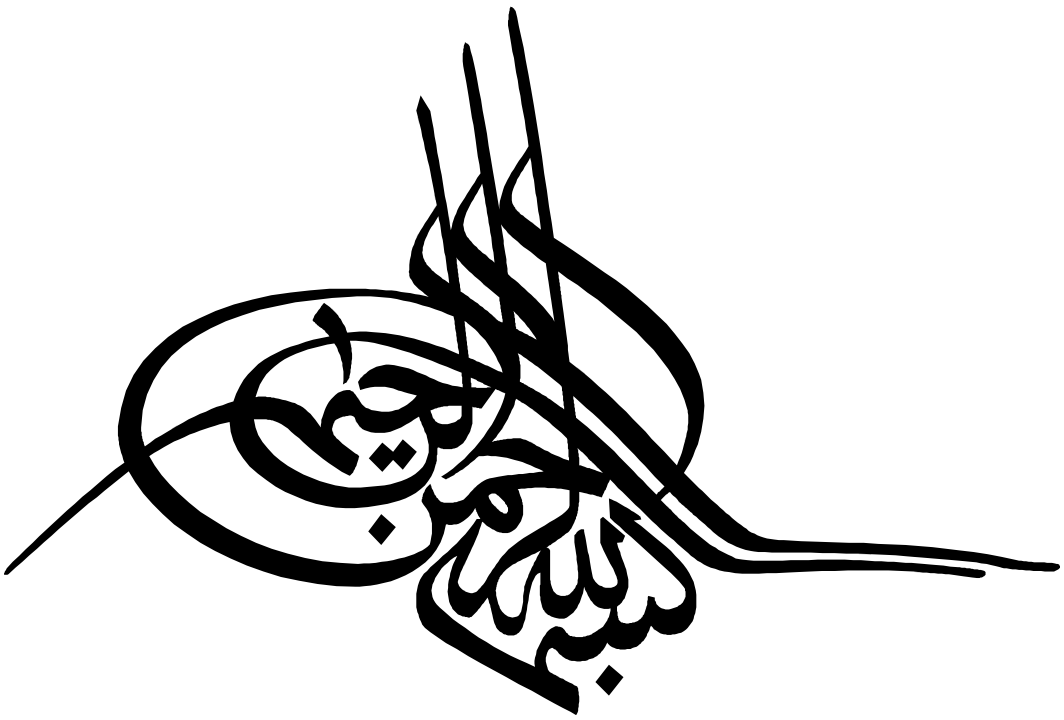
بسم الله الرحمن الرحيم

**دانشکده مکانیک**

**گروه مکانیک**

پایان‌نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی مکانیک

عنوان

# پیش بینی شرایط جوشکاری آستینی لوله ها با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی

استاد راهنما

**دکتر فرید وکیلی تهامی**

استاد مشاور

**دکتر مهدی نوشیار**

پژوهشگر

**سجاد برزگر محمدی**

شهریور ۹۲

تقدیم به

# پدرم و مادرم

# سپاس

**نام خانوادگی:** سجاد **نام:** برزگر محمدی

**عنوان پایان‌نامه:** پیش بینی شرایط جوشکاری آستینی لوله های فولادی با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی

**استاد راهنما:** دکتر فرید وکیلی تهامی **استاد مشاور:** دکتر مهدی نوشیار

**مقطع تحصیلی**: کارشناسی ارشد **رشته**: مهندسی مکانیک **گرایش**: طراحی کاربردی
**دانشگاه**: تبریز **دانشکده**: فنی مهندسی مکانیک
**تاریخ فارغ التحصیلی**: **تعداد صفحه**: ۱۴۲

