



بررسی تئوریک و آزمایشگاهی مقاومت جوش‌های گوشه بین مهاربندها و صفحات اتصال که دارای ضعف اجرایی هستند

سید عبدالله حسینی دهدشتی^۱، داود پورویس^۲، محمد نادری نسب^۳
(تاریخ دریافت: ۹۲/۰۶/۲۵، تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۲/۰۶)

چکیده

در یک بررسی میدانی از یکصد اسکلت فولادی در دست اجرا، مشاهده گردید که بیش از ۷۰٪ آنها دارای ضعف اجرایی در اتصال جوشی مهاربندها می‌باشند. از آنجائیکه در ایران اغلب اسکلت‌های فولادی به صورت درجا ساخته و نصب می‌گردند، لذا عدم دقت در نصب صفحات انتهایی مهاربندها باعث می‌شود که در موقع مونتاژ، پروفیل‌های مهاربند به طور کامل روی صفحات اتصال قرارنگرفته و در محل جوش آنها فاصله ایجاد شود. متأسفانه جوشکاران برای رفع این مشکل، اقدام به کارگذاری میلگرد در فاصله ایجاد شده بین مهاربند و صفحه اتصال کرده و سپس روی آن را با جوش پر می‌نمایند. در این تحقیق برای تعیین میزان تأثیر این اشکال در ظرفیت باربری جوش، برای اتصال با جوش سالم و اتصال با جوش همراه میلگرد به عنوان پرکننده، به روش تئوریک و آزمایشگاهی بررسی انجام و نتایج با هم مقایسه شده است. برای بررسی تئوریک پس از مدل سازی اتصال جوشی و استفاده از نرم افزار ABAQUS نتایج به صورت تحلیلی بدست آمده سپس با ساخت نمونه‌های مشابه آزمایشگاهی و آزمایش کشش برای تعیین مقاومت جوش‌ها، نتایج آزمایشگاهی نیز حاصل شده است. این بررسی نشان می‌دهد که در هر دو روش، مقاومت اتصال جوشی به همراه میلگرد به عنوان پرکننده به میزان ۳۰ الی ۳۳ درصد کمتر از مقاومت اتصال جوشی سالم می‌باشد. نتیجه حاصل گویای این مطلب است که ضرورت انجام دقت و نظارت دست اندرکاران ساخت و ساز اسکلت‌های فولادی در خصوص رعایت اصول فنی اجرایی در جوشکاری، خاصه جوش مهاربندها، باید امری مهم و جدی باشد.

کلمات کلیدی

مهاربند، صفحات اتصال، جوش، مقاومت اتصال، ضعف اجرایی

Theoretical and Experimental Study of Fillet Welds Resistance between Braces and Connection Plates that are Operational Defects

S.A. Hosseini Dehdashti¹, D. Poorveis, M. Naderi Nasab

ABSTRACT

In field studies of one hundred under construction steel skeletons was found that over 70 percent of these frames contain operational defects in the welded connection of braces. Since in Iran, most steel skeletons are made in situ and then installed, therefore, the lack of accuracy in installing end plates of braces during the assembly causing the braces are not fully fitted on end connection plates and thus leading to form gap between braces and the end plates. Unfortunately, the welders to solve the problem, put rebar in the gap between the brace and the connection plate, and then fill it with welding. In this research to quantify the effects of the aforementioned problem in the strength of welded joint, both theoretical and experimental investigations were carried out. The standard welded connection and the welded connection with the rebar as filler were modeled by the ABAQUS finite element software and exerted by tensile force. Similar test samples were prepared and tensile tests were

۱- مربی گروه عمران، دانشگاه شهید چمران اهواز، a.hosseini@scu.ac.ir (نویسنده مسئول)

