E-ISSN: 2676-6787 | P-ISSN: 2476-583X

Journal of
Welding Science and Technology of Iran
jwsti.iut.ac.ir

Volume 8, Number 1, 2022



Microstructure and mechanical properties of similar and dissimilar welding joints of weathering steel and plain carbon steel by GMAW with CO_2 shielding gas

M. Vatandoost , E. Mohammadi Zahrani*, B. Beidokhti, A. Davoodi
Metallurgical and Materials Engineering Department, Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Khorasan Razavi, Iran.

Received 27 February 2022 ; Accepted 10 May 2022

Abstract

The welding joints were investigated due to the significance of similar welding of Corten A weathering steel and its dissimilar welding with St12 plain carbon steel in industrial applications. The gas metal arc welding (GMAW) technique with carbon dioxide shielding gas was utilized in the present work. The welding process comprised current and voltage control, welding wire injection rate, shielding gas rate, welding speed, connection configuration, and microstructure evolution. Mechanical properties and microstructure evolution in similar and dissimilar joints and weld defects were evaluated by tensile, bending, hardness, metallographic, and radiographic tests. The weld microstructure in similar and dissimilar joints included grain boundary ferrite, acicular ferrite, and WidmanStatten ferrite. The tensile strengths of the similar and dissimilar joints were respectively 497 and 303 MPa. The weld zone hardness was 210 and 180 Vickers for similar and dissimilar joints, respectively. In conclusion, similar welding outperformed dissimilar welding considering weld joint defects, mechanical properties, and microstructure.

Keywords: Corten A weathering steel, Welding, Mechanical properties, Microstructure.

Corresponding Author: ehsanmohamadi@um.ac.ir

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.2476583.1401.8.1.2.0]

شاپا:2476-583X | شاپا الکترونیکی: 2676-6787

نشریه علوم و فناوری جوشکاری ایران

jwsti.iut.ac.ir

سال هشتم، شماره1، بهار و تابستان 1401



ریزساختار و خواص مکانیکی اتصالات همجنس و غیرهمجنس فولادهای هواناپذیر و ساده کربنی به روش جوشکاری قوس فلز با گاز محافظ دی‌اکسیدکربن

مهرداد وطن‌دوست، احسان محمدی زهرانی *، بهروز بیدختی، علی داودی

گروه مهندسی متالورژی و مواد، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، خراسان رضوی، ایران

دریافت مقاله: 1400/12/08 ؛ پذیرش مقاله: 1401/02/20

چکیده

در این پژوهش، خواص مکانیکی، ریزساختار، و سختی در اتصال فولاد هواناپذیر به فولاد هواناپذیر (همجنس) و فولاد هواناپذیر به فولاد ساده کربنی (غیرهمجنس) به روش جوشکاری قوس فلز با گاز محافظ دی‌اکسیدکربن مورد ارزیابی قرار گرفت. از ورق فولاد هواناپذیر با نام تجاری Corten A استفاده شد. فرایند جوشکاری شامل کنترل جریان و ولتاژ، نرخ تزریق سیم جوش، نرخ گاز محافظ، سرعت جوشکاری، پیکربندی اتصالات و میکروساختار بود. ارزیابی خواص مکانیکی، ریزساختار، و عیوب منطقه جوش توسط آزمون‌های کشش، خمش، سختی‌سنجی، متالوگرافی با میکروسکوپ نوری و میکروسکوپ روبشی گسیل میدانی، و رادیوگرافی انجام شد. نتایج نشان داد که ریزساختار منطقه جوش در اتصالات همجنس و غیرهمجنس شامل فریت مرزدانه‌ای، فریت سوزنی و فریت ویدمن‌اشتاتن است. استحکام کششی اتصال همجنس 497 مگاپاسکال و غیرهمجنس 303 مگاپاسکال بود. سختی منطقه جوش در اتصال همجنس 210 ویکرز و در اتصال غیرهمجنس 180 ویکرز بود. درمجموع، اتصال همجنس از نظر ریزساختار، نوع و اندازه عیوب جوش، استحکام و سختی منطقه جوش نسبت به اتصال غیرهمجنس برتری دارد.

کلمات کلیدی: فولاد هواناپذیر Corten A، جوشکاری، خواص مکانیکی، میکروساختار.

* نویسنده مسئول، پست الکترونیکی: ehsanmohamadi@um.ac.ir

1- مقدمه

فولادهای هواناپذیر مقاومت به خوردگی اتمسفری بالایی دارند که ناشی از تشکیل یک لایه اکسید محافظ پایدار و چسبنده است. به دلیل داشتن سرعت خوردگی بسیار پایین، این فولادها معمولاً بدون نیاز به رنگ‌آمیزی و یا محافظت خاصی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این فولادها دارای طول عمری بین 4 تا 8 برابر بیشتر از فولادهای ساده کربنی هستند که به دلیل حضور عناصر میکروآلیاژی نظیر مس، کروم، و نیکل در ترکیب

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.2476583.1401.8.1.2.0]

