

Development and Validation of a Knowledge-Based Framework for Welding Quality Risk Management (KB-WQRM) Incorporating the Root Poor Restart (RPR) Leading Risk Indicator: A Case Study of Execution Projects in the Oil, Gas, and Petrochemical Industry

Mehrab Derakhshan

Senior Inspection Engineer, Ghods Niroo Consulting Engineers Co., Iran

Email: (mderakhshan@ghods-niroo.com)

Abstract

Oil, gas, and petrochemical projects require proactive approaches to welding quality risk management due to their technical complexity and the high costs associated with welding defects. Despite the implementation of international standards and non-destructive testing (NDT) methods, the recurrence of welding defects and excessive reliance on experts' tacit knowledge remain major challenges in these projects. This study develops and validates a Knowledge-Based Welding Quality Risk Management Framework (KB-WQRM) by integrating expert knowledge, NDT data, non-conformance records, and project lessons learned. The proposed framework was validated through the analysis of real data from four industrial execution projects and expert evaluation using the Delphi method. Furthermore, Root Poor Restart (RPR) was introduced as a leading indicator of welding quality risk. The results demonstrated that identifying and controlling RPR can reduce critical welding defects and enhance quality decision-making.

Keywords : Knowledge Management; Welding Quality Risk Management; KB-WQRM; Root Poor Restart (RPR); Non-Destructive Testing (NDT); Welding Defects

طراحی و اعتبارسنجی چارچوب مدیریت ریسک کیفیت جوش مبتنی بر مدیریت دانش (KB-WQRM) با بهره‌گیری از شاخص پیش‌نگر (RPR) Root Poor Restart: مطالعه

موردی پروژه‌های اجرایی صنعت نفت، گاز و پتروشیمی

محراب درخشان

کارشناس ارشد بازرسی شرکت مهندسان مشاور قدس نیرو

Email: mderakhshan@ghods-niroy.com

چکیده

پروژه‌های نفت، گاز و پتروشیمی به دلیل پیچیدگی فنی و هزینه‌های بالای عیوب جوش، نیازمند رویکردهای پیشگیرانه در مدیریت ریسک کیفیت هستند. با وجود استقرار استانداردهای بین‌المللی و بهره‌گیری از روش‌های آزمون‌های غیرمخرب (NDT)¹، تکرار عیوب جوش و اتکای زیاد به دانش فردی خبرگان² همچنان از چالش‌های اصلی این پروژه‌ها به شمار می‌رود.

این پژوهش چارچوب مدیریت ریسک کیفیت جوش مبتنی بر مدیریت دانش (KB-WQRM)³ را با تلفیق دانش خبرگان، داده‌های NDT، سوابق عدم انطباق و درس‌آموخته‌های پروژه توسعه و اعتبارسنجی می‌کند. چارچوب پیشنهادی با تحلیل داده‌های واقعی چهار پروژه اجرایی و ارزیابی خبرگان به روش دلفی تأیید شد. همچنین، شاخص پیش‌نگر (RPR) Root Poor Restart معرفی گردید که شناسایی و کنترل آن موجب کاهش عیوب بحرانی جوش و بهبود تصمیم‌گیری کیفیتی شد.

کلمات کلیدی: مدیریت ریسک کیفیت جوش مبتنی بر مدیریت دانش (KB-WQRM)، مدیریت دانش، شروع ضعیف پاس ریشه (RPR)، آزمون‌های غیرمخرب (NDT)، عیوب جوش

¹ Non- Destructive Testing

² در این پژوهش، خبرگان به افرادی اطلاق می‌شوند که دارای دانش تخصصی و تجربه عملی در حوزه مدیریت کیفیت جوش، بازرسی فنی، مهندسی جوش یا مدیریت پروژه‌های صنعت نفت، گاز و پتروشیمی بوده و توانایی ارزیابی چارچوب پیشنهادی را بر اساس تجربیات اجرایی خود داشته باشند.

³ Knowledge Base for Welding Quality Risk Management

1. مقدمه

پروژه‌های اجرایی صنعت نفت، گاز و پتروشیمی به دلیل پیچیدگی فنی، الزامات سخت‌گیرانه کیفیت و هزینه‌های بالای ناشی از عیوب جوش، نیازمند رویکردهای مؤثر در مدیریت ریسک کیفیت هستند. کیفیت جوش نقش مهمی در یکپارچگی تجهیزات، ایمنی بهره‌برداری و موفقیت پروژه‌ها دارد؛ با این حال، با وجود استفاده از استانداردهای بین‌المللی و آزمون‌های غیرمخرب (NDT)، تکرار عیوب مشابه و وابستگی به دانش فردی خبرگان همچنان از چالش‌های اصلی محسوب می‌شود. مدیریت دانش می‌تواند با ثبت، انتقال و استفاده مجدد از تجربیات سازمانی، نقش مؤثری در کاهش این ریسک‌ها ایفا کند. با وجود مطالعات گسترده در حوزه مدیریت دانش، مدیریت ریسک و کیفیت جوش، تاکنون چارچوب یکپارچه‌ای برای بهره‌گیری از دانش سازمانی در مدیریت ریسک کیفیت جوش ارائه نشده است. این پژوهش با هدف طراحی و اعتبارسنجی چارچوب مدیریت ریسک کیفیت جوش مبتنی بر مدیریت دانش (KB-WQRM) در پروژه‌های اجرایی نفت، گاز و پتروشیمی انجام شده است. چارچوب پیشنهادی با تلفیق دانش خبرگان، داده‌های آزمون‌های غیرمخرب، گزارش‌های عدم انطباق، اقدامات اصلاحی و درس‌آموخته‌ها و با استفاده از داده‌های واقعی چهار پروژه توسعه یافته و اعتبارسنجی شده است.

همچنین، شاخص پیش‌نگر Root Poor Restart (RPR) به‌عنوان یکی از نوآوری‌های این پژوهش معرفی شده است. نتایج نشان داد که شناسایی و کنترل این شاخص از طریق مدیریت دانش و اقدامات پیشگیرانه، موجب کاهش عیوب بحرانی جوش و بهبود فرآیند تصمیم‌گیری کیفیتی می‌شود.

2. مروری بر ادبیات

2-1- مدیریت دانش در صنایع پروژه‌محور

مدیریت دانش (Knowledge Management) به عنوان یکی از مهم‌ترین رویکردهای مدیریتی در سازمان‌های دانش‌محور، مجموعه‌ای از فرآیندهای نظام‌مند برای خلق، کسب، ذخیره، اشتراک‌گذاری و به‌کارگیری دانش به منظور ارتقای عملکرد سازمانی تعریف می‌شود. نظریه‌پردازانی مانند Ikujiro Nonaka و Hirotaka Takeuchi با معرفی مدل خلق دانش سازمانی (SECI)، دانش را به دو دسته دانش ضمنی و دانش صریح تقسیم کردند و نشان دادند که مزیت رقابتی سازمان‌ها تا حد زیادی به توانایی آن‌ها در تبدیل دانش ضمنی خبرگان به دانش صریح و قابل اشتراک وابسته است. این دیدگاه بعدها توسط Thomas H. Davenport و Laurence Prusak توسعه یافت و مدیریت دانش به عنوان یکی از زیرساخت‌های اصلی یادگیری سازمانی و تصمیم‌گیری معرفی شد. [5, 6, 11]

