پژوهش های شیمی
C
R

جوشکاری لب به لب لوله‌های پلی اتیلنی، قسمت دوم: مقایسه ویژگی‌های پلیمری ناحیه جوش با ماده پایه جوش‌نخورده

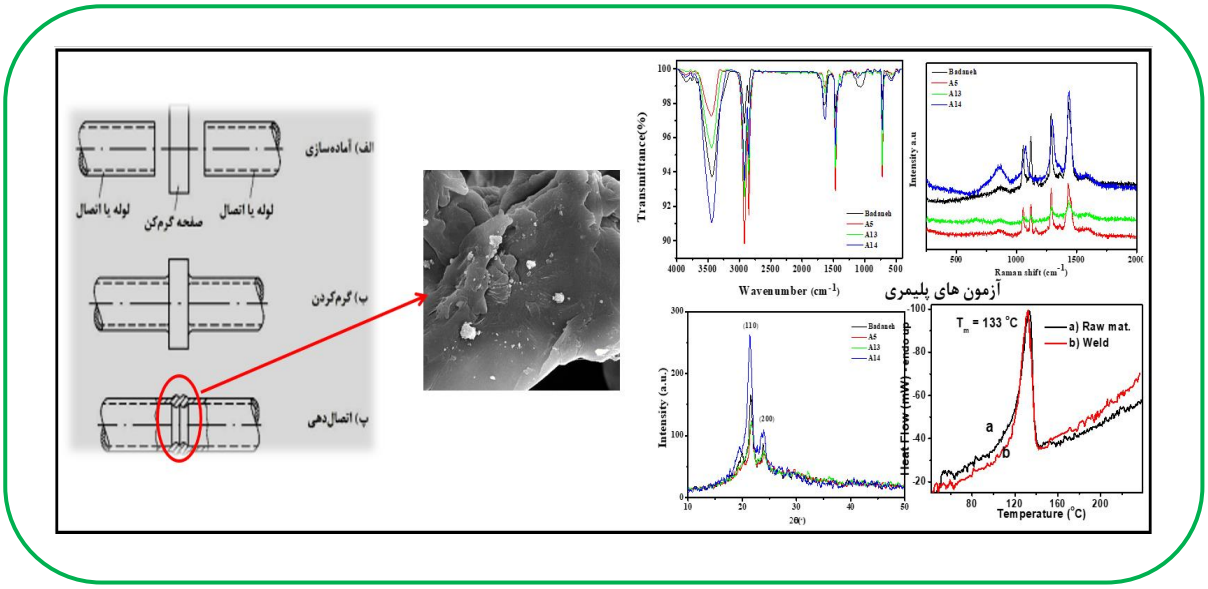
بهمن زارع کاظمیه[۱]، امیر مصطفی پور*[۱] و رضا نجار[۲]

[۱]تبریز، دانشگاه تبریز، دانشکده مهندسی مکانیک، گروه ساخت و تولید، آزمایشگاه جوش
[۲]تبریز، دانشگاه تبریز، دانشکده شیمی، آزمایشگاه مبانی شیمی پلیمر

تاریخ دریافت: ۲۴ آذر ۱۴۰۳ **تاریخ پذیرش: ۲۰ بهمن ۱۴۰۳**

چکیده: با توجه به کاربرد وسیع لوله‌های پلی‌اتیلنی در انتقال آب، نفت و گاز در صنایع مختلف آب و فاضلاب، نفت و گاز و صنایع پالایشگاهی، اتصال این لوله‌ها به موضوع مهمی برای پژوهشگران تبدیل شده است. روش جوشکاری لب‌ـبه‌ـلب ذوبی به‌جای روش الکتروفیوژن که دارای محدودیت‌هایی مانند استحکام پائین اتصال و هزینه بالا است، به عنوان راه حل مناسبي معرفی شده است. در این مقاله چهار نمونه شامل نمونه ماده پایه بدنه و سه نمونه (A5، A13 و نمونه بهینه A14) انتخاب و با شرایط متفاوت از نظر دما، زمان و فشار جوشکاری با مطالعه‌هاي پلیمری از جمله طیف‌سنجی زیرقرمز و رامان، آنالیز پراش پرتو ایکس، گرماسنجی روبشی تفاضلی و میکروسکوپ الکترونی روبشی بر روی نمونه بدنه و نمونه بهینه جوش پلی‌اتیلن با چگالي بالا که به صورت لب‌ـبه‌ـلب به هم جوش شده‌اند، بررسی شد. طیف‌سنجی‌هاي زیرقرمز و رامان نشان داد که برای نمونه بدنه و نمونه بهینه با انجام جوش لب‌ـبه‌ـلب، کاهش بلورینگی وجود نداشت . همچنین آنالیز پراش پرتو ایکس نشان‌دهنده افزایش نسبی بخش بي‌شکل (آمورف) نسبت به نمونه بدنه را نشان داد. آنالیز حرارتی نمونه نشان داد که دمای ذوب نمونه بدنه و نمونه جوش‌داده شده تفاوت چندانی نداشتند و نقطه ذوب آنها در حدود ۱۳۳ درجه سانتی‌گراد بود. تصویرهاي میکروسکوپ الکتروني روبشي، ریخت تقریبا یکسان و ورقه مانند را برای نمونه بدنه و نمونه بهینه نشان داد.