شیمیایی آن‌ها است [1-3]. این دسته از فولادها با توجه به شرایط تولید و ضخامت آن‌ها، دارای انواع مختلفی هستند. ورق‌های فولادی با نام تجاری Corten یکی از انواع این فولادها است که در ساخت پل‌ها، ریل‌ها، ساختمان‌ها، کشتی‌ها، کانتینرهای دریایی، مخازن مخلوط‌کن سیمان و ... کاربرد دارد. این ورق‌های فولادی دارای ضخامت کمتر از 12 میلی‌متر بوده و به روش نورد گرم تولید می‌شوند. در فولادهای هواناپذیر، حضور مقادیری از مس و کروم و نیکل باعث می‌شود تا مقدار کربن معادل افزایش یافته و جوش‌پذیری کاهش یابد [4]. مطالعات صورت گرفته بر روی خوردگی ورق‌های فولاد هواناپذیر به طور عمده متمرکز بر ارزیابی مقاومت به خوردگی این فولاد در محیط‌های گوناگون آب و هوایی است که از طریق آزمون‌های طولانی مدت میدانی مورد سنجش قرار می‌گیرد و مطالعه منسجمی بر روی جوشکاری این ورق‌ها انجام نشده است [5-7]. نوع اکسید محافظ تشکیل شده بر فولاد هواناپذیر وابسته به مدت زمان قرارگیری در اتمسفر خورنده و میزان عناصر میکروآلیاژی است [5]. از طرفی لایه اکسیدی محافظ عمدتا از ترکیبات (α-FeO(OH)، Fe_2O_3 و Fe_3O_4 تشکیل می‌شود [5]. حضور عنصر مس در فولادهای هواناپذیر باعث بهبود مقاومت در برابر خوردگی میکروبی در پساب‌های صنعتی حاوی روغن شده است [6 و 7]. برای اتصال و جوشکاری ورق فولادی معمولاً از روش‌های قوسی با گاز محافظ مانند قوس فلز با گاز محافظ و یا قوس تنگستن با گاز محافظ استفاده می‌شود. طریقه اتصال معمولاً سربه‌سر یا لب‌به‌لب است. سعی بر این است که میزان کربن معادل در فولاد حتی‌المقدور پایین نگه‌داشته شود تا جوش‌پذیری بهبود یابد. عموماً از سیم جوش ER70S-6 با قطر 0/8 و 1 و 1/2 میلی‌متر برای جوشکاری ورق فولادی Corten A استفاده می‌شود [3]. قطر سیم جوش متغیر بسیار مهمی است زیرا براساس آن میزان جریان، ولتاژ، و سرعت حرکت الکترود انتخاب می‌شود که این متغیرها میزان حرارت ورودی را مشخص می‌کنند. گاز آرگون یا دی‌اکسید کربن یا مخلوط آن‌ها برای محافظت از منطقه جوش در جوشکاری این ورق‌های فولادی مورداستفاده قرار می‌گیرند [8-11]. مطالعه صورت گرفته بر روی خواص مکانیکی جوش همجنس فولاد Corten A به روش قوس تنگستن با گاز محافظ با استفاده از سیم‌جوش تهیه شده از ورق فولاد پایه به عنوان جایگزین سیم‌جوش ER70S-6 نشان داد که با تغییر در نوع سیم جوش بهبود قابل ملاحظه‌ای در استحکام کششی و انرژی شکست منطقه جوش ایجاد نمی‌شود [3]. باید توجه داشت که علیرغم متداول بودن استفاده از سیم جوش ER70S-6 برای جوشکاری این دسته از ورق‌های فولادی هواناپذیر، منطقه جوش در محیط‌های بسیار مرطوب و یا در حضور آب ساکن مستعد به خوردگی اتمسفری و زنگ زدگی می‌شود [3]. یکی از کاربردهای مهم ورق‌های فولادی Corten A در مناطق ساحلی و یا سیستم‌های تصفیه فاضلاب است. این محیط‌ها به‌شدت خورنده هستند اما این ورق‌های فولادی در این محیط‌ها می‌توانند مقاومت به خوردگی خوبی را داشته باشند [10 و 12-16]. به دلیل وجود رطوبت، سرعت خوردگی و تخریب سازه‌های فلزی در اتمسفر دریایی بسیار بالا است و وجود آلاینده SO_x در مناطق شهری و صنعتی خوردگی را سرعت می‌بخشد [4]. رفتار خوردگی و خواص مکانیکی ورق‌های فولادی بر اثر جوشکاری تغییر می‌کند [4]. در اتصال همجنس و غیرهمجنس این ورق‌های فولادی، ترکیب شیمیایی قسمت‌های جوشکاری شده با ترکیب شیمیایی سایر بخش‌های سازه یکسان نیست که باعث مستعد شدن به خوردگی می‌شود [4]. هدف از پژوهش حاضر، اتصال همجنس ورق فولاد Corten A و نیز اتصال غیرهمجنس آن با ورق فولاد ساده کربنی St12 با استفاده از روش جوشکاری قوس فلز با گاز محافظ دی‌اکسید کربن است تا درک جامع‌تری از خواص مکانیکی و ریزساختار و عیوب جوش بدست آید.

2- مواد و روش انجام پژوهش

2-1- مواد مصرفی

از فولاد هواناپذیر Corten A و فولاد ساده کربنی St12 برای اتصال همجنس و غیرهمجنس استفاده شد. ترکیب شیمیایی فولاد Corten A و St12 و نیز ترکیب شیمیایی الکترود مصرفی

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.2476583.1401.8.1.2.0]

جدول 1- ترکیب شیمیایی فولاد هواناپذیر و فولاد ساده کربنی و الکترود مصرفی بر حسب درصد وزنی (* حداکثر مقدار مجاز).

مواد	Fe	Cr	Ni	Mo	C	Si	Mn	P	S	Nb	Al	Cu	Co	N
Corten A	Bal.	0.547	0.24	0.008	0.052	0.31	0.435	0.094	0.006	0.007	0.011	0.13	0.002	0.017
St12	Bal.	-	-	-	0.053	0.025	0.417	0.006	0.005	-	0.041	0.011	-	0.013
ER70S-6	Bal.	0.15*	0.15*	0.15*	0.06-0.15	0.8-1.15	1.4-1.85	0.025*	0.035*	-	-	0.5*	-	-

جدول 2- دستگاه جوش و پارامترهای مورد استفاده در روش جوشکاری قوس فلز با گاز محافظ.

پارامتر / ماده مصرفی / دستگاه	اتصال همجنس هواناپذیر – هواناپذیر	اتصال غیرهمجنس هواناپذیر – فولاد ساده کربنی
دستگاه جوشکاری	Multi Mig 1611	Multi Mig 1611
ولتاژ (ولت)	۱۹	۱۸٫۶
جریان (آمپر)	۷۸–۸۱	۷۹–۸۱
نرخ تزریق سیم جوش (متر بر دقیقه)	۵	۵
نرخ گاز محافظ (لیتر بر دقیقه)	۱۴	۱۴
سرعت جوشکاری (سانتی‌متر بر دقیقه)	۴۱٫۴	۳۶٫۵
فلز پرکننده	ER70S-6 (0.8 mm)	ER70S-6 (0.8 mm)
موقعیت جوشکاری	3G	3G
گاز محافظ (خلوص ۹۸ درصد)	CO_2	CO_2

در فرایند جوشکاری در جدول(1) ارائه شد. ابتدا ورق‌ها با ابعاد 45×15 سانتی متر مربع برش داده شدند. بعد از انجام تمیزکاری شیمیایی سطح، ورق‌ها به گیره بسته و در حالت 3G به یکدیگر متصل شدند (شکل 1). اتصال ورق‌های فولادی به روش جوشکاری قوس فلز با گاز محافظ دی‌اکسیدکربن صورت گرفت. پارامترها و نوع دستگاه جوشکاری در جدول(2) ارائه شده است. انتخاب روش قوس فلز با گاز محافظ به دلیل پایداری بالاتر قوس و بازدهی بالاتر فرایند جوشکاری نسبت به فرایند قوس تنگستن با گاز محافظ بود. حرارت ورودی میانگین در اتصال همجنس برابر با 1656/7 و در اتصال غیرهمجنس برابر با 1849/6 ژول بر سانتی‌متر محاسبه شد.

