دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده فنی و مهندسی
بخش مهندسی مکانیک
گروه ساخت و تولید

**پایان‌نامه کارشناسی ارشد**

# بررسی تحلیلی و تجربی میزان کاهش قطر لوله در روش جوشکاری القائی لوله با فرکانس بالا

تهیه کننده:

**عباس فعلی**

استاد راهنما:

**دکتر حسن مسلمی نائینی**

استاد مشاور:

**دکتر محمد رضا فروزان**

عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی اصفهان

بهمن ۸۷

**تقدیم به تمام کسانی که دوستشان دارم.**

# سپاس‌گزاری

با سپاس فراوان از راهنمایی‌ها وکمک‌های شایان جناب آقای دکتر حسن مسلمی نائینی - استاد مهندسی مکانیک دانشگاه تربیت مدرس و جناب آقای دکتر محمد رضا فروزان- عضو هیات علمی دانشگاه صنعتی اصفهان- در انجام این پایان‌نامه و همچنین از همیاری و همفکری‌های جناب آقایان مهندس حسین‌پور، مهندس سیامک مزدک، دانشجویان دوره دکتری ساخت و تولید دانشگاه تربیت مدرس و همچنین از شرکت لوله‌و پروفیل یاران خصوصا آقای مهندس کیان حقیقی مدیریت محترم کارخانه، به دلیل اختصاص امکانات موجود و بخشی از ظرفیت کارخانه در به ثمر رسانیدن آزمایشهای عملی کمال تشکر و قدردانی می‌گردد.

# چکیده

فرآیند شکل‌دهی غلتکی سرد[1] یکی از روش‌های شکل‌دهی فلزات است و روشی متداول برای تولید لوله از ورق تخت می‌باشد. پس ازتبدیل مقطع تخت ورق به گرد نیازمند جوش لبه های ورق به یکدیگر می باشد. در مقاطع زمانی مختلف روشهای مختلفی برای فرآیند جوش مرسوم بوده است. در حال حاضر یکی از روشهای متداول جوش لبه های ورق به یکدیگر روش جوش القائی با فرکانس بالا می باشد.

در این روش جریان متناوب با فرکانس بالا از طریق سیم پیچ القاء کننده از طریق دستگاه جوش القائی به سیم پیچ القاء شونده که همان لوله می باشد ، القاء می شود. در لوله مسیر عبور جریان از طریق نقطه اتصال لبه های لوله به یکدیگر بسته شده و جریان از این مسیر اتصال کوتاه گردیده و به دلیل مقاومت بالای مسیر این محل سریعا گرم شده و حرارت آن به سرعت به نقطه ذوب می رسد و نتیجتا در اثر فشار غلتکهای جوش ، لبه های ورق به یکدیگر جوش می شوند.

درفرآیند جوش به دلیل عدم حضور ماده پر کننده مقداری از مواد اولیه فلز ذوب گردیده و در واقع می بایست مقداری را به عنوان اضافه گسترده ورق در برش اولیه ورق تخت در نظر گرفت. این مقدار اضافات به صورت گرده جوش در محل اتصال باقی می ماند .به دلیل ضرورت استاندارد ابعادی لوله می بایست این مقدار اضافه در نظر گرفته شده کاملا کنترل شده بوده تا بتوان لوله ای با ابعاد استاندارد تولید نمود.

دراین پژوهش میزان ماده مصرف شونده در خلال تغییر شرائط جابجائی افقی غلتکهای جوش و در صورت ثابت ماندن سایر پارامترهای موثر بررسی می گردد.

جهت تشکیل منحنی مورد نظر (سطح مشخص شده در شکل) از شبیه سازی در نرم افزار آباکوس[2] استفاده گردید.

---

*1- Roll Forming*
*2- ABAQUS*

جهت تعریف حد بالا و حد پائین تغییر شکل ایجاد شده در شبیه سازی ازآزمایشهای تجربی در حین تولید لوله و انجام تغییرات در فاصله غلتکهای افقی جوش( تغییر در شرائط مرزی) بهره گرفته شد.

شبیه سازی در ۵ مدل کاملا مستقل و با اعمال شرائط مرزی متناظر با هر تغییر جابجائی افقی غلتکهای جوش انجام گردید.پس از تائید شبیه سازی از طریق ۴ نقطه کاری در آزمایشهای تجربی، از مدلهای شماره ۲ و۵ شبیه سازی شده در محاسبه سطوح زیر منحنی تغییر شکل استفاده و بدین ترتیب مقدار اضافه مورد نیاز جهت تولید لوله تعیین گردید.

