، یک ورق فولادی به ضخامت ۱۰ میلی‌متر بین تیرها قرار داده شده است تا تماس بین قاب و میانقاب برقرار شود. نتایج ارائه شده در شکل (۳) با فرض وجود تسمه بین تیرها و یا هر نوع پرکننده دیگر نسبتاً صلبی که فاصله بین تیرهای خورجینی را پر کند و امکان تماس با تیر را ایجاد کرده باشد، معتبر خواهد بود.

با توجه به نمودارهای شکل (۳) می‌توان نتیجه گرفت در قاب‌های فولادی دارای اتصال خورجینی،

در صورت کفایت اتصال برای تحمل نیروهای وارد شده، میانقاب‌ها در مقایسه با قاب خالی می‌توانند تأثیر زیادی بر سختی و مقاومت نهایی قاب مرکب داشته باشند. در بررسی انجام شده در این بخش، میانقاب با ضخامت ۲۲ سانتی‌متر، سختی را تقریباً ۲۵ برابر و مقاومت نهایی را حدوداً ۱۲ برابر و میانقاب با ضخامت ۳۵ سانتی‌متر سختی را تقریباً ۳۰ برابر و مقاومت نهایی را حدوداً ۱۳ برابر نسبت به قاب خالی افزایش داده است.



شکل (۳) نمودار نیرو- جابه‌جایی قاب دودهانه دارای اتصال خورجینی و میانقاب‌های ۲۲ و ۳۵ سانتی‌متری

اعداد مربوط به نسبت سختی قاب مرکب به قاب خالی با توجه به سختی نسبتاً کم قاب خالی دارای اتصال خورجینی، با نتایج تحقیقات پیشین هماهنگ است [۱۶].

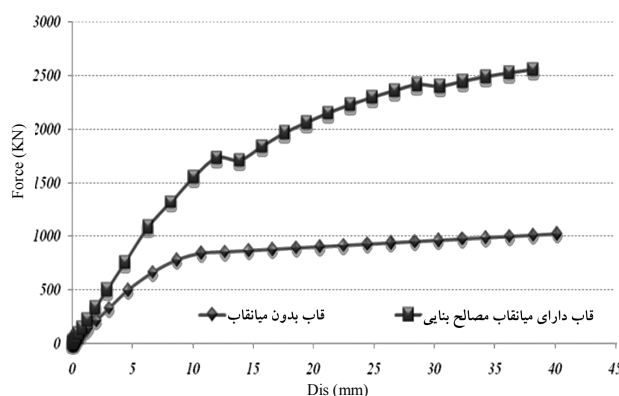
۵-۲- قاب مرکب چهاردهانه دارای مهاربند در دهانه‌های کناری

در این بخش اثر میانقاب‌های مصالح بنایی ۳۵ سانتی‌متری بر رفتار قاب‌های فولادی دارای اتصال خورجینی و مهاربند ضربدری بررسی شده است. مهاربندهای طراحی شده بر اساس آیین‌نامه ۲۸۰۰ که در بخش‌های پیشین درباره‌ی طراحی آن‌ها توضیح داده شده، نسبت تنش تقریباً ۰/۹ دارند؛

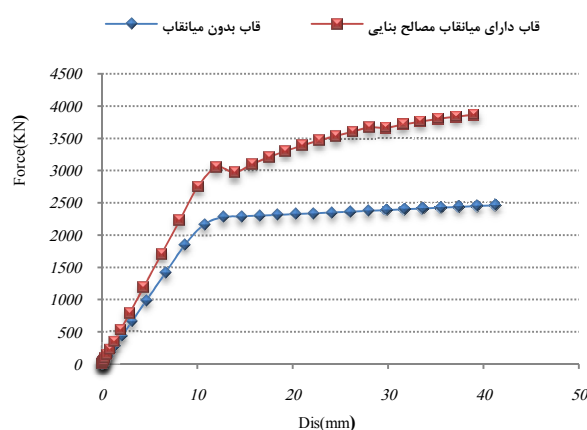
جدول (۲) نسبت سختی و مقاومت نهایی قاب مرکب به قاب خالی در حالات مختلف بررسی شده

نسبت مقاومت نهایی	نسبت سختی	نوع قاب مهاربندی
۲/۵۰	۱/۶۰	ضعیف
۱/۷۵	۱/۳۱	متوسط
۱/۶۸	۱/۲۵	قوی

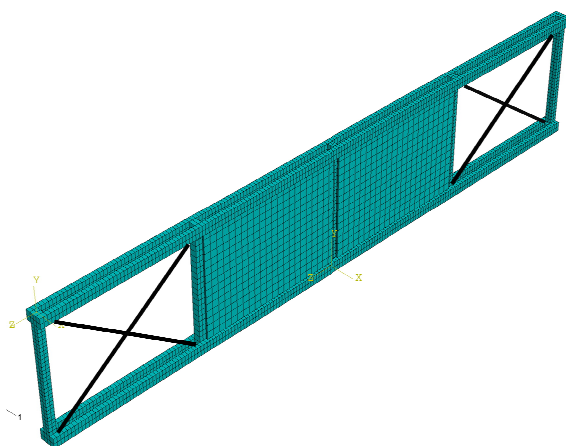
در جدول (۲)، نسبت سختی و مقاومت نهایی قاب مرکب به قاب خالی در حالات مختلف ارائه شده که نشان‌دهنده افزایش چشم‌گیر سختی و مقاومت نهایی قاب فولادی، پس از قرار دادن میانقاب و مؤثر بودن این نوع میانقاب‌ها به‌ویژه بر رفتار قاب‌های دارای مهاربندی ضعیف است.



