فصلنامه آنالیز سازه- زلزله  دوره ۱۲، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۴

# بررسی عددی عملکرد اتصالات مهاربندهای فولادی به قاب‌های بتنی

هدی لرکی، کارشناس ارشد مهندسی سازه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تفت، تفت، ایران
علیرضا میرجلیلی، استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد یزد، گروه عمران، یزد، ایران

Hoda.larki@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۲/۰۵  تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۴/۰۲/۲۳

**چکیده**

در کشور ما تعداد زیادی ساختمان بتنی وجود دارد که مقاومت کافی در برابر زلزله‌های احتمالی را نداشته و نیاز به مقاوم‌سازی دارند. استفاده از مهاربندهای فلزی به عنوان روشی برای مقاوم‌سازی ساختمان‌های بتنی در سال‌های اخیر رایج شده است. باتوجه به اهمیت اتصال بادبند به قاب بتنی در سال‌های اخیر چندین پژوهش آزمایشگاهی در این زمینه انجام گرفته و چندین روش پیشنهاد گردیده است. در این پژوهش چهار مدل قاب بتنی مهاربندی شده با بادبندهای قطری با اتصالات مختلف در کنار یک مدل قاب بتنی بدون مهاربند با استفاده از نرم افزار Abaqus مدلسازی و نتایج با یکدیگر مقایسه شده است. در نهایت مشخص گردید اتصال بادبند به قاب بتنی با استفاده از پیچ و مهره به تیر و ستون و هم چنین اتصال با استفاده از ژاکت فولادی مقید شده به ستون عملکرد مناسبی دارد و سایر موارد چندان مناسب نیست.

**کلیدواژگان:** مقاوم‌سازی، بادبند، اتصال، ساختمانهای بتنی

## ۱-مقدمه

نگاهی به خسارتهای ناشی از زلزله‌های گذشته نشان می‌دهد که درصد بالایی از ساختمان‌های بتن مسلح که تاکنون در کشور ساخته شده‌اند در برابر زلزله مقاوم نیستند و یا مقاومت کافی و قابل قبولی ندارند زیرا سازه‌های بتن مسلح موجود غالبا بر اساس آیین‌نامه‌های قدیمی طراحی شده و الزامات آیین‌نامه‌های جدید را ارضا نمی‌کنند. همچنین ضعف‌های اجرایی مزید بر علت شده و ساختمان‌ها را آسیب پذیرتر کرده است. از این رو ضرورت تقویت این ساختمان‌ها برای مقابله با نیروهای جانبی و با روش مقاوم‌سازی قابل اعتماد، سریع و آسان احساس می‌شود. بطور کلی مقاوم‌سازی لرزه‌ای عبارت است از اصلاح خردمندانه خواص سازه‌ای ساختمان موجود به منظور بهبود عملکرد در زلزله‌های آینده. بطور کلی روش‌های مقاوم‌سازی لرزه‌ای در دو بخش دسته‌بندی می‌شوند. گروه اول شامل مقاوم‌سازی سطح سازه است که شامل اصلاحات کلی سیستم سازه ایست. دومین گروه شامل مقاوم‌سازی سطحی عضو می‌باشد. در این روش اعضایی که ظرفیت شکل‌پذیری ناکافی دارند ظرفیت‌شان به منظور برآورده کردن حالات حدی افزایش می‌یابد. مقاوم‌سازی سطح سازه به طور معمول برای افزایش مقاومت جانبی سازه‌های موجود مورد استفاده قرار می‌گیرد. از این قبیل مقاوم‌سازی ساختمان‌های بتن مسلح می‌توان استفاده از بادبندهای فولادی را نام برد.

به طور معمول، در سازه‌های فولادی سیستم مهاربند فلزی به منظور افزایش مقاومت در برابر بارهای جانبی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در

Archive of SID

www.SID.ir

سال‌های اخیر مفهوم مهاربند فلزی برای تقویت قاب‌های بتنی مسلح هم به کار برده شده است. افزایش انعطاف‌پذیری در معماری، وزن کم سیستم، آسانی و سرعت ساخت و ساز و قابلیت انتخاب چندین سیستم را می‌توان از اصلی‌ترین مزیت‌های مهاربند فلزی در مقایسه با سایر روش‌ها دانست.