**واژگان کلیدی:** جوش القائی،جوش القائی با فرکانس بالا، شکل‌دهی غلتکی سرد، تحلیل عددی، لوله‌های گرد، طراحی غلتک،

# فهرست مطالب


عنوان..... صفحه
فهرست مطالب..... أ
فهرست شکل‌ها..... ه
فهرست جدول‌ها..... ح
فصل ۱ : مقدمه..... ۱

۱-۱- مقدمه..... ۲
۱-۲- مزایای جوشکاری به روش فرکانس بالا..... ۲
۱-۳- نگاهی گذرا بر پژوهشهای انجام شده..... ۳
۱-۴- اهداف این پایان نامه..... ۵
۱-۵- ساختار این نوشتار..... ۶

فصل ۲ : جوش خطوط لوله سازی..... ۷

۲-۱- مقدمه..... ۸
۲-۲- انواع روشهای درز جوش..... ۸

۲-۲-۱- جوش القائی فرکانس بالا..... ۹

۲-۲-۱-۱- خصوصیات جریان با فرکانس بالا..... ۱۰
۲-۲-۱-۲- ارتباط عمق نفوذ و فرکانس..... ۱۱
۲-۲-۱-۳- قدرت و سرعت دستگاههای جوش..... ۱۲
۲-۲-۱-۴- اصول عملکردجوش القائی با فرکانس بالا..... ۱۲
۲-۲-۱-۵- مثالهای کاربردی در صنعت..... ۱۴
۲-۲-۱-۶- تقسیم بندی ساختاری دستگاههای جوش با فرکانس بالا..... ۱۷

۲-۲-۲- جوش القائی فرکانس پایین..... ۱۸
۲-۲-۳- جوش قوسی الکتریکی با الکترود تنگستن..... ۱۹
۲-۲-۴- جوش لیزری..... ۱۹

۲-۳- آزمونهای جوش لوله های درز جوش..... ۲۰

۲-۳-۱- آزمون های غیر مخرب..... ۲۰

۲-۳-۱-۱- آزمون نشت یابی..... ۲۰
۲-۳-۱-۲- آزمون جریان گردابی..... ۲۱

۲-۳-۲- آزمونهای مخرب ..... ۲۲
۲-۳-۲-۱- آزمون تخت کردن ..... ۲۲
۲-۳-۲-۲- آزمون خمش ..... ۲۳
فصل ۳ : عیوب جوش القائی فرکانس بالا ..... ۲۴
۳-۱- مقدمه ..... ۲۵
۳-۲- عیوب متداول در فرآیندجوش بافرکانس بالا ..... ۲۶
۳-۲-۱- بدام افتادگی ناخالصیها ..... ۲۷
۳-۲-۲- قوسهای زود هنگام ..... ۲۹
۳-۲-۳-جوش ضعیف درز باز ..... ۳۰
۳-۲-۴- جوش ضعیف در لبه ها ..... ۳۰
۳-۲-۵- جوش ضعیف در میانه دیواره ..... ۳۱
۳-۲-۶- جوش سرد ..... ۳۲
۳-۲-۷- جوش ریختگی ..... ۳۲
۳-۲-۸- وجود خلل و فرج ..... ۳۳
۳-۲-۹- عدم یکنواختی در جوش ..... ۳۳
فصل ۴ : اثر فرکانس در جوشکاری با فرکانس بالا ..... ۳۵
۴-۱- مقدمه ..... ۳۶
۴-۲- مدل فرآیند جوش ..... ۳۶
۴-۳- جوشکاری لوله های از جنس فولاد با کربن پایین به روش جوشکاری با فرکانس بالا ..... ۳۹
۴-۴- معرفی پروفیل دمائی در ناحیه جوش ..... ۴۱
فصل ۵ : آزمایشات تجربی جهت تعیین حداقل ارتفاع گرده جوش ..... ۴۳
۵-۱- هدف از انجام آزمایش ..... ۴۴
۵-۲- تجهیزات مورد نیاز آزمایش ..... ۴۴
۵-۳- روش انجام آزمایش: ..... ۴۸
۵-۴- مراحل انجام آزمایش: ..... ۴۹
۵-۵- ثبت مقادیر عددی آزمایش: ..... ۵۳
فصل ۶ : شبیه سازی شکل دهی فلز در ناحیه جوش ..... ۵۴
۶-۱- مقدمه ..... ۵۵
۶-۲- روش تحلیل اجزای محدود ..... ۵۶

