

بررسی آزمایشگاهی اثر بار محوری بر رفتار لرزه ای اتصالات خارجی تیر به ستون بتنی مسلح به میلگرد ساده

علی اسمعیلی ایوانکی

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی سازه، دانشکده فنی دانشگاه تهران، تهران، ایران.

Ali_esmaeli@ut.ac.ir

محمد صادق معرفت

استاد، مهندسی عمران دانشکده فنی دانشگاه تهران، تهران، ایران.

mmarefat@ut.ac.ir

مهدی ادیبی

دانشجوی دکتری مهندسی زلزله، دانشکده فنی دانشگاه تهران، تهران، ایران.

m.adibi.ut.ac.ir

حمید زارع

کارشناس آزمایشگاه سازه، دانشکده فنی دانشگاه تهران، تهران، ایران.

hzare@ut.ac.ir

کلید واژه‌ها: اثر بار محوری بر رفتار لرزه‌ای اتصال خارجی تیر به ستون، میلگرد ساده، ساختمان‌های قدیمی بتنی مسلح

چکیده

به طور کلی سازه‌های بتنی آرمه قدیمی عمدتاً با یک دید ثقلی طراحی شده‌اند و تناسب‌دهی و جزئیات آنها نیز بصورت غیر لرزه‌ای بوده است. یکی از مشخصات بارز این گونه سازه‌ها استفاده از میلگرد ساده (صاف) جهت تسلیح بتنی بوده است. رفتار اتصالات در این سازه‌ها از اهمیت برخوردار بوده و در این مطالعه بررسی شده است. در این راستا دو نمونه اتصال کناری تیر به ستون بتنی آرمه با مشخصات سازه‌های قدیمی و با مقیاس یک دوم ساخته شده و تحت آزمایش بارگذاری رفت و برگشتی قرار گرفته است. یکی از نمونه‌ها تحت اثر بار محوری و جانبی و دیگری تحت اثر تنها بار جانبی آزمایش شده است. نتایج نشان می‌دهد که در نمونه‌ی فاقد بار محوری در مقایسه با نمونه‌ی دارای بار محوری، مقاومت ۳۰ درصد کاهش یافته، شکل‌پذیری تغییر چندانی نکرده، اما شدت ترک خوردگی در ناحیه‌ی اتصال بیشتر بوده است.

مقدمه

بطور کلی می‌توان گفت سازه‌های بتنی آرمه تا نیمه قرن بیستم عمدتاً با یک دید ثقلی تحلیل و طراحی شده‌اند و متعاقباً تناسب‌دهی و جزئیات‌دهی آنها نیز بصورت غیر لرزه‌ای بوده است. از مشکلات و کاستی‌های مهم سازه‌های بتنی آرمه قدیمی می‌توان به نکات ذیل اشاره کرد. (Pampanin et al., 2002)

- استفاده از میلگرد ساده به عنوان میلگرد سازه ای
- استفاده از بتن‌های با مقاومت پائین
- محصور شدگی ناکافی در مناطق مفصل پلاستیک
- وصله میلگردها درست بالای تراز طبقه
- کاستی و اشکال در جزئیات خاموت گذاری در اتصال



در این میان، یکی از موضوعاتی که بدان توجه لازم صورت نگرفته است و با توجه به وضعیت ساختمانهای موجود در ایران، لزوم تحقیق و تفحص بیشتر درباره آن حس می شود، رفتار لرزه ای اتصالات تیر-ستون در سازه های بتنی مسلح به میلگرد ساده بوده است. (شکل ۱).



شکل ۱: آسیب در اتصال تیر به ستون در زلزله ترکیه (Sezen et al., 2003)

یکی از ابزارهای کارآمد برای پی بردن به رفتار واقعی زیرسازه‌ها در برابر زلزله، ارزیابی آزمایشگاهی رفتار آنها می باشد. بدین ترتیب می توان با کسب شناخت دقیق از رفتار لرزه‌ای آنها، راهکارهای بهسازی برای کاستی‌های موجود پیشنهاد کرد. در دانشگاه کانتربری نیوزیلند چندین تحقیق روی اتصال تیر و ستون با مشخصات طراحی مطابق با آئین نامه‌های قبل از دهه‌ی ۷۰ میلادی صورت گرفته است. هاگوتوو همکاران آزمایشی روی سه اتصال داخلی تیر به ستون برای بررسی کارکرد لرزه‌ای ساختمان‌های بتنی موجود و کارایی پوشش بتن مسلح به عنوان یک چاره برای تعمیر و تقویت نمونه‌ها انجام دادند. ثابت شد که تکنیک روکش بتنی می‌تواند به عنوان گزینه‌ای برای افزایش عمر ساختمان بتنی موجود و همچنین تعمیر خسارت ناشی از زلزله‌های بزرگ مورد توجه قرار گیرد (Hakuto et al., 1995). والاس آزمایشی روی دو نمونه‌ی اتصال تیر به ستون داخلی با مقیاس واقعی انجام داد. یکی از نمونه‌ها دارای میلگردهای طولی ساده و دیگری دارای میلگرد طولی آجدار بودند. نتایج شکل‌پذیری محدود نمونه‌ها را به دلیل جزئیات ضعیف مخصوصاً برای نمونه میلگرد ساده نشان دادند (Wallace 1996).

لیو و پارک چهار اتصال خارجی مسلح شده با میلگرد ساده و مقیاس واقعی و طراحی شده توسط آئین‌نامه‌های قبل از دهه‌ی ۷۰ را مورد آزمایش قرار دادند. متغیرهای آزمایش عبارت بودند از نحوه‌ی مهار میلگردهای طولی تیر و سطح نیروی محوری در ستون. میلگردهای طولی تیر در دو نمونه با خم‌های ۹۰ درجه به سمت خارج اتصال و در دو نمونه دیگر به سمت داخل آرایش داده شده بودند (Liu and Park, 2001). در کشورمان ایران اخیراً مطالعاتی توسط دکتر محمد صادق معرفت و همکارانشان انجام یافته است که عمده این مطالعات، پیرامون بررسی رفتار لرزه‌ای تیرها و ستونهای بتنی مسلح به میلگرد ساده و با جزئیات دهی نامناسب بوده و سعی در مدلسازی رفتار تحلیلی آنها داشته است (Marefat et al. 2005, 2006, 2007). در این تحقیقات آمده است که سختی اولیه تیرها و ستونهای مسلح به میلگرد ساده نسبت به تیرها و ستونهای مسلح به میلگرد آجدار تقریباً ثابت می ماند و سپس دچار تغییراتی می شود اما مقاومت آنها نسبت به اجزاء سازه ای بتنی مسلح به میلگرد آجدار کاهش می یابد.