در صنایع پروژه‌محور، به‌ویژه صنعت نفت، گاز و پتروشیمی، اهمیت مدیریت دانش به دلیل پیچیدگی پروژه‌ها، مشارکت هم‌زمان ذی‌نفعان متعدد، وابستگی زیاد به تخصص نیروی انسانی و حجم بالای اطلاعات فنی دوچندان است. مرور نظام‌مند انجام‌شده توسط Wei Rong و همکاران نشان می‌دهد که طی سال‌های اخیر پژوهش‌های مدیریت دانش در صنعت نفت و گاز از حوزه مستندسازی اطلاعات فراتر رفته و به موضوعاتی نظیر انتقال دانش، یادگیری سازمانی، همکاری میان ذی‌نفعان، مدیریت تجربه و تصمیم‌گیری پروژه‌ای گسترش یافته است. این مطالعه که بر اساس روش PRISMA و تحلیل ۲۵۵ مقاله انجام شده، نتیجه

می‌گیرد که مدیریت دانش یکی از عوامل مؤثر بر موفقیت پروژه‌های نفت و گاز، بهبود عملکرد، افزایش ایمنی و ارتقای همکاری میان ذی‌نفعان است. [8]

در کنار این تحولات، مفهوم Lessons Learned یا نظام درس‌آموخته‌ها به یکی از ارکان اصلی مدیریت دانش در پروژه‌های صنعتی تبدیل شده است. هدف از این نظام، ثبت نظام‌مند تجربیات موفق و ناموفق پروژه‌ها و استفاده مجدد از آن‌ها در پروژه‌های آتی است. مطالعات انجام‌شده در صنعت نفت نشان می‌دهد که سازمان‌هایی که فرآیندهای درس‌آموخته را به صورت ساختاریافته اجرا می‌کنند، نرخ تکرار خطاها، دوباره‌کاری و هزینه‌های ناشی از تصمیمات نادرست را به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهند. [8]

از سوی دیگر، یکی از مهم‌ترین چالش‌های پروژه‌ها، از دست رفتن دانش ضمنی خبرگان در پایان پروژه یا هنگام جابه‌جایی نیروهای متخصص است. برخلاف دانش صریح که در قالب دستورالعمل‌ها، استانداردها و مستندات ثبت می‌شود، بخش عمده دانش فنی در حوزه‌هایی مانند بازرسی جوش، تحلیل علل عیوب و تصمیم‌گیری‌های اجرایی در ذهن کارشناسان باقی می‌ماند. مرورهای نظام‌مند در حوزه مدیریت دانش نیز تأکید می‌کنند که تمرکز صرف بر مستندسازی کافی نیست و سازمان‌ها باید سازوکارهایی برای استخراج، انتقال و به‌کارگیری دانش ضمنی طراحی کنند [9].

در سال‌های اخیر، تحول دیجیتال نیز مسیر توسعه مدیریت دانش را تغییر داده است. استفاده از پایگاه‌های دانش، گراف‌های دانش، هوش مصنوعی، سامانه‌های تصمیم‌یار و تحلیل کلان‌داده‌ها، امکان تبدیل حجم عظیم داده‌های پروژه به دانش قابل استفاده را فراهم کرده است. با وجود این پیشرفت‌ها، مرور ادبیات نشان می‌دهد که در صنعت نفت و گاز، این فناوری‌ها بیشتر در حوزه‌های تولید، نگهداری و مدیریت دارایی‌ها به کار گرفته شده‌اند و استفاده از آن‌ها در مدیریت کیفیت جوش و تحلیل داده‌های حاصل از آزمون‌های غیرمخرب هنوز محدود است. [9]

تحلیل انتقادی

بررسی پژوهش‌های منتشرشده نشان می‌دهد که اگرچه مدیریت دانش به عنوان یکی از عوامل کلیدی موفقیت پروژه‌ها شناخته شده است، اما تمرکز اغلب مطالعات بر مدیریت پروژه، مدیریت سازمانی، همکاری بین ذی‌نفعان و انتقال تجربه بوده است. در مقابل، کاربرد مدیریت دانش در فرآیندهای تخصصی کنترل کیفیت جوش، استخراج دانش از داده‌های بازرسی و استفاده از این دانش در مدیریت ریسک کیفیت جوش کمتر مورد توجه قرار گرفته است. این خلأ، ضرورت توسعه یک چارچوب دانش‌محور برای مدیریت ریسک کیفیت جوش را آشکار می‌سازد؛ چارچوبی که بتواند دانش ضمنی خبرگان، داده‌های واقعی آزمون‌های غیرمخرب و درس‌آموخته‌های پروژه‌ها را در قالب یک نظام تصمیم‌یار یکپارچه به کار گیرد. [8]

2-2. مدیریت دانش در صنایع پروژه‌محور

مدیریت دانش به مجموعه‌ای از فرایندهای نظام‌مند برای خلق، کسب، ذخیره، اشتراک‌گذاری و به‌کارگیری دانش با هدف ارتقای عملکرد سازمانی اطلاق می‌شود. یکی از بنیادی‌ترین نظریه‌های این حوزه توسط Hirotaka و Ikujiro Nonaka و Takeuchi ارائه شد که با معرفی مدل SECI (Socialization-Externalization-Combination-Internalization)، فرایند تبدیل دانش ضمنی و دانش صریح را به‌عنوان زیربنای خلق دانش سازمانی تبیین کردند. بر اساس این نظریه، مزیت رقابتی سازمان‌ها از توانایی آن‌ها در تبدیل تجربیات فردی به دانش سازمانی و یادگیری مستمر ناشی می‌شود. [8]

در ادامه توسعه مبانی نظری مدیریت دانش، Laurence Prusak و Thomas H. Davenport در کتاب Working Knowledge مدیریت دانش را مجموعه‌ای از فعالیت‌های مرتبط با تولید، سازمان‌دهی، انتقال و کاربرد دانش معرفی کردند و تأکید نمودند که ارزش واقعی دانش نه در انباشت اطلاعات، بلکه در استفاده مؤثر از آن در تصمیم‌گیری‌های سازمانی نهفته است. آنان همچنین نقش فرهنگ سازمانی، اعتماد، تعاملات انسانی و شبکه‌های دانشی را در موفقیت نظام‌های مدیریت دانش برجسته کردند. [9]

بر مبنای این دیدگاه‌ها، مدیریت دانش به یکی از ارکان اصلی سازمان‌های پروژه‌محور تبدیل شده است؛ زیرا در این سازمان‌ها بخش قابل توجهی از دانش به‌صورت ضمنی در اختیار متخصصان، مدیران پروژه و کارشناسان فنی قرار دارد. در پروژه‌های صنعت نفت، گاز و پتروشیمی، این موضوع به دلیل پیچیدگی فناوری، حجم بالای فعالیت‌های مهندسی و تغییر مستمر تیم‌های پروژه اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. مرور نظام‌مند مطالعات اخیر نیز نشان می‌دهد که مدیریت دانش موجب بهبود عملکرد پروژه، افزایش کیفیت تصمیم‌گیری، کاهش دوباره‌کاری، ارتقای همکاری میان ذی‌نفعان و افزایش قابلیت یادگیری سازمانی می‌شود. [10]

