

**GEMİ İNŞAATINDAKİ KAYNAKLI
BAĞLANTILARIN YAPISAL VE MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN OPTİMİZASYONU**

**2018
DOKTORA TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

Ahmet Fatih YILMAZ

**GEMİ İNŞAATINDAKİ KAYNAKLI BAĞLANTILARIN YAPISAL VE
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN OPTİMİZASYONU**

Ahmet Fatih YILMAZ

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalında

Doktora Tezi

Olarak Hazırlanmıştır

KARABÜK

Mayıs 2018

Ahmet Fatih YILMAZ tarafından hazırlanan “GEMİ İNŞAATINDAKİ KAYNAKLI BAĞLANTILARIN YAPISAL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN OPTİMİZASYONU” başlıklı bu tezin Doktora Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Mustafa GÜNAY

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir. 31/ 05/ 2018

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Behçet GÜLENÇ (GÜ)

Üye : Doç. Dr. Mustafa GÜNAY (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Kâmil ARSLAN (KBÜ)

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Yakup TURGUT (GÜ)

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Hayriye ERTEK EMRE (KBÜ)

...../...../2018

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Doktora derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Filiz ERSÖZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdür V.





“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Ahmet Fatih YILMAZ

ÖZET

Doktora Tezi

GEMİ İNŞAATINDAKİ KAYNAKLI BAĞLANTILARIN YAPISAL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN OPTİMİZASYONU

Ahmet Fatih YILMAZ

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Mustafa GÜNAY

Mayıs 2018, 122 sayfa

Türkiye gemi inşa sanayinin gelişmesine katkı sağlamayı hedefleyen bu çalışmada, imalat sürecinde meydana gelen kaynak mukavemeti ve distorsiyonları etkileyen faktörler analiz edilmiştir. Bu amaçla, açık deniz destek gemilerinin inşasında kullanılan iki farklı kalitedeki AH36 ve AISI 316L çelik levhalar tozaltı ark kaynak yöntemiyle birleştirilmiştir. Kaynaklı birleştirmeler, yatay pozisyonda, üç farklı akım ve bağlantı tipi (Bt) seçilerek, ilave metal kullanılmadan alın altına gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda, malzemelerin kendi aralarında ve birbirleriyle AH36-AH36, AH36-AISI 316L ve AISI 316L-AISI 316L olmak üzere üç farklı grup oluşturulmuştur. Birleştirilen parçaların her bir grubu kendi içlerinde mikroyapı, mekanik özellikler ve distorsiyon yönünden ayrı ayrı incelenmiş ve kaynak parametrelerinin etkileri deneysel ve istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Taguchi metodolojisi kullanılarak kaynak mukavemeti ve distorsiyon için, kaynak akımı ve bağlantı tipine bağlı olarak optimum değerler belirlenmiştir.

AH36-AH36 çelik çifti birleştirmeleri için yapılan değerlendirmelerde, çekme dayanımı (ÇD) üzerinde en fazla öneme sahip değişken bağlantı tipi olurken, distorsiyon miktarı (Dm) için bu değişken akım değeri olarak bulunmuştur. ÇD için optimum değişken seviyeleri S12 bağlantı tipi ve 425 A olarak belirlenmiş olup, Dm için ise optimum değişken seviyeleri S12 bağlantı tipi ve 400 A olarak bulunmuştur. AH36-AISI 316L çelik ve paslanmaz çelik çifti birleştirmeleri için ÇD üzerinde en önemli değişken bağlantı tipi olurken, Dm üzerinde en önemli değişken akım değeri olarak bulunmuştur. ÇD için optimum değişken seviyeleri S7 bağlantı tipi ve 400 A olarak belirlenmiş olup, Dm için ise optimum değişken seviyeleri SS bağlantı tipi ve 450 A olarak belirlenmiştir. AISI 316L-AISI 316L paslanmaz çelik çifti birleştirmeleri için ÇD ve Dm üzerinde en önemli değişken bağlantı tipi olarak belirlenmiştir. ÇD için optimum değişken seviyeleri SS bağlantı tipi ve 450 A olarak belirlenirken, Dm için optimum değişken seviyeleri SS bağlantı tipi ve 400 A olarak tespit edilmiştir.

Anahtar Sözcükler : Gemi inşaatı, petrol destek gemisi, gemi kaynağı, distorsiyon, optimizasyon, AISI 316L, AH36.

Bilim Kodu : 914.1.044

ABSTRACT

Ph. D. Thesis

OPTIMIZATION OF STRUCTURAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF WELDED JOINTS IN SHIPBUILDING

Ahmet Fatih YILMAZ

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Mustafa GÜNAY

May 2018, 122 pages

In this study, in which aims to contribute to the development of Turkey's shipbuilding industry, factors affecting welding strength and distortion in the manufacturing process, has been analyzed. For this purpose, AH36 and AISI 316L steel plates in two different qualities used in the construction of offshore support vessels were combined by the submerged arc welding method. The welded joints were carried out in the horizontal position, by selecting three different current and connection types (Bt), without using any additional metal and as butt welding type. Within this context, three different groups were constituted between the materials themselves and each other as AH36-AH36, AH36-AISI 316L ve AISI 316L-AISI 316L. Each group of joined pieces was examined separately in terms of their microstructure, mechanical properties and distortion and the effects of welding parameters were evaluated experimentally and statistically. Using Taguchi methodology, optimum values were determined for welding strength and distortion depending on welding current and connection type. In the evaluations for the AH36-AH36 steel pairs, while connection type was the most

prevalence variable on the tensile strength (ζD), the current value was the variable for distortion amount (Dm). The optimum variable levels for ζD were determined as S12 connection type and 425A, and for Dm optimum variable levels were found as S12 connection type and 400A. For the AH36-AISI 316L steel and stainless steel pairs, the most important variable on the ζD was the connection type, while the most important variable on the Dm was found as the current value. The optimum variable levels for ζD were determined as S7 connection type and 400A, and for the Dm the optimum variable levels were determined as SS connection type and 450A. For the AISI 316L-AISI 316L stainless steel pairs, the most important variable on the both ζD and Dm is the connection type. The optimum variable levels for ζD were determined as SS connection type and 450A, while the optimum variable levels for Dm were determined as SS connection type and 400A.

Key Words : Shipbuilding, petrol supply vessels, ship welding, distortion, optimization, AISI 316L, AH36.

Science Code : 914.1.044

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında beni her zaman yönlendiren, her alanda ilgisini ve yardımını esirgemeyen, doktora tez çalıőmam sürecinde bilgi ve tecrübelerinden sürekli istifade ettiğim değerli hocam Doç. Dr. Mustafa GÜNAY'a sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Doktora çalıőmama bilgi ve tecrübesiyle önemli katkılar sağlayan Prof. Dr. Ramazan KAÇAR'a ve Dr. Öğr. Üyesi Okan ÜNAL'a ayrıca teşekkür ederim. Özellikle deney numunelerinin hazırlanması sürecinde maddi ve manevi yardımlarını esirgemeyen değerli Cemre Tersanesi genel müdürü Hüseyin ŐANLI'ya, değerli arkadaşlarım, proje müdürleri Engin YÜKSEL ve Emre TOFTAR'a, malzemelerin tedarik, hazırlanma ve nakliye süresince desteklerini esirgemeyen Abdullah BİNİCİ, İsmail TÜTÜNCÜOĞLU ve yardımcı olan tüm personele de ayrı ayrı teőekkürlerimi sunmayı borç bilirim.

Hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini hep yanımda hissettiğim çok değerli anne ve babama ve tezin zorlu aőamaları süresince hep yanımda olan değerli eőim Elif Merve'ye tüm kalbimle őükranlarımı sunarım.

Bu çalışmanın belli kısımları, Karabük Üniversitesi tarafından KBÜ-BAP-15/2-DR-004 No'lu Bilimsel Araştırma Projesi kapsamında desteklenmiőtir.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvi
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
1.1. KAYNAK ÖZETİ	3
1.2. PROBLEMİN TANIMLANMASI.....	10
1.3. ÇALIŞMANIN AMACI.....	12
1.4. TEZİN KAPSAMI	14
BÖLÜM 2	15
KAYNAKLI BİRLEŞTİRMELERDE GERİLMELER, DİSTORSİYONLAR VE OLUŞUM NEDENLERİ.....	15
2.1. Kaynaklı Birleştirme Sonucu Distorsiyonların Oluşumu.....	19
2.1.1. Kaynaklı Birleştirmelerde Distorsiyon Oluşmasına Etki Eden Parametreler	22
2.1.2. Distorsiyonları Ve Gerilmeleri Engellemek İçin Alınabilecek Önlemler.....	24
2.1.3. Kaynaklı Parçalarda Oluşan Distorsiyonların Düzeltilmesi.....	28
2.2. GEMİ İNŞA SANAYİNDE SIKLIKLA KULLANILAN ÇELİKLER VE KAYNAK YÖNTEMLERİ	34
2.2.1. Çeliklerde Kaynak Bölgesi.....	34