2-2- ارزیابی عیوب جوش با رادیوگرافی

از فیلم رادیوگرافی Kodak AA400 برای بررسی عیوب جوش و کیفیت اتصال بعد از فرایند جوشکاری استفاده شد. پرتوایکس تابشی با توان 170 کیلوولت بر فیلم تابیده شد و فیلم به مدت 6 ثانیه در معرض پرتو قرار داشت. نوع، محل و اندازه عیوب جوش در فیلم‌های رادیوگرافی مود تحلیل قرار گرفت.



شکل 1- آماده سازی و نحوه قرارگیری ورق‌های فولادی برای جوشکاری.

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.2476583.1401.8.1.2.0]

2-3- ارزیابی ریزساختار با میکروسکوپ نوری و میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی

برای بررسی‌های ریزساختاری در منطقه جوش، منطقه متاثر از حرارت، و فلزپایه، آماده‌سازی نمونه‌ها براساس استاندارد ASTM E3-11 صورت گرفت. بعد از سنباده‌زنی با سنباده‌های گرید 100، 240، 320، 600، 800، 1200، و 2000، و پالیش با خمیر الماسه، سطح صاف و صیقلی بدست آمد. سپس اچ شیمیایی به مدت 5 ثانیه در محلول نایتال 2 درصد انجام شد. بعد از انجام متالوگرافی با میکروسکوپ نوری، برای مطالعه دقیق‌تر ریزساختار جوش و آنالیز عنصری از منطقه فلزپایه و منطقه جوش از میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی (FESEM: MIRA 3 TESCAN) استفاده شد. عدد اندازه دانه طبق استاندارد ASTM E112 اندازه‌گیری شد. متالوگرافی کمی و تعیین درصد فازها به روش آنالیز تصویری با نرم‌افزار ImageJ صورت پذیرفت.

2-4- سختی سنجی

در این آزمون، دو استاندارد ISO/IEC17025 و ASTM E 384-17 مورد استفاده قرار گرفت. برای بررسی سختی ریزساختار در منطقه جوش، متأثر از حرارت، و فلزپایه از یک دستگاه سختی‌سنج استفاده شد تا روند تغییرات سختی اتصال از فلزپایه تا منطقه جوش بدست آید. سختی سنجی در دمای 25 درجه سانتی‌گراد و رطوبت 30 درصد انجام شد.

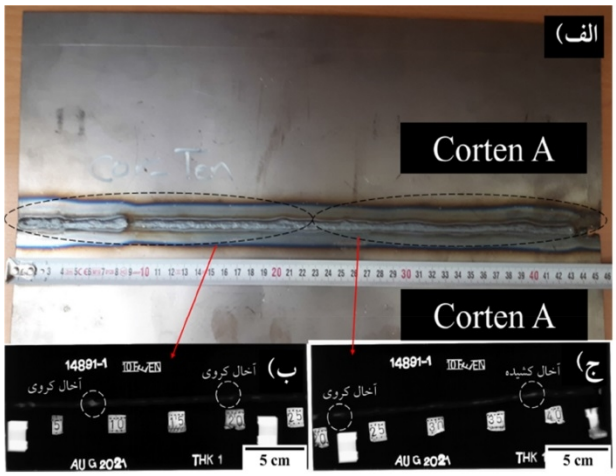
2-5- ارزیابی خواص مکانیکی با آزمون‌های کشش و خمش

براساس گزارش تایید دستورالعمل جوشکاری که مطابق با استاندارد ASME BPVC IX طراحی‌شد، از هر اتصال در مناطق مشخص‌شده باید 2 عدد آزمون کشش، 2 عدد آزمون خمش ریشه، و 2 عدد آزمون خمش گرده گرفته شود. آزمون کشش به‌صورت کمی گزارش‌شده و استحکام اتصال را نشان می‌دهد. آزمون‌های خمش ریشه و خمش گرده به‌صورت کیفی بوده و حضور عیوب احتمالی بعد از خمش 180 درجه‌ای نمونه جوش را بیان می‌کنند. آزمون‌های کشش و خمش در محدوده دامنه گواهینامه استاندارد ISO/IEC17025 قرار دارند و در دمای 25 درجه سانتی‌گراد و رطوبت 35 درصد انجام شدند. استاندارد مرجع آزمون‌های مذکور ASME BPVC IX 2021 می‌باشد [8-2].

3- نتایج و بحث

3-1- عیوب جوش

براساس نتایج آزمون رادیوگرافی، در اتصال همجنس آخال‌های کروی و کشیده در طول جوش قابل تشخیص است که اندازه بزرگ‌ترین آخال برابر با 1/8 میلی‌متر بود (شکل 2). در اتصال غیرهمجنس، آخال‌های کروی و آخال خطی آشکار شد که اندازه بزرگ‌ترین آخال کروی 0/7 میلی‌متر و اندازه آخال خطی 2/5 میلی‌متر بود (شکل 3). تعداد و پراکندگی آخال‌های کروی در اتصال غیرهمجنس بیشتر از اتصال همجنس بود. محل دقیق قرارگیری آخال‌ها بر روی فیلم‌های رادیوگرافی در شکل‌های (2 و 3) نشان داده شده است.



