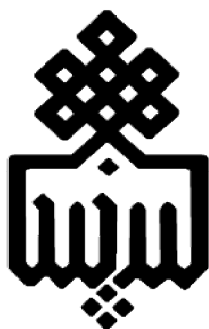


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه بیرجند
دانشکده مهندسی

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک - ساخت و تولید

تعیین هندسه جوش و بهینه‌سازی آن در جوشکاری زیرپودری فولاد ترمومکانیکال به

روش ماشین‌بینایی

دانشجو:

محمد علی مرادپور

اساتید راهنما:

دکتر سید حجت هاشمی

دکتر خلیل خلیلی

تابستان ۱۳۹۱

تقدیم به

به پدرم که عالمانه به من آموخت که چگونه در عرصه زندگی ایستادگی را تجربه کنم
به مادرم، دریای بیکران فداکاری و عشق که وجودم برایش همه رنج بود و وجودش برایم همه مهر
برادران مهربانم که پشتیبانیشان پیمودن این راه را بر من آسوده کرد
خواهران عزیزم که وجودشان آرامش بخش زندگی‌ام است.

تشکر و قدردانی

خدا را شاکرم از اینکه این توفیق را به من ارزانی داد تا بتوانم در مقطع کارشناسی ارشد وارد شوم و در محضر اساتید و دوستان عزیزم درس علم و اخلاق تلمذ نمایم. اکنون که این تحقیق به پایان رسیده است، بر خود لازم می‌دانم که از زحمات بی‌دریغ اساتید گرامی خود جناب آقای دکتر سید حجت هاشمی و جناب آقای دکتر خلیل خلیلی که با راهنمایی‌های دلسوزانه و خردمندانه خود، سمت استاد راهنما را معنای تازه بخشیدند و دیگر اساتید محترم گروه مکانیک خصوصاً جناب آقای دکتر حسین امیرآبادی و جناب آقای دکتر سید یوسف احمدی بروغنی کمال تشکر و تقدیر را بنمایم.

از فرد فرد اعضای خانواده‌ام، نهایت سپاسگذاری را دارم. امیدوارم بتوانم با سعی و تلاش بیشتر خود در این راه، پاسخگوی ذره‌ای از زحمات آنها باشم.

از شرکت لوله و تجهیزات سدید و شرکت متالورژی رازی که در انجام این تحقیق، ما را یاری کردند، کمال تشکر را دارم.

از اساتید گروه شیمی، خصوصاً جناب آقای دکتر ناصری و سرکار خانم دکتر سلیمی که آزمایشگاه شیمی آلی را در اختیارم قرار دادند، صمیمانه متشکرم.

از تمام دوستانم در دانشگاه بیرجند که باعث شدند دوران تحصیل من در این دانشگاه به فصلی به یاد ماندنی در دفتر زندگی‌ام تبدیل شود، تشکر می‌نمایم. نام‌های زیر، مجموعه‌ای قلم نوشته است که هیچ ترتیبی بر آنها نمی‌توان نهاد. اگر نامی در آن نیست حکایت از نبودن یاد نیست و خرده بر قلم می‌رود نه بر کتاب.

از احسان کریمی، دامون شهبازتبار، رضا غنی‌زاده، رضی رمضان‌زاده، مجتبی قهرمانی و هامون نیکو نهایت سپاسگذاری را دارم.

در پایان نیز، از اعضای محترم کمیته‌ی ممتحنین که مسئولیت ارزیابی این پایان‌نامه را بر عهده گرفته‌اند، تشکر می‌کنم.

محمد علی مرادپور - تابستان ۱۳۹۱

چکیده

جوشکاری زیرپودری از روش‌های مهم جوشکاری با نرخ رسوب بالا و کیفیت جوشکاری مناسب محسوب می‌شود که در جوشکاری ورق‌های ضخیم، مخصوصاً جوشکاری لوله‌های قطور انتقال نفت و گاز و مخازن تحت فشار، کاربرد زیادی دارد. در این روش، تنظیم دقیق پارامترهای جوشکاری جهت نیل به جوشکاری با کیفیت بالا، از اهمیت زیادی برخوردار است. عموماً تنظیم پارامترها به صورت سعی و خطا، با استفاده از مقادیر پیشنهادی سازندگان دستگاه و یا کتب فنی (مراجع جوشکاری) صورت می‌گیرد که روش دقیقی نمی‌باشد. در این تحقیق، جهت پیش‌بینی دقیق هندسه‌ی جوش، از مدل فازی استفاده شده است. بدین منظور، آزمایش‌های عملی در شرایط مختلف جوشکاری بر روی ورق فولادی لوله‌های انتقال گاز با گرید API X65 صورت گرفته است. در ادامه، تلاش شده است تا با بکارگیری سیستم بینایی پیشنهادی، اندازه‌گیری ابعاد هندسه‌ی جوش حاصل از فرآیند جوشکاری زیرپودری این ورق‌ها تسهیل گردیده و اندازه‌گیری این پارامترها با سرعت بیشتری همراه شود. در گام بعد و با استفاده از اندازه‌گیری‌های انجام شده در مرحله‌ی قبل، یک سیستم فازی جهت پیش‌بینی هندسه‌ی جوش در این فرآیند طراحی شده است که ورودی‌های آن جریان، ولتاژ و سرعت جوشکاری و خروجی‌های آن عمق نفوذ جوش، عرض و ارتفاع گرده‌ی جوش می‌باشد. در گام آخر نیز با استفاده از بهینه‌سازی چندهدفه و روش NSGA-II، پارامترهای کنترلی فرآیند جهت رسیدن به مقادیر بهینه‌ی شاخص‌های انحنا و نفوذ جوش، بهینه‌سازی شده‌اند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که سیستم بینایی پیشنهادی، عملکرد مطلوبی در اندازه‌گیری هندسه‌ی جوش دارد. همچنین مدل فازی ارائه شده، می‌تواند با دقت مطلوبی هندسه‌ی گرده‌ی جوش را تخمین بزند و برای بکارگیری عملی در تنظیم پارامترهای جوشکاری خط تولید لوله‌های فولادی، مناسب است. در پایان نیز نتایج حاصل از پیاده‌سازی الگوریتم NSGA-II نشان می‌دهد که این الگوریتم، می‌تواند به طور موثر در بهینه‌سازی پارامترهای فرآیند جوشکاری بکارگرفته شود.