یکی از مهم‌ترین سازوکارهای مدیریت دانش در سازمان‌های پروژه‌محور، توسعه نظام Lessons Learned یا درس‌آموخته‌ها است. هدف این نظام، ثبت و مستندسازی تجربیات موفق و ناموفق پروژه‌ها و انتقال آن‌ها به پروژه‌های آینده است. پژوهش‌های اخیر در صنعت نفت و گاز نشان داده‌اند که سازمان‌هایی که فرآیندهای درس‌آموخته را به‌صورت نظام‌مند اجرا می‌کنند، در کاهش تکرار خطاها، افزایش بهره‌وری و بهبود کیفیت پروژه‌ها عملکرد موفق‌تری دارند. [5]

با وجود توسعه گسترده مبانی نظری و کاربردی مدیریت دانش، بررسی انتقادی ادبیات نشان می‌دهد که اغلب پژوهش‌ها مدیریت دانش را در سطح کلان سازمان، مدیریت پروژه یا مدیریت دارای‌ها بررسی کرده‌اند و مطالعات اندکی به کاربرد آن در فرآیندهای تخصصی کنترل کیفیت جوش، تحلیل داده‌های آزمون‌های غیرمخرب و مدیریت ریسک کیفیت جوش پرداخته‌اند. این خلأ نشان می‌دهد که هنوز ارتباط میان نظریه‌های کلاسیک مدیریت دانش و مسائل تخصصی تضمین کیفیت در پروژه‌های اجرایی نفت، گاز و پتروشیمی به‌طور کامل برقرار نشده است و توسعه یک چارچوب دانش‌محور برای مدیریت ریسک کیفیت جوش می‌تواند این شکاف را پوشش دهد. [10]

بررسی ادبیات نشان می‌دهد که اگرچه عیوبی نظیر Root Concavity, Lack of Penetration, Lack of Fusion و Burn Through به‌طور گسترده مطالعه شده‌اند، اما پژوهشی که یک نقص اجرایی در مرحله Restart پاس ریشه را به‌عنوان شاخص پیش‌نگر برای بروز این عیوب معرفی کرده باشد، مشاهده نشد. این خلأ، یکی از مبانی توسعه چارچوب پیشنهادی در پژوهش حاضر است.

3- روش‌شناسی پژوهش⁴

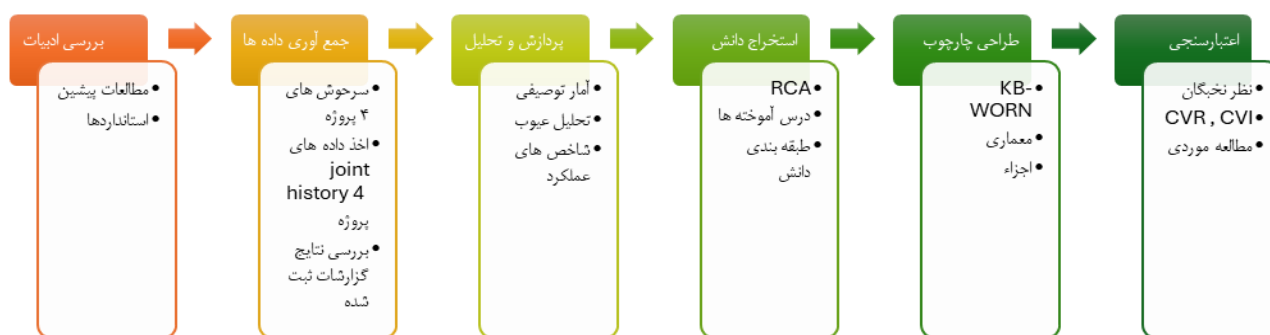
این پژوهش با هدف طراحی، استقرار و اعتبارسنجی چارچوب مدیریت ریسک کیفیت جوش مبتنی بر مدیریت دانش در (Knowledge-Based Welding Quality Risk Management Framework: KB-WQRM) پروژه‌های صنعت نفت، گاز و پتروشیمی انجام شده است. با توجه به ماهیت مسئله پژوهش و تمرکز آن بر توسعه یک راهکار عملی

⁴ Research Methodology

برای بهبود مدیریت ریسک و تصمیم‌گیری، از رویکرد پژوهش طراحی‌محور (Design Science Research: DSR) استفاده شد. [11, 12]

در این پژوهش، ابتدا با مرور نظام‌مند ادبیات و بررسی استانداردهای بین‌المللی، مبانی نظری و مؤلفه‌های چارچوب استخراج گردید. سپس داده‌های واقعی چهار پروژه‌های اجرایی نفت، گاز و پتروشیمی شامل سوابق جوشکاری، گزارش‌های آزمون‌های غیرمخرب، عدم انطباق‌ها و درس‌آموخته‌ها تحلیل شد و بر اساس نتایج حاصل، چارچوب پیشنهادی طراحی و با بهره‌گیری از نظر خبرگان اعتبارسنجی شد.

شکل 1-3- نمای کلی مراحل اجرای پژوهش



این پژوهش از نظر هدف، کاربردی و از نظر روش، توسعه‌ای-کاربردی مبتنی بر رویکرد Design Science Research است. در این رویکرد، پژوهش تنها به تحلیل وضعیت موجود محدود نمی‌شود، بلکه با طراحی و اعتبارسنجی یک مصنوع پژوهشی (Research Artifact)، راهکاری عملی برای حل مسئله ارائه می‌شود.

فرآیند پژوهش در چهار مرحله اصلی انجام شد:

1. استخراج مبانی نظری از طریق مرور نظام‌مند ادبیات و استانداردهای بین‌المللی؛
 2. گردآوری و تحلیل داده‌های واقعی پروژه‌های اجرایی؛
 3. طراحی چارچوب مدیریت ریسک کیفیت جوش مبتنی بر مدیریت دانش؛
 4. اعتبارسنجی چارچوب از طریق نظر خبرگان و تحلیل نتایج.
- اجرای پژوهش مطابق شکل 1-3- در 6 گام بررسی ادبیات، جمع‌آوری داده‌ها، پردازش و تحلیل، استخراج دانش، طراحی چارچوب و اعتبارسنجی انجام شد.

3-1- جامعه آماری و منابع داده

جامعه آماری این پژوهش شامل پروژه‌های اجراشده در صنعت نفت، گاز و پتروشیمی است. برای اعتباربخشی به چارچوب پیشنهادی، داده‌های واقعی چهار پروژه صنعتی با مقیاس و شرایط اجرایی متفاوت مورد استفاده قرار گرفت.

منابع داده شامل موارد زیر بود:

- سوابق سرچوش‌ها (Joint History)

- گزارش‌های آزمون‌های غیرمخرب (8PT و 7MT ، 6UT ، 5RT)
- گزارش‌های عدم انطباق (9NCR)
- اقدامات اصلاحی (${}^{10}CAR$)
- گزارش‌های ممیزی کیفیت
- مستندات درس‌آموخته‌ها
- رویه‌ها و دستورالعمل‌های اجرایی

در مجموع، اطلاعات بیش از ۱۵ هزار سرجوش از چهار پروژه تحلیل شد که این موضوع یکی از نقاط قوت پژوهش از نظر اتکاء به داده‌های واقعی است.

