



T.C.

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**PASLANMAZ ÇELİK ISI DEĞİŞTİRİCİSİ ÜRETİMİNDE  
ORBİTAL VE MANUEL KAYNAK MUAYENESİNİN  
KARŞILAŞTIRILMASI**

**BERFİN ER**

**MAKİNA MÜHEDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**DANIŞMAN**

**Doç. Dr. Memik Taylan DAŞ**

**KIRIKKALE-2023**





T.C.

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**PASLANMAZ ÇELİK ISI DEĞİŞTİRİCİSİ ÜRETİMİNDE  
ORBİTAL VE MANUEL KAYNAK MUAYENESİNİN  
KARŞILAŞTIRILMASI**

**BERFİN ER**

**MAKİNA MÜHEDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**DANIŞMAN**

**Doç. Dr. Memik Taylan DAŞ**

**KIRIKKALE-2023**

BERFİN ER tarafından hazırlanan ‘PASLANMAZ ÇELİK ISI DEĞİŞTİRİCİSİ ÜRETİMİNDE ORBİTAL VE MANUEL KAYNAK MUAYENESİNİN KARŞILAŞTIRILMASI’ adlı tez çalışması, aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Memik Taylan DAŞ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı / Kırıkkale Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Başkan: Prof. Dr. Osman BİCAN

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı / Kırıkkale Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Doç. Dr. Kürşad GÖV

Havacılık ve Uzay Mühendisliği Anabilim Dalı / Gaziantep Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Tez Savunma Tarihi: 11/09/2023

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

Prof. Dr. Recep ÇALIN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## ETİK BEYANI

Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

BERFİN ER

## ÖZET

### PASLANMAZ ÇELİK ISI DEĞİŞTİRİCİSİ ÜRETİMİNDE ORBİTAL VE MANUEL KAYNAK MUAYENESİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi,

Danışman: Doç. Dr. Memik Taylan DAŞ

Eylül 2023, 41 Sayfa

Bu çalışmada, asit soğutucu eşanjörünün tüp-ayna kaynaklarının farklı yöntemlerle üretimi üzerinde araştırma yapılmıştır. Tüpler, S38815 ve 304L malzeme kullanılarak imal edilmiştir. Tüpler, tungsten elektroduyla iki farklı kaynak yöntemine tabii tutulmuştur. İki farklı kaynak yöntemi olan yörünge kaynağı ve el kaynağı, aynı çap ve kalınlıktaki farklı iki malzemede 60 tüpün kaynağında uygulanmıştır. Yörünge kaynağı sürecinde, tüpler özel olarak tasarlanmış bir mandren içine yerleştirilerek, tüp çapına göre otomatik kaynak yapılmıştır. Her tüpün kaynağı tamamlandığında, kaynakçı diğer tüpe geçiş yapmıştır. El kaynağı ise tüp-ayna kaynağının tamamını kaynakçı tarafından manuel olarak gerçekleştirilmiştir. S38815 malzemede, yörünge kaynağı yapılan 15 tüpün hatasız olduğu görülmüşken, el kaynağı yapılan 15 tüpten 3 tanesinin ret sonuç aldığı belirlenmiştir. 304L malzemede ise, yörünge kaynağı yapılan 15 tüpün hatasız olduğu görülmüşken, el kaynağı yapılan 15 tüpten 2 tanesinin ret sonuç aldığı belirlenmiştir. Elde edilen verilere göre, eşanjörlerin tüp kaynaklarının yörünge kaynağı ve el kaynağı ile yapıldığında aralarında farklar bulunduğu ve yörünge kaynağının, kaynak çeşitleri ve NDT incelemeleri dikkate alındığında daha avantajlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. S38815 ve 304L malzeme arasında ise pek bir fark olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Isı eşanjörleri, yörünge kaynak, manuel kaynak

## ABSTRACT

### COMPARISON OF ORBITAL AND MANUAL WELDING FOR MANUFACTURING STAINLESS STEEL HEAT EXCHANGER

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Defense Technology, Master's Thesis

Supervisor: Doç. Dr. Memik Taylan DAŞ

September 2023, 41 Pages

In this study, research has been conducted on the production of tube-sheet welds in an acid cooler heat exchanger using different methods. The tubes were fabricated using S38815 and 304L materials. Two different welding methods, orbital welding and manual welding, were applied to a total of 60 tubes made of these two different materials with the same diameter and thickness. During the orbital welding process, the tubes were placed inside a specially designed mandrel, and automatic welding was performed according to the tube's diameter. Once the welding of each tube was completed, the welder moved on to the next one. On the other hand, manual welding involved the welder performing the entire tube-sheet welding process manually. For the S38815 material, it was observed that out of the 15 tubes welded using the orbital method, all were defect-free, while 3 out of the 15 tubes welded manually were rejected. As for the 304L material, out of the 15 tubes welded using the orbital method, all were defect-free, and only 2 out of the 15 tubes welded manually were rejected. Based on the obtained data, it has been concluded that there are differences between tube-sheet welds produced by orbital welding and manual welding in the heat exchanger. Considering the welding types and non-destructive testing (NDT) evaluations, orbital welding appears to be more advantageous. Furthermore, there doesn't seem to be a significant difference between S38815 and 304L materials in this regard.

**Keywords:** Heat exchanger, orbital welding, manual welding

## TEŞEKKÜR

Tez sürecimde alıőmalarıma katkılarından, desteğinden ve yönlendirmelerinden ötürü tez danışmanım Do. Dr. Memik Taylan Daş'a ve desteklerinden ötürü Dr. Öğr. Üy. Alemdar Ogun'a teşekkürlerimi borç bilirim.

Her an yanımda olan aileme ve arkadaşlarıma destekleri için çok teşekkür ederim.

Ayrıca bu süreçte desteklerini esirgemeyen herkese teşekkür ediyorum.



**BERFİN ER**



# İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
<b>ÖZET</b> .....	<b>IV</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>V</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>VI</b>
<b>İÇİNDEKİLER DİZİNİ</b> .....	<b>VII</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>IX</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	<b>X</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	<b>XI</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. LİTERATÜR TARAMASI</b> .....	<b>2</b>
<b>3. DENEYLE İLGİLİ TEORİK BİLGİLER</b> .....	<b>12</b>
3.1. El ve Yörünge Kaynak Makineleri .....	12
3.1.1. Kaynak Makinaları .....	12
3.1.1.1.El Kaynak Makinaları .....	12
3.1.1.2.Yörünge Kaynak Makinaları .....	13
3.1.1.3.Yörünge ve Manuel Kaynak Makinelerinin Karşılaştırılması .....	13
<b>4. MALZEME BİLGİLERİ</b> .....	<b>15</b>
4.1. S38815 Malzeme Özellikleri .....	15
4.2. 304L Malzeme Özellikleri .....	16
<b>5. KAYNAK DETAYI</b> .....	<b>17</b>
5.1. TIG.....	17
5.2. Kaynak Pozisyonu ve Kaynağın Birleşim Tipi.....	18
5.3.Tungsten Elektrot.....	19
<b>6. DENEY DEĞERLENDİRİLMESİNDE UYGULANAN TESTLER</b> .....	<b>20</b>
6.1.Tahribatsız Testler .....	20
6.1.1. VT (Gözle Muayene) .....	20
6.1.2. RT (Radyografik Muayene) .....	20
6.1.3. PT (Penetrant Testi) .....	21
6.2.Tahribatlı Testler .....	21

6.2.1.Çekme Testi .....	22
6.2.2.Makro Testi .....	23
<b>7. MATERYAL VE METOT .....</b>	<b>24</b>
<b>8. DENEY VE DENEY SONUÇLARI.....</b>	<b>25</b>
8.1.VT Sonuçları (Gözle Muayene).....	25
8.2. RT Sonuçları .....	26
8.3. PT Sonuçları .....	29
8.4. Çekme deneyi sonuçları.....	31
8.5. Makro Test Sonuçları.....	34
<b>9. SONUÇ.....</b>	<b>37</b>



## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>Sayfa</u>
5.1. TIG kaynak donanımı [23].....	17
5.2. Tüp –Ayna kaynak görünümü .....	18
6.1. Penetrant testinin uygulama şekli [26].....	21
6.2. ISO 15614-1:2017 ye göre numune alma bölgeleri, sarı renkli bölgeler çekme numunesi alınan bölgeler [32] .....	22
7.1. Ayna-tüp yerleşimi ve kaynak yapım şekli .....	24
8.1. Tüp-Ayna yörünge kaynağı .....	25
8.2. Tüp-Ayna Manuel kaynağı.....	26
8.3. Çekme testi anında malzeme ve cihazın görünümü.....	32
8.4. Manuel kaynak çekme testi sonucu kopma.....	32
8.5. 304L malzemede manuel ve yörünge kaynak için çekme testi sonucu.....	33
8.6. S38815 yörünge kaynak 1 makro test görüntüsü .....	34
8.7. 304L yörünge kaynak 1 makro test görüntüsü .....	34
8.8. S38815 manuel kaynak 3 makro test görüntüsü .....	35
8.9. 304L manuel kaynak 9 makro test görüntüsü .....	35
8.10. S38815 manuel kaynak 1 makro test görüntüsü .....	36

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>ÇİZELGE</u>	<u>Sayfa</u>
8.1. S38815 yörünge kaynak numune RT sonuçları .....	27
8.2. S38815 el kaynak numune RT sonuçları.....	27
8.3. 304L yörünge kaynak numune RT sonuçları .....	28
8.4. 304L el kaynak numune RT sonuçları.....	28
8.5. S38815 yörünge kaynak numune PT sonuçları.....	29
8.6. S38815 el kaynak numune PT sonuçları.....	30
8.7. 304L yörünge kaynak numune PT sonuçları.....	30
8.8. 304L el kaynak numune PT sonuçları.....	31

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<b>RT</b>	Radyografik Test
<b>VT</b>	Gözle Muayene
<b>PT</b>	Penetrant Testi
<b>HV</b>	Vickers Sertlik Testi (Sertlik Ölçüm Birimi)
<b>TIG</b>	Tungsten Inert Gaz
<b>A-TIG</b>	Aktif Tungsten Inert Gaz
<b>MIG</b>	Metal Inert Gaz
<b>A</b>	Amper
<b>NaCl</b>	Sodyum Klorür
<b>UNS</b>	Birleşik Numaralandırma Sistemi
<b>MAG</b>	Metal Aktif Gaz
<b>mm</b>	Milimetre
<b>MPa</b>	Megapaskal
<b>mm</b>	Milimetre
<b>°C</b>	Santigrat derece
<b>N</b>	Newton
<b>DSS</b>	Dubleks Paslanmaz Çelik
<b>Cr</b>	Krom
<b>Ni</b>	Nikel
<b>Mn</b>	Manganez
<b>C</b>	Karbon

<b>P</b>	Fosfor
<b>S</b>	Kükürt
<b>Si</b>	Silisyum
<b>Fe</b>	Demir
<b>Cu</b>	Bakır
<b>Mo</b>	Molibden
<b>ε</b>	Uzama



# 1. GİRİŞ

Kaynak, çeşitli malzemeleri birleştirmek için kullanılan bir imalat yöntemidir. Çelik yapıların üretiminden, taşımacılık sektöründe kullanılan araçların imalatına kadar, kaynaklı birleştirme yöntemleri genellikle tercih edilir. Bu popülerliğin nedeni, kaynaklı birleştirme işlemlerinin etkinliği ve dayanıklılığıdır. Kaynak teknikleri üzerinde yapılan çalışmalar, bu birleştirme sürecini geliştirmeyi hedeflemiştir [1].

Yörünge kaynak yöntemi, eşanjörlerde sıkça tercih edilen bir kaynak yöntemidir. Bu yöntemde, kaynak başlığı (torç) eşanjörün kaynak hattında çift taraflı olarak döndürülür ve sabit bir hızla ilerletilir. Kaynak başlığı, otomatik olarak kaynak metalini eşanjörün bağlantı noktalarına uygular. Bu yöntem, yüksek kaliteli ve tutarlı kaynak birleşimleri elde etmek için ideal bir seçenektir. Ancak, kalite kontrol ve testlerin doğru bir şekilde uygulanması, kaynak birleşimlerinin gereksinimlere uygunluğunu sağlama açısından büyük bir önem taşır. Kalite kontrol ve testlerin eksiksiz ve dikkatli bir şekilde yapılması, kaynak birleşimlerinin dayanıklılığını ve güvenilirliğini artırır. Bu sayede, eşanjörlerin verimli bir şekilde çalışmasını ve uzun ömürlü olmasını sağlayabiliriz.