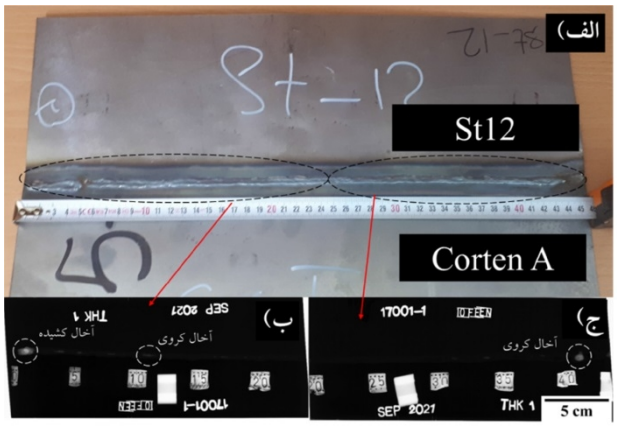
شکل2- الف- تصویر مقطع جوشکاری شده اتصال همجنس، ب و ج- تصاویر رادیوگرافی مقطع جوش.

3-2- ریزساختار

ریزساختار فلزپایه شامل فولاد هواناپذیر و ساده کربنی به ترتیب در شکل(4 و 5) نشان داده‌شده است. ریزساختار منطقه جوش در اتصال همجنس در شکل(6) و اتصال غیرهمجنس در شکل (7) مشاهده می‌شود. بخش اصلی از ریزساختار هردو فولاد را فریت تشکیل می‌دهد. مشاهده شد که ساختار منطقه جوش کاملاً درشت‌دانه است.

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-22]
[DOR: 20.1001.1.2476583.1401.8.1.2.0]

ریزساختار منطقه جوش در اتصال همجنس و غیرهمجنس شامل فریت سوزنی، فریت ویدمن‌اشتاتن و فریت مرزدانه‌ای است. عدد اندازه دانه در ورق فولاد هواناپذیر برابر با 11/6 و در ورق فولاد ساده کربنی برابر با 11/4 محاسبه شد.



شکل 3- الف- تصویر مقطع جوشکاری شده اتصال غیرهمجنس ب و ج- تصاویر رادیوگرافی مقطع جوش.

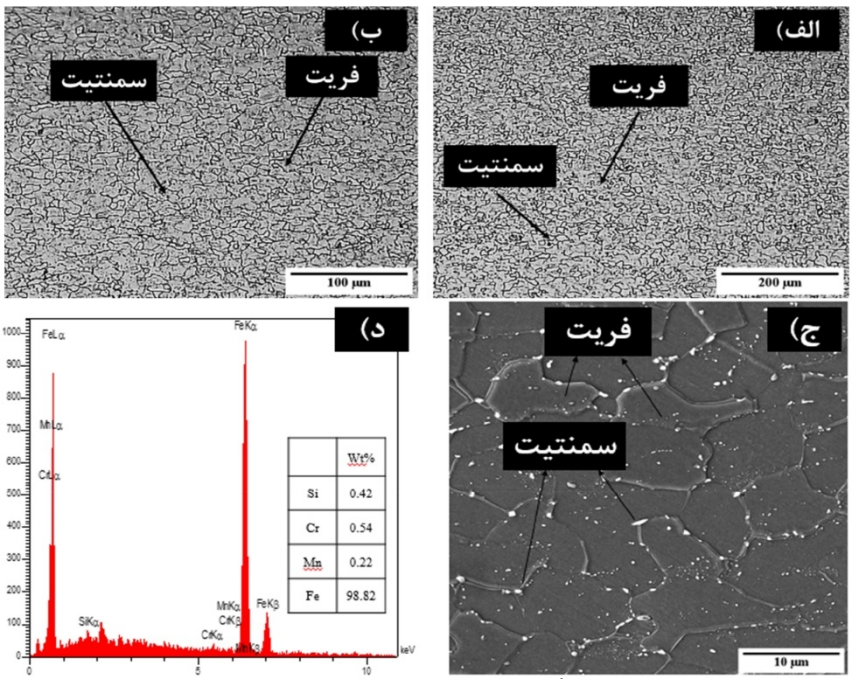
عدد اندازه دانه در منطقه جوش در اتصال همجنس برابر با 2 و در اتصال غیرهمجنس برابر با 1/2 اندازه‌گیری شد. ریزساختار فولاد هواناپذیر (فلزپایه در شکل 4) شامل 86 درصد فریت و 14 درصد سمانتیت، ریزساختار فولاد ساده کربنی (فلزپایه در شکل 5) شامل 92 درصد فریت و 8 درصد پرلیت، ریزساختار اتصال همجنس (منطقه جوش در شکل 6) شامل 60 درصد ساختار ویدمن‌اشتاتن، 14 درصد فریت مرزدانه‌ای، و 26 درصد فریت سوزنی، و ریزساختار اتصال غیرهمجنس (منطقه جوش در شکل 7) شامل 57 درصد ساختار ویدمن-اشتاتن، 6 درصد فریت مرزدانه‌ای، و 37 درصد فریت سوزنی است. آنالیز عنصری نشان داد که میزان سیلیسیم، کروم، و منگنز در منطقه جوش در اتصال همجنس (شکل 6-د) به ترتیب 2/6، 2/3 و 1/5 برابر بیشتر از اتصال غیرهمجنس (شکل 7-د) می‌باشد. با توجه به نقش عنصر کروم در بهبود مقاومت به خوردگی در فولادهای هواناپذیر، می‌توان انتظار داشت منطقه جوش در اتصال همجنس مقاومت به خوردگی بیشتری نسبت به اتصال غیرهمجنس داشته باشد که مطالعات خوردگی و الکتروشیمیایی جهت تایید این نکته مورد نیاز است. همچنین بالاتر بودن میزان منگنز و سیلیسیم و کروم در منطقه جوش اتصال همجنس نسبت به غیرهمجنس باعث افزایش درصد فاز فریت مرزدانه‌ای و کاهش درصد فاز فریت سوزنی در اتصال همجنس نسبت به غیرهمجنس شده است که می‌تواند باعث بهبود استحکام و سختی منطقه جوش در اتصال همجنس شود که در بخش 3-3 و 3-4 مورد بحث قرار گرفت.

