

بررسی رفتار عددی زوج دیوارهای پیش ساخته برشی زیر اثر پوش بارهای تناوبی*

هاشم شریعتمدار^(۱) حمیدرضا عباسیان^(۲)

چکیده در سازه های بتنی پیش ساخته صفحه ای، طراحی ها با فرض صلب بودن اتصالات انجام می گیرد. ولی، در بارهای لرزه ای اتصالات وارد محدوده غیر خطی - غیر کشسان می شوند و باید رفتار واقعی سازه با در نظر گرفتن اتصالات غیر کشسان بررسی شود. در این مقاله سه گونه اتصال معمول در سازه های صفحه ای بررسی و با کمک برنامه غیر خطی ANSYS و به کارگیری پوش منحنی های تناوبی، الگوسازی شده اند. نتیجه ها نشان می دهد که الگوی رفتاری فنر غیرخطی بسیار نزدیک به رفتار واقعی اتصال می باشد و با حالت صلب تفاوت دارد. الگوی غیر خطی در اتصالات زوج دیوارهای برشی پیش ساخته بتنی، که سامانه مقاوم در برابر بارهای جانبی زلزله هستند، به کار رفت و تحلیل های متفاوت انجام شد. براساس تحلیل های انجام شده نیروهای به وجود آمده در اتصالات و تغییر شکل های سازه، با فرض اتصال صلب متفاوت است و با الگوسازی اتصالات به صورت واقعی، نتیجه های دیگری به دست می آیند. نیروهای داخلی در اتصال با فرض غیر خطی بودن رفتار، کمتر از حالت صلب می شود و تغییر شکل های سازه نیز بیشتر است. نتیجه ها نشان می دهد که کاهش نیروهای داخلی در حدود ۶/۷ برابر و افزایش تغییر شکل ها در حدود ۴ برابر می باشد.

واژه های کلیدی اتصال غیرخطی، اتصال صلب، زوج دیوار برشی پیش ساخته، بار لرزه ای، تغییر شکل ها، نیروهای داخلی

Response of Coupled-Precast Shear Walls Subjected to Cyclic Loads

H. Shariatmadar

H. R. Abbasian

Abstract Large panel precast structures are analyzed based on the connection rigidity. However, the connections undergo nonlinear and inelastic response, when subjected to seismic loads. Thus, to study the actual behavior of structure, the connection nonlinearity should be implemented in the joints. In this paper, three conventional connection types are modeled based on the envelope of their cyclic responses using ANSYS program. The results reveal that the behaviors of modeled connections are very close to experimental results. The nonlinearity of connection is modeled in the coupled-precast shear walls, as a lateral load resisting elements, and several analyses are performed. The results show, when the nonlinear behavior of connection are considered the forces in the connections are smaller up to 6.7 times and the displacements are greater up to 4 times in comparison with those for rigid connection state, respectively.

Key Words Inelastic Connection, Coupled-Precast Shear Walls, Seismic Load

* نسخه ی اول مقاله در تاریخ ۱۳۸۸/۵/۵ و نسخه ی نهایی آن در تاریخ ۱۳۸۹/۱۱/۴ به دفتر نشریه رسیده است.

(۱) نویسنده ی مسئول، استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

(۲) دانش آموخته ی کارشناسی ارشد گرایش سازه، دانشگاه سمنان

مقدمه

برای ساخت سازه‌ها در مدتی کوتاه، استفاده از بتن پیش‌ساخته بسیار اهمیت دارد. همه ساختمان‌ها مانند ساختمان‌های صنعتی، پارکینگ‌ها، ساختمان‌های تجاری، مجتمع‌های مسکونی، هتل‌ها، مدارس، مراکزهای تفریحی، پل‌ها و سازه‌های دیگر را می‌توان با کاربرد بتن پیش‌ساخته بنا کرد. ساختارهای پیش‌ساخته دارای برتری‌های زیادی است که این برتری‌ها شامل پیش‌ساختگی، پیش‌تیدگی و بتنی بودن این ساختارها هستند. در صنعت پیش‌ساخته معمولی سازه‌های صفحه‌ای بزرگ برای ساختمان‌های مسکونی به کار می‌رفت در حالی که سازه‌های پیش‌ساخته ترکیب شده از اجزای خطی تیر و ستون بیشتر برای بناهای صنعتی یک تا سه طبقه کاربرد داشت [1].

در بیشتر موردها، اتصالات بین اعضای پیش‌ساخته، ضعیف‌ترین بخش در این گونه سازه‌ها هستند. به طوری که طراحی و محاسبه سازه‌های پیش‌ساخته بیشتر به کارکرد اتصالات بین قطعات پیش‌ساخته وابسته است. بنابراین، اجرای مناسب و اقتصادی در سازه‌های بتنی پیش‌ساخته بستگی به انتخاب درست و طراحی اتصالات دارد. نتیجه‌های آزمایشگاهی روی اتصالات در سازه‌های بتنی پیش‌ساخته نشان داده است که پیش‌از جاری شدن فولاد و در محدوده خطی رفتار صفحه‌ها، اتصالات، رفتار غیر خطی دارند و شروع به جاری شدن می‌کنند [2,3].

در سال ۲۰۰۲ هوفینز و همکاران آزمایش‌هایی روی دیوارهای برشی با اتصالات قائم انجام دادند. این اتصالات خشک و از صفحه‌های فلزی تشکیل شده بودند. هدف از این آزمایش‌ها بررسی رفتار اتصالات زیر اثر بارهای لرزه‌ای شبیه‌سازی شده بود. بارهای جانبی تناوبی در صفحه دیوار وارد شد که این بارها، در اتصالات نیروی برشی پدید می‌آمدند. نتیجه‌های آزمایش‌ها نشان می‌دهد که این گونه اتصالات شکل‌پذیری بسیار کمی دارند و برای منطقه‌های لرزه‌خیزی

زیاد و خیلی زیاد (نواحی ۳ و ۴) مناسب نیستند. بنابراین، سفارش‌هایی برای بهبود در رفتار پیشنهاد شد [4]. هولدن و همکاران رفتار لرزه‌ای دیوارهای پیش‌ساخته پس‌تئیده را در سال ۲۰۰۳ مورد بررسی قرار دادند. نتیجه‌های بررسی‌ها نشان داد که دیوارهای مورد بحث می‌توانند رفتاری مناسب داشته باشند و تا مرز ۳ درصد تغییر مکان نسبی بدون آسیب دیدگی باقی می‌مانند [5]. در سال ۲۰۰۴ پرز و همکاران کار تحلیلی روی دیوارهای ساخته شده از صفحه‌های پیش‌ساخته که در برای عمودی با اتصالات شکل‌پذیر به یکدیگر متصل شده و در پی نیز با فولادهای پس‌کشیده مهار می‌شدند، انجام دادند. نتیجه‌های تحلیل‌ها با روش‌های عددی (Close Form Expression) مقایسه شد [6]. نولن در سال ۲۰۰۵ کار پژوهشی برای بررسی یکپارچگی در سازه‌های قابی و دال‌های پیش‌ساخته روی اتصالات انجام داد. نتیجه‌ها نشان می‌دهد که اتصالات بتنی پیش‌ساخته با فراهم کردن طول پیوستگی روی هم‌گذاری مساوی با ده برابر قطر میل‌گرد می‌توانند یکپارچگی در این سامانه‌ها را فراهم سازند [7]. ول و همکاران در سال ۲۰۰۷ بر روی اتصالات خشک جدا از هم در دیافراگم‌های ساخته شده از مقطع T شکل دوتایی به مطالعه پرداختند. هدف از این مطالعه ارزیابی بناهای تحلیلی برای رفتار کشسان در صفحه اتصالات این سامانه‌ها و بررسی رفتار و چگونگی توزیع نیروها در اتصالات بود. نتیجه‌های رفتار دیافراگم‌ها با اتصالات خشک جدا از هم با حالت ساخته شده در جا با یکدیگر مقایسه شد. هیچ‌گونه بررسی در حالت غیرخطی و غیرکشسان صورت نگرفت [8]. باریوزا و همکاران در سال ۲۰۰۸ کارهای پژوهشی آزمایشگاهی روی ظرفیت باربری اتصالات با ملات پرکننده در سازه‌های پیش‌ساخته بتنی انجام دادند. در این مطالعه متغیرهای اصلی شامل گونه مواد، ضخامت لایه‌ها، نسبت مقاومت مواد پرکننده به مقاومت بتن پیش‌ساخته، مقاومت فشاری بتن و استفاده از میل‌گردها در نواحی اتصال بود. نتیجه‌ها نشان داد که ضخامت مناسب لایه حدود ۲۲/۵

سامانه صفحه‌ای با عضوهای T شکل دوتایی

در این پژوهش یکی از سامانه‌های صفحه‌ای بررسی شده که از قطعه‌های T شکل دوتایی ساخته شده‌اند. در این سامانه همه بخش‌ها شامل دیوارها و کف‌ها به صورت پیش‌ساخته از قطعه‌های دوتایی T تشکیل شده‌اند. این قطعه‌ها در فاصله‌های مشخص با کمک اتصال بین دو قطعه به هم وصل شده و یک ساختمان پیش‌ساخته را به وجود آورده‌اند. T های دوتایی برای دهانه‌های بین ۹ تا ۲۱ متر نسبت به مقطع‌های T و مستطیلی شکل، اقتصادی‌تر بوده و برای کاربردهای صنعتی استاندارد شده‌اند. شکل (۱) اجزای یک ساختمان یک طبقه صنعتی با دیوارهای صفحه‌ای بتنی پیش‌ساخته که از T های دوتایی هستند را نشان می‌دهد [2].

رفتار سازه‌های واقعی نشان داده است که در هنگام زلزله حتی پیش از جاری شدن فولاد در صفحه‌های پیش‌ساخته، اتصالات شروع به جاری شدن می‌کنند. در واقع صفحه‌ها در محدوده کشسان باقی مانده و اتصالات بین آن‌ها وارد محدوده مومسان رفتار خود می‌شوند. دلیل آن مقاومت کمتر اتصالات نسبت به صفحه‌های اطراف آن است؛ مهم‌تر این‌که، این مقاومت با بارهای تناوبی کاهش می‌یابد.