۲- استادیار گروه عمران، دانشگاه شهید چمران اهواز، dpoorveis@scu.ac.ir

۳- کارشناس عمران، اداره کل راه و شهرسازی خوزستان، m_naderinasab@yahoo.com



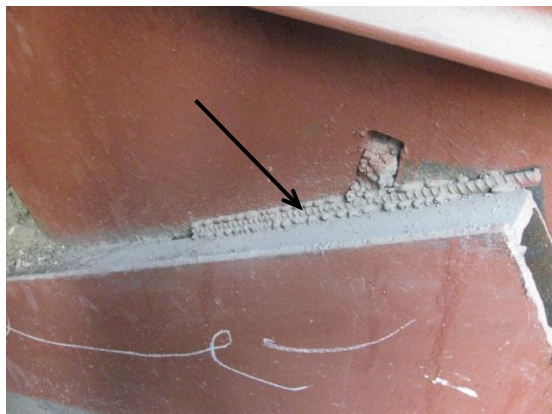
performed. This study shows that in both methods, theoretical and experimental, the strength of welded joint with a rebar as filler is 30 to 33 percent lower than the resistance of the standard welded joint. The result suggests that the need for care and supervision of those involved in the construction of the steel frames related to the technical principles in welding, and in particular welding of braces should be important and serious issues.

KEYWORDS

Bracing, Connection plates, Weld, Contact resistance, Operational defects

۱- مقدمه

در قاب‌های ساختمانی ساده، سیستم باربر جانبی نقش مهمی در جذب نیروی جانبی زلزله دارد و آنچه که مربوط به کاهش ظرفیت باربری جانبی سازه است و نقش مهمی در رفتار سازه در برابر زلزله دارد، ضعف در اجرای سیستم باربر جانبی یعنی مهاربندها می‌باشد. از آنجائیکه قسمت اعظمی از اتصالات جوشی مهاربندها روی سازه انجام می‌گیرد و جوشکاری روی سازه به دلیل احتمال وجود باد، باران و عدم امکان نظارت لازم و رعایت اصول فنی در جوشکاری، دارای ضعف و کیفیت بسیار پائینی می‌باشد، بنابراین عدم دقت در اجرای چنین اتصالاتی می‌تواند ظرفیت باربری سازه را کاهش و آن را در هنگام زلزله دچار مخاطره نماید. در یک بررسی میدانی روی یکصد اسکلت فولادی در دست اجرا [۱ و ۲] مشاهده گردید که حدود ۷۰٪ از آنها دارای اشکال در جوش انتهای مهاربندها و صفحات اتصال می‌باشد. عدم دقت در نصب صفحات انتهایی مهاربند، موجب می‌شود که پروفیل مهاربند به طور کامل روی صفحه اتصال قرار نگیرد و در محل جوش بازشدگی درز یا فاصله ایجاد شود. مطابق آئین نامه جوشکاری ساختمانی ایران [۳]، فاصله ریشه (بازشدگی درز) نباید از ۵ میلیمتر بزرگتر گردد اما از آنجائیکه گاهی فاصله ایجاد شده بیش از حد مجاز آئین نامه ای می‌باشد، لذا اغلب جوشکاران فضای خالی ایجاد شده بین پروفیل مهاربند و سطح صفحه اتصال را مطابق شکل‌های (۱) و (۲) با قطعه ای از میلگرد پرمی‌کنند و سپس طرفین میلگرد را به صفحه و پروفیل مهاربند جوش می‌دهند. فضای ناکافی در طرفین مقطع میلگرد باعث می‌شود که مقطع جوش ایجاد شده در طرفین میلگرد کاهش یافته و در نتیجه مقاومت مورد نیاز را برای جوش تأمین ننماید.



شکل (۱): کارگذاری میلگرد در ریشه جوش مهاربند



شکل (۲): کارگذاری میلگرد در ریشه جوش صفحه با تیر

مطابق آئین نامه [۴]، ضخامت موثر جوش در یک طرف میلگرد به شعاع R برابر $0.3R$ و برای مجموع دونوار جوش در طرفین میلگرد برابر $0.5R$ می‌باشد. در ادامه جهت بررسی کمی تأثیر اشکال مورد بحث در ظرفیت باربری اتصال جوشی مهاربندها، به دو روش تحلیلی و آزمایشگاهی، ظرفیت باربری اتصال جوشی به همراه میلگرد به عنوان پرکننده ریشه جوش در مقایسه با اتصال جوشی سالم مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است.