3-2- پردازش و تحلیل

به‌منظور افزایش قابلیت اعتماد نتایج، داده‌های گردآوری‌شده پیش از تحلیل تحت فرآیند یکپارچه سازی قرار گرفتند. در این مرحله، داده‌های تکراری حذف، کدهای عیوب استانداردسازی و اطلاعات حاصل از منابع مختلف با یکدیگر یکپارچه شد. سپس تمامی عیوب بر اساس طبقه‌بندی استانداردهای بین‌المللی و دستورالعمل‌های کنترل کیفیت جوش دسته‌بندی شدند تا امکان مقایسه بین پروژه‌ها فراهم شود.

تحلیل داده‌ها در سه سطح انجام شد:

الف) تحلیل توصیفی

تعداد سرجوش‌های پذیرش شده

تعداد تعمیرها

نرخ بازکاری

نرخ پذیرش

ب) تحلیل کیفیت جوش

فراوانی انواع عیوب

⁵ Radiographic Testing

⁶ Ultrasonic Testing

⁷ Magnetic Particle Testing

⁸ Penetrant Testing

⁹ Non-Conformance Report

¹⁰ Corrective Action Report / Request

نرخ عیوب به ازای هر 1000 سرجوش
شاخص کیفیت پروژه
مقایسه پروژه‌ها

ج) تحلیل مدیریت دانش

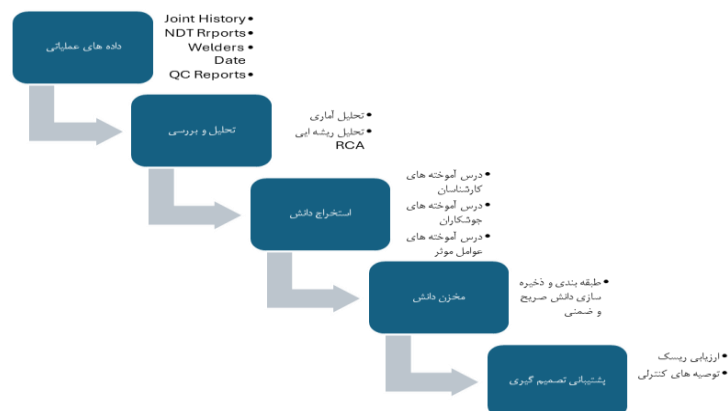
استخراج درس‌آموخته‌ها
تحلیل علل ریشه‌ای
شناسایی دانش ضمنی خبرگان
تشکیل مخزن دانش
تبدیل دانش به قواعد تصمیم‌گیری

3-3- استخراج دانش

داده‌های خام پروژه‌ها از طریق فرآیند تحلیل علل ریشه‌ای (RCA^{11}) و تحلیل پارتو به دانش قابل استفاده تبدیل شدند. این فرآیند شامل شناسایی علل اصلی عیوب، مستندسازی تجربیات موفق و ناموفق، و تدوین درس‌آموخته‌هایی بود که می‌توانند در پروژه‌های آتی مورد استفاده قرار گیرند.

در فرآیند تحلیل داده‌ها، علاوه بر طبقه‌بندی عیوب بر اساس استانداردهای مرجع، مواردی که به‌صورت مکرر در گزارش‌های بازرسی مشاهده شده ولی در طبقه‌بندی متداول استانداردها به‌صورت مستقل تعریف نشده بودند نیز بررسی شدند. یکی از مهم‌ترین این موارد، نقص Root Poor Restart (RPR) بود که پس از تحلیل علل ریشه‌ای، بررسی نتایج آزمون‌های مکانیکی و تأیید خبرگان، به‌عنوان یک شاخص پیش‌نگر ریسک کیفیت جوش در چارچوب KB-WQRM تعریف شد.

شکل 2-3- فرآیند تبدیل داده به دانش را نشان می‌دهد.



¹¹ Root Cause Analysis

3-4- طراحی چارچوب KB-WQRM

بر اساس نتایج حاصل از مرور ادبیات، تحلیل داده‌های واقعی و استخراج دانش سازمانی، چارچوب KB-WQRM طراحی شد. این چارچوب از پنج لایه اصلی تشکیل شده است:

1. لایه داده؛
2. لایه مدیریت دانش؛
3. لایه ارزیابی ریسک؛
4. لایه پشتیبانی تصمیم؛
5. لایه بهبود مستمر.

این ساختار امکان تبدیل داده‌های پروژه به دانش قابل استفاده و بهره‌گیری از آن در تصمیم‌گیری‌های مرتبط با کیفیت جوش را فراهم می‌کند.

3-5- روش اعتبار سنجی چارچوب

اعتبارسنجی چارچوب در دو مرحله انجام خواهد شد:

به‌منظور ارزیابی قابلیت کاربرد، جامعیت و اعتبار علمی چارچوب پیشنهادی KB-WQRM، از روش دلفی سه‌مرحله‌ای استفاده شد. این روش یکی از شناخته‌شده‌ترین روش‌های دستیابی به اجماع میان خبرگان در طراحی مدل‌ها و چارچوب‌های مدیریتی است و امکان اصلاح تدریجی چارچوب بر اساس بازخوردهای تخصصی را فراهم می‌کند.

در این پژوهش، اعتبارسنجی در سه مرحله متوالی انجام شد و علاوه بر تحلیل کیفی نظرات خبرگان، از شاخص‌های کمی CVR^{12} و CVI^{13} نیز برای ارزیابی روایی محتوایی استفاده گردید.

اعتبارسنجی محتوایی: از طریق پانل خبرگان شامل مدیران پروژه، متخصصان جوش، بازرسان فنی و کارشناسان کنترل کیفیت، با استفاده از شاخص‌های CVI و CVR .

اعتبارسنجی کاربردی: از طریق انطباق چارچوب با داده‌های واقعی چهار پروژه و ارزیابی قابلیت آن در شناسایی و مدیریت ریسک‌های کیفیت جوش.

4- یافته‌ها و تحلیل داده‌ها^{۱۴}

در این فصل، نتایج حاصل از تحلیل داده‌های واقعی چهار پروژه اجرایی در صنعت نفت، گاز و پتروشیمی ارائه و بررسی می‌شود. داده‌های مورد مطالعه شامل سوابق سرجوش‌ها (Joint History)، نتایج آزمون‌های غیرمخرب (NDT)، گزارش‌های عدم انطباق

¹² Content Validity Ratio

¹³ Content Validity Index

¹⁴ Results and Discussion

(NCR)، اقدامات اصلاحی (CAR)، مستندات ممیزی کیفیت و درس‌آموخته‌های پروژه‌ها است. هدف اصلی این فصل، شناسایی الگوهای تکرارشونده عیوب جوش، ارزیابی شاخص‌های عملکرد کیفیت، استخراج دانش سازمانی از تجربیات پروژه‌ها و تبیین نقش آن در بهبود فرآیند مدیریت ریسک کیفیت جوش است. یافته‌های این بخش، مبنای توسعه و ارزیابی چارچوب پیشنهادی مدیریت ریسک کیفیت جوش مبتنی بر مدیریت دانش (KB-WQRM) را فراهم می‌کند.

