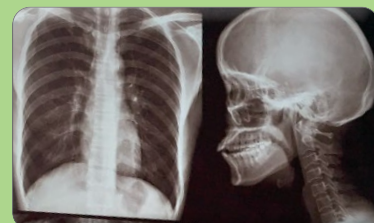


بررسی تاثیر برخی از عوامل موثر در نتایج DLS و راهکارهای کاهش خطا

ارتقا و توسعه شبکه آزمایشگاهی در سومین دهه فعالیت



بررسی اثر شرایط کاشت آرماتور با
چسب‌های شیمیایی در بتن بر میزان
مقاومت بیرون‌کشی



تفسیر فیلم رادیوگرافی با استفاده از هوش
مصنوعی و روش‌های پردازش تصویر



کاربرد فیلتراسیون در آماده‌سازی نمونه‌ها در
کروماتوگرافی (بخش اول)



مقایسه دو روش هضم اسیدی و هضم خشک
در تعیین فلزات سنگین سرب و کادمیوم به
روش جذب اتمی کوره گرافیت در برنج



واکنش زنجیره‌ای پلیمراز قطره‌ای، گامی نو در
تشخیص مولکولی

نویسندگان

سجاد رضانی جلفایی^{۱*}حسین محمدی^۲، مازیار نادر اصلی^۳

۱. کارشناس بخش تحقیق و توسعه شرکت آزمون فولاد

۲. سرپرست بخش تحقیق و توسعه شرکت آزمون فولاد

۳. مدیر بازرسی فنی شرکت آزمون فولاد

*Sajadr.j1993@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۲۳

تفسیر فیلم رادیوگرافی با استفاده از هوش مصنوعی و روش‌های پردازش تصویر



واژه‌های کلیدی

هوش مصنوعی، پردازش تصویر، رادیوگرافی صنعتی، بازرسی غیرمخرب.



چکیده

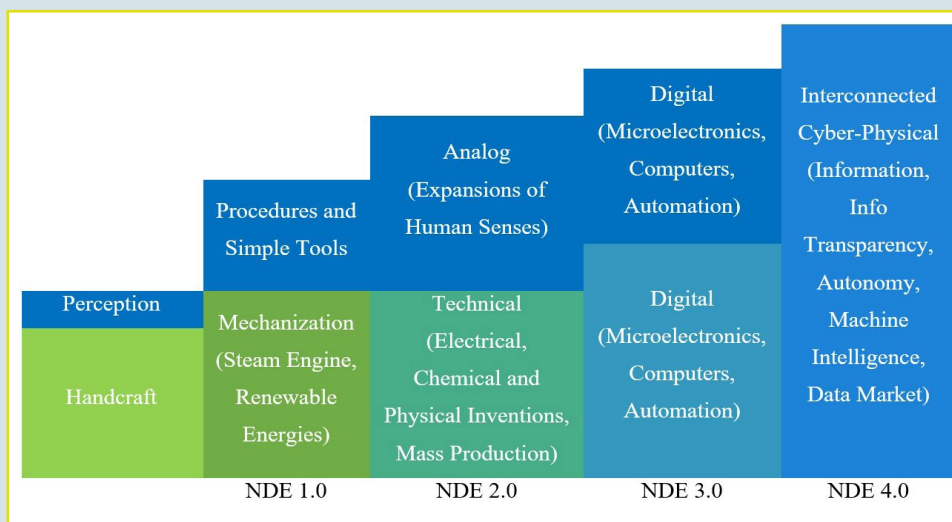
امروزه از هوش مصنوعی و پردازش تصویر برای تحلیل دقیق تصاویر رادیوگرافی جوش‌های صنعتی در بازرسی‌های غیرمخرب استفاده می‌شود. این سیستم با بهبود کیفیت و کاهش نویز تصاویر، به شناسایی و طبقه‌بندی خودکار عیوب در جوش می‌پردازد. بهره‌گیری از یادگیری عمیق به کاهش وابستگی به تفسیر انسانی کمک کرده و عوامل خارجی را محدود می‌سازد. این فناوری به بازرسان و مهندسان جوش در صنایع مختلف مانند نفت، گاز و خودروسازی امکان تحلیل سریع و دقیق داده‌ها را می‌دهد و بازدهی و ایمنی فرآیندهای صنعتی را به‌طور چشم‌گیری افزایش می‌دهد.

آزمون غیرمخرب^۱ نقش اساسی در بازرسی زیرساخت‌ها در صنایع گوناگون دارد و در جایی که پایش مستمر برای تضمین کیفیت محصولات دارای اهمیت است، نگهداری از زیرساخت‌های فرسوده و ایمنی تجهیزات عملیاتی ضرورت دارد. هدف اصلی آزمایش‌های NDT، ارزیابی وضعیت نمونه‌ها است که خطر خرابی‌های احتمالی را بدون ایجاد آسیب کاهش می‌دهد؛ برخلاف روش‌های مخرب که باعث از بین رفتن نمونه می‌شوند. روش‌های متنوع NDT، مانند نشت شار مغناطیسی، جریان گردابی، رادیوگرافی و اولتراسونیک، به دلیل هزینه‌های بالای خرابی‌ها و ضرورت حفظ ایمنی در صنایع حساسی همچون انرژی و حمل‌ونقل به کار می‌روند. در سال‌های اخیر، نیاز به بازرسی‌های سریع، دقیق و مقرون به صرفه افزایش یافته است و این امر موجب تحول NDT از روش‌های سنتی به سیستم‌های داده‌محور و خودکار با عنوان «NDT 4» شده است که با بهره‌گیری از فناوری‌های پیشرفته، علاوه بر افزایش بهره‌وری، به کاهش هزینه‌ها و افزایش ایمنی زیرساخت‌ها کمک می‌کند [۱].