3-3- خواص مکانیکی

تصاویر نمونه‌های خواص مکانیکی شامل آزمون‌های کشش و خمش مربوط به اتصالات همجنس و غیرهمجنس به ترتیب در شکل‌های (8 و 9) مشاهده می‌شود. بررسی چشمی و تحلیل کیفی نمونه‌های آزمون خمش عدم وجود عیوبی مانند ترک را در منطقه جوش و اطراف آن تایید کرد. این مشاهده کیفی منطبق با گزارش تایید دستورالعمل جوشکاری براساس استانداردASME BPVC IX است و حاکی از استحکام خمشی مطلوب هر دو نوع اتصال جوش بود. استحکام کششی اتصال همجنس بیشتر از اتصال غیرهمجنس بود. شکست نمونه‌های کشش در اتصال همجنس (شکل 8) یک مرتبه در منطقه فولاد هواناپذیر (فلزپایه) و بار دیگر در منطقه متأثر از حرارت رخ داد که هر دو حالت در شکل 8-الف مشاهده می شود. شکست در منطقه فلزپایه به‌صورت برشی با زاویه 45 درجه است اما شکست در نمونه کشش دیگر در منطقه متأثر از حرارت جوش و به‌صورت کاملاً ترد اتفاق افتاد (شکل 8-الف). شکست ترد در منطقه جوش در اتصال همجنس در شکل(8-الف) را می‌توان به حضور آخال‌ها (بخش 3-1) و عناصر میکروآلیاژی نیکل، کروم، و مس که تمایل به تشکیل آخال‌های اکسیدی و کاربیدهای آلیاژی دارند (بخش 3-2) نسبت داد. استحکام کششی در اتصال همجنس برابر با 497 مگاپاسکال بود. شکست نمونه‌های کشش در اتصال غیرهمجنس (شکل 9) در منطقه فولاد ساده کربنی (فلزپایه) رخ داد و در هر دو نمونه شکست به‌صورت برشی و با زاویه 45 درجه اتفاق افتاد که در شکل(9-الف) مشاهده می‌شود.

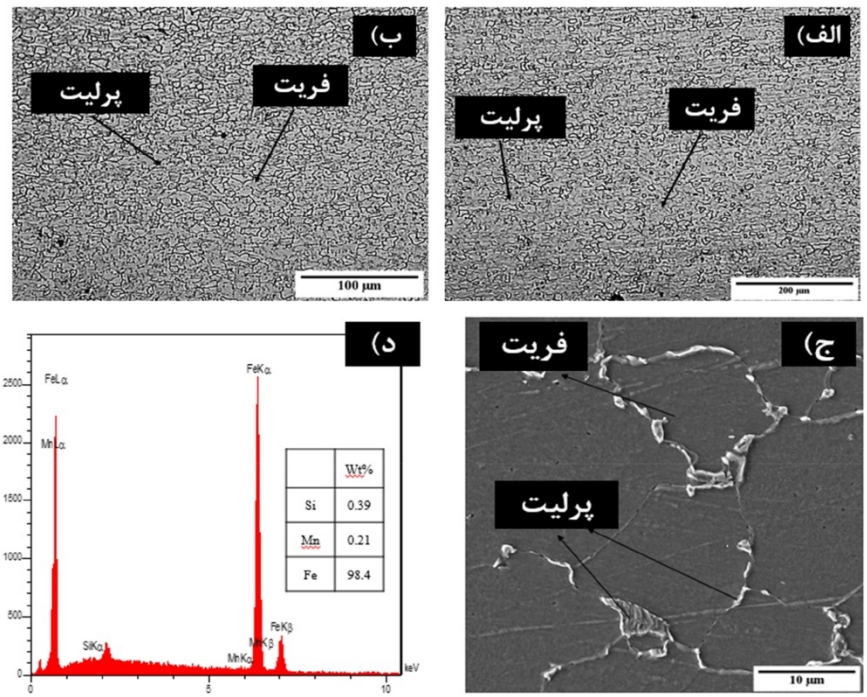
[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.2476583.1401.8.1.2.0]



شکل 4- ریزساختار فلزپایه فولاد هواناپذیر

الف و ب- میکروسکوپ نوری و ج- میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی د- آنالیز عنصری.



شکل 5- ریزساختار فلز پایه فولاد ساده کربنی

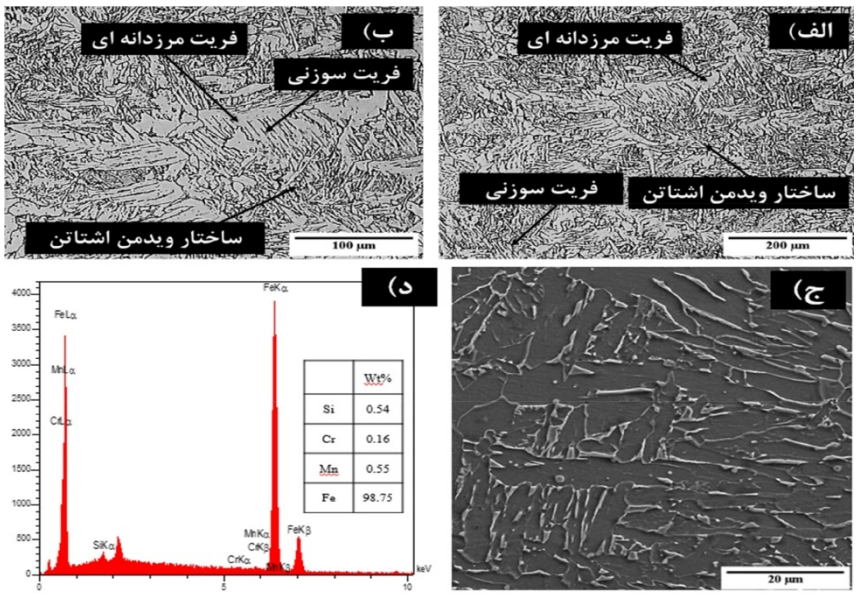
الف و ب- میکروسکوپ نوری و ج- میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی، د- آنالیز عنصری.

استحکام کششی در اتصال غیرهمجنس برابر با 303 مگاپاسکال بود. روند مشاهده شده در استحکام کششی اتصالات همجنس و غیرهمجنس با ارزیابی ریزساختار و ترکیب شیمیایی منطقه جوش که در بخش 3-2 بحث شد منطبق است.

