

بررسی آزمایشگاهی سخت کننده های گوشه ای برای جلوگیری از زبیدن ورق در دیوارهای برشی فولادی

سعید صبوری^{۱*}؛ سید رامین اسعد سجادی^۲

چکیده

ورق در دیوارهای برشی فولادی دارای توانایی بالایی در جذب انرژی زلزله است. مطالعات آزمایشگاهی نشان می‌دهد که علت خرابی و ضعف تعدادی از این نوع دیوارها زبیدن ورق از گوشه و لبه ورق واسط می‌باشد. برای جلوگیری از زبیدن ورق در این تحقیق پس از انجام مطالعات نظری با نرم افزار المان محدود یک نمونه دیوار برشی فولادی یک طبقه آزمایش شده است که در گوشه های آن چهار سخت کننده نصب شده است. نتایج آزمایش نشان می‌دهد که با قراردادن سخت کننده های یاد شده می‌توان از زبیدن ورق جلوگیری کرد. در این آزمایش پارگی ورق از یک گوشه سخت کننده شروع شده و ابتدا به داخل ناحیه ورق مثلثی محصور به سخت کننده و لبه ورقهای واسط گسترش یافته، سپس در لبه ورق واسط در بیرون ناحیه یاد شده به آرامی پیش می‌رود. حتی بعد از پارگی قابل توجه ورق، سخت کننده ها توانایی تشکیل میدان پس‌کمانش را دارند.

کلمات کلیدی

دیوار برشی فولادی، سخت کننده، زبیدن، میدان پس کمانش

An Experimental Investigation of Plate Zipping Prevention in Steel Plate Shear Walls by Using the Corner Stiffeners

Saied Sabouri, Seyed Ramin Asad Sajadi

ABSTRACT

Plate in steel plate shear walls has high capability for earthquake energy damping. The Experimental investigations show that the plate zipping in corner and edge of plate is the cause of damage and failure in steel plate shear walls. For prevention of zipping the first, classic theory is investigated using finite element and then a steel plate shear wall specimen was tested experimentally with using four stiffeners in the edges. The results show that the plate zipping doesn't occur when the stiffeners are used in the edges of plate. In the specimen, tearing was started from the stiffener corner and then extended up to the triangular area which is closed between stiffener and fish plate edges. Finally the tearing spread smoothly to the edge of fish plate in the out of aforesaid triangular area. Also the stiffeners are capable to create a post buckling field after tearing of plate.

KEYWORDS

Steel Plate Shear Wall, Stiffener, Zipping, Post Buckling Field.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۷/۳/۲۲

تاریخ اصلاحات مقاله: ۱۳۸۸/۹/۱۵

^۱ * نویسنده مسئول و دانشیار دانشکده مهندسی عمران؛ دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی: Email:sabouri@kntu.ac.ir

^۲ دانشجوی دکتری عمران سازه؛ دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی: Email:srasajadi@yahoo.com



دیوارهای برشی فولادی سازه های مقاوم در برابر زلزله هستند. این سیستم مقاوم جانبی، دارای قدرت جذب بالای انرژی در زلزله می باشد و به همین علت استفاده از آن در ساختمانها افزایش یافته است. در دیوارهای برشی فولادی اتصال مستقیم ورق به قاب اجرایی نبوده، از همین رو از ورق واسط برای اتصال استفاده می شود.

ورق دیوارهای برشی فولادی بدون سخت کننده ابتدا وارد ناحیه پس کمانش شده سپس وارد ناحیه پلاستیک می شود. در ناحیه پس کمانش موجهایی در ورق پدیدار می شود که از هر یک از گوشه های ورق، موجی می گذرد. موجهای ایجاد شده در ورق دارای تغییر شکلهای بزرگ هستند و موجهای عبور کرده از گوشه های ورق دارای خمیدگی بالایی در گوشه ها می باشند. شکست گوشه ورق واسط، خمیدگی شدید موج ورق در گوشه و خستگی ورق به علت بارگذاری دوره ای باعث ضعف زیادی در گوشه ها شده و عامل پارگی ورق از ورق واسط می باشد. پارگی ورق از گوشه ها آغاز شده و با افزایش بار در لبه ورق واسط پیش می رود که به آن زیپ شدگی گفته می شود. زیپ شدگی معمولاً به سرعت گسترش می یابد و باعث خرابی نمونه می گردد. این پدیده در بیشتر آزمایشهای انجام شده [۱] - [۶] گزارش شده است. برای بهبود ضعف گوشه ورق، تحقیقی آزمایشگاهی بر اتصال ورق واسط در گوشه ها انجام شده است [۶]. در تحقیق یاد شده از چهار نوع اتصال ورق به تیر و ستون پیرامون استفاده شده است. در اتصال اول، ورق مستقیماً به تیر و ستون متصل شده است. در اتصال دوم، ورق بوسیله ورق واسط به تیر و ستون متصل شده است. در اتصال سوم، ورق به ستون مستقیماً و به تیر بوسیله ورق واسط متصل شده است. در اتصال چهارم، ورق بوسیله ورق واسط به تیر و ستون متصل شده است ولی در اتصال گوشه دو ورق واسط افقی و قائم، بریدگی ایجاد شده تا تمرکز تنش در گوشه ها کمتر شود. نتایج این تحقیق نشان می دهد که در هر چهار اتصال به علت عبور موج پس کمانش از گوشه ها تمرکز تنش در گوشه ها بالا رفته و باعث شده پارگی ورق از گوشه شروع شود.