1-4- تحلیل وضعیت سر جوش‌ها

مطابق با جدول 1-4 داده‌های چهار پروژه نشان داد که در مجموع بیش از ۱۵ هزار سر جوش مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. بخش عمده‌ای از سر جوش‌ها در همان مرحله نخست مورد پذیرش قرار گرفته‌اند، اما نرخ تعمیر، حذف و بازجوشکاری بین پروژه‌ها تفاوت محسوسی داشته است.

جدول 1-4- وضعیت کلی سر جوش‌های هر پروژه

پروژه D	پروژه C	پروژه B	پروژه A	
128	10	2	46	RECAP
39	1	33	20	B.T
109	11	1	31	CP
12	0	0	22	PIN HOLE
46	138	0	16	CAP LOF
32	0	19	97	IF
29	16	10	51	IU
28	0	4	44	RC
13	1	0	5	COLD WELD
19	0	0	17	WORM HOLE
23	9	10	29	POROSITY
14	0	1	8	IFD
14	0	0	27	ROOT POR RESTAR
24	16	21	3	ISI
12	13	2	25	LOP
20	0	0	7	UNDERFILL
22	25	15	34	SL
8	0	0	4	REBACK WELD
1	9	0	6	CRACK

پروژه A، C و D مربوط به احداث تاسیسات تقویت فشار گاز و B مربوط به احداث انتقال خط لوله گاز می‌باشد. که استاندارد مرجع پذیرش برای پروژه‌های A، C و D مطابق با استاندارد ASME و استاندارد مرجع برای پروژه B استاندارد API بوده است. طبق جدول 1-4 در پروژه D بیشترین نرخ Repair مشاهده شد که می‌تواند بیانگر پیچیدگی بیشتر عملیات اجرایی یا اثربخشی کمتر کنترل‌های پیشگیرانه نسبت به پروژه‌های C و D باشد. در مقابل، پروژه B کمترین میزان تعمیر را ثبت کرده است که نشان‌دهنده عملکرد مناسب‌تر در کنترل کیفیت اولیه و تفاوت در حدود پذیرش با استانداردهای مرجع برای پروژه‌های A، C و D است.

جدول 2-4- وضعیت جوش در پروژه‌های A، B، C و D

پروژه D	پروژه C	پروژه B	پروژه A	شرح
957	4093	2854	2707	تعداد سروش‌هایی که ACC شده‌اند
572	259	157	492	تعداد سروش‌هایی که RP شده‌اند
0	0	0	258	تعداد سر جوش‌های REM شده
30	184	37	242	تعداد سر جوش‌های RS شده
57	63	4	238	تعداد سر جوش‌های RR شده
1	50	1	138	تعداد سر جوش‌های REW شده

4-2- تحلیل روند کاهش عیوب با استقرار مدیریت دانش در پروژه

به‌منظور ارزیابی عملی اثربخشی چارچوب پیشنهادی، پروژه A به‌عنوان پروژه پایلوت انتخاب شد. این پروژه مربوط به احداث تأسیسات تقویت فشار گاز بوده و طی اجرای آن، سازوکارهای مدیریت دانش شامل ثبت و تحلیل علل ریشه‌ای عیوب، مستندسازی درس‌آموخته‌ها، بازخورد نتایج آزمون‌های غیرمخرب، جلسات انتقال تجربه، بازآموزی جوشکاران و استفاده از مخزن دانش در فرآیند کنترل کیفیت به‌کار گرفته شد.

شکل 4-1. نمودار روند کاهش RPR، IF، LOP، RC و BT در سه مرحله پایش پس از اجرای چارچوب KB-WQRM.



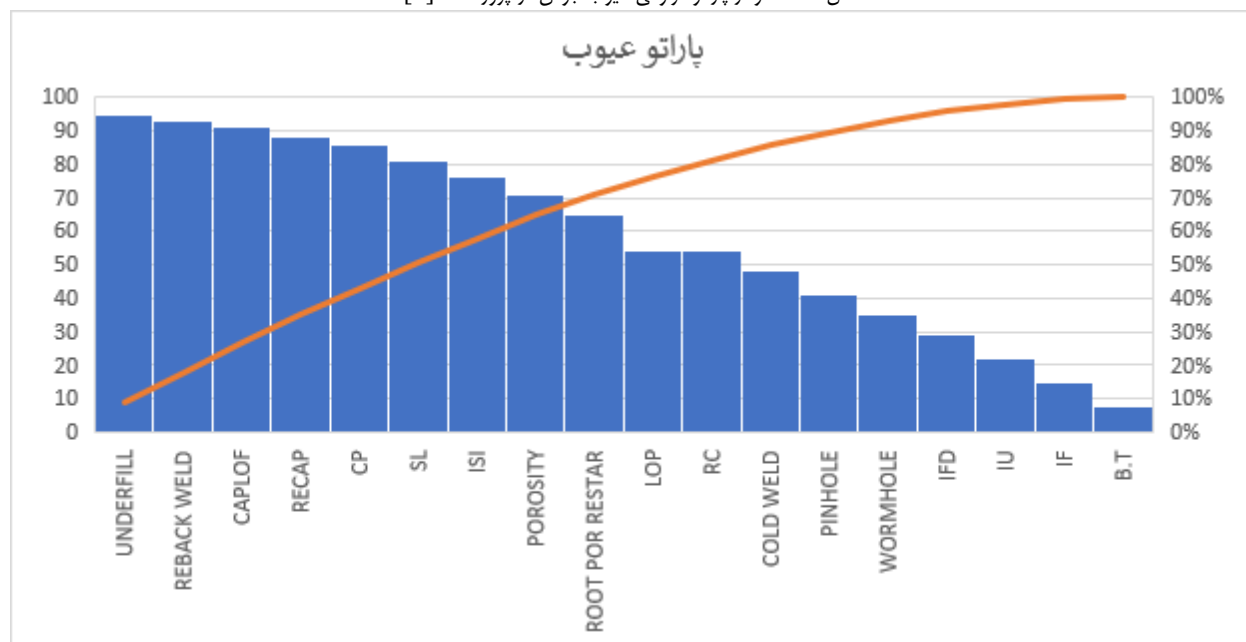
به‌منظور پایش اثربخشی اقدامات، روند تغییرات عیوب جوش در چهار مرحله شامل وضعیت اولیه (قبل از استقرار مدیریت دانش) و سه مرحله پایش پس از استقرار چارچوب ثبت و تحلیل شد.

جدول 4-3. روند تغییر تعداد عیوب جوش پس از استقرار مدیریت دانش در پروژه

پایش سوم بکارگیری مدیریت دانش	پایش دوم بکارگیری مدیریت دانش	پایش اول بکارگیری مدیریت دانش	قبل از بکارگیری مدیریت دانش	جمع عیوب	
3	7	13	23	46	RECAP
2	3	5	10	20	B.T
1	5	8	16	31	CP
2	3	6	12	22	PIN HOLE
0	2	4	10	16	CAP LOF
5	11	26	55	97	IF
4	8	18	21	51	IU
0	6	16	22	44	RC
0	1	2	2	5	COLD WELD
1	2	5	9	17	WORM HOLE
1	5	8	15	29	POROSITY
0	1	3	4	8	IFD
0	5	7	15	27	ROOT POR RESTAR
1	1	1	1	3	ISI
1	4	5	15	25	LOP
0	1	1	5	7	UNDERFILL
4	7	8	15	34	SL
0	0	2	2	4	REBACK WELD
0	1	2	3	6	CRACK

نتایج نشان می‌دهد که استقرار نظام مدیریت دانش موجب کاهش مستمر اغلب عیوب جوش شده است. این کاهش در عیوب پرتکرار نظیر (Incomplete Fusion (IF)، RECAP، Root Crack (RC)، Cap Lack of Fusion (CAP LOF) و Porosity محسوس‌تر بوده است.