۶-۳- نرم افزار مورد استفاده ۵۶
۶-۴- شرائط مدل کردن مسئله ۵۷
۶-۵- تعریف خواص ماده ۵۸
۶-۶- کرنش صفحه ای ۵۹
۶-۷- وابستگی خواص مکانیکی به دما، نرخ کرنش و کارسختی ۵۹
۶-۸- پروفیل دمائی در مقطع عمود بر لوله ۶۱
۶-۹- نوع المان وابعاد مورد استفاده در مش بندی ۶۲
۶-۱۰- تعریف ناحیه کشسان ۶۳
۶-۱۱- تعریف ناحیه خمیری ۶۳
۶-۱۲- شرائط مرزی و اولیه ۶۴

فصل ۷ : نتایج و بحث ۶۸

۷-۱- مقدمه ۶۹
۷-۲- انجام شبیه سازی مدل اول ۶۹
۷-۳- انجام شبیه سازی مدل دوم ۷۰
۷-۴- انجام شبیه سازی مدل سوم ۷۲
۷-۵- انجام شبیه سازی مدل چهارم ۷۳
۷-۶- انجام شبیه سازی مدل پنجم ۷۴
۷-۷- منحنی های تغییر شکل و میزان جابجائی ۷۶

۷-۷-۱- منحنی تغییر شکل حاصل از شبیه سازی اول و میزان جابجائی ۷۶
۷-۷-۲- منحنی تغییر شکل حاصل از شبیه سازی دوم و میزان جابجائی ۷۷
۷-۷-۳- منحنی تغییر شکل حاصل از شبیه سازی سوم و میزان جابجائی ۷۷
۷-۷-۴- منحنی تغییر شکل حاصل از شبیه سازی چهارم و میزان جابجائی ۷۸
۷-۷-۵- منحنی تغییر شکل حاصل از شبیه سازی پنجم و میزان جابجائی ۷۹

۷-۸- تعیین معیار میزان جابجائی افقی ۸۰

۷-۸-۱- معیار حداکثر میزان جابجائی افقی ۸۰
۷-۸-۲- معیار حداقل میزان جابجائی افقی ۸۰
۷-۸-۳- نتایج آزمایشهای تجربی ۸۱

۷-۹- تعیین مقدار اضافه گسترده ورق به دلیل جوش ۸۲

فصل ۸ : نتیجه گیری و پیشنهاد برای ادامه کار ۸۴

۸-۱- نتیجه گیری ۸۵

۸-۲- پیشنهاد انجام ادامه کار ..... ۸۶
مراجع ..... ۸۸

# فهرست شکل‌ها

عنوان..... صفحه
شکل (۲-۱) : چگونگی مسیر شار الکتریکی.....۹
شکل (۲-۲) : چگونگی توزیع جریان با فرکانس بالا در هادی*[۹]*.....۱۰
شکل (۲-۳) : نمایش چگونگی تشکیل باند فلزی در جوش فرج*[۹]*.....۱۲
شکل (۲-۴) : چگونگی ایجاد ناحیه جناغی در جوش خطوط لوله*[۹]*.....۱۳
شکل (۲-۵) : چگونگی ایجاد ناحیه جناغی در فین گذاری لوله*[۹]*.....۱۳
شکل (۲-۶) : چگونگی ایجاد ناحیه جناغی در تولید مقاطع $I$ شکل*[۹]*.....۱۴
شکل (۲-۷) : جوشکاری لوله های جدار ضخیم فولادی*[۹]* .....۱۴
شکل (۲-۸) : جوشکاری لوله های جدار نازک فولادی *[۹]*.....۱۴
شکل (۲-۹) : جوشکاری درز جوش لوله های ضد زنگ مورد استفاده در لوله های اگزوز*[۹]*.....۱۵
شکل (۲-۱۰) : درز جوش لوله های مسی مورد استفاده در مبدلهای حرارتی*[۹]*.....۱۵
شکل (۲-۱۱) : جوشکاری لوله های مسی به صفحات مسی*[۹]*.....۱۶
شکل (۲-۱۲) : جوش شعاعی صفحات فین به لوله جهت بالا بردن سطوح تبادل حرارتی قابل استفاده در صنعت لوله‌های بویلر*[۹]*.....۱۶
شکل (۲-۱۳) : جوش محوری صفحات فین به لوله جهت بالا بردن سطوح تبادل حرارتی قابل استفاده در صنعت لوله‌های بویلر*[۹]*.....۱۷
شکل (۲-۱۴) : تولید مقطع $I$ با روش جوشکاری با فرکانس بالا*[۹]*.....۱۷
شکل (۲-۱۵) : اصول کارکرد دستگاههای جوش ترانزیستوری با فرکانس بالا*[۱۰]* .....۱۸
شکل (۲-۱۶) : نمائی ازدستگاه آزمون نشت یابی.....۲۱
شکل (۲-۱۷) : نمائی ازدستگاه آزمون جریان گردابی.....۲۲
شکل (۲-۱۸) چگونگی انجام آزمون تخت شدگی.....۲۲
شکل (۳-۱) : چگونگی انجام فرآیند جوش به طور شماتیک *[۶]*.....۲۵
شکل (۳-۲) : چگونگی انجام جوش وبیرون راندن ناخالصیهادرطی فرآیند*[۶]*.....۲۶
شکل (۳-۳) : منطقه جوش درزیر میکروسکوپ متالوگرافی*[۶]*.....۲۶
شکل (۳-۴) : ناحیه بروز عیب بدام افتادگی *[۶]*.....۲۸
شکل (۳-۵) : چگونگی وجود اکسیدهای فلزی در عیب بدام افتادگی*[۶]*.....۲۸
شکل (۳-۶) : چگونگی انحراف مسیر جریان الکتریکی در ناحیه جناغی*[۶]*.....۲۹
شکل (۳-۷) : تصویر میکروسکوپی نمایش قوسهای زود هنگام *[۶]*.....۲۹

