مطالعه آزمایشگاهی اثر مقاومت اتصالات در قابهای مهاربند ضربدری

حمید رضا فرشچی[۱]، عبدالرضا سروقد مقدم[۲]، محمد قاسم وتر[۳]

چکیده

قاب مهاربندی شده یکی از فرم های متداول اجرای سازه‌های فولادی در ایران می‌باشد.در این سازه‌ها انواع مهاربندها به عنوان سیستم باربر جانبی به کار می‌رود و در محاسبات، اتصالات تیر وستون این قاب ها به صورت مفصلی فرض می‌گردد. در اجرا نیز سعی می‌گردد با استفاده از اتصال ساده این فرض واقعیت یابد. واضح است چنین فرضی عملاً قابل اجرا نیست، واتـصال تیر وستون ومهاربند با مقداری گیرداری اجرا می‌شوند لیکن در جهت محافظه‌کاری از این اثر صرفنظر می‌گردد.

در این تحقیق رفتار آزمایشگاهی اتصالات قاب فولادی مهاربندی با $\frac{۱}{۲}$ مقیاس تحت بارگذاری چرخه‌ای بررسی می‌گردد. این تحقیق با سه آزمایش شامل: قاب متشکل از تیر وستون، قاب به همراه ورق‌های اتصال مهاربند در گوشه قاب (Gusset Plate) و قاب به همراه مهاربند ضربدری با مقطع ناودانی با شرایط یکسان بارگذاری، انجام گردید. نتایج نشان می‌دهد که، اتصالات قاب در این سیستم علیرغم صرفنظر در محاسبات دارای درصدی گیرداری می‌باشند که با اضافه شدن ورق‌های اتصال مهاربنـد در گوشه قاب (Gusset Plate) و متصل شدن آن به تیر وستون گیرداری به مراتب بیشتری در این اتصالات به وجود می‌آید.

کلمات کلیدی :

اتصالات، مهاربند، قاب فولادی

Experimental Study of Connection Strength Effects in X-Type Braced Frames

Hamid Reza Farshchi, Abdolreza S. Moghadam, M.Gh. Vetr

ABSTRACT

Braced frames are popular a type of steel frames in Iran. In these structures different kind of braced are used to resist lateral loads and all connections are considered as fix-type connections. In practice great care is taken, but it is not possible to construct fully fix-type connections and they are partially fixed, however, to be on the safe-side this fixity is neglected.

In this research, experimental behavior of the braced frame connection with scale of 0.5 under cyclic load has been investigated. This study has been performed under the same loading condition using three tests: 1- bare frame made of beam and columns; 2- frame with gusset plates; 3- x-braced frame (braced made of two U sections). Results show that connection in these type of frames, although neglected in calculations, have some fixity and with use of gusset plates this fixity becomes much more.

Key words:

Connections, Braced Frames, Steel Frames

۱.کارشناس ارشد پژوهشکده سازه، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله h.farshchi@iiees.ac.ir

۲.استادیار پژوهشکده سازه، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله moghadam@iiees.ac.ir

۳.استادیار پژوهشکده سازه، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله vetr@iiees.ac.ir

۱- مقدمه

روشهای رایج در طرح و آنالیز ساختمانها معمولاً بر این پایه استوار است که یک اسکلت باربر مشتمل بر قاب های فولادی و یا بتنی، وظیفه حمل بارهای قائم را بر عهده دارد و برای نیروهای افقی مثل باد یا زلزله از مهاربند، دیوار برشی و یا سیستم‌های مشابه استفاده می‌گردد. قاب مهاربندی شده یکی از فرمهای متداول اجرای سازه‌های فولادی در ایران می‌باشد .مهاربند ساختمانها در برابر زلزله ممکن است به روش های مختلف طرح و اجرا شود، کاربرد هرکدام از انواع مهاربند بستگی به شرایط خاص خود دارد. از جمله سیستم‌های مهاربندی که در ایران طرح و اجرا می‌شوند، می‌توان به سیستم‌های مهاربندی K، هفت (۷)، هشت (۸)، ضربدری و لوزی اشاره نمود. در کتاب های مرجع [۲-۱] خصوصیات ویژه هرکدام از این مهاربندها آمده است. از بین انواع مهاربندها لازم است توضیحات بیشتری در مورد مهاربند ضربدری که تأکید این تحقیق است، داده شود.

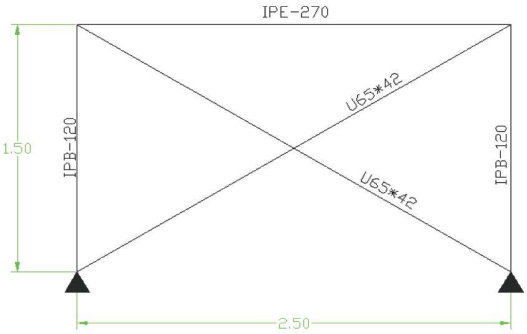
مهاربند ضربدری (X-Bracing) یکی از متداول‌ترین انواع مهاربندی در ایران می‌باشد که در اغلب ساختمانهای فولادی طرح و اجرای آن به چشم می‌خورد و به دو نوع مهاربند هم‌مرکز و مهاربند خارج از مرکز تقسیم می‌شوند. قاب هایی که دارای مهاربند هم‌مرکز می‌باشند در آنها محور مهاربندها تقریباً از محل محورهای تیر و ستون عبور می‌کند، حالتی از این نوع مهاربندی در شکل (۱) نشان داده شده است. از خصوصیات ویژه این نوع مهاربندی سختی فوق‌العاده زیاد آن است. اعضای مهاربند ضربدری درصورتی که در مرکز به یکدیگر به نحو مناسبی اتصال داشته باشند، باعث تقلیل طول کمانش مهاربند می‌گردد. از اینرو دیده می‌شود که غالباً اعضاء ضربدری مهاربند در وسط به یکدیگر متصل می‌باشند. اصولاً قابهایی که مهاربندی می‌شوند ممکن است اتصالات مفصلی آنها به صورت های مختلفی باشد، که این فرم اتصالات با نظر طراح و توان اجرایی مجری ساختمان انتخاب می‌گردد. در محاسبات، این اتصالات مفصلی فرض می‌شوند و هیچ گونه تفاوتی از نظر گیرداری با یکدیگر ندارند. در حالی که در اجرای این اتصالات چنین نمی‌باشد و همواره درصدی گیرداری بر حسب نوع اتصال در آنها به وجود می‌آید. که تعیین اثر درصد گیرداری اتصالات یک قاب مهاربندی شده با مشخصات ذیل، از اهداف این تحقیق می‌باشد.