در ترکیه نیز تعداد سازه‌های بتنی مسلح به میلگرد ساده بالا بوده و مطالعاتی پیرامون شناخت و بهبود رفتار لرزه‌ای ستونها و زیرسازه‌های بتنی مسلح به میلگرد ساده توسط بدیرهانوقلو صورت پذیرفته است. بدیرهانوقلو و همکاران آزمایش بر روی دو سری اتصالات خارجی تیر به ستون انجام دادند. تمام نمونه های آنها از بتن با مقاومت پایین و میلگردهای ساده برای نشان دادن شرایط اتصالات ساختمانهای بتنی ناکارآمد موجود ساخته شده بودند. (Bedirhanoglu et al., 2010).

در سازه های مسلح به میلگرد ساده عقیده برخی محققین همچون لیو و پارک (Liu and Park, 2001) به علت استفاده از میلگرد ساده و وقوع زود هنگام پدیده لغزش به خصوص در میلگردهای تیر، مد کنترل کننده اتصال، مد لغزش در میلگردهای تیر می‌باشد که مانع شکل گیری کافی مقاومت خمشی در تیر می شود و مجال به بروز آسیب برشی گسترده در اتصال نمی دهد. البته مطالعات و آزمایشات محققانی همچون پامپانین و بدیرهانوقلو نیز کمابیش این موضوع را تأیید می کند. (Pampanin et al., 2006), (Bedirhanoglu et al., 2010).

1. Canterbury University
2. Reinforcement concrete jacketing



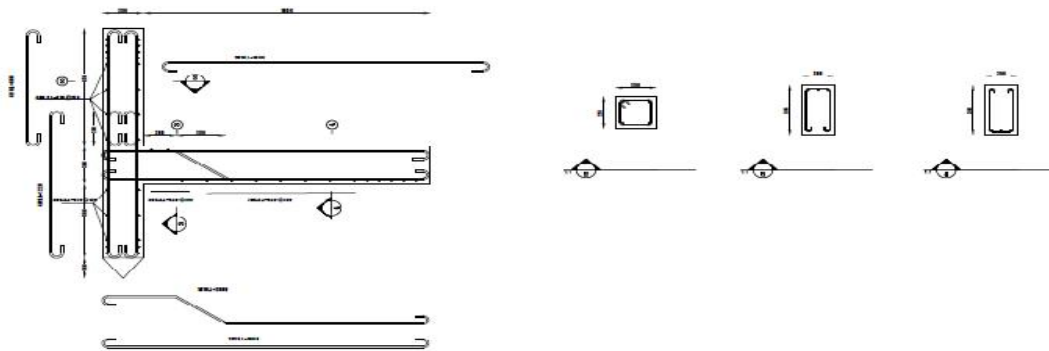
جزئیات نمونه‌ها

برنامه آزمایشگاهی در آزمایشگاه سازه‌ی دانشکده فنی دانشگاه تهران انجام شد. برنامه شامل دو نمونه‌ی مشابه اتصال تیر به ستون با مقیاس $1/2$ که با میلگرد ساده ساخته شده‌اند و ستون‌های آنها در معرض بار محوری متفاوت قرار می‌گیرند، می‌شود. نمونه اتصال J1 مربوط به زیر سازه‌ی واقع در طبقه زیرین و نمونه اتصال J2 مربوط به زیر سازه‌ی انتخاب شده در طبقه‌ی بالاتر می‌باشد. نمونه‌ها به منظور نماینده بودن برای ساختمانهای بتنی رایج و موجود که تنها برای بار ثقلی طراحی شده‌اند دارای جزئیات ناکافی در میلگردهای عرضی و فاقد میلگرد عرضی در قسمت اتصال می‌باشند. نمونه‌ها مربوط به اتصال خارجی واقع شده در طبقه اول و دوم یک ساختمان بتنی ۳ طبقه می‌باشد که در آن دهانه‌ی تیرها مساوی و برابر ۷ متر می‌باشد و ستون‌ها دارای ارتفاع ۳ متر می‌باشد. اعضای تیر و ستون تا نقطه عطف تغییر شکل در اثر بارهای جانبی یعنی تا میان دهانه آزاد تیر و میان ارتفاع آزاد ستون شبیه‌سازی می‌گردند.

شکل ۲ نشان دهنده‌ی هندسه، ابعاد و جزئیات میلگردبندی اتصال تیر به ستون مورد بررسی می‌باشد. هر دو نمونه دارای ستون مربعی شکل با ابعاد برابر به ابعاد $m2 \ 0.3 \times 0.3$ و تیرهای مستطیلی با ابعاد $m2 \ 0.2 \times 0.3$ می‌باشند. طراحی ثقلی ساختمان مورد بررسی با روش تنش مجاز بر اساس آیین‌نامه‌های بتن مسلح آلمان ۱۰۴۵ و پیرایش سال ۱۹۴۳ که در سالهای ۱۹۵۱ و ۱۹۵۲ مورد ویرایش قرار گرفته است (مراجعی و بخشوده ۱۳۴۸)، انجام گرفته است و جزئیات میلگردبندی نیز با استفاده از همان آیین‌نامه و نقشه‌های ساختمان‌های موجود قدیمی صورت گرفته است بنابراین مهار میلگردهای طولی تیر و ستون به صورت قلاب با زاویه ۱۸۰ درجه می‌باشد و وصله‌ی میلگرد ستونها نیز به صورت وصله‌ی پوششی با قلاب انتهایی می‌باشد که طول وصله به 20 db محدود شده است همچنین خاموت‌های تیرها از نوع خاموت رکابی می‌باشد که در مقطع عرضی نشان داده شده است (خلیلی، ۱۳۳۴، ۱۳۳۲)