در این تحقیق برای حل مشکل سعی شده است تا موج پس کمانش ورق از گوشه ها دور شود از همین رو علاوه بر مطالعات نظری از مطالعه آزمایشگاهی یک نمونه دیوار برشی فولادی استفاده شده است که در چهار گوشه آن از سخت کننده های کوچکی در چهار گوشه ورق استفاده شده است. این آزمایش در آزمایشگاه سازه مرکز تحقیقات ساختمان و

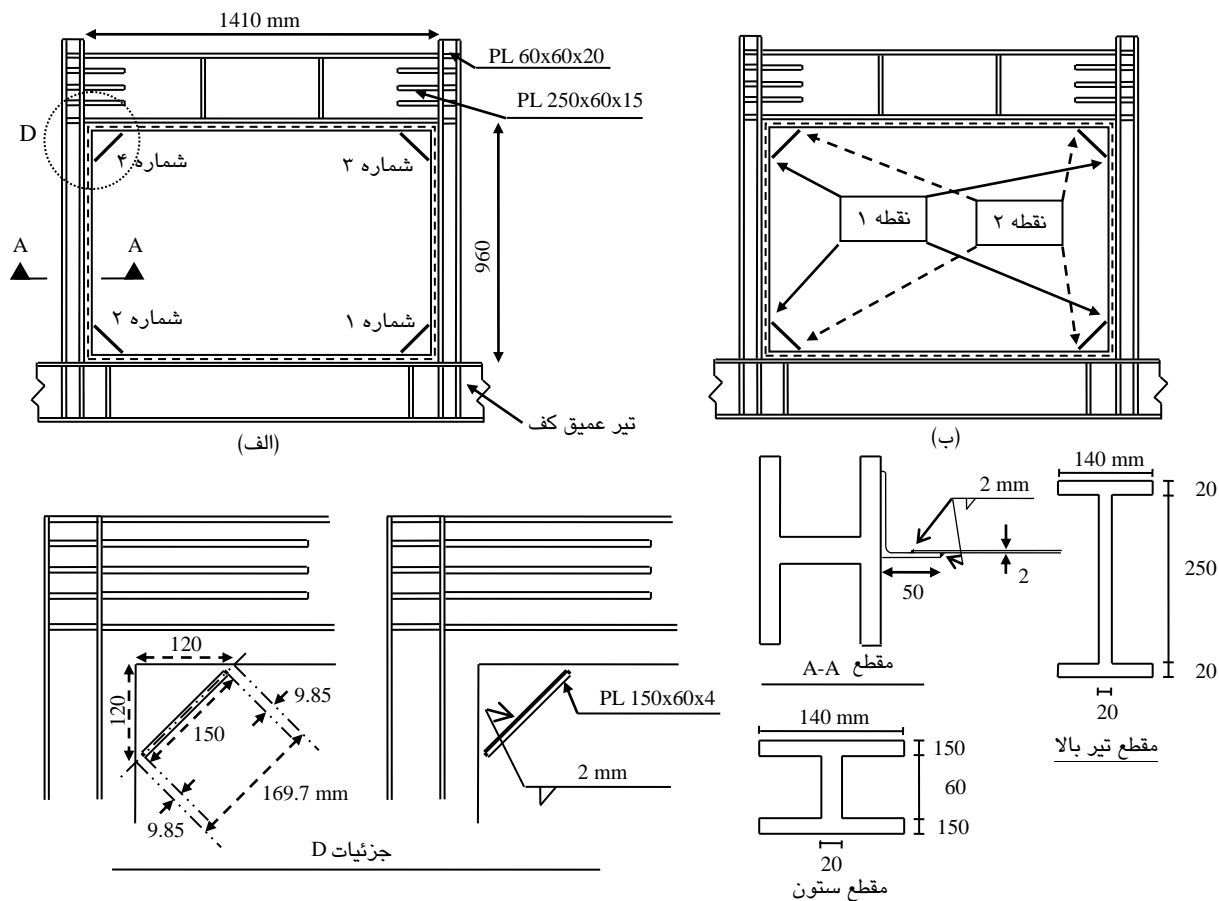
مسکن به انجام رسیده است.