	<u>Sayfa</u>
2.2.2. Gemi İnşaatında Sıklıkla Kullanılan Çelikler.....	38
2.2.3. Gemi İnşaatında Sıklıkla Kullanılan Kaynak Yöntemleri.....	42
BÖLÜM 3	48
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	48
3.1. DENEY NUMUNELERİNİN HAZIRLANIŞI.....	48
3.1.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler	49
3.1.2. Deneysel Numunelerini Sabitlemek İçin Kullanılacak Kaynak Tutucu Aparatın Hazırlanması	49
3.1.3. Deneyde Kullanılan Malzeme Kimyasal Kompozisyonu, Kaynak Numunelerinin Hazırlanışı Ve Kaynak Parametreleri	50
3.1.4. Tahribatsız Muayene-Radyografik Muayene	61
3.2. DİSTORSİYONLARIN ÖLÇÜMÜ.....	61
3.3. MEKANİK DENEYLER VE UYGULANIŞI.....	62
3.3.1. Çekme Deneysel Numunesinin Hazırlığı Ve Deneyi	63
3.3.2. Çentik Darbe Deneysel Numunesinin Hazırlığı Ve Deneyi	64
3.3.3. Sertlik Ölçümü.....	65
BÖLÜM 4	67
SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME	67
4.1. MİKROYAPI İNCELEMELERİ VE MEKANİK DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	67
4.1.1. Mikroyapı İncelemeleri	67
4.1.2. Çekme Deneyi Sonuçları	72
4.1.3. Çentik Darbe Deneyi Sonuçları	79
4.1.4. Birleştirmelerin Mikrosertlik Ölçümü Sonuçları.....	84
4.1.5. Distorsiyon Miktarının Değerlendirilmesi.....	89
4.1.6. Yapısal Ve Mekanik Özelliklerin Optimizasyonu.....	93
BÖLÜM 5	110
SONUÇ VE ÖNERİLER	110
KAYNAKLAR	114
ÖZGEÇMİŞ	122

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1.	Alın kaynaklarında oluşan enine ve boyuna artık gerilmeler.....	16
Şekil 2.2.	İç köşe kaynaklarında oluşan enine ve boyuna artık gerilmeler.....	17
Şekil 2.3.	Alın kaynaklarında oluşan açısız istorsiyon.....	17
Şekil 2.4.	İç köşe kaynaklarında oluşan distorsiyon.....	18
Şekil 2.5.	Örnek bir çelik çubuğun, değişik koşullardaki ısıtma ve soğutma sonucu distorsiyonu.....	19
Şekil 2.6.	Köşe kaynaklarında kalıntı gerilmelerin oluşumu.....	20
Şekil 2.7.	Değişik kaynak hızlarında kaynak ısısının ana metale etkisi.....	21
Şekil 2.8.	İç köşe birleştirmelerinde açısız distorsiyonun kaynak dikiş yüksekliği ile değişimi [46].....	25
Şekil 2.9.	Alın birleştirmelerinde açısız distorsiyonun kaynak ağzı açısı ile değişimi.....	25
Şekil 2.10.	Gerilme ve distorsiyonları azaltmaya yönelik önlemler.....	27
Şekil 2.11.	Gerilme ve distorsiyonları azaltmaya yönelik önlemler.....	28
Şekil 2.12.	Üçgen tavlama düzenlemesi.....	30
Şekil 2.13.	Satranç tavlama düzenlemesi.....	30
Şekil 2.14.	Helezonik tavlama düzenlemesi.....	31
Şekil 2.15.	Noktalı tavlama düzenlemesi.....	31
Şekil 2.16.	Yanyana noktalama ve çizgisel tavlama düzenlemeleri.....	32
Şekil 2.17.	Zikzak tavlama düzenlemesi.....	32
Şekil 2.18.	Isı çemberi ve ısı elipsi tavlama yöntemi.....	32
Şekil 2.19.	Isı kaması tavlama yöntemi.....	33
Şekil 2.20.	Isı yolu ve ısı kaması yöntemi.....	33
Şekil 2.21.	Isı haçı ve ısı çemberi yöntemi.....	34
Şekil 2.22.	Kaynak sırasında ısının tesiri altındaki bölge [47].....	35
Şekil 2.23.	Kaynak metali ve ITAB'da oluşan iç yapılar.....	37
Şekil 3.1.	Tozaltı ark kaynak birleştirme için geliştirilen tutucu aparat.....	50
Şekil 3.2.	a) TSE4136'ya göre çekme numunesi boyutları, b) TSE5173'e göre eğme numunesi boyutları, c) TSE9016'ya göre darbe çentik numune boyutları.....	51

Şekil 3.3.	AH36-AH36, AH36-AISI 316L ve AISI 316L-AISI 316L çelik birleştirmeleri için 450x300x12 mm parçaların hazırlanması.....	52
Şekil 3.4.	Birleşme detaylarının numaralandırılması ve detayların gösterimi. ...	53
Şekil 3.5.	AH36-AH36 çelik çifti birleşimlerinin hazırlanması.....	54
Şekil 3.6.	AH36-AISI 316L çelik ve paslanmaz çelik çiftinin hazırlanması.	57
Şekil 3.7.	AISI 316L-AISI 316L paslanmaz çelik çiftinin hazırlanması.....	59
Şekil 3.8.	Distorsiyonların ölçümü için parçaların markalanması.....	62
Şekil 3.9.	Lazer kesim ile çıkarılan numunelerin görüntüsü ve numune boyutları.	62
Şekil 3.10.	TS EN 4136 standardına göre hazırlanmış çekme deneyi numuneleri.	63
Şekil 3.11.	Zwick/Roell Z600 çekme testi cihazı.....	64
Şekil 3.12.	TSE EN ISO 9016 standardına göre hazırlanan çentik darbe deneyi numuneleri.....	64
Şekil 3.13.	Charpy deney cihazı.....	65
Şekil 3.14.	Sertlik ölçüm cihazı.....	66
Şekil 4.1.	2 numaralı numunenin mikroyapı görüntüleri; a) ana metal bölgesi, b) ITAB (ısı tesiri altındaki bölge) c) kaynak metali.....	67
Şekil 4.2.	5 numaralı numunenin mikroyapı görüntüleri; a) ana metal b) ITAB (ısı tesiri altındaki bölge) bölgesi, c) kaynak metali bölgesi.	68
Şekil 4.3.	2 numaralı numunenin AH36 çelik tarafı mikroyapı görüntüleri; a) ana metal b) ITAB (ısı tesiri altındaki bölge) c) kaynak metali.	69
Şekil 4.4.	2 numaralı numunenin AISI 316L paslanmaz çelik tarafı mikroyapı görüntüleri; a) ana metal b) ITAB (ısı tesiri altındaki bölge) c) kaynak metali.	69
Şekil 4.5.	5 numaralı numunenin AH36 çelik tarafı mikroyapı görüntüleri; a) ana metal, b) ITAB (ısı tesiri altındaki bölge) c) kaynak metali.	69
Şekil 4.6.	5 numaralı numunenin AISI 316L paslanmaz çelik tarafı mikroyapı görüntüleri; a) ana metal b) ITAB (ısı tesiri altındaki bölge) c) kaynak metali.	70
Şekil 4.7.	2 numaralı numunenin mikroyapı görüntüleri; a) ana metal b) ITAB (ısı tesiri altındaki bölge) c) kaynak metali.	71
Şekil 4.8.	5 numaralı numunenin mikroyapı görüntüleri; a) ana metal b) ITAB (ısı tesiri altındaki bölge) c) kaynak metali.	71
Şekil 4.9.	AH36-AH36 çelik çifti birleştirmelerine ait gerilme-uzama grafiği... ..	73
Şekil 4.10.	AH36-AH36 çelik çifti birleştirme ait çekme deneyi sonrası kopma görüntüleri.	74

Şekil 4.11.	AH36-AISI 316L çelik çifti birleştirmelerine ait gerilme-uzama grafiği.	75
Şekil 4.12.	AH36-AISI 316L çelik çifti birleştirmelerine ait çekme deneyi sonrası kopma görüntüleri.	76
Şekil 4.13.	AISI 316L-AISI 316L paslanmaz çelik çifti birleştirmelerine ait gerilme-uzama grafiği.	77
Şekil 4.14.	AISI 316L-AISI 316L paslanmaz çelik çifti birleştirmelerine ait çekme deneyi sonrası kopma görüntüleri.	78
Şekil 4.15.	AH36-AH36 çelik çifti birleştirmelerinin çentik darbe dayanımı sonuçları.	80
Şekil 4.16.	AH36-AH36 çelik çifti birleştirmelerinin çentik darbe testi sonucu görüntüsü.	80
Şekil 4.17.	AH36-AISI 316L birleşimli numunelerin darbe dayanımı sonuçları..	82
Şekil 4.18.	AH36-AISI 316L çentik darbe testi sonucu görüntüsü.	82
Şekil 4.19.	AISI 316L-AISI 316L birleşimli numunelerin darbe dayanımı sonuçları.	83
Şekil 4.20.	AH36-AISI 316L darbe çentik testi sonucu görüntüsü.	83
Şekil 4.21.	AH36-AH36 birleştirmelerinin numunelerine ait sertlik dağılımları..	85
Şekil 4.22.	AH36-AISI 316L birleştirmelerinin numunelerine ait sertlik dağılımları.	87
Şekil 4.23.	AISI 316L-AISI 316L birleştirmelerinin numunelerine ait sertlik dağılımları.	88
Şekil 4.24.	Kaynak işlemi öncesi markalama.	90
Şekil 4.25.	Sütun etkisinin grafik üzerinde gösterimi a) iki seviyeli b) üç seviyeli	98
Şekil 4.26.	Çekme dayanımının S/N oranları ana etki grafiği.	100
Şekil 4.27.	Distorsiyon miktarının S/N oranları ana etki grafiği.	101
Şekil 4.28.	Çekme dayanımının S/N oranları ana etki grafiği.	104
Şekil 4.29.	Distorsiyon miktarının S/N oranları ana etki grafiği.	105
Şekil 4.30.	Çekme dayanımının S/N oranları ana etki grafiği.	108
Şekil 4.31.	Distorsiyon miktarının S/N oranları ana etki grafiği.	109