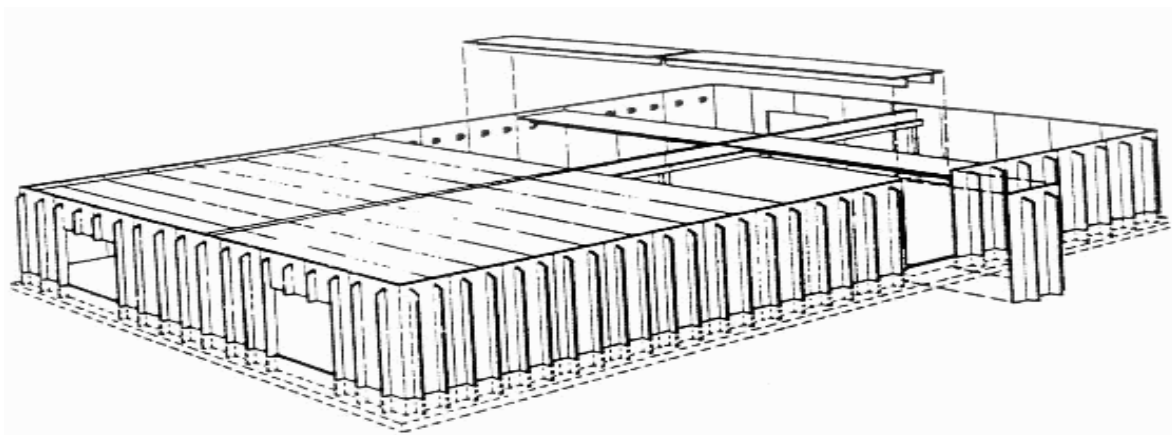
اتصالات A، B و C

در بین اعضای یک سازه با T دوتایی انواع اتصالات به کار می‌رود. در این پژوهش سه گونه اتصال خشک با میل‌گرد فولادی که معمول‌تر از دیگر اتصالات هستند، در الگوسازی‌ها به کار رفته‌اند. این اتصالات با نمادهای A، B و C مشخص شده‌اند. شریعتمدار بر روی نمونه‌هایی که شامل این اتصالات بودند، پژوهش‌های آزمایشگاهی انجام داده است و هر اتصال را با توجه به تحلیل‌های انجام شده در یک صفحه با ابعاد $۱۳۰۰ \times ۸۰۰ \times ۵۰$ میلی‌متر بررسی کرده است. معرفی این نمونه‌ها و نتیجه‌های پژوهش بر روی آن‌ها در بخش‌های بعدی آمده‌اند [10,11,12,13].

میلی‌متر و استفاده از ملات با مقاومت فشاری بزرگ‌تر از مقاومت بتن پیش‌ساخته رفتار اتصال را بهبود می‌دهد. هم‌چنین استفاده از میل‌گردهای اضافی در محل اتصالات شکل‌پذیری را بهبود داده ولی افزایشی در ظرفیت باربری اتصال نخواهد داشت [9].

بررسی کارهای پژوهشی نشان می‌دهد که تاکنون در بیشتر پژوهش‌ها به رفتار خود اتصال پرداخته شده و به ندرت رفتار بخشی از سازه را بررسی کرده‌اند. در همه پژوهش‌های انجام شده تاکنون، اتصالات پیش‌ساخته صفحه‌ای، زیر اثر تنها یک نیروی موازی با اتصال (نیروی برشی) قرار گرفته‌اند. در صورتی که در یک سازه کامل ساخته شده از جزءهای پیش‌ساخته زیر اثر نیروهای جانبی، به اتصالات افقی و قائم در اجزای صفحه‌ای پیش‌ساخته تشکیل دهنده دیوار برشی، ترکیبی از نیروهای داخلی موازی (برشی) و عمود بر اتصال (محوری) وارد می‌شوند. بنابراین بررسی و مطالعه رفتار این گونه اتصالات در ترکیب اندرکنش نیروهای محوری - برشی ضروری می‌باشد. هم‌چنین با توجه به کاربری زیاد دیوارهای پیش‌ساخته برشی در کارهای مقاوم‌سازی و تولید صنعتی ساختمان، مطالعه و تحقیق رفتار سامانه سازه‌ای کامل، بسیار لازم است.

در این مقاله نخست الگوسازی اتصالات زیر اثر اندرکنش نیروهای تناوبی (پوش منحنی‌های هیستریزیس) برشی و محوری انجام شده و با توجه به نتیجه‌های آزمایشگاهی درستی الگوسازی تایید شده است. سپس روی دیوار برشی مرکب از صفحه‌ها و روی سازه کامل تشکیل شده از دیوارهای برشی پیش‌ساخته تحلیل شده است و رفتار غیر خطی غیر کشسان تناوبی اتصالات و هم‌چنین اثر اندرکنش نیروهای وارد بر اتصال در این سامانه‌ها در نظر گرفته شده است. در ادامه، رفتار سازه و توزیع نیروها و بنیادهای شکل‌پذیری مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است.



شکل ۱ ساختمان یک طبقه با عضوهای T دوتایی

است. طول بخش‌های مایل برابر ۴۰۰ میلی‌متر به علاوه دوازده برابر قطر میل‌گرد و بخش مستقیم آن دارای طول ۲۰۰ میلی‌متر است. میل‌گرد در بخش مستقیم خود و مقداری از بخش مایل آن به نبشی فولادی با ابعاد $10 \times 50 \times 75$ میلی‌متر و طول ۳۵۰ میلی‌متر جوش شده است. شبکه‌های فلزی مانند اتصال A هستند. جزییات این اتصال در شکل (۳) نشان داده شده است [10,11,12].

اتصال C

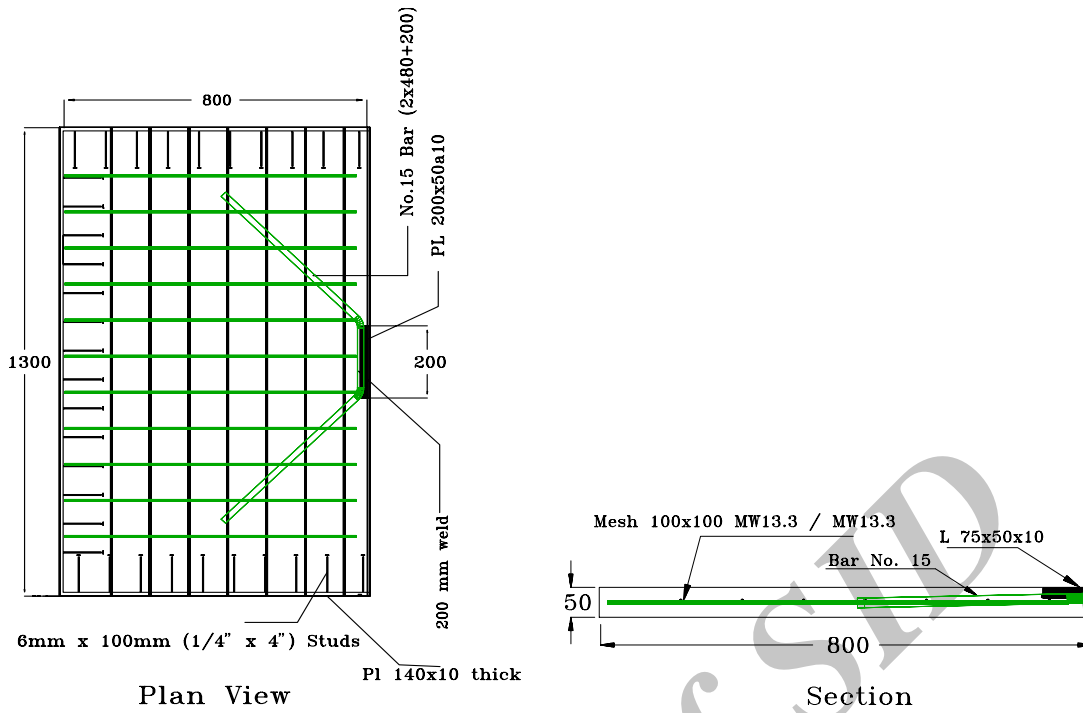
در این اتصال سه عدد میل‌گرد شماره ۱۵ به کار رفته است که دو عدد از میل‌گردها با زاویه ۴۵ درجه نسبت به نیروی برشی در اتصال و میل‌گرد سوم در برای عمود بر آن قرار دارند. همه میل‌گردها به نبشی فولادی با ابعاد $10 \times 50 \times 75$ میلی‌متر جوش شده‌اند. وجود میل‌گرد عمودی باعث افزایش مقاومت اتصال و افزایش مقاومت پیچشی آن خواهد بود. مش‌های فولادی شبیه اتصالات A و B هستند. شکل (۴) جزییات این اتصال را نشان می‌دهد [10,11,12].

اتصال A

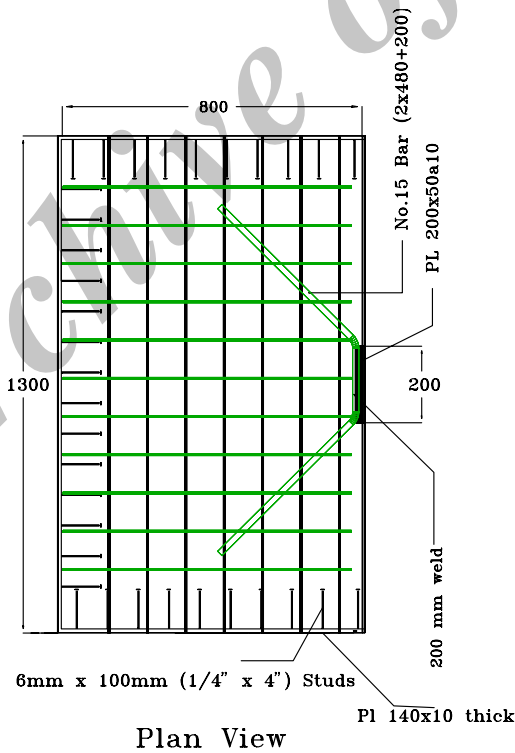
در این اتصال از میل‌گرد آجدار شماره ۱۵ استفاده شده است. میل‌گردها دارای خم ۴۵ درجه با قطر داخلی ۹۵ میلی‌متر هستند. طول بخش مستقیم آن ۲۰۰ میلی‌متر و طول بخش‌های مایل آن ۴۸۰ میلی‌متر است. میل‌گرد در بخش مستقیم خود به یک نبشی فولادی با ابعاد $10 \times 50 \times 75$ میلی‌متر و با طول ۳۵۰ میلی‌متر جوش شده است. صفحه‌ها با شبکه‌های $13/3 / M W 13/3$ 100×100 MW (ابعاد $100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$) مسلح شده که نسبت فولاد در هر برای $\rho = 0.027$ می‌باشد. شبکه‌ها در بخش میانی ضخامت ۵۰ میلی‌متر قرار دارند و میانگین پوشش بتن برای آن‌ها برابر ۲۰/۵ میلی‌متر است. جزییات این اتصال در شکل (۲) ارائه شده است [10,11,12].