شکل (۳-۸) : نمایش چگونگی عیب جوش ضعیف درز باز*[۶]* ..... ۳۰
شکل (۳-۹) : چگونگی انجام تست تخریب در موقعیت ساعت ۹*[۶]* ..... ۳۱
شکل (۳-۱۰) : نمایش میکروسکوپی جوش ضعیف در میانه دیواره*[۶]* ..... ۳۱
شکل (۳-۱۱) : ساختار متالوگرافی جوش سرد*[۶]* ..... ۳۲
شکل (۳-۱۲) : چگونگی بروز عیب جوش ریختگی*[۶]* ..... ۳۳
شکل (۳-۱۳) : چگونگی وجود خلل وفرج در مرز جوش*[۶]* ..... ۳۳
شکل (۳-۱۴) : چگونگی متحدالفاصله بودن عیب عدم یکنواختی جوش*[۶]* ..... ۳۳
شکل (۴-۱) : هندسه استفاده شده در مدل هدایت حرارتی*[۳]* ..... ۳۶
شکل (۴-۲) : نمودارسرعت بحرانی برحسب قطر خارجی*[۳]* ..... ۳۸
شکل (۴-۳) : نمودار فرکانس بحرانی بر حسب سرعت خط*[۳]* ..... ۳۸
شکل (۴-۴) : نمودار تغییرات مقاومت الکتریکی الکتریکی بر حسب دما*[۴]* ..... ۳۹
شکل (۴-۵) : نمودار تغییرات گرمای ویژه بر حسب دما*[۴]* ..... ۴۰
شکل (۴-۶) : پروفیل توزیع دما در ناحیه جناغی با فرکانس ۲۰۰ کیلو هرتز*[۴]* ..... ۴۲
شکل (۴-۷) : پروفیل توزیع دما در ناحیه جناغی با فرکانس ۴۰۰ کیلو هرتز*[۴]* ..... ۴۲
شکل (۵-۱) : نمائی از خط لوله سازی مورد استفاده در آزمایش ..... ۴۵
شکل (۵-۲) : نمائی از غلتکهای تولید لوله با قطر ۴۸/۵ میلیمتر ..... ۴۵
شکل (۵-۳) : دستگاه جوش لامپی مورد استفاده در آزمایش ..... ۴۶
شکل (۵-۴) : غلتکهای جوش دوتائی مورد استفاده در آزمایش ..... ۴۶
شکل (۵-۵) : سیم پیچ القاء کننده مورد استفاده با ۳ دور ..... ۴۶
شکل (۵-۶) : هسته فریت مورد استفاده با قطر ۴۰ میلیمتر ..... ۴۷
شکل (۵-۷) : نمائی از دستگاه آزمایش تخت شدگی ..... ۴۷
شکل (۵-۸) : نمائی از مکانیزم حرکت غلتک جوش ..... ۴۹
شکل (۵-۹) : نمونه انجام آزمایش تخت شدگی ..... ۵۰
شکل (۵-۱۰) : چگونگی نمونه برداری وآماده سازی خط ..... ۵۰
شکل (۵-۱۱) : نمونه جوش بدست آمده از مرحله چهارم آزمایش ..... ۵۱
شکل (۵-۱۲) : آزمایش تخت شدگی در مرحله چهارم نمونه برداری ..... ۵۱
شکل (۵-۱۳) : نمونه جوش بدست آمده از مرحله پنجم آزمایش ..... ۵۲
شکل (۵-۱۴) : نمونه جوش ترک خورده در مرحله پنجم آزمایش تخت شدگی ..... ۵۲
شکل (۶-۱) : نمایش ناحیه جوش توسط اشعه ایکس*[۵]* ..... ۵۵
شکل (۶-۲) : چگونگی تقسیم بندی مقطع مدل ..... ۵۸
شکل (۶-۳) : منحنی تنش – کرنش در نرخ کرنشهای متفاوت*[۱۶]* ..... ۶۰
شکل (۶-۴) : منحنی پروفیل دمادر ناحیه جوش ..... ۶۲