انقلاب صنعتی چهارم^۲ که نخستین بار در سال ۲۰۱۱ در نمایشگاه هانوفر مسه^۳ آلمان معرفی شد، تحولی را آغاز کرد که با هوشمندسازی گسترده در سیستم‌های تولید و توزیع، صنایع مختلف را به سمت بهره‌گیری از فناوری‌های نوین برای ارتقای کیفیت و بهره‌وری سوق داد. این انقلاب، مفهومی جامع برای استفاده از فناوری‌های پیشرفته‌ای مانند اینترنت اشیا^۴، هوش مصنوعی^۵، داده‌های بزرگ^۶، ارتباطات نسل پنجم مخابرات^۷

است. به موازات آن، مفهوم نسل چهارم آزمون‌های غیرمخرب (NDT 4) که به بازرسی هوشمند معروف است، برای همگام‌سازی آزمون‌های غیرمخرب با این تحولات هوشمند شکل گرفته است. NDT 4 با افزایش دقت و شفافیت ارزیابی‌ها و خودکارسازی فرآیندهای بازرسی، به یکی از ارکان اساسی انقلاب صنعتی چهارم تبدیل شده‌است و با تکیه بر هوش مصنوعی و پردازش داده‌های پیشرفته، ارزیابی‌ها در روش‌های مختلف NDT نظیر رادیوگرافی را بهبود می‌بخشد و تضمین ایمنی و کیفیت در صنایع را فراهم می‌سازد [۲].

شکل (۱) نمایشی از چهار انقلاب صنعتی و همچنین انقلاب‌های مربوط به NDT را نشان می‌دهد. انقلاب‌ها در NDT لزوماً با همان ترتیب زمانی رخ نداده‌اند و در بیشتر موارد با تأخیر نسبت به انقلاب‌های صنعتی به وقوع پیوسته‌اند. این ساختار نشان می‌دهد که محور (x) شکل را نباید به‌عنوان یک جدول زمانی دقیق در نظر گرفت.



شکل (۱): نمایشی از چهار انقلاب صنعتی و همچنین انقلاب‌های مربوط به آزمون‌های غیرمخرب NDT در زمان‌های مختلف [۲].

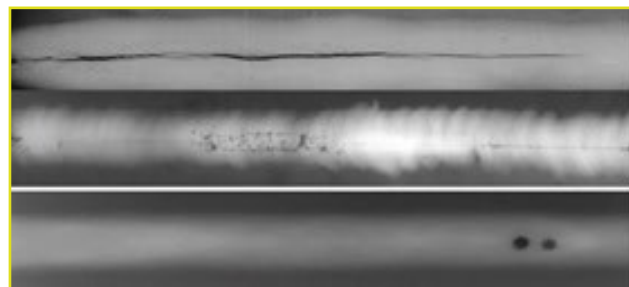
تاریخچه آزمون‌های غیرمخرب با هر دوره از انقلاب‌های صنعتی پیشرفت کرده است. نسل اول آزمون‌های غیرمخرب (NDT 1) هم‌زمان با انقلاب صنعتی اول شکل گرفت و از ابزارهای ساده‌ای مانند ذره‌بین و ضربه برای تقویت حس‌های انسانی در بازرسی‌ها استفاده می‌شد. در نسل دوم آزمون‌های غیرمخرب (NDT 2) که با انقلاب صنعتی دوم و ورود برق همراه بود، ابزارهای آنالوگ مانند امواج فراصوت و اشعه ایکس، امکان دیدن فراتر از حس‌های انسانی را فراهم کردند. نسل سوم آزمون‌های غیرمخرب (NDT 3) در انقلاب صنعتی سوم با ظهور فناوری‌های هوشمند، قابلیت‌های جمع‌آوری، ذخیره‌سازی و تحلیل داده‌ها را گسترش داد و حسگرهای هوشمند و تصویرسازی دو و سه‌بعدی را معرفی کرد. اکنون در NDT 4، ابزارهای هوشمند و روش‌های فیزیکی به‌صورت یکپارچه عمل می‌کنند تا داده‌های کاملی از تولید تا نگهداری جمع‌آوری شود و در این مرحله، عملکرد بازرسی‌ها به سطح بالاتری از دقت و خودکارسازی رسیده است [۲].

هوش مصنوعی در NDT 4 امکان بازرسی هوشمند، دقیق و خودکار را فراهم می‌کند. در واقع، هوش مصنوعی مجموعه‌ای از الگوریتم‌ها و روش‌ها است که به ماشین‌ها این توانایی را می‌دهد که مانند انسان‌ها یاد بگیرند و تصمیم‌گیری کنند. یکی از روش‌های مؤثر در این زمینه، شبکه عصبی پیچشی^۵ است که به‌طور ویژه برای پردازش داده‌های تصویری طراحی شده و به‌صورت مؤثر ویژگی‌های تصاویر را استخراج کرده و الگوهای پیچیده را شناسایی می‌کند [۵]. این روش به ویژه در پردازش تصاویر، مانند فیلم‌های رادیوگرافی جوش، کاربرد دارد. پردازش تصویر در این زمینه به معنای استخراج ویژگی‌ها و اطلاعات از تصاویر است که به شناسایی عیوب جوش کمک می‌کند. ترکیب هوش مصنوعی، شبکه عصبی پیچشی و پردازش تصویر، این امکان را فراهم می‌آورد که به‌طور خودکار و دقیق، تصاویر رادیوگرافی جوش را تحلیل کنیم. این روش‌ها به ویژه در رادیوگرافی هوشمند که تصاویر با وضوح بالاتر و تعداد بیشتری در دسترس هستند، کارایی بالاتری دارند. در واقع، این سیستم‌ها می‌توانند نقص‌های جوش را با دقت بالا شناسایی کنند، به ویژه در مواردی که تصاویر با کیفیت بالا از جوش‌های با قطر بزرگ در یک کارخانه صنعتی بررسی می‌شود. طبق مطالعات بازار، پیش‌بینی می‌شود که بازار شناسایی تصاویر از ۲۶ میلیون دلار در سال ۲۰۲۰ به بیش از ۵۰ میلیون دلار تا سال ۲۰۲۵ برسد. این روند، نشان‌دهنده رشد قابل توجه استفاده از هوش مصنوعی در تحلیل تصاویر صنعتی و کاربردهای مختلف آن است [۴].