اتصال B

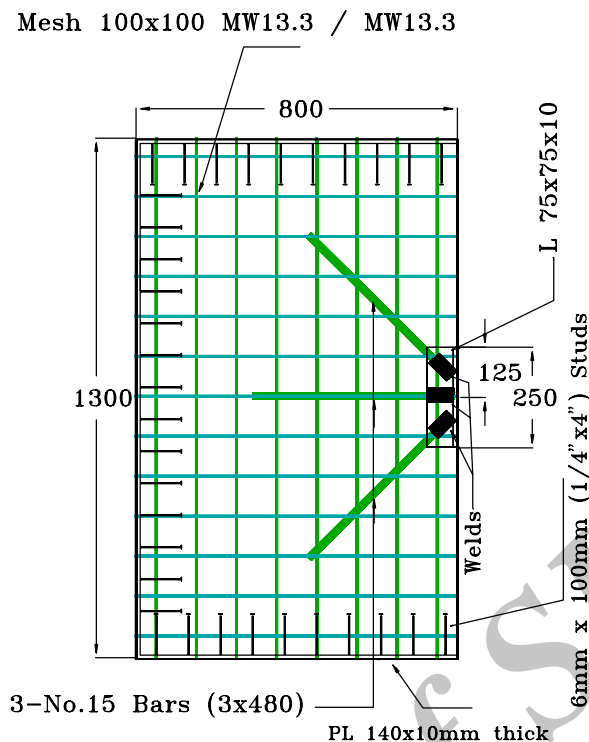
در این اتصال از میل‌گرد شماره ۱۵ استفاده شده که با زاویه ۴۵ درجه خم شده است و در انتهای هر بخش مایل آن، یک قلاب استاندارد ۹۰ درجه قرار داده شده



شکل ۲ جزئیات اتصال A [10]



شکل ۳ جزئیات اتصال B [10]



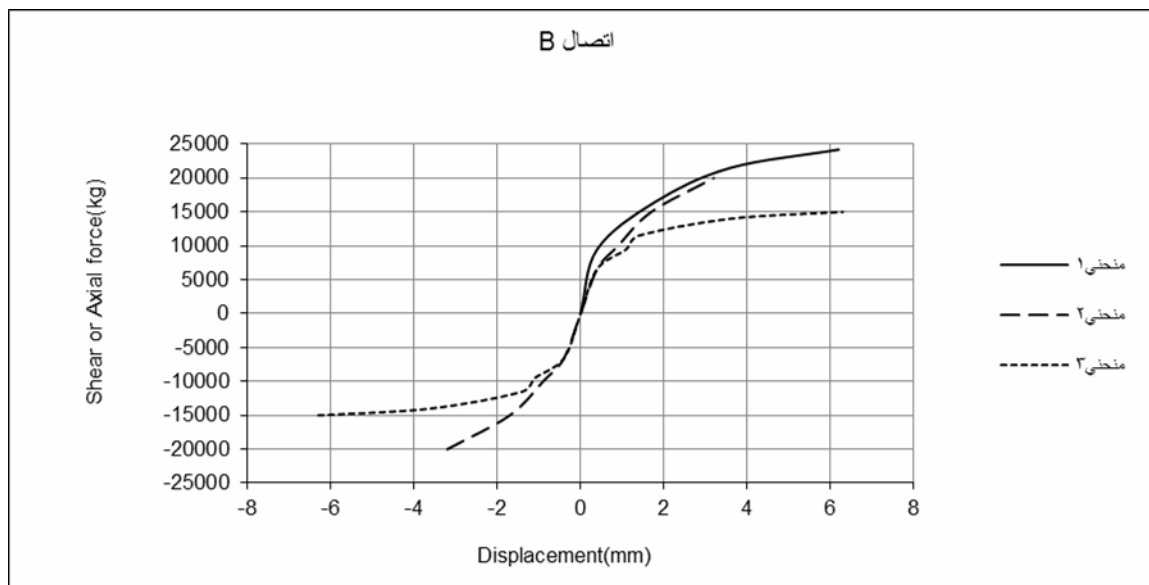
Plan View

شکل ۴ جزئیات اتصال C [10]

بارگذاری افزایشی در محدوده ناکشسان کامل رفتار می‌کند.

الگوسازی و تحلیل به کمک نرم افزار ANSYS
نرم افزار ANSYS در سال ۱۹۷۱ با شرکت آمریکایی Swanson به عنوان یکی از پیشگامان نرم افزارهای اجزای محدود ساخته شد و مورد استفاده پژوهشگران قرار گرفت. این نرم افزار در دسته اولین نرم افزارهایی است که تحلیل‌های غیرخطی و دیگر تحلیل‌ها را در بسته نرم افزاری خود قرار داد [۱۴].

نتیجه‌های آزمایشگاهی بر روی اتصالات A، B و C
اتصالات A، B و C زیر اثر بارهای ایستا و چرخه‌ای تناوبی، آزمایش شده است [10]. در این آزمایش، تعدادی از نمونه‌ها زیر بار ایستای افزایشی و تعدادی دیگر زیر بار لرزه‌ای تناوبی قرار گرفته‌اند و منحنی‌های رفتاری آنها به دست آمده است. پوش منحنی‌های آزمایشگاهی نیروی برشی و محوری برای اتصال B (به صورت نمونه) در شکل (۵) ارائه شده است. در این آزمایش‌ها نیروی برشی و محوری به ترتیب موازی و عمود بر اتصال وارد شده‌اند. همان‌گونه که در منحنی رفتاری دیده می‌شود، رفتار غیرخطی و غیرکشسان کامل می‌باشد و سازه زیر اثر



شکل ۵ منحنی ۱) نمودار نیروی برشی - تغییرشکل در حالت بار ایستای افزایشی برای اتصال گونه B [10]

منحنی ۲) پوش منحنی‌های بارگذاری تناوبی برشی در اتصال گونه B [10]

منحنی ۳) پوش منحنی‌های بارگذاری تناوبی محوری در اتصال گونه B [10]

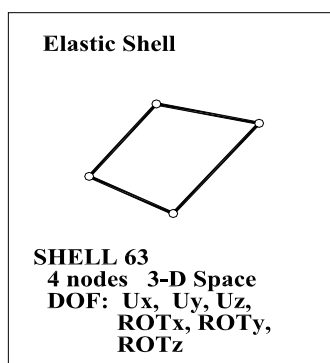
جزء‌های به کار رفته در الگوسازی

هیسترسیز و نقطه به نقطه به عنوان رفتار فنر در نظر گرفته شده است. اتصالات مورد بحث در سازه‌های پیش‌ساخته علاوه بر نیروهای برشی زیر اثر نیروهای عمود بر اتصال (نیروی محوری) نیز قرار می‌گیرند. بنابراین برای فراهم ساختن رفتار اندرکشی اتصال، هر اتصال با یک فنر برشی و یک فنر کششی الگوسازی شده است.

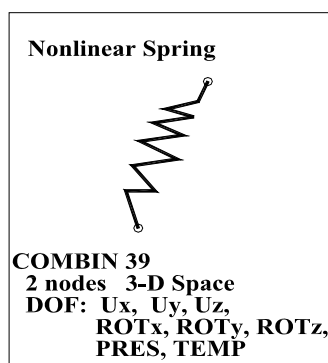
در پژوهش حاضر الگوسازی شامل دو بخش می‌باشد که عبارتند از:

الگوسازی اتصالات. با توجه به آزمایش‌های انجام شده در دانشگاه McGill کانادا که پیش‌تر شرح داده شد [10]، ملاحظه می‌شود که رفتار اتصالات A، B و C به صورت غیر خطی بوده که به روشنی در منحنی‌های نیرو، تغییر شکل آن‌ها مشاهده می‌شود. این رفتار شامل رفتارهای در محل اتصال هستند. بنابراین، همه این رفتارهای غیرخطی بتن، میل‌گردهای اتصال و شبکه‌های فولادی موجود غیرخطی در اتصال به صورت فنرهای غیر خطی الگوسازی شده‌اند. در این الگوسازی از جزء فنر غیر خطی Combin39 موجود در نرم افزار ANSYS استفاده شده است (شکل ۶). ویژگی‌های رفتاری غیر خطی فنرها هماهنگ با نتیجه‌های پوش منحنی‌های

الگوسازی صفحه‌های دیوار. در ساختمان‌های با مقطع T دوتایی زیر اثر نیروهای زلزله، صفحه‌های دیوار در حالت کشسان باقی می‌مانند و تنها در ناحیه اتصال از حالت کشسان خارج می‌شوند. از این رو، الگوسازی کل اتصال شامل بتن و میل‌گرد اتصال و شبکه‌های صفحه‌ها در فنرهای غیر خطی گنجانده شده است. در الگوسازی صفحه‌های دیوار از جزء کشسان Shell 63 که در نرم افزار ANSYS موجود می‌باشد، استفاده شده است (شکل ۶).



Shell 63



Nonlinear Spring

شکل ۶ جزء‌های به کار رفته در الگوسازی

تأیید می‌کنند. بنابراین، این نتیجه به دست می‌آید که الگوسازی‌ها به طور صحیح و کامل انجام شده‌اند. از طرفی نتیجه‌ها نشان می‌دهد که با به کارگیری پوش منحنی‌های هیستریزس آزمایشگاهی در الگوسازی به خوبی می‌توان رفتار کلی این اتصالات را زیر اثر بارهای چرخه‌ای تناوبی برآورد کرد. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که، به کارگیری این الگوها در اتصالات سازه‌های واقعی و تحلیل آن‌ها زیر اثر بارهای مختلف رایبه کننده رفتار مطمئن سازه و نزدیک به واقعیت خواهد بود. منحنی‌های رفتاری به خوبی نشان می‌دهند که رفتار اتصالات ابتدا در ناحیه کشسان بوده و با افزایش بارگذاری، وارد محدوده ابتدایی غیرخطی شده که در واقع ترک خوردگی در بتن اطراف اتصالات را الگوسازی می‌کند. با تسلیم میل‌گردهای اتصال و رسیدن به حد تسلیم عمومی، رفتار کشسان-مومسان اتصال شروع شده که در روی منحنی‌ها به روشنی مشاهده می‌شود. همچنین با توجه به این که پاسخ نهایی اتصالات در محدوده غیرخطی در رفتار لرزه‌ای از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، بارگذاری روی اتصالات تا حد گسیختگی ادامه داده شده و منحنی رفتار اتصال تا حد گسیختگی رایبه شده است.