شکل (۶-۵) : نقشه غلتک جوش تهیه شده از شرکت لوله و پروفیل یاران ..... ۶۵
شکل (۶-۶) : میزان درگیری غلتکهای جوش در قطر ۴۸/۵ میلیمتر براساس ابعاد دستگاه موجود در شرکت پروفیل یاران ..... ۶۵
شکل (۶-۷) : منحنی جابجائی افقی-زمان(مدل اول) ..... ۶۶
شکل (۷-۱) : ابعاد اولیه مدل مورد مطالعه جهت شبیه سازی ..... ۶۹
شکل (۷-۲) : مدل شبیه سازی شده تغییر شکل اول ..... ۷۰
شکل (۷-۳) : منحنی جابجائی افقی- زمان(مرحله دوم) ..... ۷۱
شکل (۷-۴) : مدل شبیه سازی شده تغییر شکل دوم ..... ۷۱
شکل (۷-۵) : منحنی جابجائی افقی- زمان(مدل سوم) ..... ۷۲
شکل (۷-۶) : منحنی شبیه سازی شده تغییر شکل (مدل سوم) ..... ۷۳
شکل (۷-۷) : منحنی جابجائی افقی- زمان(مدل چهارم) ..... ۷۴
شکل (۷-۸) : منحنی شبیه سازی شده تغییر شکل( مدل چهارم) ..... ۷۴
شکل (۷-۹) : منحنی جابجائی افقی – زمان (مدل پنجم) ..... ۷۵
شکل (۷-۱۰) : مدل شبیه سازی شده تغییر شکل (مدل پنجم) ..... ۷۶
شکل (۷-۱۱) : منحنی تغییر شکل (شبیه سازی مدل اول) ..... ۷۶
شکل (۷-۱۲) : منحنی تغییر شکل (شبیه سازی مدل دوم) ..... ۷۷
شکل (۷-۱۳) : منحنی تغییر شکل (شبیه سازی مدل سوم) ..... ۷۸
شکل (۷-۱۴) : منحنی تغییر شکل (شبیه سازی مدل چهارم) ..... ۷۸
شکل (۷-۱۵) : منحنی تغییر شکل (شبیه سازی مدل پنجم) ..... ۷۹

# فهرست جدول‌ها

عنوان..... صفحه
جدول (۵-۱) :ثبت مقادیر عددی حاصل از آزمایشهای..... ۵۳
جدول (۶-۱) :خواص مکانیکی فولاد با در صد کربن پائین بر حسب دما ونرخ کرنش*[۱۶]*..... ۶۱
جدول (۶-۲) :وابستگی خواص مکانیکی به کرنش خمیری..... ۶۳
جدول (۶-۳) :وابستگی تنش تسلیم به دما و نرخ کرنش *[۱۶]*..... ۶۴
جدول (۶-۴) :میزان جابجائی ناحیه مرزی بر حسب زمان در مدل اول..... ۶۶
جدول (۷-۱) :میزان جابجائی ناحیه مرزی بر حسب زمان در مرحله دوم..... ۷۰
جدول (۷-۲) :میزان جابجائی ناحیه مرزی بر حسب زمان در مدل سوم..... ۷۲
جدول (۷-۳) :میزان جابجائی ناحیه مرزی بر حسب زمان در مدل چهارم..... ۷۳
جدول (۷-۴) :میزان جابجائی ناحیه مرزی بر حسب زمان در مدل پنجم..... ۷۵
جدول (۷-۵) :میزان ارتفاع گرده جوش بر حسب جابجائی(شبیه سازی مدل اول)..... ۷۷
جدول (۷-۶) : میزان حداکثر ارتفاع گرده جوش بر حسب جابجائی افقی(شبیه سازی مدل دوم)..... ۷۷
جدول (۷-۷) :میزان حداکثر ارتفاع گرده جوش بر حسب جابجائی افقی (شبیه سازی مدل سوم)..... ۷۸
جدول (۷-۸) :میزان حداکثر ارتفاع گرده جوش بر حسب جابجائی افقی (شبیه سازی مدل چهارم)..... ۷۹
جدول (۷-۹) : میزان حداکثر ارتفاع گرده جوش بر حسب جابجائی افقی (شبیه سازی مدل پنجم)..... ۷۹
جدول (۷-۱۰) :مقایسه نتایج حاصل از آزمایش تجربی وشبیه سازی عددی..... ۸۱
جدول (۷-۱۱) : مقادیر مورد نیاز گسترده ورق..... ۸۳