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1.	Normal mukavemetli çelikler için kimyasal bileşimi [52].	40
Çizelge 2.2.	Tozaltı kaynak tellerindeki manganez miktarı [59].	46
Çizelge 2.3.	Tel içerisine katılan alaşım elamanlarının kaynağa kazandırdığı özellikler [60].	46
Çizelge 3.1.	AH36 ve AISI316L çeliklerinin spektral analizleri.	51
Çizelge 3.2.	AH36-AH36 tozaltı kaynak parametreleri.	55
Çizelge 3.3.	Tozaltı ark kaynak teli ve tozunun kimyasal kompozisyonu.	56
Çizelge 3.4.	AH36-AISI 316L tozaltı kaynak parametreleri.	58
Çizelge 3.5.	Tozaltı ark kaynak teli ve tozunun kimyasal kompozisyonu.	58
Çizelge 3.6.	AISI 316L-AISI 316L tozaltı kaynak parametreleri.	60
Çizelge 3.7.	AISI 316L paslanmaz çelik çiftlerinin tozaltı ark kaynağı ile birleşiminde kullanılan tozaltı ark kaynak teli ve tozunun kimyasal kompozisyonu.	61
Çizelge 4.1.	AH36-AH36 çelik çifti birleştirmesi için çekme testi sonuçları.	73
Çizelge 4.2.	Çekme testi sonuçlarının renklerine göre gösterilmesi.	75
Çizelge 4.3.	Çekme testi sonuçlarının renklerine göre gösterilmesi.	77
Çizelge 4.4.	AH36-AH36 birleştirmelerinin farklı bölgelerinin sertlik sonucu.	85
Çizelge 4.5.	AH36-AISI 316L birleştirmelerinin farklı bölgelerinin sertlik sonucu.	86
Çizelge 4.6.	AISI 316L-AISI 316L birleştirmelerinin farklı bölgelerinin sertlik sonucu.	88
Çizelge 4.7.	AH36-AH36 birleştirmelerinin sonucunda elde edilen deformasyon miktarları.	90
Çizelge 4.8.	AH36-AISI 316L birleştirmelerinin sonucunda elde edilen deformasyon miktarları.	91
Çizelge 4.9.	AISI 316L-AISI 316L birleştirmelerinin sonucunda elde edilen deformasyon miktarları.	91
Çizelge 4.10.	AH36-AH36 birleşimleri için deneysel sonuçlar ve S/N oranları.	98
Çizelge 4.11.	Çekme dayanımı için varyans analizi sonuçları.	99
Çizelge 4.12.	Çekme dayanımı için S/N oranları.	99
Çizelge 4.13.	Distorsiyon miktarı için varyans analizi sonuçları.	100
Çizelge 4.14.	Distorsiyon miktarı için S/N oranları.	101

Sayfa

Çizelge 4.15. AH36-AISI 316L birleşimleri için deneysel sonuçlar ve S/N oranları.	102
Çizelge 4.16. Çekme dayanımı için varyans analizi sonuçları.	103
Çizelge 4.17. Çekme dayanımı için S/N oranları.	103
Çizelge 4.18. Distorsiyon miktarı için varyans analizi sonuçları.	104
Çizelge 4.19. Distorsiyon miktarı için S/N oranları.	105
Çizelge 4.20. AISI 316L-AISI 316L birleşimleri için deneysel sonuçlar ve S/N oranları.....	106
Çizelge 4.21. Çekme dayanımı için varyans analizi sonuçları.	107
Çizelge 4.22. Çekme dayanımı için S/N oranları.	107
Çizelge 4.23. Distorsiyon miktarı için varyans analizi sonuçları.	108
Çizelge 4.24. Distorsiyon miktarı için S/N oranları.	109

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

L	: Gemi boyu
B	: Gemi genişliği
MPa	: Megapaskal
A	: Amper
s	: saniye
σ_A	: Akma sınırı değeri
σ_C	: Çekme mukavemeti
α_{am}	: Allotromorfik ferrit
α_{ws}	: Widmanstatten ferrit
α_{ac}	: İntergranüler iğnemsiz ferrit

KISALTMALAR

AISI	: American Iron and Steel Institute (Amerika Demir ve Çelik Enstitüsü)
DIN	: Deutch Industrie Normen (Alman Endüstri Normları)
EN	: European Norm (Avrupa Normu)
TL	: Türk Loydu
IACS	: International Association of Classification Societies (Klas Kuruluşları Uluslararası Birliği)
ITAB	: Isı Tesiri Altında Kalan Bölge
TSE	: Türk Standardları Enstitüsü
IIW	: International Institute Of Welding
FEA	: Finite Element Analysis (Sonlu Elemanlar Analizi)
HSLA	: High Strength Low Alloy (Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımli Çelik)
TIG	: Tungsten Inert Gas (Tungsten Elektrot İle Yapılan Metal Kaynağı)
MIG	: Metal Inert Gas (Metal Asal Gaz Kaynağı)
MAG	: Metal Active Gas (Gazlı Metal Ark Kaynağı)
Vb	: Ve benzeri
Vs	: Vesaire
Vd	: Ve diğerleri
\$: Dolar
ÇD	: Çekme dayanımı
Dm	: Distorsiyon miktarı
Bt	: Bağlantı tipi
SS	: Seramiksiz, boşluksuz, çift taraflı bağlantı tipi
S7	: 7 mm boşluklu, seramikli bağlantı tipi
S12	: 12 mm boşluklu, seramikli bağlantı tipi
mm/dk	: milimetre/dakika

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Deniz taşımacılığı, özellikle sanayi hammaddesini oluşturan büyük miktarlardaki yüklerin bir defada bir yerden diğer bir yere taşınması imkânının sağlanması, güvenilir olması, sınır aşımı olmaması (ülkelerin sınırlarına giriş-çıkış), mal kaybının minimum düzeyde olması, diğer kayıpların hemen hemen hiç olmaması, hava, kara ve demiryolu taşımacılıklarına göre daha ucuz olmasından dolayı dünyada en çok tercih edilen ulaşım şeklidir [1].

Dünya ticaretinde yüklerin %90'ından fazlası deniz yoluyla taşınmakta olup, dünyada deniz yoluyla gerçekleştirilen uluslararası ticaret hacmi, her geçen gün süratle artmaktadır. Uluslararası ticarete yaşanan gelişmeler ile dünya deniz ticareti arasında doğrudan bir ilişki söz konusudur [2]. Küresel anlamda denizciliğin önemi deniz aşırı ülkeler arasındaki ticaretin önemiyle artmaktadır. Dünya üzerindeki mal hareketi için deniz ulaşımı ve deniz ulaşımı için de gemiler şarttır. Bu durum gemilerin tasarımının, inşasının ve işletilmesinin önemini artırmaktadır.

Gemi inşaatı genel hatlarıyla ülke ekonomisine, iş gücüne ve dünya ticaretine olan katkısıyla kendine has özelliklere sahip, emek ve sermayenin yoğun olduğu bir sanayi koludur. Gemi inşa; makine imalat sanayi, elektrik-elektronik sanayi, boya sanayi, lastik-plastik sanayi, demir-çelik sanayi gibi onlarca sanayi kolunun ürünlerini bilimsel ve teknolojik temellere dayalı olarak, belirli bir sistematik ve disiplin içerisinde tersanelerde bir araya getirilerek ve birleştirilerek ürün elde edilen bir sanayi dalıdır. Kısaca gemi imalat sanayii, girdi olarak yarı mamul (çelik levha, boru, kablo vs.) ve yan sanayii ürünlerini (makine, güverte ekipmanları, paneller, vs.) işgücü ile bir bütünsel ürün haline dönüştürme süreci şeklinde özetlenebilir [3].

Günümüzde tersanelerde inşa edilen gemilerde perçinli birleştirmeler vb. eski birleştirme usulleri, yerini kaynaklı birleştirme yöntemlerine bırakmıştır. Söz konusu gemilerin ana gövdesi; sacların, saclardan kesilen parçaların ve çeşitli profillerin birleştirilmesinden oluşmaktadır. Kaynak teknolojisindeki gelişmeler sayesinde, günümüzde çelik gemi inşaatında tamamen kaynaklı birleştirmeler kullanılmaktadır. Kaynaklı birleştirmelerin imalatında ise, gemi inşaatının aşamalarına bağlı olarak değişik kaynak yöntemleri kullanılmaktadır. Ancak kullanılan tüm kaynak yöntemlerinde ısı etkisine bağlı olarak iç gerilmeler ve dolayısıyla distorsiyonlar oluşmaktadır. Çelik gemi imalatında oluşan bu distorsiyonlar, kaynaklı birleştirmelerin mekanik özelliklerini etkileyerek bağlantının mukavemetini azaltmakta ya da bazı kaynak hatalarına sebep olabilmektedir. Bunun yanı sıra kaynaklı birleştirmelerin yorulma ve korozyon dayanımları da olumsuz etkilenmektedir. Ayrıca distorsiyonlar ve deformasyonlar hem estetik açıdan hem de gemi formu açısından sorunlar yaratmaktadır.