۲- مشخصات نمونه آزمایشگاهی

مشخصات نمونه دیوار برشی فولادی در شکل (۱) نشان داده شده است. نمونه دارای مقیاس یک سوم بوده و ارتفاع و عرض آن به ترتیب ۱۲۵۰ و ۱۵۹۰ میلی متر می باشد. نمایی از نمونه آزمایشگاهی در شکل (۲) آورده شده است. در نمونه ضخامت ورق ۲ میلی متر می باشد. چهار سخت کننده با ابعاد ۱۵۰×۶۰×۴ میلی متر در چهار گوشه ورق، در یک طرف ورق مطابق شکل (۱) نصب شده اند.

در نمونه برای اتصال ورق به قاب، از نبشی ۶۰×۶۰×۶ میلی متر استفاده شده است. برای انجام دقیق جوشکاری اتصال ورق به لبه نبشی، یکی از اضلاع نبشی تراشکاری شده تا لبه آن کاملاً صاف گردد با این روش یک ضلع نبشی به طول ۵۰ میلی متر کاهش داده شده است که در شکل (۱) دیده می شود. در اثر جوشکاری بین ورق و نبشی، حرارت ایجاد شده باعث تابیدگی نبشی توسط ورق می شود، از همین رو از نبشی ۶۰×۶۰×۶ میلی متر استفاده شده تا توانایی لازم در برابر تابیدگی را داشته باشد. ورق به قاب نبشی و سخت کننده ها به ورق با استفاده از جوش E۶۰۱۳ به بعد جوش ۲ میلی متر متصل شده است. قاب نبشی با استفاده از جوش گوشه به بعد ۷ میلی متر به تیر و ستون پیرامون با استفاده از الکتروود E۶۰۱۳ متصل شده است.

تیر و ستون ها با استفاده از ورق ساخته شده اند. برای بریدن قطعات بال و جان تیر و ستون ها برای بدست آمدن دقت های مورد نظر از برش CNC استفاده شده است. برای جلوگیری از تابیدگی قطعات به علت حرارت در زمان برش، ابعاد قطعات در حدود ۸ میلی متر بیشتر از مقدار طراحی انتخاب شده و در حین برش لقمه هایی در حدود ۱۰ میلی متر بین قطعه و ورق بریده نشده اند پس از سرد شدن ورق، لقمه ها بریده و قطعات تراشکاری شده اند تا ابعاد دقیق طراحی بدست آید. بال و جان تیر و ستونها به وسیله جوش گوشه در هر دو طرف جان به بعد ۱۵ میلی متر و بوسیله الکتروود E۶۰۱۳ به یکدیگر متصل شده اند. ستون با استفاده از جوش شیاری با نفوذ کامل به تیر عمیق کف با استفاده از الکتروود E۷۰۱۸ متصل شده است. در پای ستون ورق کوچکی برای اتصال ستون به تیر عمیق مورد استفاده قرار گرفته است. بالهای تیر به بال ستون با استفاده از جوش شیاری با نفوذ کامل و جان تیر به بال ستون با استفاده از جوش گوشه با استفاده از الکتروود E۷۰۱۸ متصل شده اند.



شکل (۱): (الف) مشخصات هندسی نمونه های آزمایشگاهی (ب) شماره های دو سر سخت کننده

اولیه ناپیزی در ورق ایجاد شده و اثر غیر خطی مصالح و هندسی و تغییر شکلهای بزرگ در نظر گرفته شده است. در شکل (۳) شمای تغییر شکل ورق و چگونگی تشکیل موجهای پس‌کمانش نشان داده شده است. همانطور که دیده می‌شود دو نوع موج در ورق ایجاد می‌شود. موج نوع اول موجی است که از گوشه های ورق می‌گذرد. موج نوع دوم موجی است که در کنار موج نوع اول تشکیل می‌شود و معمولاً انحنا و تغییر شکل آن از موج نوع اول کمتر است. در صورت نبود سخت کننده انحناى موج نوع اول در گوشه ورق بسیار زیاد بوده و باعث پارگی و زیپ شدگی در ورق می‌شود.

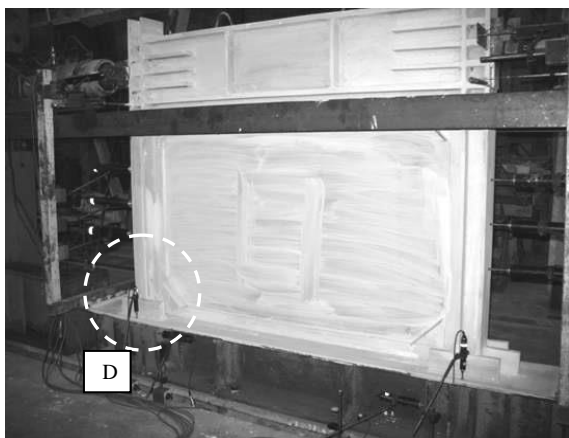
در مدل المان محدود هرگاه طول سخت کننده گوشه به تدریج بیشتر شود مطابق شکل (۴)، زمانی فرا می‌رسد که سر موج نوع اول از بین می‌رود و سر موج در راستای طول سخت کننده قرار می‌گیرد و راستای موج نوع دوم از یکی از گوشه های سخت کننده می‌گذرد در حالیکه از گوشه دیگر سخت کننده موجی نمی‌گذرد همچنین ورق مثلثی محصور بین نبشی و سخت کننده دچار کمانش نمی‌شود.