**کلید واژه‌ها:** المان محدود، جوشکاری آستینی لوله ها، شبکه های عصبی مصنوعی، الگوریتم ژنتیک

**چکیده**

در این پایان نامه تاثیر پارامترهای مهم، شامل ضخامت لوله اصلی، مقدار شار گرمایی ورودی (آمپراژ و ولتاژ)، سرعت جوشکاری و ضریب کنوکسیون در کاهش و افزایش خطر فوران در طی فرایند جوشکاری آستینی برای خطوط انتقال نفت و گاز بررسی شده است. جوشکاری در حین سرویس بوده و برای تقویت و یا تعمیر لوله های خورده شده انجام می گیرد، که در اثر عبور سیال داخل آن تحت فشار می باشند. برای این منظور با استفاده از روش اجزای محدود، حل گرمایی با استفاده از مدل سه بعدی برای اتصال آستینی در محدوده لوله های فولادی انجام شده است. تکنیک های جدید بر این اصل استوار است که اگر بیشینه دمای جداره داخلی لوله کم تراز دمای ۹۸۲ سلسیوس شود، پدیده فوران اتفاق نخواهد افتاد. به همین علت با تعیین شرایط جوشکاری قبل از انجام آن، از بروز پدیده فوران جلوگیری خواهد شد.

از آنجایی که تغییر شرایط ممکن برای جوشکاری به این روش، به علت متغیر بودن پارامترها و ترکیب آن ها با یکدیگر، باعث بوجود آمدن شرایط جدید می شوند، تعداد حالات مورد بررسی در دامنه وسیعی متفاوت می باشد و امکان آزمایش تمامی شرایط به علت هزینه و وقت زیاد تقریبا غیرممکن خواهد بود. به همین علت، نیاز به تحلیل به روش اجزای محدود شدیدا احساس می شود. اگرچه حل به روش اجزای محدود، حلی نسبتا دقیق می باشد ولی به علت وقت گیر بودن

در صنعت کارا نمی باشد، به همین علت از شبکه های عصبی چند لایه برای بررسی و پیش بینی شرایط استفاده شده است. ابتدا، تعدادی حل نمونه به کمک روش اجزای محدود انجام شده و از نتایج حاصل برای آموزش شبکه عصبی، استفاده شده است. برای این منظور کد کامپیوتری بر مبنای تئوری شبکه های عصبی چند لایه تدوین شده است که با استفاده از آن، با وارد کردن شرایط ورودی، دمای خروجی محاسبه می شود. این کد می تواند در صنعت، به علت سهولت استفاده از آن و سرعت و دقت تحلیل بالا کاربرد فراوانی داشته باشد.

**Surname:** sajjad **Name:** barzegar- mohammadi

**Thesis Title:** Predicting of Sleeve Welding parameters by using of the Artificial Neural network

**Supervisor:** Dr. Farid Vakili-Tahami
**Advisor:** Dr. Mehdi Nooshyar

**Degree:** Master of Science **Major:** Mechanical engineering
**Field:** Applied Mechanical **University:** University of Tabriz
**Faculty:** Mechanical engineering **Graduation date:**
**Pages:** 142

**Keywords:** Finite element Method, Sleeve Welding, Artificial neural network, Genetic algorithm

**Abstract:**

In this thesis the effect of major parameters: Main pipe thickness, the amount of heat input (Voltage and Amperage range ), velocity of welding and convection coefficient have been studied in increasing or decreasing the risk of Burn-through (B-T) during the Sleeve Welding of a gas pipeline which operates at full line pressure. For this purpose, Finite Element based thermal analyses have been carried out, using a 3D model of the Sleeve joint of a stainless steel pipe. Current techniques rely on the observation that Burn-through does not occur if the peak temperature on the inner surface are kept below 982$^{o}$C, therefore it is important to determine the welding parameters which provide this condition and also satisfy the quality requirements of the weldment.

Since the number of possible combinations of welding parameters which may occur in the industry is high, it is expensive and time consuming to study all of the cases using Finite Element based analyses. Hence, more efficient and fast solution method is used which is based on Neural network. First, a series of Finite Element based numerical solutions have been carried out by changing major welding parameters. Then, a computer code has been developed. The results of Finite element solutions have been used as input data to train an artificial neural network computer code. using this computer code the welding process temperature values for critical points during the welding process can be predicted. Since this code is user friendly and provides the

results with good accuracy, it is a favourite tool in industrial applications. By using this code useful information regarding the possibility of Burn-Through can be obtained. For example, it has been shown that the amount of convection coefficient, which is related to the fluid property and its flow condition inside the main pipe, has a major role in Burn-Through.