Günümüzde gemi inşaatı için çeşitli imalat sıraları belirlenmiş olmasına rağmen, en yaygın kullanım alanı olan sistem, “blok imalatı” sıralı sistemidir. Bu sistemde gemi, tasarım esnasında bloklara bölünür ve bloklar önce birbirlerinden ayrı imal edilir ve daha sonra kızağa veya havuza taşınarak birleştirilirler. Gemiler taşıyacakları yüklerin kimyasal özellik, korozyon, önem, tehlike, sızdırmazlık vb. gibi niteliklerine göre yoğunlukla kullanılan işlenebilirliği yüksek, düşük karbonlu çeliklerden farklı çelik malzemeler kullanılarak inşa edilir. Son zamanlarda, özellikle Kuzey Avrupa açıklarındaki denizlerde keşfedilen petrol kuyularına destek gemileri adı verilen çok amaçlı petrol platformu destek gemileri (petrol supply vessels), bünyesinde birçok farklı çelik malzeme kullanılarak imal edilmektedir. Kullanılan farklı çelik malzemelerden bir tanesi de paslanmaz çeliklerdir. Netice olarak tüm bloklar birleştirilince geminin inşaatı tamamlanmış olur. Blokların birleştirilmesi tamamen kaynakla yapıldığı için yukarıda sayılan olumsuz tüm durumlar bu sırada oluşabilir ve blok bağlantılarının çarpılmalarına neden olabilir. Dolayısıyla kaynak sonrasında, gerilmelerin ve distorsiyonların ortadan kaldırılması veya azaltılması gerekmektedir. Ancak bu işlemler maliyeti arttırdığı gibi fazladan zaman kaybına neden olduğu için teslim tarihlerinde gecikmelere yol açabilmektedir. Bu nedenle kaynaklı birleştirmeler yapılırken ya da yapılmadan önce iç gerilmeleri ve distorsiyonları minimize etmeye

yönelik bazı önlemlerin alınması gerekmektedir. Ancak birçok önlem alınsa bile yapıların karmaşıklığı nedeniyle yine de bazı distorsiyonlar ve deformasyonlar oluşabilmektedir [4].

Yukarıda bahsedilen nedenlerden dolayı gemi mühendisleri, kaynaklı birleştirmeler nedeniyle oluşabilecek tüm bu sorunları en aza indirebilmek için gereken tedbirleri bularak ve uygulayarak, daha sonra ortaya çıkacak düzeltme işlemlerinin ve dolayısıyla imalat maliyetinin en aza indirilmesini sağlamalıdır. Ayrıca, gemilerin çalışması esnasında kaynaklı bağlantılardan dolayı herhangi bir sorun oluşması ihtimalinin önüne geçilmelidir.

1.1. KAYNAK ÖZETİ

Gelişen teknoloji ve araştırma olanaklarının artması ile kaynak çekmeleri hakkındaki öngörülerin avantajlarından yararlanılarak, kaynaklı imalat sektöründe distorsiyona dayalı olumsuzlukları gidermenin yollarının kullanılması mümkün görülmektedir. İmalat sanayisinde metalik malzemelerin yoğunlukla kaynaklı birleştirmelere maruz kalması ve bunun sonucunda bağlantılarda oluşan distorsiyonun analizi ilgili sektör açısından önemlidir. Gemi inşaatı ile birlikte otomotiv sektörü gibi seri üretim gerçekleştirilen ve ülke ekonomisine büyük girdileri olan sektörlerin tamamında, önemli bir husus olan distorsiyon konusundaki iyileştirmeler sayesinde, kalite kontrol, işçilik, termin ve dolayısıyla maliyet konularında büyük ve yeni avantajlar sağlanacaktır.

Büyük yapıların kaynak açısız distorsiyonunu tahmin etmede etkin ve verimli bir yaklaşım olarak, skaler giriş değişkenlerini kullanarak, kaynak bölgesi yakınındaki örgü boyutu üzerinde bir kısıtlama olmaksızın önerilmektedir. Giriş değişkenlerini örgü boyutuna göre dönüştürmek için kuvvet matrisinin açık biçimi sonlu elemanlar teorisine dayanarak türetilir. Önerilen yöntem kolayca uygulanır ve kaynak bozulma analizini gerçekleştirmek için sadece birim kaynaklı bir numunenin ölçülen bozulma oranını ve kullanıcı tarafından tasarlanmış bir örgü sistemi gerektirir. Önerilen yöntem, doğrulama için çeşitli vaka çalışmalarına uygulanmıştır ve sonuçlar, önerilen

yöntemin, kaynak açısız distorsiyonunu etkili bir şekilde tahmin edebildiğini göstermektedir [5].

Jack up petrol sondaj platformu gibi büyük açık deniz yapılarının inşasında kaynak distorsiyonunun nasıl tahmin edileceği veya hafifletileceği her zaman önemli bir mühendislik problemi olmuştur. Genel olarak, kaynak çarpıklığı deneysel model veya sayısal hesaplama ile önceden tahmin edilebilir ve daha sonra gerçek fabrikasyondaki olası kaynak bozulmalarını düzeltmek için pratik teknikler gerçekleştirilir. Jack up petrol sondaj platformu kulesinin konsol girişindeki I kesitli kaynaklı yapının imalatı sırasında olası kaynak bozulması, tahmin ve hafifletme ile incelenerek ilk olarak, elastik bir sonlu elemanlar analizi (FEA) kullanılmış; bu yöntemde, (a) incelenen bütün kaynaklı yapı kaba kabuk elemanlarıyla örgülere ayrılmıştır; (b) Tipik kaynaklı bağlantıların yapısal deformasyonları termal elastik-plastik sonlu elemanlar analizi ile değerlendirilmiş ve kaynak hatlarına yük olarak uygulanmış olacaktır; (c) Arabirim elemanı, tam kaynak işlemi gerçekleşmeden önce montaj prosedürünü temsil etmek için kullanılmıştır. Bu tahmin edilen kaynak distorsiyonlarını ortadan kaldırmak için ters distorsiyon, kaynak sırasının optimizasyonu ve kısıtlama yöntemleri gibi bazı hafifletme uygulamaları gerçekleştirilmiş ve incelenmiştir. Özellikle, kaynak dizisi, montaj prosedüründe düzeltme ve mevcut ana kaynaklı yapının güncellenmiş sertliği ile nihai boyutsal doğruluğu yoğun bir şekilde etkileyecektir [6].

NV E690 çeliğinin lazer-MIG hibrit lazer-ark kaynağı (HLAW), ile birleştirilmesinin mikroyapı ve mekanik özellikleri üzerine yapılan bir çalışmada, hibrit lazer-ark kaynağı, tek paso ve çift paso olarak 15 mm kalınlığında 690 MPa yüksek mukavemetli NV E690 çelik plaka üzerinde gerçekleştirilmiştir. İyi performansla sahip ince kaynak bağlantıları çift paso Hibrit lazer-ark kaynağı ile başarılı bir şekilde elde edilmiştir. Kaynak metali özellikleri, mikroyapı ve mekanik özellikleri (sertlik, çekme mukavemeti, düşük sıcaklık etkisi tokluğu) incelenmiştir. Porozite morfolojisi ve dağılımı Xray mikro bilgisayarlı tomografi ile tespit edilmiştir. Sonuçlar füzyon bölgesinin martenzit ve ferriten oluştuğunu göstermiştir. Füzyon bölgesinin ortalama sertlik değeri, baz malzemeninkinden daha yüksek olmakla birlikte, ısı etki alanından daha düşüktür. Kaynakla birleştirilmiş numunelerin gerilme mukavemeti, esas metalin mukavemetiyle eşleşmiştir. Füzyon bölgesinin nihai çekme mukavemeti 1100 MPa'yı

aşmış, kaynaklı numuneler sünek olarak kırılmamıştır. Füzyon bölgesinde ortalama absorbe edilen enerji, temel malzemenin $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de %46,02'sine ulaşırken, endüstriyel standarttan (%35,8) daha yüksek çıkmıştır. Çift pasolu HLAW örneklerinin kırılma yüzeyi tipik bir kırılma mekanizması olarak ortaya çıkmıştır. Kaynak dikişinin mikroyapı özellikleri ile mekanik özellikleri arasındaki korelasyon analiz edilmiştir [7].