در شکل (۱) نقطه ۱ سخت‌کننده ها نقاطی هستند که مطابق

مشخصات مصالح که از آزمایش کشش بدست آمده است در جدول (۱) آورده شده است. بار بوسیله دو جک هیدرولیکی که در دو طرف نمونه قرار دارد وارد می‌شود. در پشت هر جک یک نیرو سنج برای اندازه گیری نیرو قرار داده شده است. تغییر مکان نمونه توسط چهار تغییر مکان سنج نصب شده در کنار جکها اندازه گیری می‌شود. برای اندازه گیری تغییر شکل ستونها بر روی هر ستون چهار تغییر مکان سنج نصب شده است که یک عدد در بالای ستون و سه عدد دیگر در فواصل مساوی از یکدیگر از پایین تا بالای هر ستون قرار داده شده است. برای ثبت لغزشهای احتمالی تیر عمیق کف، دو تغییر مکان سنج به صورت افقی و دو عدد دیگر به صورت قائم بر روی تیر عمیق کف نصب شده اند. برای دستیابی به شکل‌پذیری بالا و طراحی کنترل شده نمونه ها بر اساس روش اندرکنش قاب و ورق طراحی شده اند.

۳- چگونگی تعیین ابعاد سخت کننده در گوشه

برای تعیین ابعاد سخت کننده در گوشه ها از المان محدود و نرم افزار ANSYS استفاده شده است. در مدلسازی انحراف



جزئیات D

شکل (۲): شمای نمونه آزمایشگاهی و سخت کننده گوشه

در شکل (۶) نشان داده شده است. به علت کوچک بودن تغییر مکان آستانه جاری شدن و جلوگیری از خستگی نمونه در زمان آزمایش، گام تغییر مکانی تا دوره بارگذاری بیست و یکم برابر سه میلیمتر و مابقی، شش میلیمتر در نظر گرفته شد. بیشترین بار قابل تحمل نمونه ۷۸۹/۶ کیلونیوتن در تغییر مکان ۳۹ میلیمتر ایجاد شد. نسبت حداکثر تغییر مکان جانبی نمونه به ارتفاع ستون ۵/۳۴ درصد می‌باشد. تعداد بارگذاری دوره‌های ۳۲ حلقه بوده است. برای بدست آوردن شکل پذیری از روش منحنی دو خطی یوانگ [۸] استفاده شده است. در شکل (۶) ابتدا منحنی سه خطی و با استفاده از آن منحنی دو خطی رسم شده است. مطابق روش یوانگ [۸] شکل پذیری به صورت رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$\mu_s = \delta_{\max} / \delta_{y2} \quad (۱)$$

که در این رابطه μ_s شکل پذیری، δ_{\max} حداکثر تغییر مکان و δ_{y2} نقطه جاری شدن مطابق روش دو خطی یوانگ است. شکل‌پذیری نمونه آزمایشگاهی برابر ۱۲/۹ بدست می‌آید. صبوری و قله‌کی [۲] شکل‌پذیری تعدادی نمونه‌های آزمایشگاهی دیوارهای برشی فولادی انجام شده در دنیا را بدست آورده اند که در بیشتر آنها خرابی نمونه به علت زیپ شدگی در ورق بوده است. شکل‌پذیری بدست آمده در نمونه آزمایشگاهی این تحقیق در حدود دو برابر شکل‌پذیری

شکل (۴) سر موج نوع دوم از آنها می‌گذرد و نقطه ۲ سخت کننده ها نقاطی هستند که مطابق شکل (۴) سر هیچ موجی از آنها نمی‌گذرد. با افزایش طول سخت کننده مطابق شکل (۵) دو موج نوع دوم از هر دو گوشه سخت کننده می‌گذرد و موج نوع اول تقریباً از بین می‌رود و در ورق مثلی محصور بین نبشی ها و سخت کننده کمانش ایجاد می‌شود.

در نمونه آزمایشگاهی مورد تحقیق از سخت کننده با طول شکل (۴) استفاده شده است. زیرا در این حالت انحنای سر موج نوع اول از بین رفته و این موج نمی‌تواند باعث پارگی و ضعف ورق گردد در حالیکه نقطه ۱ سخت‌کننده که موج نوع دوم از آن می‌گذرد دچار پارگی می‌شود ولی از آنجاکه انحنای سر موج نوع دوم کمتر از موج نوع اول است پارگی ورق از نقطه ۱ دیرتر از ورقی که سخت‌کننده در آن بکار نرفته است اتفاق می‌افتد. از آنجاکه در این حالت هیچ موجی از نقطه ۲ سخت کننده ها نمی‌گذرد بنابراین حتی در صورت پارگی نقطه ۱ سر دیگر سخت کننده از نقطه ۲ پاره نمی‌شود در حالیکه اگر از حالت شکل (۵) استفاده شود ورق از هر دو طرف سخت کننده جدا می‌شود. بین لبه نبشی و سخت‌کننده از هر طرف مطابق شکل (۱) به اندازه ۹/۸۵ میلیمتر فاصله گذاشته شده است تا تغییر شکل نبشی ها باعث کمانش در سخت کننده نشود. عرض و ضخامت سخت کننده به اندازه‌ای قوی انتخاب شده است که با خود ورق کمانه نکند و موج نوع اول نتواند باعث انحنای آن شود.

