

## بررسی رفتار چرخه‌ای اتصالات پشت‌بنددار

محمود یحیایی<sup>۱\*</sup>، سید رامین اسعد سجادی<sup>۲</sup>

۱- استادیار مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۲- دانشجوی دکترای مهندسی عمران سازه، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

\*تهران، صندوق پستی ۴۴۱۶-۱۵۸۷۵

yahyai@kntu.ac.ir

(دریافت مقاله: آبان ۱۳۸۴، پذیرش مقاله: اردیبهشت ۱۳۸۶)

**چکیده** - برای کاهش خرابی ساختمانها در زلزله و جذب انرژی زلزله، اتصالی مناسب است که به‌طور قطع مفصل پلاستیک را در داخل تیر ایجاد نماید تا قطعات اتصال، جوش، چشمه اتصال و ستون دچار صدمه نشود. اتصال پشت‌بنددار یکی از انواع اتصالاتی است که توانایی ایجاد شرایط فوق را دارد. نمونه‌ای از این اتصال در دانشگاه برکلی آزمایش شده است. در این تحقیق این اتصال با در نظر گرفتن اثر پس‌کمانش، به‌روش المان محدود مدلسازی و با نتایج آزمایشگاهی کالیبره شده است. چیدمان دو ورق پشت‌بند در بالا و پایین تیر همراه با ورق سخت‌کننده جان تیر و جان ستون به‌گونه‌ای است که با عملکرد خرابی آنها ناحیه صلبی ایجاد شده که مفصل پلاستیک در تیر ایجاد می‌کند. قطعات خود اتصال نمی‌شکنند، تمرکز جوش در اتصال پایین بوده و جوش در حین بارگذاری آسیب نمی‌بیند و چشمه اتصال از پلاستیک شدن حفظ می‌شود. در این تحقیق اثر هر یک از ورقهای پشت‌بند در بالا و پایین اتصال و جان تیر به‌وسیله برداشتن مورد مطالعه قرار گرفته است. برای بررسی، هر یک از ورقها برداشته شده و تحت اتصال جدیدی مورد بارگذاری قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که با برداشتن ورقهای پشت‌بند، با وجود اینکه هنوز مفصل در تیر ایجاد می‌شود، لیکن تمرکز تنش در جوش بالا رفته و خود اتصال در آستانه خرابی قرار می‌گیرد. به‌علاوه چشمه اتصال دچار چرخش پلاستیک می‌شود. با برداشتن سخت‌کننده جان تیر، مفصل پلاستیک دقیقاً در محل اتصال ایجاد شده و آن را در آستانه خرابی قرار می‌دهد.

**کلید واژگان:** اتصال پشت‌بنددار، تحلیل غیرخطی، اثر پس‌کمانش، مفصل پلاستیک، چشمه اتصال.

### ۱- مقدمه

یکی از مهمترین مواردی که موجب خرابی سازه‌های فولادی در زلزله می‌شود، رفتار نامناسب اتصالات است؛ به‌طوری‌که یا خود اتصال می‌شکند یا موجب پلاستیک شدن چشمه اتصال می‌شود که نتیجه آن عملکرد نامناسب سازه است. برای دستیابی به این هدف، ترکیبات مختلفی از اتصالات گیردار طراحی و مورد آزمایش قرار گرفته است. یکی از این نوع اتصالات، اتصال

پشت‌بنددار نشان داده شده در شکل ۱ و ۲ است که در دانشگاه برکلی [۱] در سال ۱۹۹۵ آزمایش شده است. تحقیقات زیادی بر روی اتصالات خمشی معمولی انجام شده است [۲] تا [۸]. در این اتصال، گیرداری به‌وسیله جوش بال به ستون حاصل می‌شود. نتایج حاصل از این تحقیقات نشان می‌دهد که شکست اتصال، اغلب در ناحیه جوش بوده که علت آن تمرکز تنش زیاد در آن ناحیه است. از طرفی ایجاد جاری‌شدگیهای شدید در

تحقیق از نتایج آن برای کالیبره کردن مدل المان محدود و تأثیر هر یک از ورق‌های دور اتصال استفاده شده است. ورق‌های کلیدی در این اتصال، ورق‌های پشت‌بند و مثلثی شماره ۱ و ۲ شکل ۲، ورق شماره ۳ (سخت‌کننده جان تیر) و ورق شماره ۴ (سخت‌کننده جان ستون) است. مشخصات تیر و ستون در جدول ۱ آورده شده است. مشخصات ورق‌های اتصال مشابه جنس تیر در نظر گرفته شده است. این اتصال تحت منحنی بارگذاری شکل ۳- الف مورد آزمایش قرار گرفته است. در شکل ۳ محور افقی نشانه پله بارگذاری و محور عمودی عبارت است از ضریبی که در مقدار  $0/0356$  متر ضرب می‌شود تا به صورت بار تغییر مکانی به انتهای تیر وارد و عکس‌العمل دستگاه ثبت شود. در این تحقیق این اتصال به روش المان محدود مدل و تحت منحنی بارگذاری شکل ۳- الف تحلیل شده است.

## ۲-۲- اتصال نوع اول

از نظر هندسی همان اتصال پشت‌بنددار نشان داده شده در شکل ۱ و ۲ است ولیکن تحت منحنی بارگذاری شکل ۳- ب، به روش المان محدود تحلیل شده است. تفاوت منحنی شکل ۳- ب با ۳- الف در این است که هر پله تغییر مکانی شکل ۳- الف سه بار تکرار شده اما در منحنی ۳- ب همان پله تغییر مکانی یک بار تکرار شده است. علت استفاده از منحنی ۳- ب برای بررسی تأثیر تعداد تکرار پله بارگذاری تغییر مکانی بر رفتار چرخه‌ای اتصال است.

## ۲-۳- اتصال نوع دوم

برای بررسی اثر ورق پشت‌بند به شماره ۱ شکل ۲، این ورق از اتصال پشت‌بنددار برداشته شده و نمونه به‌عنوان اتصال نوع دوم تعریف شده که در شکل ۴ دیده می‌شود. این اتصال تحت منحنی بارگذاری شکل ۳- ب به روش المان محدود تحلیل شده است.