شکل(۱) : اتصال مهاربندی هم‌مرکز

۲- مشخصات مدل آزمایش

در هر کار آزمایشگاهی لازم است قبل از شروع کار و محاسبات به محدودیت‌های موجود در زمینه‌های مختلف از جمله امکانات آزمایشگاه، مصالح، زمان و غیره توجه خاصی شود، تا با برنامه‌ریزی و پیش‌بینی‌های لازم هنگام اجرا مشکلات کمتر و اجرای دقیق و سریع داشته باشیم. در این مطالعه، سعی گردید قبل از انجام آزمایشات، محدودیت های اجرایی آن بررسی گردد و مدل سازی براساس این محدودیت ها انجام شود.

برای تعیین مشخصات مقاطع نمونه‌های آزمایشگاهی، براساس روش های متداول یک سازه فولادی ۵ طبقه با ارتفاع هر طبقه ۳ متر، و تعداد ۲ و ۵ دهانه در دو راستا با فواصل ۵ متر در نظر گرفته شده و با $\frac{۱}{۲}$ مقیاس در برنامه ETABS مدل سازی گردید. سپس مشخصات بالاترین طبقه یکی از دهانه‌های مهاربندی به عنوان نمونه آزمایشی درنظر گرفته شد. در آن دهانه از مقاطع IPB120 برای ستون ها و مقطع IPB270 برای تیر و از مقاطع ناودانی U65x42 به صورت تک برای مهاربندها استفاده گردیده است (شکل(۲)).



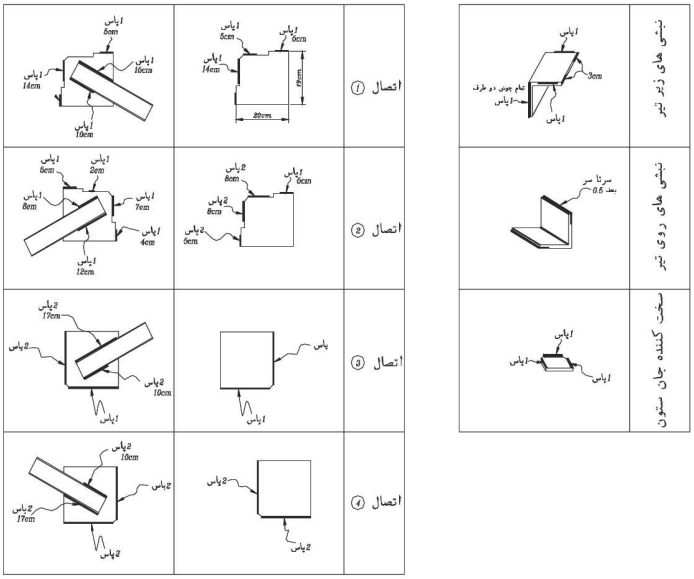
شکل(۲) : قاب مورد نظراز سازه که به صورت مجزا مدلسازی شده

یکی دیگر از قسمتهای مهم، مدل سازی اجرایی اتصالات در عمل بود. باتوجه به اینکه اتصالات قاب مهاربندی به صورت مفصلی تحلیل و طراحی شده است لیکن در اجـرا ، اتـصال مفصل به صورت ایده‌آل اجرا نمی‌گردد و مقداری گیرداری در قاب ها ایجاد می‌گردد لذا سـعی گردیـد تـا مطـابق اجـرای معمول، از دونبشی در بالا و پایین تیر استفاده گردد کـه لـب نبشی‌ها جوش کامل شوند و همچنین برای مفصل بودن پای ستون ها فقط جان ستون ها از دو طرف به پلیت کف جوش شود .دو مهاربند در وسط با یک پلیت به هم متصل گردیدند و این مسئله نیز در طول کمانش آنهـا مـؤثر و در محاسـبات منظور شده است. همچنین ابعاد و تعداد پاسهای جوشـکاری در گیرداری اتصال بسیار تعیین کننده می‌باشد لذا موقعیـت و مقادیر جوش در اتصالات در شکل(۳) نـشان داده شـده اسـت. سـعی گردیـده وضـعیت ایـن اتـصالات در تمـام آزمایشات ثابت بمانند و در صورت ترک خوردگی مجـدداً ترمیم گردیده‌اند.