Farklı özellikte ferritik-martenzitik ile AISI 316L paslanmaz çelik arasında kaynaklı birleşimlerinden sonra mikroyapısal gelişimi inceleyen bir çalışmada, elektron demeti kaynağı kullanılmıştır. Kaynak sonrası ısıl işlem esnasında, ısı tesiri altında etkilenen bölge ve kaynak metalinde mikroyapısal gelişim ve mekanik özellik değişimleri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlarda, ferritik-martenzitik- ITAB sertliğinin kaynak sonrası ısıl işlemin artmış sıcaklığı ile azaldığını, kaynak metali sertliğinin ise $620\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de minimum seviyeye düştüğünü ve daha yüksek ısıl işlem sıcaklıklarında arttığını göstermiştir. Bu, kaynak sonrası ısıl işlemler sırasında kaynak metalindeki güç değişimleriyle tutarlıdır. Mikroyapısal gözlemler ve bununla uyumlu faz diyagramı hesaplaması, iki temel ana metalinin karıştırılmasının, kaynak metalinin nikel içeriğinin, iki faz bölgesini büyüttüğünü ve benzer ferritik martenzitik çelik kaynak bağlantısına kıyasla kaynak metalini (ferritin östenite dönüşümünün başlangıcı) düşürdüğünü göstermiştir. Böylece, ters östenit dönüşümü ve müteakip martenzit dönüşümü, daha yüksek sıcaklık ısıl işlemine tabi tutulan numunenin kaynak metalinde meydana gelmiş, ITAB'da herhangi bir dönüşüm olmamıştır. Bu etki, kaynak sonrası ısıl işleme karşılık gelen kaynak metali sertliği ve mukavemetindeki değişiklikleri de açıkça göstermiştir. Benzer olmayan bir kaynak bağlantısında hem ita ITAB hem de kaynak metalinin optimize edilmiş özellikleri, iki aşamalı kaynak sonrası ısıl işlemle elde edilmiştir [8].

Taguchi metoduna dayalı kaynak mukavemetini artırmak için haç şekilli Ti6Al4V malzemesinin TIG kaynaklı bağlantılarının kaynak parametrelerinin optimizasyonu üzerine yapılan bir çalışmada, Ti6Al4V malzemelerinin TIG kaynaklı numunelerinin en üst çekme gerilmesini elde etmek için optimum kaynak parametrelerini incelenmiştir. Bir dizi numune Taguchi metodu bazlı denenmiştir. L9 ortogonal sıra deneylerinin farklı seviyelerdeki kaynak akımı, kaynak hızı ve kaynak voltajı gibi

kaynak parametrelerini yürütmek için kullanılmıştır. Her birinin ve bütün parametlerin kaynak kalitesi üzerinde farklı etkisi vardır. Çekme testleri 25 KN'luk bir yük aralığında çekme test cihazında yapılmıştır. Kaynak üzerindeki nihai yüklerin değerini ve kaynak mukavemeti üzerinde kaynak parametrelerinin etkisini tanımlamak için varyans analizi (ANOVA), sinyal-gürültü oranı (S/N oranı) ve S/N oranı için grafiksel ortalama etki grafikleri, işlem parametrelerinin optimal seviyesini araştırmak için kullanılmıştır [9].

Katı İzotropik Mikroyapı ile Penalizasyon (SIMP) yöntemine dayanan nokta kaynaklı yapılar için yapılan bir araştırmada, bir optimizasyon prosedürü önerilmiştir. Kaynaklı levhalar, geleneksel ayırık elemanlar yerine sürekli katı malzemeler ile bağlanır ve artık bağlantı malzemesini çıkarmak için SIMP yöntemi ile bir topoloji optimizasyonu kullanılmıştır. Mevcut optimizasyon prosedürü, nokta kaynaklı yapılar için en uygun sayıda ve nokta kaynaklarının dağılımını tahmin edebilir. Beyaz gövdedeki çift şerit kaynaklı kiriş ve D şekilli sütun birleşimleri uygulamaları, önerilen optimizasyon prosedürünün, spot (nokta) kaynaklı yapılarda nokta kaynaklarının yeniden dağıtılması için iyi kılavuzlar sağladığını göstermektedir. Beyaz gövdenin nokta kaynak optimizasyonu, sonlu elemanlar modeli üzerinde yapılmıştır. Modeli doğrulamak için, sonlu elemanlar analizi ve burulma sağlamlığı teçhizat testi, her iki FEA ve teçhizat testinin aynı sınır koşulları altında gerçekleştirildiği beyaz gövde üzerinde gerçekleştirilmiştir. FEA ve deney arasındaki tatmin edici bir benzerlik, mevcut yöntemin yeteneklerini ve etkinliğini göstermektedir [10].

Tozaltı ark kaynaklı I kirişlerin bükülme distorsiyonunun kontrolü ve optimizasyonu üzerine yapılan bir çalışmada, bükme distorsiyonunu en aza indirmek için kaynak parametrelerini optimize etmek amacıyla, I-kirişler üreten bir üretim tesisinde doğrudan deneyler yapılmıştır. Çalışmada “bükülme distorsiyonu” cevabını etkileyen önemli parametreleri saptamak için deney tasarımı ve varyans analizi (ANOVA) yöntemlerini kullanmıştır. Kaynak gerilimi, tel besleme hızı ve kaynak ilerleme hızı üç blokta üç seviyeli tam faktöriyel tasarım gerçekleştirilerek incelenir. I-kirişin (web ve flanş boyutları) özelliklerine dayanarak, hedef, bükme distorsiyonunu en aza indirgeyebilecek tozaltı kaynak makinesinin parametrelerini doğru bir şekilde seçmek olarak belirlenmiştir [11].

A grade çelik malzemelerle yapılan bir araştırmada, gemilerin imalatının büyük bir bölümünde kullanılan üç farklı kalınlıkta Grade A gemi sacları, tozaltı ark kaynak yöntemi ile birleştirilmiştir. Kaynaklı bağlantıların dayanımlarının belirlenmesi için numunelere çekme ve çentik darbe testleri uygulanmış, ayrıca numuneler üzerinde sertlik ve mikroyapı çalışmaları gerçekteştirilmiştir. Çekme testleri sonucunda tüm numunelerde kopma esas malzemede gerçekteşmiştir. Çentik darbe testleri sonucunda en yüksek darbe çentik değerleri esas metalde elde edilmiş ve onu sırasıyla ITAB ve kaynak metali takip etmiştir. Bütün kaynak parametrelerinde, kaynak metali sertliğinin ITAB ve esas metalden yüksek olduğu görülmüştür [12].

İnce levhaların birleştirilmesi üzerine yapılan bir çalışmada, desteklenmiş panellerin yapımında burkulma olgusu üzerine bir araştırma yapılmıştır. Kaynak uyarımlı baskı gerilmelerini hesaplamak için analitik formüller kullanılmıştır. Gemi yapım uygulamasında kullanılan tipik desteklenmiş paneller için uygun burkulma katsayısı dikkate alınarak kritik burkulma gerilmeleri hesaplanmıştır. Deneysel sonuçlar analitik sonuçlarla karşılaştırılmış ve neredeyse aynı olduğu görülmüştür. Burkulma azaltma konusunda panel tasarımının yanı sıra termomekanik gerdirme şeması incelenmiştir. Plaka kalınlığı ile birlikte uygun destek laması aralığı seçerken burkulma distorsiyonunun önemli ölçüde azaltılabileceği gözlenmiştir. Termomekanik gerdirme yoluyla distorsiyonun azaltılmasının, çarpılma kontrolünün burkulması için etkili ve basit bir yöntem olduğu da bulunmuştur. Bununla birlikte, termomekanik gerdirme yönteminin tam olarak kurulmasına yönelik daha fazla araştırma yapılması gerektiği düşünölmüştür. Bu yöntem oluşturulduktan sonra, ön germe tekniği, desteklenmiş panellerde burkulma distorsiyonunu önlemek için aktif bir süreç içi kontrol yöntemi olarak uygulanabilir [13].

Farklı kalınlıktaki ince paslanmaz çelik levhaların alın kaynağı üzerine yapılan bir araştırmada, kaynak deformasyonu simöleasyonu elde etmek için, üç boyutlu bir termal elastik-plastik sonlu elemanlar modeli geliştirilmiştir. Bu modelde flanş kalınlığının kaynak deformasyonuna etkisi araştırılmıştır. Fakat bütün bu modeller büyük yapıların analizi söz konusu olduğunda ihtiyaca cevap verememektedir. Termal etkilerden kaynaklanan deformasyonu bulmak karmaşık bir termal elasto-plastik problemi çözmeyi gerektirmektedir. Bu problem nonlinear olup, ortamın zamanla ve uzaklıkla

değişen sıcaklığına da bağlıdır. Araştırmacılar, analitik çözümlerin bu yüzden yetersiz olduğunu belirtmişlerdir [14].

Tozaltı ark kaynak yöntemi ile kaynaklanan AISI 1025 çeliğinin mikro yapı ve çekme özelliklerine toz (flux) kompozisyonunun etkilerini araştıran bir çalışmada, üç farklı toz kompozisyonu, düşük karbonlu elektrod ile kullanılmıştır. Çalışmada kaynak şartları sabit tutulmuştur. Çekme testleri oda sıcaklığında yapılmıştır. Kaynakların mikro/makro yapı testleri optik ve taramalı elektron mikroskopunda (SEM) gözlemlenmiştir. Yüksek titanyum oksit içeren kaynakların tozlarında asiküler ferritin varlığı tespit edilmiştir. Yüzde uzama ve kesit daralmasının, inklüzyon hacim yüzdesinden etkilendiği belirtilmiştir. Çekme özellikleri ve mikro yapı bilgisayar programlarında tahmin edilen değerler ile karşılaştırılmıştır [15].