کلید واژه‌ها: فولاد ترمومکانیکال، جوشکاری زیرپودری، اندازه‌گیری، ماشین‌بینایی، منطق فازی،

بهینه‌سازی چندهدفه، API X65.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۵	فهرست علائم و نشانه‌ها.....
۶	فهرست جدول‌ها.....
ح	فهرست شکل‌ها.....
۱	فصل ۱- مقدمه
۱	۱-۱- اهمیت گاز طبیعی.....
۱	۲-۱- اهمیت خطوط انتقال گاز.....
۲	۳-۱- روش تولید لوله‌های درز جوش مارپیچ و مستقیم.....
۳	۱-۳-۱- جوشکاری به روش مارپیچ (اسپیرال).....
۴	۲-۳-۱- جوشکاری به روش مستقیم.....
۵	۳-۳-۱- جوشکاری به روش فرکانس بالا.....
۷	۴-۱- اهمیت درز جوش.....
۹	فصل ۲- الگوریتم‌های هوشمند
۹	۱-۲- مقدمه.....
۹	۲-۲- منطق فازی.....
۹	۱-۲-۲- مفاهیم منطق فازی.....
۱۰	۲-۲-۲- اجزای ابتدایی و اصول اولیه‌ی تئوری مجموعه‌های فازی.....
۱۱	۳-۲-۲- مفاهیم اساسی منطق فازی.....
۱۴	۴-۲-۲- متغیرهای زبان شناختی.....
۱۵	۵-۲-۲- قواعد اگر- آنگاه فازی.....
۱۶	۶-۲-۲- استنتاج فازی.....
۱۸	۳-۲-۳- جعبه ابزار منطق فازی نرم افزار متلب.....
۱۸	۱-۳-۲- ورود و خروج داده‌ها در رابط‌های گرافیکی.....
۱۹	۴-۲-۳- بهینه‌سازی چند هدفه.....
۱۹	۱-۴-۲- مقدمه.....
۱۹	۲-۴-۲- مفاهیم اولیه و اصطلاحات.....
۲۳	۳-۴-۲- جستجو و تصمیم.....
۲۴	۴-۴-۲- روش NSGA-II.....
۲۸	فصل ۳- بررسی سیستم‌های ماشین‌بینایی، کاربردها و ابزارهای آن
۲۸	۱-۳-۱- مروری بر سیستم‌های ماشین‌بینایی صنعتی.....

۳۱	۱-۱-۳	رویکردهای توسعه
۳۲	۲-۳	کاربردهای ماشین بینایی
۳۲	۳-۳	طبقه‌بندی کاربردهای بینایی ماشین در بازرسی صنعتی
۳۳	۱-۳-۳	کیفیت ابعادی
۳۳	۲-۳-۳	کیفیت سطح
۳۳	۳-۳-۳	کیفیت ساختاری و مونتاژی
۳۳	۴-۳-۳	کیفیت عملکرد
۳۴	۴-۳	بینایی انسان در مقابل بینایی ماشین
۳۴	۱-۴-۳	پارامترهای مقایسه‌ای
۳۴	۵-۳	اجزای سیستم بینایی ماشین
۳۴	۱-۵-۳	تصویرگیری
۴۰	۲-۵-۳	پردازش
۴۱	۳-۵-۳	خروجی یا نمایش داده‌های تصویری

فصل ۴ - پیشینه‌ی تحقیق

۴۲	۱-۴	مقدمه
۴۲	۲-۴	سال ۱۹۹۷
۴۳	۳-۴	سال ۱۹۹۸
۴۳	۴-۴	سال ۲۰۰۰
۴۴	۵-۴	سال ۲۰۰۵
۴۵	۶-۴	سال ۲۰۰۷
۴۸	۷-۴	سال ۲۰۰۸
۴۹	۸-۴	سال ۲۰۰۹
۵۰	۹-۴	سال ۲۰۱۰
۵۵	۱۰-۴	سال ۲۰۱۱
۵۸	۱۱-۴	سال ۲۰۱۲

فصل ۵ - روش تحقیق

۶۱	۱-۵	جوشکاری زیرپودری
۶۱	۱-۱-۵	اصول عملیات
۶۳	۲-۱-۵	مزایا و محدودیت‌ها
۶۴	۳-۱-۵	جوشکاری ورق‌ها
۶۷	۲-۵	تهیه‌ی نمونه‌ها
۶۹	۳-۵	تعیین محلول مناسب جهت اچ کردن مقطع ورق‌ها
۷۰	۴-۵	اچ کردن مقطع ورق‌ها