نتیجه‌های نیروهای ایجاد شده در اتصالات A، B و

الگوسازی اتصالات A، B و C

اتصالات زیر اثر بارهای چرخه‌ای تناوبی آزمایش شده و پوش منحنی‌های هیستریزس برای این اتصالات با شریعتمدار محاسبه و رایبه شده است [10]. پوش منحنی‌ها معیار اصلی و بیان کننده رفتار غیرخطی-پویایی اتصالات می‌باشند. با توجه به این مطالب‌ها و کاربردی شدن پژوهش، الگوسازی اتصال بر پایه پوش منحنی‌های تناوبی انجام گرفته است.

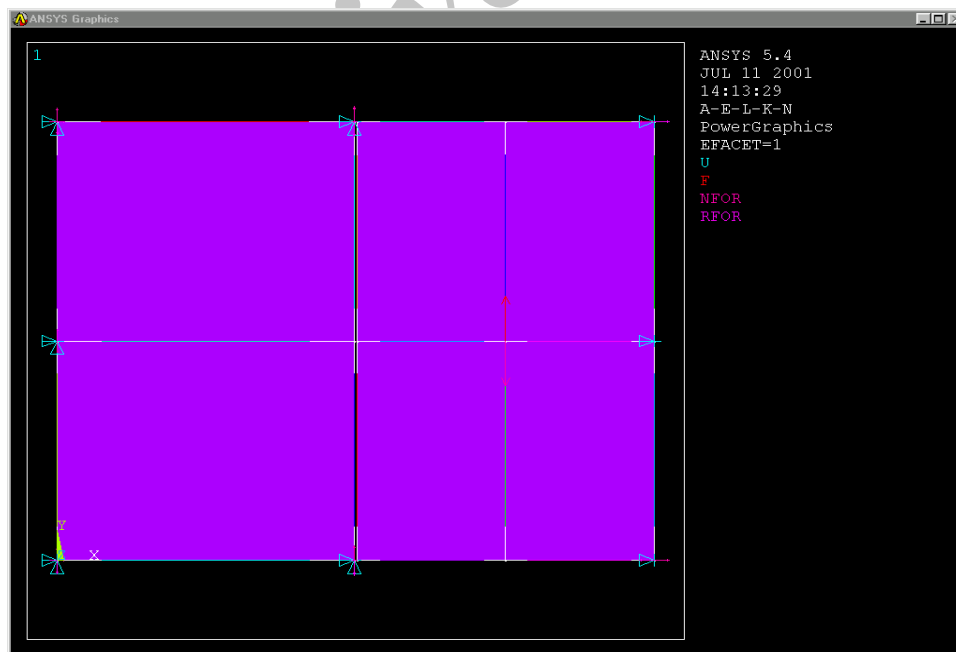
در الگوسازی اتصال، دو صفحه با ابعاد 800×50 میلی‌متر با فاصله استاندارد ۸ میلی‌متر از یکدیگر قرار گرفته‌اند و یکی از صفحه‌ها ثابت شده و در مرکز صفحه دیگر نیرو وارد شده است. بین دو صفحه یک‌بار اتصال برشی و یک‌بار اتصال کششی الگوسازی شده است. الگوی جزء محدود رایبه کننده جزییات اتصالات در شکل‌های (۷) و (۸) به نمایش درآمده است. نتیجه‌های جابه‌جایی‌های حاصل از الگوسازی اتصالات A، B و C که در مرکز صفحه‌های متحرک شکل‌های (۷) و (۸) اندازه‌گیری شده‌اند، در شکل‌های (۹) تا (۱۴)، با نتیجه‌های آزمایشگاهی مقایسه شده‌اند. با مشاهده نمودارها ملاحظه می‌شود که هماهنگی خوبی بین نتیجه‌های الگوسازی و آزمایشگاهی وجود دارد. به گونه‌ای که نتیجه‌های آزمایشگاهی نتیجه‌های رایبه‌ای را

ایستا کاهش می‌یابد. از این رو سفارش می‌شود، مقاومت این گونه اتصالات برای منطقه‌های لرزه خیز با نسبت‌های ارایه شده β که در جدول (۱) آمده‌اند کاهش داده شود. مقدار β نسبت بار نهایی با منظور نمودن رفتار غیرکشسان تناوبی به بار افزایشی غیر تناوبی می‌باشد.

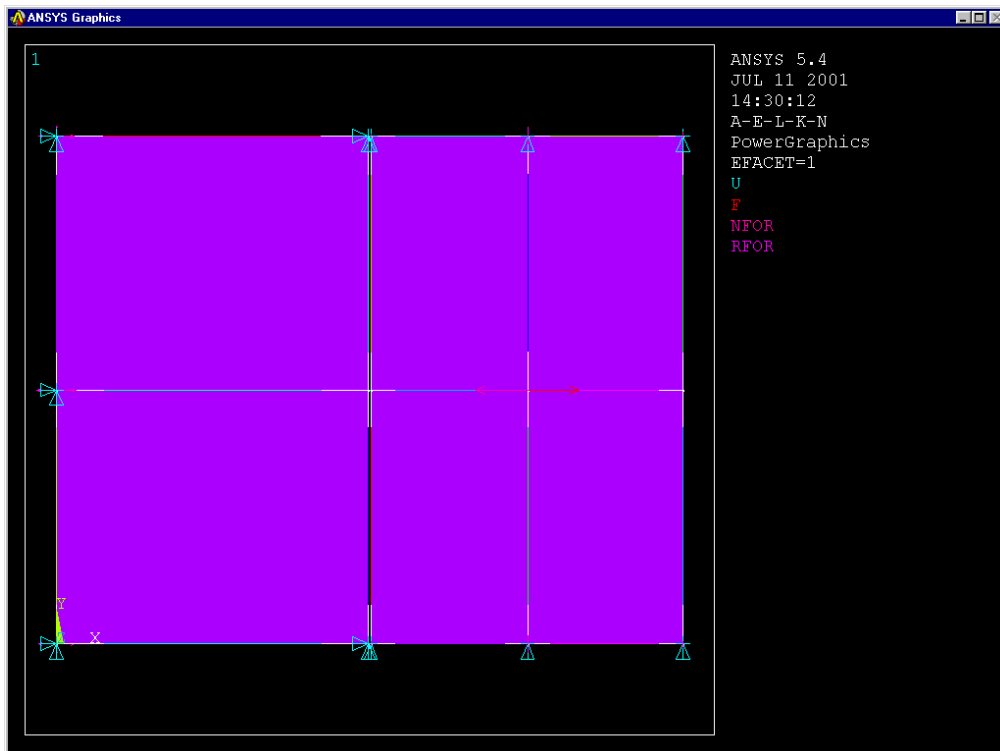
C در اثر بار گذاری‌های مختلف در جدول (۱) ارایه شده‌اند. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، نیروهای ترک خوردگی، تسلیم و گسیختگی با در نظر گرفتن اثر از میان رفتن مقاومت اتصالات در بارهای تناوبی (استفاده از پوش منحنی‌های چرخه ای تناوبی) در مقایسه با بارهای

جدول ۱ مقایسه حالت‌های مختلف بارگذاری برای اتصالات A، B و C

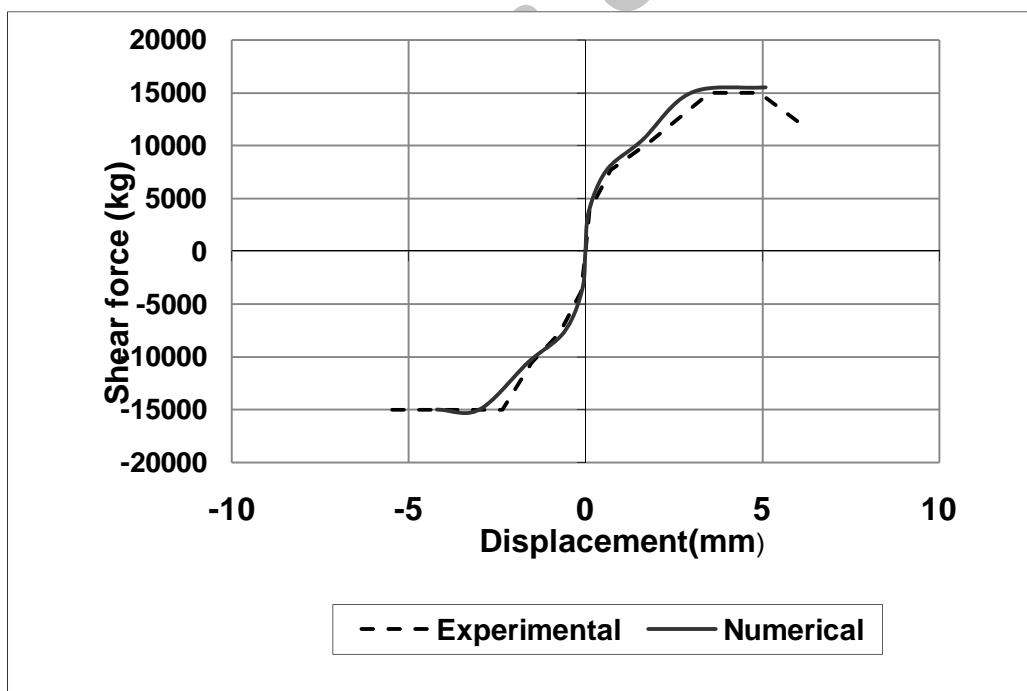
گونه بارگذاری	بارگذاری برشی افزاینده یکنواخت			بارگذاری برشی تناوبی (آزمایشگاهی)			تحلیل رایانه‌ای			β
	نیروی ترک خوردگی F_c (kg)	نیروی تسلیم F_y (kg)	نیروی گسیختگی F_u (kg)	نیروی ترک خوردگی F_c (kg)	نیروی تسلیم F_y (kg)	نیروی گسیختگی F_u (kg)	نیروی ترک خوردگی F_c (kg)	نیروی تسلیم F_y (kg)	نیروی گسیختگی F_u (kg)	
A	۸۵۰۰	۱۱۰۰۰	۱۸۷۰۰	۷۷۰۰	۱۵۰۰۰	۱۵۰۰۰	۷۱۳۰	۱۴۴۴۰	۱۵۰۰۰	۰/۸۰
B	۹۵۰۰	۱۶۵۰۰	۲۴۲۰۰	۸۲۰۰	۱۵۰۰۰	۲۰۰۰۰	۷۴۵۰	۱۴۰۴۰	۱۹۳۰۰	۰/۸۰
C	۷۰۰۰	۲۰۵۰۰	۲۲۶۰۰	۶۵۰۰	۱۵۰۰۰	۱۹۰۰۰	۶۵۰۰	۱۴۰۸۰	۱۸۹۲۰	۰/۸۴