۲- بررسی عددی

برای این بررسی، یک مهاربند با پروفیل ناودانی ۱۴۰ برای نیروی ۲۰ تنی طراحی شده است که دارای دونوار جوش به طول ۲۷ سانتیمتر و بعد ۸ میلیمتر در اتصال با یک صفحه فولادی به ابعاد $500 \times 500 \times 12 \text{ mm}^3$ می باشد. جهت بررسی اتصال جوشی دارای اشکال نیز به جای هریک از نوار جوش های سالم، از یک میلگرد $\phi 12$ بانوار جوش به بعد $0.3R$ یعنی ۲ mm و به طول ۲۷ cm استفاده شده است.

هر دو نمونه با استفاده از نرم افزار ABAQUS [۵ و ۶]، مدل سازی ویرای نیروی ۲۰ تن مورد تحلیل، و تنش در وسط طول نوار جوش ها محاسبه شده است. مدل شماره ۱ مطابق شکل (۳) و مدل شماره ۲ مطابق شکل (۴) برای هر دو نمونه ساخته شده که فرضیات و جزئیات آن به شرح زیر می باشد.

قطعات مدل (۱): مدل شامل قطعات ناودانی، صفحه اتصال و دو نوار جوش می باشد.

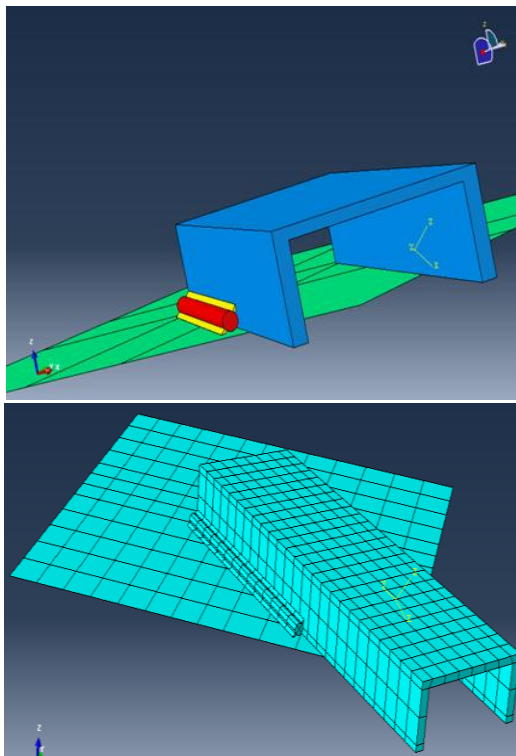
قطعات مدل (۲): مدل شامل قطعات ناودانی، صفحه اتصال، میلگرد و دو نوار جوش می باشد.

نوع و شکل قطعات:

به دلیل شکل پذیر بودن قطعات، همگی از نوع deformable انتخاب شده اند. ناودانی، میلگرد و جوش ها با استفاده از شکل solid و صفحه اتصال با استفاده از شکل shell ترسیم گردیده اند.

مصالح:

باتوجه به محدوده در نظر گرفته شده در مثال طرح شده برای بار ۲۰ تنی، مصالح مربوط به قطعه جوش و صفحه اتصال در فاز الاستیک و به صورت خطی تعریف شده اند.



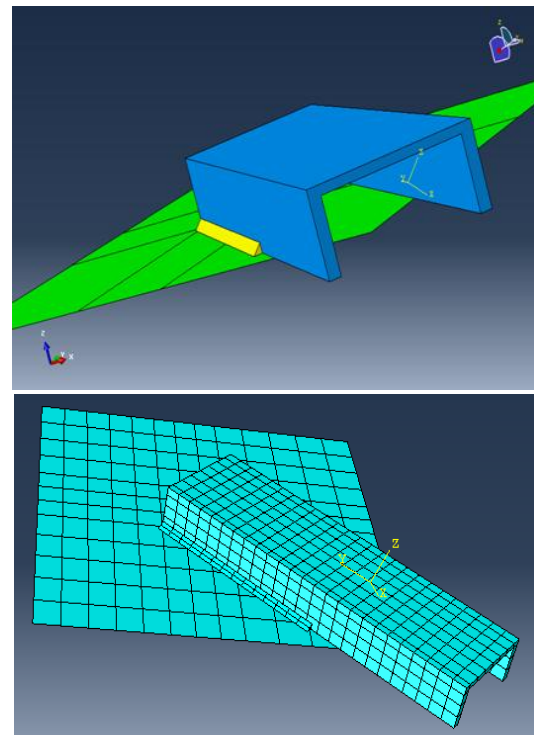
شکل (۴): نمایش هندسی و مش بندی مدل شماره ۲

نوع تحلیل:

استاتیکی خطی

اندرکنش ها:

به منظور شبیه سازی دقیق تر، رفتار تماسی بین سطوح ورق و ناودانی، رفتار در صفحه ورق به صورت اصطکاکی و در جهت عمود بر آن به صورت تماس سخت منظور شده است.