جدول (۱): خصوصیات مکانیکی اعضای نمونه های آزمایشگاهی

اعضا	تنش جاری شدن (N.mm ²)	تنش نهایی (N.mm ²)
ورق	۱۹۲/۴	۲۸۸/۷
ستون	۴۱۴/۸	۵۵۱/۷

۴- شرح آزمایش

نمونه مطابق استاندارد ۲۴-ATC [۷] زیر بارگذاری دوره‌ای رفت و برگشتی قرار گرفته است. بار بوسیله دو جک در دو طرف نمونه وارد شده و بار و تغییر مکان ثبت شده است. در شکل (۶) نتیجه منحنی چرخه ای نمونه نشان داده شده است. در شش دوره اول بارگذاری بار به تدریج افزایش داده شد و تقریباً جاری شدگی قابل توجهی در نمونه ایجاد نشد. بار آستانه جاری شدن ورق نزدیک به $\delta_{y1} = ۱/۷$ میلیمتر است که

ع-۱- ترک ایجاد شده در لبه سخت کننده

در تغییر مکان δ_{y1} ۵/۳ سوراخ کوچکی در ورق در لبه نقطه ۱ سخت کننده های شماره ۲ تا ۴ (شکل (۱)) ایجاد شد. در همین تغییر مکان گوشه نقطه ۱ سخت کننده شماره ۱ (شکل (۱)) بدون ایجاد پارگی یا صدمه به ورق در حدود ۱/۵ سانتیمتر از ورق جدا شد. علت جدایی به علت ضعف نفوذ جوش در ۱/۵ سانتیمتر ناحیه جدا شده بود که در شکل (۷) دیده می شود.

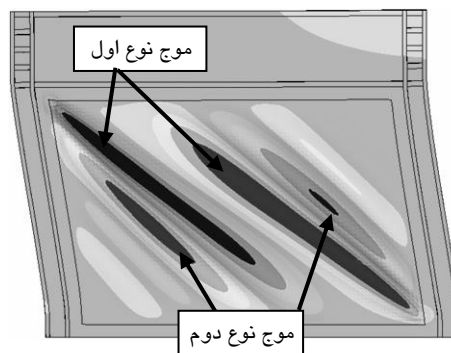
در سخت کننده های شماره ۲ تا ۴ با بیشتر شدن تغییر مکان از سوراخ ایجاد شده در نقطه ۱ سخت کننده، پاره شدگی ورق شروع شده و به سمت درون ورق مثلثی محصور به نبشی ها و سخت کننده گسترش یافت. پارگی ورق در این حالت در لبه سخت کننده پیش می رفت که در شکل (۸) شمای گسترش ترک در تغییر مکان δ_{y1} ۱۵/۳۵ دیده می شود. سخت کننده ها در یکطرف ورق نصب شده اند و در شکل (۸) نما از طرف دیگر ورق نشان داده شده است.

با افزایش تغییر مکان در سخت کننده های شماره ۳ و ۴ پارگی به سمت بیرون ورق مثلثی محصور به نبشی ها و سخت کننده و در لبه ورق و نبشی گسترش یافت که در شکل (۹) برای سخت کننده شماره ۴ برای تغییر مکان δ_{y1} ۳۰/۱۸ نشان داده شده است.

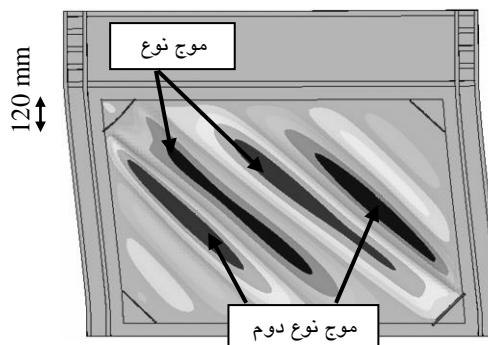
در سخت کننده شماره ۲ گسترش ترک از نقطه ۱ سخت کننده شروع و تا آخر آزمایش به طرف داخل مثلث بوده و گسترش آن به صورت جدا شدن ورق از لبه نبشی بوده است که در شکل (۱۰) پاره شدگی این سخت کننده در تغییر مکان δ_{y1} ۳۰/۱۸ نشان داده شده است.