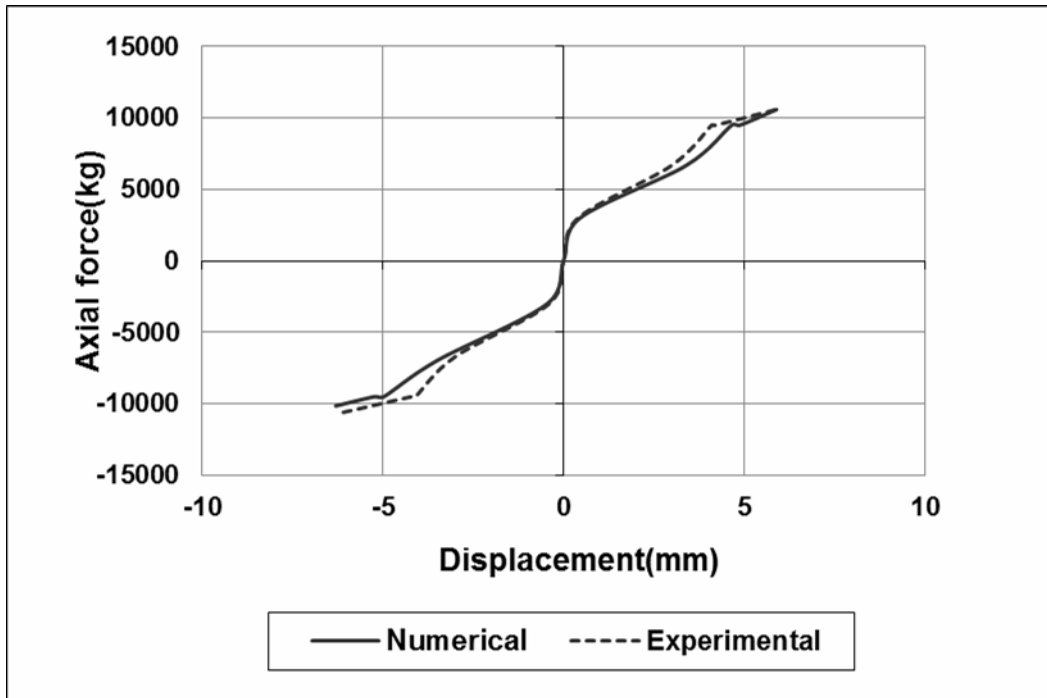
شکل ۷ الگوسازی اتصالات برشی گونه A، B و C با کمک نرم افزار ANSYS



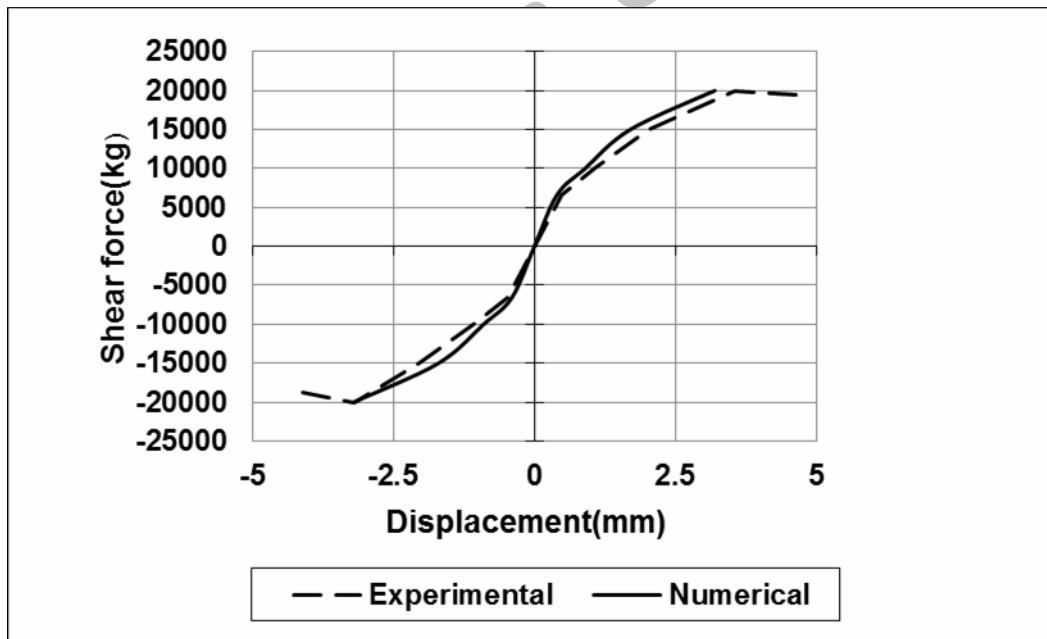
شکل ۸ الگوسازی اتصالات محوری گونه A، B و C با کمک نرم افزار ANSYS



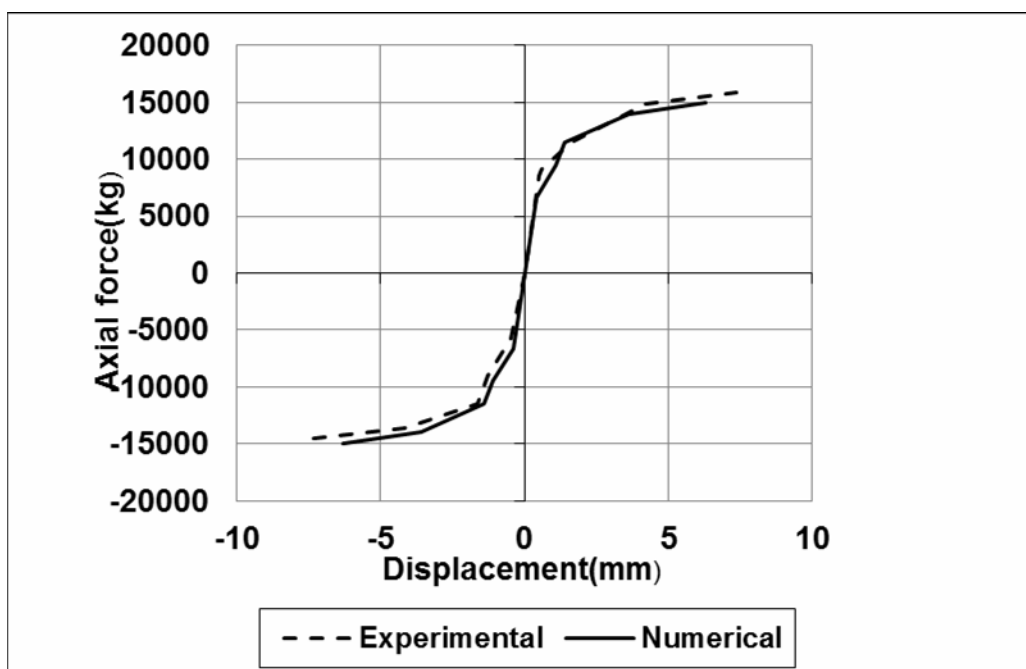
شکل ۹ مقایسه نتیجه‌های آزمایشگاهی و الگوسازی برای اتصال برشی گونه A



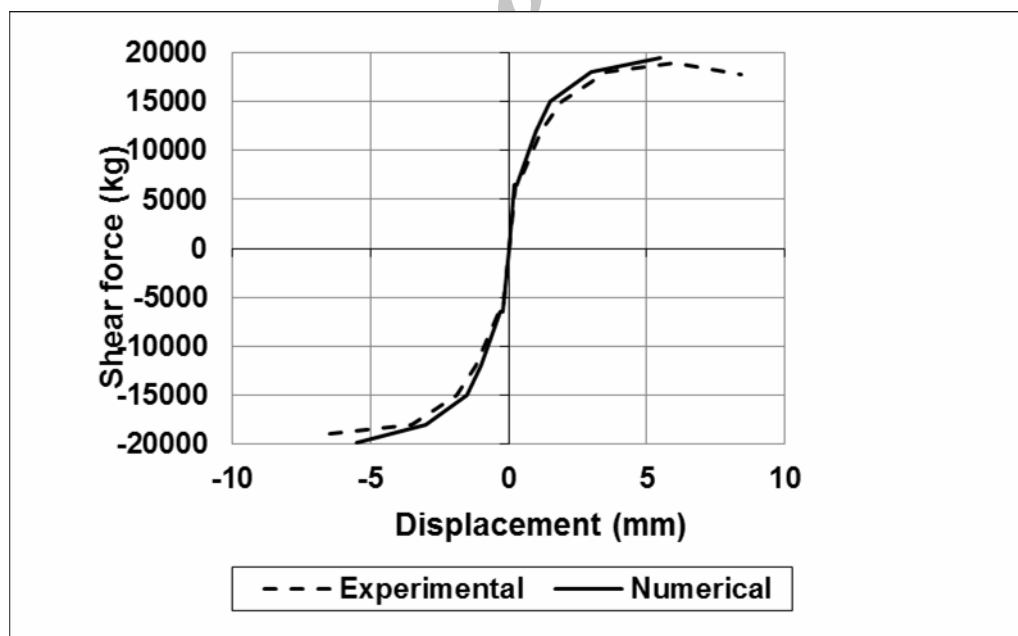
شکل ۱۰ مقایسه نتیجه‌های آزمایشگاهی و الگوسازی برای اتصال محوری گونه A