استفاده از مهاربند فولادی در قابهای بتن آرمه یک سیستم ترکیبی ایجاد می کند که تقریبا از نظر خصوصیات رفتاری با سازه‌های بتن آرمه موجود متفاوت می باشد. بطور کلی قاب خمشی و سیستم مهاربندی دو عملکرد متفاوت دارند که در تغییر شکل آنها در مقابل بارهای جانبی تفاوت ایجاد می‌کند. در ساختمان‌های کوتاه مرتبه با سیستم قاب خمشی که با مهاربندهای ضربدری مقاوم سازی شده‌اند تفاوت در حالت تغییرشکل قاب و سیستم مهاربندی چندان قابل توجه نیست و از سختی جانبی قاب خمشی می‌توان بطور محافظه کارانه صرف نظر کرد و طراحی سازه بر این اساس که سیستم مهاربندی می‌تواند بارهای جانبی را تحمل کند و یا طراحی سیستم مهاربندی بر اساس بارهای جانبی اضافه از ظرفیت قاب خمشی انجام شود. در ساختمانهای بلند مرتبه باید توجه داشت از آنجایی که تحمل کل بارهای جانبی به وسیله سیستم مهاربندی چندان قابل اطمینان نیست بنابراین ضروری است که واکنش هر دو سیستم در ملاحظات در نظر گرفته شود.

از نظر اجرایی اتصال سیستم مهاربند فولادی به قابهای بتن مسلح می‌تواند به دو روش صورت گیرد: مهاربندهای خارجی و مهاربندهای داخلی. در روش خارجی سیستم مهاربندی به قاب‌های بتن مسلح یک ساختمان متصل می‌گردد. بطوریکه سیستم قاب بتنی و مهاربندی با یکدیگر هم محور نیستند و سیستم مهاربندی عمدتاً به قاب‌های پیرامونی ساختمان متصل می‌گردد. در روش داخلی سیستم مهاربندی در داخل قاب‌های بتن مسلح و بصورت هم محور با آنها اجرا می‌گردد. از این نظر این سیستم می‌تواند در داخل کلیه قاب‌های یک سازه اعم از داخلی و خارجی مورد استفاده قرار گیرد. در مهاربندهای داخلی، اعضای فولادی مهاربند در جاهای خالی میان ستون‌ها و تیرهای قاب بتن مسلح قرار می‌گیرند. به طوریکه در داخل هر قاب یک مهاربند وجود داشته باشد. این روش برحسب اتصال سیستم مهاربند فولادی به قاب بتنی به دو صورت غیر مستقیم و مستقیم تقسیم بندی می‌شود.

در روش اتصال غیر مستقیم سیستم مهاربند فولادی در داخل یک قاب فولادی قرارداده می‌شود و قاب فولادی در نقاطی به تیرها و ستونهای قاب متصل می‌گردد و انتقال بار بین مهاربند فلزی و قاب بتنی به طور غیر مستقیم از طریق رابط فولادی انجام می‌شود. تجربه نشان داده است که اضافه شدن قاب فولادی به جز اضافه کردن هزینه، مشکل بودن اتصال دو قاب به همدیگر و ایجاد اندر کنش بین دو سیستم سود چندانی ندارد. ناتوانی‌های این روش با اتصال مستقیم مهاربند به قاب بتنی حل شده است. برای غلبه بر نقطه ضعف‌های مذکور در روش مهاربندی داخلی غیر مستقیم اولین بار صاحبی و ماهری روش مهاربندی داخلی مستقیم را پیشنهاد دادند. در این روش بادبند فلزی به صورت مستقیم و بدون استفاده از قاب فلزی رابط به قاب بتنی متصل می‌شود. روش‌های مختلفی در اتصال مستقیم برای مقاوم‌سازی قاب‌های موجود و تعدادی هم برای مقاوم‌سازی قابها در مرحله طراحی پیشنهاد گردیده است. تفاوت اصلی این روش‌ها در شیوه‌ای است که ورق گاست را به اعضای بتنی متصل می‌کند. دو روش کلی در این زمینه تاکنون مورد استفاده قرار گرفته است. این روش‌ها شامل: ۱- پوشیدن اعضای بتنی با ورق‌های فولادی (ژاکت فلزی) و سپس اتصال ورق گاست به این ژاکت. ۲- پیچ و مهره کردن ورق‌های اتصال به اعضای بتنی و سپس جوش دادن ورق گاست به ورق‌های اتصال.

## ۲-تاریخچه تحقیقات

ماهری و حادجیپور در سال ۲۰۰۳ یک برنامه آزمایشگاهی بر روی اتصالات مستقیم بادبندهای ضربدری به گوشه قاب ترتیب دادند. آنان در این تحقیق روش پیچ و مهره کردن ورقهای اتصال به اعضای بتنی و سپس جوش دادن ورق گاست به ورقهای اتصال تیر و ستون را در سه شکل مورد بررسی قرار دادند. پژوهش آنان نشان داد که اتصال به وسیله پیچ‌های قلاب شده و کاشته شده در بتن و پیچ‌هایی که تا سمت دیگر عضو امتداد داده شده و به کمک ورق دیگری در آن سمت مهره شده‌اند اتصالات مناسبی بوده و سختی را افزایش می‌دهد. همچنین روش اتصال به وسیله ایجاد پخ بتنی درگوشه قاب سختی کمتری نسبت به دو روش دیگر داشته و با توجه به مشکلات اجرایی استفاده از آن توصیه نمی‌شود. [۱]