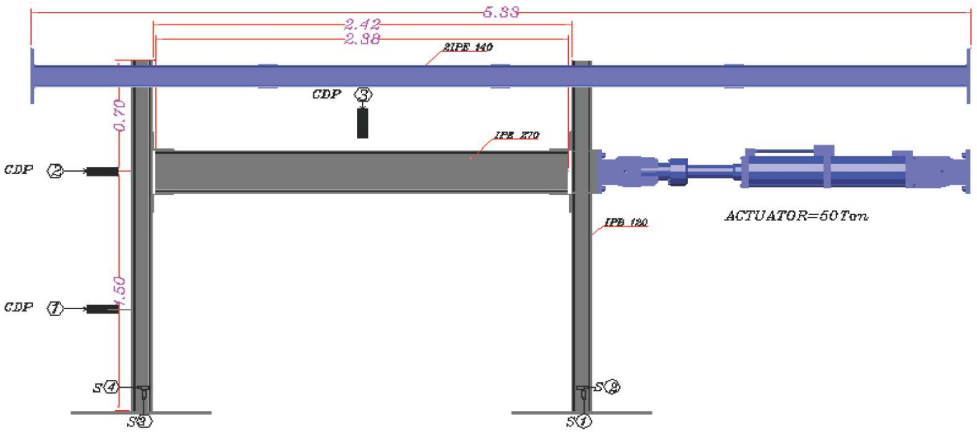
یکی دیگر از موارد مهم، مدل سازی کنترل تغییرمکـان خـارج از صفحه قاب حین آزمایش می‌باشـد زیـرا در صـورت عـدم کنترل، جابجـایی خـارج از صـفحه باعـث بـه وجـود آمـدن نیروهای مخرب پیچشی و کاهش دقت آزمایش می‌شـود. لـذا می‌بایست با استفاده از امکانات موجود مکانیزمی طرح و اجرا نماییم تا تغییرمکان خارج از صفحه را کنتـرل کنـیم، بنـابراین از سیستم کشویی بـرای انجـام ایـن کـار اسـتفاده گردیـد ، بـدین صورت که دو عدد تیرآهن نمره ۱۴ به صورت دوبل بـا فاصـله عرض ستون به علاوه ۳ میلیمتر به عنوان بادخور با سـه تـسمه در بالا و پایین به هم متصل شده‌و سر و ته این تیر دوبـل از دو عدد پلیت ضخیم استفاده گردید که با چهار پیچ هر طرف به قاب عکس‌العمل متصل گردیدند. البته برای کنتـرل دقیـق وبه حداقل رساندن تغییرشکل این تیرها بر اثر وزن خـود یـا نیروهای وارده پیش‌بینی گردید تا ۲ سـانتی‌متـر کـوچکتر از قاب ساخته شوند تا هنگام سفت کردن پیچ ها تیر در کشش قرار گیرد. این تیر دوبل در ارتفاعی بـالاتر از جـک و قـاب نصب می‌گردد و ستونهای قـاب از پروفیـل IPB120 تـشکیل شده وحدود ۸۰cm بلندتر از قاب بودند. این ستون ها داخل تیر دوبل مهار جانبی قرار می‌گرفت و حرکت قـاب فقـط در جهت کشویی تیر دوبل امکان‌پذیر بود .

بعد از ساخت و نصب نمونه مطـابق مشخـصات شـکل(۴)، اولین آزمایش به صورت قاب تنها برگزار گردید. در آزمایش دوم مطابق شکل(۵) قاب به همراه ورقهای اتصال مهاربند در چهار گوشه قاب آزمایش گردیـد. در آزمـایش سـوم مطـابق شکل(۶) قاب به همراه مهاربند ضربدری آزمایش گردید.

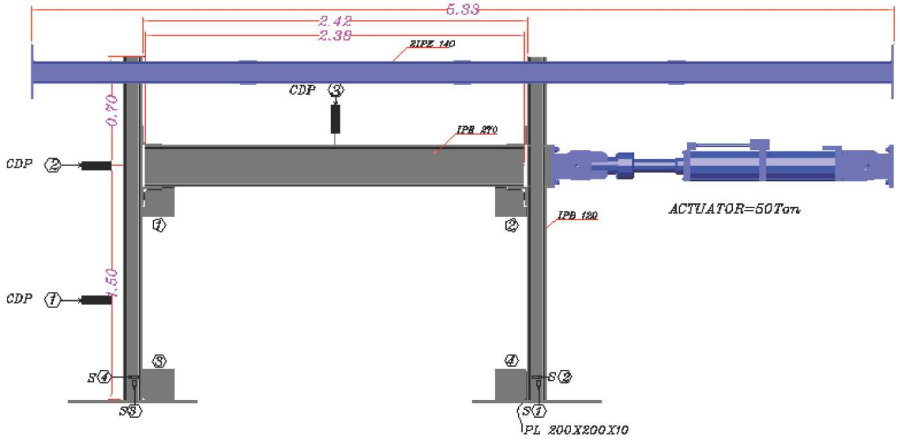
در کـاملترین حالـت از ۴ عـدد تغییرمکـان‌سـنج و ۱۲ عـدد کرنش‌سنج استفاده گردیده است که بنا به مورد آزمایش، این تعداد کمتر می‌گردد. در اشکال(۴) تا(۶) تغییرمکان‌سنجها بـا CDP و کرنش‌سنجها با S مشخص شده‌اند.