در یک مطالعه انجام شده بر روی جوش همجنس فولاد Corten A به روش قوس تنگستن با گاز محافظ با استفاده از سیم جوش تهیه شده از همان ورق فولادی به عنوان جایگزین سیم جوش ER70S-6 [3]، استحکام کششی جوش به طور

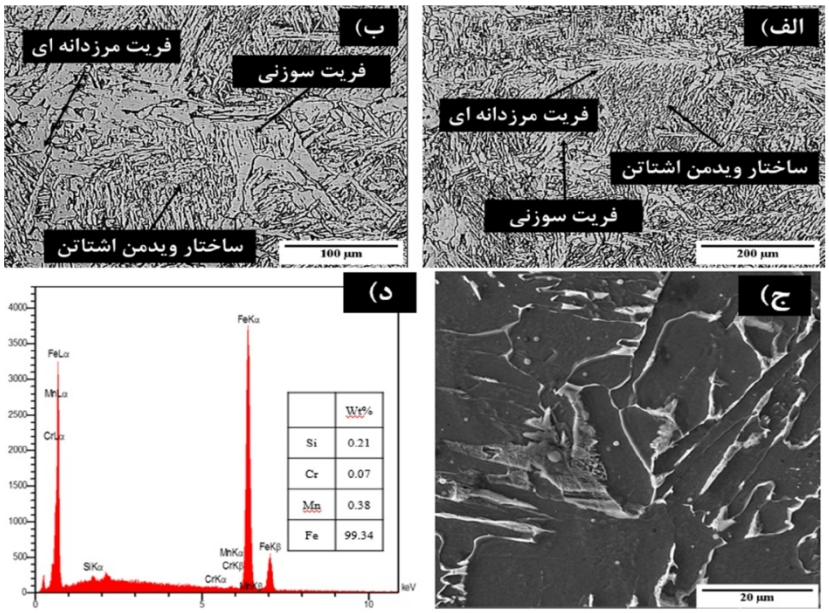
[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.2476583.1401.8.1.2.0]



شکل 6- ریزساختار منطقه جوش در اتصال همجنس

الف و ب- میکروسکوپ نوری و ج- میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی د- آنالیز عنصری.



شکل 7- ریزساختار منطقه جوش در اتصال غیرهمجنس

الف و ب- میکروسکوپ نوری ج- میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی د- آنالیز عنصری.

میانگین 514 مگاپاسکال گزارش شد که اختلاف چندانی با استحکام کششی 497 مگاپاسکال اندازه‌گیری شده در مطالعه فعلی برای اتصال همجنس فولاد Corten A به روش قوس فلز با گاز محافظ ندارد. البته در مطالعه اشاره شده [3]، دستورالعمل جوشکاری و پارامترهای جوش متفاوت از مطالعه حاضر بود به نحوی‌که حرارت ورودی میانگین حدود 38 درصد کمتر از مطالعه فعلی محاسبه شد و عیوب جوش نیز مورد بررسی قرار نگرفتند که در مقایسه نتایج باید مورد توجه قرار گیرد. در اتصال ورق‌های فولادی Corten A به Corten B به روش جوشکاری قوس فلز با گاز دی‌اکسید کربن، استحکام کششی جوش حدود 510 مگاپاسکال گزارش شده است [17].

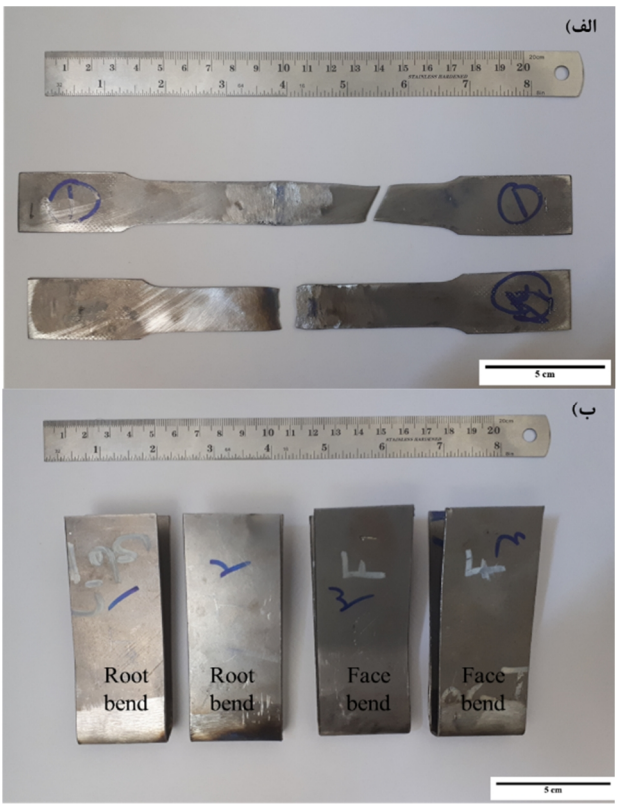
3-4- سختی سنجی

نمودار میله‌ای در شکل(10)، روند تغییرات سختی در اتصال

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-22]

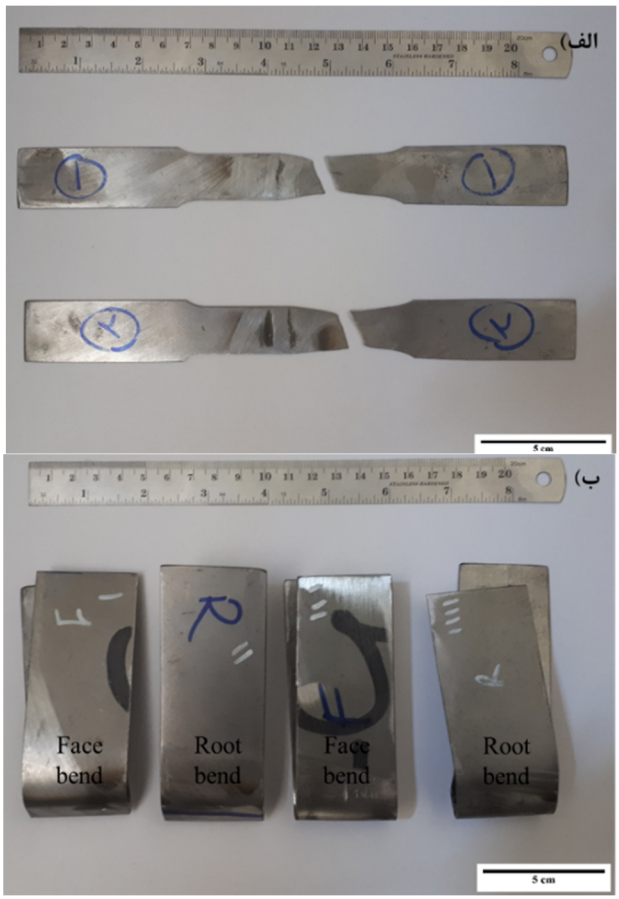
[DOR: 20.1001.1.2476583.1401.8.1.2.0]