■ رادیوگرافی

رادیوگرافی از اشعه ایکس یا گاما برای تولید تصویر از داخل مواد و اجسام استفاده می‌کند که در شناسایی عیوب داخلی به ویژه در جوش‌ها کاربرد دارد. در این روش، تابش اشعه به داخل ماده نفوذ می‌کند و بسته به نوع و چگالی ماده و میزان انرژی تابش، بخشی از آن جذب و یا از ماده عبور می‌کند. شدت تابش دریافت‌شده در سمت دیگر شیء، اطلاعاتی درباره چگالی و ساختار داخلی آن فراهم می‌کند که می‌تواند نشانگر نقص‌ها یا تغییرات در ضخامت ماده باشد.

در رادیوگرافی، عیوب جوش باعث تغییر در چگالی ماده می‌شوند که این تغییرات در تصاویر رادیوگرافی به صورت اختلاف در شدت رنگ‌ها نمایان می‌شوند. هر چند این روش برای شناسایی برخی نقص‌ها مناسب است، اما در تشخیص و تعیین ابعاد ترک‌های کوچک در ضخامت ماده دقت کافی ندارد. بنابراین، در مواردی که نیاز به دقت بالا برای شناسایی نقص‌های سطحی و یا ابعاد دقیق عیوب داخلی وجود دارد، رادیوگرافی ممکن است به‌عنوان تنها روش کافی نباشد و نیاز به روش‌های تکمیلی باشد. این روش به‌عنوان یکی از روش‌های موثر در NDT به‌ویژه برای تشخیص و شناسایی عیوب داخلی جوش‌ها به کار گرفته می‌شود. شکل (۲) ظاهر برخی از عیوب جوش را در تصاویر رادیوگرافی نشان می‌دهد.



شکل (۲): نمونه‌های آزمون رادیوگرافی از عیوب جوش [۵].

■ عیوب جوشکاری

در بازرسی‌های جوش، شناسایی و تحلیل عیوب جوشکاری که ناشی از عوامل مختلفی مانند تنش‌های حرارتی، فرآیندهای غیراستاندارد جوشکاری و شرایط محیطی نامساعد هستند، به‌عنوان یکی از اساسی‌ترین فعالیت‌ها در راستای اطمینان از کیفیت و دوام ساختارها شناخته می‌شود. شدت این عیوب و اثرگذاری آن‌ها بر استحکام و ایمنی سازه، بسته به نوع، موقعیت و اندازه عیوب و همچنین نوع بارگذاری (استاتیکی یا دینامیکی) متفاوت است. در نتیجه، تفسیر دقیق فیلم‌های

رادیوگرافی به‌ویژه برای شناسایی عیوب داخلی جوش، یکی از مهم‌ترین مراحل بازرسی محسوب می‌شود.

ترک‌های طولی و عرضی، تخلخل‌های گازی، نفوذ ناقص، همجوشی ناقص و بریدگی‌های کناری، نمونه‌هایی از عیوب رایج در جوشکاری هستند که هر یک به روش خاصی روی فیلم‌های رادیوگرافی نمایان می‌شوند. ترک‌ها، به‌خصوص ترک‌های طولی و عرضی که در اثر تنش‌های داخلی و یا انقباض و انبساط فلز حین سرد شدن ایجاد می‌شوند، می‌توانند در سطح جوش، ریشه جوش و یا در تمامی مقاطع جوش دیده شوند. این ترک‌ها از نظر خطرات بالقوه، به دلیل ایجاد تمرکز تنش بالا در محل ترک، می‌توانند به شکست زودرس ساختار منجر شوند. در تفسیر فیلم‌های رادیوگرافی، ترک‌ها به‌طور معمول به‌صورت خطوط تیره و باریک نمایان می‌شوند و موقعیت آن‌ها نسبت به ریشه و سطح جوش اهمیت زیادی دارد [۴].

در موارد دیگر، تخلخل‌های گازی ناشی از محبوس شدن گازهای آزاد شده در طول فرآیند جوشکاری و یا ناشی از مواد باقی‌مانده از ریخته‌گری هستند. این عیوب که به‌صورت نقاط تیره و کوچک روی فیلم ظاهر می‌شوند، ممکن است در عمق جوش پراکنده شده و بسته به اندازه و تعدادشان بر کیفیت جوش تأثیرگذار باشند. استانداردهای بازرسی میزان پذیرش و یا رد این تخلخل‌ها را با توجه به نوع بارگذاری و موقعیت عیب تعیین می‌کنند.

چاله‌های انتهایی جوش که به‌دلیل قطع ناگهانی قوس الکتریکی و یا تمام شدن الکترود به‌وجود می‌آیند، اغلب در نواحی پایانی جوش قابل مشاهده‌اند. این نواحی باید با جوشکاری مجدد و پر کردن تا سطح معین، به‌طور کامل جبران شوند، زیرا در غیر این صورت می‌توانند محل تجمع تنش و ایجاد ترک‌های ثانویه شوند.

یکی دیگر از عیوب مهم، نفوذ ناقص است و هنگامی رخ می‌دهد که فلز جوش به‌طور کامل در عمق اتصال نفوذ نکند. این عیب که روی فیلم رادیوگرافی به‌صورت یک خط تیره و باریک در ناحیه ریشه جوش دیده می‌شود، می‌تواند به‌طور چشم‌گیری از استحکام ساختار بکاهد، به‌خصوص در بارگذاری‌های دینامیکی و نواحی با تنش بالا. در این موارد، عمق نفوذ جوش باید به‌گونه‌ای باشد که تمامی مقاطع اتصال را دربر گیرد تا از تمرکز تنش در ریشه جلوگیری شود.