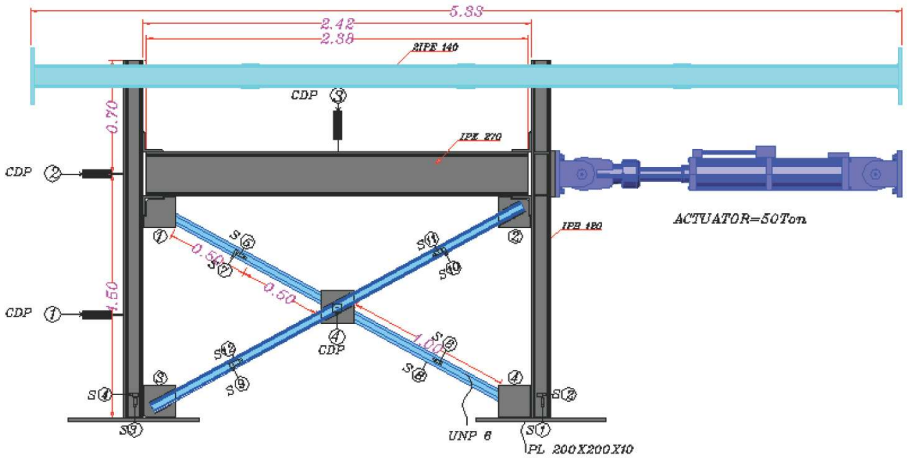
شکل(۳) : موقعیت و مقادیر جوش در اتصالات



شکل(۴) : قاب خالی در اولین آزمایش



شکل (۵) : قاب به همراه ورقهای اتصال مهاربند در چهار گوشه قاب



شکل (۶) : قاب به همراه مهاربند ضربدری

۳- گزارش آزمایشات

۳-۱- آزمایش قاب فولادی خالی بدون مهاربند

در مدل سازی و محاسبات، اتصالات قاب را مفصل فرض‌می‌نماییم و در اجرا نیز با اینکه سعی می‌گردد که به صورت ایده‌آل مفصل اجرا شود ولی چنین اتفاقی رخ نمی‌دهد و با اتصالاتی که هم‌اکنون در این قاب‌ها اجرا می‌شود مقداری گیرداری به وجود می‌آید که در این آزمایش ما مقدار این گیرداری را در حالت قاب تنها و در حالت قاب به علاوه ورقهای اتصال مهاربند در گوشه‌های قاب بررسی می‌کنیم.

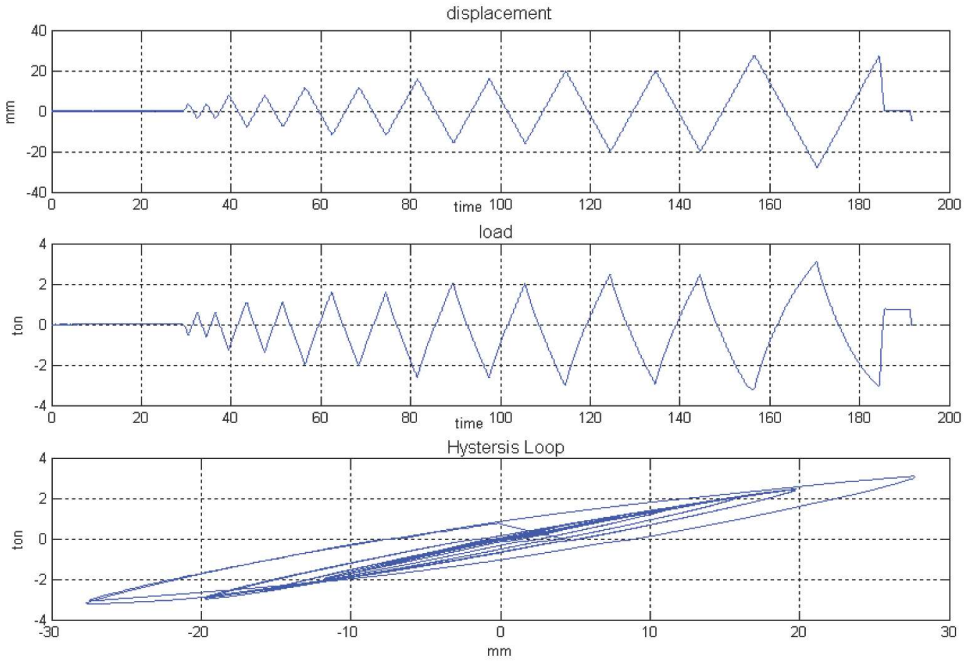
اولین آزمایش به صورت یک قاب فولادی متشکل از تیر و ستون مطابق شکل(۷) تعریف شده بود. بارگذاری با سرعت ۴mm/s و با گامهای ۴mm، ۸mm، ۱۲mm، ۱۶mm، ۲۰mm، ۲۸mm، ۳۶mm، ۴۴mm و ... تکرار دوبار در هر گام درنظر گرفته شد.

پس از انجام کنترل‌های لازم و اطمینان از نصب و صحت تجهیزات، بارگذاری شروع شد. لذا برای مقایسه عملکرد قاب با آزمایشات دیگر تغییرمکان نهایی را مدنظر قرار می‌دهیم. بدین معنی که تغییرمکان نهایی ۲۰ میلیمتر را به عنوان مبنا در هر سه آزمایش اعمال می‌گردد.

شکل (۷) : نمای کلی از قاب مورد آزمایش

خروجی‌های مورد استفاده از این آزمایش مربوط به اطلاعات جک و دو تغییرمکان‌سنج با موقعیت ۲ و ۳ بود. در شکل (۸) مقادیر تغییرمکان ـ نیرو و ترکیب حاصل از این دو به شکل منحنی هیسترزیس ارائه شده است.در نمودار تغییرمکان همان روند بارگذاری، با گامهای ۰/۴ سانتیمتر و سپس ۰/۸ سانتیمتر ملاحظه می‌گردد که با سرعت ۴mm/s اعمال گردید و در مدت زمان حدود ۱۶۰ ثانیه به طول انجامید. حداکثر تغییرمکان برابر ۲۸ میلیمتر و نیروی معادل آن برابر ۳/۱Ton در کشش یا فشار بود . جالب توجه است که نیروی کششی و فشاری بسیار مشابه هستند و حلقه‌های هیسترزیس خیلی منظم و مشابه هستند.