محل اتصال و چرخش زیاد چشمه اتصال، باعث خرابی شده است. برای چیره شدن بر این مشکلات، از اتصالات جوشی- پیچی استفاده شده است [۹]. لیکن این نوع اتصال نیز توانسته شکست را از محل اتصال دور کند و موجب ایجاد شکست در ستون شده است. همچنین تحقیقات زیادی بر روی اتصال پیچی انجام شده است [۱۰، ۱۱]. تمرکز تنش را بر روی پیچ راحت‌تر می‌توان کنترل کرد لیکن در هر صورت شکست اتصال ناشی از خرابی در پیچ بوده است. مزیت اتصال پشت‌بنددار مورد مطالعه در این تحقیق آن است که مشکلات پدید آمده در تحقیقات قبل را تقریباً بر طرف کرده و تضمین می‌کند که مفصل پلاستیک در تیر ایجاد شده و اتصال و ستون از خرابی به دور می‌ماند. اکنون در ایران برای مقاوم‌سازی یا بهبود رفتار اتصالات گیردار، دو ورق مثلثی در پایین و بالای تیر متصل می‌کنند که این کار در بیشتر مواقع بدون نصب سخت‌کننده جان در تیر و ستون انجام می‌شود. لذا لازم است رفتار آنها مورد مطالعه قرار گرفته و اثر هر یک از ورق‌ها بررسی شود تا روش دقیق و مؤثری برای ایمن‌سازی اتصالات به‌دست آید. هدف از این تحقیق بررسی اتصال پشت‌بنددار و تأثیر چیدمان ورق‌های دور آن و تأکید بر مطالعه عملکرد هر یک از ورق‌های دور اتصال است. برای بررسی تأثیر ورق‌ها، اتصال جدیدی با برداشتن هر یک از ورق‌ها تعریف شده و تحت بارگذاری مشابه قرار می‌گیرد. سپس تشکیل محل مفصل پلاستیک، تمرکز تنش و جاری‌شدگی در جوش و بدنه اتصال و جاری شدن چشمه اتصال در آنها مطالعه شده و با اتصال پشت‌بنددار مقایسه می‌شود.

## ۲- ابعاد و مشخصات اتصالها

در این تحقیق از اتصالهای زیر استفاده شده است.

### ۲-۱- اتصال پشت‌بنددار

اتصال است که در شکل ۱ و ۲ نشان داده شده. این اتصال در دانشگاه برکلی [۱] در سال ۱۹۹۵ آزمایش شده و در این

## ۲-۴- اتصال نوع سوم

به منظور بررسی اثر ورقهای پشت‌بند و سخت کننده جان تیر به شماره‌های ۱ و ۳ شکل ۲، این دو ورق از اتصال پشت‌بنددار برداشته شده و نمونه به عنوان اتصال نوع سوم تعریف شده که در شکل ۵ دیده می‌شود. این اتصال تحت منحنی بارگذاری شکل ۳-ب به روش المان محدود تحلیل شده است.

## ۳- مشخصات المان محدود مدلها

اتصالها با استفاده از نرم‌افزار المان محدود تحلیل شده و قطعات آن با استفاده از المان پوسته‌ای مدل‌سازی شده است. در المان پوسته‌ای اثر چرخش درون صفحه‌ای المان بر اساس تئوری آلمن [۱۲] در نظر گرفته شده است. در صورتی که از این تئوری استفاده نشود، نتایج تحلیل نشان می‌دهد که به علت پدید آمدن چرخشهای درون صفحه‌ای غیر واقعی در بعضی المانهای مدل المان محدودی، اتصال در بار کمی می‌شکند؛ در حالی که مدل آزمایشگاهی چنین پدیده‌ای را نشان نمی‌دهد. در این تحقیق اثر غیرخطی مواد با استفاده از معیار فون میسز به صورت دو خطی کینماتیک در نظر گرفته شده است. همچنین اثر تغییر شکلهای بزرگ، چرخشهای بزرگ و اثر نیروی محوری المان بر سختی خمشی المان در نظر گرفته شده است.

برای ایجاد کمانش در تیر لازم است انحراف اولیه‌ای مشابه شکل کمانش یافته مفصل تیر در آزمایشگاه، به بالها و جان تیر در محدوده مکان تشکیل مفصل پلاستیک، داده شود تا تغییر شکل به سمت کمانش واقعی آن هدایت شود. به همین دلیل با استفاده از شکل کمانش یافته مفصل تیر در آزمایشگاه [۱] انحراف اولیه بسیار کوچکی به بالها و جان تیر داده شده است. همانطور که بعداً نشان داده شده است روش به کار گرفته شده موجب می‌شود که تطابق خوبی بین آزمایش و تحلیل به وجود آید. با توجه به نتایج مدل اتصال آزمایشگاهی، پیچ به کار رفته در حین آزمایش دچار آسیب جدی نشده و پیچ در این اتصال به صورت بستن درجات آزادی بین اتصال، تیر و ستون مدل‌سازی شده است.

## ۴- نحوه تعیین لنگر و چرخشهای الاستیک

## و پلاستیک در نمونه‌های مطالعه شده

دستگاه آزمایش در شکل ۶ نشان داده شده است. در این دستگاه تغییر مکان ( $\delta$ ) بر طبق منحنی شکل ۳ به سر تیر وارد و عکس‌العمل ( $R$ ) ثبت می‌شود. همچنین در مدل‌های المان محدود نیز تغییر مکان وارد و عکس‌العمل اندازه‌گیری می‌شود. لنگر مرز تیر و ستون ( $M_{cb}$ ) از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$M_{cb} = RL \quad (۱)$$

که  $R$  عکس‌العمل سر تیر و  $L$  طول سر تیر تا بر ستون است که در شکل ۶ نشان داده شده. لنگر مفصل پلاستیک ( $M_p$ ) از رابطه زیر به دست می‌آید:

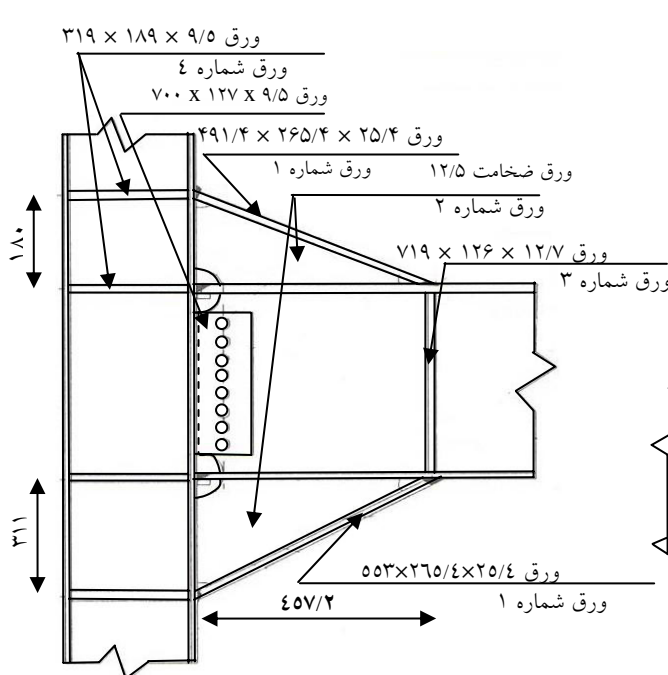
$$M_p = RL_p \quad (۲)$$

که  $L_p$  فاصله سر تیر تا مرکز چرخش مفصل پلاستیک تیر است که در شکل ۶ و ۷ نشان داده شده.