Manuel kaynak, bir kaynakçı tarafından kaynak ekipmanı kullanılarak elle gerçekleştirilir. Kaynak operatörünün deneyimi, becerisi ve gözlem yeteneğiyle yürütülen bir süreçtir.

Isı değiştiriciler, bir akışkanın enerjisini başka bir akışkana aktaran cihazlardır. Bu tür cihazlar, endüstriyel süreçlerde ve enerji verimliliği uygulamalarında geniş çapta kullanılır. Ancak, ısı değiştirici tasarımı karmaşık bir süreçtir ve maliyet etkinliği göz önünde bulundurulmadığında tasarım hatalarına veya gereksiz yatırımlara yol açabilir.

Bu tez çalışmasında, ısı değiştiricilerinde kullanılan manuel ve yörünge kaynak yöntemleri ile bu yöntemlerin karşılaştırılması, tahribatlı ve tahribatsız testleri üzerinde durulmuştur.

## 2. LİTERATÜR TARAMASI

Caputo ve arkadaşları, bu çalışmada, ısı değıştirci tasarımında ekonomik optimizasyonun önemini vurgulamaktadır ve maliyet açısından verimli ve performansı yüksek tasarımın nasıl elde edilebileceğini göstermektedir. Bu tür bir yaklaşım, endüstriyel süreçlerin ve enerji sistemlerinin verimliliğini artırmak için kullanılabilir ve tasarım maliyetlerini düşürerek ekonomik avantajlar sağlayabilir [2].

Irfan vd., bir hibrit kabuk ve çift borulu ısı değıştirci için uygun bir tasarım geliştirmişlerdir. Bu tasarım, termal verimlilik ve enerji transferi açısından iyileştirmeleri amaçlamaktadır. Tasarım süreci, akışkan akışı, malzeme seçimi ve geometrik parametrelerin optimize edilmesini içermektedir. Daha sonra, tasarlanan hibrit kabuk ve çift borulu ısı değıştircinin performansı değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme, termal verimlilik, basınç düşümü, ısı transfer katsayısı ve enerji tasarrufu gibi faktörleri içermektedir. Ölçülen veya hesaplanan veriler kullanılarak, ısı değıştircinin performansı nicel olarak analiz edilmiştir. Sonuçlar, hibrit kabuk ve çift borulu ısı değıştircinin, geleneksel tasarımlara kıyasla daha yüksek bir termal verimlilik sağladığını göstermiştir. Ayrıca, enerji tasarrufu potansiyelinin arttığı ve daha düşük basınç düşümüne sahip olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar, hibrit ısı değıştircilerin endüstriyel uygulamalarda kullanılabilirliğini ve performans avantajlarını vurgulamaktadır [3].

Bouchenna ve arkadaşları, toprak malzemelerinin termal özelliklerini araştırmışlardır. Toprak malzemelerinin yüksek ısı depolama kapasitesi, düşük maliyeti ve çevre dostu özelliği gibi avantajları bulunmaktadır. Sonrasında, araştırmacılar, toprak malzemelerinden yapılan bir ısı değıştirci için uygun bir tasarım geliştirmiştir. Bu tasarım, toprak malzemenin en iyi şekilde kullanılmasını, sıcaklık dağılımının iyileştirilmesini ve ısı transfer verimliliğinin artırılmasını hedeflemektedir. Tasarım sürecinde, akışkan kanalların geometrisi, malzeme kalınlığı ve bağlantı noktaları gibi faktörler göz önünde bulundurulmuştur. Aynı zamanda, toprak malzemelerinin dayanıklılığını artırmak için çeşitli takviye teknikleri ve koruyucu kaplamalar da değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, toprak malzemelerine dayalı ısı



değiştiricinin, geleneksel malzemelerle yapılan ısı değiştiricilere göre üstün performans sergilediğini göstermiştir. Bu tasarım, enerji tasarrufu potansiyeli yüksek ve çevresel etkileri azaltıcı özelliklere sahiptir [4].

Öte yandan, Vega ve ekibi, plaka ısı değiştiricilerin işleyişini ve termal performansını incelemiştir. Plaka ısı değiştiriciler, iki akışkan arasında ısı transferini optimize etmek için plakalar arasında düzenlenmiş kanallara sahiptir. Bu cihazların etkin çalışması, doğru sıcaklık ve basınç düzeylerinin korunmasına bağlıdır. Daha sonra, araştırmacılar, plaka ısı değiştiricisini kontrol etmek için gelişmiş bir kontrol sistemi tasarımı önermiştir. Bu kontrol sistemi, sıcaklık, basınç ve akış hızı gibi önemli parametreleri sürekli olarak izleyerek ve düzenleyerek çalışır. Verilere dayanarak, kontrol sistemi, uygun sıcaklık ve akış koşullarını sağlamak için plaka ısı değiştiricisinin çalışma parametrelerini ayarlar. Tasarlanan kontrol sistemi, gelişmiş algoritmalar ve geri bildirim döngüleri kullanarak istenen termal performansı elde etmeyi amaçlamaktadır. Ayrıca, sistem stabilitesini sağlamak ve enerji verimliliğini artırmak için optimizasyon teknikleri de uygulanmaktadır. Elde edilen sonuçlar, gelişmiş kontrol sistemi tasarımının plaka ısı değiştiricilerin performansını artırdığını göstermektedir. Bu tasarımın, daha hassas sıcaklık kontrolü, daha düşük enerji tüketimi ve daha uzun ömür gibi avantajları bulunmaktadır [5].

Junhong ve ekibi, ısı değiştirici tasarımı ve performans analizi için düzeltme faktörü tabanlı bir genel termal direnç formülü geliştirmeyi amaçlamaktadır. Öncelikle, araştırmacılar, mevcut yöntemlerle ısı değiştirici termal dirençlerini hesaplarken kullanılan yöntemleri incelemiştir. Bu yöntemler genellikle basit geometrilere ve ideal akış koşullarına dayanmaktadır ve gerçek dünya uygulamalarında yetersiz kalabilmektedir. Ardından, araştırmacılar, termal direnç formülü oluşturmak için düzeltme faktörlerini kullanmışlardır. Bu düzeltme faktörleri, gerçek dünya koşullarında dikkate alınması gereken faktörleri göz önünde bulundurarak termal dirençleri ayarlamaya yardımcı olur. Bu faktörler arasında akış bozulması, ısı kayıpları, türbülans ve malzeme özellikleri gibi etkenler yer alabilir. Tasarlanan genel termal direnç formülü, çeşitli ısı değiştirici tipleri ve çalışma koşulları için uygulanabilir olup, daha kesin sonuçlar elde etmeyi hedeflemektedir. Formül, ısı transferinin optimize edilmesi, performans analizi ve verimlilik değerlendirmesi gibi alanlarda kullanılabilecek bir araç sağlamaktadır. Sonuçlar, düzeltme faktörü tabanlı genel termal direnç formülünün, ısı değiştirici tasarımı ve performans analizinde daha

doğru sonuçlar sağladığını göstermektedir. Bu formül, endüstriyel uygulamalarda ısı transferinin daha etkin bir şekilde yönetilmesini sağlayabilir [6].

Bu araştırma, dubleks paslanmaz çelik boruların orbital Tungsten Inert Gas (TIG) kaynağı sırasında kullanılan kaynak parametrelerinin, kaynak sonucu birleştirmenin mukavemet ve mikro yapı üzerindeki etkisini incelemektedir [7]. Sonuçlar, sertlik değerleri analiz edildiğinde, tüm numunelerde ana metalin ortalama sertliğinin 226 Vickers sertlik birimi (HV) olduğu, kaynak metalinde ve ısıdan etkilenen bölgelerde ise sırasıyla 230 HV ve 235 HV sertlik değerlerine ulaşıldığı görülmüştür. Tüm numuneler, ısıdan etkilenmiş bölgeden kopmuştur. Ayrıca, tüm numunelerde esas metalin uzama değerlerinin %30'un altında uzama değerleri elde edilmiştir (%3-4) [7].

Long Liu ve arkadaşları bu çalışmada, bir ısı değiştiricisinin tüp-ayna plaka kaynaklı birleşimi üzerinde başarısızlık analizi gerçekteşirmiştir. Elde edilen kanıtlar, tüp-ayna plaka kaynaklı birleşimin yorgunluk nedeniyle başarısız olduğunu göstermektedir. Kırık yüzeyler üzerinde yapılan analiz net bir şekilde yorgunluk-çatlak yayılma izlerini sergilemektedir. Yorgunluk çizgileri, yayılma bölgesinde açıkça gözlemlenmiştir ve bu yorgunluğun mikro belirtileridir. Sonuçlara göre, tüplerin kimyasal bileşimi ve mekanik özelliklerinin 304 paslanmaz çelik için standart gerekliliklere uyduğunu göstermiştir. Testler hem tüpün hem de tüp plakasının mikroyapısının normal olduğunu göstermiştir. Ancak, tüp-ayna plaka kaynaklı birleşimde ciddi kusurlar tespit edilmiştir. Yorgunluk çatladığı, tüp-ayna plaka kaynaklı birleşimdeki kusurlardan kaynaklanmıştır. Periyodik yük, tüpün rezonans titreşiminden veya ısı değiştirici içindeki akışkanın sıcaklık ve basınç değişikliklerinden kaynaklanmış olabilir. Kötü kaynak yapma ve tüp-ayna plaka kaynaklı birleşimdeki uygun olmayan genişletme konumu, başlangıç çatlaklarının oluşumuna yol açmış olabilir. Bu tür tüp-ayna plaka kaynaklı ısı değiştiricilerde birleşimlerin başarısızlık sorunlarını azaltmak için kaynak ve genişletme işlemlerinin kalitesinin artırılması etkili bir yöntem olabilir [8].

Ngo Gia Viet, bu çalışmasında, en yaygın olarak kullanılan elektrotlu inert gaz kaynağı teknolojisini vurgulamıştır. Tüketilen elektrotlu inert gaz kaynağı teknolojisinin temel noktaları ve karbon ile düşük alaşımlı çeliklerden yapılan küçük çaplı boru hatlarının kaynak yöntemi gelişmeleri bu makalede sunulmuş ve düzenlenmiştir. Karbon ve düşük alaşımlı çeliklerin kaynağında, yüksek üretkenlikleri nedeniyle sürekli ve darbe kaynak modları en uygun olanlardır. Gelecekte parlak bir yöntem, nüfuz eden bir ark

ile plazma kaynağıdır, bu da montaj ve kaynak işlemlerinin üretkenliğini önemli ölçüde artırma imkânı sunmaktadır [9].

Pandya ve arkadaşları bu yayında, Aktif – Tungsten İner Gaz (A-TIG) kaynak işleminin değişkenlerini optimize etmek için kullanılan optimizasyon tekniklerini detaylı bir şekilde rapor etmişlerdir. Ayrıca, A-TIG kaynağında kullanılan aktivasyonlu akışların, mikroyapı ve mekanik özellikler üzerindeki etkilerini de analiz etmişlerdir. Bunun yanı sıra, TIG kaynağı alanındaki son gelişmeleri de ele alır. Paslanmaz çelik, havacılık, kimyasal işleme ve taşımacılık gibi farklı endüstrilerde yaygın olarak kullanılan bir malzemedir. Paslanmaz çelikleri birleştirmek için TIG veya A-TIG kaynağı kullanılır. Ancak, kalın parçaların tek bir geçişte birleştirilmesi TIG ile zor olabilir. Bu nedenle, A-TIG, tek bir geçişte kaynak penetrasyonunu önemli ölçüde artırabilmesi nedeniyle araştırmacıların ilgi odağıdır. Araştırma sonuçları, A-TIG kaynağının kaynak penetrasyonunu büyük ölçüde artırdığını ancak kaynak yüzeyinde yüksek miktarda atık biriktirdiğini gösterir. Bu dezavantajı aşmak için yeni A-TIG varyasyonlarının kullanılması önerilir. Bu çalışma, paslanmaz çeliklerin A-TIG kaynağı ile birleştirilmesinin güncel durumunu ayrıntılı olarak incelemeyi amaçlamaktadır. Özetlemek gerekirse, A-TIG kaynağının penetrasyonunu artıran mekanizmalar arasında ters Marangoni etkisi ve arkın sıkışması gibi faktörlerin rol oynadığı belirlenmiştir. Ayrıca, aktivasyonlu akışların kimyasal bileşiminin ve partikül boyutunun kaynak penetrasyonunu etkilediği bulunmuştur. Kaynak akımının artışı penetrasyonu artırırken, kaynak hızı ve ark uzunluğunun artışı penetrasyonun azalmasına neden olmuştur. Bu karmaşık ilişkileri anlamak için çeşitli optimizasyon algoritmaları kullanılarak A-TIG kaynak işlemi parametreleri optimize edilir. Sonuç olarak, A-TIG kaynağı, paslanmaz çeliklerde kaynak penetrasyonunu artırır, ancak kaynak yüzeyinde fazla atık biriktirir, bu sorun ise yeni A-TIG varyasyonları ile aşılabılır [10].