شکل 2-4. نمودار پاراتو فراوانی عیوب جوش در پروژه A [1]



به‌عنوان نمونه، تعداد عیب IF از 55 مورد در مرحله قبل از استقرار مدیریت دانش به 5 مورد در سومین مرحله کاهش یافته است که بیانگر کاهش حدود 91 درصدی این عیب است. همچنین، عیب RECAP از 23 مورد به 3 مورد (حدود 87 درصد کاهش) و عیب RC از 22 مورد به صفر رسیده است. افزون بر این، عیوبی نظیر CAP LOF، IFD، UNDERFILL و concavity نیز در پایان دوره پایش به‌طور کامل حذف شده‌اند.

این نتایج نشان می‌دهد که ثبت نظام‌مند دانش، تحلیل علل ریشه‌ای، انتقال تجربه و استفاده از درس‌آموخته‌ها نقش مؤثری در پیشگیری از تکرار عیوب داشته و اثربخشی چارچوب KB-WQRM را در محیط واقعی پروژه تأیید می‌کند. بررسی گزارش‌های اقدامات اصلاحی (CAR)¹⁵، نتایج تحلیل علل ریشه‌ای (RCA) و مستندات درس‌آموخته‌ها نشان داد که مهم‌ترین عوامل مؤثر در کاهش عیوب عبارت‌اند از:

- شناسایی و مستندسازی علل ریشه‌ای عیوب تکرارشونده؛
- انتقال دانش میان بازرسان، مهندسان کیفیت و تیم‌های اجرایی؛

¹⁵ Corrective Action Request

- توجه هدفمند جوشکاران بر اساس نتایج واقعی آزمون‌های غیرمخرب؛
- بازنگری دستورالعمل‌های جوشکاری (^{16}WPS) و چک‌لیست‌های بازرسی؛
- استفاده از مخزن دانش برای جلوگیری از تکرار خطاهای مشابه.

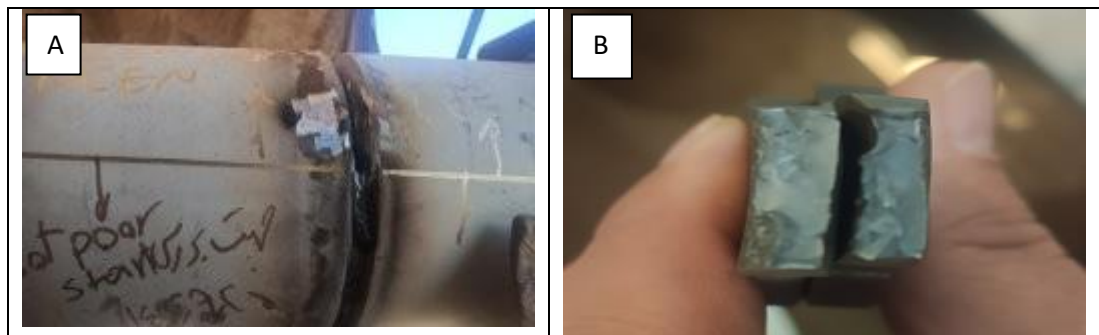
این اقدامات موجب شد تصمیم‌گیری از حالت فردمحور به دانش‌محور تغییر یافته و تجربیات حاصل از پروژه به‌صورت سازمان‌یافته در اختیار تیم‌های اجرایی قرار گیرد.

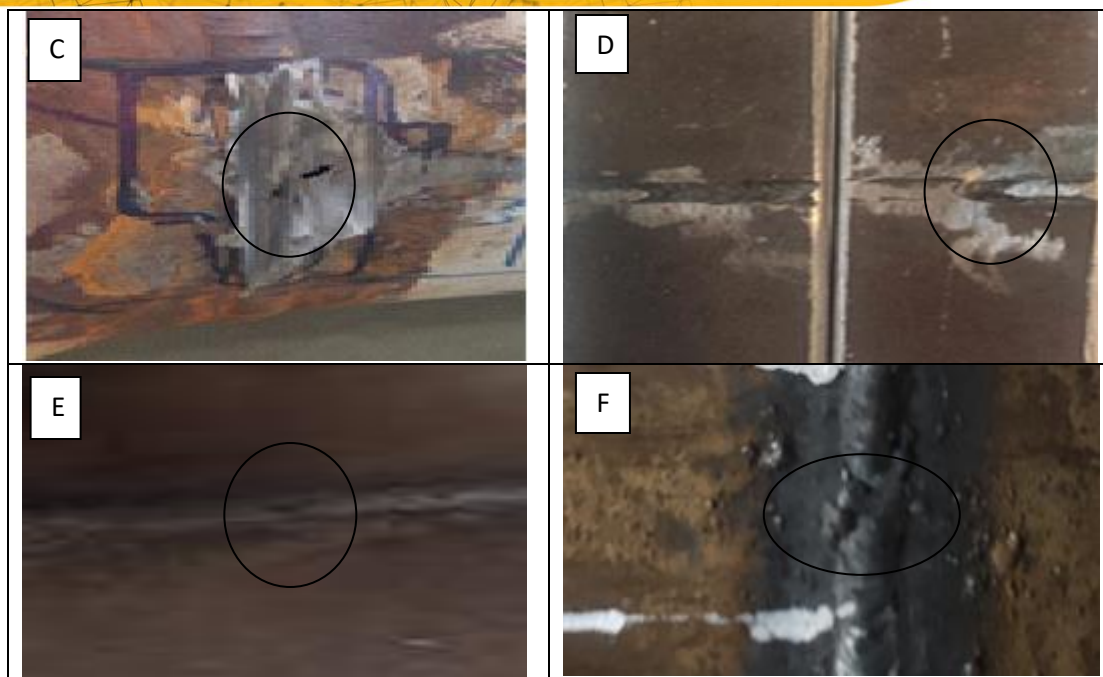
3-4- معرفی شاخص Root Poor Restart

جهت بررسی شاخص Root Poor Restart یک نمونه لوله سایز 6 اینچ API 5L PSL 2 تهیه شد و طبق شکل A نمونه مونتاژ و توسط جوشکار در چند شروع مجدد به صورت عمدی اقدام به ایجاد شاخص RPR شد. و طبق شکل B مطابق با استاندارد API 1104 اقدام به بررسی استحکام کششی گردید. قسمتی از عیب پس از تکمیل نمودن طبق شکل C اقدام به برداشتن پاس‌های میانی و کپ گردید که بررسی شود آیا پاس‌های میانی اقدام به ذوب نمودن لبه‌ها و نفوذ نموده است یا نه. سپس مطابق با شکل D قسمتی از شاخص ایجاد شده بررسی و جهت انجام آزمایش خمش که در شکل 4-1 A و B قابل مشاهده است آماده سازی گردید.