در جدول (۱) به بررسی خصوصیات هیسترزیس می‌پردازیم همچنین اطلاعات به دست آمده از خروجی‌های ثبت شده به صورت عددی در گامهای مختلف بارگذاری آمده است.



شکل (۸) : منحنی اطلاعات خروجی جک (Actuator)

جدول(۱) : نتایج بدست آمده از اطلاعات خروجی جک (Actuator)

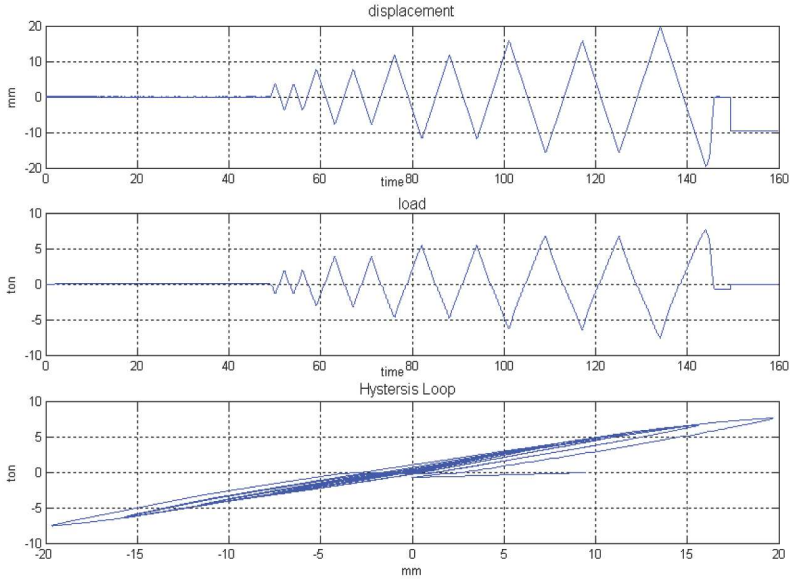
آزمایش قاب فولادی بدون مهاربند						
حلقه	شیب بارگذاری درجه	شیب باربرداری درجه	شیب کل‌حلقه درجه	انرژی جذب‌شده $(N/m^2)J$	بارگذاری فشاری (Ton)	بارگذاری کششی (Ton)
۱	۵۶/۳۱	۵۶/۱۳	۵۴/۴۶	۴۴	۰/۶۲	۰/۴۹
۲	۵۶/۲۷	۵۸/۲۵	۵۵/۹۵	۲۹	۰/۶۱	۰/۵۶
۳	۵۸/۱۵	۵۵/۹۵	۵۵/۶	۱۷۳	۱/۱۵	۱/۲۱
۴	۵۷/۵	۵۸	۵۶/۶۶	۱۳۰	۱/۳۳	۱/۳۲
۵	۵۷/۵	۵۵/۵۹	۵۵/۶۸	۴۳۳	۱/۶۳	۱/۹۳
۶	۵۷/۲۹	۵۶/۶۶	۵۶/۱۳	۴۲۸	۱/۶۱	۲/۰۱
۷	۵۵/۹۵	۵۳/۶۷	۵۴/۸۴	۱۰۳۲	۲/۰۶	۲/۵۶
۸	۵۴/۰۷	۵۳/۶۷	۵۵/۰۳	۱۱۳۸	۲/۰۶	۲/۵۷
۹	۵۲/۴۳	۴۹/۲۳	۵۳/۰۶	۲۳۵۰	۲/۵	۲/۹۵
۱۰	۴۹/۴۸	۴۸/۹۹	۵۲/۶۴	۲۴۸۰	۲/۴۸	۲/۸۸
۱۱	۴۲/۳	۳۶/۸۷	۴۷/۷	۶۸۱۰	۳/۱۳	۳/۲
۱۲	–	–	۳۸/۶۶	۴۲۸۰	–	۳/۰۳
نهایی	–	–	۵۱/۳۴	۱۸۹۰۰	–	–

۳-۲- آزمایش‌قاب فولادی به همراه ورقهای اتصال مهاربند در گوشه‌های قاب

این آزمایش برای بررسی سختی قاب به همراه ورقهای اتصال مهاربند در گوشه‌های قاب با مشخصات ذکر شده می‌باشد . با نصب صفحات اتصال مهاربند به گوشه‌های قاب، نمونه آماده آزمایش گردید.

پس از انجام کنترل‌های لازم و اطمینان از نصب و صحت تجهیزات، بارگذاری مطابق تاریخچه قبلی انجام شد. لذا برای مقایسه عملکرد قاب با آزمایشات دیگر تغییرمکان مبنا ۲۰ میلیمتر اعمال گردید. در مدت حدود ۱۰۰ ثانیه آزمایش به اتمام رسید که در انتها قاب با یک سیکل تغییرمکان فوق را تجربه کرد لیکن جوش یکی از اتصالات پای ستون دچار ترک‌خوردگی گردید که می‌بایست در آزمایش بعدی حتماً ترمیم شود (شکل(۹)).