Sharma ve arkadaşları, bu çalışmalarında, TIG kaynağı kullanarak paslanmaz çelik SS202'nin kaynak sertliği ve çekme dayanımı üzerinde etkili olan parametreleri optimize etmeye çalışmıştır. Deneyler için Taguchi deney tasarımı kullanılmış ve sonuçları analiz edilmiştir. Sonuçlar, kaynak sertliği için kaynak akımı ve elektrod çapının en etkili faktörler olduğunu göstermiştir. Daha yüksek çekme dayanımı için, 1.5 mm elektrod çapı, helyum koruma gazı, 15 L/dak gaz akış hızı, 240A kaynak akımı ve 60 derece oluk açısı kullanılmalıdır. Sertlik için ise en iyi sonuçlar, 1.5 mm elektrod

çapı, helyum koruma gazı, 9 L/dak gaz akış hızı, 160A kaynak akımı ve 60 derece oluk açısı ile elde edilmiştir.

Bu uygulama, TIG kaynağıyla kaliteli kaynaklar elde etmek ve üretkenliği artırmak için farklı faktör seviyelerinin nasıl seçilebileceğini araştırmayı amaçlamaktadır [11].

Paslanmaz çelikler, enerji santralleri, basınçlı kaplar ve otomobil parçaları gibi birçok alanda kullanılır. Bu malzemenin avantajları arasında mükemmel kırılma dayanıklılığı, iyi korozyon direnci ve sonrasında işlem gerektirmemesi bulunur. Kaynak yaparken ısı etkilenmiş bölgeyi azaltmak önemlidir. TIG kaynağı, yüksek kaliteli kaynaklar yapabilen bir yöntemdir ve farklı metaller ve kalınlıklarla kullanılabilir. Tukaram ve arkadaşlarının yürüttüğü bu çalışma, kaynak işlem parametrelerini (akım, kaynak hızı, gaz akış hızı) optimize etmeyi amaçlamaktadır. Optimal parametreleri belirlemek için Taguchi yöntemi kullanılmıştır. Çalışma, giriş akımı ve kaynak hızının en önemli faktörler olduğunu göstermiştir. Sonuçlar, farklı kaynak özelliklerini belirlemek için gerilme ve eğilme testleri ile doğrulanmıştır. Bu çalışma, 304 paslanmaz çelik malzemenin 8 mm kalınlığındaki levhalarının kaynağının optimize edilmesini sunmaktadır [12].

Wang ve arkadaşlarının yürüttüğü bu yayında, farklı malzemelerden oluşan kaynak birleşiklerinin kalitesini elde etmek için Metal Inert Gaz (MIG) kaynağı ve TIG kaynağı süreçleri karşılaştırılmıştır. Farklı kaynak bölgelerindeki kimyasal bileşimler enerji dağılımlı spektroskopi ile tespit edilmiş, mekanik özellikler mikrosertlik testi, çekme testi ve darbe testi ile ölçülmüş ve korozyon davranışı polarizasyon eğrileri ile değerlendirilmiştir. MIG kaynağıyla üretilen birleşiklerin mekanik performansı ve korozyon direnci, TIG kaynağına göre daha iyidir. MIG kaynağı, Birleşik Numaralandırma Sistemi (UNS) S31803 dupleks paslanmaz çelik ile düşük alaşımlı çelik arasındaki farklı malzemelerin birleştirilmesi için uygun bir kaynak sürecidir. MIG kaynağı, TIG kaynağına göre daha fazla östenit içerir ve bu, mekanik özellikler ve korozyon direncine katkı sağlar. X70 çelik ve kaynak metalinin farklı potansiyelleri, galvanik korozyona neden olarak X70 çelikte ciddi korozyona yol açar. Bu, X70 baz metalinin endüstriyel hizmette zayıf olduğunu göstermektedir. MIG kaynağı, 3.5% NaCl çözeltisinde daha yüksek dirence sahip olduğu için deniz suyuna karşı dayanıklıdır [13].

Anand Rao ve arkadaşının yürüttüğü bu uygulama, benzer paslanmaz çelik sınıflarını TIG kaynağıyla birleştirmeyi analiz etmeyi ve optimize etmeyi amaçlamaktadır. Çalışmada değişkenler akım, doldurma malzemeleri ve kaynak hızıdır. 310 östenit paslanmaz çelik kaynaklarının mekanik özellikleri ve mikroyapısı, farklı sınıflarda paslanmaz çelik doldurma malzemeleri kullanarak incelenmiştir. 120 Amper (120A) akım ve 309L doldurma çubuğu ile daha yüksek çekme dayanımı elde edilmiştir. Deneyler, hata minimumda tutulacak şekilde hassasiyetle gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, bazı kontrolsüz koşullar nedeniyle sapmalara açıktır. Bükme testinde, 120A akım ve 316L elektrot ile kaynak en yüksek bükme dayanımını üretmiştir. 309L doldurma malzemesi, çekme ve bükme dayanımını artırmıştır. Ultrasonik test sonuçları, penetrasyon kusurlarını göstermiştir, ancak genel olarak kusurların etkisinin sınırlı olduğunu göstermektedir. Mikroyapı görüntüleri, 309L doldurma malzemesinin ikinci faz oluşumuna neden olduğunu göstermektedir [14].

Bu makale, paslanmaz çeliklerin A-TIG kaynağı ile kaynağını yaparken aktifleştirme akısı ve koruyucu gazın etkisini sunmaktadır. Deneyler, 7 mm kalınlığında dubleks paslanmaz çeliklerin geçiş kaynağının kaynağıyla gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, krom (Cr), nikel (Ni) ve manganez (Mn) gibi kritik hammaddeleri içeren doldurma malzemesi eklemeyi gerektirmeyen bu tür paslanmaz çeliklerin kaynağının, belirli kaynak parametreleriyle yapılabilir olduğunu doğrulamıştır. A-TIG kaynatma, geleneksel TIG kaynatmaya göre daha dar ve derin kaynaklar üretmektedir. Kullanılan koruyucu gazların, üretilen kaynakların geometrik özellikleri üzerinde küçük bir etkisi vardır. Karışık koruyucu gaz kullanımı, korozyona karşı daha fazla dayanıklılığa yol açmaktadır. A-TIG kaynatma, dubleks paslanmaz çeliklerin geçiş kaynağını kaynatmak için uygundur [15].

Bu yayın, ısı değiştiricilerindeki tüp-ayna birleşimlerinin kaynağının geleneksel yörünge TIG sürecinden daha hızlı ve maliyet etkili hale getirilmesini amaçlayan bir lazer kaynak teknolojisi hakkında bilgi sunmaktadır. Ancak, lazer kaynak sürecindeki konumlandırma hassasiyeti gereksinimi, gerçek birleşimden sapmaların nüfuz eksikliğine neden olabileceği bir dezavantajdır. Avrupa projesi kapsamında geliştirilen bir yörünge lazer kaynak başlığı, bu sorunu çözmeyi hedeflemektedir. Prototip lazer kaynak başlığı, ısı değiştiricilerinin üretiminde kullanılan tüp-ayna birleşimleri için özel gereksinimlere uyacak şekilde geliştirilmiştir.

Yörünge kaynak sistemi, lazer ışığının birleşim üzerinde yüksek hassasiyetle dairesel hareketini gerçekleştirebilmekte, yüksek hızlara ulaşabilmekte ve gerçek zamanlı kontrol sağlayabilmektedir. Bu başlık kaynağı, kaynak sırasında iş parçasına sabitlenir ve bu nedenle robotun beklenmedik hareketlerinden veya titreşimlerinden bağımsızdır. Ayrıca sistem, kaynak parametrelerini seçmek ve işlem sırasında sistem durumunu kontrol etmek için bir kontrol yazılımı ve grafik kullanıcı arayüzü içermektedir. İlk denemeler, nikel alaşımları ve östenit paslanmaz çelikten yapılan iki birleşim için yapılmıştır ve sonuçlar oldukça olumlu olmuştur. Her iki durumda da kusursuz ve hata içermeyen kaynaklar elde edilmiştir. Bu başlık, lazer kaynağın tüp-ayna birleşimlerini bir araya getirmek için kullanılabilir olduğunu göstermiştir. Orbital lazer kaynak başlığı geliştirilmesinin ısı değiştiricileri üretim endüstrisi için, üretkenliği artırma, yörünge TIG kaynağa göre kaynak döngü süresini 10 kat azaltma, düşük ısı girişi ve azaltılmış çarpıklıklar, tam otomatik süreç, dar ve derin penetrasyon, yüksek kaliteli birleşimler gibi iyileştirmeleri getirmesi beklenmektedir [16].

Karlsson bu çalışmada, dubleks paslanmaz çeliklerin kaynaklanması konusundaki en son teknolojileri tartışmaktadır. Bir çelik, çok fazla kısıtlama olmadan başarılı bir şekilde kaynatılabiliyorsa, geniş kabul görür ve yaygın olarak kullanılır hale gelebilir. Çağdaş dubleks paslanmaz çelik sınıfları, bu gereksinimleri karşılayacak şekilde tasarlanmıştır, ancak sınıfın belirli özelliklerine bağlı olarak farklılıklar gösterebilir. Son on yılda, dubleks paslanmaz çelik ailesi yeni düşük karbonlu sınıflar ve daha yakın zamanda yüksek alaşımlı hiperdupleks sınıflarla genişletilmiştir. Sonuç olarak, genel kaynak önerileri konusunda fikir birliği vardır, ancak özellikle yeni çelik sınıfları için uygulama farklılıklarını yansıtan varyasyonlar bulunmaktadır. Bazı yeni sınıflar için izin verilen enerji girişlerinin sınırları daha az belgelenmiştir. Kaynakla ilgili sorunlar genellikle ısının çok düşük veya aşırı yüksek olduğu, seyreltilmenin çok yüksek olduğu veya kaynak havuzundan çok fazla azotun kaybolduğu durumlarda karşılaşılmaktadır. Özellikle lokalize korozyona karşı direnç ve darbe dayanıklılığı etkilenmektedir [17].

Dubleks paslanmaz çelikler (DSS), ferrit ve austenit tanelerinin benzersiz yapısal kombinasyonu nedeniyle birçok avantaja sahiptir. Bu malzemelerin yapısal değişimi kaynak sırasında çok karmaşıktır ve işlevsel özellikleri bozar. Bu araştırma, literatürde mevcut olan araştırmaları göz önüne alarak lazer ışını, direnç, TIG, sürtünme

karıştırma, daldırma ark ve plazma ark kaynak gibi farklı kaynak işlemlerini incelemektedir.

Her kaynak işlemi için kaynak mekanizması, malzeme yapısının değişimi ve kontrol parametreleri analiz edilmiştir. Bu analiz, dubleks paslanmaz çeliğin neredeyse tüm kaynak işlemlerinde eridiğini, ancak termal döngü ve maksimum ısı girişinin farklı olduğunu açıkça göstermektedir. Bu fark, kaynağın sonuçta elde edilen yapısını ve işlevsel özelliklerini önemli ölçüde etkiler [18].