۷۱-۵-۵	اندازه‌گیری هندسه‌ی جوش با بکارگیری ماشین‌بینایی
۷۱-۵-۵-۱	استفاده از اسکنر جهت عکس‌برداری
۷۱-۵-۵-۲	پردازش تصویر
۹۱-۵-۶	استخراج دیگر ویژگی‌های فلز جوش از تصویر مقطع ورق‌ها
۹۱-۵-۶-۱	مساحت فلز جوش
۹۲-۵-۶-۲	محاسبه‌ی مساحت زیر حوضچه
۹۳-۵-۶-۳	محاسبه‌ی مساحت بالای حوضچه
۹۴-۵-۶-۴	محاسبه‌ی طول مرز نفوذ جوش
۹۶-۵-۶-۵	محاسبه‌ی طول مرز گرده‌ی جوش
۹۶-۵-۶-۶	محاسبه‌ی زوایای کناری گرده‌ی جوش
۹۶-۵-۷	پیاده‌سازی سیستم فازی جهت پیش‌بینی هندسه‌ی جوش
۱۰۹-۵-۸	بکارگیری بهینه‌سازی چندهدفه جهت بهینه‌سازی پارامترهای فرآیند جوشکاری
۱۱۰-۵-۸-۱	پیاده‌سازی روش NSGA-II
۱۱۲-۶	فصل ۶- نتایج
۱۱۲-۶-۱	نتایج حاصل شده از فرآیند تعیین محلول مناسب جهت اچ کردن مقطع ورق‌ها
۱۱۴-۶-۲	نتایج حاصل شده از اچ کردن مقطع ورق‌ها با استفاده از محلول سولفوریک اسید
۱۱۶-۶-۳	نتایج حاصل از بکارگیری ماشین‌بینایی جهت اندازه‌گیری هندسه‌ی جوش
۱۲۰-۶-۴	نتایج حاصل از سیستم فازی
۱۲۳-۶-۵	نتایج حاصل از بهینه‌سازی دو هدفه‌ی پارامترهای فرآیند جوشکاری زیرپودری
۱۲۵-۷	فصل ۷- نتیجه‌گیری و پیشنهادها
۱۲۵-۷-۱	نتیجه‌گیری
۱۲۶-۷-۲	پیشنهادها
۱۲۸	ضمیمه ا- مقطع اچ شده‌ی ورق‌ها توسط محلول‌های مختلف
۱۳۲	ضمیمه ب- مقطع اچ شده‌ی ورق‌ها توسط محلول سولفوریک اسید
۱۳۷	ضمیمه ج- نرم افزار برنامه نویسی LAB VIEW
۱۳۹	ضمیمه د- نرم افزار IMAQ
۱۴۴	ضمیمه ه- متن الگوریتم سیستم فازی طراحی شده در نرم افزار متلب جهت پیش‌بینی هندسه‌ی جوش
۱۴۸	ضمیمه و- متن برنامه‌ی نوشته شده در نرم افزار متلب جهت پیاده‌سازی الگوریتم NSGA-II

ضمیمه ز - ورق‌های جوشکاری شده در شرایط مختلف.....	۱۵۰
ضمیمه ح - برنامه‌ی نوشته شده در نرم افزار LAB VIEW جهت اندازه‌گیری خودکار هندسه‌ی جوش.....	۱۵۷
فهرست مراجع	۱۶۵

فهرست علائم و نشانه‌ها

عنوان	علامت اختصاری
تابع عضویت فازی	μ_A
قاعده‌ی معنایی فازی	M
مجموعه اصطلاحات فازی	T
قاعده‌ی نحوی اصطلاحات فازی	G
مجموعه‌ی ممکن	I
نواحی ممکن در فضای هدف	Y
قید در مسائل بهینه‌سازی	e
جمعیت بردارهای والد	P_t
جمعیت بردارهای فرزندان	Q_t
جمعیت کل	R_t
شعاع انحنای سطح عدسی	R
فاصله‌ی کانونی عدسی	F
مساحت منطقه‌ی نفوذ جوش	A_P
مساحت منطقه‌ی گرده‌ی جوش	A_R
طول مرز ناحیه‌ی نفوذ جوش	B_P
طول مرز ناحیه‌ی گرده‌ی جوش	B_R
عمق نفوذ	D
عرض گرده‌ی جوش	W
ارتفاع گرده‌ی جوش	H
سرعت جوشکاری	S
ولتاژ	V
شدت جریان	I

فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول ۱-۴: پارامترهای کنترلی فرآیند و مقادیر آنها، استفاده شده در مرجع [۲۱].....	۴۴
جدول ۲-۴: مقادیر پارامترهای کنترلی در هر آزمایش و عرض گرده‌ی جوش حاصل از آنها [۲۳].....	۴۶
جدول ۳-۴: پارامترهای کنترلی فرآیند و مقادیر آنها [۲۴].....	۴۶
جدول ۴-۴: پارامترهای کنترلی فرآیند و مقادیر آنها [۲۶].....	۴۹
جدول ۵-۴: پارامترهای کنترلی و مقادیر آنها (استفاده شده در مرجع [۳۰]).....	۵۲
جدول ۶-۴: پارامترهای کنترلی فرآیند و مقادیر آنها (استفاده شده در مرجع [۳۳]).....	۵۶
جدول ۷-۴: پارامترهای کنترلی فرآیند و مقادیر آنها (استفاده شده در مرجع [۳۴]).....	۵۶
جدول ۸-۴: پارامترهای کنترلی فرآیند و مقادیر آنها (استفاده شده در مرجع [۳۵]).....	۵۷
جدول ۹-۴: سطوح در نظر گرفته شده برای هر یک از پارامترها در مرجع [۳۷].....	۵۹
جدول ۱-۵: نتایج حاصل از آنالیز شیمیایی فولاد API X65 و مقایسه‌ی آن با الزامات استاندارد API 5L.....	۶۴
جدول ۲-۵: نتایج حاصل از تست کشش فولاد API X65 و مقایسه‌ی آن با الزامات استاندارد API 5L.....	۶۴
جدول ۳-۵: نام، بازه و نوع تابع عضویت بکار رفته در فازی‌سازی مقادیر شدت جریان.....	۱۰۱
جدول ۴-۵: نام، بازه و نوع تابع عضویت بکار رفته در فازی‌سازی مقادیر ولتاژ.....	۱۰۲
جدول ۵-۵: نام، بازه و نوع تابع عضویت بکار رفته در فازی‌سازی مقادیر سرعت جوشکاری.....	۱۰۳
جدول ۶-۵: نام، بازه و نوع تابع عضویت بکار رفته در فازی‌سازی مقادیر عمق نفوذ جوش.....	۱۰۴
جدول ۷-۵: نام، بازه و نوع تابع عضویت بکار رفته در فازی‌سازی مقادیر عرض گرده‌ی جوش.....	۱۰۵
جدول ۸-۵: نام، بازه و نوع تابع عضویت بکار رفته در فازی‌سازی مقادیر ارتفاع گرده‌ی جوش.....	۱۰۶
جدول ۱-۶: نتایج حاصل شده از اندازه‌گیری مساحت ناحیه‌ی فلز جوش، مساحت زیر حوضچه، مساحت بالای حوضچه، طول مرز نفوذ، طول مرز گرده و زوایای کناری گرده‌ی جوش با استفاده از تصاویر مقطع ورق‌ها.....	۱۱۹
جدول ۲-۶: میانگین خطای نسبی اندازه‌گیری عمق نفوذ جوش، عرض و ارتفاع گرده‌ی جوش با بکارگیری سیستم بینایی پیشنهادی، نسبت به اندازه‌گیری این پارامترها توسط اپراتور.....	۱۲۰
جدول ۳-۶: نتایج حاصل شده از پیش‌بینی ابعاد عمق نفوذ (D)، عرض (W) و ارتفاع گرده‌ی جوش (H) به ازای داده‌های آزمون مدل فازی و خطای نسبی حاصل از هر پیش‌بینی.....	۱۲۰
جدول ۴-۶: میانگین خطای نسبی تخمین عمق نفوذ، عرض و ارتفاع گرده‌ی جوش توسط مدل فازی طراحی شده.....	۱۲۳