## فهرست عناوین


مقدمه ..... ۱

فصل اول: پیشینه تحقیق ..... ۶

۱-۱- تاریخچه ..... ۶

۱-۱-۱- تاریخچه پیشرفت فرایند جوشکاری ..... ۶

۱-۱-۲- تاریخچه روش های تحلیل فرایند جوشکاری ..... ۷

فصل دوم: مواد ها و روش ها ..... ۱۷

۲-۱- کلیات جوشکاری ..... ۱۷

۲-۱-۱- کاربرد جوشکاری در صنعت ..... ۱۷

۲-۱-۲- انواع روش های جوشکاری در صنعت ..... ۱۷

۲-۱-۳- جوشکاری قوسی با الکترود روکش‌دار (جوشکاری دستی) ..... ۱۸

۲-۲- جوشکاری فولادهای زنگ‌نزن ..... ۱۹

۲-۲-۱- جوش پذیری فولادهای زنگ‌نزن آستنیتی ..... ۱۹

۲-۲-۲- حرارت جوشکاری در فولاد های زنگ‌نزن آستنیتی ..... ۲۰

۲-۲-۳- خواص مکانیکی و حرارتی فولاد زنگ‌نزن ..... ۲۱

۲-۲-۴- بررسی ترک‌های زیر لایه جوش و ترک‌های انجمادی در فولاد زنگ‌نزن آستنیتی ..... ۲۱

۲-۳- عیوب مورد بررسی در فرایند جوشکاری ..... ۲۴

۲-۳-۱- پدیده‌های فوران وترک گرم ..... ۲۴

۲-۳-۲- تنشهای پسماند ..... ۲۵

۲-۳-۳- راهکارهای مورد استفاده درصنعت برای کاهش خطرات حاصله در عملیات جوشکاری لوله های حین کار. ۲۵

۲-۳-۴- عملیات انشعاب گرم (Hot Tapping) در لوله های در حین کار ..... ۲۹

۲-۴- تستهای غیر مخرب و روش های اندازه گیری ضخامت ..... ۳۱

۲-۴-۱- روش مایع نافذ ..... ۳۱

۲-۴-۲-روش ذرات مغناطیسی ..... ۳۵
۲-۴-۳- روش جریان گردابی ..... ۳۶
۲-۴-۴- روش فرا صوتی ..... ۳۷
۲-۴-۴-۱-تعیین هویت عیب ها ..... ۴۰
۲-۴-۴-۲- گسترهٔ انجام آزمایش ..... ۴۱
۲-۴-۴-۳- قطعات استاندارد مرجع ..... ۴۳
۲-۴-۴-۴- الگوهای روبش ( جستجو ) ..... ۴۴
۲-۴-۵- روش پرتونگاری ..... ۴۴
۲-۴-۵-۱- پرتو نگاری نورتون ..... ۴۵
۲-۴-۵-۲- رادیو گرافی اشعه x ..... ۴۶
۲-۴-۵-۳- پرتو نگاری گاما ..... ۴۶
۲-۵- مبانی مدلسازی اتصالات جوشی ..... ۴۸
۲-۵-۱- روش های مدلسازی انتقال حرارت فرایند جوشکاری ..... ۴۸
۲-۵-۲- کاربرد روش المان محدود ..... ۵۲
۲-۵-۲-۱- مبانی روش المان محدود ..... ۵۲
۲-۵-۲ -۲- تحلیل حرارتی و فرمولبندی المان محدود در تحلیل انتقال حرارت گذرا ..... ۵۳
۲-۵-۲-۳- تولد و مرگ المان ..... ۵۵
۲-۶- شبکه های عصبی مصنوعی ..... ۵۷
۲-۶-۱- شبکه های پرسپترون چند لایه (MLP) ..... ۵۸
۲-۶-۲- اضافه کردن بایاس ..... ۵۹
۲-۶-۳-آموزش پرسپترون ..... ۶۰
۲-۶-۴- قانون دلتا (Delta Rule) ..... ۶۰
۲-۶-۵- الگوریتم Gradient Descent ..... ۶۰
۲-۶-۶- مشکلات روش (Gradient Descent) ..... ۶۱
۲-۶-۷- تابع سیگموئید ..... ۶۲