کلید واژه: پلی‌اتیلن سنگین، لوله پلی اتیلنی، جوشکاری لب به لب، انتقال سیالات



۱- مقدمه

ویژگي‌هاي منحصر به فرد پلی¬اتیلن با چگالی بالا باعث شده است که از این پلیمر در صنایع زیادی استفاده شود. دوام و استحکام بسیار بالای این پلیمر موجب شده که از آن برای ساخت انواع لوله برای انتقال آب و گاز، اتصال‌ها و مخازن پلی¬اتیلنی به کار گرفته شود. علاوه بر این موارد، از این پلیمر برای تولید انواع قطعات پلاستیکی، انواع بطری، جعبه‌های حمل و نقل، انواع ظروف نگهداری مواد غذایی و کیسه‌های بسته بندی استفاده می شود. از مهم ترین ویژگی‌های پلی‌اتیلن با چگالی بالا که سبب کاربرد وسیع آن شده است می‌توان به هزینه پائین تولید، فرآیندپذیری آسان و نفوذناپذیری خوب در برابر رطوبت و عدم خوردگی اشاره کرد. قطعه‌هاي ساخته‌شده از این پلیمر دارای ویژگي‌هاي عمومی مناسب، حالت نرمش قابل قبول، سطح خارجی سخت، مقاومت الکتریکی خوب، بدون بو و مزه و دارای ویژگي-هاي شیمیایی مناسب مانند مقاومت در برابر اسیدها، بازها، الکل ها و مقاومت کم در مقابل اتر، کتون، استر، روغن و چربی می‌باشند [۱]. لوله های پلی¬اتیلن که با استفاده از روش اکستروژن تولید می گردند، به‌دلایل زیادی از جمله عمر طولانی مدت، انعطاف‌پذیری و قابلیت تحمل بارگذاری‌های مختلف از جمله در شرایط زلزله، وزن کمتر نسبت به انواع محصولات فولادی، چدنی و بتنی، رسوب ناپذیری، به دلیل صیقلی بودن سطح داخلی لوله و اثر خود تمیزشوندگی، مقاوم تا دمای ۴۰ درجه سانتیگراد [۲] و نامحلول بودن در برابر بیشتر حلال‌های آلی، مقاوم در برابر مواد خورنده (اسیدها، نمک‌ها و بازها)، مقاوم در برابر اشعه فرابنفش آفتاب به دلیل استفاده از مواد ضدفرابنفش و مقاوم در برابر حمله جوندگان و میکروارگانیسم‌ها رواج یافته است.

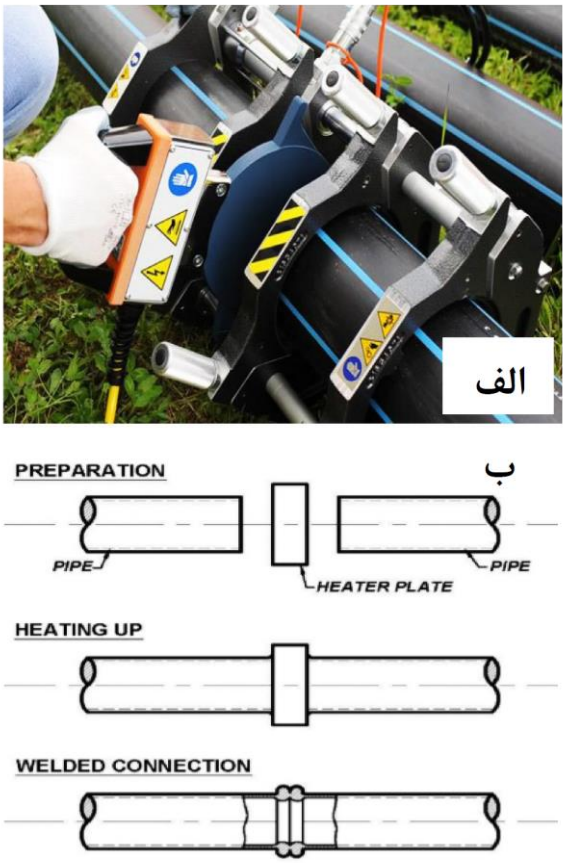
استفاده از لوله های پلی اتیلن در صنایع نفت و گاز سابقه ای طولانی دارد و در مقایسه با سایر لوله ها کمترین میزان نیاز به تعمیر و نگهداری را برای توزیع گاز شهری دارند. در گذشته به دلیل مسائل مربوط به نگهداری آنها در برابر خوردگی و آثاری که به مرور در نتیجه خوردگی ناشی از کلر موجود در آب در لوله های پلی اتیلن بوجود می آمد، از این لوله ها در شبکه های آبرسانی استفاده چندانی نمی شد؛ اما امروزه این مشکلات در لوله های پلی اتیلن با چگالی بالا برطرف شده است و استفاده از این لوله ها در شبکه های آبرسانی نیز رو به رشد است. در صنعت انتقال در زیر آب دریا نیز از ابتدای دهه ۱۹۵۰ لوله های پلی¬اتیلنی به طور فزاینده ای جهت کاربرد های دریایی مورد استفاده قرار گرفت [۳].

از آنجا که پلی اتیلن یک ماده گرمانرم است، لوله و اتصال‌هاي پلی اتیلنی را می توان با اعمال همزمان گرما و فشار تولید نمود و با استفاده از فرآیندهای جوش حرارتی در دمایی بالاتر از نقطه ذوب سطوح در تماس، می توان لوله های پلی اتیلن را به‌طور دائمی به هم جوش داد. روش های مختلفی برای جوش پلی¬اتیلن مورد بررسی قرار گرفته است که از جمله آنها می‌توان به روش جوش لب به لب، جوش زینی، جوش سوکتی و جوش الکتروفیوژن اشاره کرد [۶-۴].