دان دوبینا، سورین بوردها، آدرین دوگاریو بولتهای پیش تنیده را در اتصال بادبندهای هشتی به قاب بتنی بررسی نمودند. این روش نسبتاً ساده است و اجرای آن نیازمند نیروی کاری متخصص یا ابزار خاصی نیست. همچنین امکان جابجایی یا حذف آن نیز ممکن است. آنالیز المان محدود و همچنین مدلسازی آزمایشگاهی نشان داد که این اتصال عملکرد مناسبی خواهد داشت. [۲]

معصومی و تسنیمی در سال ۲۰۰۸ به بررسی جزئیات اتصالات مستقیم مهاربند به قاب بتنی پرداختند. برنامه تحقیق آزمایشگاهی در لابراتوار مهندسی سازه مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن (BHRC) انجام شد. برای بررسی رفتار لرزه‌ای قابهای بتن آرمه مقاوم‌سازی شده با مهاربندهای فولادی یک برنامه آزمایش شامل ۸ نمونه قاب بتنی با مقیاس ۱ : ۲/۵ با جزئیات و ساخت یکسان طراحی شد. نمونه‌ها شامل دو قاب مهاربندی نشده (مقاوم‌سازی نشده) به عنوان کنترل نمونه‌ها و شش قاب مهاربندی شده و مقاوم‌سازی شده با بکارگیری ۵ نوع دیتایل در اتصال بین قاب و مهاربند بود. با بررسی‌های انجام شده آنان دریافتند که از میان پنج نوع جزئیات اتصال مهاربند به قاب، اتصال با پیچ و مهره به تیر و ستون سختی قاب را افزایش می‌دهد به طوریکه می‌توان ادعا کرد این مدل برای ساختمان‌های کوتاه تا میان مرتبه مناسب است. اتصال پیچ و مهره به ستون مقاومت زیادی ندارد و زوال مقاومت در آن قابل ملاحظه است و تنها می‌تواند برای افزایش در مراحل اولیه به کار برده شود و چنین دیتایلی مناسب به نظر نمی‌رسد. دیتایل اتصال در

Archive of SID
www.SID.ir

قالب ژاکت بدون چسب بخاطر لغزش پوشش فلزی عملکرد مناسبی ندارد اما زمانی که ژاکت به وسیله چسب به قاب متصل می‌شود و همچنین زمانیکه المان اتصالی بادبندهای فلزی و قاب در بتن بصورت یک نبشی جایگذاری می‌شود قاب عملکرد بهتری داشته و انرژی بیشتری جذب می‌شود. [۳]

## ۳-طراحی

ساختمان مورد نظر جهت بحث در این پژوهش یک ساختمان ۴ طبقه با اسکلت بتن آرمه می باشد که دارای چهار دهانه ۴ متری در هر دو جهت است. ارتفاع هر طبقه ۳ متر بوده و ساختمان در منطقه ای با خطر لرزه خیزی بسیار زیاد و بر روی خاک نوع ۳ واقع شده است.برای مقاوم سازی این ساختمان در برابر زلزله در نظر داریم در هر جهت دو قاب از پنج قاب موجود با بادبندهای قطری مهاربندی گردد. مهاربندها در امتداد هر محور در هر طبقه باید طوری در نظر گرفته شوند که در هر جهت بارگذاری حداقل 30 درصد و حداکثر 70 درصد نیروی جانبی سهم آن محور در کشش تحمل شود، مگر آنکه اعضای مهاربندهای فشاری دارای مقاومتی بیشتر از آنچه تحلیل سازه برای بار زلزله از جمله ترکیب بارگذاری تشدید یافته نشان می‌دهد، باشند.[۳] همچنین اتصال مهاربندهای قطری که جهت مقاوم‌سازی به ساختمان بتنی افزوده می‌گردد باید ظرفیت‌های کششی و فشاری و خمشی ذیل را دارا باشند.

الف -مقاومت کششی مورد نیاز اتصال‌های قطری مهاربندی، شامل اتصال تیر به ستون اگر بخشی از سیستم مهاربندی باشد، باید حداقل برابر با کمترین Fye Ag در طراحی به روش حالات حدی ( Ag سطح مقطع کلی عضو قطری مهاربند و Fye تنش تسلیم مورد انتظار) و همچنین حداکثر اثر نیرویی که بر اساس تحلیل سازه، سیستم باربر جانبی می‌تواند به مهاربند منتقل نماید.