۲-۶-۸- الگوریتم (Back propagation) ..... ۶۲
۲-۷- الگوریتم ژنتیک ..... ۶۴
۲-۷-۲- مکانیزم الگوریتم ژنتیک ..... ۶۶
۲-۷-۳- عملگرهای الگوریتم ژنتیک ..... ۷۰
۲-۷-۳-۱- کدگذاری ..... ۷۰
۲-۷-۳-۲- ارزیابی ..... ۷۰
۲-۷-۳-۳- ترکیب ..... ۷۰
۲-۷-۳-۴- جهش ..... ۷۱
۲-۷-۴- رمزگشایی ..... ۷۱
۲-۷-۵- انواع کدینگ(کدگذاری) ..... ۷۲
۲-۷-۵-۱- کدینگ باینری ..... ۷۴
فصل سوم: نتایج ..... ۷۵
۳-۱- مدلسازی ..... ۷۶
۳-۱-۱- مشخصات مدل تعمیری آستینی لوله ها ..... ۷۷
۳-۱-۲- مدلسازی المان محدود اتصال آستینی شکل ..... ۷۷
۳-۱-۳- شرایط مرزی داخل و خارج لوله ..... ۷۸
۳-۱-۴- انتخاب جنس مواد ..... ۷۹
۳-۱-۵- مدلسازی منبع حرارتی ..... ۸۰
۳-۲- نتایج اولیه ..... ۸۳
۳-۲-۱- تحلیل گرمایی اولیه ..... ۸۳
۳-۲-۲- مش بندی مستقل از ابعاد المان در مدل سازی به روش المان محدود ..... ۸۵
۳-۲-۴- صحه گذاری مدل و حل با استفاده از ادبیات فن ..... ۸۶
۳-۲-۵- مشخص کردن مسیرهای بحرانی برای بررسی کیفیت جوشکاری ..... ۸۸
۳-۳- تعیین پارامترهای موثر در فرآیند جوشکاری ..... ۹۱
۳-۳-۱- افزایش گرمای به ۱/۵ برابر مقدار اولیه با فرض ثابت ماندن تمامی پارامترهای اولیه برای فولاد ۳۰۴ ..... ۹۱

۳-۳-۲- کاهش سرعت حرکت الکترود به ۰/۷۵ مقدار اولیه ..... ۹۲
۳-۳-۳- تاثیر ضریب کنوکسیون در دماهای نقاط بحرانی ..... ۹۵
۳-۳-۴- تاثیر ضریب هدایت حرارتی در توزیع حرارت در محل جوش و بررسی قابلیت جوش پذیری آن ها..... ۹۹
۳-۳-۵- کاهش ظرفیت گرمایی ویژه ..... ۱۰۱
۳-۳-۶- بررسی اثر ضخامت..... ۱۰۳
۳-۴- طراحی آزمایش ها و بررسی اثر پارامترهای موثر در پدیده فوران..... ۱۰۷
۳-۴-۱- طراحی آزمایش ها برای بررسی تاثیر پارامترهای مختلف..... ۱۰۷
۳-۴-۲- نتایج مورد انتظار ..... ۱۰۸
۳-۴-۳- بررسی اثر عوامل موثر در پدیده فوران..... ۱۰۹
۳-۴-۴- نتیجه گیری ..... ۱۱۷
۳-۵- مدلسازی به کمک شبکه عصبی ..... ۱۱۸
۳-۵-۱-شبکه های عصبی مصنوعی ..... ۱۱۸
۳-۵-۲-نحوه مدلسازی با شبکه عصبی..... ۱۱۸
۳-۵-۳- نتایج نقاط بحرانی در بررسی فرایند جوش ..... ۱۲۰
۳-۵-۴- پیش بینی شرایط جوشکاری با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی..... ۱۲۲
۳-۵-۵- انتخاب مناسب ترین تعداد تکرار، خطای هدف و نوع تابع محرک ..... ۱۲۵
۳-۵-۶- بررسی و تحلیل نتایج حاصل از شبکه های عصبی مصنوعی ..... ۱۲۹
۳-۵-۷- محاسبه حداقل ضخامت مورد نیاز برای جوشکاری ایمن لوله های حین سرویس..... ۱۳۳
۳-۶- بهینه سازی شرایط جوشکاری با استفاده از الگوریتم ژنتیک ..... ۱۳۷
۳-۶-۱- بهینه سازی فرایند با استفاده از الگوریتم ژنتیک..... ۱۳۷
۳-۶-۲-تعریف مسئله بهینه سازی و چگونگی انجام آن..... ۱۳۷
۳-۶-۳- بهبود الگوریتم ژنتیک ..... ۱۳۸
۳-۶-۴-نتیجه گیری و پیشنهاد برای کارهای آینده..... ۱۴۰
۳-۷- مراجع ..... ۱۴۳