جدول ۵-۶: مقادیر فاکتور انحنای گرده (F1) و فاکتور نفوذ (F2) مربوط به نقاط بهینه پرتو و پارامترهای فرآیند جوشکاری جهت دستیابی به این مقادیر..... ۱۲۴

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱: مراحل مختلف تولید لوله‌های درز جوش مارپیچ [۴].....	۴
شکل ۲-۱: مراحل تولید لوله‌های درز جوش مستقیم به روش UOE [۵].....	۵
شکل ۳-۱: مراحل تولید لوله‌های درز جوش مستقیم به روش جوشکاری فرکانس بالا (لوله‌های با قطر کم) [۵].....	۶
شکل ۴-۱: مراحل تولید لوله‌های درز جوش مستقیم به روش جوشکاری فرکانس بالا (لوله‌های با قطر متوسط) [۵].....	۶
شکل ۵-۱: پارامترهای هندسه‌ی جوش.....	۷
شکل ۱-۲: توابع عضویت فازی از چپ به راست: زنگوله‌ای، مثلثی، ذوزنقه‌ای، گاوسی [۷].....	۱۱
شکل ۲-۲: سه عمل اصلی در مجموعه‌های فازی [۷].....	۱۳
شکل ۳-۲: روش‌های غیر فازی سازی [۷].....	۱۷
شکل ۴-۲: فضای جواب در یک مسئله‌ی بهینه‌سازی ۲ هدفه و بیان مفهوم چیرگی [۱۵].....	۲۱
شکل ۵-۲: بهینه‌های محلی در فضای جواب [۱۳].....	۲۲
شکل ۶-۲: مرتب‌سازی به روش نخبه‌گرایی بر اساس چیرگی در جمعیت اولیه.....	۲۴
شکل ۷-۲: نحوه‌ی محاسبه‌ی فاصله‌ی ازدحام [۱۶].....	۲۵
شکل ۸-۲: لقاح بین دو عدد باینری برای تولید عدد جدید.....	۲۵
شکل ۹-۲: جهش یک عدد باینری برای تولید عدد جدید.....	۲۶
شکل ۱۰-۲: روند اجرایی مراحل دوم، سوم و چهارم الگوریتم NSGA-II [۱۶].....	۲۷
شکل ۱-۳: سیستم ماشین بینایی متداول [۱۷].....	۲۸
شکل ۲-۳: عبور پرتوی نور در راستای عمود بر سطح شیشه [۱۸].....	۳۶
شکل ۳-۳: عبور پرتوی نور با زاویه، از سطح شیشه [۱۸].....	۳۶
شکل ۴-۳: عبور پرتوهای موازی از عدسی [۱۸].....	۳۶
شکل ۵-۳: تشکیل تصویر در پشت عدسی [۱۸].....	۳۷
شکل ۶-۳: چند نمونه از CCDهای مورد استفاده در سیستم‌های ماشین بینایی [۱۹].....	۳۹
شکل ۷-۳: ساختار CCD.....	۴۰
شکل ۱-۴: عرض حوضچه‌ی مذاب و ریشه‌ی جوش [۲۰].....	۴۲
شکل ۲-۴: ارتفاع و عرض در گرده و ریشه‌ی جوش [۲۱].....	۴۳
شکل ۳-۴: پارامترهای هندسه‌ی جوش [۲۳].....	۴۵
شکل ۴-۴: ساختار شبکه‌ی عصبی طراحی شده در مرجع [۲۳].....	۴۵