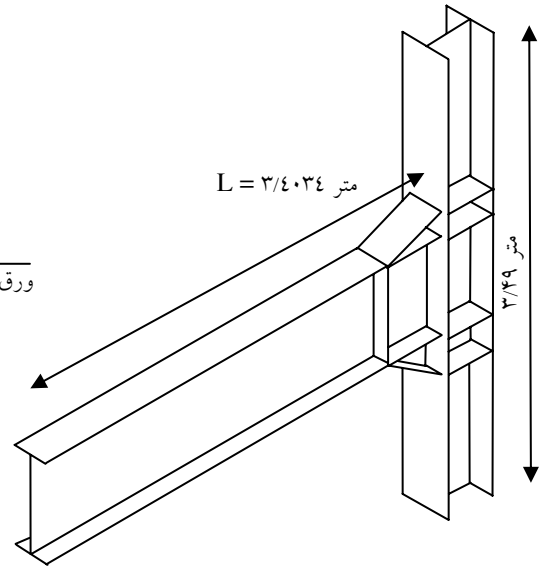
پس از تشکیل مفصل پلاستیک، تیر جلوی مفصل تقریباً به صورت خطی تغییر شکل داده و محل مفصل، محل برخورد راستای این قطعه با خط افق است. زاویه تشکیل شده بین این خط و افق، چرخش مفصل ( $\theta_T$ ) را نتیجه می‌دهد که در شکل ۷ دیده می‌شود. برای به دست آوردن چرخش پلاستیک ( $\theta_p$ ) ابتدا لازم است مطابق شکل ۸ منحنی لنگر - چرخش مفصل تشکیل شود. چرخش پلاستیک از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\theta_p = \theta_T - \theta_e \quad (۳)$$

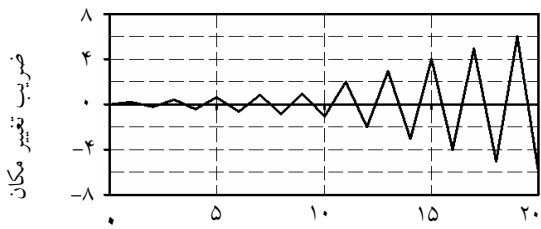
که  $\theta_e$  چرخش الاستیک است که مطابق شکل ۸ به دست می‌آید. چرخش پلاستیک چشمه اتصال نیز به روشی مشابه به دست می‌آید. نحوه تعیین چرخش چشمه اتصال در شکل ۹ دیده می‌شود.



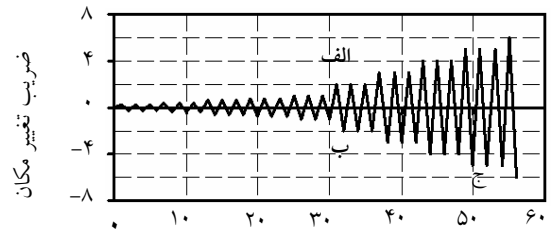
شکل ۲ ابعاد اتصال پشت‌بنددار (ابعاد به میلیمتر)



شکل ۱ نمای اتصال پشت‌بنددار و نوع اول

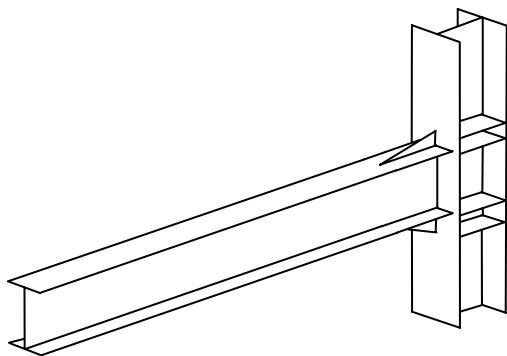


(ب) پله بارگذاری در روش تحلیلی

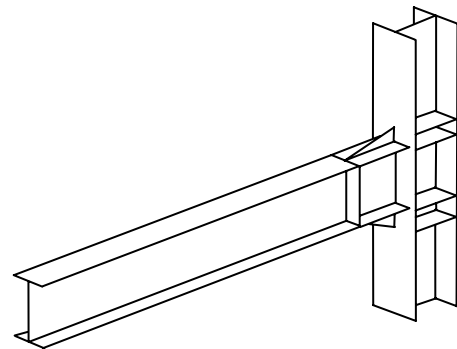


(الف) پله بارگذاری آزمایشگاهی [۱]

شکل ۳ نمودارهای بارگذاری تغییر مکانی



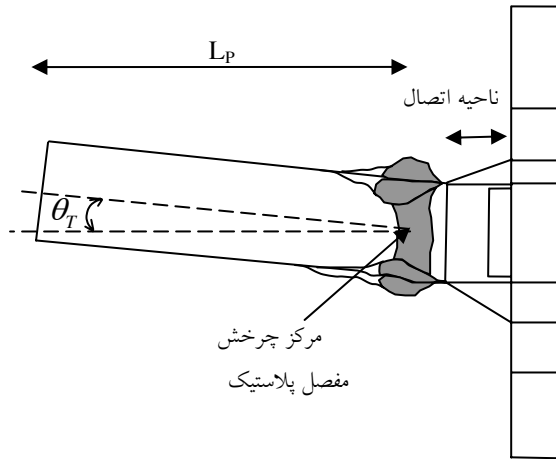
شکل ۵ نمای اتصال نوع سوم



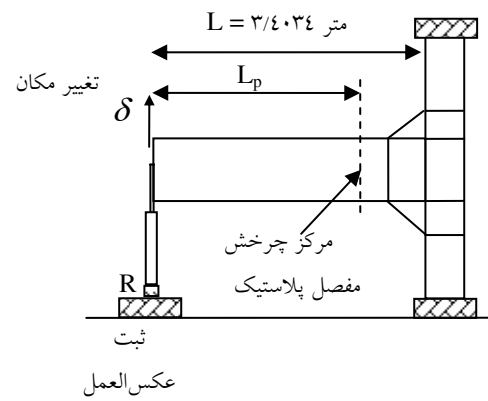
شکل ۴ نمای اتصال نوع دوم

جدول ۱ مشخصات تیر و ستون اتصال

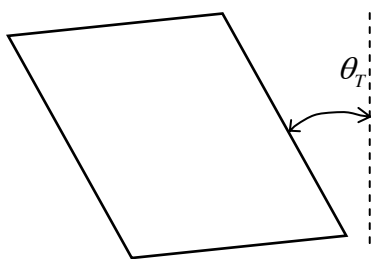
	مشخصات پال		مشخصات جان		تنش جاری شدگی (مگا پاسکال)	تنش نهایی (مگا پاسکال)
	عرض (میلیمتر)	ضخامت (میلیمتر)	عرض (میلیمتر)	ضخامت (میلیمتر)		
تیر	۲۶۶/۷	۱۷	۷۲۰/۴	۱۳/۲	۳۶۸	۴۹۹/۲
ستون	۳۹۸/۷	۳۳/۳	۳۱۹/۴	۲۱/۱	۳۸۴/۳	۵۰۶/۷



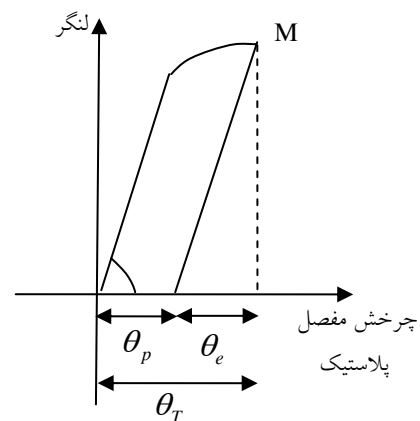
شکل ۷ نحوه محاسبه چرخش مفصل پلاستیک و شمای تغییر شکل و محل مفصل پلاستیک در اتصال پشت بنددار