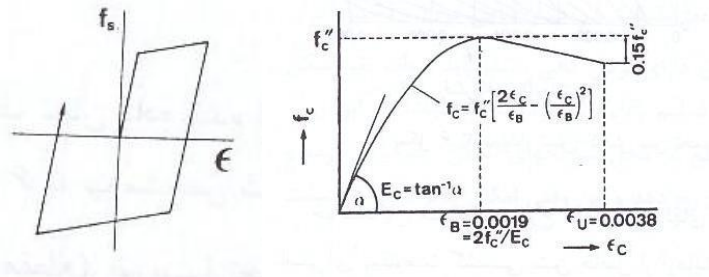
ب - مقاومت خمشی مورد نیاز اتصال‌های قطری‌های مهاربندی باید حداقل برابر با Mpe ۱/۱ در طراحی حالات حدی باشد. Mpe لنگر خمشی پلاستیک مقاوم تسلیم مورد انتظار مهاربند حول محور کمانش بحرانی مقطع است. در اتصال‌های مهاربندی که ظرفیت کششی بند الف را دارا بوده و قابلیت سازگاری با دوران‌های غیرالاستیک حاصل از تغییرشکل‌های پس از کمانش در آنها تأمین شده باشد، رعایت این ضابطه الزامی نیست.

پ -مقاومت فشاری مورد نیاز اتصال‌های مهاربندی باید براساس حالت حدی کمانش تعیین شود. این مقاومت را می‌توان حداقل برابر 1/25 Pn در طراحی حالات حدی در نظر گرفت. Pn ظرفیت فشاری اسمی عضو قطری مهاربند می‌باشد. [۴]

## ۴-مدلسازی

در میان نرم افزارهایی که از روش المان محدود برای آنالیز مسائل مهندسی استفاده می‌نمایند نرم افزار Abaqus به دلیل قابلیت‌های مناسب برای انجام این پژوهش انتخاب گردید. در ابتدا جهت کسب اطمینان به نتایج مدلسازی یک نمونه آزمایشگاهی از پژوهش‌های گذشته در این زمینه مدلسازی و نتایج آن با نتایج مدل آزمایشگاهی مقایسه گردید. مشاهده شد که نتایج مدل نرم‌افزاری با نتایج مدل آزمایشگاهی تطابق نسبتا خوبی دارد. برای بررسی اتصالات مورد بحث در این تحقیق ، ابتدا یک طراحی اولیه براساس آیین نامه سازه های فولادی ایران انجام گرفت . سپس اتصالات مدلسازی شده و با اعمال بارهایی به اندازه ظرفیت های کششی ، فشاری و خمشی لازم برای اتصال ، ابعاد اجزای مختلف اتصال مشخص گردید.

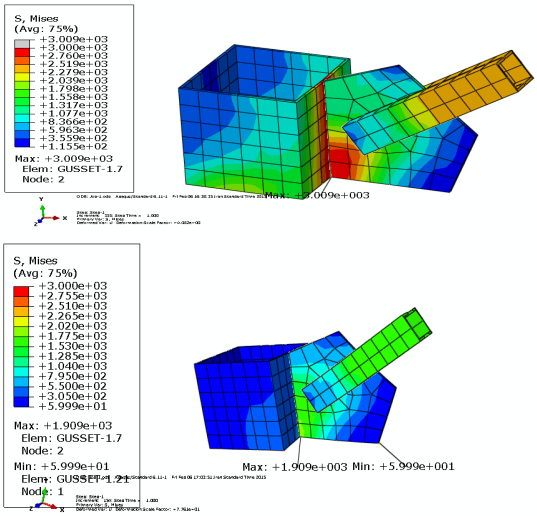
برای این مدلسازی قاب میانی ساختمان از طبقه همکف انتخاب می گردد.با توجه به بارهای وارده برای تیرهای بتنی ابعاد ۴۰×۳۰ سانتی متر با ۴ آرماتور ۱۶ در بالا و ۴ آرماتور ۱۶ در پایین و برای ستونها ابعاد ۳۰×۳۰ سانتی متر با ۱۲ آرماتور ۱۶ در نظر گرفته شده است. هم چنین جهت مقاوم سازی برای بادبند از 2UNP10 به صورت قطری استفاده شده است. بارهای قائم به صورت دو بار فشاری بر ستونها اعمال گردیده است. بار زلزله نیز با اعمال جابجایی در قسمت بالای طبقه اعمال می گردد. مقاومت مشخصه بتن ۲۵ مگا پاسکال بوده و رفتار پلاستیک بتن با وارد کردن ده نقطه از نمودار تنش کرنش پلاستیک بتن تعریف گردیده است. فولاد مورد استفاده در بادبند و ورقها فولاد ST37 و آرماتورها فولاد با تنش تسلیم ۴۰۰۰ kg/cm2 می باشد که رفتار غیر خطی آن بصورت نمودار دو خطی تعریف گردیده است ، شکل ۱ .[۵]




شکل۱ – نمودار تنش و کرنش در بتن و فولاد مورد استفاده در مدلسازی

مدلسازی در روش اتصال به وسیله ژاکت فولادی نشان داد که ابعاد مقطع ژاکت فولادی ۳۰ در ۳۰ و به طول ۳۰ cm و ضخامت آن ۸ میلیمتر و ابعاد ورق گاست ۳۲ در ۳۲ سانتیمتر با ضخامت ۱۰ میلیمتر مناسب می‌باشد ، شکل۲ .