پرکاربردترین روش مورد استفاده برای اتصال لوله‌های پلی اتیلنی به همدیگر و همچنین اتصال لوله‌ها به دیگر اتصال‌هاي پلی اتیلنی، جوش حرارتی لبه های انتهایی یا لب¬به¬لب می‌باشد. در شکل ۱ تصویر و طرح واره روش جوشکاری لب¬به¬لب شان داده شده است [۷]. این روش، اتصالی دائم، مقرون به صرفه اقتصادی و پربازده به‌وجود می‌آورد. جوش لب¬به¬لب با کیفیت توسط اپراتورهای آموزش‌دیده و با استفاده از دستگاه‌های جوش لب به لب با کیفیت و در شرایط خوب حاصل می شوند [۸ و ۹]. در این روش دو سر لوله‌های پلی اتیلن قبل از اتصال به صورت همزمان حرارت داده می‌شوند. این حرارت توسط صفحه داغ انجام شده و دمای صفحه داغ به حدود ۲۱۰ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. در مرحله حرارت دهی و خنک‌کردن می‌بایست سنجه‌های زمان و فشار مکانیکی وارده بر لوله پلی اتیلن رعایت شوند [۱۰]. دستگاه جوش لب به لب باید قابلیت‌هایی مانند اعمال نیروی جوش مناسب، حرارت دادن سر لوله‌ها، روبروی هم نگهداشتن سر لوله‌ها به‌صورت موازی و عمود بر خط مرکزی لوله [۱۱ و ۱۲]، نگهداشتن لوله‌ها و هم راستاکردن سر لوله‌ها داشته باشد [۱۳ و ۱۴].

دو سر لوله‌هایی که قرار است به هم متصل شوند باید تمیز بوده و هم راستا و عمود بر خط مرکزی لوله ها باشد، دو سر لوله ها ذوب و توسط اعمال نیروی جوش لازم به هم متصل می شوند. تا زمان خنک شدن باید لوله ها تحت فشار قرارگیرند. روش استاندارد این نوع جوشکاری شامل استاندارد ملی شماره ۵۱۶۲۱-INSO و ASTM F 2620 می‌باشد. عدم امکان کاربرد در تعمیرات، اتصال لوله‌های کلافی، جوشکاری لوله‌های با قطر کمتر از ۱۱۰ میلی‌متر، انشعاب‌گیری، جوش با اجزا و یا MRS یا SDRهای متفاوت از محدودیت‌های روش

جوشکاری لب¬به¬لب می باشد [۱۵ و ۱۶].



شکل ۱. الف) تصویر و ب) طرح واره روش جوشکاری لب به لب [۷].

ویجایان و همکاران [۱۷] درسال ۲۰۱۶ به مطالعه ویژگي‌هاي حرارتی و مکانیکی اتصال با اعمال تابش پرتو الکترونی در جوشکاری سر به سر لوله های پلی اتیلن با چگالی بالا پرداختند. آنها از آزمون‌های گرماسنجی روبشی تفاضلی، پراش پرتو ایکس، و طیف-سنجي زیرقرمز برای بررسی تغییرات بلورینگی ناشی از اثر تابش پرتو الکترونی استفاده کردند. ریزساختار اتصال لب به لب در لوله های پلی¬اتیلن با چگالی بالا با استفاده از پراش پرتو ایکس با زاویه باز و کوچک، انجام یافته است [۱۸]. در این پژوهش، جهت‌گیری زنجیره‌های پلیمری در منطقه ذوب بررسی شد. برای این‌کار، آنها از تغییر زاویه‌های تابش پرتو ایکس و با استفاده از پراش پرتو ایکس با زاویه وسیع و کوچک در مکان‌های مختلف ناحیه ذوب استفاده کردند [۱۷ و ۱۹]. نتایج کار نشان داد که بلورها در دو حالت مختلف جهت‌گیری داشتند. جهت اول این‌که که زنجیره‌های پلیمری به موازات خط ذوب به طور مداوم در سراسر ناحیه ذوب جهت‌گیری می‌کنند. همچنین بلورها بسته به موقعیت در ناحیه ذوب در جهت‌های خاصی آرایش می‌یابند. ترکیب فشار و جریان مذاب در طول فرآیند اتصال منجر به ساختار پیچیده‌ای از نظر آرایش‌بندی زنجیرهای پلیمری و بلورهای ریز می‌شود [۱۷، ۲۰ و ۲۱]. با در نظر گرفتن موارد بالا، پژوهش حاضر با هدف مطالعه جوشکاری لب¬به¬لب لوله های پلی¬اتیلنی ساخت داخل که به‌طور میدانی در حال استفاده هستند و بررسی شرایط بهینه برای کار با تجهیزات و امکانات موجود هستند. در نهایت از نتایج این پژوهش و کارهای تکمیلی به‌صورت کاربردی استفاده خواهد شد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد

در این پژوهش، مواد اولیه به کار رفته جهت انجام جوشکاری لوله‌های پلی‌اتیلن با چگالی بالا بود. مواد اولیه این لوله‌ها، گرانول‌هاي پلی اتیلن تولیدی شرکت پتروشیمی جم و لوله‌ها تولید شرکت سهند آساي تبریز بودند. مشخصات فنی این لوله‌ها در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱. مشخصات فنی لوله های پلی¬اتیلن