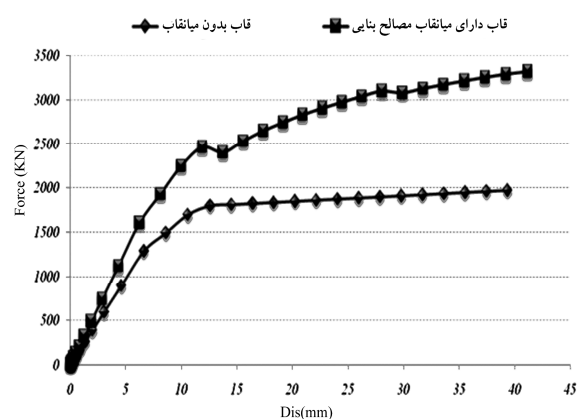
ب- نتایج قاب مهاربندی ضعیف



د- نتایج قاب مهاربندی قوی



الف- مدل سه‌بعدی ساخته‌شده در نرم‌افزار



ج- نتایج قاب مهاربندی متوسط

شکل (۴) نمودارهای نیرو-جاب‌جایی قاب چهاردهانه مهاربندی در ۲ حالت با و بدون میانقاب

۶-۱-۲-۱- مقاومت شکست کنج^۱

$$V_{cc} = m f_m t h \quad (1)$$
$$m = \sqrt{\frac{2 \times (M_{pj} + M_{pc})}{f'_m t \cdot h^2}} \quad (2)$$
$$m = \frac{1}{\tan \theta} \sqrt{\frac{2 \times (M_{pj} + M_{pc})}{f'_m t h^2}} \quad (3)$$

$$\tan \theta = \frac{h}{l}$$

$$m = \frac{4 \times M_{pj}}{f'_m t h^2} + \frac{1}{6} \quad (\xi)$$

۶-۱-۲-۲- ظرفیت شکست برشی_ لغزشی^۲

- 1- Corner Crushing
- 2- Sliding-Shear Failure
- 3- Interstory Drift

جدول (۳) مشخصات میانقاب‌های مدل‌سازی شده

t_{inf}	f_m	f_t	E_m	E_t
cm	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²
३०	६०	४/६	४२००	४१००००
μ	c	h_{inf}	l_{inf}	r_{inf}
-	kg/cm ²	cm	cm	cm
०/७	६/०	३००	६३१	०४०

۶-۱-۱- سختی میانقاب

۶-۱-۲- مقاومت میانقاب

61

المان، دوخطی بوده است.

$$N = l_{inf} \cdot t_{inf} \cdot E_m \cdot \delta^2 \quad (5)$$

جدول (۴) خلاصه محاسبات مربوط به سختی و مقاومت نهایی قاب

که در آن E_m ، t_{inf} ، l_{inf} به ترتیب، طول، ضخامت و ضریب ارتجاعی میانقاب است.

مرکب

μ	V_{cc}	V_{slide}	V_{dt}	V_{inf}	P_{strut}
mm	KN	KN	KN	KN	KN
۴۶۰	۵۹۷	۶۸۸	۶۱۷	۵۹۷	۷۲۷

$$f_n = \frac{N}{l_{inf} \cdot t_{inf}} \quad (6)$$

پس از به‌دست آوردن تنش عمودی، ظرفیت برشی-لغزشی میانقاب را می‌توان به صورت زیر محاسبه کرد:

$$V_{slide} = l_{inf} \cdot t_{inf} (c + \mu f_n) \quad (7)$$

ضرایب c و μ به ترتیب مقاومت چسبندگی و ضریب اصطکاک داخلی ملات مصرف شده در میانقاب است. l_{inf} و t_{inf} به ترتیب معرف طول و ضخامت میانقاب است.

۳-۶- مقایسه نمودارهای به‌دست آمده از دو حالت

مدل المان محدود و مدل ساده‌شده

نمودارهای نیرو-جابجایی قاب خالی و قاب مرکب دارای میانقاب مصالح بنایی تقویت‌نشده برای ۳ حالت قاب مهاربندی ضعیف، متوسط و قوی در شکل (۵) ارائه شده است. در این شکل، منحنی‌های به‌دست‌آمده از مدل‌سازی المان محدود در نرم‌افزار ABAQUS با منحنی‌های به‌دست‌آمده از مدل ساده‌شده ساخته‌شده در نرم‌افزار ETABS برای مقایسه ارائه شده است. در این مرحله از مطالعات همه‌ی مدل‌سازی-های انجام شده در هر دو نرم‌افزار، با فرض کفایت اتصالات خورجینی در راستای قائم برای تحمل بارهای ناشی از اندرکنش قاب و میانقاب انجام شده است.

شکل ۵، نشانگر تطابق نسبتاً مناسب سختی قاب مرکب از دو روش المان محدود و روش ساده شده است. این مطلب نشان‌دهنده این است که رویکرد پیشنهادشده در نشریات FEMA و نشریه ۳۶۰ ایران درباره‌ی معادل‌سازی میانقاب‌ها به صورت دستک فشاری و روابط مربوط به سختی این دستک‌ها برای قاب‌های مهاربندی دارای اتصال خورجینی نیز از دقت خوبی برخوردار خواهد بود و می‌توان از این روابط در تحلیل این گونه قاب‌های مرکب استفاده کرد. اما درباره‌ی مقاومت نهایی قاب مرکب، شکل ۵ نشان‌دهنده مقداری تفاوت بین نتایج به‌دست‌آمده از مدل ساده‌شده با نتایج مدل المان محدود است که در همه‌ی حالات مهاربندی ضعیف، قوی و متوسط، مقاومت

۳-۲-۱-۶- ظرفیت شکست کشش قطری^۱

این ظرفیت طبق استاندارد FEMA 356 [۱۹] به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$V_{dt} = f'_t \cdot l_{inf} \cdot t_{inf} \cdot \frac{l_{inf}}{h_{inf}} \sqrt{1 + \frac{f_n}{f'_t}} \quad (8)$$

f'_t مقاومت کششی واحد مصالح بنایی است و f_n از معادله (۶) به‌دست می‌آید.