# فصل ۱

## مقدمه

## ۱-۱- مقدمه

در عصرحاضربا توجه به رشد روز افزون تولید وهمچنین مصرف فرآورده های صنعتی و با توجه به بالا رفتن دانش وبه دنبال آن بالارفتن توقعات جوامع بشری ، روزبروز جایگاه کیفیت ونظام های کیفی حاکم بر تمامی فعالیتهای بشری پررنگتر می شود. صنایع داخلی نیز از این امر مستثنی نبوده وبالاجبار می بایست به این مقوله مهم و فراگیر در تولیدات خود توجه ویژه ای بنمایند. تجربه پیشروان صنعت مبین این امر است که رسیدن به اهداف کیفی و همچنین حفظ آن ؛ فقط در یک فرآیند پیوسته و فراگیر کیفی قابل حصول می باشد و نیازمند شناخت صحیح از کلیه فعالیتهای در ارتباط با فرآیند مورد نظراز ابتدا تا انتها ی آن می باشد.

یک واحد صنعتی تولید لوله نیز از همین الگو پیروی می کند.لذا جهت بررسی موضوع این پایان نامه که عبارت است از بررسی تحلیلی و تجربی میزان کاهش قطر لوله در روش جوشکاری القائی لوله با فرکانس بالا نیازمند شناخت انواع مختلف جوش لوله هستیم. لذا دراین خصوص نیاز به معرفی روشهای مختلف جوش لوله وخصوصا توضیحات نسبتا کاملی در خصوص جوشکاری القائی لوله با فرکانس بالا می باشد.

سپس به عوامل موثرو مهم در فرآیند جوش القائی پرداخته خواهد شد.درانتها به بررسی میزان کاهش قطر لوله به علت تغییر شکل خمیری فلز در ناحیه جوش و برآورد این میزان فلز جهت حفظ قطر لوله در محدوده تلرانسهای مشخص شده در استانداردهای رایج پرداخته خواهد شد.

## ۱-۲- مزایای جوشکاری به روش فرکانس بالا

در خصوص انواع روشهای جوشکاری لوله در فصل مربوطه به طور مفصل بحث خواهد شد. یکی از این روشها به نام جوشکاری القائی با فرکانس بالا نام دارد. این روش جوشکاری به دلیل وجود مزایای قابل توجه نسبت به سایر روشهای جوشکاری در حال حاضر متداولترین روش جوشکاری درز جوش خطوط لوله سازی در تولید لوله های فولادی و فلزات رنگین می باشد. از مهمترین این مزایا می‌توان به نکات زیر اشاره کرد:

۱- سرعت جوشکاری بسیار بالا (تا حدود ۵۰۰ متر بر دقیقه گزارش شده است).

۲- یکنواختی جوش و در نتیجه یکنواختی کیفیت جوش.

۳- قابلیت کنترل قدرت جوش از طریق کنترل پارامترهای جوش متناسب با سرعت خط.

۴- قابلیت جوشکاری انواع جنسهای فلزات از قبیل: انواع فولاد های کربنی ، انواع فولادهای ضد زنگ ، برنج، مس و آلومینیوم.