شکل (۳): نمایش هندسی و مش بندی مدل شماره ۱

قیود:

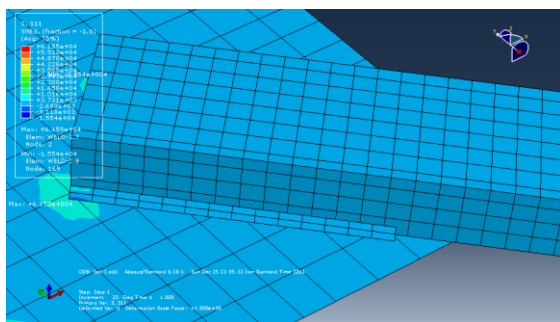
درحالت خمش، پوسته دارای سختی خمشی، برشی و پیچشی می‌باشد.

Shell: این المان دارای مقاومت خمشی، برشی، پیچشی و محوری است و رفتار آن در برگیرنده هر دو نوع رفتار خمشی و غشائی می‌باشد.

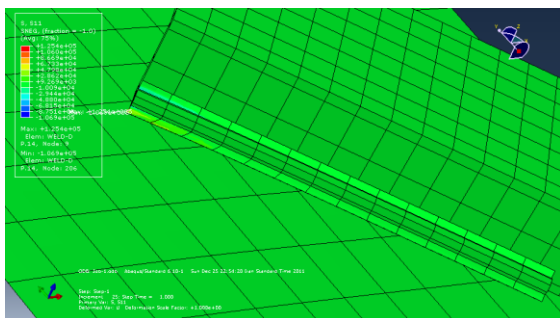
المان‌های به کار بسته شده برای مش بندی ورق با مقطع *membrane shell* از نوع S8 می‌باشد.

ج) میلگردها درمدل (۲): المان به کاررفته در مش بندی این قطعات از نوع C3D20 (المان *continuum* سه بعدی بیست گره‌ای) می‌باشد.

با استفاده از نرم افزار ABAQUS و تحلیل مدل های ۱ و ۲ برای بار ۲۰ تنی، تنش برشی متوسط درمرکز نوار جوش محاسبه گردیده که کانتور تنش‌ها در شکل (۵) و نتایج تنش در المان‌های میانی در شکل (۶)، نشان داده شده است.



الف) کانتور تنش در مدل (۱)



ب) کانتور تنش در مدل (۲) با میلگرد

شکل (۵): نمایش کانتور تنش در دو مدل

مطابق شکل (۶) مشاهده می‌شود که تغییرات تنش در طول نوارجوش مدل ۱ (جوش سالم) تقریباً یکنواخت و در مدل ۲ (جوش به همراه میلگرد) دارای تغییرات زیادی می‌باشد. نتیجه حاصل شده نشان می‌دهد که تنش برشی

باتوجه به اتصال کامل قطعه جوش با صفحه اتصال و ناودانی درمدل (۱)، سطوح درتماس قطعه جوش با صفحه اتصال و ناودانی، با استفاده از قید *tie* و همچنین باتوجه به اتصال کامل قطعه جوش باورق، ناودانی و میلگردها در مدل (۲)، سطوح درتماس قطعه جوش با این قطعات نیز با استفاده از قید *tie* یکپارچه شده‌اند.

بارگذاری و شرایط مرزی:

نیروی موردنظر از طریق قسمت انتهایی ناودانی برمدل اعمال شده و دو انتهای ورق نیز بادر نظر گرفتن تکیه‌گاه گیردار مفید شده است.