Bu uygulamanın amacı, TIG kaynağında kullanılan özel akışların yüzey görünümü, kaynak morfolojisi, açısız bozulma, mekanik özellikler ve mikroyapılar üzerindeki etkilerini incelemektir. Bu çalışma, oksit tozları kullanarak otomatik olmayan TIG kaynağının yeni bir varyantını uygulamaktadır ve bu işlemle 6 mm kalınlığında dubleks paslanmaz çelik kaynağı gerçekleştirilmektedir. Deney sonuçları, TIG kaynaklarının penetrasyon yeteneğinde önemli bir artışa neden olduğunu göstermektedir. Aktive edilmiş TIG işlemi, eklem penetrasyonunu ve kaynak derinlik-genişlik oranını artırabilir ve 2205 paslanmaz çelik kaynaklarının açısız bozulmasını azaltmaya eğilimlidir. Kaynaklanmış bağlantı ayrıca daha yüksek mekanik dayanıklılık sergilemiştir. Bu sonuçlar, plazma sütunu ve anot kökünün, aktive TIG kaynaklarının morfolojisini belirleme mekanizması olduğunu göstermektedir [19].

Paslanmaz çelik kaynaklarının mekanik ve korozyon özellikleri büyük ölçüde mikroyapısına bağlıdır. Genellikle kaynakların mikroyapısı uygun dolgu metali seçimi ile kontrol edilmektedir. Mikroyapı ayrıca kaynak parametreleri tarafından da etkilenebilir. Bu özellikle lazer kaynak için geçerlidir. Lazer kaynak parametreleri nispeten hassas bir şekilde kontrol edilebilir ve geniş bir şekilde değiştirilebilmekte ve bu nedenle kaynak ısı girişi de bunlar aracılığıyla ayarlanabilmektedir. Soğutma hızı, istenen mikroyapının elde edilmesi için kaynak parametrelerinin kontrolü ile ayarlanmaktadır. Fiber lazer kaynağını iyi bir kaynak aracı yapan bazı önemli özellikleri vardır. İyi bir ışın kalitesine sahiptir ve küçük bir ışın odak çapına sahiptir, bu da küçük fiber çapından kaynaklanmaktadır. İyi ışın özelliklerini yüksek emilimle birleştirerek, sadece kaynak parametrelerini ayarlayarak iletken lazer kaynağına geçmek mümkün olur. Ayrıca fiber lazerin bu anahtar özellikleri, sadece kaynak parametrelerini ayarlayarak kaynak ısı girişini düzenlemeyi mümkün kılmaktadır. Lazer kaynağının ısı girişi, temelde üç farklı faktörden etkilenmektedir: emilim, lazer

gücü ve kaynak hızı. Bunlar arasında emilim, lazer ışığının dalga boyuna ve kaynaklanan malzemeye bağlı olduğu için etkilemek zor olan bir faktördür.

Bu arada, lazer gücünü veya kaynak hızını düzenleyerek kaynak ısı girişi kolayca etkilenebilir. Kaynak hızı arttıkça ısı girişi azalırken, lazer gücünü artırmak ise ısıyı artırmaktadır [20].

**Çizelge 2.1.** Paslanmaz çelikler için literatür karşılaştırma çizelgesi

Referans	Paslanmaz çeliklerde kaynak tipleri	Malzeme	Elektrot
[7]	TIG kaynağının mukavemet ve mikro yapıya etkisi	Dubleks paslanmaz çelik	Tungsten elektrot
[11]	TIG kaynağının paslanmaz çeliklerde sertlik ve çekme dayanımına etkisi	SS202 Paslanmaz çelik	Tungsten elektrot
[12]	TIG kaynağında Taguchi yöntemi	304 Paslanmaz çelik	Tungsten elektrot
[13]	MIG ve TIG kaynaklarının karşılaştırılması	X70 çelik	Tungsten elektrot
[15]	TIG ve A-TIG kaynaklarının karşılaştırılması	Dubleks paslanmaz çelik	Tungsten elektrot
[19]	TIG kaynak morfolojisi	2205 Dubleks paslanmaz çelik	Tungsten elektrot

Çizelge 2.1’de literatür incelemesi yapılan araştırmaların, paslanmaz çeliklerin kaynak tipleri, malzemesi ve hangi elektrotla yapıldığının karşılaştırılması yapılmıştır.



**Çizelge 2.2.** Isı değiştiriciler için literatür karşılaştırma çizelgesi

Referans	Isı değiştiricilerin incelenmesi	Isı değiştirici tipi	Analiz	Deneysel
[2]	Ekonomik optimizasyon	Gövde-boru ısı değiştirici	X	X
[3]	Hibrit kabuk ve çift borulu ısı değiştirici tasarımı	Çift borulu ısı değiştirici	X	X
[5]	Plakalı ısı değiştiricilerin incelenmesi	Plakalı ısı değiştirici	X	X

Çizelge 2.2’de ısı değiştiricilerin literatür incelemesi sonucu, hangi malzemelerin ve ısı değiştirici tiplerinin kullanıldığı karşılaştırılmıştır.

### **3. DENEYLE İLGİLİ TEORİK BİLGİLER**

Bu kısımda kaynak makinaları hakkında teorik bilgiler verilmiştir.

#### **3.1. El ve Yörünge Kaynak Makineleri**

Kaynak makinaları, el ve yörünge kaynak makinaları olarak iki başlıkta incelenmiş ve karşılaştırılması yapılmıştır.

##### **3.1.1. Kaynak Makinaları**

Kaynak, metal parçaları bir araya getirmek veya birleştirmek için kullanılan bir cihazdır. Kaynak işlemi, iki veya daha fazla parçayı kalıcı bir bağlantı oluşturmak için birleştirmek için kullanılan bir yöntemdir. Bu bağlantı genellikle eritilmiş metal veya başka bir dolgu maddesi kullanılarak yapılır. Kaliteli bir kaynak dikişi için, dikiş süresince sabit güç, yani sabit akım ve gerilim değerlerinde stabil olarak yanabilen bir arkın varlığı önemlidir. Sabit güçle stabil bir ark elde etmek için, kaynak makinasının ve kaynak arkının uyumlu bir şekilde çalışması gereklidir. Kaynak işleminde, kaynak makinası ve kaynak arkı ortak bir elektrik devresinde bulunurlar ve birlikte çalışırlar. Bu işlemde, en önemli fonksiyonlardan biri olan kaynak makinasının karakteri kritiktir. Kaynak makinasının, diğer bir deyişle cihazın hem statik hem de dinamik bir karakteri ve davranışı vardır. Kaynak işleminde, kaynak hatası genellikle kaynak makinasının dinamik çalışma durumunda ortaya çıkar, yani kaynak arkının sürekli olmadığı anlarda. Örneğin arkın ateşlenmesinde, kaynak dikişinin tamamlandığı anlarda ve damla geçişi sırasındaki kısa devre durumlarında kaynak hatası meydana gelebilir [21].

##### **3.1.1.1. El Kaynak Makinaları**

Bu tip cihazlar, teknolojik olarak daha basit olmaları ve şebeke gerilimindeki değişikliklere daha az duyarlı olmaları gibi avantajların yanı sıra, ağır yapıya sahip olmaları, sınırlı tipte elektrotla çalışabilmeleri ve akım ayarlarının yeterince hassas olmaması gibi olumsuz yönler içerir. Bu tür cihazlar, doğru akımla çalışanlar "kaynak

jeneratörleri" ve "kaynak redresörleri" olarak adlandırılırken, alternatif akımla çalışanlar "kaynak transformatörü" olarak adlandırılır [21].

### **3.1.1.2. Yörünge Kaynak Makinaları**

Hassas ve tekrarlanabilir kaynak işlemleri için özel olarak tasarlanmış bir tür kaynak makinesidir. Bu makineler, parçaların birleştirilmesi sürecinde, kaynak başının belirli bir yol boyunca düzenli bir şekilde hareket etmesini sağlayarak yörünge hareketi kullanır. Kaynak işlemi sırasında dairesel bir yol çizerek gerçekleştirilir.

- Yörünge kaynak makinalarının temel özellikleri:

Yörünge kaynak makinaları, yüksek hassasiyet ve kalite gerektiren uygulamalarda oldukça yaygın olarak kullanılır. Özellikle boru hatları, tüp montajı ve benzeri alanlarda tercih edilir. Bu makineler, sürekli kaynak hatları veya noktasal kaynaklar oluşturmak için kullanılabilir.

Yörünge kaynak makinaları, çeşitli kaynak yöntemleriyle kullanılabilir, örneğin TIG kaynağı veya MIG kaynağı gibi. TIG kaynağı, yüksek kaliteli ve temiz kaynak sonuçları sağlamak için sıklıkla tercih edilen bir yöntemdir. Ayrıca, bu makineler otomatik olarak kontrol edilen kaynak parametrelerine sahiptir, bu da tekrarlanabilirlik ve tutarlılık sağlar [22].

### **3.1.1.3. Yörünge ve Manuel Kaynak Makinelerinin Karşılaştırılması**

- Yörünge kaynak makinası, programlanabilir kontrol sistemleri sayesinde yüksek hassasiyetle kaynak yapabilme yeteneğine sahiptir. El kaynak makinasında ise hassasiyet, operatörün yeteneğine ve deneyimine bağlıdır.
- Yörünge kaynak makinası, aynı kaynak işlemini tekrar tekrar uygulayabilir ve sürekli bir kalite sağlayabilir. El kaynak makinasında ise her kaynak işlemi operatörün yeteneğine ve dikkatine bağlıdır.
- Yörünge kaynak makinası, otomatik olarak çalışabilen ve operatör müdahalesini minimuma indiren makinelerdir. El kaynak makinası ise operatörün sürekli müdahalesini gerektirir.
- Yörünge kaynak makinaları, sürekli kaynak işlemlerini gerçekleştirme yeteneği sayesinde daha yüksek verimlilik sağlar. El kaynak makinalarında ise sürekli operatör müdahalesi gerektiği için verimlilik daha düşük olabilir.

- El kaynak makinası, operatörün deneyim ve becerisine dayalı olarak farklı kaynak işlemlerini gerçekleştirebilme esnekliğine sahiptir. Yörünge kaynak makinası ise belirli bir program dahilinde çalışır ve daha spesifik uygulamalar için tercih edilir.
- Yörünge kaynak makinaları, genellikle daha yüksek yatırım maliyetine sahiptir. El kaynak makinaları ise daha düşük maliyetli olabilir.
- Yörünge kaynak makinası, operatörün müdahalesini minimuma indiren otomatik bir işleyişe sahiptir. El kaynak makinasında ise operatörün yetenek ve deneyimi önemlidir ve işlemi yönetir. Bu nedenle kalite sürekli değişebilir.
- Yörünge kaynak makineleri, kaynak parametrelerini hassas bir şekilde kontrol edebilir ve kalite kontrolü sağlayabilir. Bu, yüksek kaliteli ve tutarlı kaynak sonuçlarını garanti altına alır [28].



## 4. MALZEME BİLGİLERİ

Bu kısımda S38815 ve 304L malzemelerinin özellikleri hakkında bilgi verilmiştir.

### 4.1. S38815 Malzeme Özellikleri

Yüksek sıcaklıkta yoğun sülfürik asitte mükemmel korozyon direncine sahiptir ve oyuk korozyona, girintili korozyona ve gerilme korozyon çatlamasına karşı direnç özelliklerine sahiptir. Ayrıca, yüksek silikonlu paslanmaz çeliklerin kırılğan silisyum-zengin fazı ve zayıf sıcak işlenebilirlik gibi eksikliklerini aşar ve iyi plastik deformasyon performansına sahiptir [28].

Çizelge 4-1. S38815 malzeme kimyasal bileşimi [29]

Grade	FE%	SI%	MN%	CR%	CU%	NI%	P%	C%	S%	MO%	N%
UNS 38815	56.16- 65.1	5.5- 6.5	<2	13- 15	0.5- 1.5	15- 17	<0.04	<0.03	<0.02	0.75- 1.5	0.15- 0.25

Çizelge 4.1'de S38815 malzemenin kimyasal bileşimi, malzeme ve oranlarıyla verilmiştir.