بریدگی‌های کناری جوش نیز یکی دیگر از عیوب سطحی هستند که به دلیل تنظیم نادرست عوامل جوشکاری و یا کنترل ضعیف روش جوشکاری ایجاد می‌شوند. این بریدگی‌ها که در مرز بین فلز پایه و فلز جوش به وجود می‌آیند، ممکن است در بارگذاری‌های استاتیکی قابل پذیرش باشند، اما در بارگذاری‌های دینامیکی، می‌توانند به گسترش ترک‌ها و کاهش عمر سرویس قطعه منجر شوند.

همه این عیوب که روی فیلم‌های رادیوگرافی قابل شناسایی هستند، نیازمند دقت بالایی در تفسیر و تحلیل‌اند. با

قادرند که با بهبود کیفیت تصاویر، حذف نویز، افزایش کنتراست و شناسایی خودکار الگوهای عیوب، دقت و کارایی فرآیند بازرسی را افزایش دهند. به‌ویژه، شبکه‌های عصبی پیچشی و مدل‌های پیشرفته یادگیری عمیق، می‌توانند تصاویر رادیوگرافی را پردازش کرده و عیوب را با دقت بالاتری شناسایی کنند، که این امر نقش مؤثری در بهبود دقت و سرعت بازرسی‌های جوش ایفا می‌کند.

جدول (۱) به تعریف عیوبی می‌پردازد که با استفاده از هوش مصنوعی و روش‌های پردازش تصویر در این فناوری قابل تشخیص و شناسایی هستند.

جدول (۱): عیوب جوش متداول قابل تشخیص با پردازش تصویر [۴].

نوع ناپیوستگی	نماد	توضیحات
ترک	Crack (C)	نقصی که با یک شکست ایجاد می‌شود و به‌طور معمول از تنش‌های تولید شده در حین خنک شدن ناشی می‌شود. این نوع نقص به‌عنوان ورود هیدروژن در مناطق سطحی یا زیر سطحی جوش شناخته می‌شود. این نقص جدی‌ترین نوع عیب در جوش است و باید حذف شود.
ذوب ناقص جوش	Lack of Fusion (L.O.F)	یک ناپیوستگی جوش که در آن همجوشی بین فلز جوش و سطوح همجوشی و یا ردیف‌های مجاور جوش اتفاق نمی‌افتد. این نقص به دلیل عدم اتصال فلز پرکننده به فلز پایه مجاور رخ می‌دهد زیرا سطح فلز پایه در حین جوشکاری به دمای ذوب نرسیده است.
تخلخل	Porosity (P)	حفره‌های کوچک و یا سوراخ‌هایی که بیشتر شکلی کروی دارند. تخلخل زمانی رخ می‌دهد که برخی از اجزای فلز مذاب بخار شده و باعث ایجاد حباب‌های گاز کوچک می‌شوند که در فلز به هنگام انجماد به دام می‌افتند. این حفره‌ها به‌طور معمول شکلی کروی دارند.
حفره‌های خوشه‌ای	Cluster Porosity (C.P)	تخلخل معمولی در رادیوگرافی که به‌صورت یک گروه خوشه‌ای بسته دیده می‌شود. به‌طور کلی، علت این نوع تخلخل، آلودگی الکترودهای پوشش‌دار با رطوبت است. رطوبت در اثر حرارت در حین فرآیند جوشکاری به گاز تبدیل و در جوش محبوس می‌شود.
ناخالصی سرباره	Slag Inclusions (S.I)	این ناپیوستگی بیشتر در جوشکاری با قوس محافظت شده اتفاق می‌افتد و زمانی رخ می‌دهد که سرباره قادر به شناور شدن به سطح فلز مذاب نبوده و در حین انجماد در فلز جوش به دام می‌افتد.
ناخالصی تنگستن	Tungsten Inclusions (TI)	این نوع نقص در فلز جوش ایجاد شده توسط جوشکاری قوس تنگستن با گاز یافت می‌شود و به دلیل تماس الکترود تنگستن با فلز مذاب ایجاد می‌شود.
نفوذ ناقص	Lack of penetration (L.O.P)	این عیب زمانی که فلز جوش نتواند به‌طور کامل در درز جوش نفوذ نماید پدید می‌آید. این عیب یکی از مخرب‌ترین عیوب جوش است. LOP سبب می‌شود تا تنش‌های موضعی ایجاد گشته و باعث ایجاد ترک شود.
تقعر ریشه	R.C	شیار کم عمقی است که در ریشه جوش‌های نفوذی با اتصال لب به لب به دلیل انقباض جوش ایجاد می‌شود. به‌طور معمول اگر در طرح اتصال درز جوش از اندازه مجاز بیشتر باشد و فضای اضافی در این ناحیه ایجاد کند، انقباض فلز مذاب جوش می‌تواند منجر به بروز این عیب شود.

می‌کند. این سیستم‌های هوشمند به‌صورت خودکار به تحلیل داده‌های تصویری پرداخته، الگوها و ناهنجاری‌ها را شناسایی کرده و عیوب را دسته‌بندی می‌کنند.