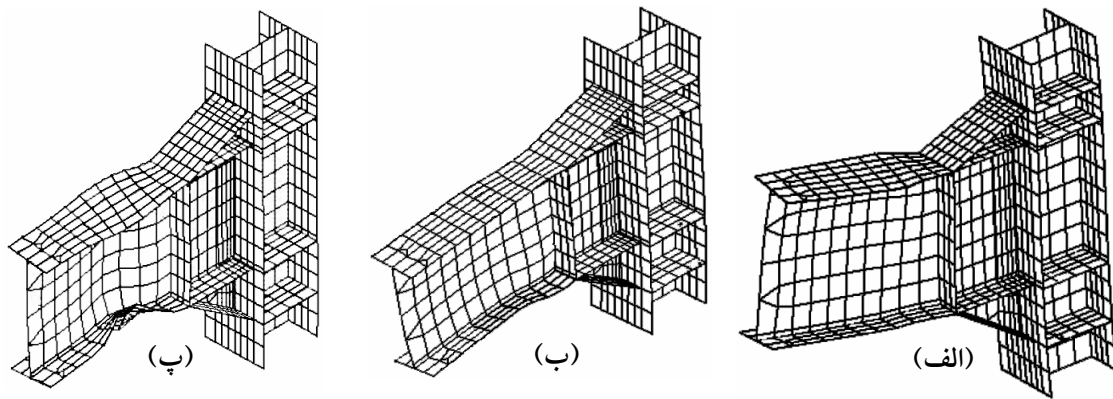
شکل ۶ طرحواره دستگاه آزمایش [۱]



شکل ۹ نحوه تعیین چرخش در چشمه اتصال



شکل ۸ نمودار لنگر - چرخش و نحوه تعیین چرخشهای الاستیک و پلاستیک



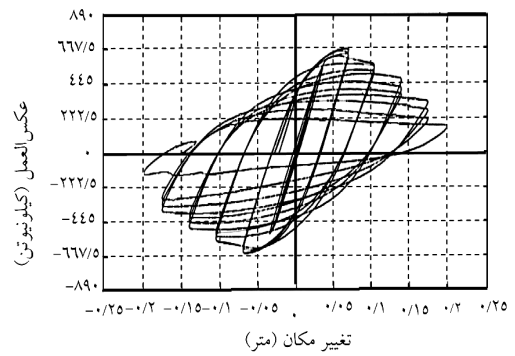
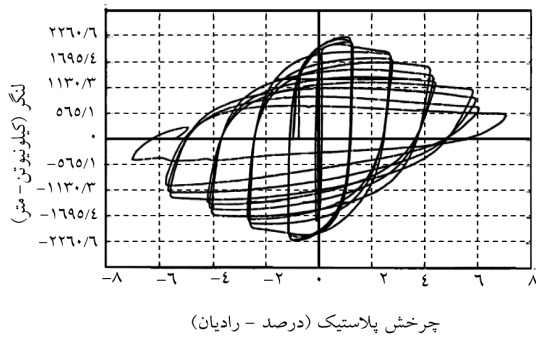
شکل ۱۰ الف) آغاز کمانش موضعی بال بالا در پله بارگذاری الف ب) آغاز کمانش موضعی بال پایین در پله بارگذاری ب  
پ) کمانش بال و جان در پله بارگذاری ج در اتصال پشت‌بنددار

### ۵- مدل اتصال پشت‌بنددار

در این تحقیق این اتصال به‌روش المان محدود مدل شده و نتایج تحلیلی و آزمایشگاهی آن با یکدیگر، از نظر منحنیهای چرخه‌ای و از نظر شکل تشکیل مفصل پلاستیک در تیر مقایسه شده است. مشاهدات آزمایش [۱] نشان داده است که در پله بارگذاری (الف) در منحنی بارگذاری شکل ۳- الف بال بالا و در پله بارگذاری (ب) بال پایین شروع به کمانش می‌کند. همچنین در پله بارگذاری (ج) کمانش موضعی در بالها و جان اتفاق می‌افتد. مدل تحلیلی نیز نتایج فوق را تأیید می‌کند که در شکل ۱۰ نشان داده شده. همچنان‌که در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود، بالها دچار کمانش موضعی شدید شده و جان تیر نیز دچار کمانش شده است. شکل کمانش یافته به‌دست آمده از مدل تحلیلی با شکل کمانش یافته به‌دست آمده از آزمایش [۱] تطابق خوبی دارد. منحنی عکس‌العمل - تغییر مکان انتهای تیر - که از نتایج آزمایشگاهی به‌دست آمده - در شکل ۱۱ نشان داده شده است. منحنی آزمایشگاهی لنگر مرز تیر و ستون برحسب چرخش پلاستیک مفصل تیر در شکل ۱۲ و منحنی

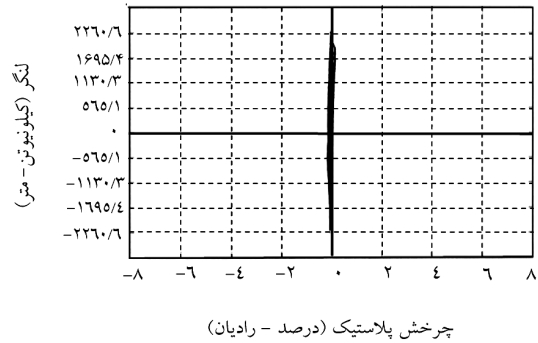
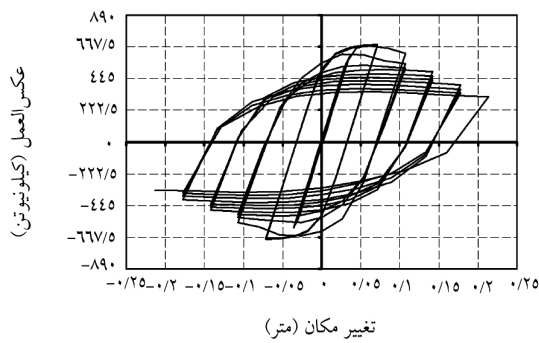
آزمایشگاهی لنگر مرز تیر ستون برحسب چرخش پلاستیک چشمه اتصال، در شکل ۱۳ ارائه شده است. منحنیهای متناظر شکل‌های ۱۱، ۱۲ و ۱۳ به‌دست آمده از حل تحلیلی در شکل‌های ۱۴، ۱۵ و ۱۶ آورده شده است. همچنان‌که در شکل‌های ۱۱ و ۱۴ دیده می‌شود، اختلاف حداکثر نیروی عکس‌العمل تیر در حالت آزمایشگاهی و تحلیلی در حدود ۱/۵ درصد است و همانطور که در شکل‌های ۱۲ و ۱۵ مشاهده می‌شود، اختلاف حداکثر چرخش پلاستیک مفصل تیر در حدود ۶ درصد است. نتایج فوق نشان دهنده آن است که مدلسازی تحلیلی به‌درستی انجام شده و نتایج ارائه شده در این تحقیق قابل استناد است.