شکل(۹) : نمایی از ترک‌خوردگی در پای ستون بعد از آزمایش



شکل(۱۰) : منحنی اطلاعات خروجی جک (Actuator)

خروجی‌های مورد استفاده از این آزمایش مربوط به اطلاعات جک می‌باشد که در شکل (۱۰) مقادیر تغییرمکان ـ نیرو و ترکیب حاصل از این دو مقدار به شکل منحنی هیسترزیس ارائه شده است. در نمودارتغییرمکان با همان روند بارگذاری، با گامهای ۰/۴ سانتیمتر و سپس ۰/۸ سانتیمتر ملاحظه می‌گردد، که با سرعت 4mm/s اعمال گردید و حداکثر تغییرمکان ۲۰ میلیمتر با نیروی معادل ۷/۸Ton در کشش یا فشار به قاب منتقل شده است. در این آزمایش نیز نیروی کششی و فشاری بسیار مشابه هستند و حلقه‌های هیسترزیس خیلی منظم و مشابه هستند.

درجدول(۲) به بررسی خصوصیات هیسترزیس می‌پردازیم همچنین اطلاعات به دست آمده از خروجی‌های ثبت شده به صورت عددی در گامهای مختلف بارگذاری آمده است.

جدول (۲) : نتایج بدست آمده از اطلاعات خروجی جک (Actuator)

آزمایش قاب فولادی به همراه ورقهای اتصال مهاربند به گوشه‌های قاب						
حلقه	شیب بارگذاری درجه	شیب باربرداری درجه	شیب کل‌حلقه درجه	انرژی جذب‌شده (N/m2)J	بارگذاری فشاری (Ton)	بارگذاری کششی (Ton)
۱	۷۵/۷۹	۸۷/۶	۷۶/۹۹	۸۰	۲/۱	۱/۲۸
۲	۷۶/۷	۷۸/۷۵	۷۷/۰۵	۶۳	۲/۱	۱/۳
۳	۷۶/۹۶	۷۸/۱۳	۷۷/۱۵	۴۲۵	۳/۹۵	۲/۹۳
۴	۷۷	۷۸/۳۵	۷۷/۱۵	۲۷۶	۳/۹۵	۳/۰۱
۵	۷۶/۷۶	۷۷/۳۳	۷۶/۷۶	۱۱۳۹	۵/۵۳	۴/۶۱
۶	۷۶/۴۸	۷۷/۵	۷۶/۷۹	۸۵۳	۵/۵۳	۴/۷۱
۷	۷۶/۵۱	۷۶/۰۹	۷۶/۰۹	۲۷۲۱	۶/۸	۶/۲
۸	۷۵/۸۲	۷۶/۱۹	۷۶/۰۶	۲۴۰۰	۶/۷	۶/۲
۹	۷۵/۴۷	۷۳/۷	۷۵/۵۸	۵۶۲۰	۷/۷۴	۷/۴۶
۱۰	۷۵/۳۶	۷۶/۵۷	۷۵/۴۷	۲۳۱	–	–
نهایی	–	–	۷۶/۰۶	۱۳۶۵۰	–	–

۳-۳- آزمایش قاب فولادی با مهاربند ضربدری

بعد از انجام دو آزمایش قبلی وترمیم جوش‌های صدمه دیده، دو پروفیل مهاربندها با مقطع ناودانی را پشت به پشت نصب می‌نمائیم شکل (۱۱). موقعیت اتصالات این قاب در شکل (۱۲) ملاحظه می‌گردد. ورق اتصال وسط دو مهاربند، در وسط قرار داده و جوش می‌گردد.

شکل(۱۱) : نمای کلی قاب آماده شده

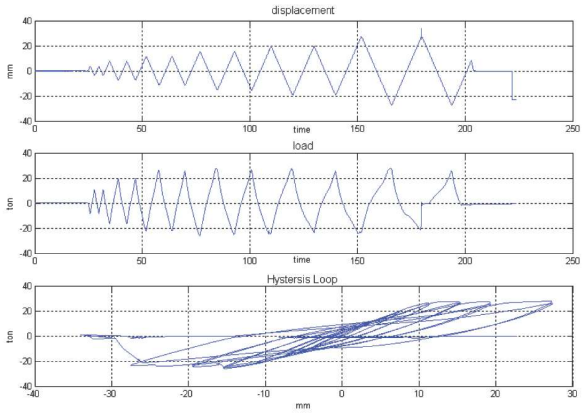
پس از انجام کنترل های مجدد و آماده بودن تجهیزات ثبت مقادیر بارگذاری شروع گردید در گام اول با تغییرمکان ۰/۴ سانتیمتر ۱۱Ton بارگذاری در فشار داشتیم در گام دوم با ۰/۸ سانتیمتر میزان بارگذاری فشاری به ۲۰Ton رسید و در گام سوم با ۱/۲ سانتیمتر تغییرمکان میزان بار فشاری به ۲۶Ton رسید در گام چهارم با تغییرمکان ۱/۶ سانتیمتر بارگذاری فشاری به ۲۸Ton رسید که در این هنگام بارگذاری ثابت ماند، خصوصاً بارگذاری فشاری، زیرا در کشش به علت تغییرشکل نبشی‌های تیر عملاً به جای کل بار تنها درصدی از نیرو به ستون مقابل منتقل می‌شد. لذا همین مسئله باعث شد که درنهایت در یکی از این کشش‌ها در تغییرمکان ۲ سانتیمتر نبشی بالای تیر در طرف جک دچار شکستگی در جوش شده و جداگردد و از اینجا نیروی کششی شروع به کاهش نمود اما در نیروی فشاری تغییرمحسوسی رخ نداد. این روند ادامه پیدا نمود تا تغییرشکل پلاستیک مهاربندها در محل اتصال و در طول آنها رخ داد و در تغییرمکان ۲/۸ سانتیمتر در کشش، شکست جوش در صفحه اتصال جک با قاب اتفاق افتاد. در این لحظه آزمایش به اتمام رسید و بارگذاری متوقف گردید.