- شکل ۴-۵: عرض و ارتفاع در گرده و ریشه‌ی جوش [۲۵]..... ۴۷
- شکل ۴-۶: ساختار شبکه‌ی عصبی طراحی شده در مرجع [۲۵]..... ۴۸
- شکل ۴-۷: معماری شبکه‌ی عصبی طراحی شده در مرجع [۳]..... ۵۰
- شکل ۴-۸: نمونه‌های جدا شده از ورق‌های جوشکاری شده در این تحقیق [۲۸]..... ۵۱
- شکل ۴-۹: مقطع یکی از ورق‌های جوشکاری شده در مرجع [۲۹]..... ۵۲
- شکل ۴-۱۰: زوایای در نظر گرفته شده برای هد لیزر در مرجع [۳۱]..... ۵۳
- شکل ۴-۱۱: نمونه‌ای از پروفیل جوش حاصل از جوشکاری ورق‌ها در مرجع [۳۱]..... ۵۴
- شکل ۴-۱۲: عرض و ارتفاع در گرده و ریشه‌ی جوش (استفاده شده در مرجع [۶])..... ۵۴
- شکل ۴-۱۳: ساختار شبکه‌ی عصبی طراحی شده در مرجع [۶]..... ۵۵
- شکل ۴-۱۴: ساختار شبکه‌ی عصبی طراحی شده در مرجع [۳۵]..... ۵۸
- شکل ۵-۱: جزئیات فرآیند جوشکاری زیرپودری [۴۹]..... ۶۱
- شکل ۵-۲: تجهیزات جوشکاری زیرپودری [۵۲]..... ۶۲
- شکل ۵-۳: ورق‌های بکار رفته جهت انجام فرآیند جوشکاری..... ۶۵
- شکل ۵-۴: تجهیزات مورد استفاده جهت انجام فرآیند جوشکاری زیرپودری..... ۶۶
- شکل ۵-۵: جوشکاری ورق‌ها..... ۶۶
- شکل ۵-۶: ورق‌های جوشکاری شده..... ۶۷
- شکل ۵-۷: ورق‌های خط‌کشی شده جهت برشکاری..... ۶۸
- شکل ۵-۸: مقطع برشکاری شده‌ی یکی از ورق‌ها..... ۶۸
- شکل ۵-۹: مقطع پولیش‌کاری شده‌ی یکی از ورق‌ها بعد از برشکاری آن..... ۶۸
- شکل ۵-۱۰: اچ کردن مقطع یکی از ورق‌ها..... ۷۰
- شکل ۵-۱۱: مقطع اسکن شده‌ی یکی از ورق‌ها بعد از اچ کردن آن..... ۷۱
- شکل ۵-۱۲: روش تبدیل تصویر رنگی به تصویر خاکستری، الف) انتخاب Color Plane Extraction، ب) انتخاب HSV – Value Plane..... ۷۲
- شکل ۵-۱۳: تصویر خاکستری مقطع ورق..... ۷۳
- شکل ۵-۱۴: تنظیم مقادیر پارامترهای Brightness، Contrast و Gamma در تصویر، الف) انتخاب Brightness، ب) انتخاب مقادیر پارامترها..... ۷۳
- شکل ۵-۱۵: تصویر حاصل از تنظیم مقادیر پارامترهای Brightness، Contrast و Gamma..... ۷۴
- شکل ۵-۱۶: روند استفاده از ابزار Edge Detector، الف) انتخاب Edge Detector، ب) انتخاب Advanced Edge Tool و تنظیم پارامترهای آن..... ۷۴
- شکل ۵-۱۷: یافتن لبه‌ی بالایی و سمت راست گرده‌ی جوش در مقطع ورق..... ۷۵
- شکل ۵-۱۸: یافتن لبه‌ی بالایی و سمت چپ گرده‌ی جوش در مقطع ورق..... ۷۵
- شکل ۵-۱۹: روند استفاده از ابزار Caliper، الف) انتخاب Caliper، ب) تنظیمات مربوط به این ابزار..... ۷۶

شکل ۵-۲۰: تعیین زاویه‌ی بین خط گذرنده از نقاط لبه و راستای افق.....۷۶

شکل ۵-۲۱: روند بکارگیری ابزار Rotation جهت اصلاح چرخش ورق در تصویر، الف) انتخاب Geometry، ب) انتخاب Rotation.....۷۷

شکل ۵-۲۲: روند اجرای فیلتر Median، الف) انتخاب Filters، ب) انتخاب Smoothing – Median.....۷۸

شکل ۵-۲۳: تصویر مقطع، بعد از اعمال فیلتر Median.....۷۸

شکل ۵-۲۴: روند بکارگیری ابزار Clamp، الف) انتخاب Clamp، ب) تنظیمات مربوط به این ابزار.....۷۹

شکل ۵-۲۵: اعمال ابزار Clamp بر روی تصویر و اندازه‌گیری طول مقطع ورق.....۷۹

شکل ۵-۲۶: روند آستانه‌گذاری بر روی تصویر، الف) انتخاب Threshold، ب) انتخاب روش آستانه‌گذاری.....۸۰

شکل ۵-۲۷: تبدیل تصویر خاکستری به تصویر باینری، الف) تعیین پیکسل‌هایی با مقادیر بالاتر از حد آستانه، ب) اعمال آستانه بر روی تصویر.....۸۰

شکل ۵-۲۸: حذف نواحی اضافی موجود در تصویر.....۸۱

شکل ۵-۲۹: روند ذخیره‌سازی تصویر در بافر، الف) انتخاب Image Buffer، ب) ذخیره‌سازی تصویر.....۸۱

شکل ۵-۳۰: تبدیل تصویر رنگی به تصویر خاکستری.....۸۲

شکل ۵-۳۱: روند تنظیم پارامترهای contrast، brightness و Gamma.....۸۳

شکل ۵-۳۲: تصویر مقطع ورق، بعد از تنظیم پارامترهای contrast، brightness و Gamma.....۸۳

شکل ۵-۳۳: انتخاب سطح آستانه جهت آستانه‌گذاری تصویر.....۸۴

شکل ۵-۳۴: آستانه‌گذاری تصویر و تبدیل آن به تصویر باینری، الف) تعیین پیکسل‌هایی با مقادیر بالاتر از حد آستانه، ب) اعمال آستانه بر روی تصویر.....۸۴

شکل ۵-۳۵: حذف نواحی نامطلوب درون تصویر.....۸۵

شکل ۵-۳۶: روند بکارگیری ابزار Close Objects، الف) انتخاب Basic Morphology، ب) انتخاب Close Objects.....۸۵