۳-۲-۶- سختی و مقاومت به‌دست‌آمده از روابط

با قرار دادن مشخصات میانقاب‌های بررسی شده در روابط ارائه‌شده در بند ۶-۱، سختی و مقاومت میانقاب برای تعریف دستک فشاری معادل میانقاب به‌دست آمده و مقادیر این پارامترها در جدول (۴) ارائه شده است.

دستک فشاری در نرم‌افزار ETABS با استفاده از المان Frame مدل‌سازی شده و مفصل اختصاص داده‌شده به این

1- Diagonal Tension

۷- آثار منفی میانقاب‌ها بر اجزای قاب پیرامونی

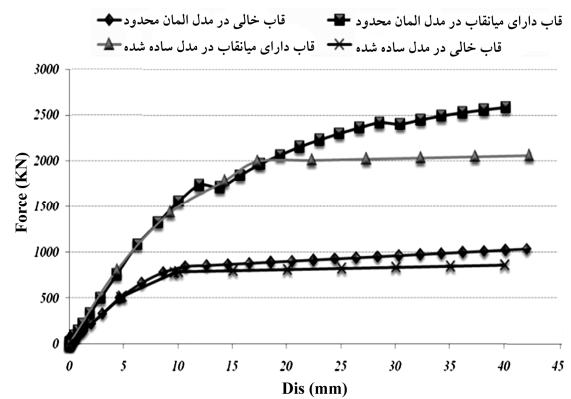
نتایج تحلیل‌های بخش قبل نشان داد که میانقاب‌های مصالح بنایی می‌تواند آثار مثبتی بر سختی و مقاومت نهایی قاب مرکب داشته باشد. اما نکته‌ای که در این بخش بدان پرداخته خواهد شد و ممکن است در طراحی سازه‌های جدید و کنترل آسیب‌پذیری سازه‌های موجود، در نظر قرار نگیرد، بحث آثار ناشی از اندرکنش قاب و میانقاب روی اعضای مجاور میانقاب (تیر، ستون و اتصالات) است که در ادامه بررسی می‌شود.

۷-۱- ایجاد نواحی پلاستیک در تیرها و ستون‌های مجاور میانقاب

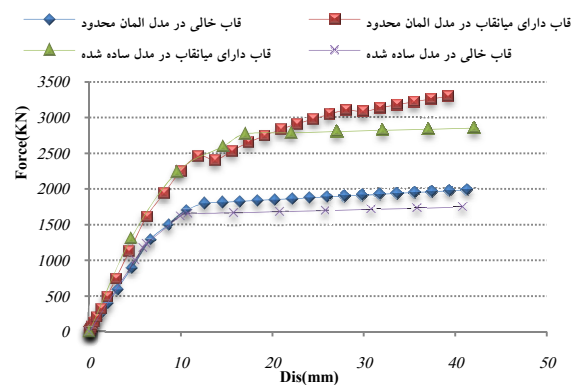
اندرکنش قاب و میانقاب در گوشه‌های فشاری سبب اعمال نیروهایی به اعضای قاب پیرامونی میانقاب می‌شود که می‌تواند در صورت ضعف در اعضا سبب آسیب‌دیدگی قاب مرکب شود. در بخش‌هایی از قاب پیرامونی که با میانقاب در تماس است به خاطر نیروهای اعمالی ناشی از اندرکنش قاب و میانقاب، ستون‌ها وارد ناحیه غیرخطی شده است. تشکیل نواحی پلاستیک در تیر و ستون‌ها سبب آسیب رسیدن به این اعضا و در نتیجه کل قاب مرکب خواهد شد؛ بنابراین کنترل تیر و ستون‌های مجاور میانقاب در برابر نیروهای ناشی از اندرکنش قاب و میانقاب باید در نظر گرفته شود. البته در آیین‌نامه‌های موجود نیز به ضرورت این کار اشاره شده است. برای نمونه آیین‌نامه‌ی بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود، نشریه ۳۶۰ [۱] و نیز FEMA356 [۱۹] توصیه‌های یکسانی در این مورد ارائه داده است.

بر اساس نتایج به‌دست آمده از مدل‌های المان محدود، طول تماسی که از روابط ارائه‌شده در این نشریات به‌دست می‌آید، در قاب‌های دارای اتصالات ساده دقت مناسبی دارد

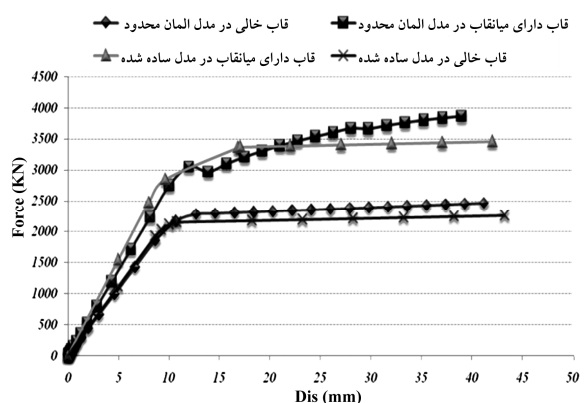
به‌دست‌آمده از روش المان محدود بیشتر از مقاومت به‌دست‌آمده از روش ساده‌شده است که برای مقاصد آیین‌نامه‌ای مناسب ارزیابی می‌شود.