Archive of SID
www.SID.ir

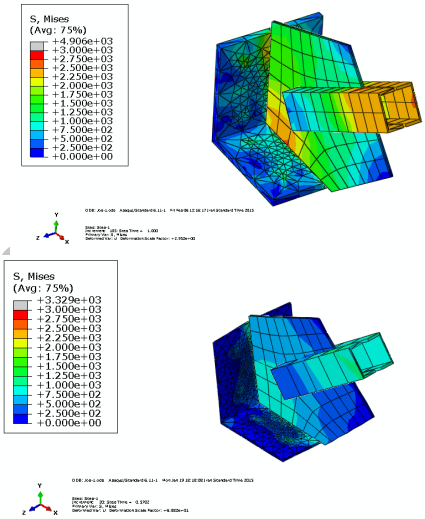



شکل ۲- توزیع تنش در اجزای اتصال در روش اتصال با ژاکت فلزی

در روش دیگر اتصال ورق گاست به قاب بتنی به وسیله دو ورق دیگر که به صورت عمود برهم قرار داده شده‌اند انجام می‌شود. ورق‌های اتصال نیز توسط ۴ پیچ که در درون بتن قرار می‌گیرند به قاب متصل می‌شوند. با توجه به اینکه مدل‌سازی پیچ‌ها و سوراخ‌های ایجاد شده در بتن تحلیل را بسیار پیچیده و طولانی می‌کند از مدلسازی پیچ‌ها صرف نظر شده و در مدلسازی محل قرارگیری آنها به بتن متصل شده است.

ضخامت ورق گاست ۸ میلیمتر و ضخامت ورقهای اتصال ۲ سانتیمتر محاسبه شد ، شکل ۳ .

بادبند در هر دو روش در عملکرد کششی تحت بار کششی ۶۴۸۰۰ کیلوگرم و در عملکرد فشاری تحت بار فشاری۴۶۴۳۲ کیلوگرم قرار گرفته است.




شکل ۳ – توزیع تنش در اجزای اتصال در روش اتصال با پیچ و مهره

Archive of SID
www.SID.ir

## ۵-معرفی مدلها

مدل‌های این تحقیق ۵ مدل قاب بتن آرمه می‌باشند که ۴ قاب به وسیله مهاربندهای قطری مقاوم‌سازی شده و هریک از آنها با جزئیات متفاوتی به قاب متصل شده‌اند که در ادامه معرفی می‌شوند.

مدل اول (F1) یک قاب بتن آرمه با مشخصات ذکر شده در بخش قبل می‌باشد. یک دهانه از قاب به ارتفاع ۳ متر و دهانه ۴ متر با جزئیات تیر و ستون و آرماتورها مدلسازی می‌گردد. بارهای قائم وارده به صورت دو بار فشاری به اندازه 83200 کیلوگرم به هر ستون و بار زلزله با وارد کردن جابجایی افقی ۷ سانتیمتری به تیر بالایی اعمال می‌شود. نوع تحلیل استاتیکی و با وارد کردن مشخصات پلاستیک مواد غیر خطی می‌باشد.

مدل دوم ( FJ1) قاب بتن آرمه‌ای با مشخصات مدل اول است که مهاربندی شده است. مهاربند ۲عدد پروفیل ناودانی شماره ۱۰ است بطول ۴۰۵ سانتیمتر که به صورت قطری در قاب بکار گرفته شده است. نحوه اتصال بادبند به قاب با استفاده از ژاکت فولادی می‌باشد. ضخامت ورق ژاکت 10 میلیمتر در نظر گرفته شده است. بادبند به ورق گاست جوش داده شده و ورق گاست نیز به ژاکت جوش داده می‌شود. در این مدل ژاکت مقید نشده و می‌تواند بر روی سطح ستون بلغزد. ضریب اصطکاک بین ژاکت فولادی و قاب بتنی ۰/۳ در نظر گرفته شده است. بارگذاری و سایر موارد مشابه مدل قبلی است.

مدل سوم ( FJ2 ) مشابه مدل دوم است با این تفاوت که ژاکت به ستون‌ها مقید شده و امکان لغزش ژاکت بر روی ستون میسر نیست. اینکار در عمل با استفاده از چسب یا وسایل مکانیکی انجام می‌شود. روش دیگر اینست که نوارهای فلزی دور تیر جوش داده شده و ورق گاست به آن جوش شود تا به این ترتیب از حرکت ژاکت در طول ستون جلوگیری شود.