## فهرست علائم

| | |
|---|---|
| مشتق ماتریس تابع شکل | $[B]$ |
| گرمای ویژه | $c[j/kg.^oc]$ |
| ماتریس سختی دمائی | $\{C^{th}\}$ |
| قطر | $D[m]$ |
| بردار نیروهای حجمی | $\{f\}$ |
| آنتالپی | $H[j/m^3]$ |
| مدول پلاستیک | H |
| ضریب انتقال حرارت | $h[W/m^2.^oC]$ |
| جریان جوشکاری | $I$ |
| ضریب هدایت حرارتی | $K[W/m.^oC]$ |
| ماتریس سختی | $[K]$ |
| ماتریس عملگر دیفرانسیلی | $[L]$ |
| تابع شکل دمائی | $[M]$ |
| ماتریس تابع شکل | $[N]$ |
| بردار نیروی وارد بر سطح | $\{P\}$ |
| شار حرارتی سطحی | $q_s[W/m^2]$ |
| نرخ انرژی تولید شده | $\dot{Q}[j/s]$ |
| گرمای ورودی بر واحد طول | $q_W[j/m]$ |
| ماتریس دمائی در گره ها | $\{\Delta T_e\}$ |
| دمای محیط | $T_\infty[^0C]$ |

| | |
|---|---|
| دما | $T\,[^0C]$ |
| بردار جابجائی | $\{u\}$ |
| ولتاژ جوشکاری | $U$ |
| بردار جابجائی نودها در المان | $\{U_e\}$ |
| سرعت | $V[m/s]$ |
| ضریب انبساط حرارتی | $\alpha[1/^0C]$ |
| ضریب انتشار | $\varepsilon$ |
| بردار کرنش | $\{\varepsilon\}$ |
| بردار تنش | $\{\sigma\}$ |
| تنشهای طولی انقباضی | $\sigma_{contr}$ |
| ثابت استفان بولتزمن | $\sigma[W/m.^2K^4]$ |
| تنش بحرانی کمانش | $\sigma_{cy}$ |
| چگالی | $\rho[kg/m^3]$ |
| بازده قوس | $\eta$ |