### ۱-۳- نگاهی گذرا بر پژوهشهای انجام شده

در خصوص پژوهشهای انجام شده در باره شناخت وبررسی عوامل موثر در جوش القائی نمی توان به تقدم و یا تاخر فعالیتهای انجام شده تاکید نمود چرا که این پژوهشها عمدتا به صورت مستقل و گسسته توسط افراد متفاوت انجام گردیده است. تعدادی از این پژوهشها در این چکیده جمع آوری و دسته بندی گردیده است. در این زمینه می‌توان به چند پژوهش اشاره نمود:

سایتو و همکارانش*[۱]* تحقیقاتی در خصوص ارائه مدلی تحلیلی از چگونگی توزیع جریان در ناحیه جوش در فرآیند جوش القائی رادر دانشگاه توکیو در سال ۱۹۸۳ نمودند. در این تحلیل مشخص گردید که بیشترین تمرکز جریان و به دنبال آن بیشترین تمرکز حرارت در نقاط گوشه ای ورق اتفاق می افتد.

آسپرهایم و همکارانش *[۲]*در مقاله ای در سال ۲۰۰۱ مدل عددی تابع توزیع جریان و به دنبال آن تابع توزیع حرارت را با استفاده از روش اجزاء محدود معرفی نمودند . این تحلیل در حوزه لوله های جدار ضخیم انجام گرفته و باز هم مشخص گردید که بیشترین تمرکز جریان و به دنبال آن بیشترین تمرکز حرارت در نقاط گوشه ای ورق اتفاق می افتد.

یکی از فعالترین افراد در زمینه جوشهای القائی با فرکانس بالاآقای دکتر پاول اسکات مشاور فنی کمپانی ترماتول[1] می باشد. این شرکت در زمینه تحقیقات و ساخت دستگاههای جوش خطوط لوله سازی فعال می باشد. پاول اسکات*[۳]* در یکی از پژوهشهایش در سال ۲۰۰۲ به معرفی خصوصیات جریا نهای با فرکانس بالا پرداخته اند.در این پژوهش ایشان به چگونگی ایجاد مکانیزم جوش القائی در

*1 Thermatool*

لوله با استفاده از خصوصیات حرارتی و الکتریکی ماده پرداخته اند . همچنین ایشان تحقیقات وسیعی در خصوص چگونگی تاثیر عوامل موثر در جوش القائی و نیز معرفی حالات عملکردی این فرآیند جوش با توجه به فرکانسهای کاری در حوزه لوله های جدار نازک (توزیع حرارت در ضخامت یکسان فرض می شود) داشته اند.

پاول اسکات طی مقاله ای دیگر *[۴]*موفق به حل توام معادلات انرژی و ماکسول شده و توانست پروفیل دمائی حاکم بر ناحیه جوش را در خصوص فولادهای بادر صد کربن پائین در لوله ای با قطر ۴۸/۵ میلیمتر و ضخامت ۲ میلیمتر راتعیین نماید .که البته همین پروفیل دمائی، مبنائی برای موضوع همین پایان نامه نیز گردیده است.

رابرت نیکولز*[۵]* از محققین کمپانی ترماتول نیز به بررسی خصوصیات فولادها و عوامل کیفی موثر در صنعت لوله سازی پرداخته اند. ایشان در این پژوهش کلیه عیوب مورد انتظار در جوش القائی با فرکانس بالا را معرفی و به بررسی علل بروز این عیوب و همچنین چگونگی رفع آنها پرداخته اند.

در پژوهش دیگری توسط رابرت نیکولز و همکارش یودال در سال ۲۰۰۲ *[۶]* نحوه به کار گیری روش جوش القائی با فرکانس بالا و معرفی پارامترهای تاثیر گذاردر جوش لوله های از جنس فولاد ضد زنگ پرداخته وهمچنین ساختار متالورژیکی درناحیه جوش را در این نوع جنس لوله مطالعه نمودند.

در پژوهش دیگری پاول اسکات در سال ۲۰۰۳میلادی به بررسی عملیات آنیلینگ درز جوش و تغییرات ساختار متالورژیکی حاصله پرداخته است*[۷]*.ایشان در این پژوهش به چگونگی بروز نابجائی های کریستالی در ساختار جوش القائی و تاثیرات منفی آن در لوله هائی با کاربری در صنعت گاز پرداخته و همچنین در خصوص چگونگی رفع ساختارهای مارتنزیتی در ناحیه متاثر از حرارت ، بعد از تولید و حرارت دهی مجدد ناحیه جوش و سرد کردن کنترل شده این ناحیه پرداخته است.

ناکسو و همکارانش*[ ۸]* در مقاله ای در سال ۲۰۰۱ توسط پژوهشی در خصوص چگونگی شکل مناسب لبه ورق در تولید لوله های جدار ضخیم، جهت دست یابی به یک جوش مناسب پرداختند . ایشان دراین پژوهش لزوم آماده سازی لبه های ورق در لوله های جدار ضخیم که در هنگام جوش می بایست کاملا موازی باشد ، را مورد بررسی قرار داده اند .