Lazer kaynağı ile birleştirilmiş SA508 nükleer basınç gemisi çeliği üzerine yapılan bir araştırmada, 6 mm kalınlığında SA508 CL3 çelik levhalar otojen lazer kaynağı ile birleştirilmiştir. Mikroyapı ve mekanik özellikler (mikrosertlik, çekme testi, çenrik darbe testi ve uzama gibi) yapılmış, ark kaynağı boyunca mikroyapılar mukaye edilmiştir. Hareketli bir volümetrik ısı kaynağı modeline dayanan üç boyutlu geçici bir model de prosesin içerdiği soğutma hızlarını tahmin etmek için lazerle kaynak termal döngülerini simüle etmek üzere geliştirilmiştir. Ön sonuçlar, lazer kaynak işleminin, makroskopik kusurlardan arındırılmış kaynak üretebildiğini gösterirken, bu çalışmada lazer kaynaklı bağlantının mukavemeti ve dayanıklılığı, kaynak yapıldığında ana malzeme için elde edilen değerleri ile eşleşmiştir [16].

Sualtı lazer kaynağı ve AISI 304 paslanmaz çelik levhalar üzerine yapılan bir çalışmada, sualtı lazer kaynağı distorsiyonunu merkezi kompozit döndürülebilir tasarım ile değerlendirmek için ikinci dereceden bir yanıt modeli oluşturulmuş ve kaynak parametrelerinin (lazer gücü, kaynak hızı, odak uzaklığı ve akış oranı gibi) kaynak distorsiyonu üzerindeki etkilerinin sırası ortogonal bir test ile incelenmiştir. Kaynaktan sonra kaynak distorsiyonu, dijital görüntü korelasyon tekniği ile belirlenmiştir. Hava lazerli kaynak ve sualtı lazer kaynağında kaynak distorsiyonu karşılaştırılmıştır. Hava ve sualtı lazerle kaynakla birleştirilmiş örneklerin şeklinin aynı olduğu, ancak hava kaynağındaki kaynak distorsiyon miktarının sualtı

kaynağından daha büyük olduğu ortaya çıkmıştır. Kaynak distorsiyon mekanizması, dijital görüntü korelasyon tekniği ile incelenmiş ve lazer kaynağında kaynak distorsiyonunun kaynak plakası sıcaklık gradyanı ile ilişkili olduğu gösterilmiştir. Daha geniş kaynak genişliği, daha büyük kaynak distorsiyonu ile sonuçlanmıştır [17].

Bir geminin kaynak sebepli deformasyonları ile ilgili olarak yapısal parçalarının üretim şeklinin tasarlanması üzerine yapılan bir çalışmada, bir braketin tasarım şekli termo- elastik bir metot yerine saf bir geometrik metot kullanılarak tasarım olarak karşı-deformasyona uğratılmıştır. Sahada elde edilen verilere göre deformasyon miktarı tahmin edilmiş ve teklif edilen geometrik metoda göre orijinal tasarım şekli kullanılarak bir üretim tasarım şekli elde edilmiştir. Yeni elde edilen bu tasarım şekline sahip braketin sahada uygulanabilirliği bir operatör tarafından test edilmiş ve olumlu sonuç alınmıştır [18].

Suüstü hafif savaşçı gemilerinin üretiminde fazla kaynak ve distorsiyonu azaltmaya yönelik gerçekleştirilen bir çalışmada, yapı maliyetleri sebebiyle ve gelişen teknoloji ile yeni tasarımlar neticesinde A.B.D.'deki gemi inşa sanayinde, tasarımda yüksek mukavemetli ince çelik kullanımı artmıştır. Devamında boyut yönetimi, inşaat maliyetlerini ve gemi üretimini planlamak da kritik önem kazanmıştır. Daha ince çelikler kullanan yeni tasarımlar, hafif malzemelere uygun olmayan boyutlarda kaynak yapılmasına neden olabilecek eski kaynak boyutlandırma kriterlerine tabidir. Bu iki faktör, gemi inşaatı esnasında deniz araçlarında çokça levha distorsiyonuna neden olan yaygın aşırı kaynak ile sonuçlanır. Aşırı kaynağın iki sebebi vardır; 1-1980'lerde geliştirilen kaynak boyutlandırma yöntemlerinin çoğu hala kullanılmaktadır. 2- Tersane kaynakçıları, üretim özelliklerini karşılamak için tasarım gerekliliklerinden bile daha büyük kaynak yapma eğilimindedir. Bu iki ana probleme karşı bu çalışmada iki ana çözüm önerisi sunulmuştur; 1- İnce levha yapıları için uygun kaynak boyutlandırma kriterleri geliştirmek; bu yapısal kaynakların yeterli statik kesme, çekme, eğilme, yorulma ve dinamik darbe kapasitesini sağlamak için sayısal modelleme ile kolaylaştırılabilir. 2- Küçük kaynak boyutlarının geminin tasarım servis ömrünü karşılamak için gerekli performans ve gücü sağlayacağına dair güven oluşturmak için sağlam bir tasarım deneyi gerçekleştirmek ve aşırı kaynağın

önlenmesi için gemi üretiminde düşük kaynak tolerans uygulamasının desteklenmesi için A.B.D. Deniz Sistemleri Komuta Merkezi (NAVSEA) teknik veri sağlamak [19].

1.2. PROBLEMİN TANIMLANMASI

Kaynak işlemleri ve gemi inşaatı kavramlarının bir araya gelişi I. Dünya Savaşından sonra gerçekleşmiştir. Saclar gemilerde ilk olarak 19.yy'da kullanılmış olup, "Aaron Manby" İngilizlerin 1821 yılında yaptığı ve buharla çalışan ilk gemi olarak tarihe geçmiştir [20]. Fakat tamamı kaynaklı birleştirmeden meydana gelen ilk gemi 1907 yılında yine İngilizlerin yaptığı "Fulagar" isimli gemidir [21]. Özellikle Birinci Dünya Savaşı'ndan sonra, kaynak tekniği, ilerlemesini sağlamlaştırmış ve tamir yöntemi olmanın yanında, üretim aracı haline de gelmiştir [22]. II. Dünya Savaşı sırasında ise asıl gelişme yaşanmış ve İngiltere "Empire" adı verilen bir seri gemi inşa etmiştir [23]. Daha büyük bir atılımı A.B.D. gerçekleştirmiş, o zamana kadar gemi inşasında perçinli birleştirme kullanan A.B.D., kaynak teknolojisini kullanarak 5000'den fazla çeşitli savaş gemisi inşa etmiştir [24]. Kaynak tekniğinin özellikle II. Dünya Savaşından sonraki hızlı gelişmesi, dünya milletleri arasında 1948 yılında "Uluslararası Kaynak Enstitüsü"nü (International Institute of Welding IIW-Institut International de la Soudure MS) kurulmasına sebep olmuştur [25] ve kaynak teknolojisinin bugünkü gelişimine büyük katkı sağlamıştır. II. Dünya Savaşında sırasında A.B.D. tarafından inşa edilen "Liberty" serisi gemilerin bir kısmı belirlenemeyen bir nedenden ötürü aniden ortadan ikiye bölünerek batmıştır ve birçoğu da hasar görmüştür [26]. Birkaç yıl süren araştırmaların ardından olayın sebebinin, geminin çok rijit ve çok az plastik şekil değiştirebilen bir çelik türünden imal edilmiş olduğu anlaşılmıştır. Hidrojen gevrekliği olarak da açıklanabilen bu durum, genellikle kübik hacim merkezli, yüksek mukavemetli metalik malzemelerde görülür. Kaynak işlemi sırasında oluşan, yüksek sıcaklıkların etkisi ile malzeme yüzeyinde, nemli elektrotta veya kaynak atmosferinde de bulunan hidrojen atomları metal bünyesindeki boşluklara girerek yerleşirler. Bu boşluklarda molekül haline geçerek difüzyon özelliğini kaybederler ve büyük bir basınç oluşturarak mikro çatlamların başlamasına en önemli sebep olarak gösterilirler. Metalik malzemenin bünyesine hidrojen absorbe olması neticesinde süneklik ve çekme mukavemetinde ciddi bir düşüş yaşanır [27–33]. Bu arada gemi güvertesi ısınma sonucu genişmekte, buna karşılık su altında kalan kısım, suyun

sıcaklığının yaklaşık sabit kalmasından dolayı aynı kalmakta ve gerilmeler oluşmaktadır, bunu takiben de gemi sanki katlanıyormuş gibi bir etkiye maruz kalmaktadır. Bu gerilmeler var olan mikro çatlakları veya kaynak hatalarını genişleterek çatlak oluşturmakta ve bu çatlaklar kaynak boyunca ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) de hızla ilerleyerek gemiyi iki parçaya ayırmıştır [34]. Bu olay gevrek kırılma, kaynak kabiliyeti gibi kaynaklı bağlantıların mekanik özelliklerin önemini ve günümüzde tekne yapım çeliklerine ve kaynak teknolojisine ışık tutmuştur.