سنجه	مقدار
کمینه استحکام مورد نیاز MRS	۱٤/٥ MPa
فشار مبنای طراحی هیدرواستاتیکی	۱٦۰۰ psi
تنش فشاری مجاز	۷/ ۹۳ MPa
چگالي در ۲۳ درجه سانتی گراد	۰/۹٦۰ g/cm^3
استحکام کششی در نقطه تسلیم	۲۳ MPa
ازدیاد طول تا نقطه پارگی	٪٦۰۰>
مدول الاستیسیته (در ٥۰ سال)	۲۰۰ MPa
مدول خمشی	۱۰۰۰ MPa
ضریب پوایسون	۰/٤٥

۲-۲- روش کار

برای اتصال لوله‌های پلی اتیلن به روش لب به لب، ابتدا لوله‌ها در دو فک ثابت و متحرک دستگاه جوش قرار داده می‌شوند. سپس صفحه فلزی داغ مابین لوله ها قرار داده شده و دو سر لوله به صفحه چسبانده می‌شود تا در محل تماس لوله‌ها با صفحه داغ بر اثر حرارت و فشار اعمالی، برآمدگی مدور و یکنواختی با اندازه معین ایجاد گردد. سپس صفحه داغ جدا شده و دو سر لوله به همدیگر

چسبانده شده و فشار به تدریج افزایش داده می‌شود و تا خنک شدن محل جوش، ثابت نگه داشته می‌شود. سه نمونه جوش از لوله ها در شرایط دمایی، فشار و زمان متفاوت جوش بر اساس آنالیز روش رویه پاسخ تهیه شدند. با استفاده از یک کارد تیز ذرات ریز از سطح و توده نمونه-های انتخاب شده ساییده شد. سپس این نمونه ها با نمونه بدنه که به همان روش تهیه شد، تحت آنالیزهای طیف-سنجی‌هاي زیر قرمز و رامان، پراش پرتو ایکس قرار گرفت.

ریخت نمونه‌ها با استفاده از تصویرهاي میکروسکوپ الکترونی روبشی بررسی شد. همچنین آنالیز حرارتی نمونه ماده پایه جوش نخورده و نمونه جوش‌داده شده در شرایط بهینه با استفاده از روش آنالیز گرماسنجی روبشی تفاضلی انجام پذیرفت. برای انجام آزمون پراش پرتو ایکس از دستگاه پراش‌سنج پرتو ایکس بروکر مدل دي-۸ ادونس ساخت کشور آلمان استفاده شده است. ثبت طیف زیرقرمز نمونه‌ها با استفاده از دستگاه طیف سنج زیرقرمز تبدیل فوریه بروکر مدل تنسور ۲۷ و به صورت قرص KBr انجام شد. دستگاه طیف سنج رامان آندور تکنولوژي مدل یونیدورن-اي کره جنوبی برای ثبت طیف رامان نمونه‌ها استفاده شد. براي ثبت تصویرهاي میکروسکوپ الکترونی روبشی از میکروسکوپ الکترونی روبشی تسکن مدل میرا۳ ساخت کشور جمهوری چک، مجهز به آشکارساز پراش انرژی پرتو ایکس برای آنالیز عنصری کیفی و کمی استفاده شد. ترموگرام‌های گرماسنجی روبشی تفاضلی نمونه‌ها با استفاده از دستگاه گرماسنجی روبشی تفاضلی ساخت شرکت صنایع الکترونیک صناف (ایران) با سرعت حرارت دهی ۵ درجه سانتی‌گراد و تحت جریان گاز نیتروژن انجام پذیرفت.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- مدل‌سازی و بهینه‌سازی با استفاده از روش رویه پاسخ

روش رویه پاسخ یک روش آماری و ریاضی سودمند براي یافتن رابطه‌ای است که پاسخ (یا پاسخ ها) و فاکتورها را به هم مرتبط کند. علاوه بر آن، با استفاده از این روش می‌توان شرایط موردنیاز برای به دست آوردن پاسخ بهینه را تخمین زد. به عبارت دیگر این روش یک روش بهینه سازی نیز می‌باشد که شامل سه مرحله طراحی آزمایش‌ها و یافتن پاسخ از طریق آزمایش، مدل سازی پاسخ به طریق رگرسیون و بهینه‌سازی است [۲۲ و ۲۳]. از روش طراحی کامپوزیت مرکزی که یکی از روش‌های رایج طراحی در روش رویه پاسخ برای مدل سازی و بهینه سازی سنجه‌های جوش در این پژوهش استفاده شده است. دما، فشار و زمان عملیاتی سه سنجه مهم و مؤثر به‌عنوان متغیرهای مستقل (فاکتورها) انتخاب شدند، که قبلا به تفصیل گزارش شده است [۲۴]. داده‌های این نتیجه به اختصار برای سه نمونه جوش که آنالیزهای پلیمری بر روی آنها انجام گرفته در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲. ماتریس طراحی آزمایش

نمونه	فشار (اتمسفر)	دما (درجه سانتی‌گراد)	زمان (ثانیه)
ماده پایه	-	-	-
A5	۴۰	۲۵۰	۱۲۰
A13	۱۰	۱۹۰	۱۲۰
A14	۲۳/۳۳	۱۹۰	۲۴۰