در سخت کننده های شماره ۲ تا ۴ نقطه ۱ لبه سخت کننده پاره شد ولی در نقطه ۲ پارگی مشاهده نشد که علت آن عبور موج نوع دوم از راستای نقطه ۱ لبه سخت کننده می باشد. انحنا شدید این موج در این نقطه آغازگر شکست و پارگی ورق از گوشه سخت کننده است.

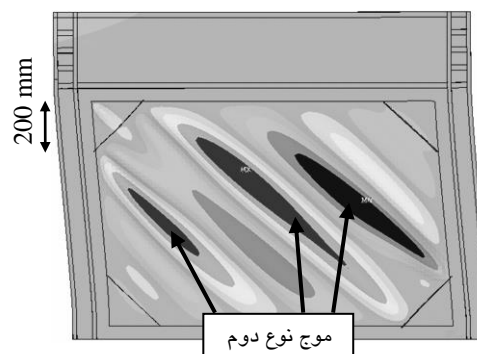
در اطراف سخت کننده شماره ۱ تقریباً تا آخر آزمایش پاره شدگی قابل توجهی پدید نیامد و در تغییر مکان δ_{y1} ۲۶/۶ سوراخ کوچکی در لبه سخت کننده در نقطه ۱ در ورق ایجاد شد که در شکل (۱۱) دیده می شود. علت سالم ماندن ورق در نقطه ۱ سخت کننده شماره ۱ این است که، با اینکه موج نوع دوم از این نقطه می گذرد ولی به علت فاصله ای در حدود ۲۵ میلیمتر بین سخت کننده و لبه نبشی (۱۰ میلیمتر در ساخت و ۱۵ میلیمتر جدا شدگی) نوک موج رد شده دارای انحنا شدید نبوده و همین پدیده باعث سالم ماندن ورق شده است. در تمام سخت کننده ها در لبه نقطه ۲ پارگی ایجاد نمی شود



شکل (۳): شمای المان محدودی تشکیل موج پس کمانش در ورق بدون سخت کننده گوشه



شکل (۴): شمای المان محدودی تشکیل موج پس کمانش در ورق با سخت کننده گوشه به ضلع ۱۲۰ میلیمتر



شکل (۵): شمای المان محدودی تشکیل موج پس کمانش در ورق با سخت کننده گوشه به ضلع ۲۰۰ میلیمتر

گزارش شده توسط صبوری و قلهکی [۲] می باشد که یکی از علت های شکل پذیری بالا در این نمونه وجود سخت کننده در گوشه ها بوده که از زیپ شدگی ورق جلوگیری می کند. در نمونه آزمایشگاهی پارگی ورق به صورت زیپ شدگی دیده نشد. با افزایش تغییر مکان دو نوع ترک رشد می یافت. ترک اول از لبه نقطه ۱ سخت کننده ها (شکل (۱)) شروع می شد و ترک دوم از اتصال نبشی ها در گوشه آغاز می شد که در ادامه گسترش آنها شرح داده می شود.

زیرا راستای هیچ موجی از این نقطه نمی‌گذرد.

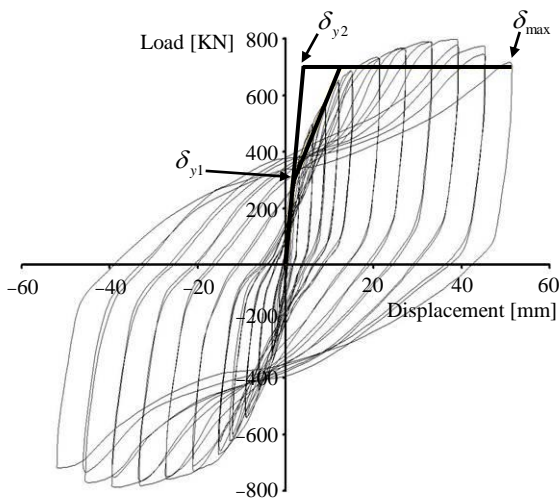
۴-۲- ترک ایجاد شده از گوشه نبشی

در تغییر مکان δ_{y1} ۳/۶ در گوشه اتصال دو نبشی ترک ایجاد شد و در تغییر مکان δ_{y1} ۵/۳ شکستگی در گوشه اتصال دو نبشی ایجاد شد که در شکل (۷) نشان داده شده است. شکستگی ایجاد شده در گوشه های نبشی با افزایش تغییر مکان بیشتر شد و امتداد این شکست با زاویه ۴۵ درجه باعث ایجاد پارگی در ورق محصور بین نبشی و سخت کننده شد. به علت وجود سخت کننده رشد ترک از گوشه نبشی به آرامی در ورق گسترش می یافت و باعث ایجاد شکستگی جدی در ورق نمی‌شد. به علت ضعفی که این ترک در ورق محصور مثلثی بین نبشی و سخت کننده ایجاد نمود در تغییر مکان δ_{y1} ۷/۱ کمانش ضعیفی در ورق مثلث محصور بین سخت کننده و لبه نبشی ها دیده شد.