پردازش تصویر که شامل بازسازی، بهبود و تفسیر محتوای تصاویر است، در رادیوگرافی هوشمند نقشی کلیدی ایفا می‌کند. الگوریتم‌های بینایی ماشین^{۱۲}، با استفاده از قدرت پردازشی پیشرفته رایانه‌ها، قادرند به‌طور خودکار فرآیندهایی مانند بازسازی اثرات خرابی در تصاویر و شناسایی ویژگی‌ها را انجام دهند. این فناوری نه تنها برای بهبود کیفیت تصاویر استفاده می‌شود، بلکه در جداسازی نواحی مختلف تصویر برای تشخیص دقیق عیوب نیز کاربرد دارد. چنین تحلیل دقیقی، به‌ویژه برای بازرسی‌های غیرمخرب که نیازمند دقت بالا

این حال، عوامل متعددی مانند نویز تصویر، کنتراست پایین، ناهمگونی توزیع خاکستری و خستگی بازرسان می‌توانند منجر به خطاهای قابل توجهی در تشخیص و تفسیر عیوب شوند. کیفیت پایین تصاویر، به‌ویژه برای شناسایی عیوب کوچک و غیر واضح، می‌تواند روند بازرسی را با چالش‌هایی مواجه سازد و در برخی موارد به بروز خطاهای جدی در ارزیابی منجر شود.

با استفاده از روش‌های پردازش تصویر و فناوری‌های پیشرفته‌ای مانند هوش مصنوعی و یادگیری عمیق، می‌توان این چالش‌ها را به‌طور قابل توجهی کاهش داد. این فناوری‌ها

■ هوش مصنوعی در رادیوگرافی و تشخیص عیوب جوش

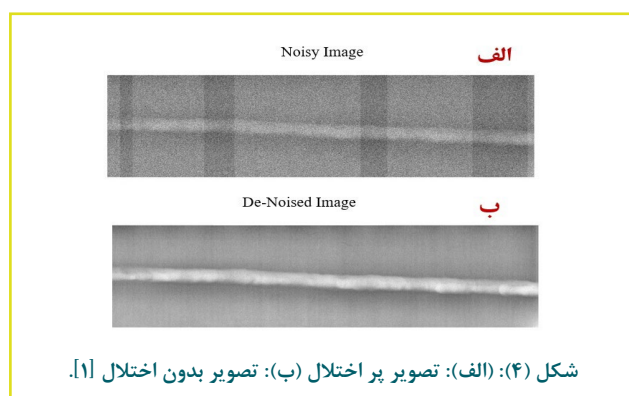
رادیوگرافی هوشمند با استفاده از پردازش تصویر^۹ و یادگیری ماشین^{۱۰}، به‌عنوان بخشی از انقلاب NDT 4، نقش قابل توجهی در افزایش کارایی و دقت تشخیص عیوب در صنایع و نیروگاه‌ها ایفا می‌کند. در این زمینه، هوش مصنوعی به‌طور گسترده‌ای به کار گرفته شده و بهبود چشمگیری در کاهش خطاهای انسانی، ارتقاء دقت و تحلیل سریع‌تر نتایج بازرسی به همراه داشته است. استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین و یادگیری عمیق^{۱۱} به توانایی سیستم‌ها برای تحلیل تصاویر و شناسایی عیوبی که شناسایی آن‌ها برای چشم انسان دشوار است کمک

□ روش مورد استفاده برای تشخیص عیب

نرم افزار تفسیر فیلم های رادیوگرافی با استفاده از هوش مصنوعی شامل چندین مرحله کلیدی است که از ابزارهای مختلف پردازش تصویر، یادگیری ماشین و شبکه های عصبی پیچشی بهره می گیرد. این مراحل شامل پردازش تصویر، استخراج ویژگی ها، شناسایی نقص ها و طبقه بندی هستند و در هر بخش از هوش مصنوعی به روش های خاصی استفاده می شود تا اطلاعات دقیق تری برای بازرس فراهم شود. این فناوری کمک می کند که در یک فرآیند خودکار و سریع، به صورت دقیق و با حداقل خطای انسانی به بررسی عیوب احتمالی در تصاویر رادیوگرافی پرداخته شود [۶].

مراحل در این فرآیند به این صورت است که در مرحله اول، در فرآیند پردازش تصاویر رادیوگرافی با استفاده از هوش مصنوعی، ابتدا تصاویر برای حذف اختلال و بهبود کیفیت آماده سازی می شوند. این مرحله شامل چندین زیرفرآیند است که هر یک برای بهبود وضوح و قابلیت شناسایی عیوب جوش اهمیت دارند. در گام نخست، اختلال های مختلفی که در تصویر وجود دارند و می توانند شناسایی دقیق نقص ها را دشوار کنند، با استفاده از فیلترهای تصویری و الگوریتم های شبکه های عصبی پیچشی شناسایی و حذف می شوند. حذف این اختلال ها باعث افزایش کنتراست و وضوح تصویر شده و امکان شناسایی دقیق تر جزئیات را فراهم می کند [۱].

این امر نرخ شناسایی عیوب توسط ناظر انسانی را بهبود بخشیده و همچنین زمان صرف شده برای بررسی یک تصویر را کاهش می دهد. مثالی در شکل (۴) نشان داده شده است که در آن تصویر جوش دارای اختلال (الف) با چندین دانه بندی اختلال مختلف نمایش داده شده است. اگر یک الگوریتم هوش مصنوعی بتواند تصویر را بازسازی کرده و به انواع مختلف اختلال به طور خودکار واکنش نشان دهد، می تواند آن را به تصویری با اختلال کمتر (ب) تبدیل کند و در عین حال جزئیات اصلی تصویر را حفظ نماید. مزیت چنین الگوریتم هوش مصنوعی این است که ویژگی های محلی (مانند عیوب، لبه های جوش، پس زمینه و غیره) می توانند براساس موقعیت مکانی شان به طور متفاوتی پردازش شوند [۱].