مدل چهارم ( FB1) نام گذاری شده است. این مدل قاب بتن آرمه مهاربندی شده با جزئیات قاب و بادبندهای مدلهای قبلی است و تفاوت آن در نحوه اتصال بادبند به قاب بتنی می‌باشد. در این مدل برای اتصال بادبند به قاب ازپیچ و مهره استفاده شده است. به این ترتیب که دو روق به ابعاد ۳۲ در ۳۲ و با ضخامت ۲ سانتیمتر بصورت عمود بر یکدیگر در گوشه قاب به تیر و ستون متصل می‌شوند. برای این اتصال از پیچ استفاده می‌شود. تیر و ستون در محل قرار گیری بولتها تا اندازه مورد نیاز با دریل سوراخ می‌شود و سپس ورقها نیز که در محل‌های مورد نظر سوراخ شده‌اند روی آن قرار گرفته و پیچها در سوراخ‌های ایجاد شده فرو رفته و با مهره در جای خود محکم می‌شوند. کلیه جزئیات بارگذاری و سایر موارد مشابه مدل‌های پیشین است. از آنجایی که مدلسازی پیچ و مهره‌ها با ابعاد کوچک آن و سوراخهای ایجاد شده در قاب و ورق‌ها مدلسازی را پیچیده نموده و نیازمند مش‌بندی بسیار ریز و تحلیل‌های طولانی و پیچیده می‌باشد برای ساده سازی بولتها با صفحاتی دایره شکل مشابه پیچ‌ها به قطر ۱۸ میلیمتر معادل شده است. این صفحات بر روی ورق‌ها ایجاد و به قاب متصل شده است.

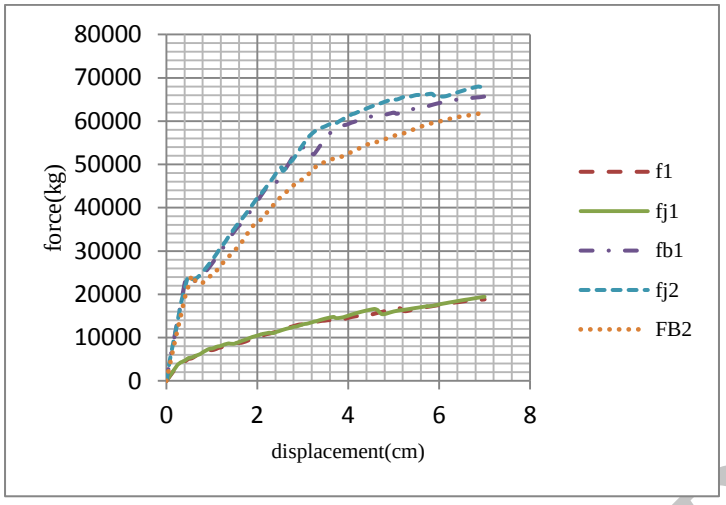
مدل پنجم (FB2) مشابه مدل FB1 می‌باشد با این تفاوت که در این مدل ورق‌های اتصال بادبند به قاب بتنی تنها به ستون‌ها پیچ و مهره شده‌اند. ابعاد ورق‌ها و بولت‌ها مشابه مدل قبلی است.

## ۶-تحلیل

نتایج تحلیل استاتیکی غیر خطی بر روی مدلهای معرفی شده نشان داد که قاب بتن آرمه که مهاربندی نشده دارای سختی ۱۳۹۰۰ kg/cm می باشد . با افزودن مهاربند به قاب میزان سختی افزایش می یابد . در مدلFJ1 سختی حدود ۷/۸ درصد افزایش داشته است. اما در مدلهای دیگر این افزایش بسیار بیشتر بوده به طوریکه در مدل FJ2 سختی ۳/۷برابر ، در مدل FB1 ، ۴ برابر و در مدل FB2 ، ۳/۲ برابر شده است. بنابراین به نظر میرسد در حالتی که بادبند با ژاکت به قاب متصل شده و ژاکت به قاب مقید نشده است مهاربندی تاثیر زیادی در سختی قاب نخواهد داشت. هم چنین در حالتیکه مهاربند با پیچ و مهره به تیرها و ستونها متصل شده بیشترین میزان افزایش سختی را در سازه خواهیم داشت . هرچند در دو حالت دیگر یعنی اتصال با ژاکت مقید شده و اتصال با پیچ و مهره به ستون نیز افزایش سختی زیاد و مطلوبی به دست می آید ، شکل ۴ .