تفاوتی در آخرین پله بارگذاری در شکل‌های ۱۱ و ۱۴ و شکل‌های ۱۲ و ۱۵ وجود دارد که علت آن این است که در آخرین مرحله بارگذاری، شکست رخ داده و آزمایش قطع شده است؛ در حالی که نتایج عددی، این مرحله را به‌صورت عدم همگرایی در بازپخش نیروها نشان می‌دهند.



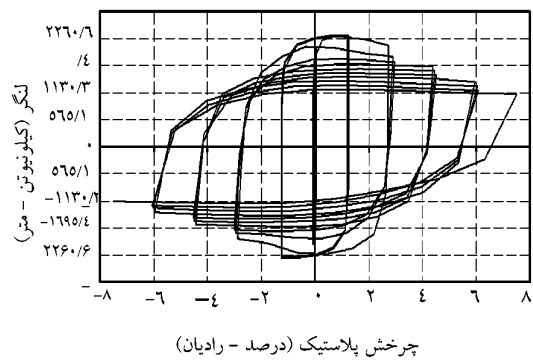
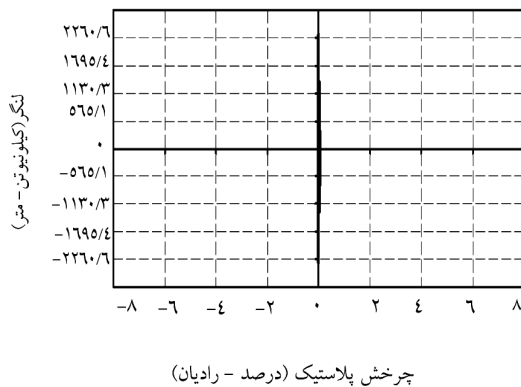
شکل ۱۱ نمودار آزمایشگاهی عکس العمل - تغییر مکان سر تیر در اتصال پشت‌بنددار [۱]

شکل ۱۲ نمودار آزمایشگاهی لنگر مرز تیر و ستون - چرخش پلاستیک مفصل تیر در اتصال پشت‌بنددار [۱]



شکل ۱۳ نمودار آزمایشگاهی عکس العمل - تغییر مکان در اتصال پشت‌بنددار

شکل ۱۴ نمودار تحلیلی عکس العمل - تغییر مکان در اتصال پشت‌بنددار [۱]



شکل ۱۵ نمودار تحلیلی لنگر مرز تیر و ستون - چرخش پلاستیک چشمه اتصال در اتصال پشت‌بنددار

شکل ۱۶ نمودار تحلیلی لنگر مرز تیر و ستون - چرخش پلاستیک مفصل تیر در اتصال پشت‌بنددار

در تیر است. شکل ۱۷ در به‌دست آوردن پوش منحنی لنگر- چرخش مفصل پلاستیک تیر برای کاربرد در مسائل مقاوم‌سازی و طراحی غیرخطی حائز اهمیت است. همچنان‌که مشاهده شد اختلاف نتایج آزمایشگاهی و تحلیلی قابل چشم‌پوشی است. همچنین مفصل پلاستیک به‌طور قطع در داخل تیر ایجاد شده و جوش، منطقه اتصال و چشمه اتصال، به ناحیه پلاستیک وارد نمی‌شود. این تضمین می‌کند که خرابی و شکست از ناحیه مفصل پلاستیک آغاز شده و اتصال، جوشها و ستون در حین بارگذاری سالم می‌مانند.

## ۶- بررسی اتصال نوع اول

در شکل ۱۸ نمودار نیروی عکس‌العمل - تغییر مکان سر تیر و در شکل ۱۹ نمودار لنگر مرز تیر و ستون - چرخش پلاستیک مفصل تیر در اتصال نوع اول و پشت‌بنددار نشان داده شده است. همچنان‌که دیده می‌شود حداکثر نیروی عکس‌العمل و حداکثر لنگر مرز تیر و ستون در هر دو اتصال تقریباً یکسان است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که مقدار چرخش پلاستیک چشمه اتصال نوع اول - مانند نمونه پشت‌بنددار - قابل صرف‌نظر است. شکست در هر دو نمونه در آخرین مرحله پله بارگذاری ایجاد شده و در هر دو نمونه شکل ناحیه کمانش کرده یکسان است. همچنان‌که در شکل ۱۹ دیده می‌شود مقدار حداکثر چرخش پلاستیک مفصل تیر در اتصال پشت‌بنددار، کمی بیشتر از اتصال نوع اول است. به بیان دیگر اتصال نوع اول رفتار اندکی سخت‌تر را از خود نشان می‌دهد. واضح است که هر گاه المانی پلاستیک می‌شود اثر پلاستیک شدن همواره در تاریخچه کرنشی المان ثبت می‌شود حتی زمانی که باربرداری یا بارگذاری مجدد انجام می‌شود. از این‌رو مشهود است که بارگذاری شکل ۳- الف نسبت به شکل ۳- ب، به تعداد دفعات بیشتری المان را به منطقه پلاستیک می‌برد؛

یکی از مهمترین ویژگیهای اتصال پشت‌بنددار، الاستیک ماندن چشمه اتصال است که در شکل‌های ۱۳ و ۱۶ آورده شده است. مقدار نشان داده شده برای چرخش پلاستیک چشمه اتصال، بسیار کوچک و قابل صرف‌نظر است. نتایج آزمایشها و تحلیل نشان می‌دهد که در اتصال پشت‌بنددار، مفصل پلاستیک جلوی سخت‌کننده جان تیر ایجاد می‌شود و تشکیل مفصل پلاستیک در تیر، قطعی است. مفصل پلاستیک در فاصله حدود  $0/4$  متری جلوی سخت‌کننده تیر (ورق ۳ در شکل ۲) ایجاد شده است. تغییر شکل تیر پس از ایجاد مفصل پلاستیک همراه با محل تشکیل مفصل پلاستیک در شکل ۷ نشان داده شده است. همچنان‌که دیده می‌شود پس از ایجاد مفصل، قسمت تیر در جلوی مفصل، تقریباً به صورت خطی تغییر شکل داده و محل مفصل در محل برخورد راستای این قطعه با خط افق است. همچنین در محل مفصل پلاستیک، بالها به شدت کمانش کرده و مقدار حداکثر خمیدگی ورق بالها در محل مفصل پلاستیک ایجاد شده است. نتایج تحقیق نشان‌دهنده این است که در ناحیه خود اتصال تیر یعنی ناحیه محدود بین ستون و سخت‌کننده، جان تیر شکل ۷ از خرابی و کمانش به دور مانده و وارد منطقه پلاستیک نشده است.