شکل ۵-۳۷: تصویر مقطع ورق بعد از یکنواخت شدن زمینه‌ی تصویر.....۸۵

شکل ۵-۳۸: روند اجرای Binary Image Inversion.....۸۶

شکل ۵-۳۹: معکوس کردن تصویر باینری مقطع ورق.....۸۶

شکل ۵-۴۰: روند بکارگیری عملگر Subtract، الف) انتخاب Operators، ب) انتخاب Subtract و تصویر ذخیره شده در Buffer.....۸۷

شکل ۵-۴۱: جدا شدن فلز جوش از دیگر نواحی تصویر.....۸۷

شکل ۵-۴۲: بکارگیری ابزار Particle Filter، الف) محدود کردن اولین پیکسل ناحیه‌ی مورد علاقه در جهت X تصویر، ب) محدود کردن اولین پیکسل ناحیه‌ی مورد علاقه در جهت Y تصویر.....۸۸

شکل ۵-۴۳: حذف نواحی اضافی درون تصویر با بکارگیری ابزارها و فیلترهای مختلف.....۸۸

شکل ۵-۴۴: اندازه‌گیری ابعاد هندسه‌ی جوش.....۸۹

- شکل ۵-۴۵: انتقال برنامه‌ی نوشته شده در نرم افزار IMAQ به نرم افزار LabVIEW ۹۰
- شکل ۵-۴۶: پنجره‌ی پانل نرم افزار LabVIEW برای اجرای برنامه‌ی نوشته شده ۹۰
- شکل ۵-۴۷: روند بکارگیری Particle Analysis جهت محاسبه‌ی مساحت فلز جوش، الف) انتخاب Particle Analysis، ب) انتخاب Select Measurements از Particle Analysis Setup ۹۱
- شکل ۵-۴۸: انتخاب Area جهت محاسبه‌ی مساحت ۹۲
- شکل ۵-۴۹: روند بکارگیری Image Mask جهت حذف مساحت بالای حوضچه، الف) انتخاب Image Mask، ب) انتخاب ناحیه‌ی مناسب جهت ماسک گذاری ۹۳
- شکل ۵-۵۰: ماسک گذاری بر روی تصویر ۹۳
- شکل ۵-۵۱: حذف مساحت بالای حوضچه با استفاده از ماسک گذاری بر روی تصویر ۹۳
- شکل ۵-۵۲: ماسک گذاری بر روی تصویر جهت حذف ناحیه‌ی پایین حوضچه ۹۴
- شکل ۵-۵۳: جداسازی ناحیه‌ی بالای حوضچه جهت اندازه‌گیری مساحت آن ۹۴
- شکل ۵-۵۴: روند بکارگیری فیلترهای لبه‌یاب، الف) انتخاب Filters، ب) انتخاب Edge Detection - Laplacian ۹۵
- شکل ۵-۵۵: اعمال فیلتر لبه‌یاب Laplacian بر روی تصویر فلز جوش ۹۵
- شکل ۵-۵۶: جداسازی پیکسل‌های مرز نفوذ با استفاده از ماسک گذاری بر روی تصویر ۹۵
- شکل ۵-۵۷: جداسازی پیکسل‌های مرز گرده با استفاده از ماسک گذاری بر روی تصویر ۹۶
- شکل ۵-۵۸: محاسبه‌ی زاویه‌ی سمت راست گرده‌ی جوش با استفاده از ابزار Caliper ۹۶
- شکل ۵-۵۹: نمودار گردشی مراحل طراحی سیستم فازی ۹۷
- شکل ۵-۶۰: پنجره‌ی ویرایشگر سیستم استنتاج فازی ۹۸
- شکل ۵-۶۱: روش اضافه کردن متغیرهای ورودی و خروجی سیستم فازی در پنجره‌ی ویرایشگر ۹۹
- شکل ۵-۶۲: ایجاد سیستم فازی با ۳ پارامتر ورودی و ۳ پارامتر خروجی جهت مدلسازی جوشکاری زیرپودری ۱۰۰
- شکل ۵-۶۳: تعیین توابع و دسته‌بندی آنها جهت فازی سازی مقادیر پارامتر شدت جریان در پنجره‌ی ویرایشگر توابع فازی ۱۰۱
- شکل ۵-۶۴: تعیین توابع و دسته‌بندی آنها جهت فازی سازی مقادیر پارامتر ولتاژ در پنجره‌ی ویرایشگر توابع فازی ۱۰۲
- شکل ۵-۶۵: تعیین توابع و دسته‌بندی آنها جهت فازی سازی مقادیر پارامتر سرعت جوشکاری در پنجره‌ی ویرایشگر توابع فازی ۱۰۳
- شکل ۵-۶۶: تعیین توابع و دسته‌بندی آنها جهت فازی سازی مقادیر پارامتر عمق نفوذ در پنجره‌ی ویرایشگر توابع فازی ۱۰۴

شکل ۵-۶۷: تعیین توابع و دسته‌بندی آنها جهت فازی سازی مقادیر پارامتر عرض گرده در پنجره‌ی ویرایشگر توابع فازی..... ۱۰۵

شکل ۵-۶۸: تعیین توابع و دسته‌بندی آنها جهت فازی سازی مقادیر پارامتر ارتفاع گرده در پنجره‌ی ویرایشگر توابع فازی..... ۱۰۶

شکل ۵-۶۹: روش نمایش قواعد فازی از پنجره‌ی ویرایشگر سیستم فازی..... ۱۰۷

شکل ۵-۷۰: پنجره‌ی ویرایشگر قواعد فازی..... ۱۰۸

شکل ۵-۷۱: پنجره‌ی نمایشگر قواعد سیستم فازی ایجاد شده..... ۱۰۹

شکل ۶-۱: میانگین سطوح خاکستری پیکسل‌های نواحی فلز جوش و فلز پایه در تصویر مقطع ۵۰ ورق اچ شده ۱۱۶