“Liberty” hadisesinden sonra istenen mekanik özelliklerde tekne yapım çelikleri adı altında birçok sac geliştirilmiştir. Öyle ki her gemi sınıflandırma cemiyetinin öncesinde kendine özgü farklı tekne yapım çelikleri olmasına karşın, 1959 yılında önemli gemi sınıflandırma cemiyetleri bu olaya bir standardizasyon getirerek ortak bir kalitede buluşmuşlar, A, B, C, D ve E kalite olarak tekne yapım çelikleri olarak sınıflandırılmıştır [35]. Bu kalitedeki çelikler normal mukavemetli düşük karbonlu az alaşımlı yumuşak çeliklerdir. Ağırlıktan tasarruf etmek amacıyla bu çeliklere bazı alaşımlar eklenerek yüksek mukavemetli az alaşımlı (HSLA) çelik elde edilerek de kullanılmaktadır [35,36]. Gemiler dinamik yükler altında çalıştıklarından dolayı kaynaklı bağlantıların yeterince emniyetli ve güvenilir olması istenir. Geçmişte örtülü elektrod ile ark kaynağı, basit uygulama şekli ve kullanımı kolay makinelerle olması nedeniyle çok kullanılmıştır. Fakat gelişen teknolojiyle bu yöntemin birçok dezavantajı tespit edilmiş ve sonrasında yarı-otomatik bir kaynak yöntemi olan MIG-MAG kaynak yöntemi kullanılmaya başlanmıştır. MIG-MAG kaynağında sürekli bir tel elektrod bulunması kaynak hızının artmasına, ısı girdisinin azalmasına, otomasyon sistemlerine rahatlıkla uygulanmasını sağlamıştır. Bu yöntemde kullanılan kaynak makinelerinin yatay karakteristikli olması, kaynak parametrelerinin ayarlanmasına yardımcı olduğundan, kaynakçıların kullanmasını da kolaylaştırmıştır [25]. Tozaltı yöntemi ise genellikle panel yapılmak istenen iki farklı sacın alın birleştirmesinde tercih sebebidir. Yüksek akımla kaynak yapılması tercihi, yüksek nüfuziyeti beraberinde getirmiştir. Dikiş görüntüsü diğer kaynak yöntemlerine göre çok daha iyidir [37–40].

Kaynak yöntemi ve kaynak parametreleri kaynak kalitesini doğrudan etkileyen faktörlerdir. Farklı kaynak yöntemleri ve parametreleri ısı girdisini değiştireceğinden,

buna bağlı iç yapı ve mekanik özellikleri de deęiŒecektir. İç yapı ve mekanik özelliklerdeki deęiŒim nihayetinde artık gerilmelerin, kaynak çekmelerinin ve distorsiyonların oluŒumuna sebep olur. İki parçanın birleŒtirilmesi sırasında kaynak çekmelerinden dolayı oluŒan kısıalma önemli gibi gözükmese de büyük panellerin inŒası sırasında, çok karmaŒık yapıdaki blokların imalatında ve bunların birbirine eklenmesi sürecinde, çok sayıda ek yeri olmasından dolayı oluŒan toplam kısıalma önem arz etmektedir. Gemi inŒasında faaliyet gösteren iŒletmeler, bu olumsuzluğu panelleri oluŒturan kenar saclara ve bloğun diğer bloklara ekleneceği yerlere +50 mm fazlalık vererek gidermektedir [41–44].

Gemi inŒa konusunda geliŒmiŒ, özellikle Amerika ve Japonya gibi ülkelerde, engellenebilir olan her türlü malzeme ve iŒlik kayıplarını ortadan kaldırmak amacıyla alt yapılarını otomize bir sisteme göre kuran iŒletmeler bulunmaktadır. Bu iŒletmeler, geminin tamamı dŒnldęnde önemli bir maliyeti bulabilen +50 mm fazlalıklardan kurtulmak için kaynak çekmeleri üzerine araŒtırmalar yaparak fazlalığı bir miktar azaltmıŒlardır. Türkiye'deki gemi inŒa sanayinin henüz tam olarak otomize olmadığı, iŒ eğitiminin ve tersane altyapılarının henüz yeterli seviyeye gelmediği göz önüne alındığında, bloklarda yapılan aksenal kayma hatalarını kapatmak için yukarıda bahsedilen +50 mm fazlalık aktif bir Œekilde kullanılmaktadır.

Bu bağlamda kaynak çekmelerinin doğasının anlaŒılması ve bir öngörü geliŒtirilmesi, malzeme sarfiyatı ve iŒlik giderlerini azaltmanın yanı sıra saha Œartlarına daha uygun tasarımların yapılmasına ve iŒin tekrar edilmesinin azaltılmasına önemli bir katkı sağlayacaktır.

1.3. ALIŒMANIN AMACI

Kaynak iŒlemi sırasında meydana gelen ısı girdisi sebebiyle oluŒan kaynak çekmelerini tam olarak engellemek maalesef mümkün değildir. Ancak kaynak çekmelerinin mekaniğini inceleyerek onun tabiatını öğrenmek ve böylece bu çekmeleri hesaba katan bir yol takip etmek mümkündür. Kaynak ekme miktarının tahmini özellikle otomotiv gibi seri ve profesyonel üretim yapan sektörlerde her zaman önemli bir konu olmuŒtur.

Gemi inşa sanayinde ise özelde iki parçanın birleştirilmesi sırasında kaynak çekmelerinden dolayı oluşan kısıalma önemli gibi gözükmesine de büyük panellerin inşası sırasında, çok sayıda ek yeri olmasından dolayı oluşan toplam kısıalma önem arz etmektedir. Gemi inşasında faaliyet gösteren işletmeler, bu olumsuzluğu panelleri oluşturan kenar saclara ve bloğun diğer bloklara ekleneceği yerlere +50 mm fazlalık vererek gidermektedir. Fakat özellikle yukarıda belirtildiği gibi gemilerin inşası blok imalatı sistemine dayandığı için, kızakta blokların birbirine birleştirilmesi esnasında ortaya çıkabilecek tolerans hataları, distorsiyonlar vb. gibi olumsuz durumlar, bir bloğun yapısal karmaşıklığı sebebiyle önceden kestirilmesi çok zor durumlardır. Kızağa imalata gelen blokların ise o andan itibaren geriye dönüşü mümkün olmayan hatalara sebebiyet vermektedir. Geriye dönüşü mümkün olanların büyük çoğunluğunun ise kızaktaki onarımı yüksek maliyetlerle gerçekleştirilebilmektedir.

Bu çalışmada özellikle son yıllarda Türkiye’de önemli bir pazara sahip olan açık deniz destek gemilerinin inşası esnasında kullanılan iki farklı kalitedeki çelik malzemelerin kendi içlerinde ve birbirleri arasındaki etkileşimler incelenerek yapısal ve distorsiyon açısından bir optimizasyon çalışması yapılmıştır. Bu bağlamda kullanılan kaynak parametrelerinin optimum değerlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla; özellikle Türkiye’de üretilen açık deniz destek gemilerinin inşasında yoğunlukla kullanılan AH36 kalite düşük karbonlu çelik ile AISI 316L kalite paslanmaz çelik malzemelerinden hazırlanan kaynak numuneleri ve seçilen kaynak parametrelerinde tozaltı kaynak yöntemi ile birleştirmeler yapılmıştır. Söz konusu gemilerin bünyesinde özel kimyasal sıvıları taşıma amaçlı gemi bünyesine bütünleşmiş paslanmaz tanklara çokça rastlanmaktadır. Kaynaklı birleştirme işlemleri, zaman tasarrufu ve maliyetlerin düşürülmesi amacıyla bir deney tasarımı (Taguchi) yöntemine göre gerçekleştirilmiştir. Kaynaklı birleştirmelerin kalitesi, çeşitli tahribatlı ve tahribatsız muayene yöntemleri kullanılarak kontrol edilmiştir. Deneysel verileri incelenerek kaynak dikişi, kaynak mukavemeti vb. kaynak çıktılarının kaynak parametreleri ile ilişkilerini araştırılmıştır. Ayrıca, kaynak maliyetini ve kaynağın neden olduğu durumları etkileyen kaynak parametrelerinin optimizasyonu ile zaman ve maliyet açısından ilgili sektör işletmelerine fayda sağlanması hedeflenmektedir.

1.4. TEZİN KAPSAMI

Tez çalışması toplam beş bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde, konu hakkında kısaca bilgi verilmiş, mevcut çalışmada problemin tanımlaması yapılmış, çalışmanın amacı ve tez ana hatları belirtilmiştir.

İkinci bölümde, kaynaklı birleştirmelerde oluşan gerilmelerin ve distorsiyonların oluşumları doğasının anlaşılması için genel bilgiler verilerek gemi inşasında sıklıkla kullanılan çelik çeşitleri ve kaynak yöntemlerinden bahsedilmiştir.

Üçüncü bölümde, bu çalışmada kullanılan malzemeler ve özellikleri hakkında bilgiler verilmiştir. Deneyleerde kullanılan numunelerin hazırlanma süreçleri, deneyleerinin uygulanması hakkında bilgiler verilmiştir.

Dördüncü bölümde, deney sonuçları paylaşılmış ve değerlendirmeler yapılarak kaynak parametrelerinin etkileri gözlemlenmiştir. Ayrıca kullanılan malzemelerin davranışları ve uygulama yöntemleri hakkında detaylı değerlendirmeler yapılarak gerilmeler ve distorsiyonlara etkisi ve optimize edilmesi noktasında öngörüler verilmiştir.