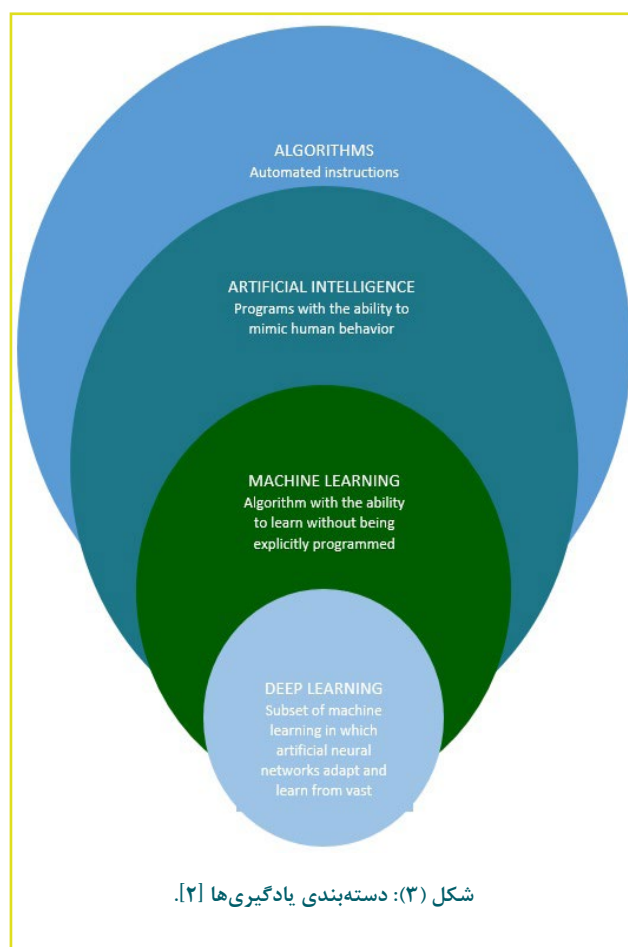


هستند، اهمیت دارد [۶].

از سوی دیگر، یادگیری ماشین با استفاده از الگوریتم های خاص مانند شبکه های عصبی پیچشی، به این سیستم ها امکان می دهد تا داده ها را به صورت خودکار یاد بگیرند و به دسته بندی و تحلیل عیوب بپردازند. شبکه های عصبی، با الهام از ساختار مغز انسان، اطلاعات را به صورت لایه های متوالی پردازش می کنند و به ویژه برای تحلیل الگوهای پیچیده و داده های بزرگ کاربرد دارند. یادگیری عمیق، به عنوان زیرشاخه ای از یادگیری ماشین، از لایه های متعدد پردازشی برای ایجاد سلسله مراتب ویژگی ها بهره می برد و توانایی کشف روابط پیچیده بین داده ها را دارد [۶].

با استفاده از این فناوری ها، فرآیندهای بازرسی در NDT ۴ دقیق تر، سریع تر و اقتصادی تر شده و هزینه های نگهداری کاهش یافته است. این روش ها در کنار کاهش خطای انسانی، موجب افزایش اطمینان در بازرسی ها و ارتقاء کیفیت داده های جمع آوری شده شده اند. به کارگیری موفق این سیستم ها نیازمند دانش تخصصی در بازرسی و الگوریتم های یادگیری ماشین است تا خروجی های دقیق و قابل اعتمادی ارائه و اطمینان حاصل شود که فرآیند بازرسی نه تنها کارآمد، بلکه ایمن و مقرون به صرفه خواهد بود.

همان طور که شکل (۳) نشان می دهد، الگوریتم های یادگیری ماشین زیرمجموعه ای از الگوریتم ها هستند که توانایی تقلید رفتار انسان را دارند.



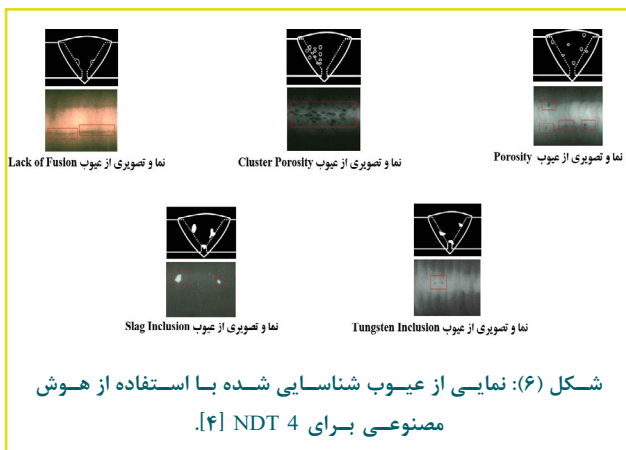
تعریف دستی ویژگی‌ها انجام می‌شود؛ شبکه به‌طور خودکار ویژگی‌های مهم را از تصاویر آموزش دیده می‌آموزد و برای شناسایی نقص‌ها آماده می‌شود.

در مرحله شناسایی نقص‌ها، ویژگی‌های استخراج شده از مرحله قبل، به مدل‌های پیشرفته یادگیری ماشین و الگوریتم‌های یادگیری داده می‌شوند. این الگوریتم‌ها، وظیفه طبقه‌بندی و شناسایی دقیق عیوب را بر عهده دارند و قادرند عیوب مختلف، از جمله ترک‌ها، حفره‌ها و انحرافات ساختاری را شناسایی کنند. این مدل‌ها براساس داده‌های برچسب‌گذاری شده از عیوب قبلی آموزش دیده‌اند و با مقایسه ویژگی‌های استخراج شده از تصویر جدید با الگوهای شناخته شده، تشخیص می‌دهند که آیا عیبی وجود دارد یا خیر و اگر وجود دارد نوع آن چیست.