الاستیک ماندن چشمه اتصال و منطقه اتصال، نشان‌دهنده رفتار مناسب این اتصال بوده و علت آن، نحوه عملکرد خرابایی ورق‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ است. اتصال یکپارچه این ورقها به یکدیگر همراه با غالب بودن نیروی محوری در آنها، ناحیه صلبی را در منطقه اتصال و چشمه اتصال ایجاد می‌کند.

در شکل ۱۷ لنگر مفصل پلاستیک تیر برحسب چرخش مفصل تیر نشان داده شده است. حداکثر لنگر پلاستیک به‌دست آمده از تحلیل، در حدود  $8/5$  درصد از مقدار لنگر پلاستیک مقطع با فرض جاری شدن تمام تارهای آن کمتر است که به علت وجود کمانش موضعی



باعث ایجاد ناحیه صلبی در منطقه اتصال و چشمه اتصال می‌شود؛ لیکن در اتصال نوع دوم ورقهای ۲ و ۳ ناحیه نیمه‌صلبی را ایجاد می‌کنند که در نبود ورق ۱، چرخش را از تیر به ناحیه چشمه اتصال منتقل می‌کند و در این انتقال خود ناحیه اتصال نیز به محدود پلاستیک وارد می‌شود. در اتصال نوع سوم با حذف ورق سخت‌کننده جان (ورق ۲ در شکل ۲) انتقال چرخش کاهش می‌یابد. از این‌رو ملاحظه می‌شود که چرخش پلاستیک چشمه اتصال در این حالت کمتر از اتصال نوع دوم است.

#### ۸- مقایسه اتصالاتی مطالعه شده

برای مقایسه اتصالات نمودارهای خط پوش منحنیهای رفتاری با یکدیگر مقایسه می‌شود. در شکل ۲۶ نمودار پوش بار - تغییر مکان سر تیر نشان داده شده است. همچنان‌که مشاهده می‌شود، پوش اتصال پشت‌بنددار و اتصال نوع اول تا مناطق زیادی تطابق خوبی دارند و فقط در آخرین پله‌های بارگذاری، تفاوت آنها زیاد می‌شود. اتصال پشت‌بنددار و اتصال نوع اول دارای حداکثر نیروی عکس‌العمل وارده در سر تیر است و بعد از آنها اتصال نوع دوم در حدود ۰/۶ درصد و اتصال نوع سوم در حدود ۴ درصد نیروی عکس‌العمل کمتری دارند.

شکل ۲۷ نمودار پوش لنگر مرز تیر و ستون بر حسب چرخش پلاستیک مفصل تیر را نشان می‌دهد. همانطور که در این شکل ملاحظه می‌شود، حداکثر چرخش پلاستیک مربوط به اتصال پشت‌بنددار بوده و بعد از آن اتصال نوع اول در حدود ۱/۴ درصد، اتصال نوع دوم در حدود ۸/۴۴ درصد و اتصال نوع سوم در حدود ۱۳/۶۴ درصد دارای حداکثر چرخش پلاستیک کمتری است. مقدار چرخش مفصل تیر از تقسیم تغییر مکان انتهایی تیر بر فاصله بین سر تیر تا مفصل دست می‌آید.

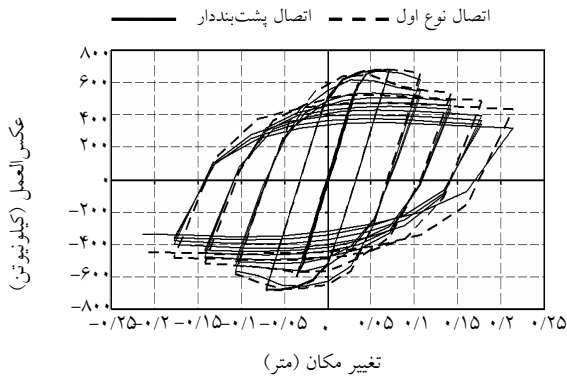
به همین دلیل اثر تاریخچه کرنشی آن شدیدتر است. در نتیجه اتصال نوع اول رفتار اندکی سخت‌تر را از خود نشان می‌دهد.

#### ۷- بررسی اتصال نوع دوم و سوم

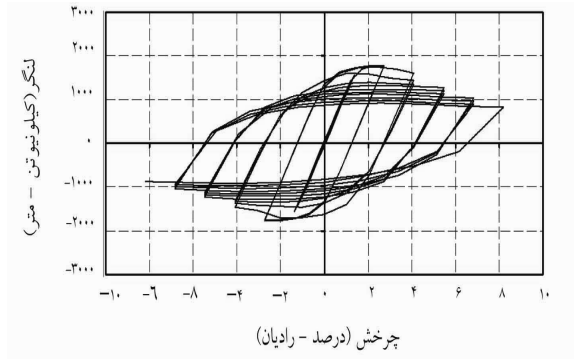
در شکل ۲۰ منحنی عکس‌العمل - تغییر مکان سر تیر و در شکل ۲۱ منحنی لنگر مرز تیر و ستون بر حسب چرخش پلاستیک مفصل تیر برای اتصالاتی نوع دوم و سوم نشان داده شده است. در اتصال نوع دوم مرکز چرخش مفصل پلاستیک در حدود ۰/۲ متر در جلوی ورق سخت‌کننده جان تیر (ورق شماره ۳ در شکل ۲) ایجاد شده است. لیکن همچنان مفصل پلاستیک در تیر و در جلوی ورق سخت‌کننده ایجاد می‌شود. در اتصال نوع سوم مفصل پلاستیک تیر در ناحیه اتصال تشکیل شده و تقریباً در محل ورق شماره ۳ (در اتصال سوم حذف شده) ایجاد شده است. در شکل ۲۲ تغییر شکل و محل تشکیل مفصل پلاستیک اتصال نوع سوم نشان داده شده است.

همچنان‌که در شکل ۲۳ مشاهده می‌شود، در هر دو اتصال ناحیه اتصال به‌طور وسیعی به منطقه پلاستیک وارد شده است. به‌ویژه پلاستیک‌شدگی در محل اتصال ورقهای مثلثی بالا و پایین اتصال (ورق ۲ در شکل ۲) ایجاد شده که در اتصالات جوشی این مسأله می‌تواند آغازگر شکست بوده و باعث اخلال در تشکیل مفصل پلاستیک شود.