Çizelge 4-2. S38815 akma dayanımı, çekme dayanımı ve izin verilebilir gerilme değerleri [33]

Grade	Akma Dayanımı	Çekme Dayanımı	İzin verilebilir gerilme
UNS38815	255 Mpa	540 Mpa	154 Mpa

Çizelge 4.2’de S38815 malzemenin akma ve çekme dayanımları ile izin verilen gerilme değerleri verilmiştir.

## 4.2. 304L Malzeme Özellikleri

304L çelik, asitlere karşı mükemmel bir korozyon direnci gösterir. Bu çelik, sülfürik asit, fosforik asit, asetik asit, hidroklorik asit ve hatta klorürlü ortamlar gibi asitlere dayanabilmektedir. Nedeni, 304L çeliğin içerisindeki krom elementinin oksit tabakası oluşturarak korozyona karşı bir bariyer oluşturmasıdır.

Çizelge 4-3. 304L malzeme kimyasal bileşimi [31]

Grade	C%	MN%	P%	S%	SI%	CR%	NI%
304L	0.03	2	0.045	0.03	0.75	18-20	8-10

Çizelge 4.3’de 304L malzemenin kimyasal bileşimi, malzeme ve oranlarıyla verilmiştir.

Çizelge 4-4. 304L akma dayanımı, çekme dayanımı ve izin verilebilir gerilme değerleri [33]

Grade	Akma Dayanımı	Çekme Dayanımı	İzin verilebilir gerilme
304L	170 Mpa	485 Mpa	115 Mpa

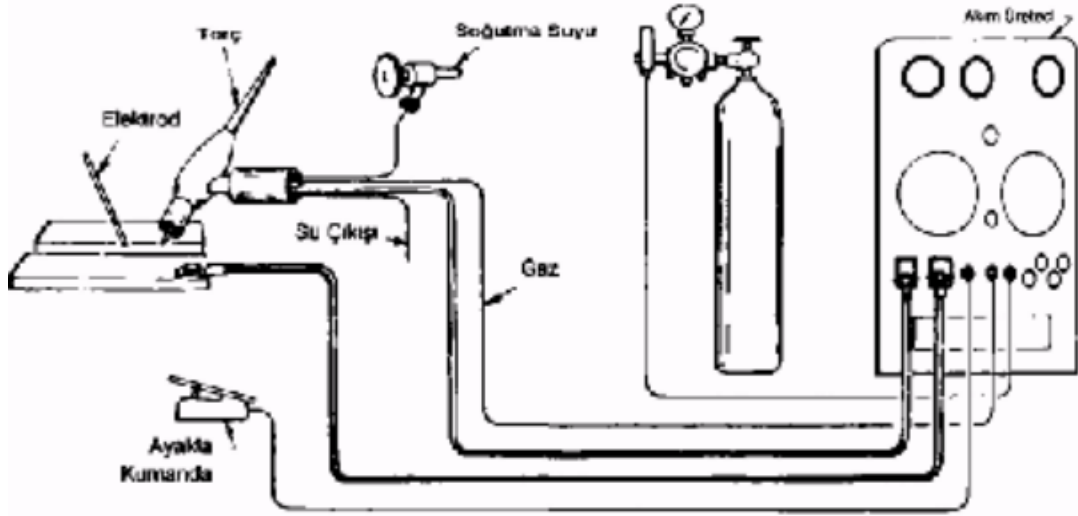
Çizelge 4.4’de 304L malzemenin akma ve çekme dayanımları ile izin verilen gerilme değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.4 karşılaştırıldığında, S38815 malzemenin 304L malzemeye göre dayanımının daha yüksek olduğu ortaya çıkmıştır.

## 5. KAYNAK DETAYI

### 5.1. TIG

TIG yöntemi, "Tungsten Inert Gas" kelimelerinin baş harflerinin kısaltılmasıyla TIG sembolü ile ifade edilir. TIG (argon) kaynağı sırasında kullanılan elektrotlar, kendileri erimeden, kaynak yapılan malzemeyi ertiterek birleştirme sağlamaktadır. TIG kaynağında tungsten elektrot ve iş parçası arasında bir ark oluşturulur ve bu ark, helyum ya da argon gazı atmosferi ile korunur. Gerektiğinde, kaynakçı tarafından veya otomatik tel sürme aparatlarıyla kaynak bölgesine ilave kaynak çubukları kullanılabilir [23].



Şekil 5.1. TIG kaynak donanımı [23]

Metal Aktif Gaz (MAG) kaynağı, yapı çeliklerinin birleştirilmesinde kullanılan bir kaynak yöntemidir. Kaynak dikişinin nitelikleri, kaynak teline olan kalite, karbondioksit gazının saflık düzeyine ve kaynak anındaki miktarına bağlı olarak değişir. MAG kaynağında, ters kutuplama ile doğru akım ve kullanılmaktadır. Kaynak yapmak için yatay karakteristikli kaynak makinaları kullanılır. Erime gücü, akım şiddeti ile bağlantılıdır. MAG kaynağı yapımında kısa ark boyu tercih edilir, bu değer

genellikle 1-2 mm arasındadır. Kaynak torcu, olabildiğince parça ile dik bir açıda tutulmalıdır.

Ark boyu büyük tutulursa, dikiş içine hava girebilir ve dikiş gözenekli olabilir. Kaynak işlemi otomatik olarak veya el ile yapılabilir. El ile yapılan kaynak işleminde, farklı pozisyonlarda kaynak yapmak mümkündür. Otomatik MAG kaynaklarında, derin nüfuz eden ve düzenli görünümlü dikişler elde edilir [23].

## 5.2. Kaynak Pozisyonu ve Kaynağın Birleşim Tipi

Alın kaynağı, kaynak bağlantılarının en basit ve esnek türlerinden biridir. Bu tür bağlantıda, iki metal parça uçtan uca yerleştirilir ve ardından bağlantı boyunca kaynak yapılır. Önemli olan, alın kaynağında birleştirilen parçaların yüzeylerinin aynı düzlemde olması ve kaynak metalinin bu düzlemde kalarak birleştirmeyi sağlamasıdır [24].



Şekil 5.2. Tüp –Ayna kaynak görünümü



### 5.3. Tungsten Elektrot

Kaynak Elektrotları, kaynak işleminde gerekli akımı taşıyarak iş parçası üzerinde kaynak işlemini gerçekleştiren özel elektrotlardır. Bu elektrotlar, koruyucu gaz atmosferi altında yapılan kaynaklarda kullanılırlar. Örneğin, TIG (argon ark) ve ark atom kaynakları gibi.

TIG kaynağında, çeşitli malzemelere göre alaşımsız ve düşük alaşımlı çelikler, paslanmaz çelikler, alüminyum gibi farklı malzemeler için kullanılabilir. Yenilikçi elektrot türleri, saf tungsten elektrotların yerini toryum ve zirkonyumla alaşımlı elektrotların almasıyla ortaya çıkmıştır. Bu alaşımlı elektrotlar, daha yüksek akım taşıma kapasitesine sahiptir ve daha uzun ömürlüdür. Aynı zamanda yüksek elektron emisyonlarına da olanak tanır. Elektrotların alaşım bileşimi, toryum %0,35 ile 2,2 arasında, zirkonyum ise %0,15 ile 0,40 arasında değişen oranlarda kullanılır [23].

## 6. DENEY DEĞERLENDİRİLMESİNDE UYGULANAN TESTLER

Deney değerlendirmesi için tahribatsız ve tahribatlı testler uygulanmış ve sonuçları irdelenmiştir.

### 6.1. Tahribatsız Testler

Numunelere VT (gözle muayene), RT (radyografik muayene) ve PT (Penetrant testi) uygulanmıştır.

#### 6.1.1. VT (Gözle Muayene)

Görsel Muayene, yüzeylerindeki çatlaklar, gözenekler ve diğer süreksizliklerin çıplak gözle veya optik yardımcı araç ve gereçler kullanılarak tespit edilmesini içeren bir tahribatsız muayene yöntemidir. Korozyon, kirlilik, imalat hataları, kaynaklı imalat ve diğer muayene parçaları üzerinde de uygulanabilir. Görsel Muayene, diğer tahribatsız muayene metotlarına başvurulmadan önce yaygın olarak kullanılan bir metottur.

#### 6.1.2. RT (Radyografik Muayene)

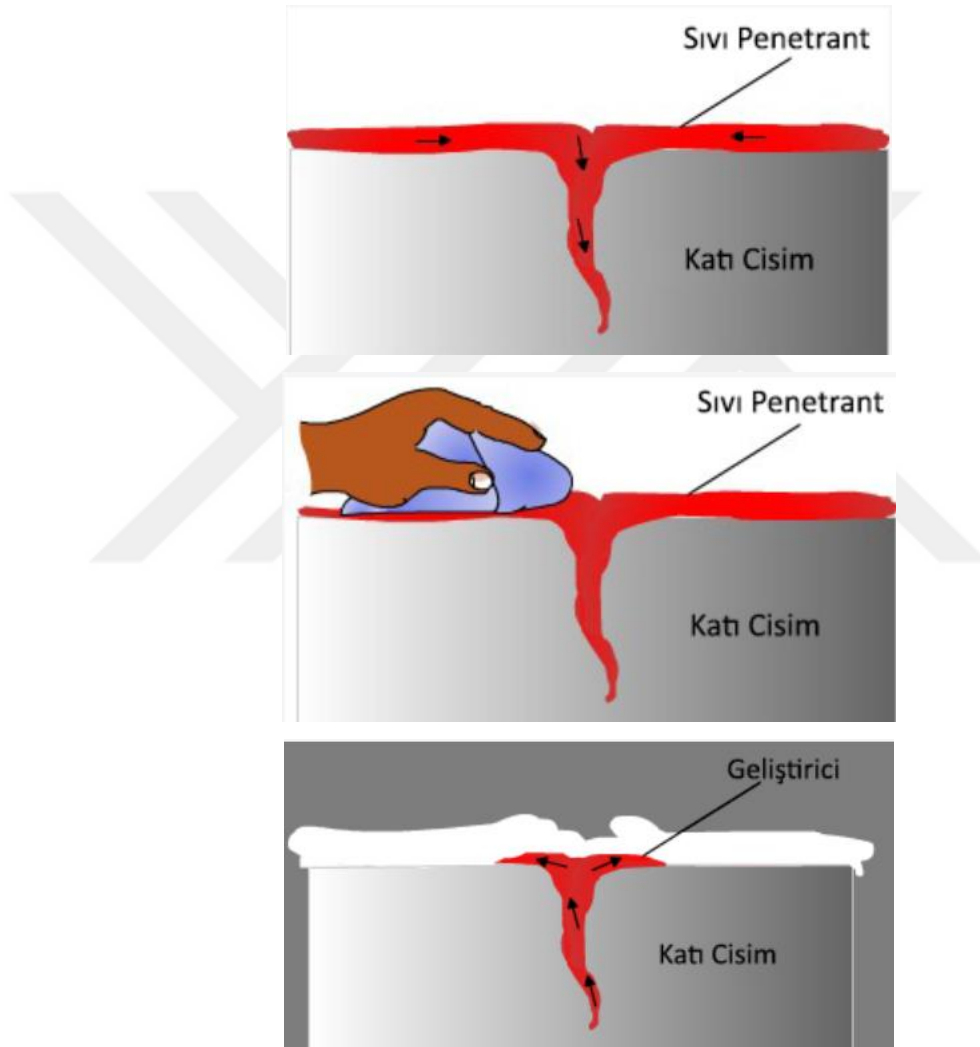
Gama ve X ışınları gibi kısa dalga boylu ışınlar, malzeme içinden geçerek bir ekran veya film üzerinde iki boyutlu görüntü oluşturarak radyoskopi prensibine dayanır. Tahribatsız Muayene Laboratuvarında, film üzerinde görüntü oluşturma yöntemi kullanılmaktadır.

Bu metot sayesinde malzeme içindeki süreksizlikler (gözenekler, cüruf kalıntıları veya boşluklar) tespit edilebilir. X ışını veya gama ışını kaynaklarının kapasiteleri nedeniyle, kullanılabilirlikleri sadece malzeme kalınlığı ile ilgili bir kısıtlama getirmektedir.