مشخصات مصالح مصرفی

مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن مورد استفاده برای طراحی نمونه‌ها، 210 kg/cm^2 برای نمونه مکعبی در نظر گرفته شده است که تقریباً با بتن B225 این آئین‌نامه با حداقل گسیختگی ۲۸ روزه 225 kg/cm^2 برای نمونه مکعبی نزدیکی دارد. برای مسلح نمودن نمونه‌ها از میلگردهای ساده که به صورت نورد گرم تولید شده‌اند استفاده شد. مشخصات سازه‌ی میلگردهایی نیز که برای ساخت نمونه‌ها در نظر گرفته شده است با مشخصات فولادهای گروه دوم با سختی طبیعی مطابق با این آئین‌نامه که حداقل خستگی حد روانی آنها 3600 kg/cm^2 و خستگی گسیختگی کششی آنها $5000 \sim 6500 \text{ kg/cm}^2$ می‌باشد، مطابقت دارد. البته در گذشته میزان مصرف فولادهای گروه ۱ مطابق با این آئین‌نامه که حداقل خستگی حد روانی آنها 2200 kg/cm^2 و خستگی گسیختگی کششی آنها $3400 \sim 5000 \text{ kg/cm}^2$ می‌باشد، بسیار زیاد بوده است که هم اکنون دیگر تولید نمی‌شوند. تمام نمونه‌ها به صورت همزمان توسط بتن با مقاومت فشاری استاندارد میانگین ۲۱ مگاپاسکال بتن‌ریزی شدند. تنش جاری شدن میلگردهای مورد استفاده نیز به ترتیب برابر ۳۶۰، ۳۳۶ و ۳۴۰ مگاپاسکال برای امراتورهای به قطر ۱۶، ۱۲، ۵/۵ و ۶/۵ میلیمتر می‌باشند.



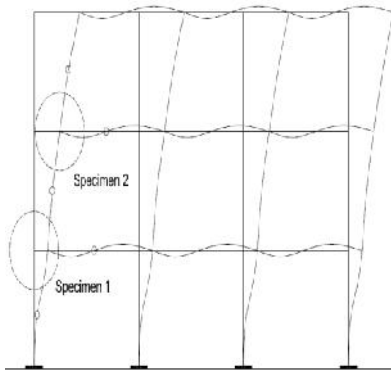
شکل ۲: جزئیات میلگردبندی نمونه‌ها

برپایش آزمایشگاهی، نحوه‌ی بارگذاری و ابزاربندی

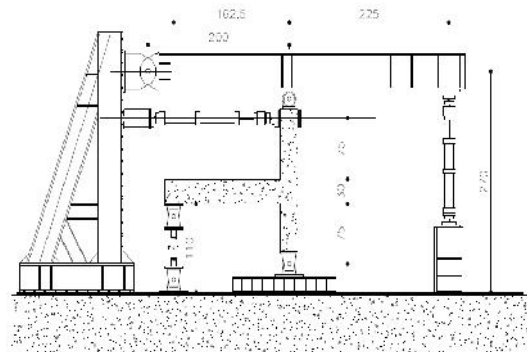
شکل ۳ نشان دهنده‌ی ست آپ مورد استفاده در آزمایش می‌باشد. نمونه‌ها به صورت قائم مورد آزمایش قرار گرفتند. طبقه انجام این آزمایش و ساخت نمونه‌ها به گونه‌ایست که حین آزمایش در زیرسازه‌ی مورد بررسی، تغییر شکل‌هایی مشابه با ساختمان واقعی هنگامی که تحت نیروی افقی قرار می‌گیرد، ایجاد شود (شکل ۴)

بارگذاری به این صورت است که ابتدا نیروی محوری ثابت به ستون از طریق تیر بارگذاری که در یک انتها به صورت مفصلی به فریم بارگذاری و در انتهای دیگر به جک بارگذاری هیدرولیکی قائم متصل است به بالای ستون هر نمونه وارد شده و سپس نیروی افقی رفت و برگشتی

توسط جک هیدرولیکی افقی به نمونه وارد می‌شود. بارگذاری رفت و برگشتی به صورت کنترل شده توسط تغییر مکان می‌باشد. سازوکار انتقال نیروی قائم از تیر بارگذاری به بالای ستون بدین صورت است که نیرو از طریق یک غلطک که به بالای ستون متصل شده و به ستون اجازه‌ی