در شکل 3-4 E و F با بازرسی چشمی از داخل لوله شاخص RPR به وضوح قابل رویت می‌باشد همچنین این شاخص در پرتو نگاری نیز مطابق شکل 4-4 A, B, C و D نیز مشخص می‌باشد.

یکی از مهم‌ترین یافته‌های این پژوهش، شناسایی نقصی اجرایی در محل شروع مجدد پاس ریشه (Root Poor Restart; RPR) بود. این نقص در اثر اجرای نامناسب عملیات Restart پس از تعویض الکترود یا توقف جوشکاری ایجاد شده و به دلیل کاهش دمای دمای حوضچه مذاب، افت نرخ رسوب فلز جوش و عدم آماده‌سازی مناسب محل شروع مجدد، احتمال عدم پیوستگی متالورژیکی بین انتهای پاس قبلی و ابتدای پاس جدید را افزایش می‌دهد. در پژوهش حاضر، RPR به‌عنوان یک شاخص پیش‌نگر ریسک کیفیت جوش معرفی شد، زیرا بررسی‌ها نشان داد این نقص می‌تواند منشأ بروز یا تشدید عیوب Incomplete Fusion، Lack of Penetration (LOP)، Root Concavity (RC) و Burn Through (BT) باشد.

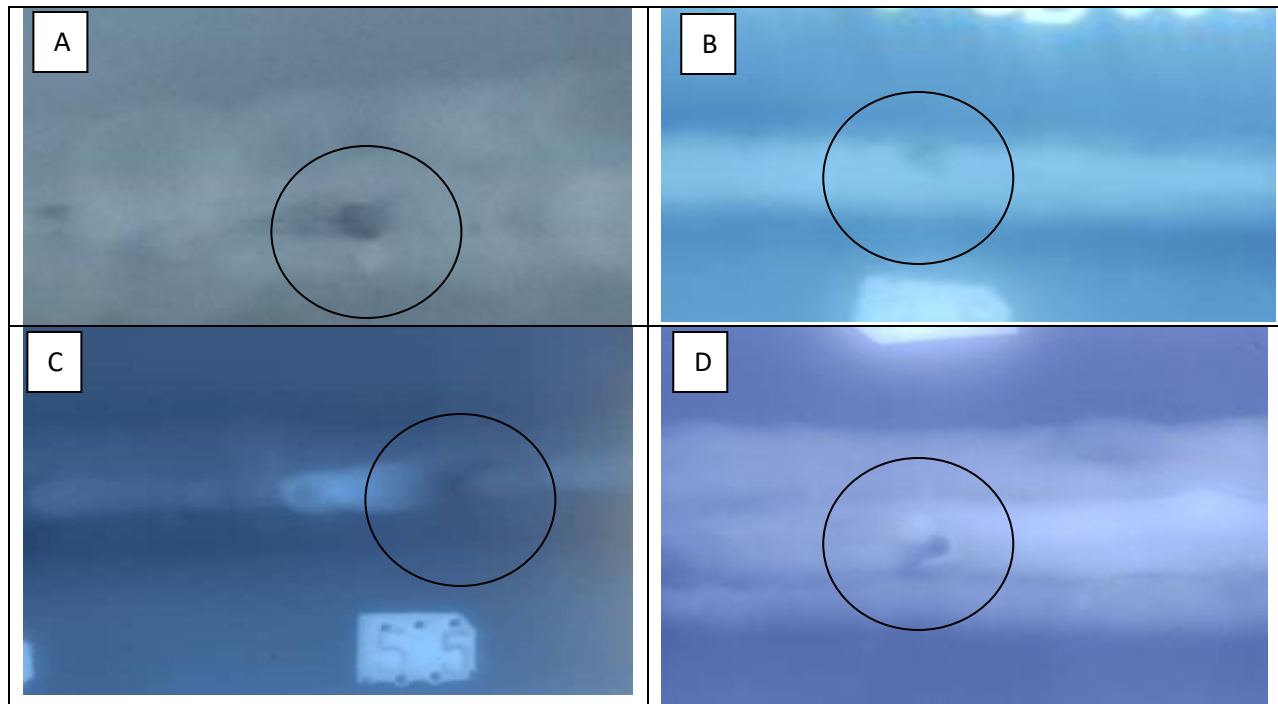




شکل 3-4- تصویر نمونه جوش ایجاد شده دارای Root Poor Restart و آزمایش کشش

شواهد رادیوگرافی (RT)

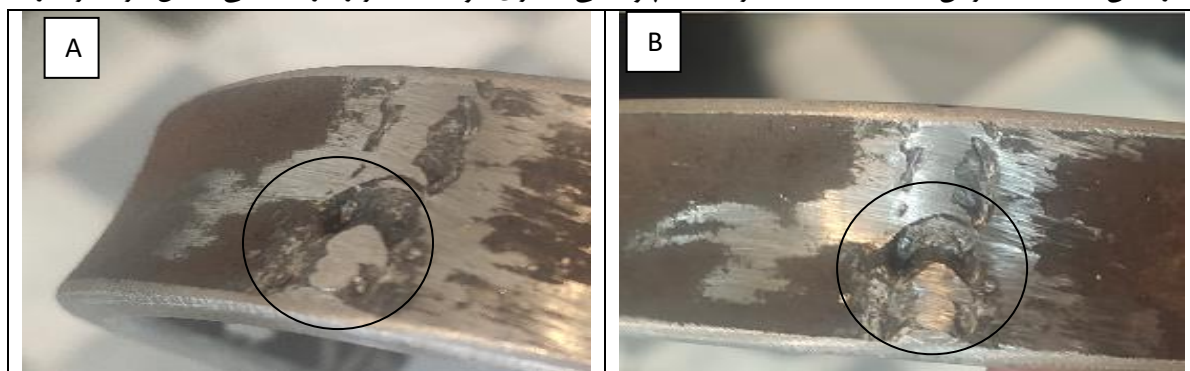
اعتبارسنجی اولیه RPR بر اساس تحلیل تصاویر رادیوگرافی اتصالات جوشی انجام شد. نتایج نشان داد که ناحیه شروع مجدد پاس ریشه، محل اصلی تشکیل ناپیوستگی بوده و در بسیاری از موارد، این ناپیوستگی به دلیل شباهت ظاهری با عیوب Root Concavity (RC) یا Burn Through (BT) تحت همین عناوین تفسیر می‌شد. در نتیجه، منشأ واقعی عیب شناسایی نشده و اقدامات اصلاحی صرفاً بر رفع عیب نهایی متمرکز بود. تحلیل مجدد تصاویر RT نشان داد که در بخش قابل توجهی از این موارد، علت اصلی نقص، ضعف در اجرای Restart پاس ریشه بوده است.