Bu yöntem tüm malzemelerde uygulanabilir. X ışını veya gama ışını kaynaklarının kapasitelerine bağlı olarak, sadece malzeme kalınlığı ile ilgili bir sınırlama vardır.

### 6.1.3. PT (Penetrant Testi)

Yüzey gerilimi düşük sıvılar kullanılarak, malzeme yüzeyindeki açık süreksizliklerin tespit edilmesi amacıyla uygulanan bir yöntemdir. Bu metot, penetrant sıvı, ara temizleyici ve geliştirici ürün kombinasyonlarıyla gerçekleştirilir. Prensip olarak, penetrant sıvı yüzeydeki açık süreksizliğe nüfuz eder, fazla penetrant yüzeyden uzaklaştırılır ve nüfuz eden penetrant sıvı, geliştirici vasıtasıyla sızdığı süreksizlikten çekilerek görünür hale gelir [25].



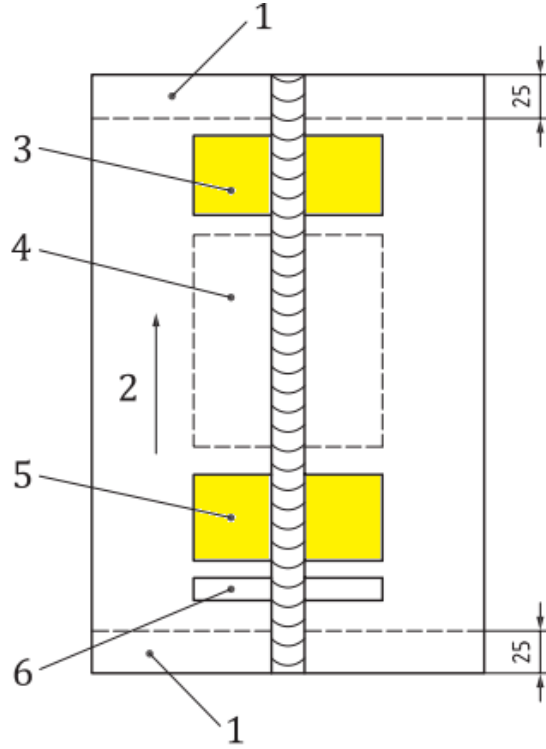
Şekil 6.1. Penetrant testinin uygulama şekli [26]

### 6.2. Tahribatlı Testler

Tahribatlı testler; çekme testi ve makro testi olarak ikiye ayrılır. Bu kısımda sırasıyla çekme testi ve makro test hakkında bilgi verilmiştir.

### 6.2.1. Çekme Testi

Çekme deneyi, malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi ve mekanik davranışlara göre sınıflandırılması amacıyla yapılır. Çekme testi uygulamak istenen numune, makinenin grip denilen tutucularına yerleştirilip sıkıştırılır. Genellikle bilgisayarlar ile entegre olan sistem sayesinde uygulanan kuvvet ile uzama miktarı, sistemden grafik olarak çıkar [27].



Şekil 6.2. ISO 15614-1:2017 ye göre numune alma bölgeleri, sarı renkli bölgeler çekme numunesi alınan bölgeler [32]

- 1- Sıkıştırma 25 mm
- 2- Kaynak yönü
- 3- Bükme test alanı
- 4- Darbe testi alanı
- 5- Çekme testi alanı
- 6- Makro test alanı

ISO 4136 standartlarına göre enine çekme deneyi gerçekleştirilir. Bu standarda uygun olarak gerçekleştirilen deneyin hızı, gerilme oranı yöntemi kullanılarak minimum 6 MPa s<sup>-1</sup>, maksimum 60 MPa s<sup>-1</sup> değerleri arasında yer almıştır. Çekme numunesi, tüm et kalınlığını içerecek şekilde hazırlanmalıdır.

Eğer test parçası çok kalınsa, tüm kesiti kapsayacak şekilde birden fazla numune kullanılabilir. Dış çapı 50mm'den büyük borular için, kaynak metali kök tarafından taşlanıp ana malzeme kalınlığına getirilmelidir. Ancak dış çapı 50mm ve 50mm'den küçük borularda, numune çıkartılmadan borunun tamamı test edilmelidir. Testten önce kaynak taşlanarak ana malzeme ile paralel hale getirilmelidir, kaynağın köküne ise taşlama yapılmayabilir.

Test sonucunda elde edilen çekme dayanımı, ana malzeme çekme dayanımından daha az olmamalıdır. Aynı zamanda, farklı malzemelerde yapılan kaynaklardan elde edilen çekme dayanımı, düşük çekme dayanımına sahip olan malzemedен daha düşük olmamalıdır [27].

### **6.2.2. Makro Testi**

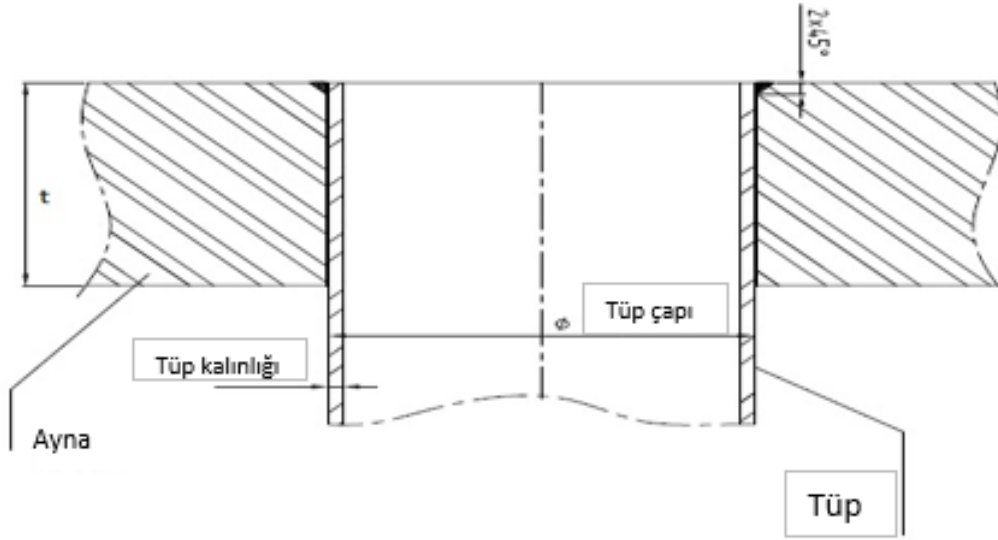
Kaynak dikişi üzerindeki inceleme, dağlanmış veya dağlanmamış deney numunelerinin çıplak gözle veya küçük bir büyütme oranıyla gözlemlenmesini içerir. Kaynak dikişi, iki tarafındaki kaynak tortusu ve ısıdan etkilenmiş bölgeler de dahil olmak üzere, genellikle kaynak eksenine dik bir şekilde yönlendirilir. Ancak, test numuneleri farklı yönlere de uygulanabilir. Test parçalarının yönelimi, konumu ve sayısı, uygulanan bir standart referansına atıf yapılarak testten önce belirtilmelidir.

ISO 17639 standartlarına göre, test parçalarından kesilerek çıkarılan ve hazırlanan numunelerin makro görüntüleri aynı standarda uygun olarak değerlendirilir [27].

## 7. MATERYAL ve METOT

Kaynatılacak malzemeler olarak S38815 ve 304L paslanmaz çeliklerdir. S38815 ve 304L tüpler, aynalarla el ve yörünge olmak üzere iki farklı kaynak makinesi kullanılarak, aynı parametreler altında birleştirilmiş ve yörünge kaynak makinesi ile yapılan birleştirmenin üstünlüğü gösterilmek istenmiştir.

### WELDING SEQUENCES / Kaynak Sırası



Şekil 7.1. Ayna-tüp yerleşimi ve kaynak yapım şekli

## 8. DENEY ve DENEY SONUÇLARI

El ve yörünge kaynak metoduyla birleştirilmiş S38815 ve 304L malzemeden yapılmış 30ar adet tüp (15 el kaynaklı, 15 yörünge kaynaklı), önce tahribatsız muayene testleri olan gözle muayene, radyografik muayene, penetrant testleri uygulandı. Daha sonra çekme, makro (tahribatlı muayene) testleri uygulandı.

### 8.1. VT Sonuçları (Gözle Muayene)

Gözle muayene, direkt göz ve ara ekipmanlar kullanılarak kontrol edilmiştir. En önemli gereksinim ışık miktarının kabul edilebilir seviyede olmasıdır. Gözle muayenede kullanılan standart ASME Sec. V'tir.

Kullanılan ara ekipmanlar; mastar, cetvel, büyüteç, kaynak yükseklik mastarı ve metredir.

Test yapılmadan önce yüzey temizlenmiş, yeterli ışıkla kontrol yapılmıştır.

Gözle muayene yapılmasının avantajlarından birisi diğer tahribatsız muayene testlerine destek sağlamaktır.



Şekil 8.1. Tüp-Ayna yörünge kaynağı



**Şekil 8.2.** Tüp-Ayna Manuel kaynağı

Gözle muayene sonucu her iki malzemede de yörünge kaynakla yapılan tüm numuneler onay alırken, el kaynak numunelerinden S38815 malzeme numunelerinden 3 tanesi, 304L malzemelerden 2 tanesi onay alamamıştır. Ayrıca yörünge kaynağın, el kaynağa göre daha düzgün olduğu görülmüştür.

## **8.2. RT Sonuçları**

Radyografik muayenede kullanılan test ve değerlendirme standardı ASME Sec. V Div.I UW 51'dir.

Gama ve X ışınları, malzemenin yoğunluğu, bileşimi ve kalınlığına bağlı olarak malzemelerde sönmülenererek zayıflar ve parçanın kalın ve yüksek yoğunluklu yerleri filmde açık renkte görünürken, ince ve düşük yoğunluklu yerleri koyu renkte görünmektedir. Bu özelliğinden dolayı malzemenin içindeki hatalar ile süreksizlikler film üzerinde malzemedan daha koyu renkte gözükerek hataların yerlerini tespit edilebilir hale getirir. Hatalar, malzeme ile olan ton zıtlıklarıyla anlaşılabilir.



**Çizelge 8.1.** S38815 yörünge kaynak numune RT sonuçları

<b>Parça No</b>	<b>Test Bölgesi</b>	<b>Sonuç</b>
Yörünge – S38815 – 1	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Yörünge – S38815 – 2	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Yörünge – S38815 – 3	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Yörünge – S38815 – 4	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Yörünge – S38815 – 5	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Yörünge – S38815 – 6	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Yörünge – S38815 – 7	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Yörünge – S38815 – 8	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Yörünge – S38815 – 9	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Yörünge – S38815 – 10	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Yörünge – S38815 – 11	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Yörünge – S38815 – 12	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Yörünge – S38815 – 13	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Yörünge – S38815 – 14	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Yörünge – S38815 – 15	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul

S38815 yörünge kaynak numune RT sonuçları yukarıdaki Çizelge 8-1’de verilmiştir. RT sonucunda tüm yörüngeler kabul almış olup tüm numunelere onay verilmiştir.

**Çizelge 8.2.** S38815 el kaynak numune RT sonuçları

<b>Parça No</b>	<b>Test Bölgesi</b>	<b>Sonuç</b>
Manuel – S38815 – 1	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Manuel – S38815 – 2	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Manuel – S38815 – 3	Kaynak bölgesi (%100)	Ret
Manuel – S38815 – 4	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Manuel – S38815 – 5	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Manuel – S38815 – 6	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Manuel – S38815 – 7	Kaynak bölgesi (%100)	Ret
Manuel – S38815 – 8	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Manuel – S38815 – 9	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Manuel – S38815 – 10	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Manuel – S38815 – 11	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Manuel – S38815 – 12	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Manuel – S38815 – 13	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Manuel – S38815 – 14	Kaynak bölgesi (%100)	Ret
Manuel – S38815 – 15	Kaynak bölgesi (%100)	Ret

Değerlendirme kriterlerine göre Çizelge 8-2’deki S38815 malzemede, el kaynak yapılan 15 adet tüpten 12 tanesi onay almış, 4 tanesi reddedilmiştir.