الف- قاب مهاربندی ضعیف



ب- قاب مهاربندی متوسط



ج- قاب مهاربندی قوی

شکل (۵) مقایسه منحنی‌های نیرو-جابجایی به‌دست‌آمده از مدل المان محدود با مدل ساده‌شده

$$2IPE\ 200 \Rightarrow Z = 419\text{cm}^3$$

$$ZF_y = 419 \times 24000 = 10056000\text{ N cm}$$

با توجه به طول تماس ۵۶ سانتی‌متری و انجام محاسبات دستی، مقدار بار گسترده q که این لنگر را ایجاد کند، برابر است با:

$$100.560 = 0.129q \Rightarrow q = 779.535 \frac{\text{KN}}{\text{m}}$$

پس با توجه به شکل ۶ خواهیم داشت:

$$P = q \cdot l_{\text{eff}} = 779.535 \times 0.56 = 436.5\text{ KN}$$

همان‌طور که دیده می‌شود مقاومت میانقاب جدول (۴) بیشتر از عدد P است؛ و بنابراین در ستون قاب بررسی شده، قبل از ایجاد خرابی در میانقاب، ناحیه پلاستیک تشکیل شده است.

۷-۲- ایجاد خرابی در اتصال خورجینی مجاور میانقاب

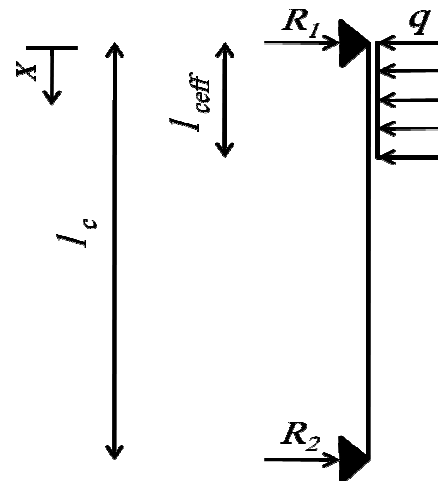
در این بخش کفایت اتصال خورجینی در برابر نیروهای ناشی از اندرکنش قاب و میانقاب بررسی می‌شود. این بررسی در دو بخش جداگانه برای مقاومت پیچشی و مقاومت در راستای قائم اتصال، انجام شده و نتایج به دست آمده از مدل‌سازی ارائه می‌شود. مشخصات معرفی شده به نرم‌افزار برای مدل‌سازی اتصال خورجینی در جدول (۱) ارائه شده است.

۷-۲-۱- بررسی کفایت مقاومت اتصال خورجینی در راستای قائم

برای بررسی کفایت مقاومت اتصال خورجینی در راستای قائم، در مدل‌سازی‌ها، برای اتصال تیر به ستون، در راستای قائم یک فنر غیرخطی با مشخصاتی که در جدول (۱) ارائه شده، اختصاص داده و سپس تحلیل فزاینده استاتیکی انجام

اما برای قاب دارای اتصال خورجینی با توجه به تفاوت در نحوه تماس قاب و میانقاب، دقت کافی ندارد و نیاز به اصلاح دارد. پس با توجه به امکانی که در نرم‌افزار وجود دارد می‌توان مقدار طول تماس قاب و میانقاب را با توجه به طول ناحیه‌ای به دست آورد که دارای فشاری غیرصفر است. طول تماس بین ستون و میانقاب با این روش تقریباً ۵۶ سانتی‌متر است که این طول با استفاده از روابط موجود، ۷۵ سانتی‌متر به دست می‌آید.

برای اینکه در ستون، تحت خمش وارد شده، ناحیه پلاستیک تشکیل شود باید لنگر وارد شده به آن به میزان ZF_y برسد. در این بخش با توجه به شکل ۶، مقدار بار گسترده (q) که لازم است تا در طول l_{eff} به ستون اعمال شود تا مقدار لنگر وارد به آن به مقدار ZF_y برسد به دست می‌آید و سپس از روی این عدد مقدار بار P که بیانگر نیروی افقی ناشی از مقاومت میانقاب است تعیین شده و با مقاومت میانقاب مقایسه می‌شود.



شکل (۶) نحوه اعمال نیروهای ناشی از اندرکنش قاب و میانقاب به ستون مجاور میانقاب

بیشینه‌ی لنگر قابل تحمل ستون مجاور میانقاب برابر است با:

$$R_h = 2 \times 32880 \times \frac{4}{3} = 87,680 \text{ kg}$$

نتایج تحلیل‌های استاتیکی غیرخطی با در نظر گرفتن مقاومت تسلیم اتصال خورجینی در راستای قائم، نشان می‌دهد که با اعمال جابه‌جایی در طبقه، اتصال در راستای قائم دچار خرابی شده و قابلیت تحمل بار جانبی به‌وسیله‌ی قاب، محدود می‌شود. درباره‌ی میانقاب با کیفیت پایین، این اتفاق در جابه‌جایی متناظر با ۰/۰۰۵۵ ارتفاع طبقه اتفاق می‌افتد. با افزایش کیفیت میانقاب، تغییر مکان نسبی متناظر با ایجاد خرابی در راستای قائم اتصال نیز کاهش می‌یابد. در هر ۳ مدل ساخته‌شده در این بخش، اتصالات خورجینی با رسیدن نیروی برشی به مقداری نزدیک به ۸۵ تن، دچار خرابی در راستای قائم شده است. در حالت قاب دارای میانقاب با مقاومت فشاری ۲/۰ مگاپاسکال، قبل از رسیدن نیروی قائم وارد به اتصال به مقدار مقاومت نهایی، خرابی‌های نسبتاً زیادی در میانقاب به علت کیفیت پایین این بخش رخ داده و سپس اتصال در راستای قائم دچار خرابی می‌شود. با بهبود کیفیت مصالح میانقاب این امر یعنی وقوع خرابی در میانقاب نیز رفته رفته کم شده، به طوری که میانقاب دارای مقاومت فشاری ۶/۰ مگاپاسکال تقریباً هیچ‌گونه آسیبی نمی‌بیند. پس در بررسی سازه‌های فولادی دارای اتصال خورجینی موجود، کنترل کفایت اتصال در راستای قائم، ضروری است و در صورت غفلت از آن، هنگام وقوع زلزله، با ایجاد خرابی در اتصال می‌توان حتی فروریزش سقف را نیز پیش‌بینی کرد. این نگرانی در اتصالاتی که با ایجاد تغییر مکان جانبی در سازه، تحت نیروهای قائمی قرار می‌گیرند که یکدیگر را خنثی می‌کنند، کمتر است. برای نمونه در شکل (۷) اتصال A و C از این لحاظ آسیب‌پذیر است اما اتصال B به دلیل خنثی شدن برخی از نیروها، ناشی از واکنش دستک فشاری در میانقاب‌های A و D یا B و C در راستای قائم از

شده است. مقاومت فشاری این ۳ نوع میانقاب بر اساس پیشنهاد FEMA 356 [۱۹] برای ۳ حالت دارای کیفیت ضعیف، متوسط و خوب در نظر گرفته شده است.

برای به دست آوردن مقاومت تسلیم اتصال خورجینی در راستای قائم از روابط ارائه‌شده در نشریه شماره ۳۲۴ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور (ضوابط طراحی ساختمان‌های با اتصال خورجینی) [۱۵] استفاده شده است. طبق این نشریه بیشینه‌ی بار قائم مجاز (R) وارد بر اتصال خورجینی ساده با نبشی نشیمن و لچکی فوقانی، طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود که در آن R_1 و R_2 به ترتیب مقاومت نهایی نبشی نشیمن و لچکی فوقانی است:

$$R = 0.6(R_1 + R_2) \leq 1.2R_1$$

$$R_1 = f_y \cdot \left(\frac{b_{fb}}{b_{fb} - 2t_1} \right) \left[\frac{L}{2b_{fb}} t^2 + \left(\frac{L}{2b_{fb}} + 0.7 \right) t_{wb}^2 + 2t_{fb}^2 \right]$$

$$R_2 = f_y \cdot t \cdot \sin^2 \theta \left(\sqrt{b^2 + \left(e - \frac{b}{2} \right)^2} - 2 \left(e - \frac{b}{2} \right) \right)$$

t_{wb} و b_{fb} به ترتیب عرض و ضخامت بال تیر، t_{fb} ضخامت جان تیر، t_1 ضخامت بال نبشی و L طول نبشی است. B و t عرض و ضخامت لچکی، e فاصله محور تیر تا بر ستون و θ زاویه لبه آزاد لچکی با افق است. با توجه به وجود نبشی فوقانی به جای لچکی در اتصالات مطالعه شده:

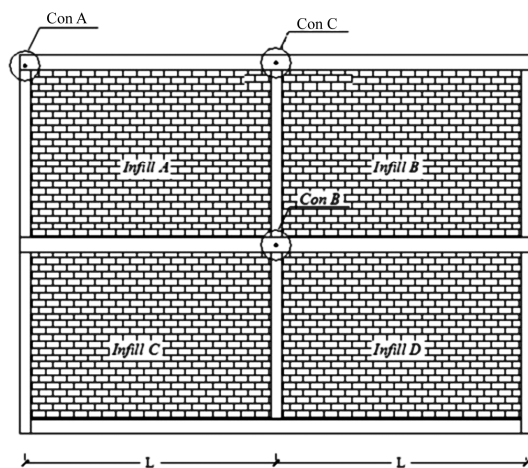
$$R_1 = f_y \cdot \left(\frac{b_{fb}}{b_{fb} - 2t_1} \right) \left[\frac{L}{2b_{fb}} t^2 + \left(\frac{L}{2b_{fb}} + 0.7 \right) t_{wb}^2 + 2t_{fb}^2 \right]$$

$$R_1 = 8,220 \text{ Kg}$$

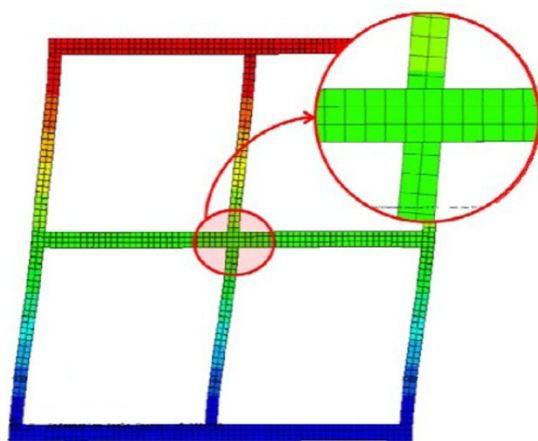
پس برای هر اتصال خورجینی که پیرامون آن ۴ نبشی وجود دارد، داریم:

$$R = 2 \times 2 \times R_1 = 32,880 \text{ Kg}$$

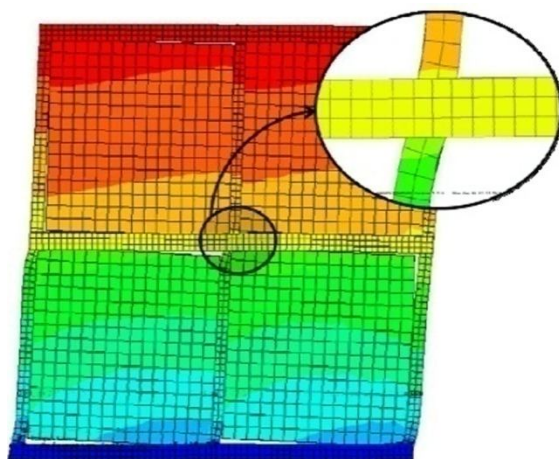
بنابراین با توجه به دودهانه بودن قاب، نیروی متناظر با تسلیم اتصال برابر خواهد بود با:



شکل (۷) انواع مختلف اتصال از نظر نحوه اندرکنش با میانقاب‌های موجود



الف) بدون میانقاب



ب- دارای میانقاب

شکل (۸) تغییر شکل قاب دوطبقه دودانه در دو حالت دارای میانقاب و بدون میانقاب

این نظر با خطر کمتری مواجه خواهد بود.

۷-۲-۲- بررسی کفایت مقاومت پیچشی اتصال

خارجینی

در این قسمت کفایت مقاومت پیچشی اتصال خورجینی هنگام اعمال بار جانبی به قاب مرکب بررسی می‌شود. مدل‌سازی در این حالت با فرض کافی بودن مقاومت اتصال در راستای قائم انجام شده است.

در بسیاری از موارد در ساختمان‌های موجود، اتصالات خورجینی مجاور میانقاب‌ها همان‌طور که در اتصال B شکل (۷) دیده می‌شود، در مجاورت دو میانقاب قرار دارد که نسبت به اتصال به صورت قطری قرار گرفته است (میانقاب‌های A و D). بر اساس آنچه در بند ۷-۲-۱ اشاره شد، اگرچه این حالت برای رفتار اتصال در راستای قائم می‌تواند مفید باشد اما با ایجاد دستک فشاری در میانقاب و اعمال نیروهای ناشی از اندرکنش قاب و میانقاب به تیر و ستون، کوپل نیروهایی به اتصال اعمال خواهد شد که می‌تواند باعث چرخش زیاد اتصال و در نتیجه ایجاد خرابی در آن شود. پس برای بررسی آثار میانقاب بر اتصال خورجینی در این حالت، مدل‌های دوطبقه دودانه‌ای در نرم‌افزار ABAQUS ساخته شده است.

در این بررسی، سه حالت برای ابعاد قاب پیرامونی در نظر گرفته شده است. پارامتر n که برابر با نسبت ارتفاع میانقاب به طول آن است در این سه حالت تغییر کرده است. همان‌طور که اشاره شد افزودن میانقاب به قاب خالی می‌تواند سبب اعمال چرخش زیادی در اتصال خورجینی شود. در شکل (۸)، نحوه تغییر شکل قاب دوطبقه در حالت $n=1$ (با بزرگ‌نمایی ۵ برابر) برای قاب خالی و قاب دارای میانقاب، نشان داده شده است. در این شکل افزایش دوران اتصال خورجینی برای جابه‌جایی نسبی یکسان به خوبی دیده می‌شود.

است که نشان‌دهنده اثر منفی اندرکنش قاب و میانقاب بر رفتار خمشی اتصال خورجینی است.

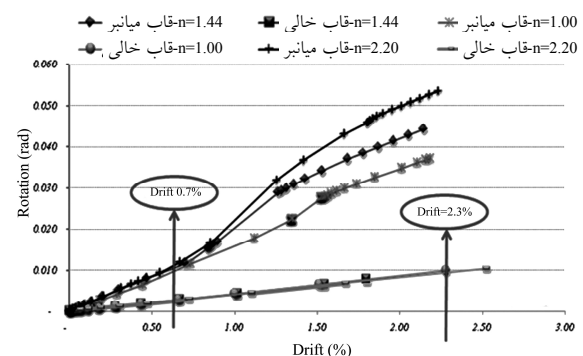
۸- نتیجه‌گیری

در قاب‌های فولادی دارای اتصال خورجینی، در صورت کفایت اتصال برای تحمل نیروهای وارد شده، میانقاب‌ها می‌توانند تأثیر زیادی در سختی و مقاومت نهایی قاب مرکب در مقایسه با قاب خالی داشته باشند. در بررسی انجام‌شده در این پژوهش، میانقاب به ضخامت ۲۲ سانتی‌متر، سختی را تقریباً ۲۵ برابر و مقاومت نهایی را حدوداً ۱۲ برابر افزایش داد. در میانقاب به ضخامت ۳۵ سانتی‌متر نیز این اعداد به ترتیب ۳۰ و ۱۳ بوده است.