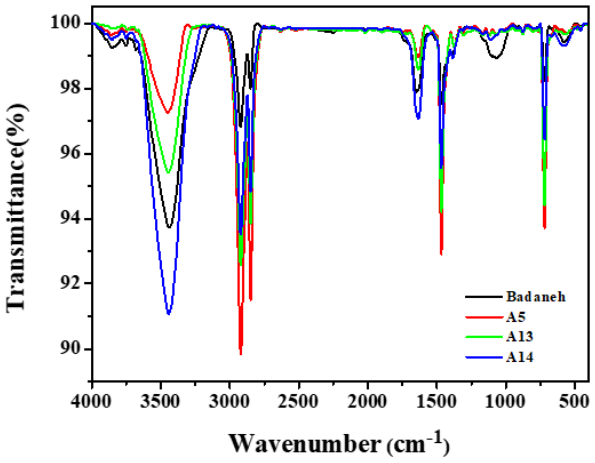
از طیف‌سنجي زیرقرمز برای بررسی تاثیرهاي احتمالی شرایط جوش بر روی ساختار زنجیرها یا آرایش بندی و نظم ساختمانی موجود در بدنه لوله های خام و تفاوت‌های ایجادشده بین ناحیه جوش و بدنه جوش نخورده لوله در اثر جوشکاری در شرایط مختلف استفاده شد [۲ و ۷]. برای این منظور، یک نمونه از محل بدنه جوش‌نخورده لوله و سه نمونه از محل جوش که در شرایط متفاوت دما، فشار و مدت زمان جوشکاری شده‌اند، انتخاب شدند. نمونه‌های برداشته‌شده از محل جوش در شرایط مختلف شامل جوشکاری در سخت ترین شرایط کاری در دمای ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد، فشار ۴۰ اتمسفر و مدت زمان ۲۴۰ ثانیه (نمونه با کد A5)، نمونه جوش داده شده در ملایم ترین شرایط کاری شامل دمای ۱۹۰ درجه سانتی گراد، فشار ۱۰ اتمسفر و مدت زمان ۱۲۰ ثانیه (نمونه با کد A13) و نمونه جوش‌داده شده در شرایط کاری بهینه شامل دمای ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد، فشار ۲۳/۳۳۳ اتمسفر و مدت زمان ۲۴۰ ثانیه (نمونه با کد نمونه بهینه A14) می‌باشند.

براي طیف‌سنجی زیرقرمز، نمونه‌های تهیه شده با پودر KBr آمیخته شده و به صورت قرص آنالیز شدند. در شکل ۲، طیف زیرقرمز مربوط به چهار نمونه برداشته شده از بدنه لوله بدون جوش، A5، A13 و نمونه بهینه A14 آورده شده است. نوارهای جذبی ظاهرشده در ناحیه $2846\text{-}2922\ cm^{-1}$ مربوط به ارتعاش‌هاي کششی C-H- می‌باشد. نوار جذبی تیز و

نسبتا شدید ظاهرشده در ناحیه حدود ۱٤۷۵ cm^{-1} به ارتعاش‌هاي خمشی قیچی مانند گروه‌های متیلن مربوط می‌باشد. ارتعاش‌هاي کششی پیوند C-C در محدوده ۱۰۰۰-۱۱۵۰ cm^{-1} باعث ظهور نوارهای متعدد بهم چسبیده در این محدوده شده است که در مورد نمونه برداشته‌شده از بدنه جوشکاری‌نشده لوله، دارای شدت نسبتا بالاتری بوده و همچنین نوار پهن‌تری را ایجاد نموده است. پهن‌شدگی این نوار جذبی را می‌توان به تنوع وضعیت‌های موجود در نمونه از نظر بلوری و بی‌شکل بودن و همچنین فشردگی در نمونه جامد و نزدیکی زنجیرها به همدیگر و جفت‌شدگی‌های مکانیکی متفاوت و متنوع بین پیوندهای C-C نسبت داد. به‌نظر می‌رسد این پدیده در طیف رامان نمونه‌ها (شکل ۳) به‌صورت تغییر شدت نسبی نوار در محدوده تقریبا ۱۱۰۰ cm^{-1} نسبت به نوارهای دیگر در نمونه بدنه ظاهرشده است. براساس این یافته‌ها، جوشکاری لوله‌ها باعث کاهش بخش بلوری نمونه‌ها نشده و بلکه تا حدودی بلورینگی محل جوش‌داده شده نسبت به بدنه جوشکاری‌نشده لوله بهبود یافته است [۱۷]. حرکت‌هاي خمشی مربوط به زنجیر حاوی تعداد بیش از چهار گروه $-CH_2-$ متصل بهم (موسوم به نوار زنجیر بلند) منجر به ایجاد یک نوار تیز با شدت نسبتا بالا در ناحیه ۷۱۷ cm^{-1} شده است. به طور کلی علیرغم کاهش اندازه بلورها، مقدار آنها افزایش و مقدار نسبی بلورینگی به‌طور جزئی افزایش یافته است.

طیف رامان نمونه‌ها در شکل ۳ نشان داده شده است. نوارهای ظاهرشده در ناحیه ۱۲۸۹-۱۲۹۲ cm^{-1} مربوط به ارتعاش‌هاي خمشی گروه‌های $-CH_2-$ می‌باشد. ارتعاش‌هاي خمشی این پیوند در ناحیه ۱٤۳٦ cm^{-1} ظاهر شده است. نمونه بهینه A14، یک نوار پهن را برای ارتعاش کششی پیوند C-C نشان می‌دهد. این نوار برای نمونه‌های دیگر به صورت دو نوار جدا در ناحیه‌های ۱۰۵٦ و ۱۱۲۱ cm^{-1} ظاهر شده‌اند. گفتني است که پهن-شدن نوارهای نمونه بدنه و نمونه بهینه A14 بیشتر است. برای نمونه بدنه و نمونه بهینه A14، ارتعاش‌هاي خمشی خارج از صفحه در ۱۰٦٤ cm^{-1} ظاهر شده است که این نوارها برای نمونه دیگر مشاهده نشده است. این موضوع نشان‌دهنده تفاوت جزئی موجود در بلورینگی نمونه شرایط بهینه با غیربهینه است. در شرایط غیربهینه، به-دلیل شرایط دمایی و فشاری خاص میزان بلورینگی نمونه کاهش محسوسی نشان می‌دهد.