**Çizelge 8.3.** 304L yörünge kaynak numune RT sonuçları

<b>Parça No</b>	<b>Test Bölgesi</b>	<b>Sonuç</b>
Yörünge – 304L – 1	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Yörünge – 304L – 2	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Yörünge – 304L – 3	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Yörünge – 304L – 4	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Yörünge – 304L – 5	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Yörünge – 304L – 6	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Yörünge – 304L – 7	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Yörünge – 304L – 8	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Yörünge – 304L – 9	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Yörünge – 304L – 10	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Yörünge – 304L – 11	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Yörünge – 304L – 12	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Yörünge – 304L – 13	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Yörünge – 304L – 14	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Yörünge – 304L – 15	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul

304L yörünge kaynak numune RT sonuçları yukarıdaki Çizelge 8-3’de verilmiştir. RT sonucunda tüm yörüngeler kabul almıştır.

**Çizelge 8.4.** 304L el kaynak numune RT sonuçları

<b>Parça No</b>	<b>Test Bölgesi</b>	<b>Sonuç</b>
Manuel – 304L – 1	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Manuel – 304L – 2	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Manuel – 304L – 3	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Manuel – 304L – 4	Kaynak bölgesi (%100)	Ret
Manuel – 304L – 5	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Manuel – 304L – 6	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Manuel – 304L – 7	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Manuel – 304L – 8	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Manuel – 304L – 9	Kaynak bölgesi (%100)	Ret
Manuel – 304L – 10	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Manuel – 304L – 11	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Manuel – 304L – 12	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Manuel – 304L – 13	Kaynak bölgesi (%100)	Ret
Manuel – 304L – 14	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Manuel – 304L – 15	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul

Değerlendirmelere göre, Çizelge 8-4’te el kaynak yapılan 15 adet tüpten 12 tanesinin onay aldığı, 3 tanesinin reddedildiği görülmüştür.

### 8.3. PT Sonuçları

Sıvı penetrant testi test standardı ASME Sec. V. ve değerlendirme kriteri ASME Sec. VIII Div.1'dir. Parça sıcaklığı 10-50 °C aralığında olmalıdır.

Parça üzerindeki kaynak hatasını görebilmek için penetrant sıvısı (PT) muayenesi yapmadan önce parçada temizlik yapıldı. Kaynak parçasına temizlik sıvısı püskürtülerek kalıntı bırakmayacak bir bezle temizlendi.

Daha sonra penetrant sıvısı(kırmızı renkli sıvı) püskürtülerek bekleme süresine geçildi. Penetrasyon süresi 15-30 dk. aralığında iken geliştirme süresi 10-30 dk aralığındadır.

Penetrant sıvısı temiz yüzeye uygulandığında yüzey süreksizliğinin içine (kılcal alanlara) nüfuz eder. Yeterli bir nüfuziyet süresinden sonra boyanın fazlası yüzeyden silinir ve yüzey süreksizliğine girmiş olan boya, bir emici geliştiricisi yani developer (beyaz renkli) yardımı ile yüzeyden geri çekilir ve parça yüzeyinde görünür bir belirti oluşturur.

Çizelge 8.5. S38815 yörünge kaynak numune PT sonuçları

Parça No	Test Bölgesi	Sonuç
Yörünge – S38815 – 1	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Yörünge – S38815 – 2	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Yörünge – S38815 – 3	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Yörünge – S38815 – 4	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Yörünge – S38815 – 5	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Yörünge – S38815 – 6	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Yörünge – S38815 – 7	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Yörünge – S38815 – 8	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Yörünge – S38815 – 9	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Yörünge – S38815 – 10	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Yörünge – S38815 – 11	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Yörünge – S38815 – 12	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Yörünge – S38815 – 13	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Yörünge – S38815 – 14	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Yörünge – S38815 – 15	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul

S38815 yörünge kaynak numune PT sonuçları yukarıdaki Çizelge 8-5'de verilmiştir. PT sonucunda tüm yörüngeler kabul almış olup tüm numunelere onay verilmiştir.

**Çizelge 8.6.** S38815 el kaynak numune PT sonuçları

<b>Parça No</b>	<b>Test Bölgesi</b>	<b>Sonuç</b>
Manuel – S38815 – 1	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Manuel – S38815 – 2	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Manuel – S38815 – 3	Kaynak bölgesi (%100)	Ret
Manuel – S38815 – 4	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Manuel – S38815 – 5	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Manuel – S38815 – 6	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Manuel – S38815 – 7	Kaynak bölgesi (%100)	Ret
Manuel – S38815 – 8	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Manuel – S38815 – 9	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Manuel – S38815 – 10	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Manuel – S38815 – 11	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Manuel – S38815 – 12	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Manuel – S38815 – 13	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Manuel – S38815 – 14	Kaynak bölgesi (%100)	Ret
Manuel – S38815 – 15	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul

S38815 el kaynak numune PT sonuçları yukarıdaki Çizelge 8-6’da verilmiştir. S38815 sıvı penetrant test sonucu 12 numuneye onay verilirken, 3 numuneye kökte yetersiz kaynamadan dolayı ret verilmiştir.

**Çizelge 8.7.** 304L yörünge kaynak numune PT sonuçları

<b>Parça No</b>	<b>Test Bölgesi</b>	<b>Sonuç</b>
Yörünge – 304L – 1	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Yörünge – 304L – 2	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Yörünge – 304L – 3	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Yörünge – 304L – 4	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Yörünge – 304L – 5	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Yörünge – 304L – 6	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Yörünge – 304L – 7	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Yörünge – 304L – 8	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Yörünge – 304L – 9	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Yörünge – 304L – 10	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Yörünge – 304L – 11	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Yörünge – 304L – 12	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Yörünge – 304L – 13	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Yörünge – 304L – 14	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Yörünge – 304L – 15	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul

304L yörünge kaynak numune PT sonuçları yukarıdaki Çizelge 8-7’de verilmiştir. PT sonucunda tüm yörüngeler kabul almış olup tüm numunelere onay verilmiştir.

**Çizelge 8.8.** 304L el kaynak numune PT sonuçları

<b>Parça No</b>	<b>Test Bölgesi</b>	<b>Sonuç</b>
Manuel – 304L – 1	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Manuel – 304L – 2	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Manuel – 304L – 3	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Manuel – 304L – 4	Kaynak bölgesi (%100)	Ret
Manuel – 304L – 5	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Manuel – 304L – 6	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Manuel – 304L – 7	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Manuel – 304L – 8	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Manuel – 304L – 9	Kaynak bölgesi (%100)	Ret
Manuel – 304L – 10	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Manuel – 304L – 11	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Manuel – 304L – 12	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Manuel – 304L – 13	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Manuel – 304L – 14	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul
Manuel – 304L – 15	Kaynak bölgesi (%100)	Kabul

304L el kaynak numune PT sonuçları yukarıdaki Çizelge 8-8’de verilmiştir. 304L malzeme test sonucunda ise, 13 numuneye onay verilirken, 2 numuneye kökte yetersiz kaynamadan dolayı ret verilmiştir.

#### **8.4. Çekme Deneyi Sonuçları**

Yörünge kaynak ve el kaynak numunelerinden birer adet alınarak ASME SEC. VIII Div. I Appendix A standardına uygun olarak 23 °C ortam sıcaklığında, 10 MPa s□<sup>1</sup> hızla test edilmiştir.

Çekme deneyi, hazırlanan numuneye belirli eksenlerde zıt yönde çekme kuvvetleri uygulanarak malzemenin gösterdiği şekil değiştirme reaksiyonları esasına dayanır.

Kaynaklı imalatı ilgilendiren bölümde çekme deneyi, kaynak metalinin çekme ve akma mukavemetini MPa (N/mm<sup>2</sup>) cinsinden elde etmemizi ve kaynak metalinin kullanılan malzemeye uygunluğunu tespit etmemizi sağlamaktadır.

Yapının dinamik ve statik yük değişkenliğine göre farklılık göstermekle beraber, kaynak metalinin ana metale oranla %5-%10 daha mukavemetli olması beklenir. Standartlara göre ise, kaynak metalinin en az ana metal kadar akma mukavemeti ve çekme mukavemetine sahip olması gerekir.

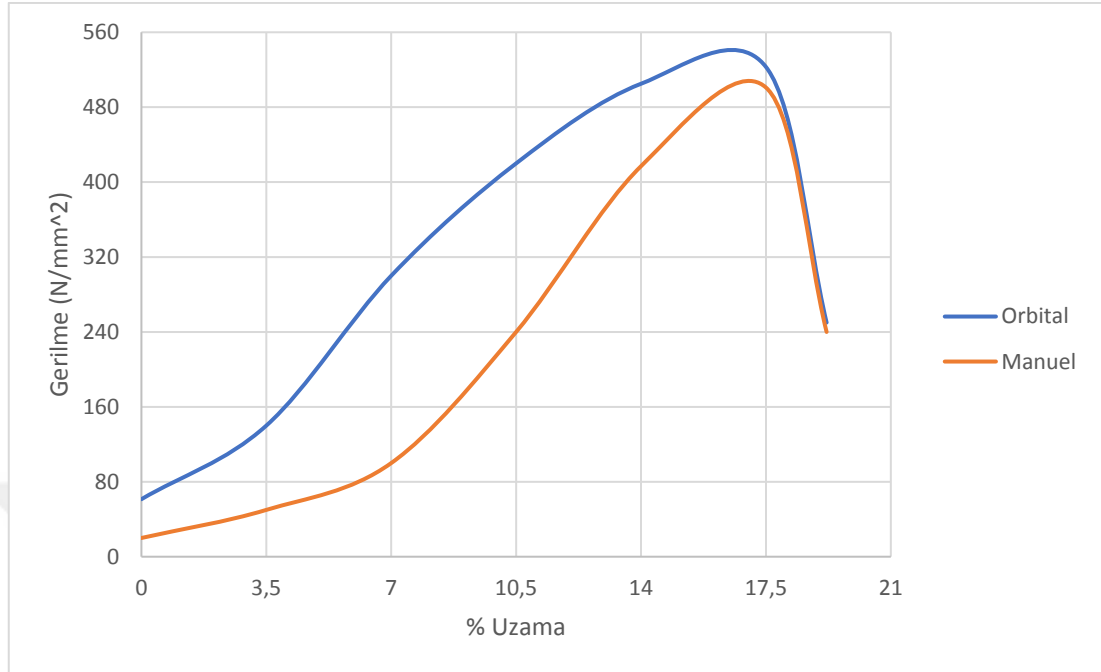


Şekil 8.3. Çekme testi anında malzeme ve cihazın görünümü



Şekil 8.4. Manuel kaynak çekme testi sonucu kopma

Çekme testi sonucunda yöntemin uygunluğu açısından kaynaklı numune özelliklerinin ana malzeme özellikleri ile eşit olması beklenmektedir.



Şekil 8.5. 304L malzemede manuel ve yörünge kaynak için çekme testi sonucu

304L malzemeden iki numuneye orbital ve yörünge kaynak yapılmış, ardından çekme testi uygulanmıştır. Orbital kaynak uygulanan numune daha yüksek gerilmeye dayanmıştır. Aynı malzeme olduğu için %uzama miktarı eşit oranda sonlanmıştır. Yörünge kaynağa uygulanan çekme testi sonucunda kopma malzemeden olmuştur. Kopmanın malzemeden olması kaynağın başarılı ve kaynak mekanik özelliklerinin malzemenin mekanik özelliklerinden daha iyi olduğunu gösterir.

Manuel kaynağa uygulanan çekme testi sonucunda kopma kaynak bölgesinden olmuştur. Kopmanın kaynak bölgesinden olması kaynağın başarısız olduğunu ve kaynak mekanik özelliklerinin malzemenin mekanik özelliklerinden daha kötü olduğunu gösterir.

İki test sonucu kıyaslandığında yörünge kaynağın daha başarılı bir sonuç verdiği ortaya çıkmıştır.