همجنس و غیرهمجنس در مناطق فلزپایه، متاثر از حرارت جوش، و جوش برحسب ویکرز را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که سختی فولاد ساده کربنی از سختی فولاد هواناپذیر کمتر است که ناشی از وجود عناصر آلیاژی همچون کروم و مس در فولاد هواناپذیر است و در بخش 3-2 به آن اشاره شد. همچنین سختی در منطقه جوش و منطقه متأثر از حرارت در اتصال همجنس بالاتر از اتصال غیرهمجنس است. همانطور که در بخش 3-2 بحث شد، وجود عناصر آلیاژی در فولاد هواناپذیر باعث به وجود آمدن کاربیدهای آلیاژی در مرزدانه‌ها شده و فازهای غیرتعادلی همچون فریت سوزنی و ساختار ویدمن-اشتاتن تشکیل می‌شود.

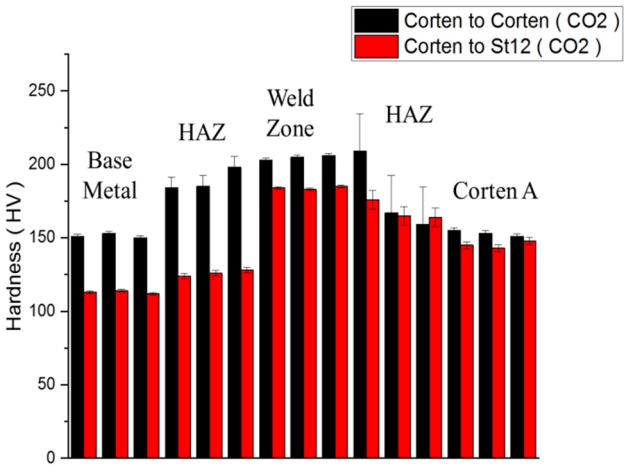


شکل 8- نمونه‌های اتصال همجنس بعد از
الف- آزمون کشش ب- آزمون خمش ریشه و خمش گرده جوش.

همانطور که در بخش 3-2 اشاره شد، ریزساختار در اتصال همجنس ریزدانه‌تر از اتصال غیرهمجنس است و به همین دلیل سختی اتصال همجنس بیشتر از اتصال غیرهمجنس اندازه‌گیری شد. سختی منطقه جوش در اتصال همجنس 210 ویکرز و در غیرهمجنس 180 ویکرز بود. میانگین سختی در منطقه متأثر از حرارت در اتصال همجنس 190 ویکرز و در غیرهمجنس 180 ویکرز (در طرف فولاد هواناپذیر) و 130 ویکرز (در طرف فولاد ساده کربنی) بود.



شکل 9- نمونه‌های اتصال غیرهمجنس بعد از
الف- آزمون کشش ب- آزمون خمش ریشه و خمش گرده جوش.



شکل 10- روند تغییرات سختی در مناطق فلزپایه، متاثر از حرارت جوش، و جوش در اتصالات همجنس و غیرهمجنس.

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-22]
[DOR: 20.1001.1.2476583.1401.8.1.2.0]

4- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این پژوهش، عیوب جوش، خواص مکانیکی، سختی و ریزساختار در اتصال فولاد هواناپذیر به فولاد هواناپذیر (همجنس) و فولاد هواناپذیر به فولاد ساده کربنی (غیرهمجنس) به روش جوشکاری قوس فلز با گاز محافظ دی‌اکسیدکربن مورد ارزیابی قرار گرفت.

- تعداد و پراکندگی عیوب جوشکاری مانند آخال و عیوب گازی در اتصال همجنس کمتر از اتصال غیرهمجنس بود. قطر بزرگترین آخال کروی در اتصال همجنس و غیرهمجنس به ترتیب 1/8 و 0/7 میلی‌متر بود. آخال‌های خطی در اتصال غیرهمجنس به طول حداکثر 2/5 میلی‌متر شناسایی شدند.

- میزان عناصر سیلیسیم، کروم، و منگنز در منطقه جوش در اتصال همجنس به ترتیب 2/6، 2/3، و 1/5 برابر بیشتر از اتصال غیرهمجنس بود. با توجه به نقش عنصر کروم در بهبود مقاومت به خوردگی در فولادهای هواناپذیر، می‌توان انتظار داشت منطقه جوش در اتصال همجنس مقاومت به خوردگی بیشتری نسبت به اتصال غیرهمجنس داشته باشد که مطالعات خوردگی و الکتروشیمیایی جهت تایید این نکته مورد نیاز است.

- بالاتر بودن میزان عناصر منگنز و سیلیسیم و کروم در منطقه جوش اتصال همجنس نسبت به غیرهمجنس باعث افزایش درصد فاز فریت مرزدانه‌ای و کاهش درصد فاز فریت سوزنی در اتصال همجنس نسبت به غیرهمجنس شد که عامل بهبود استحکام و سختی منطقه جوش در اتصال همجنس بود.

- استحکام کششی در اتصال همجنس 497 مگاپاسکال و در اتصال غیرهمجنس 303 مگاپاسکال اندازه گیری شد که بهبودی به میزان 64% در استحکام کششی اتصال همجنس را نشان داد. سختی منطقه جوش در اتصال همجنس 210 ویکرز و در اتصال غیرهمجنس 180 ویکرز بود. بررسی چشمی و تحلیل کیفی نمونه‌های آزمون خمش عدم وجود عیوب مانند ترک را در منطقه جوش و اطراف آن تایید کرد. این مشاهده کیفی منطبق با گزارش تایید دستورالعمل جوشکاری براساس استاندارد ASME BPVC IX است و حاکی از استحکام خمشی مطلوب هر دو نوع اتصال جوش بود.