المان‌ها:

الف) ناودانی وجوش‌ها: المان مناسب جهت اختصاص به این قطعات از نوع *continuum* می‌باشد. این دسته از المان‌ها درآبکوس می‌توانند برای تحلیل‌های خطی یا غیرخطی پیچیده با وجود پلاستیسیته و یا تغییر شکل‌های بزرگ، در مسائل از جمله تحلیل‌های تنش، انتقال حرارت و غیره به کارگرفته شوند. این المان‌ها در فضای دو بعدی و سه بعدی قرارمی‌گیرند و المان به کاررفته درمش بندی این قطعات از نوع C3D20 (المان *continuum* سه بعدی بیست گره‌ای) می‌باشد.

ب) ورق اتصال: المان اختصاص یافته برای صفحه اتصال از نوع *shell* برای مدل سازی سازه‌های پوسته ای که تغییر تنش در بعد سوم آنها قابل چشم پوشی می‌باشد، استفاده می‌شود. به طور کلی یکی از سه حالت زیر را می‌توان برای پوسته‌ها درنظر گرفت:

Membrane: یک المان *membrane shell* تنها تحت

بارها و تغییر مکان‌های درون صفحه قرار می‌گیرد و ما انتظار رفتار درون صفحه از آن داریم. به عبارت دیگر سختی خارج از صفحه و سختی خمشی از این نوع پوسته انتظار نمی‌رود. به عنوان مثال نمونه ای از رفتار المان فوق را می‌توان در صفحاتی که تحت کماتش قرار می‌گیرند، مشاهده نمود.

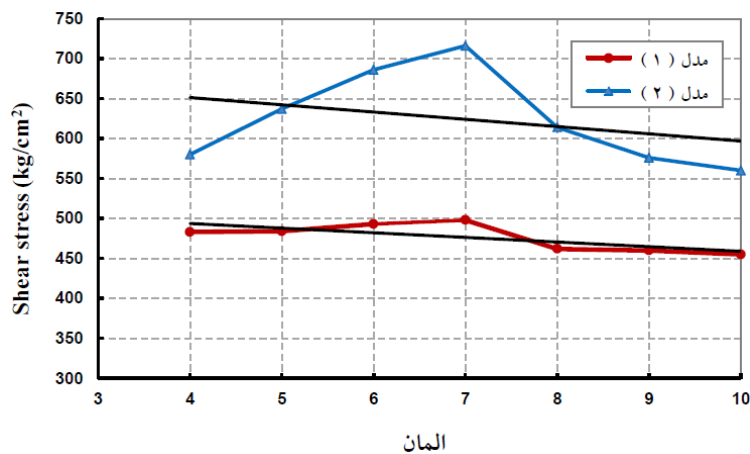
Surface: حالتی است که صفحه تخت تنها تحت

بارهای انتقالی و ممان‌های درون صفحه قرار می‌گیرد.



یا کاهش مقاومت درنوارجوش همراه میلگرد در مدل (۲) نسبت به نوار جوش سالم در مدل (۱) تقریباً برابر ۳۰ درصد می‌باشد.

متوسط درنوارجوش سالم برابر 480 kg/cm^2 و در جوش همراه با میلگرد به عنوان پرکننده درز جوش برابر 625 kg/cm^2 می‌باشد. یعنی به عبارتی دیگر افزایش تنش



شکل (۶): تنش برشی درالمان‌های مدل (۱) و (۲)

۳- بررسی آزمایشگاهی

مشخصات نمونه‌ها به شرح زیر می‌باشد:
 نمونه $A1$ و $A2$: جوشکاری اتصال روی زمین و بدون استفاده از میلگرد در ریشه جوش.
 نمونه $D1$ و $D2$: جوشکاری اتصال روی زمین و با استفاده از میلگرد ساده $\phi 12$ به عنوان پرکننده ریشه جوش.
 نمونه $E1$ و $E2$: جوشکاری اتصال روی زمین و با استفاده از میلگرد آجدار $\phi 12$ به عنوان پرکننده ریشه جوش.
 تمامی نمونه‌ها در شرایط کارگاهی ساخته شده و سپس در آزمایشگاهی مجهز تحت آزمایش کشش قرار گرفتند. دستگاه مورد استفاده ساخت شرکت SANTAM و به ظرفیت ۱۰۰ تن و استاندارد مورد استفاده در روش آزمایش ASTM A370 و AASHTO T244 بوده است.
 نتایج نشان می‌دهد که استفاده از میلگرد ساده یا آجدار به عنوان پرکننده ریشه جوش، تفاوتی در ظرفیت باربری اتصال ایجاد نمی‌کند، جدول (۱). اما در مقایسه با اتصال جوش سالم و بدون استفاده از میلگرد، علاوه بر تفاوت در ظرفیت باربری در شکل گسیختگی نوار جوش هم تأثیر دارد. مطابق شکل (۸) مشاهده می‌شود که در اتصال جوشی با استفاده از میلگرد، گسیختگی در سطح تماس جوش با ورق فولادی ایجاد می‌شود، یعنی در محل