شکل ۴: نحوه‌ی انتخاب و موقعیت نمونه‌های مورد آزمایش در سازه‌ی مینا



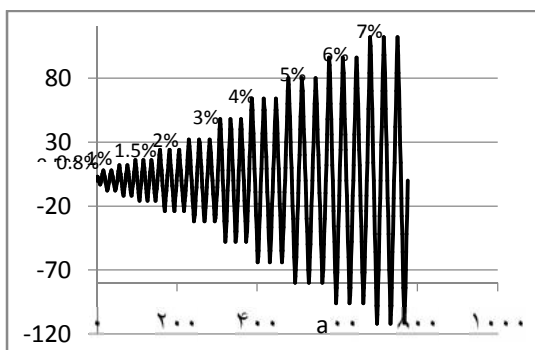
شکل ۳: ست آب آزمایشگاهی

تغییر مکان افقی در راستای جک هیدرولیکی افقی را می‌دهد به ستون منتقل می‌شود. نکته دیگری که در این نحوه تنظیم و بارگذاری، رعایت شده است، نحوه شبیه سازی بارگذاری ثقلی وارد بر زیرسازه می‌باشد، که علاوه بر کنترل دقیق بر میزان این بار، از حرکت جانبی زیرسازه نیز ممانعت به عمل نمی‌آید و به عبارتی اثر عامل p - در نتایج دیده می‌شود. به این ترتیب شرایط آزمایش به شرایط واقعی نزدیکتر می‌شود. بایستی به این نکته توجه داشت که مقدار بار محوری قائم اعمالی به نمونه‌ها به گونه‌ای می‌باشد که مقدار تنش محوری ایجاد شده در نمونه‌ها متناسب با موقعیت قرارگیری آن‌ها در ساختمان مینا (طبقه‌ی اول یا دوم) باشد. بدین ترتیب مقدار نیروی محوری قائم وارد بر نمونه‌ی J1 (نمونه‌ی واقع در طبقه زیرین) برابر با $0.15f_c A_g$ و نیروی محوری قائم اعمالی بر نمونه‌ی J2 (نمونه‌ی واقع در طبقه‌ی بالاتر) برابر با $0.07 f_c A_g$ می‌باشد. در شکل ۵ نحوه‌ی بارگذاری چرخه‌ای افقی که به صورت شبه استاتیکی به بالای ستون نمونه وارد می‌شود نشان داده شده است. این بارگذاری تا قبل از نقطه‌ی تسلیم که در دریفت 0.8% درصد می‌باشد به صورت دو چرخه در هر دریفت (تغییر مکان افقی) و پس از آن سه چرخه در هر دریفت می‌باشد (Klemencic et al., 2005).

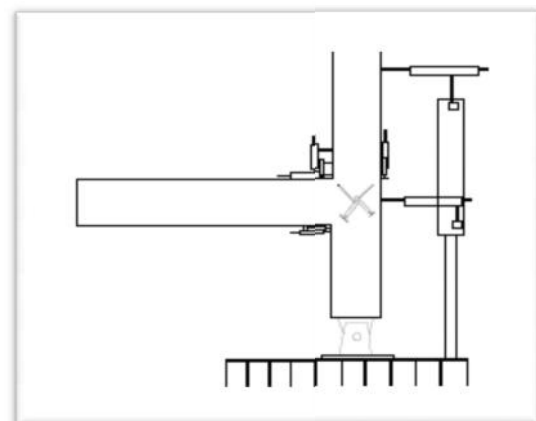
برای کنترل دقیق تغییر مکان‌ها و چرخش تیر نسبت به ستون و کرنش و تغییر مکان‌های ایجاد شده در نمونه‌ها از LVDT که جابجایی خطی را اندازه‌گیری می‌کند استفاده شده است. آرایش آن‌ها را در نمونه‌ها در شکل ۶ نشان داده شده است.

نتایج تست

مهم ترین منحنی که از آزمایش زیر سازه بدست می‌آید منحنی هیستریزس می‌باشد که نشان دهنده‌ی رفتار چرخه‌ای زیرسازه بر اساس مقدار نیروی جانبی اعمال شده بر بالای ستون در برابر دریفت همان نقطه از نمونه می‌باشد. پارامترهایی که در این نمودار قابل مشاهده و بررسی هستند عبارتند از؛ حداکثر نیروی اعمال شده بر نمونه در هر دو جهت مثبت و منفی، نقاطی مانند نقطه‌ی تسلیم نمونه در صورت وجود و نقاط ترک خوردگی اعضای نمونه و میزان انرژی مستهلک شده توسط نمونه‌ها حین تست.

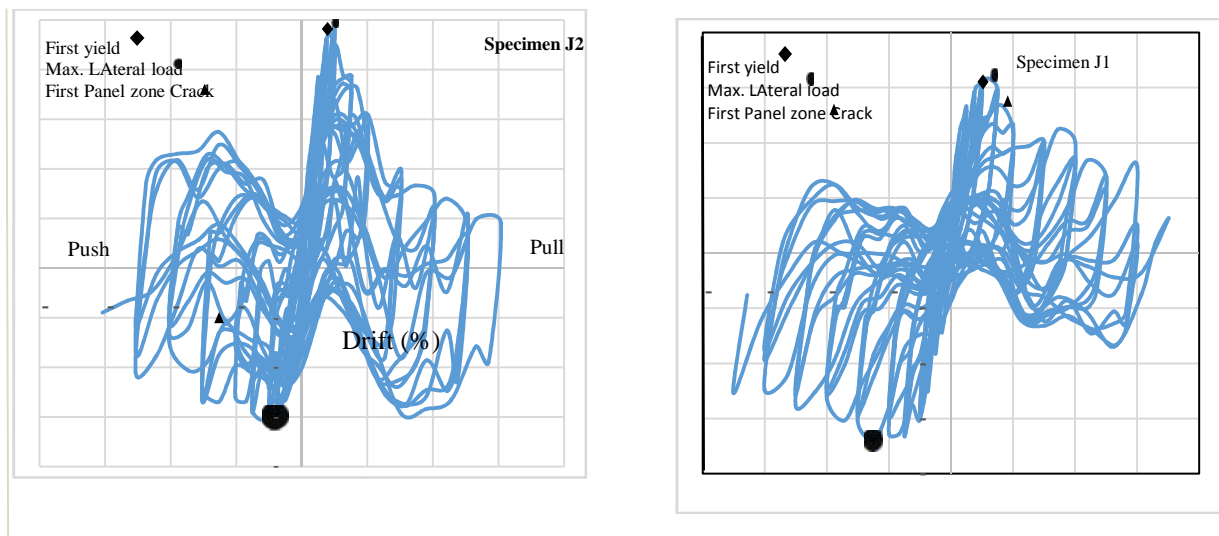


شکل ۵: پروتکل بارگذاری



شکل ۶: موقعیت سنسورهای تغییر مکان

در شکل ۷ نمودارهای هیستریزیس بدست آمده از هر دو آزمایش نشان داده شده است.



شکل ۷ نمودارهای هیستریزیس نمونه‌ها

در جدول ۱ مقادیر نیروی حداکثر بدست آمده از نمودار هیستریزیس و مقدار نیروی جانبی تئوری محاسبه شده آورده شده است. مبنای محاسبات تئوری پیوستگی کامل بتن و فولاد و صلب در نظر گرفتن اتصال تیر به ستون بوده و تئوری معمول استفاده شده در آیین نامه بتن ایران می‌باشد.