شکل ۴ الگوي پراش پرتو ایکس مربوط به نمونه‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد. اندازه بلورک‌های موجود در نمونه‌ها (بر حسب نانومتر) با استفاده از معادله شرر (معادله ۱) و با به کارگیری داده‌های استخراج شده از طیف‌های پراش پرتو ایکس نمونه‌ها محاسبه‌شده است. روش محاسبه و جزئیات آن در کارهای قبلی به‌طور مفصل شرح داده شده است [۲۵].

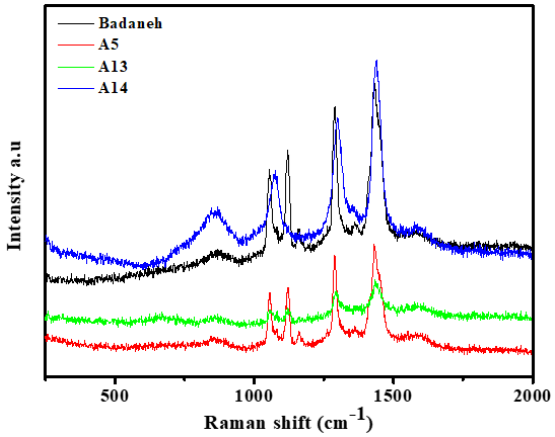


شکل ۲. طیف زیرقرمز نمونه ماده پایه جوش‌نخورده، A5، A13 و نمونه بهینه A14.

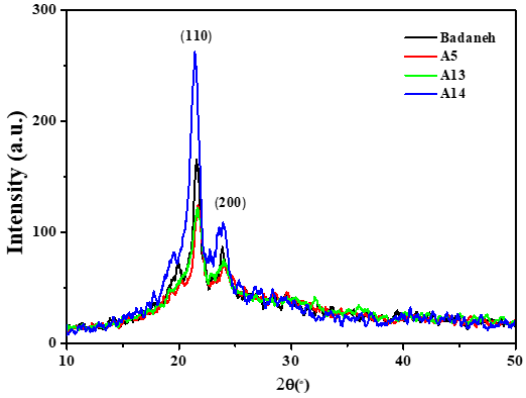
$$D\ (nm) = \frac{K \times \lambda(nm)}{\beta(riadians) \times \cos\theta} \qquad (۱)$$

در معادله ۱، λ طول موج تابش مورد استفاده در دستگاه پراش‌سنج پرتو ایکس (بر حسب nm)، β پهنای پیک در نصف ارتفاع برای هر پیک برای بلور (بر حسب رادیان)، K ثابت مربوط به نوع ساختار بلوری نمونه (مقدار ۰/۹۴ برای پلی¬اتیلن با ساختار بلوری مکعبی ساده)، θ نصف مقدار محل پیک در محور افقی 2θ در الگوي پراش پرتو ایکس (بر حسب رادیان) می‌باشد. محاسبات نشان داده که اندازه بلورک‌ها به‌طور جزئی کاهش و مقدار آنها افزایش یافته است. برای نمونه بهینه A14 کاهش شدت نسبی نوار مشاهده شده در ناحیه ۱۱۰۰ cm^{-1} را می‌توان به افزایش مقدار نسبی بخش بی‌شکل نمونه نسبت داد. به‌نظرمی‌رسد که مطابق با طیف‌های ریزقرمز (شکل ۲)، با انجام جوشکاری در شرایط سخت‌تر مقدار نسبی بخش بی‌شکل نمونه بیشتر شده است. در حالی که برای نمونه‌های A5 و A13 که در شرایط ملایم‌تری جوشکاری شده‌اند، مقدار نسبی بخش

بي شكل نمونه‌ها نسبت به نمونه جوشكاری نشده بدنه تغيير قابل توجهی نشان نمی دهد. تغيير قابل توجه مشاهده شده در مقدارهاي نسبی بخش بي‌شكل و بلوری در نمونه‌های جوش‌داده شده نسبت به نمونه بدنه بدون جوش در شرایط سخت را می‌توان به بالا بودن انرژی در شرایط جوشكاری و ذوب و به‌هم ریختن ساختارهای بلوری نسبت داد. درحالی که در نمونه‌های جوشكاری شده در شرایط کاری ملایم، این پدیده به مقدار قابل توجهی مشاهده نمی‌شود.