در این مرحله تعدادی نمونه با استفاده از دو تسمه فولادی به ابعاد $100 \times 12 \text{ mm}^2$ و $150 \times 10 \text{ mm}^2$ از نوع ST37 و دوخط نوارجوش، هر یک به طول ۶ سانتیمتر و بعد ۸ میلیمتر با الکتروود E6013 جوشکاری و تهیه شده است. همچنین برای تعدادی از نمونه‌ها، از میلگرد $\phi 12$ به عنوان پرکننده ریشه جوش استفاده شده است.
 طرح جوش به نحوی انجام شده که مقاومت ورق‌ها بیش از مقاومت گسیختگی جوش‌ها باشد و در بارنهائی، گسیختگی در ناحیه جوش صورت گیرد. نمونه‌های ساخته شده و آماده آزمایش در شکل (۷) نشان داده شده است.



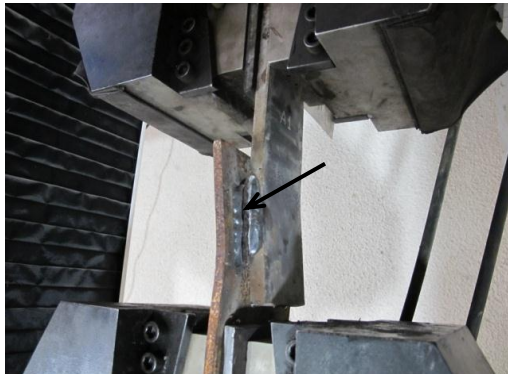
شکل (۷): نمونه‌های جوش شده

کمترین ضخامت جوش به دلیل فضای ناکافی ناشی از وجود میلگرد.

اما برای نمونه‌ای که دارای جوش سالم است و از میلگرد استفاده نشده است، مطابق شکل (۹) دیده می‌شود که به طور معمول گسیختگی روی سطح موثر نوار جوش و با زاویه ۴۵ درجه اتفاق می‌افتد.

جدول (۱): نتایج مقاومت کششی نمونه‌ها

متوسط مقاومت (kg/cm ²)	مقاومت نهایی (kg/cm ²)	نمونه‌ها
۲۷۸۲۱	۲۷۱۶۷	جوش بدون میلگرد (A1)
	۲۸۴۷۵	جوش بدون میلگرد (A1)
۱۸۴۷۰	۱۸۶۸۰	جوش با میلگرد ساده $\phi 12$ (D1)
	۱۸۲۶۰	جوش با میلگرد ساده $\phi 12$ (D2)
۱۸۷۰۲	۲۰۱۷۷	جوش با میلگرد آجدار $\phi 12$ (E1)
	۱۷۲۲۸	جوش با میلگرد آجدار $\phi 12$ (E2)