# فهرست اشکال

**شکل** **صفحه**


شکل ۱: خط انتقال ..... ۱

شکل ۲: گستردگی خطوط لوله انتقال در کره زمین ..... ۳

شکل ۲-۱: جوشکاری با الکترود روکش‌دار ..... ۱۹

شکل ۲-۲: پدیده فوران در جوشکاری حین کار لوله تحت فشار ..... ۲۸

شکل ۲-۳: مراحل اجرایی جوشکاری آستینی ..... ۲۸

شکل ۲-۴- نمایش شماتیک دستگاه انشعاب گرم ..... ۲۹

شکل ۲-۵- نمایش کاتر لوله و انواع اتصالات لوله ها ..... ۳۰

شکل ۲-۶: سه اسپری ای که معمولاً در تست مایع نافذ بکار گرفته می شوند ..... ۳۲

شکل ۲-۷: روند کشش مایع نافذ به درون شکاف ..... ۳۴

شکل ۲-۸: نمایان شدن ترکها در محل اتصال ..... ۳۴

شکل ۲-۹: اساس کار روش ذرات مغناطیسی ..... ۳۵

شکل ۲-۱۰: یوک مغناطیسی( ابزاری جهت مغناطیسی کردن قطعه) ..... ۳۵

شکل ۲-۱۱: اساس روش جریان گردابی ..... ۳۷

شکل ۲-۱۲: اساس کار روش فراصوتی ..... ۳۹

شکل ۲-۱۳: پروب های موجود در آزمون فراصوتی ..... ۳۹

شکل ۲-۱۴: حرکت پروب بر روی قطعه ی مورد آزمون ..... ۴۰

شکل ۲-۱۵: ربات پیشرونده آزمونگر فراصوتی ..... ۴۳

شکل ۲-۱۶: اساس کار روش پرتو نگاری ..... ۴۵

شکل ۲-۱۷: مدل حرارتی توزیع چگالی توانی دو بیضوی ..... ۵۲

شکل ۲-۱۸: تولد و مرگ المان در جوشکاری ..... ۵۶

شکل ۲-۱۹: نمایی شماتیک از شبکه های عصبی ..... ۵۷

شکل ۲-۲۰: شماتیک شبکه های عصبی چند لایه پرسپترون ..... ۵۸

شکل ۲-۲۱: مرز تصمیم در شبکه های عصبی ..... ۵۹

شکل ۲-۲۲:  نحوه ی کوپل مقادیر وزن ها و بایاس ..... ۵۹
شکل ۲-۲۳: فضای جستجو در الگوریتم GRADIENT DESCENT ..... ۶۱
شکل۲-۲۴: چارت الگوریتم ژنتیک ..... ۷۳
شکل ۳-۱: اتصال آستینی شکل و لوله اصلی به صورت شبکه بندی سه بعدی ..... ۷۸
شکل ۳-۲: همرفت روی سطوح خارجی ..... ۷۹
شکل ۳-۳:  خواص گرمایی و مکانیکی متغیر با دمای فولاد استیل ۳۰۴ ..... ۸۰
شکل۳-۴: محاسبه تابع منبع حرارتی با استفاده از آزمایشهای عملی ..... ۸۱
شکل۳-۵: کانتور دما برای حل شماره ۱ در زمان ۱۱۵ ثانیه ..... ۸۳
شکل۳-۶: کانتور دمایی برای حل شماره ۱ در ثانیه ۱۹۲ ..... ۸۴
شکل۳-۷: نمای دوبعدی از کانتورهای دمایی برای حل شماره ۱ در ثانیه ۱۹۲ ..... ۸۵
شکل ۳-۸: توزیع دما در سطح داخلی لوله به ازای زمانهای ۰ تا ۷۶ ثانیه ..... ۸۷
شکل۳-۹: گره ها و مسیرهای بحرانی برای بررسی فوران در جوشکاری و کیفیت جوشکاری ..... ۸۹
شکل۳-۱۰: توزیع دمایی در مسیرهای BA، BC و JK ..... ۸۹
شکل۳-۱۱: توزیع دمایی در مسیرهای DE، FG و HI ..... ۹۰
شکل۳-۱۲: توزیع دمایی در ثانیه ۱۹۲ مربوط به حل شماره ۲ ..... ۹۱
شکل۳-۱۳: توزیع دمایی مربوط به آزمایش شماره ۳ در ثانیه ۲۵۶ ( آخرین گام حل) ..... ۹۳
شکل۳-۱۴: توزیع دمایی در مسیر  DE برای آزمایش شماره ۳ ..... ۹۴
شکل۳-۱۵: توزیع دمایی در مسیرهای AB و BC برای حل شماره ۳ ..... ۹۴
شکل۳-۱۶: توزیع دمایی برای حل شماره ۴ در آخرین گام حل(ثانیه ۱۹۲) ..... ۹۶
شکل۳-۱۷: توزیع دمایی در حل شماره ۴ در مسیرهای AB و BC در بحرانی ترین زاویه ..... ۹۸
شکل۳-۱۸:  توزیع دمایی در مسیر DE برای حل شماره ۴ در بحرانی ترین زاویه ..... ۹۸
شکل۳-۱۹: دماهای گره های مسیرهای AB و BC درحل شماره ۵ ..... ۱۰۰
شکل۳-۲۰: دماهای گره های مسیر EF در حل شماره پنج در بحرانی ترین زاویه ..... ۱۰۱
شکل۳-۲۱: دماهای گره های مسیرهای AB و  BC در بحرانی ترین مسیر برای حل شماره ۶ ..... ۱۰۲
شکل۳-۲۲: دماهای گره های مسیر EF در بحرانی ترین زاویه برای حل شماره ۶ ..... ۱۰۳
شکل ۳-۲۴: توزیع دماهای گره های مسیرهای  AB و BC در حل شماره ۷ ..... ۱۰۵