جدول ۱: مقادیر نیروهای جانبی مهم در آزمایش

	نمونه	نیروی جانبی در لحظه اولین ترک (KN)	نیروی جانبی در لحظه تسلیم اولین میلگرد مثبت (KN)	نیروی جانبی حداکثر (KN)
مقاومت اسمی (محاسبات تئوری)	J1	7.3	14.8	23.7
	J2	7.3	14.8	23.7
نتایج آزمایش	J1	7.8	15	15.8
	J2	6.8	23.7	23.8

مشاهدات آزمایش

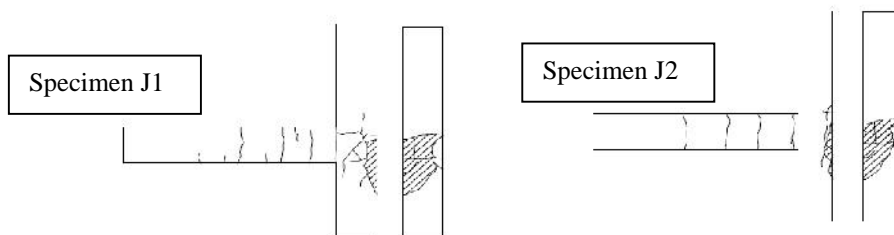
نمونه J1

اولین ترک در دررفت ۰/۱۲ درصد با نیروی افقی برابر با ۷/۸ KN اتفاق می‌افتد طبق محاسبات تئوریک مقدار نیروی افقی لازم برای ترک خوردگی برابر با ۷/۳ KN می‌باشد که انطباق خوبی با مقدار بدست آمده از آزمایش دارد. محل این ترک در قسمت انتهایی تیر جایی که تیر به ستون می‌رسد می‌باشد. دومین ترک در تیر در فاصله‌ی تقریبی ۳۰ سانتی متر از بر ستون در دررفت ۰/۲ درصد در سیکل اول از دررفت ۰/۵ درصد اتفاق می‌افتد که این محل متناظر با انتهای محل خم آرماتود منفی تیر به سمت پایین (هودکا) می‌باشد و نشان دهنده‌ی ناکارآمد بودن چنین دیتیل اجرایی می‌باشد که در سازه‌های قدیمی مرسوم بود. اولین جاری شدن میلگرد نیز در اولین سیکل از دررفت ماکزیمم ۱ درصد در دررفت ۰/۸ درصد با نیروی متناظر ۱۵ KN اتفاق می‌افتد. طبق محاسبات تئوریک نیروی لازم جهت جاری شدن میلگرد طولی تیر برابر ۱۴/۸ KN می‌باشد که تطابق خوبی با آزمایش دارد. در دررفت ۲- درصد حد فاصل بین استپ‌های ۲۶۴ تا ۲۶۹ ترک‌های مورب و افقی در صفحه اتصال تیر به ستون اتفاق می‌افتد در دررفت ۲- درصد یک ترک مورب از محل انتهای قلاب میلگرد منفی تیر (از قسمت بالایی اتصال تیر به ستون) تا به سمت چپ و پایین اتصال امتداد یافت ولی ترک دیگری که عمود بر این ترک باشد در صفحه‌ی اتصال ایجاد نشد که دلیل این امر بیشتر بودن مساحت میلگرد منفی در تیر در نزدیکی ستون می‌باشد که تقاضای برشی بیشتری در محل اتصال در تغییر مکان‌های منفی ایجاد مینماید. البته در استپ‌های بالاتر بارگذاری (دررفت ۴ درصد) یک ترک مورب با طول کم ایجاد می‌گردد که امتداد آن عمود بر ترک مورب قبلی می‌باشد. ستون‌های زیر سازه مورد آزمایش اساساً متحمل تخریب جدی نگشته و فقط در استپ ۶۷ بارگذاری که متناظر با دررفت ۰/۷۵- درصد می‌باشد یک ترک افقی با طول کم در قسمت پشت ستون در ناحیه اتصال تیر به ستون حادث گردید و ترک‌های بعدی در قسمت پشت ستون در استپ ۱۳۲ (سیکل دوم از دررفت ۱- درصد) ترک‌هایی مورب (که از تراز پایین اتصال تیر به ستون و پشت ستون آغاز گشته و به طور مورب به سمت پایین امتداد یافت) ایجاد شد. همچنین ترک‌هایی افقی در تراز قلاب‌های مهاری میلگردهای مثبت و منفی تیر ایجاد شد که امتداد آنها به سمت صفحه اتصال ادامه یافت و

در صفحه ی اتصال به صورت قائم هردو ترک به هم رسیده بعد ها در دریافت های بالاتر (استپ ۳۹۲ متناظر با ماکزیمم تغییر مکان در اولین چرخه از دریافت ۴ درصد) ترکهای قائم (که منطبق بر میلگردهای طولی ستون بوده) درتراز میلگرد مثبت در صفحه ی اتصال به سمت پایین و با تمایل به سمت لبه ی پشتی ستون توسعه یافت که با رسیدن به سایر ترکهای موربی که در پشت ستون ایجاد گشته بود تشکیل یک بلوک بتنی دادند که با افزایش تغییر مکان و بالا رفتن استپ های بارگذاری تمایل به جدا شد از نمونه را داشت. ابعاد این بلوک به صورت تقریبی 20×25 سانتی متر بود که جدا شدن این بلوک بتنی باعث از دست رفتن قسمت عمده ای از پوشش بتنی در قسمت پشت ستون در تراز محل اتصال تیر به ستون و نمایان شدن میلگرد های طولی ستون و همچنین قلابهای انتهایی میلگردهای تیر گردید. این جدا شدن به دلیل نیروی بیرون رانشی ایجاد شده توسط قلابهای مهاری میلگردهای طولی تیر بود که در اثر لغزش میلگردها بوجود آمده و بلوک بتنی که توسط ترکهای ایجاد شده در ستون و صفحه اتصال از نمونه محصور شده و از نمونه جدا شده بود در دریافت +۵ درصد به طور کامل از نمونه جدا گردید.