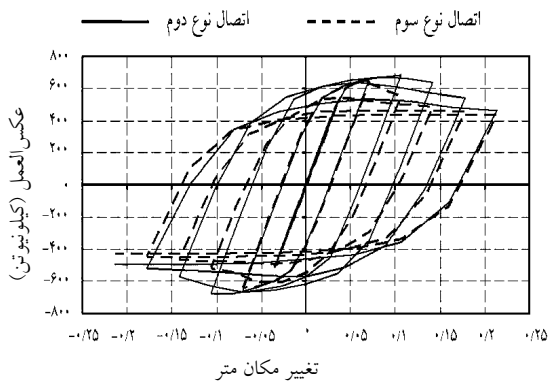
در شکل‌های ۲۴ و ۲۵ نمودار لنگر مرز تیر و ستون بر حسب چرخش پلاستیک چشمه اتصال در اتصال نوع دوم و سوم نشان داده شده است. همانطور که دیده می‌شود چرخش پلاستیک چشمه اتصال در اتصال نوع دوم در این حالت قابل توجه و بیشتر از اتصال نوع سوم است. در اتصال پشت‌بنددار عملکرد خرابی ورقهای ۱، ۲، ۳ و ۴



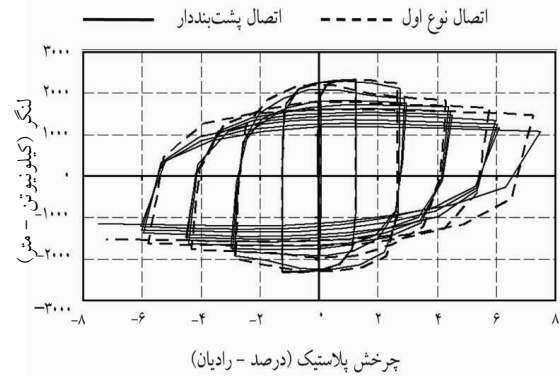
شکل ۱۸ نمودار تحلیلی عکس‌العمل - تغییر مکان سر تیر در اتصال نوع اول و پشت‌بنددار



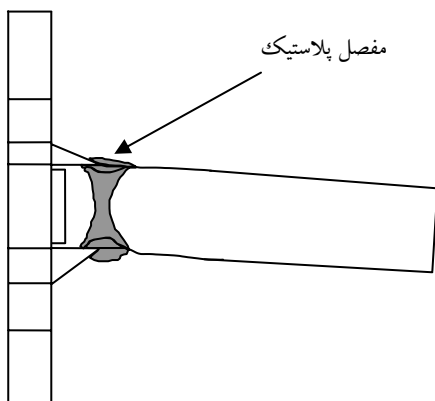
شکل ۱۷ نمودار تحلیلی لنگر مفصل پلاستیک تیر - چرخش مفصل تیر در اتصال پشت‌بنددار



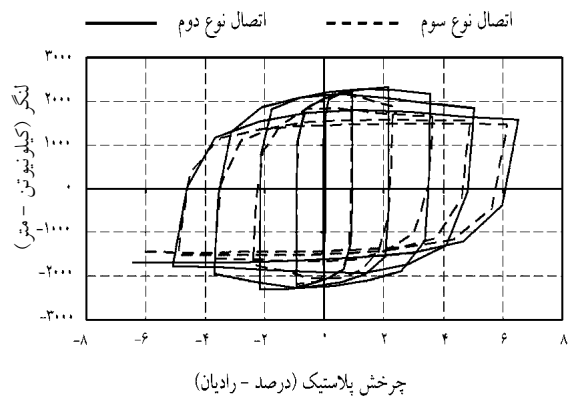
شکل ۲۰ نمودار تحلیلی عکس‌العمل - تغییر مکان سر تیر در اتصال نوع دوم و سوم



شکل ۱۹ نمودار تحلیلی لنگر مرز تیر و ستون - چرخش پلاستیک مفصل تیر در اتصال نوع اول و پشت‌بنددار



شکل ۲۲ شمای تغییر شکل و محل مفصل پلاستیک در اتصال نوع سوم



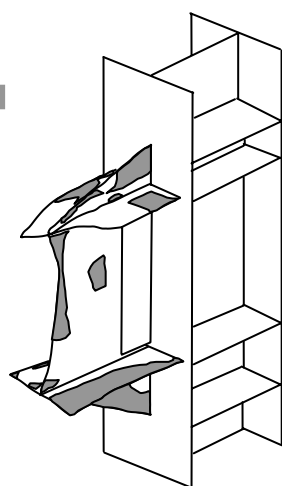
شکل ۲۱ نمودار تحلیلی لنگر مرز تیر و ستون - چرخش پلاستیک مفصل تیر در اتصال نوع دوم و سوم

## ۹- نتیجه گیری

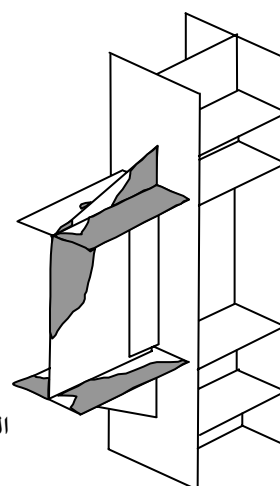
در اتصال پشت‌بنددار مفصل پلاستیک قطعاً در تیر ایجاد می‌شود، ناحیه اتصال از پلاستیک شدن، شکست و تمرکز تنش به دور می‌ماند. همچنین چشمه اتصال به منطقه پلاستیک وارد نمی‌شود؛ لذا ستون از خرابی به دور مانده و پایداری ستون حفظ می‌شود. این نتایج در آزمایش دانشگاه برکلی [۱] به دست آمده و در این تحقیق، روش المان محدود نیز به همان نتایج رسیده است. بنابر ویژگیهای مناسبی که اتصال پشت‌بنددار دارد، استفاده از آن به عنوان اتصال گیردار توصیه می‌شود.

از این رو مسلم است که با نزدیک شدن مکان مفصل پلاستیک به سر تیر، مقدار چرخش مفصل بیشتر می‌شود. به همین دلیل، چرخش پلاستیک مفصل تیر در اتصال پشت‌بنددار بیشتر از اتصال نوع دوم و سوم است. در شکل ۲۸ منحنی لنگر مرز تیر و ستون بر حسب چرخش پلاستیک چشمه اتصال آورده شده است. در این شکل حداکثر مقدار چرخش پلاستیک چشمه اتصال برای اتصال پشت‌بنددار و اول در حدود صفر درصد، اتصال نوع دوم ۰/۱۸ درصد و در اتصال نوع سوم در حدود ۰/۰۹ درصد بیشتر از اتصال پشت‌بنددار است.

مناطق پلاستیک شده

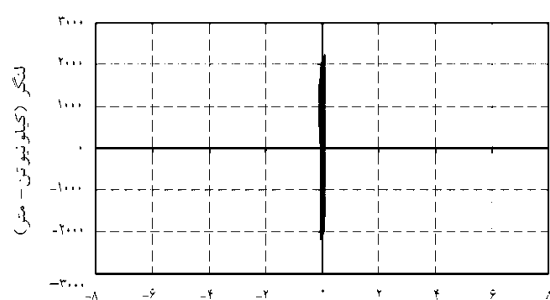


(ب) اتصال نوع سوم



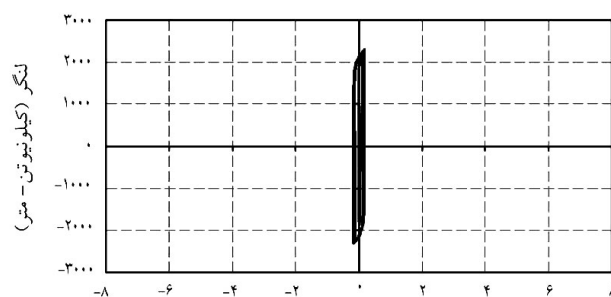
(الف) اتصال نوع دوم

شکل ۲۳ محل‌های پلاستیک شده در ناحیه اتصالها



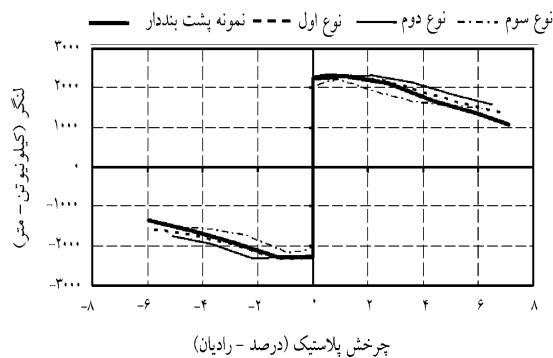
چرخش پلاستیک (درصد - رادیان)