در اجزای قاب بتنی مشاهده میشود در مدلهای F1 و FJ1 که مهاربند نداشته و یا مهاربند با ژاکت مقید نشده به قاب متصل شده بتن در محل تقاطع تیرها و ستونها ترک فشاری میخورد و بادبند اضافه شده به قاب تاثیر چندانی در ترک خوردگی بتن و محل آن ندارد. در مدلهای FJ2 و FB1 که قاب با بادبند مهاربندی شده است کرنش در پای ستونها زیاد می شود. در حالتی که مهاربندها با پیچ و مهره به قاب متصل شده اند (FB1) ملاحظه می گردد که در محل اتصال ورقهای اتصال و پیچ و مهره ها به ستون ها نیز کرنش های بزرگی رخ داده و بتن دچار ترک خوردگی می گردد. این موضوع نشان میدهد که در این نوع روش اتصال بیشتر نیروی برشی زلزله که به وسیله بادبندها تحمل می گردد به ستونها انتقال می یابد و ستون دچار ترک خوردگی می گردد. لذا در صورت استفاده از بولتهای فرو رفته در بتن جهت اتصال بادبند لازم است ستون در محل اتصال با روشی همچون FRP یا روشهای مناسب دیگر تقویت گردد. همچنین در این روش کرنش در پای ستونها بسیار بیشتر از کرنش در پای ستونهای قاب مهاربندی شده با اتصال ژاکت مقید (FJ2) می باشد. در مدل FB2 کرنشهای بسیار بزرگتری حدود ۱درصد در محل اتصال پیچ و مهره ها به ستونها رخ می دهد و بتن در این نواحی دچار ترک خوردگی های زیادی می شود.

Archive of SID
www.SID.ir




شکل ۴- نمودار پوش آور مدلها

همچنین با بررسی تنش‌های ایجاد شده در قاب بتنی مشاهده می‌شود که در مواردی تنش فشاری و تنش کششی بتن از حدود مجاز فراتر می‌روند. از مقایسه مقادیر در این جدول نتیجه‌گیری می‌شود که افزودن مهاربند به قاب با اتصال ژاکت مقید شده و پیچ و مهره موجب افزایش تنش‌های فشاری در پای ستون‌ها و خرد شدن بتن در این نواحی می‌گردد. بنابراین لازم است حتما ستون‌ها به وسیله‌ای تقویت شوند. تنش‌های کششی هم با افزودن مهاربند در حالت‌های مختلف گاه افزایش و گاه کاهش یافته است. بنابراین نمی‌توان گفت که افزودن مهاربند تأثیر یکسانی بر روی تنش‌های کششی در مدلهای مختلف دارد. اما با درنظر گرفتن کرنش پلاستیک بتن می‌توان گفت که افزودن مهاربند در بخشهای زیادی از قاب کرنشها را کاهش می‌دهد و کرنش‌های پلاستیک را به ابتدا و انتهای ستونها در مدلهای متصل شده با پیچ و مهره و همچنین پای ستونها در کلیه مدلهای مهاربندی شده به جز مدل FJ1 محدود می‌کند. در میان مدلهای فوق بدترین مدل برای ایجاد تنش‌های کششی در بتن مدل FB2 یعنی اتصال با پیچ و مهره به ستون می‌باشد که تنش‌های کششی ایجاد شده در ابتدا و انتهای تیرها بیش تر از حد مجاز بوده و با سایر مدلها تفاوت چشم گیری دارد. در این میان کمترین تنشهای کششی مربوط به مدل FJ2 یعنی اتصال با ژاکت مقید شده می‌باشد.

## ۷-نتیجه‌گیری

مقاوم‌سازی قاب بتنی با مهاربند قطری با چهارنوع اتصال مختلف نشان داد که نوع و نحوه اتصال مهاربند به قاب تأثیر زیادی در عملکرد قاب و افزایش سختی سازه دارد. به طوریکه اگر مهاربند به وسیله پیچ به تیر و ستون متصل شود بیشترین میزان سختی برای سازه بدست می‌آید که تقریبا 4 برابر سازه مقاوم‌سازی نشده است.

اگر مهاربند توسط ژاکت به قاب متصل شده و ژاکت به قاب مقید نشود و بتواند بر روی قاب بلغزد کمترین میزان سختی ایجاد می‌شود که تنها 7/8 درصد بیشتر از قاب مقاوم‌سازی نشده است. بنابراین این نوع اتصال کارایی مناسبی ندارد.

در اتصال بادبند به قاب بتنی به وسیله ژاکت فولادی، برای انجام عملکرد مناسب بادبند ژاکت باید حتما به قاب مقید شود اینکار می‌تواند به وسیله اتصالات مکانیکی انجام گیرد. بهرحال باید از لغزش ژاکت اطمینان حاصل گردد در غیر اینصورت بادبند اضافه شده تأثیر چندانی در مقاوم‌سازی نخواهد داشت.