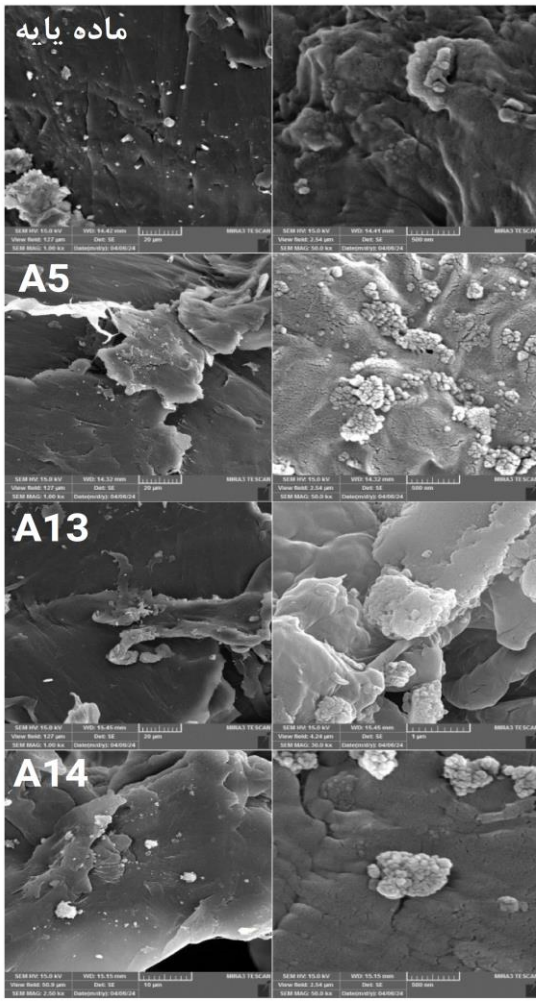


شکل ۳. طیف رامان نمونه ماده پایه جوش نخورده، A5، A13، نمونه بهینه A14.



شکل ۴. الگوي پراش پرتو ایکس نمونه ماده پایه لوله جوش نخورده، A5، A13، نمونه بهینه A14.

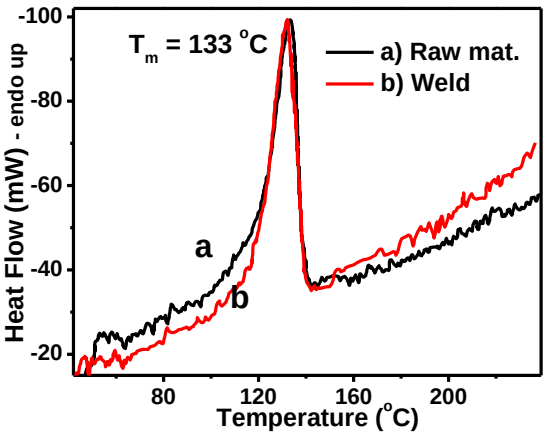
شكل ۵، تصويرهاي ميكروسكوپ الكتروني روبشي مربوط به نمونه‌های بدنه، A5، A13، نمونه بهینه A14 را با بزرگنمایی‌های مختلف نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود، تفاوت قابل‌توجهی از نظر ریخت بین نمونه‌های مختلف جوشکاری‌شده با نمونه بدنه بدون جوشکاری وجود ندارد. با در نظر گرفتن نحوه آماده سازی همه این نمونه‌ها برای ثبت تصويرهاي ميكروسكوپ الكتروني روبشي، پیوستگی سطح نمونه‌ها حفظ شده و جوشکاری در شرایط کاری مختلف باعث تغییر پیوستگی بافت نمونه از جمله تورق یا ایجاد ترک در آنها نشده است. همه نمونه‌ها دارای ریخت تقریبا یکسان با بافت بهم پیوسته هستند. با توجه به تصویرهاي ميكروسكوپ الكتروني روبشي، برای نمونه بدنه و نمونه بهینه A14، ریخت تقریبا یکسان است و حالت ورقه‌ای دارند. برای نمونه A5، ریخت پلیمر، بي‌شكل و به صورت توده‌ای و کلوخه‌ای است در حالی که بقیه نمونه‌ها، ریخت چین‌خورده و حالت کلوخه‌ای دارند. این نتایج نشان می‌دهند که تفاوت قابل توجهی بین نمونه بدنه و نمونه محل جوش وجود ندارد.



شکل ۵. تصويرهاي ميكروسكوپ الكتروني روبشي نمونه بدنه جوش نخورده، A5، A13 و نمونه بهینه A14.

براي بررسی تاثیرهاي احتمالی و تغییرهاي ویژگی‌ها و رفتار حرارتی نمونه جوش خورده نسبت به نمونه بخش جوش نخورده، آنالیز گرماسنجي روبشي تفاضلي در محدوده دمای محیط تا ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد و با سرعت روبش دمایی ۵ درجه سانتیگراد بر دقیقه انجام شد (شکل ۶).

مقایسه نمودار گرماسنجي روبشي تفاضلي نمونه جوش خورده با نمونه لوله اولیه (بخش جوش نخورده) نشان می‌دهد که برای هر دو نمونه، نقطه ذوب در حدود ۱۳۳ درجه سانتی‌گراد بود و تفاوت قابل توجهی بین این ترموگرام‌ها وجود ندارد که بیانگر عدم تاثیر مخرب شرایط جوش بر روی نمونه جوش داده شده نسبت به نمونه اولیه می‌باشد. همچنین عدم ظهور هر گونه پیک برگشت ناپذیر در چرخه گرمایش اول در نمودار گرماسنجي روبشي تفاضلي نمونه محل جوش نسبت به چرخه دوم گرمایش نشان می‌دهد که شرایط سرمایش لوله‌ها خیلی مناسب بوده و باعث باقی ماندن استرس یا سردشدن ناگهانی ماده نشده است. این مشاهده همچنین می‌تواند نشان دهنده عدم وجود فضاهای خالی یا حباب در داخل نمونه جوش خورده باشد.



شکل ۶. نمودار گرماسنجي روبشي تفاضلي: a) نمونه ماده پایه لوله خام جوش‌نخورده و b) نمونه لوله جوش‌داده شده در شرایط بهینه نمونه بهینه A14.