شکل ۶-۲: مقایسه‌ی مقادیر اندازه‌گیری شده توسط اپراتور و ماشین‌بینایی در اندازه‌گیری عمق نفوذ جوش ۱۱۸

شکل ۶-۳: مقایسه‌ی مقادیر اندازه‌گیری شده توسط اپراتور و ماشین‌بینایی در اندازه‌گیری عرض گرده‌ی جوش ۱۱۸

شکل ۶-۴: مقایسه‌ی مقادیر اندازه‌گیری شده توسط اپراتور و ماشین‌بینایی در اندازه‌گیری ارتفاع گرده‌ی جوش ۱۱۸

شکل ۶-۵: مقایسه‌ی مقادیر حاصل از پیش‌بینی عمق نفوذ جوش با بکارگیری مدل فازی و مقادیر حاصل از آزمایش‌های عملی ۱۲۱

شکل ۶-۶: مقایسه‌ی مقادیر حاصل از پیش‌بینی عرض گرده‌ی جوش با بکارگیری مدل فازی و مقادیر حاصل از آزمایش‌های عملی ۱۲۱

شکل ۶-۷: مقایسه‌ی مقادیر حاصل از پیش‌بینی ارتفاع گرده‌ی جوش با بکارگیری مدل فازی و مقادیر حاصل از آزمایش‌های عملی ۱۲۱

شکل ۶-۸: عملکرد سیستم فازی طراحی شده در پیش‌بینی عمق نفوذ در داده‌های آموزش ۱۲۲

شکل ۶-۹: عملکرد سیستم فازی طراحی شده در پیش‌بینی عمق نفوذ در داده‌های آزمون ۱۲۲

شکل ۶-۱۰: عملکرد سیستم فازی طراحی شده در پیش‌بینی عرض گرده در داده‌های آموزش ۱۲۲

شکل ۶-۱۱: عملکرد سیستم فازی طراحی شده در پیش‌بینی عرض گرده در داده‌های آزمون ۱۲۲

شکل ۶-۱۲: عملکرد سیستم فازی طراحی شده در پیش‌بینی ارتفاع گرده در داده‌های آموزش ۱۲۲

شکل ۶-۱۳: عملکرد سیستم فازی طراحی شده در پیش‌بینی ارتفاع گرده در داده‌های آزمون ۱۲۲

شکل ۶-۱۴: مجموعه‌ی بهینه پرتوی حاصل از بهینه‌سازی ۲ هدفه‌ی پارامترهای فرآیند جوشکاری زیرپودری ورق‌ها ۱۲۳

فصل ۱ - مقدمه

۱-۱ - اهمیت گاز طبیعی

امروزه نقش گسترده و روز افزون گاز در تامین انرژی جهان غیر قابل انکار است. رشد مصرف گاز طبیعی، اولاً به دلیل ویژگی‌های خاص گاز و ثانیاً موقعیت‌های اجتماعی-اقتصادی و فناوری کشورهای مصرف کننده آن می‌باشد که در ادامه به این ویژگی‌ها اشاره شده است:

- احتراق کامل گاز و آلودگی ناچیز محیط زیست در مقایسه با دیگر سوخت‌ها (هسته‌ای، نفت و ...).

- سادگی در کنترل میزان مصرف به میزان دلخواه.

- عدم نیاز به فضای ذخیره‌ای برای مصرف.

- با صرفه بودن نسبت به سایر سوخت‌ها.

- سهولت نقل و انتقال و توزیع.

- انعطاف در مصرف، بگونه‌ای که از گاز می‌توان به عنوان سوخت سیستم‌های متنوعی همچون سیستم‌های خانگی، تجاری، صنعتی و نیروگاه‌ها استفاده نمود.

- گستردگی و توزیع جغرافیایی بهتر مخازن گاز در مقایسه با نفت، بگونه‌ای که امروزه بیش از ۸۰ کشور جهان دارای منابع گاز هستند.

- رشد زیاد جمعیت و مشکل تامین انرژی مورد نیاز آنها.

این عوامل توانسته است ضریب برتری نسبی و بعضاً مطلق گاز را نسبت به سایر انرژی‌ها به اثبات رسانده و برای گاز جایگاهی وسیع ایجاد نماید.

۱-۲ - اهمیت خطوط انتقال گاز

گاز طبیعی به هنگام استخراج دارای ناخالصی‌هایی مانند شن، ماسه، آب شور و گازهای اسیدی می‌باشد که در پالایشگاه تصفیه شده و به صورت گاز قابل مصرف در می‌آید. گاز پالایش شده، از طریق خطوط انتقال گاز^۱ فشار قوی به شهرها و مراکز مصرف منتقل می‌شود. خطوط لوله‌ی فولادی، ایمن‌ترین و اقتصادی‌ترین روش انتقال مایعات و سیالات در حجم بالا مانند گاز، نفت و آب می‌باشند [۱]. لوله‌های فولادی، سرمایه‌ای ملی در توسعه‌ی صنعت نفت و گاز محسوب می‌شوند؛ به طوری که حدود ۵۰ درصد هزینه‌ی ساخت خطوط انتقال را به خود اختصاص می‌دهند [۱]. در حمل گاز به وسیله‌ی خطوط لوله، ارتباط تنگاتنگی میان صادر کننده و وارد کننده برقرار می‌شود و می‌تواند باعث ایجاد روابط عمیق و با دوام بین کشورهای مختلف شود. علاوه بر این، خطوط انتقال نفت و گاز، مقصد معینی دارند و طرفین قرارداد مشخص و ثابت هستند. از دیگر ویژگی‌های تجارت بین‌المللی گاز به وسیله‌ی خطوط لوله، این