شکل 4-4. تصویر رادیوگرافی نمونه دارای Root Poor Restart همراه با مشخص کردن محل Restart و ناپیوستگی

شواهد آزمون‌های مکانیکی

برای بررسی اثر این نقص بر عملکرد اتصال، نمونه‌های دارای RPR تحت آزمون‌های کشش شکل 3-4 (B) و خمش شکل 5-4 (A, B) قرار گرفتند. نتایج آزمون‌ها نشان داد که وجود ضعف در محل شروع مجدد پاس ریشه موجب کاهش یکپارچگی اتصال شده و در نمونه‌های معیوب، شروع تغییر شکل یا شکست عمدتاً از ناحیه Restart اتفاق افتاده است. همچنین همبستگی نتایج آزمون‌های مکانیکی با تصاویر رادیوگرافی نشان داد که شدت RPR با احتمال بروز عیوب IF, LOP, RC و BT ارتباط مستقیم دارد. این یافته‌ها بیانگر آن است که RPR صرفاً یک ناپیوستگی ظاهری نبوده، بلکه بر رفتار مکانیکی اتصال نیز تأثیرگذار است.



شکل 4-5. تصاویر یا نتایج آزمون‌های خمش نمونه‌های دارای (PRP)

اعتبارسنجی میدانی و اقدامات مدیریت دانش

پس از شناسایی RPR، این شاخص در چارچوب KB-WQRM به مخزن دانش پروژه افزوده شد و مجموعه‌ای از اقدامات مبتنی بر مدیریت دانش شامل تحلیل علل ریشه‌ای (RCA)، مستندسازی درس‌آموخته‌ها، بازنگری دستورالعمل‌های اجرایی، آموزش هدفمند جوشکاران، بازآموزی بازرسان و اصلاح چک‌لیست‌های کنترل کیفیت اجرا شد. همچنین نتایج آزمون‌های RT و تعمیرات به صورت مستمر به تیم‌های اجرایی بازخورد داده شد تا از تکرار این نقص جلوگیری شود.

اثربخشی اجرای چارچوب KB-WQRM

پایش پروژه در سه مرحله پس از استقرار چارچوب نشان داد که تعداد موارد Root Poor Restart به طور مستمر کاهش یافته و این روند با کاهش هم‌زمان عیوب IF، LOP، RC و BT همراه بوده است. این نتایج نشان می‌دهد که شناسایی زود هنگام RPR و به کارگیری مدیریت دانش در فرآیند تصمیم‌گیری، علاوه بر حذف علت ریشه‌ای نقص، از بروز عیوب ثانویه جلوگیری کرده و موجب کاهش دوباره کاری و ارتقای کیفیت اتصالات جوشی شده است.

5- نتیجه گیری و بحث نهایی

این پژوهش با هدف توسعه و اعتبارسنجی چارچوب مدیریت ریسک کیفیت جوش مبتنی بر مدیریت دانش (KB-WQRM) در پروژه‌های اجرایی صنعت نفت، گاز و پتروشیمی انجام شد. نتایج تحلیل داده‌های واقعی چهار پروژه نشان داد که تلفیق داده‌های NDT، سوابق کیفیت، تحلیل علل ریشه‌ای، درس‌آموخته‌ها و دانش خبرگان می‌تواند به شناسایی الگوهای تکرارشونده عیوب و کاهش ریسک‌های کیفیت جوش کمک کند.

نوآوری اصلی پژوهش، ارائه چارچوب KB-WQRM و معرفی شاخص پیش‌نگر (RPR) Root Poor Restart است. یافته‌ها نشان داد که کنترل RPR از طریق مدیریت دانش، آموزش هدفمند و اقدامات اصلاحی، موجب کاهش عیوب بحرانی نظیر IF، LOP، RC و BT و بهبود عملکرد کیفیت جوش می‌شود.

این پژوهش نشان می‌دهد که رویکرد دانش‌محور می‌تواند مدیریت کیفیت جوش را از یک فرآیند واکنشی به یک سیستم پیشگیرانه تبدیل کند. با این حال، به دلیل محدود بودن داده‌ها به چهار پروژه و عمدتاً فرآیند SMAW، اعتبارسنجی بیشتر چارچوب در پروژه‌ها و فرآیندهای جوشکاری متنوع پیشنهاد می‌شود.

6- مراجع

- 1- محراب درخشان؛ تحلیل اثر به کارگیری مدیریت دانش بر مدیریت ریسک کیفیت جوش و ارتقای اثربخشی بازرسی جوش در پروژه‌های نفت، گاز و پتروشیمی، هشتمین کنفرانس بین‌المللی جوشکاری و آزمایش‌های غیرمخرب، بیست و ششمین کنفرانس ملی جوش و بازرسی، پانزدهمین کنفرانس ملی آزمایش‌های غیرمخرب و چهارمین کنفرانس ملی ساخت افزایشی، تهران، 1404
- 2- سلیمانی، حامد؛ محمودیان، مهدی، لزوم ایجاد شبکه ملی مدیریت دانش در صنایع نفت و گاز ایران، هشتمین کنفرانس ملی و دومین کنفرانس بین‌المللی مدیریت دانش، 1394
- 3- کافی‌زاده یزدی، محمدرضا، جایگاه مدیریت دانش در عملکرد سازمانی شرکت‌های عمرانی (مطالعه موردی شرکت جهاد نصر استان یزد)، چهارمین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی در مهندسی عمران، معماری و مدیریت شهری. 1395

4- الهی، سیدمجید؛ جمشیدی، سحر؛ زارع‌پور، مونا، انتقال تکنولوژی در صنعت نفت ایران، اولین همایش علمی پژوهشی یافته‌های نوین علوم مدیریت، کارآفرینی و آموزش ایران.

5. Nonaka, I., & Takeuchi, H. The Knowledge-Creating Company: How Japanese Companies Create the Dynamics of Innovation. Oxford University Press (1995).

6. Davenport, T. H., & Prusak, L. Working Knowledge: How Organizations Manage What They Know. Harvard Business School Press . (1998).

7. Nonaka, I. A Dynamic Theory of Organizational Knowledge Creation. Organization Science, 5(1), 14–37. (1994).

8. ISO 3834, Quality Requirements for Fusion Welding of Metallic Materials, (2021/2018)

9. API 1104, Welding of Pipelines and Related Facilities, (2023)

10. Inspection of Welding, API 577, 2014

11. Wei Rong, Somhatai Timsard, Jiaxing Liu, Achara Khamaksorn, Application of Knowledge Management in Oil and Gas Projects: A Systematic Literature Review The 9th International Conference on Digital Arts, Media, and Technology (DAMT) and the ECTI Northern Section Conference on Electrical, Electronics, Computer and Telecommunications Engineering (NCON), 2024

12. Finn Olav Bjørnson and Torgeir Dingsøyr, POSTPRINT, Knowledge Management in Software Engineering: A Systematic Review of Studied Concepts, Findings and Research Methods Used, November 29, 2018

13. Boulagouas, W. Fuzzy cognitive mapping-driven knowledge management based on 24Model for major accident prevention: A case study of oil and gas industry. International Journal of Knowledge Management Studies. . (2025).

14. Schieke, S., Geisenhoff, M., & Wang, K. NDE in Oil, Gas, and Petrochemical Facilities. Handbook of Nondestructive Evaluation 4.0, (2025).

15. Zhang, S., Wang, X., & Zhang, T. Combining Multi-scale U-Net with Transformer for Welding Defect Detection of Oil/Gas Pipeline. IEEE Access, (2025).

16. ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section IX

17. AWS D1.1/D1.1M – Structural Welding Code – Steel