این آزمایش با موفقیت انجام شده بود. زیرا تغییرمکان اعمالی بیش از تغییرمکان مبنای ۲۰ میلیمتری می‌باشد و ایجاد دو شکستگی اخیر در جوش ها بعد از خارج شدن مجموعه از حالت الاستیک اتفاق افتاده بود.

خروجی‌های دریافتی از تجهیزات اندازه‌گیری تبدیل به منحنی‌های متعدد شده است که در شکل (۱۳) اطلاعات خروجی جک ترسیم گردیده است و در نهایت مقادیر تغییرمکان ـ بار با یکدیگر ترکیب و منحنی هیسترزیس آن ترسیم شده است. در اولین منحنی می‌توان میزان تغییرمکان جک را مشاهده نمود که در ۶ گام با سرعت ۴mm/s تغییرمکان حداکثر ۲۸ میلیمتر را به سازه اعمال نموده است. مدت زمان انجام این آزمایش حدود ۱۸۰ ثانیه بوده است.

شکل(۱۲) : نمای اتصالات مهاربند

در منحنی بعدی تغییرات نیروی اعمالی جک ملاحظه می‌گردد که مقدار نیرو سریعاً رشد نشان می‌دهد و پس از گام سوم تقریباً ثابت می‌ماند، همچنین شکستگی جوش نبشی و جوش صفحه اتصال جک باعث تغییرات در نیروی کششی یعنی پایین منحنی شده است. از ترکیب دو مقادیر بالا می‌توان منحنی هیسترزیس را نتیجه گرفت که جذب انرژی آن در کشش و فشار متناسب می‌باشد.



شکل(۱۳) : منحنی اطلاعات خروجی جک (Actuator)

در جدول(۳) به بررسی خصوصیات هیسترزیس می‌پردازیم همچنین اطلاعات به دست آمده از خروجی‌های ثبت شده به صورت عددی در گام‌های مختلف بارگذاری آمده است.

در بررسی ظاهری قاب بعد از انجام آزمایش شکل(۱۴) ملاحظه می‌گردد که تغییرشکل‌های ماندگار در مهاربندها و اتصالات رخ داده است.

شکل(۱۴) : نمای کلی قاب بعد از آزمایش

جدول (۳) : نتایج به دست آمده از اطلاعات خروجی جک (Actuator)

آزمایش قاب فولادی با مهاربند ضربدری						
حلقه	شیب بارگذاری درجه	شیب باربرداری درجه	شیب کل‌حلقه درجه	انرژی جذب‌شده (N/m2)J	بارگذاری فشاری (Ton)	بارگذاری کششی (Ton)
۱	۸۷/۷۶	۸۷/۹۳	۸۷/۷	۵۶۲	۱۱/۳	۷/۵۸
۲	۸۷/۷۹	۸۷/۹۳	۸۷/۷	۴۵۵	۱۱/۳۳	۷/۷
۳	۸۷/۵۷	۸۷/۵	۸۷/۴۸	۴۶۶۰	۲۰/۲	۱۵/۷
۴	۸۷/۲۶	۸۷/۵۶	۸۷/۵	۴۲۶۵	۲۰/۱۲	۱۶/۰۶
۵	۸۷/۰۴	۸۷/۱۲	۸۷/۲۱	۱۲۳۰۰	۲۶/۹۶	۲۲
۶	۸۶/۷	۸۷/۱۳	۸۷/۱۵	۱۰۶۰۰	۲۶/۱۷	۲۲/۰۶
۷	۸۶/۲۵	۸۵/۹	۸۶/۶	۲۶۷۰۰	۲۷/۹	۲۵/۶۳
۸	۸۵/۳۵	۸۵/۸	۸۶/۴۲	۲۴۶۰۰	۲۷/۰۳	۲۴/۷۹
۹	۸۳/۸۶	۸۳/۸۶	۸۵/۵۶	۴۳۷۰۰	۲۸/۰۹	۲۴/۱۳
۱۰	۸۲/۲۱	۸۳/۵۳	۸۴/۹۳	۳۵۴۰۰	۲۵/۹۵	۲۲/۶۸
۱۱	۷۹/۲۳	۷۹/۳۳	۸۳/۳۳	۷۷۴۰۰	۲۸/۳۲	۲۳/۶۸
۱۲	۶۱/۷۳	۷۶/۸۵	۷۹/۹۳	۷۹۵۰۰	۲۶/۴۶	۲۰/۷۱
نهایی	–	–	۸۴/۳۱	۳۲۲۰۰۰	–	–