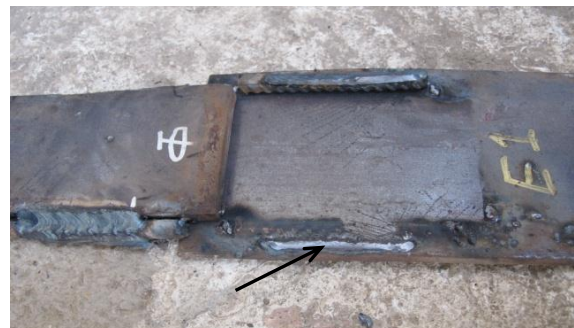


شکل (۹): نحوه گسیختگی جوش سالم در دستگاه کشش

مطابق جدول (۱)، متوسط مقاومت نهایی نمونه‌های E1 و E2 (جوش با استفاده از میلگرد) برابر 18702 kg/cm^2 و متوسط مقاومت نهایی نمونه‌های A1 و A2 (جوش بدون میلگرد) برابر 27821 kg/cm^2 می‌باشد. در این آزمایش نمونه‌های A1 و A2 معرف یک نمونه واقعی و مورد انتظار از نظر جوش در محل می‌باشد و در مقابل نمونه‌های E1 و E2 نیز به عنوان یک نمونه جوش دارای اشکال از نظر مشخصات فنی و اجرائی معرفی می‌شود. این نتیجه نشان می‌دهد که جوش اجرا شده با میلگرد به عنوان پرکننده درز جوش نسبت به یک جوش سالم، دارای کاهش مقاومتی به میزان ۳۳ درصد می‌باشد. این کاهش مقاومت مشابه نتایج عددی حاصل که به میزان ۳۰ درصد ارائه گردید، می‌باشد.

۴- نتیجه گیری

یکی از عمده اشکالات اجرائی موثر و تأثیرگذار بر ظرفیت باربری جانبی سازه‌های فولادی، ضعف در سیستم مهاربندها می‌باشد. از ضعف‌های اجرائی مشاهده شده درمونتاز و نصب مهاربندهای جوشی، ضعف در جوشکاری اتصالات از نظر ناکافی بودن ضخامت و طول جوش، اجرای جوش‌های بالا سری و کار گذاری میلگرد



الف) گسیختگی جوش با میلگرد



ب) نحوه گسیختگی جوش با میلگرد در دستگاه کشش

شکل (۸): نمایش گسیختگی اتصال جوشی با استفاده از میلگرد



به عنوان پرکننده ریشه جوش می‌باشد. کاهش مقاومت به علت کاهش ابعادی نوار جوش‌ها کاملاً ملموس و قابل محاسبه می‌باشد. اما تأثیر استفاده از میلگرد به عنوان پرکننده ریشه جوش بر مقاومت نوار جوش موضوعی است که نیاز به بررسی دقیق و آزمایشگاهی باتوجه به شرایط واقعی اجرایی دارد.

نتایج بدست آمده در این تحقیق گویای این مطلب است که در صورت عدم نظارت کافی و استفاده از نیروهای آموزش دیده اجرایی و همچنین عدم دقت در هنگام مونتاژ صفحات انتهائی مهاربند که منجر به کارگذاری میلگرد در ریشه جوش اتصال مهاربندها گردد، می‌تواند در نهایت ظرفیت باربری مهاربند را به میزان ۳۰ الی ۳۳ درصد، در هنگام زلزله کاهش دهد.

۵- مراجع

[۱] حسینی دهدشتی، س.ع. (۱۳۹۰)، "بررسی اشکالات رایج در ساخت اسکلت‌های فولادی و بتنی و رفتار آنها در برابر زلزله"، طرح تحقیقاتی با مسکن و شهرسازی خوزستان، شماره طرح ۱۴/۳۸۸۷.

[۲] شرکت مهندسی دیده بان فرآیند سازه، کنترل و بازرسی بر ساخت و سازها در استان خوزستان، ۱۳۸۸.

[۳] آئین نامه جوشکاری ساختمانی ایران، دفتر امور فنی و تدوین معیارها، انتشارات سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، نشریه شماره ۲۲۸، ۱۳۸۰.

[۴] آئین نامه اتصالات در سازه‌های فولادی، دفتر امور فنی و تدوین معیارها، انتشارات معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی، نشریه شماره ۲۶۴، چاپ چهارم، ۱۳۸۶.

[۵] ساعدیداریان، ا.، بهرام‌پور، ح. و عرب زاده، ح. (۱۳۹۰)، "راهنمای جامع نرم افزار ABAQUS"، چاپ دوم، انتشارات انگیزه.

[۶] خلخالی، ا. (۱۳۸۶)، "تحلیل اجزاء محدود با کمک ABAQUS"، چاپ دوم، موسسه فرهنگی هنری دیباگران تهران.