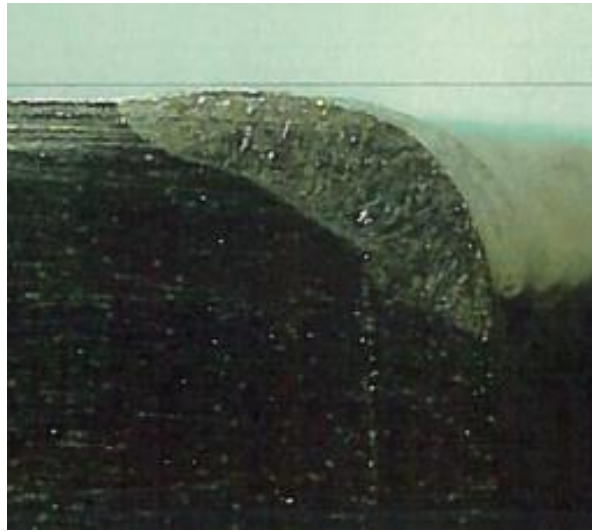
## 8.5. Makro Test Sonuçları

Makro test, test standardı ASME Sec. IX-QW 193.1.3'tür. Test 20 °C ortam sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Makro kesit incelemesi, kaynaklı birleştirmeden alınan numune kesitinin maksimum 10x büyütme ile gözden geçirilmesidir. Bu test yöntemi ile köşe kaynaklarında boğaz yüksekliği, efektif boğaz yüksekliği, alın ve köşe kaynaklarında nüfuziyet, süreksizlikler belirlenebilir. Genel olarak numune metalografik olarak hazırlandıktan sonra bir dağlama işlemi ile yüzeyi düzeltilerek mikroskop altında incelenir. Testte dağlayıcı olarak sıvılaştırılmış nital kullanılmıştır.

Yörünge kaynak makro test sonuçları:



Şekil 8.6. S38815 yörünge kaynak 1 makro test görüntüsü



Şekil 8.7. 304L yörünge kaynak 1 makro test görüntüsü



S38815 yörünge kaynak 1 ve 304L yörünge kaynak 2 numunelerinden alınan makro görüntüler incelendiğinde kaynaklarda herhangi bir hata yapısının olmadığı görülür. Sonuç başarılıdır yani kaynak başarılıdır.

El kaynak makro test sonuçları,



Şekil 8.8. S38815 manuel kaynak 3 makro test görüntüsü



Şekil 8.9. 304L manuel kaynak 9 makro test görüntüsü

S38815 manuel kaynak 3 ve 304L manuel kaynak 9 numunelerinin makro test sonuçları incelendiğinde malzemede nüfuziyet azlığı ve homojen olmayan dağılımlar görüldü. Yapılan kaynağın kök kısmında kaynak yeterince nüfuz etmediğinden nüfuziyet azlığı oluşmuştur. Bunlar da makro test sonucunu başarısız kılar.



**Şekil 8.10.** S38815 manuel kaynak 1 makro test görüntüsü

S38815 manuel kaynak 1 numunesinin incelemesinde homojen dağılımlı ve tam nüfuziyetli bir yapı görünmektedir. Sonuç başarılıdır.

Test sonuçları kıyaslandığında yörünge kaynak numuneleri başarılıyken, el kaynakta başarılı ve başarısız sonuçlar yer almaktadır.

## 9. SONUÇ

Bu deney çalışmasında yeni nesil kaynak makinesi ile yapılan kaynağın geleneksel kaynak makinesi ile yapılan kaynağa göre daha iyi sonuçlar verdiği gösterilmek istenmiştir. Deneyde aynı parametreler altında el ve yörünge kaynak makineleri ile iki farklı metotta kaynak yapılmıştır. Deneysel sonuçları elde etmek için kaynaklanmış parçalara tahribatsız ve tahribatlı birçok test uygulanmıştır.

Yapılmış olan tahribatsız testlerden gözle muayenede el kaynaklı numunelerin bazılarında kök oluşmadığı, homojen dağılmağı, gözenek oluştuğı gözlenmiş ve bu yüzden numune red almıştır. Yeni nesilde ise herhangi bir yanlış işlem görülmediğı için tüm numunelere onay verilmiştir. Radyografik muayenede çekilen film sonuçlarını incelediğimizde el kaynak makinesi ile yapılan kaynağın özellikle kök kısmında yetersiz nüfuziyet olduğu gözlenmiş olup numuneye red verilmiştir. Yörünge kaynak ise başarılı yapılmış olup onay almıştır. Sıvı penetrant test sonuçlarında el kaynak numunelerinde 12 numuneye onay verilirken, 3 numuneye kökte yetersiz kaynamadan dolayı red verilmiştir. Yörünge kaynak numunelerinin tamamı ise onay almıştır. Yani yörünge kaynak daha başarılı olmuştur.

Yapılmış olan tahribatlı muayenelerde ise çekme testinde inceleyeceğimiz nokta kopmanın hangi bölgeden olduğudur. Yeni nesil kaynakta kopma malzemenin mekanik özelliklerinden daha iyidir. Geleneksel nesil kaynakta ise kopma kaynak bölgesinden olmuştur bu da kaynağın başarısız olduğunu, kaynak mekanik özelliklerinin yetersiz olduğunu gösterir. Makro test sonuçları incelendiğinde yapılan alın kaynakları yeni nesilde başarı gösterirken geleneksel nesilde kök bölgesindeki yetersiz nüfuziyetten dolayı red almıştır.

Sonuç olarak tüm deney sonuçları incelendiğinde aynı parametreler altında yörünge kaynak makinesi ile yapılan kaynağın el kaynak makinesi ile yapılan kaynağa göre daha başarılı olduğu gözlemlenmiştir.

## KAYNAKÇA

- [1] Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 8 (2020) 940- 950 (Araştırma Makalesi)
- [2] Antonio C. Caputo, Pacifico M. Pelegagge, Paolo Salini, (2007), Heat Exchanger Design Based on Economic Optimisation
- [3] M.F. Irfan, E.M. Elkanzi, K.M. Saif, S.M. Zakir Hossain, (2021), Fabrication of a hybrid shell and double pipe heat exchanger by means of design and performance assessment
- [4] Chafea Bouchenna, Florian Huchet, Carl Aramiou, Erwan Hamard, Lauredan Le Guen, Jean-Marc Paul, (2021) , Heat exchanger design based on earthen materials
- [5] Danie Martinez Vega, Hernando Gonzalez Acevedo, (2021) , Advanced Control System Design for a Plate Heat Exchanger
- [6] HAO Junhong, CHEN Qun, LI Xia, ZHAO Tian, 2021
- [7] Umut Sönmez, Niyazi Çavuşoğlu, Vural Ceyhun (2016), Orbital ve TIG Kaynak Yöntemiyle Kaynak Edilmiş Dupleks Paslanmaz Çeliklerin Mekanik, Metalurjik ve Korozyon Özellikleri
- [8] Long Liu, Ning Ding, Junbo Shi, Na Xu, Weimin Guo, Chi-Man Lawrence Wu, (2016), Failure analysis of tube-to-tubesheet welded joints in a shell-tube heat exchanger
- [9] Ngo Gia Viet (2019), Automated Orbital Welding of Carbon and Low-Alloy Steels Pipelines with Small Diameter
- [10] A novel perception toward welding of stainless steel by activated Tig ... (n.d.-a). <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10426914.2020.1854467>
- [11] Sharma, N., Abdulllah, W. S., Garg, M., Gupta, R. D., Khanna, R., & Sharma, R. C. (n.d.). Optimization of TIG welding parameters for the 202 stainless

steel using NSGA-II. Journal of Engineering Research.  
<https://kuwaitjournals.org/jer/index.php/JER/article/view/7071>

[12] Bamankar, P. B. (2017, May 7). Parametric Study & Optimization of TIG welding process on stainless steel 304. International Engineering Research Journal. [https://www.academia.edu/32885759/Parametric\\_Study\\_and\\_Optimization\\_of\\_TIG\\_Welding\\_Process\\_on\\_Stainless\\_Steel\\_304](https://www.academia.edu/32885759/Parametric_Study_and_Optimization_of_TIG_Welding_Process_on_Stainless_Steel_304)

[13] Wang, J., Lu, M., Zhang, L., Chang, W., Xu, L., & Hu, L. (2012, June 5). Effect of welding process on the microstructure and properties of dissimilar weld joints between low alloy steel and duplex stainless steel. International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials. <http://ijmmm.ustb.edu.cn/en/article/doi/10.1007/s12613-012-0589-z>

[14] V, A. R., & R, D. (1970a, January 1). Experimental investigation for welding aspects of stainless steel 310 for the process of TIG welding - VIT university. VIT University Research Platform. <https://research.vit.ac.in/publication/experimental-investigation-for-welding-aspects>

[15] Optimization of the A-tig welding for Stainless Steels - Researchgate. (n.d.-b). [https://www.researchgate.net/publication/323982538\\_Optimization\\_of\\_the\\_A-TIG\\_welding\\_for\\_stainless\\_steels](https://www.researchgate.net/publication/323982538_Optimization_of_the_A-TIG_welding_for_stainless_steels)

[16] *Laser welding head tailored to tube-sheet joint requirements for Heat Exchangers Manufacturing.*  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1875389213000771>

[17] Leif. (2013, March 19). *Welding Duplex Stainless Steels - A review of current recommendations - welding in the world.* SpringerLink. <https://link.springer.com/article/10.1007/BF03321351>

[18] Weldability of duplex stainless steel - Taylor & Francis Online. (n.d.-d). <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10426914.2015.1019126>

[19] *Materials & Design.* Materials & Design | Journal | ScienceDirect.com by Elsevier. (n.d.). <https://www.sciencedirect.com/journal/materials-and-design>

- [20] Pekkarinen, J., & Kujanpää, V. (2010). *The effects of laser welding parameters on the microstructure of ferritic and duplex stainless steels welds*. *Physics Procedia*, 5, 517–523.
- [21] T.C. Sakarya üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. (n.d.). <https://acikerisim.sakarya.edu.tr/bitstream/handle/20.500.12619/80516/T04581.pdf?sequence=1>
- [22] <https://dspace.gazi.edu.tr/bitstream/handle/20.500.12602/147835/arzukoparan.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [23] Anık, S. (1991). *Yöntemler ve Donanımlar*, Gedik Holding yayınıdır.
- [24] <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/what-is-a-butt-weld>
- [25] <https://www.turkloydu.org/pdf-files/turk-loydu-kurallari/cilt-a/kisim-3-kaynak-kurallari-2018-OCAK.pdf>
- [26] *Sıvı Penetrant testi Nasıl Yapılır - NDT TEKNİK: Endüstriyel Tahribatsız Muayene Cihazları*. Sıvı Penetrant Testi Nasıl Yapılır - NDT TEKNİK | Endüstriyel Tahribatsız Muayene Cihazları. (n.d.). <http://www.ndtteknik.com/ndt-kutuphane/sivi-penetrant-testi-nasil-yapilir-63.html>
- [27] <https://www.tse.org.tr/IcerikDetay?ID=387&ParentID=385>
- [28] <https://www.makfen.com/orbital-kaynak-cozumleri#:~:text=Geleneksel%20kaynakta%2C%20kullan%C4%B1c%C4%B1lar%20ark%20veya,otomatik%20olarak%20360%20o%20d%C3%B6ner>
- [29] <https://lkalloy.com/tr/stainless-steel/uns-s38815-stainless-steel/>
- [30] <http://qvvmuhendislik.com.tr/Menu/10020/Makro-Analiz.html>
- [31] <https://bircelik.com/en/category/3041-1-4307->
- [32] ISO 15614-1:2017 standardı
- [33] ASME Section 2 Part D (73-90)

# ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Berfin ER

Doğum Tarihi :

Yabancı Dil :

Eğitim Durumu

- Lisans : Kırıkkale Üniversitesi Makine Mühendisliği 2016-2020
- Lisans : Anadolu Üniversitesi İşletme 2016-2020
- Önlisans : Anadolu Üniversitesi İş Sağlığı ve Güvenliği 2020-2022
- Yüksek Lisans : Kırıkkale Üniversitesi Makine Mühendisliği 2020-2023

Çalıştığı Kurumlar ve Yıllar

- Teknokon Makina 2021-2023
- Ordu Savunma Sanayi OR-SAV 2021-2021

Yayımları (SCI): DOI: <https://doi.org/10.59287/ijanser.1173>

Araştırma Alanları

- Eşanjörler
- Basınçlı Tanklar