### ۱-۴- اهداف این پایان نامه

باتوجه به کاربرد روز افزون فرآیند شکل دهی غلتکی سرد در صنایع مختلف برای تولید مقاطع فلزی متنوع نیاز به تحقیقات همه جانبه در این صنعت می باشد.

خوشبختانه در خصوص تحلیلهای مکانیکی شکل دهی فلزات در این شاخه از صنعت اقدامات اساسی و پایه ای توسط محققین جهان و همچنین اساتید داخلی و دانشجویان پیشین صورت گرفته و به صورت فزاینده شاهد تولید مقالات علمی در این خصوص هستیم.

اما در خصوص بررسی شکل دهی فلز در ناحیه خمیری جوش کمتر کار شده است. لذا به توصیه و راهنمائیهای استاد گرانقدر جناب آقای دکتر حسن مسلمی نائینی مقرر گردید تا به بررسی شکل دهی فلز در ناحیه خمیری جوش و اثرات عوامل موثر در جوش پرداخته شود.

در این پایان نامه سعی بر آن است که میزان تغییر شکل در ناحیه جوش، تحت تاثیر دما و جابجایی حاصل از عبور لوله از غلتک نهایی محاسبه گردد. این بررسی عوامل موثر در بروز تغییر شکل و شدت تاثیرات آنها را مورد مطالعه قرار می دهد. با محاسبه تغییر شکل در ناحیه جوشکاری می توان مقدار عرض اولیه لازم را که از مقدار گسترده سطح لوله بیشتر می باشد و مقدار ماده تلف شده را محاسبه نمود. زیرا به دلیل بروز تغییر شکل در ناحیه جوشکاری مقدار مواد اولیه و در نتیجه ابعاد دقیق لوله (مطابق استانداردهای رایج)محصول نهایی متاثر خواهد گردید.

بنابراین اهداف این پایان نامه را می‌توان فهرست وار به شرح ذیل بیان نمود:

۱- معرفی انواع روشهای جوش خطوط لوله سازی
۲- معرفی انواع عیوب متداول در جوشکاری به روش فرکانس بالا.
۳- معرفی پارامترهای موثر در روش جوش القائی با فرکانس بالا.
۴- بررسی عددی شکل دهی فلز در ناحیه جوش
۵- تعیین میزان مصرف ماده در ناحیه جوش
۶- برآورد میزان افزایش مورد تقاضا در برش اولیه طول گسترده لوله به منظور ساخت لوله با قطر استانداردو جوش مطمئن.
۷- ارائه روشی برای برآورد عرض گسترده ورق از طریق مطالعه رفتار شکل پذیری فلز.

### ۱-۵- ساختار این نوشتار

در نخستین فصل این نوشتار پس از مقدمه ای کوتاه به بررسی پژوهشهای پیشین درمورد عوامل موثردر فرآیند جوش خطوط لوله با فرکانس بالا پرداخته شده است.

در فصل دوم تا حد امکان به توضیحاتی در مورد روشهای جوشکاری خطوط لوله سازی و همچنین شرح مفصلی در خصوص روش جوشکاری القائی با فرکانس بالا و چگونگی انجام این فرآیند پرداخته شده است.

در فصل سوم به کیفت جوش و عیوب ممکن در ناحیه جوش لوله پرداخته شده است.

در فصل چهارم با توجه به لزوم معرفی پارامترهای موثر در جوش ؛ به توضیح و چگونگی تاثیر این پارامترها در حالات عملکردی جوش و همچنین معرفی پروفیل دمائی حاکم بر ناحیه جوش در لوله های جدار نازک پرداخته شده است.

در فصل پنجم چگونگی انجام آزمایشهای تجربی به منظور تعیین حداقل ارتفاع گرده جوش پرداخته شده است.

در فصل ششم به چگونگی انجام شبیه سازی در نرم افزار آباکوس و همچنین فرضیات مورد نیاز در ساخت مدل پرداخته شده است.

در فصل هفتم به بحث ونتیجه گیری از آزمایشات و شبیه سازی و همچنین چگونگی محاسبه مقدار اضافه مورد نیاز در سطح گسترده ورق که در هنگام جوش ایجاد می شود پرداخته شده است.

در فصل هشتم در خصوص نتیجه گیری از انجام این پایان نامه و همچنین پیشنهادات قابل انجام برای ادامه کار توسط پژوهشگران عزیز ارائه گردیده است.