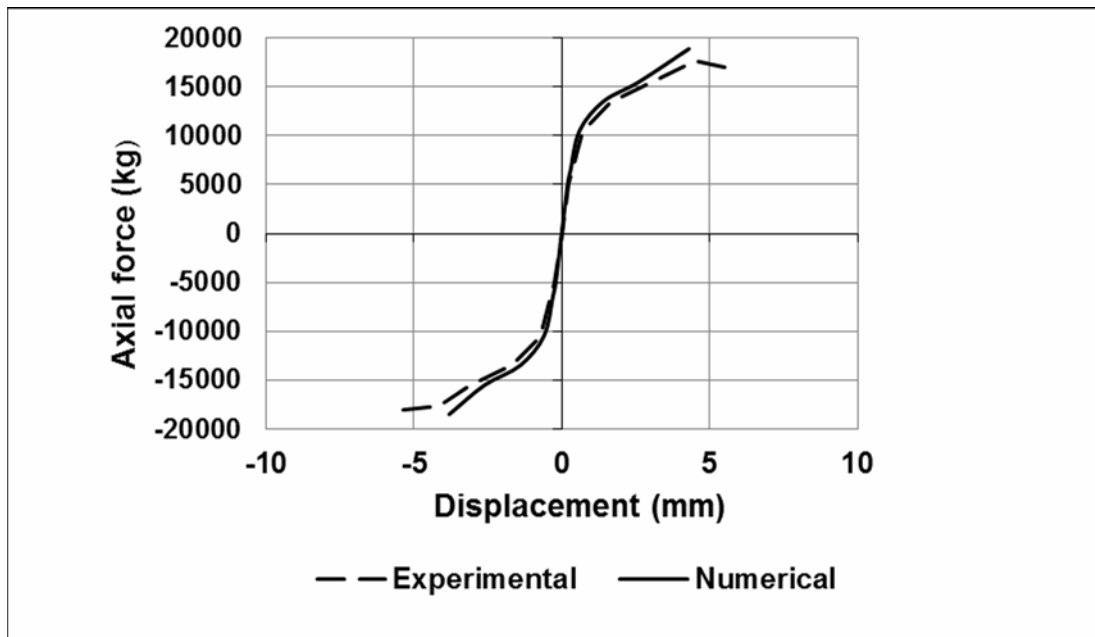
شکل ۱۱ مقایسه نتیجه‌های آزمایشگاهی و الگوسازی برای اتصال برشی گونه B



شکل ۱۲ مقایسه نتیجه‌های آزمایشگاهی و الگوسازی برای اتصال محوری گونه B



شکل ۱۳ مقایسه نتیجه‌های آزمایشگاهی و الگوسازی برای اتصال برشی گونه C

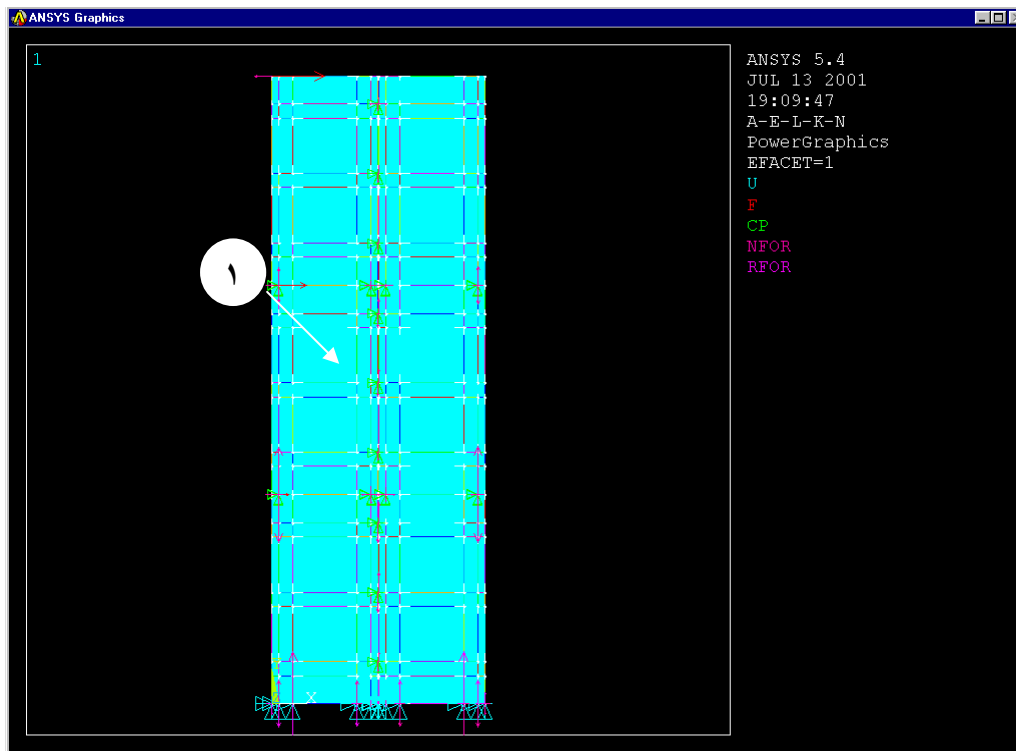


شکل ۱۴ مقایسه نتیجه‌های آزمایشگاهی و الگوسازی برای اتصال محوری گونه C

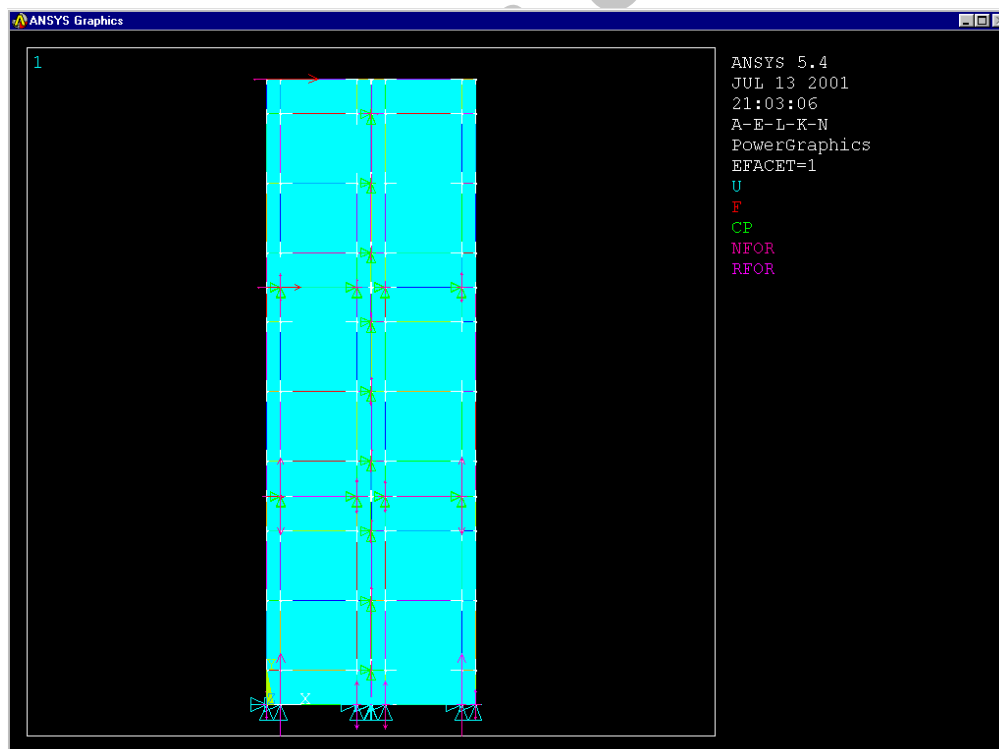
الگوسازی سازه سه طبقه

برای بررسی رفتار واقعی الگو شده در حالت غیرخطی - دینامیکی با روش‌های موجود طراحی (رفتار کشسان خطی صلب) و ارزیابی راهکارهای طراحی و تحلیل خردمندان، اتصالات موجود یکبار با فنرهای غیرخطی همانند اتصالات A, B و C (شکل ۱۵) و یکبار به صورت صلب الگوسازی شده‌اند (شکل ۱۶). با توجه این نتیجه‌ها، نیروی پدید آمده در اتصال ۱ (شکل ۱۵) به عنوان نمونه‌ای از کل اتصالات در حالت‌های مختلف در شکل (۱۷) و همچنین جابه‌جایی در بالاترین تراز در حالت‌های مختلف در شکل (۱۸) مقایسه شده‌اند. در این منحنی‌ها Shear force نیروی جانبی وارده بر سازه می‌باشد در صورتی که Connection shear force نیروی ایجاد شده در اتصال ۱ است.

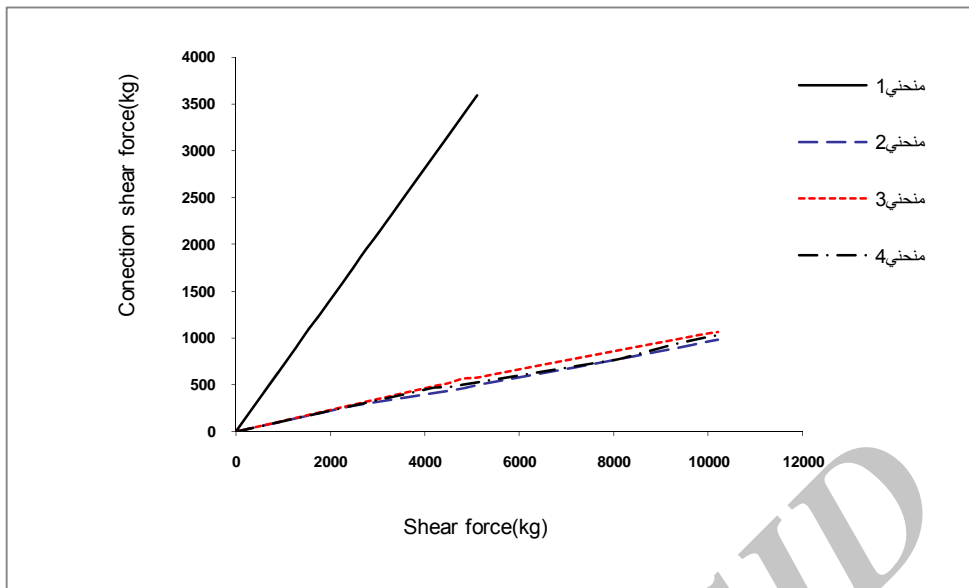
در این بخش با توجه به الگوسازی‌های انجام شده در بخش قبل، بخشی از یک ساختمان سه طبقه الگوسازی شده است. ابعاد صفحه‌ها و تعداد و فاصله‌های اتصالات مطابق با حالت‌های واقعی و استاندارد در یک ساختمان و برابر این مقادارها هستند. الگوی صفحه‌ها در سازه دارای ابعاد $50 \text{ (mm)} \times 1500 \text{ (mm)} \times 3000 \text{ (mm)}$ می‌باشد و فاصله اتصالات برابر ۱۰۰۰ میلی‌متر می‌باشند. یعنی در طول ۱۵۰۰ میلی‌متری دو اتصال با فاصله ۲۵۰ میلی‌متر از لبه قرار داشته و در طول ۳۰۰۰ میلی‌متری صفحه‌ها سه اتصال وجود دارند و فاصله اتصال از لبه صفحه‌ها ۵۰۰ میلی‌متر است. تعداد ۶ صفحه با ابعاد و این فاصله‌ها الگوسازی شده‌اند. در حال حاضر بنابه روش‌های موجود در طراحی این گونه ساختمان‌ها، اتصالات موجود بین صفحه‌ها به صورت صلب در نظر گرفته می‌شوند [2].