شکل۳-۲۵: توزیع دماهای گره های مختلف در مسیر EF برای حل شماره ۷ در بحرانی ترین زاویه ..... ۱۰۶
شکل ۳-۲۶: تاثیر شار حرارتی ورودی در دماهای بحرانی ..... ۱۱۰
شکل ۳-۲۷: تاثیر سرعت جوشکاری در دمای بحرانی در ضخامت های مختلف ..... ۱۱۲
شکل ۳-۲۸: تاثیر ضریب همرفت در دمای بحرانی ..... ۱۱۳
شکل ۳-۲۹: تاثیر ضریب هدایت لوله در دماهای بحرانی ..... ۱۱۴
شکل ۳-۳۰: تاثیر ظرفیت گرمایی در دمای نقاط بحرانی ..... ۱۱۵
شکل ۳-۳۱: محاسبه دمای بحرانی به صورت ضرب عوامل موثر در هم ..... ۱۱۶
شکل۳-۳۲: محل قرارگیری گره های بحرانی ..... ۱۲۱
شکل ۳-۳۳: نمودار همگرایی و تعداد تکرارها ..... ۱۲۴
شکل ۳-۳۴: تاریخچه خطا در شبکه آموزش داده شده ..... ۱۲۵
شکل۳-۳۵-الف: ضریب همبستگی در الگوریتم LM در بهترین حالت برای داده های اعتبارسنجی ..... ۱۲۶
شکل۳-۳۵-ب: ضریب همبستگی در الگوریتم LM در بهترین حالت برای داده های آموزش ..... ۱۲۶
شکل۳-۳۵-ج: ضریب همبستگی در الگوریتم LM در بهترین حالت ..... ۱۲۷
شکل۳-۳۵-د: ضریب همبستگی در الگوریتم LM در بهترین حالت برای داده های تست ..... ۱۲۷
شکل۳-۳۶: مقایسه جوابهای حاصل از روش المان محدود و شبکه عصبی آموزش دیده برای گرماهای ورودی مختلف... ۱۲۹
شکل ۳-۳۷: مقایسه جوابهای حاصل از روش المان محدود و شبکه عصبی آموزش دیده برای سرعتهای مختلف جوشکاری ..... ۱۳۰
شکل ۳-۳۸: مقایسه جوابهای حاصل از روش المان محدود و شبکه عصبی آموزش دیده برای ضریب همرفت های مختلف ..... ۱۳۱
شکل ۳-۳۹: مقایسه جواب های حاصل از روش المان محدود و شبکه عصبی آموزش دیده برای مقادیر مختلف هدایت حرارتی لوله ها ..... ۱۳۲
شکل ۳-۴۰: مقایسه جواب های حاصل از روش المان محدود و شبکه عصبی آموزش دیده برای مقادیر مختلف ظرفیت گرمایی ویژه لوله ها ..... ۱۳۲
شکل ۳-۴۱: حداقل ضخامت مورد نیاز برای فولاد ۳۰۴ و دماهای گره های مختلف ..... ۱۳۳
شکل ۳-۴۲: حداقل ضخامت مورد نیاز برای فولاد ۳۱۶ و دماهای گره های مختلف ..... ۱۳۴
شکل ۳-۴۳: حداقل ضخامت مورد نیاز برای فولاد 2 ¼ CR-1 Mo و دماهای گره های مختلف ..... ۱۳۵

# فهرست جداول

**جدول** **صفحه**


جدول۱- مسافتی که می توان یک تن مواد نفتی را با هزینه ی ۱ دلار حمل کرد ۲

جدول ۲-۱- ضریب سخت شوندگی متغیر با دمای فولاد AISI 316 ۲۱

جدول ۲-۲- خواص مکانیکی و حرارتی متغیر با دمای فولاد ضد زنگ 304 ۲۲

جدول ۲-۳- خواص مکانیکی و حرارتی متغیر با دمای فولاد ضد زنگ ۳۱۶ ۲۲

جدول ۲-۳- خواص مکانیکی و حرارتی متغیر با دمای فولاد $2^{1}/_{4}$ Cr 1Mo ۲۳

جدول۳-۱-ضرایب معادله گلداک ۸۲

جدول۳-۲- مقادیر ورودی برای حل شماره ۱ ۸۳

جدول۳-۳- ابعاد متغیر المان ها برای حل مستقل از اندازه المان ها ۸۶

جدول۳-۳- بررسی صحت مدل سازی با استفاده از مقایسه حل به روش اجزای محدود و نتایج آزمایشگاهی ۸۷