رویکرد و روابط پیشنهادشده در نشریات FEMA و نشریه ۳۶۰ ایران درباره‌ی نحوه معادل‌سازی میانقاب‌ها به صورت دستک فشاری و چگونگی به‌دست آوردن مشخصات این دستک‌ها برای قاب‌های مهاربندی دارای اتصال خورجینی نیز دقت خوبی خواهد داشت و می‌توان از این روابط در تحلیل این‌گونه قاب‌های مرکب استفاده کرد. اما درباره‌ی مقاومت نهایی قاب مرکب، مقداری تفاوت بین نتایج به دست‌آمده از مدل ساده‌شده با نتایج مدل المان محدود وجود دارد که در همه‌ی حالات مهاربندی ضعیف، قوی و متوسط، مقاومت به‌دست‌آمده از روش المان محدود بیشتر از مقاومت به‌دست‌آمده از روش ساده‌شده است.

با مقایسه نمودار نیرو-جاب‌جایی قاب مهاربندی ضعیف در دو حالت دارای میانقاب و بدون میانقاب، دیده می‌شود که میانقاب‌های مصالح بنایی در این حالت نیز اثر چشم‌گیری بر سختی و مقاومت نهایی این نوع قاب‌های مرکب خواهند داشت. این اثر به صورتی است که میانقاب با کیفیت مصالح متوسط، سختی قاب مرکب را تقریباً ۱/۶۰ برابر و مقاومت

برای بررسی اثر میانقاب‌ها بر چرخش اتصال خورجینی، نمودارهایی ارائه شده است که محور افقی آن بیشینه‌ی جابه‌جایی نسبی طبقات مجاور اتصال و محور قائم آن میزان چرخش اتصال است. نمودارها برای دو حالت قاب خالی و قاب دارای میانقاب به‌دست آمده است و همه‌ی نمودارهای به‌دست‌آمده، در قالب یک شکل برای مقایسه ارائه شده است (شکل ۹).



شکل (۹) نمودار چرخش - تغییر مکان نسبی طبقه در قاب مرکب دوطبقه برای nهای مختلف

بررسی نمودارهای ارائه‌شده، نشان‌دهنده تغییر شیب نمودارها پس از رسیدن چرخش اتصال به نزدیک ۰/۰۱ رادیان است که گویای بروز خرابی در اتصال خورجینی ناشی از پیچش است. این میزان چرخش برابر همان مقداری است که به عنوان چرخش متناظر با بیشینه لنگر قابل تحمل اتصال، به نرم‌افزار معرفی شده است و در هر ۳ مدل تقریباً متناظر با جابه‌جایی نسبی ۰/۸ درصد است.

همان‌طور که در شکل (۹) مشخص شده است، چرخش ۰/۰۱ رادیان که بر اساس تحقیقات آزمایشگاهی انجام‌شده، میزان چرخشی است که پس از آن انتظار شکست در اتصال می‌رود، در حالت قاب خالی، در تغییر مکان نسبی بیش از ۲/۰ درصد اتفاق افتاده است؛ ولی همین میزان چرخش در حالت قاب میان‌پر در حدود تغییر مکان نسبی ۰/۷ درصد اتفاق افتاده

۹- مراجع

- نهایی را به بیش از ۲/۵۰ برابر خواهد رساند.
- کنترل تیر و ستون‌های مجاور میانقاب در برابر نیروهای ناشی از اندرکنش قاب و میانقاب به‌ویژه در صورت وجود میانقاب قوی، امری ضروری است؛ زیرا در بیشتر تحلیل‌های انجام شده در این پژوهش، پیش از بروز خرابی زیاد در میانقاب‌ها، در اعضای مجاور، نواحی پلاستیک، تشکیل شده و دچار آسیب‌دیدگی شده است.
- در بررسی سازه‌های فولادی دارای اتصال خورجینی، کنترل کفایت اتصال در راستای قائم ضروری است زیرا بررسی انجام‌شده در این پژوهش روی اتصالات متداول خورجینی موجود، کفایت نداشتن این اعضا در برابر نیروهای قائم ناشی از اندرکنش قاب و میانقاب را نشان می‌دهد.
- در مواردی که اتصالات خورجینی در مجاورت دو میانقابی قرار دارد که نسبت به اتصال به صورت قطری قرار گرفته، تغییر مکان نسبی متناظر با چرخش ۰/۰۱ رادیان در حالت قاب خالی بیش از ۳/۰ برابر قاب دارای میانقاب است که نشان‌دهنده اثر منفی اندرکنش قاب و میانقاب بر رفتار خمشی اتصال خورجینی است.
- با توجه به نتایجی که در این پژوهش به‌دست آمده است میانقاب‌های مصالح بنایی آثار مثبتی بر سختی و مقاومت نهایی قاب مرکب دارای اتصالات خورجینی دارند، اما از آن‌جا که آثار منفی این اعضا بر اتصالات خورجینی مجاور خود یعنی خرابی اتصال در راستای قائم و کاهش بیش از ۳/۰ برابری تغییر مکان نسبی مجاز طبقات به علت اعمال لنگرهای زیاد به اتصال، می‌تواند رفتار سازه را در معرض خطر قرار دهد، لازم است همراه با در نظر گرفتن هرگونه آثار مثبت این اعضا بر رفتار لرزه‌ای این نوع قاب‌ها، آثار منفی آن‌ها نیز بررسی شده و در صورت آسیب‌پذیر بودن اتصالات، برای تقویت آن‌ها یا جداسازی قاب و میانقاب اقدام شود.
- [۱] آیین‌نامه‌ی بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود (نشریه ۳۶۰)، انتشارات سازمان مدیریت برنامه ریزی کشور، ۱۳۸۵
- [2] Polyakov, S. V., 1960, "On the Interaction Between Masonry Filler Walls and Enclosing Frame When Loaded in the Plane of the Wall", Translations in Earthquake Engineering, Earthquake engineering Research Institute, Oakland, California, pp.36-42.
- [3] Stafford Smith, B., 1966, "Behavior of Square Infilled Frames", Journal of the Structural Engineering Division, American Society of Civil Engineers, New York, pp.381-403.
- [4] Stafford Smith, B., 1968, "Model Test Results of Vertical and Horizontal Loading of Infilled Frames", ACI Structural Journal, American Concrete Institute, Detroit, Michigan, pp.618-624.
- [5] Mainstone, R. J., 1971, "On the Stiffness and Strength of Infilled Frames", Current Paper CP 2/27, Building Research Station, Garston, United Kingdom, reprinted from Proceedings of Institution of Civil Engineers, 1971 Supplement (iv), Paper 7360 S, pp. 57-90.
- [6] Mainstone, R. J., 1974, "Supplementary Note on the Stiffness and Strength of Infilled Frames", Current Paper CP 13/74, Building Research Station, Garston, United Kingdom.
- [7] Saneinejad A. and Hobbs B., 1995, "Inelastic design of infilled frames.", Journal of the Structural. Engineering, 121(4), 634-650.
- [۸] فتحی م، "بررسی رفتار دینامیکی غیرخطی قاب‌های با اتصال خورجینی تحت نیروهای زلزله"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد به راهنمایی دکتر آقاچوکچک، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۷۶.
- [۹] کرمی، "مطالعات انجام‌شده در مرکز تحقیقات