- در اتصال غیرهمجنس شکست نمونه‌های کشش به صورت کاملا برشی با زاویه 45 درجه رخ داد. اما در اتصال همجنس شکست نمونه‌های کشش یکی به صورت برشی و با زاویه 45 درجه و دیگری به صورت کاملا ترد دچار شکست شد که می‌تواند ناشی از تشکیل آخال‌های اکسیدی و کاربیدی در طی عملیات جوشکاری به دلیل عناصر میکروآلیاژی نیکل، مس، و کروم در اتصال همجنس فولاد باشد.

منابع

1- Deepak, J. R., Bupesh Raja, V. K., Viswanatha Reddy, P., Lakshmi Venkata Sai, L., & Ashok Kumar Reddy, G. (2019). Investigation of microstructural and metallurgical properties of Corten A588 grade steel gtaw joints. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development*, *9*(5), 1257–1264. https://doi.org/10.24247/ijmperdoct2019111

2- Vairamani, V., Mohan, N., Venkatesh, Karthikeyan, S. K., & Sakthivel, M. (2020). Optimization and microstructure analysis of Corten steel joint in mag welding by post heat treatment. *Materials Today: Proceedings*, *21*(xxxx), 673–680. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.06.737

3- Deepak, J. R., Bupesh Raja, V. K., Jeswin Arputhabalan, J., Yupendra Kumar, G. R., & Thomas, S. K. (2019). Experimental investigation of Corten A588 filler rod for welding weathering steel. *Materials Today: Proceedings*, *16*, 1233–1238. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.05.219

4- وطن دوست، مهرداد و محمدی زهرانی، احسان و بیدختی، بهروز و داودی، علی (1400). میکرو ساختار و خواص مکانیکی منطقه جوش در اتصال فولاد هواناپذیر Corten A به فولاد ساده کربنیSt12 به روش جوشکاری قوس فلز با گاز محافظ دی اکسید کربن، چهارمین کنفرانس بین المللی جوشکاری و آزمایش‌های غیرمخرب و بیست و دومین کنفرانس ملی جوش و بازرسی و یازدهمین کنفرانس ملی آزمایش‌های غیرمخرب، اصفهان، ایران، https://civilica.com/doc/1423743

5- Aramendia, J., Gomez-Nubla, L., Castro, K., Martinez-Arkarazo, I., Vega, D., Sanz López De Heredia, A., García Ibáñez De Opakua, A., & Madariaga, J. M. (2012). Portable Raman study on the conservation state of four CorTen steel-based sculptures by Eduardo Chillida impacted by urban atmospheres. *Journal of Raman Spectroscopy*, *43*(8), 1111–1117. https://doi.org/10.1002/jrs.3158

6- Mansouri, H. (2014). pH effect microbial corrosion of Corten steel and Carbon steel in oily waste water with Pseudomonas Aeruginosa. *IOSR Journal of Engineering*, *4*(1), 28–32. https://doi.org/10.9790/3021-04162832

7- Mansouri, H., Alavi, S. A., & Fotovat, M. (2015). Microbial-Influenced Corrosion of Corten Steel Compared with Carbon Steel and Stainless Steel in Oily Wastewater by Pseudomonas aeruginosa. *Jom*, *67*(7), 1594–1600. https://doi.org/10.1007/s11837-015-1429-1

8- Deepak, J. R., Bupesh Raja, V. K., & Kaliaraj, G. S. (2019).

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.2476583.1401.8.1.2.0]

13- Kangazian, J., & Shamanian, M. (2019). Effect of Pulsed Current on the Microstructure, Mechanical Properties and Corrosion Behavior of Ni-Based Alloy/Super Duplex Stainless Steel Dissimilar Welds. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, *72*(9), 2403–2416. https://doi.org/10.1007/s12666-019-01693-1

14- Wu, W., Hu, S., & Shen, J. (2015). Microstructure, mechanical properties and corrosion behavior of laser welded dissimilar joints between ferritic stainless steel and carbon steel. *Materials and Design*, *65*, 855–861. https://doi.org/10.1016/j.matdes.2014.09.064

15- Liu, H., Huang, F., Yuan, W., Hu, Q., Liu, J., Cheng, F. (2020) Essential role of element Si in corrosion resistance of a bridge steel in chloride atmosphere. *Corrosion Science*, 173, 108758. https://doi.org/10.1016/j.corsci.2020.108758

16-Huang, C., Huang, F., Liu, H. X., Hu, Q., & Liu, J. (2019). The galvanic effect of high-strength weathering steel welded joints and its influence on corrosion resistance. *Corrosion Engineering Science and Technology*, 54 (7), 556–566. https://doi.org/10.1080/1478422X.2019.1636484

[17] Vairamani, V., Mohan, N., Venkatesh, S., Karthikeyan, K., Sakthivel, M. (2020) Optimization and microstructure analysis of Corten steel joint in mag welding by post heat treatment. *Materials Today: Proceedings*, 21(1), 673-680. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.06.737

Mechanical and corrosion behavior of Cu, Cr, Ni and Zn electroplating on Corten A588 steel for scope for betterment in ambient construction applications. *Results in Physics*, *14*, 102437. https://doi.org/10.1016/j.rinp.2019.102437

9- Sahoo, G., Deva, A., Singh, B., & Sexena, A. (2014). Corrosion Behaviour of High Phosphorus Containing Cu - Cr Weather Resistant Steel. *Journal of Metals, Materials and Minerals 24* (2), 1–8. https://doi.org/10.14456/jmmm.2014.9

10- Morcillo, M., Díaz, I., Cano, H., Chico, B., & de la Fuente, D. (2019). Atmospheric corrosion of weathering steels. Overview for engineers. Part I: Basic concepts. *Construction and Building Materials*, *213*, 723–737. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.334

11- Morcillo, M., Díaz, I., Cano, H., Chico, B., & de la Fuente, D. (2019). Atmospheric corrosion of weathering steels. Overview for engineers. Part II: Testing, inspection, maintenance. *Construction and Building Materials*, *222*, 750–765. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.06.155

12- Ashari, R., Eslami, A., Shamanian, M., & Asghari, S. (2020). Effect of weld heat input on corrosion of dissimilar welded pipeline steels under simulated coating disbondment protected by cathodic protection. *Journal of Materials Research and Technology*, *9*(2), 2136–2145. https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.12.044

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.2476583.1401.8.1.2.0]