٤- نتیجه گیری

در این پژوهش، چهار نمونه شامل نمونه بدنه، A5، A13 و نمونه بهینه A14 که با روش رویه پاسخ مدل سازی و بهینه شده بود، با آنالیزهای زیرقرمز و رامان و پراش پرتو ایکس بررسي شد. بر اساس این آنالیزها، نمونه بهینه A14 از نظر میزان بلورینگی با نمونه بدنه تفاوت چندانی نشان نداد. همچنین ریخت نمونه‌ها که میکروسکوپ الکتروني روبشي بررسی گردید که برای نمونه بهینه و نمونه بدنه، ریخت تقریبا یکسان و ورقه‌ای نشان داد. در صورتی که برای بقیه نمونه‌ها حالت کلوخه-ای و توده‌ای مشاهده شد. آنالیز گرماسنجي روبشي تفاضلي، نقطه ذوب ۱۳۳ درجه سانتی‌گراد را براي هر دو نمونه بدنه و نمونه بهینه A14 نشان داد که بیانگر عدم تاثیر شرایط جوش برای نمونه بهینه می‌باشد [۲۱ و ۲۶]. مجموع آنالیزهای انجام‌شده نشان داد که شرایط بهینه انتخاب‌شده برای جوشکاری تاثیرهاي نامطلوبی بر روی ریزساختار و خواص پلیمری ناحیه جوش نسبت به بدنه بدون جوش ندارد.

سپاسگزاري

از معاونت محترم پژوهش و فناوری دانشگاه تبریز و همچنین مدیریت محترم شرکت پالایش نفت تبریز سپاسگزاری می شود.

عهده دار مکاتبات

تبریز، بلوار ۲۹ بهمن، دانشگاه تبریز، دانشکده مهندسی مکانیک، گروه ساخت و تولید، آزمایشگاه جوش، پیام نگار: a-mostafapur@tabrizu.ac.ir

مراجع

[1] C. Vasile, M. Pascu, Practical Guide to Polyethylene, Shawbury, UK, **2005**.
[2] Y. Chen, Y. Li, J. Yang, Y. Xi, Materials (Basel), **17**, 5505 (**2024**).
[3] The Plastics Pipe Institute, Handbook of Polyethylene Pipe: CLVR Company; Texas, USA, **2012**.
[4] D. Hun No, “A study of the combined socket and butt welding of plastic pipes using through transmission infrared welding”, PhD thesis, The Ohio State University, **2005**.
[5] S. D. Sandstrum, D. McKinley, "Analytical testing of advanced Butt-Fusion technology for HDPE pipe", (**2006**).
[6] C. Bai, R. Lin, H. S. Lai, Polymers (Basel) **16**, 1803 (**2024**).
[7] Y. -C. Chen, Y. -F. Li, J. Yang, Q. Li, X. -L. Fan, Mech. Time Depend. Mater., **28**, 2553 (**2024**).
[8] S. Deveci, N. Antony, S. Nugroho, B. Eryigit, The 7th China International Plastic Pipe Conference, Shijiazhuang, 5-6 September **2024**.
[9] I. Ramadan, M. Tanase, Mater. Plast., **57**, 209 (**2021**).
[10] M. Shaheer, M. Troughton, A. Khamsehnezhad, J. Song, Weld. World, **61**, 819 (**2017**).

[11] J. Bowman, R. Parmar, Polym. Eng. Sci., **29**, 1406 (**1989**).
[12] R. Parmar, J. Bowman, Polym. Eng. Sci., **29**, 1396 (**1989**).
[13] M. Riahi, Kh. Kooshayan, M. Faraji Ghanati, Polym. Plast. Technol. Eng., **50**, 907 (**2011**).
[14] P. Bircumshaw, S. Orchard, T. Kenworthy, T. Stafford, Plast. Rubber Compos., **36**, 236 (**2007**).
[15] T. Yoshikiyo, T. Hattori, Japan Polyethylene Corp, (**2005**).
[16] Z. Wang, S. Zhang, J. Qie, ... L. Xu, Q. Zhang, Polym. Test., **135**, 108448 (**2024**).
[17] V. Vijayan, P. Pokharel, M. K. Kang, S. Choi, Radiat. Phys. Chem., **122**, 108 (**2016**).
[18] M. S. Prowant, K. M. Denslow, T. L. Moran, ... K. J. Neill, A. D. Cinson, American Society of Mechanical Engineers, Pressure Vessels and Piping Division (Publication) PVP, 6B-2016, (**2016**).
[19] D. Saint Royre, Guegnaut, D. Reveret "Test Methodology for the Determination of optimum Fusion Welding Conditions of Polyethylene", (**1989**).
[20] Zh. Wang, Sh. Zhang, J. Qie, Q. You, L. Xu, Q. Zhang, Polym. Tes., **135**, 108448 (**2024**).
[21] Z. Wang, B. Wang, A. Xiang, Q. Zhang, X. Zhao, Nucl. Eng. Technol., **56**, 4184 (**2024**).
[22] C. Giuseppe, Gh. Elhem, J. Mater. Processing Technol. 207 (**2008**).
[23] M. Riahi, K. Kooshayan, M. F. Ghanati, Polym. Plast. Technol. Eng., **50**, 907 (**2011**).
[۲۴] بهمن زارع کاظمیه، امیر مصطفی پور، سیدرضا سیدرحمانی، رضا نجار،"بهینه سازی خواص مکانیکی در اتصال لوله های پلی اتیلی به روش جوشکاری لب به لب "،ششمین کنفرانس بین المللی جوشکاری و آزمایش های غیر مخرب، اسفند **۱۴۰۲**.
[25] H. Mehdikhani, A. Mostafapour, H. Laieghi, R. Najjar, F. Lionetto, Materials (Basel), **15**, 3810 (**2022**).
[26] M. Kiani, V. Parvaneh, A. Dadrasi, M. Abbasi, Exp. Tech., **46**, 191 (**2022**).