۴- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

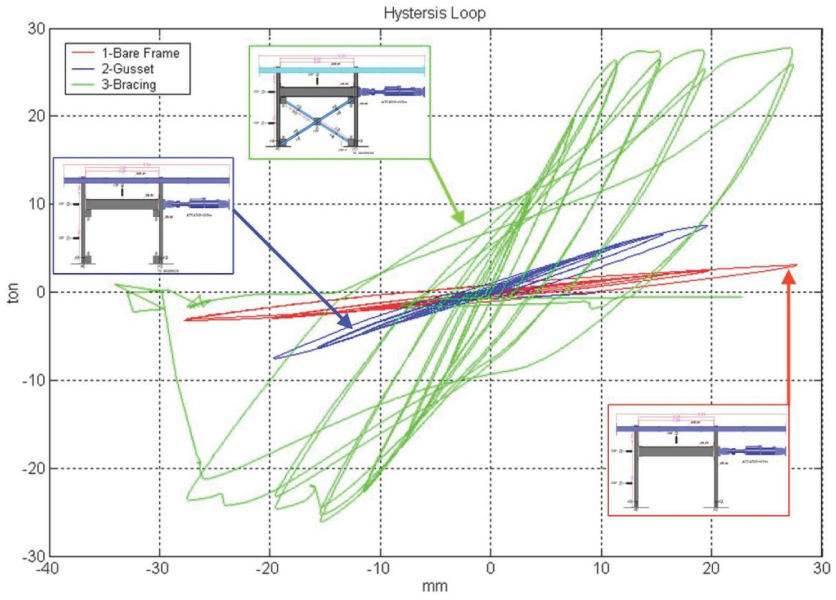
در این بخش به بررسی و مقایسه سه آزمایش ۱- قاب فولادی بدون مهاربند، ۲- قاب فولادی به همراه ورق‌های اتصال مهاربند ضربدری در گوشه‌های قاب و ۳- قاب فولادی با مهاربند ضربدری می‌پردازیم. هدف از این بررسی، میزان تأثیر نوع اتصالات و سختی آنها در قاب اصلی می‌باشد.

در شکل(۱۵) سه منحنی هیسترزیس آزمایشات ملاحظه می‌گردد و در ادامه به بررسی بیشتر آنها با استفاده از اطلاعات جداول ذکر شده در قسمت قبل می‌پردازیم.

مقادیر عددی به‌دست آمده از نمودارهای سه آزمایش فوق، در جدول (۴) به‌صورت خلاصه درج گردیده که به‌نسبت آزمایش قاب به‌همراه مهاربند ضربدری می‌باشند.

جدول(۴) : نتایج آزمایشات نسبت به یکدیگر

آزمایش	قاب فولادی بدون مهاربند	قاب فولادی به همراه ورقهای اتصال مهاربند به گوشه‌های قاب	قاب فولادی با مهاربندضربدری
شیب بارگذاری	۰/۶۴۳	۰/۸۶۵	۱
شیب باربرداری	۰/۶۴۴	۰/۹۹۶	۱
شیب کل حلقه	۰/۵۹۱	۰/۸۷۶	۱
سرعت کاهش سختی در طول آزمایش	۰/۴۲	۰/۳۸۶	۱
انرژی جذب شده	۰/۰۴	۰/۱۰۲	۱
بارگذاری فشاری	۰/۰۵۵	۰/۱۸۵	۱
بارگذاری کششی	۰/۰۶۵	۰/۱۶۹	۱
تغییرمکان گره ۲	۱/۲۷	---	۱
تغییرشکل ماندگار	۰/۱	۰/۱۳	۱



شکل (۱۵) : منحنی هیسترزیس سه آزمایش: ۱- قاب‌فولادی بدون مهاربند، ۲- قاب فولادی بدون مهاربند به همراه ورقهای اتصال مهاربند ضربدری در گوشه‌های‌قاب، ۳- قاب فولادی با مهاربند ضربدری

در تحلیل قاب با مهاربند ضربدری براساس آئین‌نامه‌ها برای اتصال دو مهاربند در وسط قاب با اعمال یک ضریب کاهش طول مؤثر که در خارج از صفحه ۰/۵ و در داخل صفحه ۰/۶۷ می‌باشد این قاب ها را طرح می‌نماییم. لیکن نتایج آزمایشی بر روی این قاب ها نشان دهنده اثر فوق‌العاده زیاد این اتصال نسبت به ضرایب پیشنهادی می‌باشد. به طوریکه در تحلیل ها حداکثر نیروی جانبی مجاز برای قاب فوق برابر 6Ton محاسبه گردید درحالیکه عملاً در آزمایش سوم قاب با نیروی حدود 27Ton به حالت غیرارتجاعی رسیده است. این اختلاف به علت گیرداری اتصالات و نامعینی‌های موجود در سیستم به وجود آمده است.

در مجموع ملاحظه می‌گردد که حدود ۸ تا ۱۲ درصد یعنی به طور متوسط 2800kg از بار جانبی در آزمایش سوم توسط اتصالات قاب جذب شده و همچنین حدود ۳۰ درصد از بار جانبی در آزمایش سوم توسط اتصالات قاب و صفحات اتصال مهاربندها در گوشه‌های قاب جذب می‌شود که در این آزمایش برابر 8400kg بوده است.

۵- پیشنهادات

برای نتیجه‌گرفتن از یک مدل آزمایشگاهی نیاز به انجام آزمایشات متعدد در حالتهای مختلف می‌باشد لذا پیشنهاد می‌گردد با تعداد نمونه بیشتری و باتنوع در مهاربند، اتصالات، ابعاد و غیره آزمایشات بیشتری انجام گردد.

برای تکمیل این مطالعه بررسی تحلیلی نیاز می‌باشد.

مراجع

۱- طاحونی؛ شاپور؛ اتصالات در سازه‌های فولادی؛ انتشارات دهخدا؛ زمستان ۱۳۶۹.

۲- عادلی؛ حجت‌اله؛ مهندسی زلزله؛ انتشارات دهخدا؛ ۱۳۶۹.

۳- مرکز تحقیقات مسکن و شهرسازی؛ «استاندارد طرح ساختمانها در برابر زلزله موسوم به استاندارد ۲۸۰۰» نشریه شماره ۸۲، بهمن ماه ۱۳۶۶.