۵- تشکیل پس کمانش در ورق

پس کمانش ورق از اولین دوره های بارگذاری تشکیل می‌شد. پس کمانش ورق در تغییر مکان δ_{y1} ۸/۹ در شکل (۱۲) نشان داده شده است. در نمونه، سخت کننده ها در یک طرف ورق نصب شده اند و شکل نشان داده شده از طرف دیگر ورق است. در این تغییر مکان پاره شدن قابل توجهی در ورق ایجاد نشده بود. در این شکل دو موج قابل توجه است. موج نوع اول که در امتداد گوشه های نمونه تشکیل شده و سخت کننده امتداد آنرا قطع کرده است. سخت کننده باعث شده تا سر موج نوع اول قبل از اینکه به سخت کننده برسد حالت صاف و بدون انحنا داشته باشد و انحنا شدید نوک موج از بین رفته باشد. موج نوع دوم که راستای آن از گوشه نقطه ۱ سخت کننده ها می‌گذرد و در سخت کننده های شماره ۲ تا ۴ سر آن نوک تیز بوده و دارای خمیدگی شدید در گوشه سخت کننده است. موج نوع اول به علت اینکه سر آن دارای انحنا شدید نمی‌باشد ایجاد ضعف و یا پارگی در ورق نمی‌کند ولی موج نوع دوم به علت اینکه سر آن دارای انحنا شدید می‌باشد در گوشه نقطه ۱ سخت کننده باعث ضعف و پارگی ورق می‌شود. این موج عامل پارگی در سخت کننده های شماره ۲ تا ۴ می‌باشد ولی در سخت کننده شماره ۱ به علت فاصله ۲۵ میلیمتری سخت کننده تا لبه نبشی سر موج دوم حالت نوک تیز و انحنا شدید در آن ناحیه پیدا نکرده و در نتیجه تقریباً ورق در گوشه نقطه ۱ سخت کننده شماره ۱ تا انتهای آزمایش پاره نشده است. پس کمانش ایجاد شده در شکل (۱۲) بسیار شبیه به مدل المان محدودی

شکل (۴) می‌باشد. در شکل (۱۳) پس کمانش



شکل (۱): منحنی چرخه ای آزمایشگاهی، منحنی دوخطی یوانگ در نمونه دیوار برشی فولادی



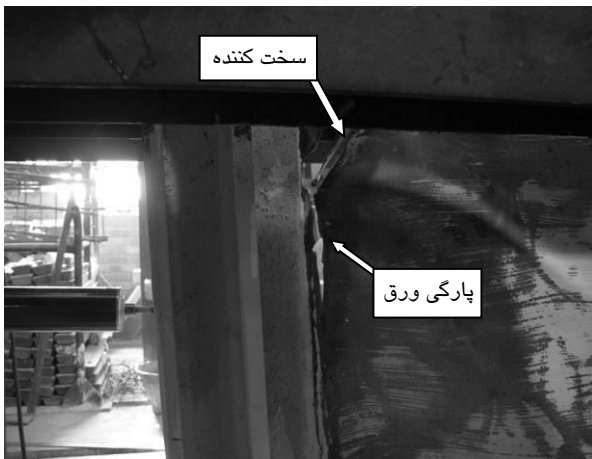
شکل (۷): شکست گوشه های نبشی و جداسازی سخت کننده شماره ۱ از ورق



شکل (۸): جداسازی ورق از لبه سخت کننده در تغییر مکان

δ_{y1} ۱۵/۲۵ در سخت کننده شماره ۴

ورق در تغییر مکان δ_{y1} ۳۰/۱۸ نشان داده شده است؛ در



شکل (۹): جداشدگی ورق از نبشی در تغییر مکان δ_{y1} ۳۰/۱۸ در سخت کننده شماره ۴



شکل (۱۰): جداشدگی ورق از نبشی در تغییر مکان δ_{y1} ۳۰/۱۸ در سخت کننده شماره ۲



شکل (۱۱): سوراخ شدگی ورق از لبه سخت کننده در تغییر مکان δ_{y1} ۲۶/۶ در سخت کننده شماره ۱

این تغییر مکان پارگی قابل توجهی در اطراف نقطه ۱ سخت کننده و لبه نبشی ایجاد شده و افت بار از مقدار حداکثر در حدود ۸۴ کیلونیوتن می‌باشد. بر پایه این شکل با وجود پارگی در ورق، سخت کننده های چهار گوشه توانسته اند میدان پس‌کمانش را به خوبی ایجاد کنند و علت این است که ورق در سخت‌کننده‌های ۲ تا ۴ فقط از یک طرف سخت کننده جدا شده (لبه نقطه ۱) و ورق از طرف دیگر سخت کننده (لبه نقطه ۲) دچار پارگی نشده است همچنین ورق در اطراف سخت کننده شماره ۱ تقریباً دچار پارگی شدید نشده است. در صورت نبود سخت کننده ها قطعاً در تغییر مکانهای کوچکتری زیپ شدگی در ورق ایجاد و نمونه خراب می‌شد. آزمایش به علت افت بار به مقدار ۱۰/۵ درصدی از مقدار حداکثر قطع شد در حالیکه با وجود پارگی ورق در اطراف نقطه ۱ سخت کننده های ۲ تا ۴ هنوز ورق می‌توانست میدان پس‌کمانش را تشکیل دهد.