شکل ۲۵ نمودار تحلیلی لنگر مرز تیر و ستون - چرخش پلاستیک چشمه اتصال در اتصال نوع سوم

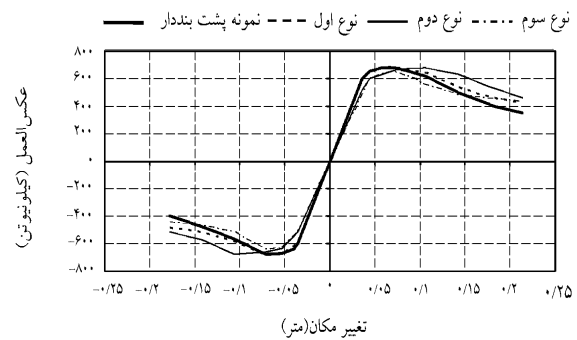


چرخش پلاستیک (درصد - رادیان)

شکل ۲۴ نمودار تحلیلی لنگر مرز تیر و ستون - چرخش پلاستیک چشمه اتصال در اتصال نوع دوم

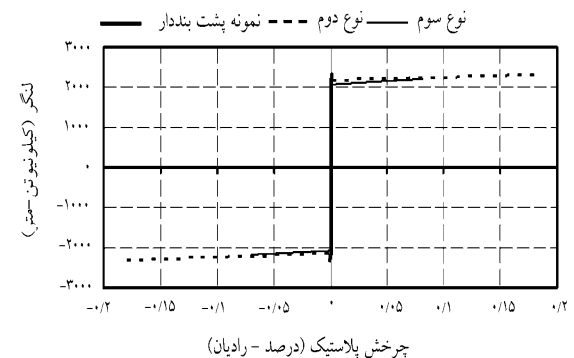


شکل ۲۷ نمودار پوش لنگر مرز تیر و ستون - چرخش پلاستیک مفصل تیر در اتصالات



شکل ۲۶ نمودار پوش عکس‌العمل - تغییر مکان سرتیر در اتصالات

اتصال تشکیل شده است. نبود ورق پشت‌بند (ورق شماره ۱ در شکل ۲) در اتصال دوم باعث شده که چرخش زیادی به چشمه اتصال تحمیل شود؛ به گونه‌ای که چرخش پلاستیک چشمه اتصال در اتصال دوم ۱۱۸ برابر اتصال پشت‌بنددار باشد. در اتصال پشت‌بنددار، وجود ورق پشت‌بند شماره ۱ همراه با ورق‌های مثلثی شماره ۲ و ورق‌های سخت‌کننده جان تیر و ستون با شماره‌های ۳ و ۴، باعث تشکیل ناحیه صلبی شده و چشمه اتصال و ستون را از خرابی به دور نگه داشته و از پلاستیک شدن ناحیه اتصال جلوگیری می‌کند.



شکل ۲۸ نمودار پوش لنگر مرز تیر و ستون - چرخش پلاستیک چشمه اتصال

به علت پلاستیک شدن چشمه اتصال، ناحیه اتصال و تمرکز تنش شدید در محل اتصال ورق‌های مثلثی بالا و پایین اتصال (ورق‌های ۲ در شکل ۲) به ستون استفاده از اتصالات نوع دوم و سوم پیشنهاد نمی‌شود.

وجود ورق سخت‌کننده تیر (ورق شماره ۳ در شکل ۲) در اتصال باعث می‌شود که مفصل پلاستیک قطعاً در خارج از ناحیه اتصال تشکیل شده و ایمنی اتصال بالا رود. به همین دلیل مفصل پلاستیک در اتصال پشت‌بنددار و دوم در فواصل ۰/۵ و ۰/۳ برابر ارتفاع مقطع تیر از بر اتصال (ورق شماره ۳) تشکیل شده، در حالی که در اتصال سوم، مفصل پلاستیک دقیقاً در محل

## ۱۰- منابع

- [1] SAC Steel Project, (June 23, 1995), Specimen ID: EERC-RN3, Earthquake Engineering Research Center, University of California at Berkeley.
- [2] SAC Steel Project, (June 23, 1995), Specimen ID: UCSD-2 University of California, San Diego.

- [8] Q. S. Kent Yu and C. -M. Uang, "Effect of lateral bracing and system restraint on the behavior of RBS moment connections", Behaviour of Steel Structures in Seismic areas STESSA 2000 Editors: Federico M. Mazzolani & Robert Tremblay, p. 755.
- [9] Egor. P. Popov and M. Blondet and L. Stepanon, "Experimental Studies in the Cyclic Response of Full Scale Steel Beam Column Connection", 12<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, NewZealand, Topic 6, N 1937.
- [10] Judy Liv and Abolhassan Astaneh-Asl (2000), "Seismic Behavior and Design of Steel Shear Connections with Floor Slabs", 12th World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, NewZealand, Topic 6, N 1304.
- [11] Yanghui Xu & Kazuhiko(2000), "Experiment and analysis of bolted semi-rigid beam column connections", Behaviour of Steel Structures in Seismic areas STESSA 2000 Editors: Federico M. Mazzolani & Robert Tremblay, p. 207.
- [12] Ansys Software Program, Theory Manual Program, Element Library.
- [3] Gray R Warmka, Kevin Ztruman (2000), "Improving the Performance of Steel Beam – Column Moment Resistant Connections", 12 th World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, NewZealand, Topic 6, N 0009.
- [4] Kyoung-Hyeg Lee, Subhash G Goal and Bozidar Stojadinovic (2000), "Boundary Effects in Steel Moment Connections", 12<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, NewZealand, Topic6, N 1098.
- [5] K-C-Lin , Kc Tsai , S-L-Kong and Shang-Hsieh Hsieh(2000), "Effects of Panel Zone Deformations on Cyclic Performance of Welded Moment Connections", 12th World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, NewZealand, Topic 6, N 1252.
- [6] C M Ung and CS Gilton (2000), "Effects of Loading History on Cyclic Performance of Steel RBS Moment Connections", 12th World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, NewZealand, Topic 6, N 1294.
- [7] Wolfgang Scholz and Charle Clifton "Improved Welded Connections for Earthquake Loading", 12th World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, NewZealand, Topic 6, N 1304.