^۱ Gas Pipeline

است که طرفین قرارداد معمولاً دولت‌ها هستند و این بر اهمیت سیاسی مسئله می‌افزاید. اهمیت خطوط لوله در صنایع را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

- خطوط لوله، بخش جدایی ناپذیری از صنعت می‌باشند.
 - با استفاده از خط لوله، انتقال گاز، نفت، مایعات گازی، محصولات نفتی و آب در مسافت‌های طولانی، از منبع اصلی تا محل مصرف، با حداقل هزینه صورت می‌گیرد.
 - ایمنی بالا.
 - خطوط لوله، مشکلات زیست محیطی کمتری را به وجود می‌آورند.
 - به عنوان مخزن ذخیره نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند.
- باید توجه داشت که خطوط لوله، به دلیل ایمن و مقرون به صرفه بودن، از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد. مطالعه‌ای در سال ۱۹۸۰ نشان داد که خطوط لوله، ۴۰ بار از مخازن قابل حمل با قطار و ۱۰۰ بار از مخازن تریلی‌ها در بزرگراه‌ها ایمن‌تر می‌باشد [۲].
- خطوط انتقال مانند رگ‌های بدن انسان، ماده‌ی حیاتی صنعت را به مراکز صنعتی، مصارف خانگی و پایگاه‌های صادراتی منتقل می‌کنند. کاربردهای مختلف خطوط انتقال عبارتند از:
- خطوط جمع‌آوری بین میادین تولید.
 - اتصالات تجهیزات فرآیندی.
 - خطوط لوله‌ی انتقال به ایستگاه‌های متراکم‌سازی، ایستگاه‌های اندازه‌گیری و چاه‌های ذخیره‌سازی.
 - خطوط لوله‌ی جمع‌آوری نهایی.
 - خطوط لوله‌ی ورودی به شهر در مراکز توزیع.

در سال‌های اخیر، با توجه به کشف منابع جدید نفت و گاز با حجم ذخیره‌ی بالا، استخراج این منابع مقرون به صرفه می‌باشد. مشکل اصلی در این رابطه، بعد فاصله‌ی این منابع و دور بودن آن از استفاده‌کننده‌ی نهایی است. لوله‌ها و شبکه‌های پرفشار انتقال گاز، اصلی‌ترین راه انتقال این انرژی از محل تولید به بازار مصرف می‌باشد. با توجه به حجم بالای گاز تولیدی و نیاز روزافزون بازار مصرف، تلاش‌های زیادی جهت افزایش قطر لوله، کاهش ضخامت (در نتیجه کاهش هزینه‌ی تولید کیلوگرم به متر لوله‌های فولادی) و بهبود ویژگی‌های فولاد لوله‌ها، صورت می‌گیرد.

نقش روزافزون گاز طبیعی در تامین انرژی دنیا و اهمیت خطوط لوله‌ی انتقال این انرژی، پژوهشگران زیادی را در نقاط مختلف جهان به تحقیق در این زمینه ترغیب کرده است. افزایش کیفیت تولید لوله‌ها، بهینه‌سازی فرآیند تولید، بهبود فرآیند لوله‌گذاری و تعمیر و نگهداری خطوط لوله، از محورهای اصلی این پژوهش‌ها می‌باشد که نتیجه‌ی آنها، افزایش ایمنی و ضریب اطمینان خطوط لوله است.

۱-۳- روش تولید لوله‌های درز جوش مارپیچ و مستقیم

برای تولید لوله‌های درز جوش، روش‌های مختلف جوشکاری مورد استفاده قرار می‌گیرد که متداول‌ترین آنها عبارتند از:

۱-۳-۱ - جوشکاری به روش مارپیچ (اسپیرال)

یکی از روش‌های مهم تولید لوله‌های قطور فولادی، روش مارپیچ^۱ می‌باشد که با استفاده از جوشکاری زیرپودری^۲ صورت می‌گیرد و عمدتاً برای کاربردهای صنعتی، خصوصاً انتقال انرژی استفاده می‌شود. فرآیند تولید لوله‌های اسپیرال، شامل مراحل زیر می‌باشد [۳]:

- مرحله‌ی اول: تهیه‌ی ورق‌های فولادی^۳ در گرید مناسب و در حالت کلاف^۴.
- مرحله‌ی دوم: تغذیه‌ی ورق جهت آماده‌سازی برای جوشکاری.
- مرحله‌ی سوم: آماده‌سازی لبه‌های ورق برای جوشکاری (شامل پخ زدن و تمیزکاری).
- مرحله‌ی چهارم: شکل‌دهی مارپیچ (اسپیرال) به ورقه‌ها به وسیله‌ی غلتک‌های شکل‌دهی و با اعمال فشار.
- مرحله‌ی پنجم: جوشکاری داخلی به روش زیرپودری به وسیله‌ی دو الکتروود همزمان.
- مرحله‌ی ششم: جوشکاری خارجی به روش زیرپودری.
- مرحله‌ی هفتم: تست التراسونیک محل جوش و بدنه‌ی لوله.
- مرحله‌ی هشتم: برش لوله در طول‌های مورد نظر (معمولاً به روش قوس پلاسما).
- مرحله‌ی نهم: ماشینکاری لبه‌های انتهایی لوله‌ها، جهت آماده‌سازی برای جوش دادن طولی لوله‌ها.
- مرحله‌ی دهم: تست هیدرواستاتیک^۵ لوله‌ها.
- مرحله‌ی یازدهم: اطمینان از عدم وجود هرگونه عیب جوشکاری در لوله با استفاده از تست اشعه‌ی X.
- مرحله‌ی دوازدهم: بازرسی نهایی.

شکل ۱-۱، مراحل تولید لوله به روش مارپیچ به صورت شماتیک نشان داده شده است [۴].

¹ Spiral

² Submerged Arc Welding

³ Steel Plates

⁴ Coil

⁵ Hydrostatic