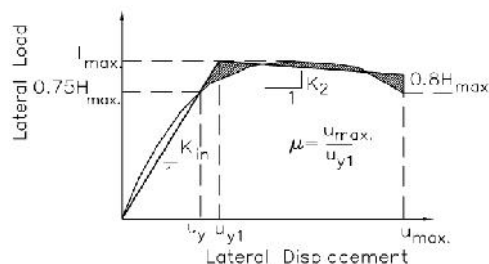
نمونه J2

اولین ترک خوردگی از نوع خمشی است که در دریافت 0.12 درصد و با نیروی جانبی $6/8$ کیلونیوتن اتفاق می افتد که محل آن در انتهای تیر و به فاصله ی تقریبی 3 سانتی متر از کنار ستون می باشد. اولین ترک در لنگر مفی نیز در همین محل و با در دریافت 0.12 - و نیروی $8/3$ - بوقوع می پیوندد. ترک بعدی نیز مانند نمونه قبلی در محل خم هودکا ایجاد می شود. جاری شدن میلگرد تیر نیز در اولین سیکل از دریافت 1 درصد و در دریافت 0.8 درصد و در نیروی $23/7$ کیلونیوتن اتفاق می افتد. ترک فعال در این نمونه همچون نمونه قبلی اولین ترک ایجاد شده می باشد که در طی آزمایش عمق و بعد ترک افزایش می یابد و همین امر باعث شروع به خرد شدن بتن در سیلکل دوم از دریافت ماکزیمم $1/5$ - و در مقدار دریافت 0.75 - درصد در محل اولین ترک در زیر تیر شده که در نهایت باعث قلوه کن شدن و جدا شدن بتن از نمونه در آن محل در سیکل اول از دریافت ماکزیمم 3 درصد و در دریافت $1/5$ - درصد و با نیروی جانبی معادل $10/6$ - کیلونیوتن صورت می گیرد. در این نمونه هیچ گونه ترک مورب در قسمت صفحه اتصال دیده نشد و تنها یک ترک قائم در قسمت پوشش بتنی ستون در محل اتصال در محل میلگرد طولی ستون ایجاد شد که به سمت پایین و پشت ستون امتداد یافت و این امر در سیکل دوم از دریافت ماکزیمم 4 درصد و در دریافت $2/3$ - و با نیروی جانبی $5/3$ - کیلو نیوتن اتفاق افتاد. بعد ها با گسترش این ترک و ترک پشت ستون همانند نمونه قبلی مکانیزم ایجاد شده باعث از دست رفتن پوشش بتنی در این محل شد. در شکل ۸ الگوی ترک های ایجاد شده در پایان آزمایش هر دو نمونه آورده شده است.



شکل ۸: الگوی ترک مشاهده شده در پایان آزمایش (هاشورها قطعانی از بتن هستند که از نمونه حین تست جدا شده اند)

از آنجائیکه رفتار سازه های بتن مسلح الاستیک پلاستیک کامل نمی باشد، رفتار بار تغییر مکان به صورت یک مدل دو خطی ایده آل گردیده است. منحنی ایده آل شامل یک شاخه کاملاً الاستیک و یک شاخه بعد از الاستیک می باشد شکل ۸ شاخه الاستیک ضریب زاویه از مبدا تا محلی که شاخه دو منحنی را قطع مینماید (بطور تقریب 75% ماکزیمم بار) (u_{y1}, H) شاخه بعد از الاستیک نمودار به گونه ای ترسیم میگردد تا بالانس انرژی در دو طرف منحنی پوش از نقطه جاری شدن عضو تا محلی که در آن بار جانبی به اندازه 20% افت نموده است حادث گردد. (Paulay & Priestly 1992). (FEMA-356). (U_{max}, H_2)

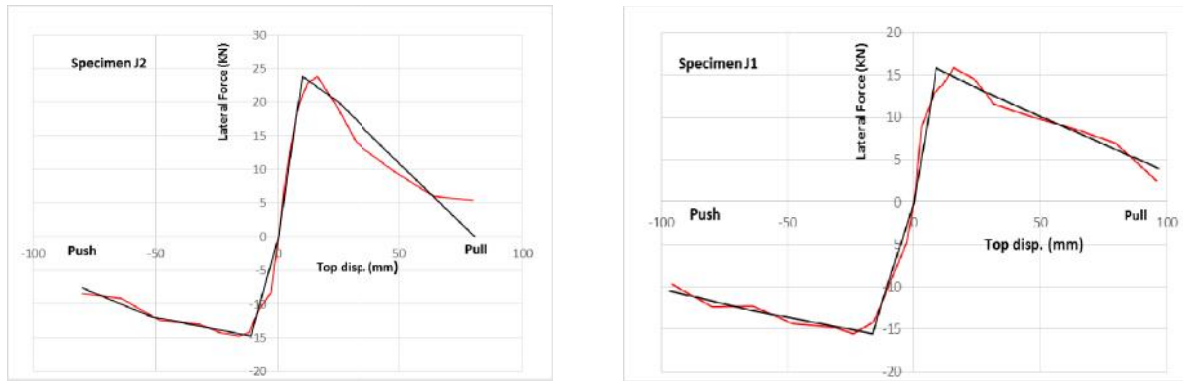


شکل ۸: تعریف منحنی ایده آل شده

پارامتر شکل پذیری از نمودارهای ایده‌آل شده تعریف گردیده است. شکل پذیری تغییر مکان از رابطه ی (۱) در شکل زیر منحنی های پوش بارگذاری به همراه منحنی های ایده آل شده نشان داده شده اند.

$$\sim_{\Delta} = \frac{U_{\max}}{U_{y1}} \quad (1)$$

نمودارهای ایده‌آل برای نمونه‌های مورد آزمایش در شکل ۹ ترسیم شده‌اند.