شکل ۱۵ الگوسازی ساختمان سه طبقه با اتصالات شکل پذیر

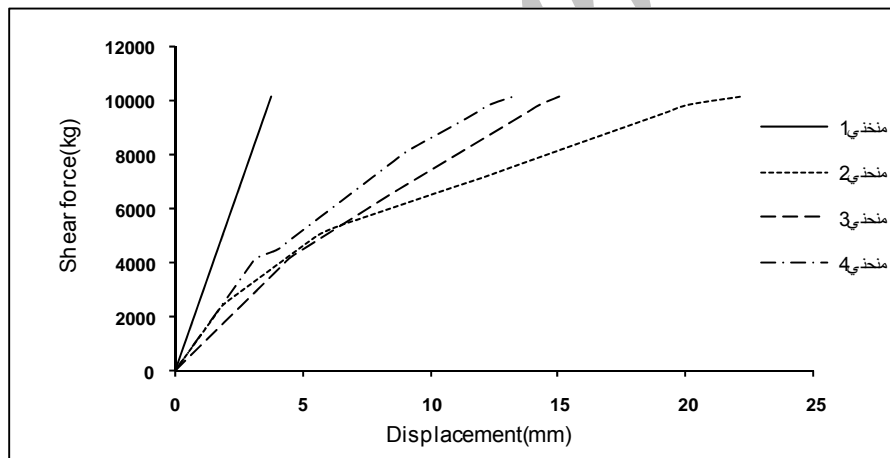


شکل ۱۶ الگوسازی ساختمان سه طبقه با اتصالات صلب



شکل ۱۷ مقایسه نیروی ایجاد شده در اتصالات در حالت‌های مختلف

- منحنی ۱) ساختمان با اتصالات صلب
 منحنی ۲) ساختمان با اتصالات گونه A
 منحنی ۳) ساختمان با اتصالات گونه B
 منحنی ۴) ساختمان با اتصالات گونه C



شکل ۱۸ مقایسه جابه جایی الگوی سه طبقه با اتصالات مختلف

- منحنی ۱) ساختمان با اتصالات صلب
 منحنی ۲) ساختمان با اتصالات گونه A
 منحنی ۳) ساختمان با اتصالات گونه B
 منحنی ۴) ساختمان با اتصالات گونه C

حالت غیرخطی در حدود ۱۴ درصد حالت صلب است. از طرفی با توجه به این که در زلزله های موثر در ناحیه های زلزله خیز، سازه ناحیه مومسان خورد می شود، نیروهای ایجاد شده در اتصالات کمتر شده و از طرفی دارای توزیع یکنواخت و واقعی نیز خواهد بود؛ بنابراین از نظر فنی - علمی می توان اتصالات مورد بحث را برای

با مشاهده نمودار شکل (۱۸) ملاحظه می شود که مقدار نیروی بیشینه در اتصالات سازه الگوسازی شده با رفتار غیرخطی - غیرکشسان برای اتصالات A، B و C به ترتیب ۹۷۹/۷، ۱۰۶۴/۱ و ۱۰۳۰/۹ کیلوگرم است. در صورتی که این عامل برای الگوی صلب برابر ۷۱۸۴/۰ کیلوگرم می باشد. به سخن دیگر، مقدار این نیرو در

بررسی و برآورد ضریب رفتار، باید عامل‌های اصلی در محاسبات از تحلیل‌های غیرخطی اتصالات تعیین شود.

الگوسازی ساختمان دو طبقه

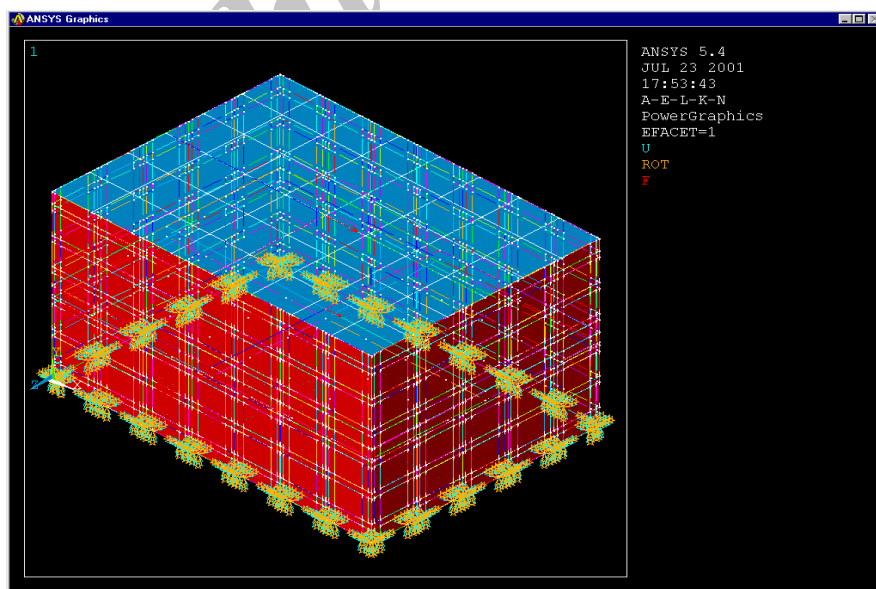
در این بخش یک ساختمان دو طبقه با ابعاد $(7500 \text{ mm}) \times (7500 \text{ mm})$ و ارتفاع 6000 میلی‌متر الگوسازی شده است. ارتفاع هر طبقه 3000 میلی‌متر و ابعاد صفحه‌ها و فاصله اتصالات مانند الگوی ساختمان سه طبقه می‌باشد. سامانه بار جانبی زوج دیوارهای پیش‌ساخته هست که پیرامون ساختمان را دربر گرفته و با اتصالات مورد بررسی، الگوسازی شده است. سقف‌ها به صورت صلب الگو شده‌اند. شکل (۱۹) الگوی جزء محدود با اتصالات معادل شده با فنرهای غیرخطی و شکل (۲۰) الگوی جزء محدود با اتصالات صلب را نشان می‌دهد.

نتیجه‌های تحلیل بر پایه الگوی توصیه شده برای اتصالات A، B و C و الگو با اتصالات صلب در شکل (۲۱) مقایسه شده‌اند. با این نمودارها مشاهده می‌شود که جابه‌جایی الگو در اثر نیروی معین در بالاترین تراز در حالت صلب کمتر است.

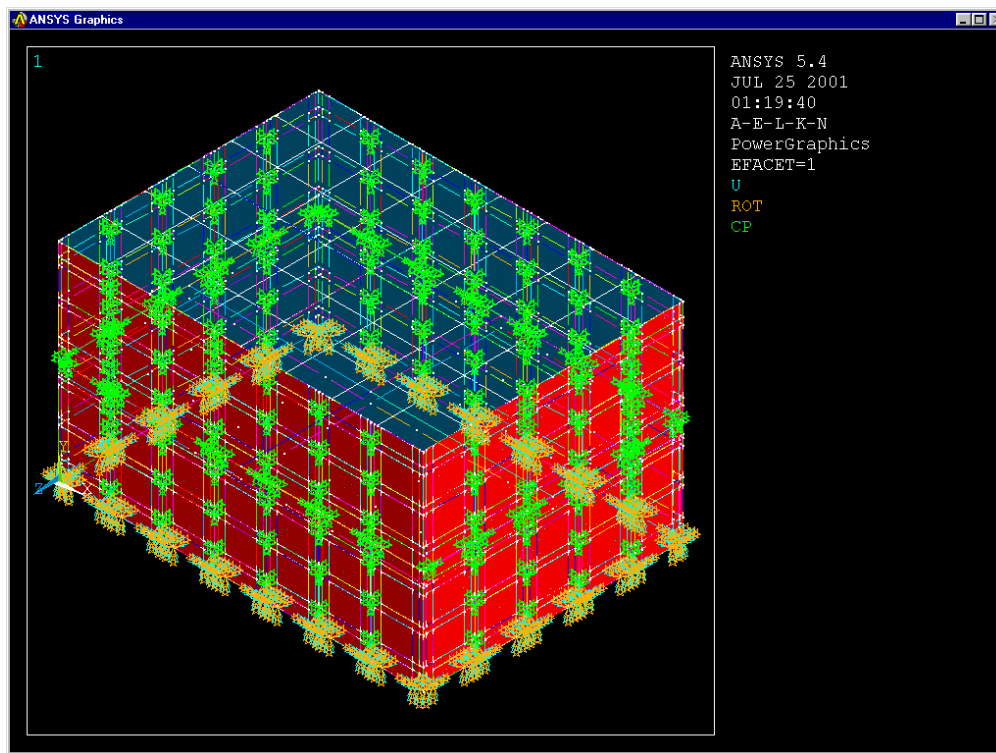
نیروی کمتر با امنیت بالاتر نیز طراحی کرد که منجر به کاهش هزینه و اقتصادی‌تر شدن سازه می‌شود.

با مشاهده نمودار شکل (۱۸) دیده می‌شود که مقدار بیشینه جابه‌جایی برای الگوی غیرخطی با اتصالات A، B و C به ترتیب برابر $22/1$ ، $15/0$ و $13/2$ میلی‌متر و برای الگوی صلب برابر $3/8$ میلی‌متر می‌باشد. بنابه شکل (۸) مقدار جابه‌جایی در حالت غیرخطی برای اتصالات A، B و C به ترتیب $8/0$ ، $4/5$ و $3/5$ برابر حالت صلب است.