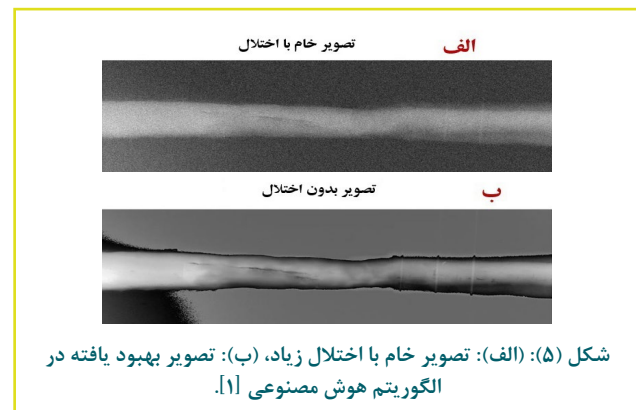
در پایان، نقص‌ها براساس نوع و شدت دسته‌بندی می‌شوند. در این مرحله از الگوریتم‌های طبقه‌بندی یادگیری عمیق استفاده می‌شود. شبکه‌های عصبی پیچشی می‌توانند با تحلیل الگوهای شناسایی شده، عیوب را به دسته‌های مختلفی مانند ترک‌ها، حفره‌ها و تغییر شکل‌ها تقسیم کنند. این تحلیل به بازرسان این امکان را می‌دهد که نه تنها نوع عیب، بلکه شدت و موقعیت آن را نیز ارزیابی کنند [۶].

از آنجایی که این روش نیاز به مداخله انسانی را کاهش می‌دهد، احتمال بروز خطاهای انسانی نیز به حداقل می‌رسد. به‌ویژه در صنایع پیچیده مانند نفت و گاز و صنایع سنگین، این دقت و سرعت بالا به حفظ ایمنی و افزایش کارایی کمک می‌کند.

همچنین، سیستم‌های مبتنی بر هوش مصنوعی قادرند با داده‌های جدید به روز شوند و الگوهای جدید را یاد بگیرند، که این امر به معنای قابلیت ارتقاء و سازگاری سیستم‌ها با تغییرات صنعتی است. این انعطاف‌پذیری و پایداری، هوش مصنوعی را به ابزاری ارزشمند و کارآمد برای بازرس‌های صنعتی تبدیل می‌کند که می‌تواند سلامت و کیفیت سازه‌ها و تجهیزات را به شکل قابل اعتمادی پایش کند. شکل (۶) عیوب شناسایی شده با استفاده از هوش مصنوعی برای NDT 4 را نشان می‌دهد.



به جز حذف اختلال، شکل (۵) نمونه‌ای از بهبود تصویر را نشان می‌دهد که در آن یک ترک در جوش قابل مشاهده است. بسته به محدوده مقادیری که به ناظر انسانی ارائه می‌شود، عمق‌های مختلفی دیده می‌شود. بنابراین، در بیشتر موارد ناظر نیاز دارد که دو یا سه نمای متفاوت را بررسی کند تا بتواند تمامی عیوب را در تمام عمق‌ها به‌طور کامل مشاهده کند [۱]. سپس تغییرات هندسی مانند تغییر اندازه، چرخش و برش بخشی از تصویر به کار گرفته می‌شود تا ابعاد و زوایای تصویر با مدل پردازشی مطابقت بیشتری داشته باشند. پس از آن، تنظیمات مختلفی نظیر افزایش کنتراست، اصلاح گاما و تنظیم روشنایی اعمال می‌شود. این بهبودها باعث می‌شوند که بخش‌های مهم تصویر با دقت بیشتری قابل مشاهده باشند و جزئیات مورد نیاز برای شناسایی نقص‌ها بهتر نمایان شوند. این تنظیمات به شبکه‌های عصبی کمک می‌کنند تا ویژگی‌های مهم تصویر را با دقت بیشتری تشخیص دهند. درنهایت، اطلاعات پردازش شده و به‌دست‌آمده از تصویر ذخیره می‌شود تا در مراحل بعدی پردازش، مانند شناسایی و طبقه‌بندی عیوب، مورد استفاده قرار گیرد. مجموعه این فرآیندها موجب می‌شود که تصویر رادیوگرافی نهایی، از لحاظ وضوح و کیفیت، به بهترین حالت ممکن برای تحلیل هوش مصنوعی برسد و عیوب و نواقص به‌صورت دقیق و قابل اعتماد شناسایی شوند [۱].



پس از آماده‌سازی تصویر، مرحله استخراج ویژگی‌ها آغاز می‌شود. شبکه‌های عصبی پیچشی در این مرحله نقش حیاتی ایفا می‌کنند. این شبکه‌ها از لایه‌های پیچشی برای شناسایی الگوهای مختلف در تصویر استفاده می‌کنند. لایه‌های اولیه شبکه، ویژگی‌های ابتدایی مثل لبه‌ها و زوایا را شناسایی می‌کنند، در حالی که لایه‌های عمیق‌تر به شناسایی ویژگی‌های پیچیده‌تری نظیر ترک‌ها، حفره‌ها و عیوب ساختاری می‌پردازند. در این مرحله، شبکه در اصل اطلاعات مهم تصویر را جمع‌آوری می‌کند اما هنوز به تشخیص نهایی نقص‌ها نمی‌پردازد و داده‌های خام مربوط به نقص‌های احتمالی را استخراج کرده و آن‌ها را به‌عنوان ورودی برای مراحل بعدی آماده می‌کند. این مرحله بدون نیاز به

اجرای پروژه NDT 4 در صنایع مختلف، صرفاً یک ارتقاء در روش‌های بازرسی محسوب نمی‌شود، بلکه تحولی بنیادین در مدیریت و نگهداری زیرساخت‌های حیاتی صنایع است. این فناوری دقت و سرعت بی‌نظیری در تشخیص عیوب فراهم کرده و با اتوماسیون هوشمندانه فرآیندهای بازرسی، امکان پایش مداوم تجهیزات به‌صورت آنلاین را ممکن می‌سازد. این فناوری اجازه می‌دهد عیوب پیش از بروز خرابی جدی شناسایی شوند و توقف‌های غیرمنتظره به‌طور چشمگیری کاهش یابند که به حفظ ایمنی تجهیزات و افراد کمک شایانی می‌کند. NDT 4 همچنین به کاهش هزینه‌های عملیاتی، افزایش عمر مفید تجهیزات و بهبود بهره‌وری می‌انجامد و در نتیجه، ارزش دارایی‌های شرکت افزایش می‌یابد. با بهینه‌سازی فرآیندهای تعمیر و نگهداری و به‌کارگیری روش‌های پیشرفته، کاهش هزینه‌های بلند مدت در صنایع تحقق می‌یابد.