شکل ۹: نمودارهای ایده‌آل شده به همراه پوش نمودار هیستریزیس

پارامترهای بدست آمده از منحنی دو خطی در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲: پارامترهای بدست آمده از منحنی دو خطی ایده‌آل

Dis. Direction	Specimen	U_{y1}	H_{\max}	U_U	$H_{U\max}$	\sim_{Δ}	$\sim_{\Delta mean}$	K1	K2/K1
Pull (+)	J1	9.00	15.80	29.38	12.90	3.26	3.6	1.76	0.08
	J2	9.90	23.80	24.67	20.00	2.49	3.54	2.40	0.11
Push(-)	J1	-16.42	-15.50	-64.67	-12.80	3.94	3.6	0.94	0.06
	J2	-11.27	-14.80	-51.78	-11.90	4.59	3.54	1.31	0.05

بحث و بررسی

همانطور که از نتایج آزمایش‌ها برمی‌آید مد تخریب زیرسازه‌های مورد آزمایش در درجه اول تخریب تیر و سپس تخریب اتصال تیر به ستون می‌باشد و ستون‌ها بدون تخریب جدی تا آخر آزمایش باقی ماندند. تمام ترک‌های بوجود آمده در حین آزمایش در تیرهای هر دو نمونه از نوع ترک خمشی بوده و تیرها متحمل ترک برشی نشدند. و همچنین ترک‌های ایجاد شده در تیر به صورت متمرکز بوده و تعداد ترک محدودی در طول تیر ایجاد می‌شود که تخریب متمرکز در نواحی از تیر که به ستون نزدیک بودند (همان اولین ترک) بود که این بر خلاف انتظاراتی است که از یک سازه بتن آرمه می‌رود چرا که در طراحی ساختمان‌های بتن آرمه تلاش بر این است که ترک‌های ایجاد شده در سازه ریز بوده و در طول اعضا گسترش یابند (گسترده شدن مفصل پلاستیک در طولی از قسمتهای انتهایی تیر). حین آزمایش ترک اصلی فعال بوده و بقیه تیر به صورت جسم صلب عمل می‌کرد به طوری که تیر حول ترک اصلی (اولین ترک تیر) چرخش می‌نمود.

همچنین با بررسی نمودار هیستریزیس شواهدی مبنی بر لغزش میلگردهای ساده و از بین رفتن پیوستگی بتن و فولاد یافت می‌شود که یکی از این شواهد لاغر بودن قابل توجه نمودار هیستریزیس که در ادبیات فنی به عنوان پینچینگ^۳ شناخته می‌شود، می‌باشد. همچنین پایین بودن نیروی جانبی حداکثر نسبت به مقادیر تئوری محاسباتی که فرضیات آن بر پایه‌ی پیوستگی کامل بتن و فولاد می‌باشد، خود گواهی دیگری بر این امر

می‌باشد. شکل پذیری ناچیز بدست آمده از منحنی ایده‌آل شده نیز نشان‌دهنده‌ی ضعف لرزه‌ای اینگونه سازه‌ها در نتیجه‌ی استفاده از میلگرد ساده و در نتیجه‌ی آن بوجود آمدن پدیده‌ی لغزش میلگردهای طولی می‌باشد.

با بررسی نمودار هیستریزیس هر دو نمونه میتوان به وضوح کاهش سختی قابل توجه اعضای زیر سازه را مشاهده نمود؛ که با ترک خوردگی و افزایش طول و پهنای ترک در اثر لغزش میلگردها تشدید می‌یابد. با مقایسه منحنی‌های بدست آمده از دو آزمایش می‌توان به این نتیجه رسید که افزایش نیروی محوری باعث افزایش مقاومت جانبی زیرسازه (تا ۱/۵ برابر در جهت مثبت) در دررفت‌های پایین (تا دررفت ۲ درصد) می‌شود که نشان از افزایش سختی جانبی زیرسازه دارد. توجه این افزایش نیرو در جهت مثبت بارگذاری را می‌توان به بهتر شدن وضعیت مهاری میلگردهای مثبت با افزایش بار محوری نسبت داد. به طوری که مشاهده می‌شود مقدار نیروی مثبت شده برابر با حداکثر نیروی افقی تئوری می‌باشد. اگرچه مقدار حداکثر نیروی جانبی قابل تحمل نمونه با افزایش نیروی محوری ستون افزایش می‌یابد ولی تنزل نیروی جانبی در دررفت‌های بالاتر (بعد از دررفت ۲ درصد) محسوس تر می‌باشد که این مطلباً شروع لغزش میلگردها و در نظر گرفتن اثر p - قابلیت‌توجیه است و زیرسازه وضعیت ناپایدارتری از لحاظ مقاومت جانبی دارد. نکته دیگری که از مشاهدات آزمایش بدست آمده و می‌توان بدان اشاره کرد در نمونه با نیروی محوری ترک‌های مورب در ناحیه اتصال ایجاد نگردید که این خود گواه بر کارکرد بهتر اتصال بر اثر افزایش نیروی محوری ستون می‌باشد. همچنین با افزایش نیروی محوری پینچینگ در نمودار هیستریزیس کاهش یافته که این امر باعث افزایش قابلیت جذب و استهلاک انرژی ورودی به سازه می‌شود. شکل پذیری تغییر مکانی (μ) که از منحنی ایده‌آل شده به دست آمد در جهت مثبت با بار محوری کاهش یافت به طوری که مقدار آن ۰/۷۶ شکل پذیری در حالت بدون بار محوری بود ولی در جهت منفی به ۱/۱۷ برابر مقدار آن در حالت بدون بار محوری رسید.