جدول۳-۴- مقادیر ورودی برای حل شماره ۲ ۹۱

جدول۳-۵- دماهای نقاط بحرانی در آزمایش شماره ۲ ۹۲

جدول۳-۶- مقادیر ورودی برای حل به روش المان محدود در آزمایش شماره ۳ ۹۲

جدول ۳-۷- دماهای گره های بحرانی برای حل شماره ۳ ۹۵

جدول۳-۸- مقادیر ورودی در حل شماره ۴ ۹۶

جدول۳-۹- دماهای گره های بحرانی در حل شماره ۴ ۹۷

جدول۳-۱۰- داده های ورودی برای حل شماره ۵ ۹۹

جدول۳-۱۱- دماهای گره های بحرانی در زاویه های مختلف ۱۰۰

جدول۳-۱۲- مقادیر ورودی برای حل شماره ۶ ۱۰۱

جدول۳-۱۳- دماهای گره های بحرانی در حل شماره ۶ ۱۰۲

جدول۳-۱۴- مقادیر ورودی برای حل شماره ۷ ۱۰۴

جدول۳-۱۵- دماهای نقاط بحرانی در حل شماره ۷ ۱۰۵

جدول۳-۱۶- طراحی آزمایش های مختلف برای بررسی رفتار پارامتر ها ۱۰۷

جدول ۳-۱۷- تاثیر شار حرارتی ورودی در دماهای بحرانی ۱۱۰

جدول ۳-۱۸- تاثیر سرعت جوشکاری..... ۱۱۱
جدول ۳-۱۹- تاثیر ضریب کنوکسیون در فوران لوله های حین سرویس ..... ۱۱۲
جدول ۳-۲۰- تاثیر ضریب هدایت در فوران لوله های حین سرویس ..... ۱۱۴
جدول ۳-۲۱- تاثیر ظرفیت گرمایی ویژه در فوران لوله های حین سرویس ..... ۱۱۵
جدول۳-۲۲- پارامترهای آموزشی بهینه برای شبکه های پرسپترون چند لایه برای پیش بینی دماهای گره های مختلف ..... ۱۲۴
جدول ۳-۲۳- نتایج حاصل از کوپل الگوریتم ژنتیک و شبکه‌ی عصبی ..... ۱۴۰

## مقدمه

جوشکاری یکی از روش های متداول اتصال دائم قطعات فلزی می باشد، که در صنعت بکار گرفته می شود. این تکنولوژی در بسیاری از شاخه های صنعت از جمله نفت، پتروشیمی، ماشین سازی، خودرو سازی، اسکله های دریایی، نیروگاه های تولید برق و صنایع نظامی بطور گسترده مورد استفاده قرار می گیرد. به صراحت می توان اذعان نمود، که مهندسی جوش و جوشکاری نقش بسیار مهمی را در توسعه صنعتی و اقتصادی هر کشوری ایفا می نماید.

خطوط انتقال نفت و گاز بخش مهمی از سازمان انتقال انرژی هستند و برای اقتصاد یک کشور بسیار حیاتی می باشند. قریب به ۷۵٪ منابع انرژی در مناطق دور از بازار مصرف واقع می باشند. لوله ها وشبکه های پرفشار انتقال نفت و گاز اقتصادی ترین و امن ترین راه جهت انتقال منابع انرژی از محل تولید به مصرف کننده ی نهایی است. مطالعه ای در سالهای ۱۹۸۰ نشان داد که خطوط لوله ۴۰ بار ایمن تر از مخازن قابل حمل با قطار و صد بار ایمن تر از مخازن تریلی ها در بزرگراه ها می باشد[۱].

شکل۱: خط انتقال