از نظر زیست محیطی، این پروژه اثرات مثبت چشم‌گیری دارد؛ به واسطه دقت بالای این فناوری و امکان شناسایی دقیق نشتی‌ها و خوردگی‌ها پیش از گسترش، احتمال انتشار آلاینده‌ها به محیط‌زیست به‌طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. بهبود بهره‌وری انرژی نیز از دیگر دستاوردهای این پروژه است که با افزایش عمر مفید تجهیزات و بهینه‌سازی فرآیندهای تولید، به کاهش مصرف انرژی منجر می‌شود. همچنین، داده‌های دقیق NDT 4 امکان برنامه‌ریزی بهینه برای مدیریت پسماندهای صنعتی را فراهم کرده و مانع از دفع غیرمسئولانه آن‌ها در محیط‌زیست می‌شود.

همچنین اجرای این فناوری، ایمنی پرسنل و تجهیزات را افزایش داده و خطر مواجهه با مواد خطرناک و وقوع حوادث صنعتی را کاهش می‌دهد؛ شناسایی و رفع عیوب پیش از بروز خطر، ایمنی کارکنان را ارتقا داده و احتمال وقوع حوادث را به حداقل می‌رساند. افزون بر این، با افزایش پایداری زیرساخت‌ها و بهبود آمادگی در برابر بحران‌ها، آسیب‌پذیری صنایع در برابر تهدیدات مختلف کاهش می‌یابد. پایداری زیرساخت‌ها نه تنها به‌عنوان یک عامل کلیدی در حفاظت از دارایی‌های شرکت مطرح است، بلکه در برابر حملات احتمالی نیز ایمنی بیشتری فراهم می‌کند و این صنعت را در مسیر توسعه پایدار هدایت می‌کند. در مجموع، NDT 4 با تأثیرات گسترده و چندجانبه‌ای که بر عملکرد، پایداری، ایمنی و بهره‌وری دارد، گامی اساسی در راستای ارتقاء کیفیت و مدیریت منابع در صنایع به شمار می‌آید.

پی‌نوشت

1. Nondestructive testing (NDT)
2. Industry 4
3. Hannovermesse
4. Internet of things (IoT)
5. Artificial intelligence (AI)
6. Big Data
7. 5G
8. Convolutional neural network (CNN)
9. Image processing
10. Machine Learning
11. Deep Learning
12. Machine vision

مراجع

- [1] M.Topp, and L. Strothmann, "How can NDT 4.0 improve the Probability of Detection (POD)", The e-Journal of Nondestructive Testing - ISSN 1435-4934, 2020
- [2] J. Vrana, and R. Singh, "NDE 4.0 - From Design Thinking to Strategy", DOI: 10.1007/s10921-020-00735-9, 2020
- [3] J. Vrana, N. Meyendorf, N. Ida, and R. Singh, "Introduction to NDE 4", DOI: 10.1007/978-3-030-48200-8_43-2, 2020
- [4] Adil EL HARRAK, Mohamed RHAAZAF, Member, IAENG, and Imane MOUMENE, "Deep learning approach for non-destructive radiographic testing of piping welds", 2024
- [5] Abdulmalik Mohammed AlShareef, Majdi Alnowaimi, and Mohammed Siddig, "Detection of welding crack defects based on CNN in non-destructive radiographic testing", 2024
- [6] Lakhani, Paras, and Baskaran Sundaram, "Deep learning at chest radiography": automated classification of pulmonary tuberculosis by using convolutional neural networks." Radiology 284.2, 2017.

Authors

Sajad Ramezani Jolfaei^{1*}Hossein Mohammadi²Maziar Nader Asli³[*Sajadr.j1993@yahoo.com](mailto:Sajadr.j1993@yahoo.com)

1. R&D Specialist at Azmounesh Foulad Co
2. Head of the R&D at Azmounesh Foulad Co
3. Technical Inspection Manager at Azmounesh Foulad Co

Radiographic Film Interpretation Using Artificial Intelligence and Image Processing Techniques



Abstract

Today, artificial intelligence and image processing are widely used for the precise analysis of radiographic images of industrial welds in non-destructive testing (NDT). These systems enhance image quality and reduce noise, enabling the automated detection and classification of welding defects. The utilization of deep learning minimizes reliance on human interpretation and limits external influencing factors. This technology empowers welding inspectors and engineers across various industries, such as oil, gas, and automotive, to analyze data swiftly and accurately, significantly improving the efficiency and safety of industrial processes.

Keywords

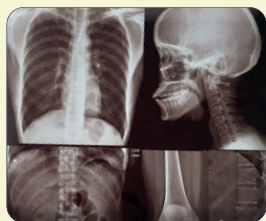
Artificial intelligence, image processing, industrial radiography, non-destructive testing.



Investigation of Key Factors Affecting DLS Results and Error Reduction Strategies



Investigation of the Effect of Reinforcement Installation Conditions Using Chemical Adhesives in Concrete on Pull-Out Resistance



Radiographic Film Interpretation Using Artificial Intelligence and Image Processing Techniques



Sample preparation on filtration in chromatography (Part 1)



Comparison of Acid Digestion and Dry Ashing Methods for Determination of Lead and Cadmium Heavy Metals in Rice by Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometry



Droplet Polymerase Chain Reaction; A New Step in Molecular Diagnosis