- ساختمان و مسکن"، تهران، ۱۳۷۰.
- [۱۵] ضوابط طراحی ساختمان‌های با اتصال خورجینی (نشریه ۳۲۴)، انتشارات سازمان مدیریت برنامه ریزی کشور ۱۳۸۵.
- [16] Mehrabi A. B. and Shing P. B., Schuller M. P., and Noland J. L. (1996), "Experimental evaluation of masonry-infilled RC frames." J. of Struct. Eng., 122(3), 228-237.
- [۱۷] مقدم، ح؛ "طرح لرزه‌ای ساختمان‌های آجری؛" انتشارات دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۷۳.
- [18] Federal Emergency Management Agency, Evaluation Of Earthquake Damaged Concrete And Masonry Wall Buildings, Fema 306.
- [19] Federal Emergency Management Agency, Prestandard And Commentary For The Seismic Rehabilitation Of Buildings, Fema 356.
- [12] Mosalam., M., White., N., Gergely., P., 1997, "Static Response of Infilled Frames Using Quasi-Static Experimentation", Journal of the Structural Engineering, pp.1462-1469.
- [۱۳] آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، استاندارد ۲۸۰۰، انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، وزارت مسکن و شهر سازی، ویرایش سوم ۱۳۸۴
- [۱۴] سعادت نیا، "بررسی اثر مولفه قائم زلزله بر رفتار ساختمان‌های فولادی با اتصالات خورجینی"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد به راهنمایی دکتر شکیب، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۸۴.

Effects of Masonry Infills on Seismic Behavior of Steel Frames with Khoreeni Connections and Their Elements

S. Garivani¹, A. A. Aghakouchek^{2*}, M. Soltani Mohammadi³

1- M.Sc., Civil & Environmental Eng. Faculty, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

2- Professor, Civil & Environmental Eng. Faculty, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

3- Associate Prof., Civil & Environmental Eng. Faculty, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

a_gha@modares.ac.ir

Abstract:

Steel frames with Khorjeeni connections have been widely used in the traditional construction of buildings in Iran during the past decades. In the traditional form of Khorjeeni connections, double section beams are not cut at the intersection with columns, rather they are connected to the column by means of two angles placed over the top and bottom of the beam flanges. This type of connection offers advantages for frames, which carry gravity loads, but it has deficiencies when the frames are subjected to lateral loads.

Like other structural frames, there are masonry infills in many frames with Khorjeeni connections. The behavior of composite frames subject to lateral loads differs from that of bare steel frames. In this paper, positive and negative effects of masonry infills were studied on the behavior of steel frames with Khorjeeni connections. Finite element method was used to carry out nonlinear static analysis of subassemblages of this type of frames. Initially, the results of some experiments were utilized to verify the details of the model. Then numerical models of two span or four span frames with different configuration of bracings and masonry infills were studied. The results showed that infill frames increase the stiffness and strength of frames in the absence of bracing considerably. Even when bracings are present, the increase in stiffness and strength is significant. Simplified compressive strut models proposed in recent guidelines for seismic rehabilitation of existing buildings are also utilized to analyze the models. The results show agreement with the results of more sophisticated FE models.

The masonry infills, however, have some negative effects on the behavior of Khorjeeni frames. Parts of the column in the vicinity of connections are prone to plastic damage, particularly when the infills are relatively strong. The Khorjeeni connections are subjected to vertical forces and torsional moments. Due to limited vertical strength of these connections, top stories of this type of frames may suffer when compressive action of strut is mobilized for other bays. This action introduces additional moments, which may damage the connections. Therefore, considering of these negative effects of infills is very important when seismic behavior of the existing frames is assessed, because these effects limit the interstorey drift ratios.

Keywords: Khorjeeni connection, Masonry infill, Stiffness and ultimate strength of composite frames.