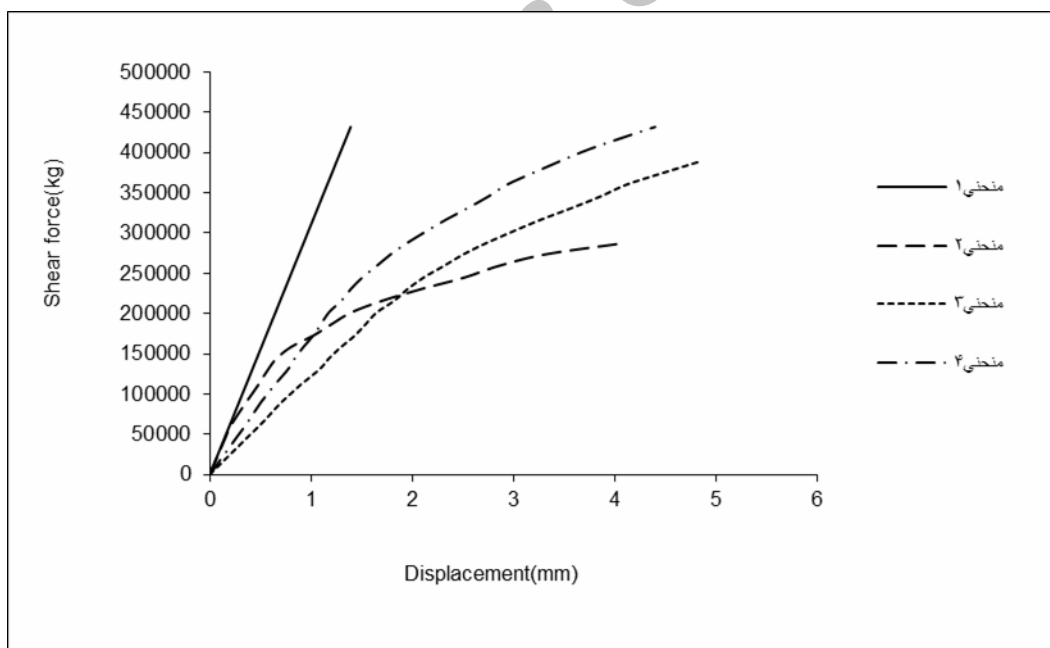
بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که در نظر گرفتن رفتار واقعی (غیرخطی - غیرکشسان) اتصالات در سازه، منجر به رفتار نرم و تغییراتی در ضریب رفتار (R) برای ساختار می‌شود. این مسأله نقش عمده‌ای در مقدار و چگونگی بارگذاری لرزه‌ای سازه دارد. به گونه‌ای که می‌تواند به کاهش بارگذاری معادل ایستای توصیه شده در آیین‌نامه‌های ساختمانی بیانجامد. در حال حاضر در روش‌های طراحی، مقدار R برای سازه‌های مورد بحث ۴ فرض می‌شود [2, 15]، این عدد بیش‌تر برای سازه‌های صلب توصیه می‌شود. با توجه به تغییرات رفتاری سازه با در نظر گرفتن رفتار غیر کشسان و تناوبی (پوش منحنی‌های پسماند (hysteresis) ملاحظه می‌شود که برای



شکل ۱۹ الگوسازی ساختمان دو طبقه با اتصالات غیر خطی A، B و C



شکل ۲۰ الگوسازی ساختمان دو طبقه با اتصالات صلب



شکل ۲۱ مقایسه جابه جایی ساختمان دو طبقه با اتصالات مختلف

- منحنی ۱) ساختمان با اتصالات صلب
- منحنی ۲) ساختمان با اتصالات گونه A
- منحنی ۳) ساختمان با اتصالات گونه B
- منحنی ۴) ساختمان با اتصالات گونه C

نتیجه گیری

با توجه به تحلیل‌های رایانه‌ای انجام شده در بخش‌های قبل و اهمیت رفتار غیرخطی - غیرکشسان اتصالات، نتیجه‌های زیر به همراه روش‌های بهبود در طراحی ارایه شده است:

۱- بنا به گزارش زلزله‌های گذشته در سازه‌های پیش‌ساخته، گسیختگی در محل اتصالات رخ می‌دهد و صفحه‌ها در حالت کشسان باقی می‌مانند، بنابراین، می‌توان با در نظر گرفتن رفتار غیرخطی - غیرکشسان اتصال، رفتار واقعی سازه‌های پیش‌ساخته را الگوسازی کرده و مورد مطالعه قرار داد.

۲- فنرهای غیرخطی - غیرکشسان برای الگوسازی رفتار تناوبی اتصالات پیش‌ساخته پیشنهاد شد. نتیجه‌های الگوی رایانه‌ای با نتیجه‌های آزمایشگاهی تطابق کامل دارد و الگوسازی با دقت بالایی انجام شده است.

۳- نتیجه‌ها نشان می‌دهد که مقدار بیشینه جابه‌جایی برای الگوی غیرخطی اتصالات بین $3/5$ تا $8/0$ برابر حالت صلب است.

۴- در روش‌های طراحی موجود در سازه‌های صفحه‌ای پیش‌ساخته، اتصالات به صورت کامل صلب در نظر گرفته می‌شود. در صورتی که جابه‌جایی نسبی در رفتار غیرخطی اتصال متمرکز شده است که با در نظر گرفتن این رفتار در اتصالات سازه این نتیجه‌ها به دست آمدند:

الف- منحنی رفتاری کل سازه متفاوت از حالت اتصالات صلب کامل بوده و تغییر مکان طبقه‌های سازه با در نظر گرفتن اتصالات شکل پذیر در برابر نیروی مشخص،

بیشتر از تغییر مکان طبقه‌ها با فرض اتصالات صلب خواهد بود. به گونه‌ای که افزایش تغییر شکل‌های سازه در حدود ۴ برابر می‌باشد.

ب- نیروهای داخلی ایجاد شده در اتصالات با توجه به رفتار غیرخطی - غیرکشسان اتصال، متفاوت از حالت صلب بوده و کاهش نیروهای داخلی در حدود $6/7$ می‌باشد.

بنابراین با فرض اتصال صلب و در نظر گرفتن نیروی بیشتر وارد بر اتصال، طراحی اتصال غیراقتصادی است و مقداری از ظرفیت اتصال هدر خواهد رفت.

۵- در رفتار واقعی غیرخطی - غیرکشسان اتصال، تغییر مکان‌های نهایی متفاوت از حالت فرض اتصال صلب خطی می‌باشد و از سوی دیگر، تغییر مکان‌های نهایی، عامل اصلی در محاسبه شکل پذیری سازه و برآورد ضریب رفتار خواهد بود، بنابراین باید در ضریب رفتار سازه‌های پیش‌ساخته صفحه‌ای با توجه به تحلیل‌های غیرخطی بازبینی شود.

۶- در آیین‌نامه‌های موجود، ظرفیت اتصال با توجه به رفتار کشسان خطی سازه برآورد می‌شود. نتیجه‌های رایانه‌ای نشان می‌دهد که مقاومت اتصال در رفتارهای غیرخطی - غیرکشسان (غیرخطی تناوبی و غیرتناوبی) کاهش داده می‌شود. از این رو، خطرپذیری گسیختگی سازه با فرض رفتار کشسان برای اتصال، بالا خواهد رفت. توصیه می‌شود مقاومت اتصال برای منطقه‌های لرزه خیز ۸۰ درصد (ضریب β) ظرفیت ایستا در نظر گرفته شود.

مراجع

1. Hartland, R.A., "Precast Concrete Construction", Surry university, london, (1975).
2. Prestressed Concrete Institue, "PCI Design Hand-Book", Third Edition, Chicago, Illinois, (1985).
3. Neille, D.S., "Behaviour of Headed Stud Connections for Precast Concrete Panels under Monotonic and Cycled Shear Loading", Ph.D. Thesis, University of British Columbia, (1977).

4. Hofheins, C., Reaveley, D. and Pantelides, C., "Behavior of Welded Plate Connections in Precast Concrete Panels under Simulated Seismic Loads", *PCI Journal*, 74(7), pp.122-133, (2002).
5. Holden, J., Pestrepo, J. and Mandor J.B., "Seismic Performance of Precast Reinforced and Prestressed Concrete Walls", *Journal of Structural Engineering*, 129(3), pp.122-133, (2002).
6. Perez, F.J., Pessiki, S. and Sause R., "Lateral load Behavior of Unbonded Post-Tensioned Precast Walls with Vertical Joints", *PCI Journal*, 49(2), pp.48-64, (2004).
7. Nolan, A., "Innovative Joints in Precast Structural Solution" Concrete-(London), Vol.39, No.1, pp.29-30, (2005).
8. Wel, Z. and Olive, M.G., "Analytical Method to Determine the Elastic Inplane Behavior of Pretopped, Precast Concrete Double-Tee Diaphragms with Discrete Connection", *PCI Journal*, 52(7), pp.122-133, (2007).
9. Barboza, A., R. and El Debe, M.K., "Load- Bearing Capacity of Mortar Joints between Precast Elements", *Magazine of Concrete Research*, 58(9), pp.589-599, (2008).
10. Shariatmadar, H., "*Seismic Response of Connections in Precast Concrete Double-Tees*", Ph.D. Thesis, Department of Civil Engineering and Applied Mechanics, McGill University, Montreal Canada, p.427, (1997).
11. Shariatmadar, H. and Mirza M.S., "An Investigation of Seismic Response of Connections in Precast Concrete Double-Tee", *Proceedings of CSCE Annual Conference*, Ottawa, Ontario, Canada, pp. 373-380, (1995).
12. Shariatmadar, H. "*An Investigation of Seismic Response of Connections in Precast Concrete Double-Tees*", M.Eng.Thesis, Department of Civil Engineering and Applied Mechanics, McGill University, Montreal, Canada, p. 210, (1992).
13. Spencer, R.A., and Neille, D.S., "Cyclic Tests of Welded Headed Stud Connections", *PCI Journal*, 21(3), pp.70-83, (1976).

۱۴. جاہد مطلق، ح. ر. و نوبان، م.ر. و اشراقی، م.ا. "اجزای محدود ANSYS"، دانشگاه علم و صنعت، (۱۳۸۰).

۱۵. "آیین نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله"، نشریه شماره ۲۵۳، ویرایش سوم، استاندارد ۲۸۰۰، (۱۳۸۴).