در خصوص بررسی جزئیات میلگرد به کار رفته نیز می‌توان گفت که استفاده از هودکا (خم میلگرد منفی به سمت میلگرد مثبت) در تیر باعث ایجاد نقطه‌ی ضعف در تیر شده و تیر در نواحی ابتدا و انتهای هودکا مستعد ترک خوردگی می‌باشد. همچنین قلاب‌های انتهایی در میلگرد تیر و محل وصله ستون تأثیر قابل توجهی در کنترل لغزش میلگردهای ساده ندارد و هم چنانچه حین آزمایش مشاهده شد درصد بالایی از تغییر مکان جانبی را می‌توان به لغزش میلگردها نسبت داد. همچنین پوشش بتنی کمی (۲/۵ سانتی متر) که در ساختمان‌های بتنی در سازه‌های قدیمی به کار می‌رفت باعث تشدید ضعف اینگونه سازه‌ها بدلیل از بین رفتن زود هنگام پوشش بتنی و پیوستگی بتن و فولاد، می‌شود.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه دو نمونه اتصال کناری تیر به ستون بتن آرمه با مشخصات سازه‌های قدیمی و با مقیاس یک دوم ساخته شده و تحت آزمایش بارگذاری رفت و برگشتی قرار گرفته است. یکی از نمونه‌ها تحت اثر بار محوری و جانبی و دیگری تحت اثر تنها بار جانبی آزمایش شده است. نتایج نشان می‌دهد که در نمونه ی فاقد بار محوری در مقایسه با نمونه ی دارای بار محوری، مقاومت ۳۰ درصد کاهش یافته ، شکل پذیری تغییر چندان نبوده، اما شدت ترک خوردگی در ناحیه ی اتصال بیشتر بوده است.

آزمایشات انجام گرفته روی اتصالات تیر به ستون که مطابق آیین‌نامه های قدیمی و تنها با در نظر گرفتن بار ثقلی ساخته شده‌اند امکان بررسی رفتار لرزه‌ای ساختمان‌های بتنی موجود ساخته شده توسط میلگرد ساده را فراهم می‌آورند. اتصالات خارجی T شکل که در این آزمایش مورد بررسی قرار گرفتند، مکانیزم طبقه نرم از خود نشان دادند که توسط لغزش میلگردهای طولی تیر و تسلیم موضعی تیر در نزدیکی اتصال تیر به ستون و همچنین تغییر شکل‌های غیر الاستیک صفحه اتصال تیر به ستون کنترل می‌شدند. همچنین لغزش در محل پیوستگی فولاد و بتن به پایدارتر بودن چرخه‌های رفت و برگشتی کمک می‌کنند، به این دلیل که کم بودن تنش پیوستگی بین فولاد و بتن آسیب در قسمت صفحه اتصال را تشدید نمی‌کند.

فهرست مراجع

Bedirhanoglu I, AlperIlki, Santiago Pujol, and NahitKumbasar (2011) Behavior of Deficient Joints with Plain Bars and Low-Strength Concrete, *ACI STRUCTURAL JOURNAL* Title no. 107-S29

Hakuto S Park R and Tanaka H (1995) Behaviour of As-Built and Retrofitted BeamColumn Joints of a 1950s Designed Reinforced Concrete Building Frame, *Proceedings of Technical Conference of New Zealand Concrete Society*, Taupo, New Zealand, March 1995

Hakuto S, Park R and Tanaka H (1995) *Retrofitting of Reinforced Concrete Moment Resisting Frames* Research Report 95-4 Department of Civil Engineering University of Canterbury

Klemencic and et al. (2005) Acceptance criteria for moment frames based on structural testing (ACI374.1-05) and commentary reported by ACI Committee 374



- Liu A and Park R (2000) Seismic behavior of existing moment-resisting frames with plain round reinforcing bars designed to pre-1970s codes, *Proceeding of 12th world conference on earthquake engineering*
- Liu A and Park R (2001) Seismic Behaviour and Retrofit of Pre-1970's As-Built Exterior Beam-Column Joints Reinforced by Plain Round Bar, *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering* V. 34, No. 1, pp. 68-81
- Marefat MS and HassanzadehShirazi S M and Rostamshirazi R and Khanmohamadi M (2007), Cyclic tests of concrete beams reinforced by plain bars, *Proceeding of 9th Canadian Conference on Earthquake Engineering*
- Marefat MS and Khanmohammadi M and Bahrani M K and Goli A (2005) Experimental assessment of reinforced concrete columns with deficient seismic details under cyclic load, *Advances in structural engineering, Vol.9, No.3*
- Marefat MS and Khanmohammadi M and Bahrani M K and Goli A (2005) Cyclic load testing and numerical modeling of concrete columns with substandard seismic details, *Computers and concrete Vol.2, No.5*
- Pampanin S and Calvi GM and Moratti M (2002) Seismic behaviour of R.C. beam-column joints designed for gravity loads, *Proceeding of 12th European Conference on Earthquake Engineering*
- Pampanin S, Christopoulos C and Chen T hsiu (2006) Development and validation of a metallic haunch seismic retrofit solution for existing under-designed RC frame buildings, *Earthquake, 27, 1-27*
- Sezen H, Whittaker AS, Elwood KJ and Mosalam KM (2003) Performance of reinforced concrete buildings during the August 17, 1999 Kocaeli, Turkey earthquake and seismic design and construction practice in Turkey", *Engineering Structures* vol. 25, pp. 103-114
- Wallace J (1996) Behaviour of Beam Lap Splices under Seismic Loading MS thesis Department of Civil Engineering University of Canterbury

خلیلی ع (۱۳۳۲) ساختمان‌های بتن فولادی جلد اول انتشارات دانشگاه تهران ۱۹۱

خلیلی ع (۱۳۳۴) ساختمان‌های بتن فولادی جلد دوم انتشارات دانشگاه تهران ۲۴۶

مبحث نهم مقررات ملی ایران (طرح و اجرای ساختمانهای بتن آرمه) دفتر مقررات ملی ساختمان ۱۳۸۸

معراجی د و بخشوده ع (۱۳۴۸) طرح، محاسبه و اجرای قطعات بتن فولادی، آئین نامه‌های کشور آلمان چاپ بانک بازرگانی

معرفت م ص (۱۳۷۶) سازه های بتن آرمه، جلد دوم، انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه تهران دانشگاه تهران، چاپ اول