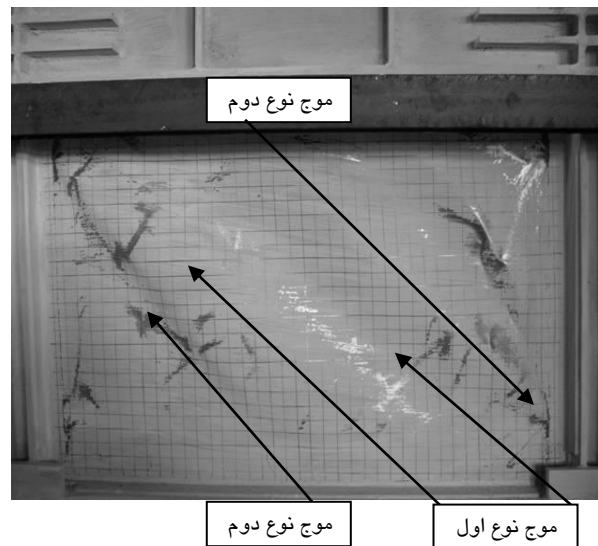
۶- نتیجه

در این تحقیق برای جلوگیری از زیپ شدگی ناگهانی ورق در دیوارهای برشی فولادی چهار سخت کننده در گوشه‌های ورق متصل و آزمایش شد. نتایج آزمایش نشان می‌دهد برای اینکه بعد از پارگی ورق از لبه سخت کننده و نبشی، پس‌کمانش بتواند تشکیل شود باید فاصله سخت کننده از گوشه ها به گونه‌ای انتخاب شود که راستای موج نوع دوم فقط از یک گوشه سخت کننده عبور کند و از گوشه دیگر سخت کننده راستای موج عبور نکند. همچنین ابعاد سخت کننده باید به گونه‌ای طراحی شود که بتواند انحناى سر موج نوع اول را از بین برده و همراه با آن کمانه نکند. همچنین فاصله نوک سخت‌کننده تا لبه نبشی باید به گونه ای طراحی شود که در آن فاصله انحناى موج نوع دوم به اندازه ای نباشد که باعث پارگی و صدمه ورق شود.

نسبت حداکثر تغییر مکان جانبی نمونه به ارتفاع ستون ۵/۸ درصدی نمونه، شکل پذیری ۱۲/۹ (مطابق روش یوانگ) و توانایی تشکیل میدان پس‌کمانش حتی بعد از پارگی قابل توجه ورق نشان می‌دهد که نصب سخت کننده در چهار گوشه در جلوگیری از زیپ شدن ورق بسیار موثر می‌باشد.



شکل (۱۳): تشکیل پس کمانش در تغییر مکان $\delta_{y1} 30/18$



شکل (۱۴): تشکیل پس کمانش در تغییر مکان $\delta_{y1} 8/9$

۷- مراجع

- [۱] سعید صبوری، "سیستمهای مقاوم در برابر بارهای جانبی - مقدمه ای بر دیوارهای برشی فولادی"، نشر انگیزه ، ۱۳۸۰ .
- [۲] سعید صبوری، مجید قلعهکی، "بررسی رفتار دیوارهای برشی فولادی شکل پذیر با ورق نازک و اثر نوع اتصال تیر به ستون در آنها"، رساله دکترا، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، شهریار.
- [۳] Robert G.Driver, Geoffrey L.Kulak, D.J.Laurie Kennedy, Alau E.Elwi, " *Seismic Behavior of Steel Plate Shear Walls*", University of Alberta Department of Civil and Environment Engineering, Structural Engineering Report 215, February 1997.
- [۴] M.R.Behbahani, G.Y.Gordin and A.E.Elwi, "Experimental and Numerical Investigation of Steel Plate Shear Wall Behavior", University of Alberta Department of Civil & Environmental Engineering, Structural Engineering Report No.254, August 2003.
- [۵] Mehdi H.K. Kharrazi, " Rational Method for Analysis and Design of Steel Plate Walls", A Thesis Submitted in Partila Fui fulfilment of the Requirments for The The Degree of Doctor of Phiosophy in the Facility of Graduate Studies, University of British Columbia, October 2005.
- [۶] A. Schumacher, G.Y. Grondin, G.L.Kulak, " Connection of Infill Panels in Steel Plate Shear Walls", University of Alberta Department of Civil and Environment Engineering, Structural Engineering Report 217, February 1997.
- [۷] ATC, "Guildines for Seismic Testing of Components of Steel Structures ", Applied Technology Council, Report 24, 1992.
- [۸] Chia-Ming Uange, "Establishing R (or R_w) and C_d Factors for Building Seismic Provisions", Journal of Structural Engineering. Vol.117, NO.1, January, 1991.