در صورت استفاده از مهاربندهای قطری جهت مقاوم‌سازی قابهای بتنی کرنش‌ها و تنش‌های فشاری در قاب بتنی در پای ستون‌ها افزایش می‌یابد و بتن دچار ترک خوردگی می‌شود بنابراین لازم است در کنار مقاوم‌سازی با مهاربند پای ستون‌ها و فنداسیون زیر آنها نیز به روش مناسبی تقویت شود. هم چنین ابتدا و انتهای ستون‌ها نیز به صورت موضعی به روش مناسبی مانند استفاده از FRP تقویت شود.

در میان اتصالات بررسی شده بیشترین تنش‌های کششی در حالتی که بادبند تنها به ستون پیچ و مهره شده در قاب بتنی رخ می‌دهد که تفاوت چشمگیری با سایر انواع اتصال مورد بررسی دارد. بنا براین در صورت استفاده از این روش به نظر می‌رسد تقویت تیرها نیز لازم باشد. با این اوصاف و هم چنین به دلیل تنش‌های زیادی که در ورق‌های اتصال رخ می‌دهد استفاده از این روش چندان مناسب به نظر نمی‌رسد.

در قاب مهاربندی شده با اتصال ژاکت فولادی کرنش‌ها و تنش‌های کششی ایجاد شده در بتن قاب به طور قابل ملاحظه‌ای کمتر از حالتی است که بادبند با پیچ و مهره به قاب متصل شده است. اما تنش‌های فشاری تقریباً مشابه هستند.

در اتصال با ژاکت فولادی احتمال گسیختگی در ورق گاست بیشتر است بنابراین ضخامت ورق گاست باید بیشتر از ضخامت ژاکت فولادی باشد تا اتصال دچار گسیختگی نشده و بادبند تا ظرفیت نهایی خود در تحمل بارهای جانبی شرکت نماید.

Archive of SID
www.SID.ir

در اتصال بادبند به قاب بتنی به وسیله پیچ و مهره امکان ایجاد گسیختگی در ورق‌های اتصال بیشتر از ورق گاست است. بنابراین ضخامت ورق‌های اتصال باید بیشتر از ضخامت گاست باشد.

در نهایت استفاده از مهاربندهای قطری به عنوان روشی برای مقاوم‌سازی قاب‌های بتنی با توجه به نحوه اتصال آن به قاب مؤثر خواهد بود. در این میان اتصالات مناسب برای این منظور عبارتند از: ۱- اتصال مهاربند به قاب بتنی با استفاده از ژاکت فولادی مقید شده به ستون که امکان لغزش نداشته باشد. ۲- اتصال مهاربند به قاب بتنی با استفاده از پیچ و مهره کردن ورق‌های اتصال به تیر و ستون.

## ۸-مراجع

[1]-M.R.Maheri , A.hadjipour (2003) “ Experimental investigation and design of steel brace connection to RC frame” ,Eng struct

[2]-Adrian Dogriu , Sorin Bordea , Dan Dubina “ Steel brace to RC frame post-tensioned bolted connection” Politechnica university of Timisoara , Romania

[3]-A.Massumi , A.A.Tasnimi (2008) “strengthening of low ductile reinforced concrete frames using steel X-bracings with different details” The 14th world conference on earthquake engineering October 12-17 , china

[۴] – سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، " دستورالعمل بهسازی لرزه ای ساختمانهای موجود" ، نشریه شماره ۳۶۰

[۵] – سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، "راهنمای روش ها و شیوه های بهسازی لرزه ای ساختمانهای موجود و جزئیات اجرایی" , نشریه شماره ۵۲۴

[۶] – مقدم ، ح . (۱۳۹۰) " مبانی و کاربرد مهندسی زلزله "

Archive of SID

www.SID.ir

# The numerical investigation of performance of the connection between the steel braces and RC frames

Hoda Larki[1]
Master of Science Structural Engineering, Islamic Azad University, Taft Branch, Taft, Iran
Ali Reza Mirjalili [2]
Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Islamic Azad University, Yazd Branch, Yazd, Iran

## ABSTRACT:

There are many concrete building without enough resistant against earthquick that need to seismic retrofitte. Using steel bracing is an usual way to seismic retrofitting in current years. For the suitable performance in this method , the connection between steel bracing system and concrete frames is very important. So in recent years some experimental researches is done in this field and several method is recommended for connection. For determinating the suitable connection , in this research 4 RC frames retrofitted by using steel bracing system with 4 details in connection and 1 RC frame without bracing is modeled by using the finite elements method in Abaqus software. the strength of connection 's elements , stiffness of system and cracking in RC frames are investigated and compared in every model. Results show that the connection between brace and RC frame by bolt to beam and column , also by steel jacket which fixed to column have suitable performance and other types of connection haven't required performance.

Archive of SID

www.SID.ir