Beşinci bölümde, elde edilen sonuçlar yorumlanmış ve yapılan katkılar bir arada sunulmuştur. Gelecek çalışmalara yön vermesi açısından bazı önerilerde bulunulmuştur. Öneriler gemi inşası ve distorsiyonlar için ayrı ayrı ifade edilmiştir.

BÖLÜM 2

KAYNAKLI BİRLEŞTİRMELERDE GERİLMELER, DİSTORSİYONLAR VE OLUŞUM NEDENLERİ

Bu bölümde ilk olarak iç gerilmeler ve distorsiyonlar açıklanarak çalışmanın temel amacı olan malzeme karakterizasyonunun anlaşılması amaçlanmaktadır. Bu bağlamda iç gerilmeler ve distorsiyonların nedenleri, kaynak birleştirmelerine etki eden faktörler ve kaynak sonrası alınması gereken önlemler anlatılarak, gemi inşasındaki kaynaklı bağlantılarda meydana gelen distorsiyon konusuna değinilmiştir.

En genel tanımlama olarak, bir kaynaklı parçada tüm dış yükler kaldırıldıktan sonra kalan gerilmelere artık gerilmeler adı verilmektedir. Homojen olmayan sıcaklık değişimine maruz kalan bir yapıda meydana gelen gerilmeler ise ısıl gerilmeler olarak da tanımlanabilmektedir [4].

Kaynak işleminin doğası gereği malzemeler lokal olarak ergime sıcaklığından daha yüksek bir sıcaklığa kadar ısıtılır. Ancak soğuma işlemi, ısıtma işlemine kıyasla daha yavaş gerçekleşir. Isıtma ve soğuma işlemleri arasındaki bu farklılıklar sonucunda kaynak ile birleştirilen malzemelerde artık gerilmeler ve distorsiyonlar oluşur.

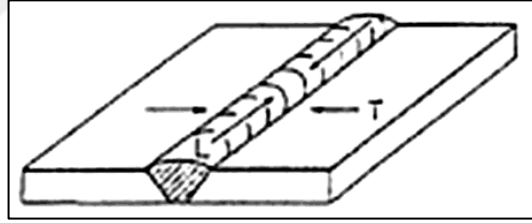
Kaynak işlemi ile lokal olarak ergime sıcaklığına kadar ısıtılan kaynaklı parçalarda, soğuma işlemi parça genelinde ve ısınma işlemi hızına nazaran daha yavaş meydana gelmektedir. Bu sebepten dolayı, soğuma işlemi esnasında kaynaklı parçadaki sıcaklık dağılımı homojen olmamaktadır ve bağlantı boyunca yapısal ve metalürjik değişiklikler ortaya çıkabilmektedir.

Soğuma işleminin başlamasıyla, kaynak metali ve kaynak metaline bitişik ısının etkisi altındaki bölgenin sıcaklıkları, esas metalin sıcaklığından çok daha yüksek olmaktadır.

Kaynak dikişi katılaşıp, büzülürken, kendisini çevreleyen esas metal, ısı etkisi altındaki bölgeye gerilme uygular. Kaynak metali, katılaşmanın başlangıcında sıcaktır ve mekanik özellikleri esas metale nazaran daha zayıftır. Bu sebeple uyguladığı gerilmenin değeri düşüktür. Kaynak bölgesinin sıcaklık değeri ortam sıcaklığına ulaşana dek uygulanan gerilme değeri artmaya devam eder ve esas metal ile ısının etkisi altındaki bölgenin akma dayanımına kadar ulaşır.

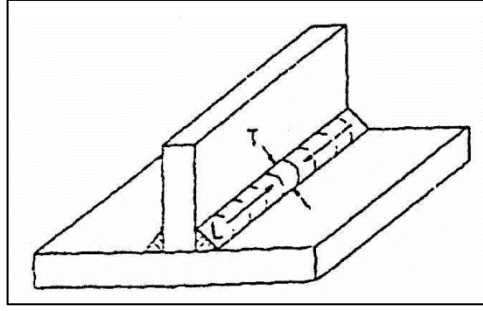
Kaynak işlemi esnasında, yeni katılaşan bölgeler, kaynak dikişinin diğer bölgelerinin büzülmesine engel olurlar. Şekil 2.1’de gösterildiği gibi, ilk kaynak yapılan bölgeler kaynak dikişi doğrultusunda çekmeye zorlanırlar.

Alın birleştirmelerde, kaynak ağız formundan ya da mevcut pasoların sınırlayıcı etkisinden dolayı kaynak bölgesinin enine hareketi hiç yok denecek kadar azdır. Kaynak dikişindeki büzülmenin neticesinde Şekil 2.1’de görülen enine gerilmeler ortaya çıkacaktır [4].



Şekil 2.1. Alın kaynaklarında oluşan enine ve boyuna artık gerilmeler.

İ köşe kaynaklarında, kaynak dikişinde meydana gelen gerilmeler Şekil 2.2’de gösterilmiştir. Büzülme neticesiyle meydana gelen bu gerilmeler, kaynak yüzeyine dik ve paralel çekme gerilmeleridir.

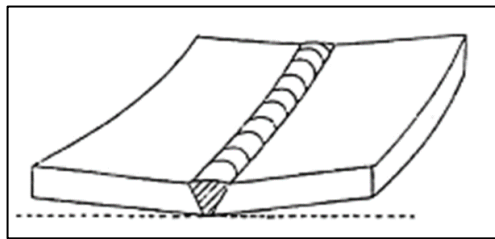


Şekil 2.2. İç köşe kaynaklarında oluşan enine ve boyuna artık gerilmeler.

Kaynak işlemi neticesinde kaynaklı parçalarda meydana gelen gerilmeler ya distorsiyona yol açarlar ya parçada erken hasar vermeye neden olurlar ya da her ikisine de sebep olmadan sadece iç gerilme olarak kalmaya devam edebilirler. Bu etkiler ayrı ayrı gerçekleşebileceği gibi aynı anda da parçada meydana gelebilir.

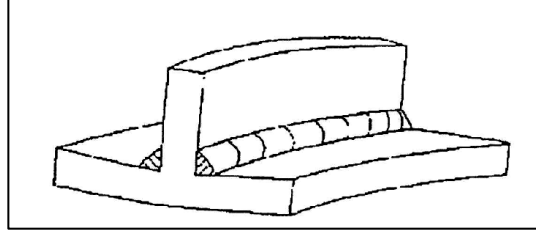
Kaynak işlemi neticesinde ısınan kaynak bölgesi homojen olmayan büzülme davranışı gösterir, çünkü kaynak dikişinin enine kesitindeki büzülme, bu enine kesite değişken kuvvetler uygular ve böylece büzülme miktarları eşit olmaz. Sonuç olarak distorsiyon meydana gelir. Kaynaklı parçalar gerilmeler neticesinde elastik olarak şekil değiştirir ve parçada gözle görülebilecek oranda distorsiyonlar meydana gelir.

Alın birleştirmelerde, kaynak dikişinin üst bölgesi, kaynak kök bölgesine kıyasla daha fazla büzülür. Bu sebeple bu tip kaynaklı birleştirmelerde uzunlamasına ve enine distorsiyonlara ek olarak açısız distorsiyonların etkileri de Şekil 2.3’de gösterilmiştir [4].



Şekil 2.3. Alın kaynaklarında oluşan açısız distorsiyon.

İç köşe kaynaklarında Şekil 2.4'te görülebileceği gibi alın kaynağındakine benzer enine, boyuna ve açılmal distorsiyonlar görülebilir [4].



Şekil 2.4. İç köşe kaynaklarında oluşan distorsiyon.

Farklı metotlarla, kaynak işlemi neticesinde oluşacak distorsiyonların önüne geçilebilir. Bu metotlardan birinde parça kaynak işlemi sonunda oluşması istenen şekle göre yerleştirilir veya kaynak işlemi esnasında distorsiyona uğraması önlenir. Bir başka metotta ise; kaynak metali, simetri ekseninin her iki tarafında kontrollü olacak şekilde konstrüksiyon dizayn edilir ve bu tasarım doğrultusunda kaynak yapılır. Seçilen kaynak yöntemi ve kaynak sırası, distorsiyon ve artık gerilme oluşumunda çok etkili parametrelerdir. Distorsiyona uğrayan kaynaklı parçalar eğer gerek görülürse, kaynak işleminden sonra ısıl işlemlerle düzeltilir. Kaynaklı parçada meydana gelen artık gerilme ve distorsiyonlar, malzemelerin kırılma davranışını etkiler.

Düşük değerlerdeki harici gerilmelerde bile burkulma ve gevrek kırılma ortaya çıkabilir. Parçada artık gerilme ve distorsiyonların birlikte olması halinde, burkulma beklenenden çok daha düşük basma zorlamalarında ortaya çıkar. Çekme halinde ise, düşük tokluğa sahip kaynak bölgelerinde artık gerilmeler yüksek lokal gerilmelere neden olur ve sonuç olarak düşük değerlerdeki gerilmeler tarafından ilerletilebilen gevrek tip çatlaklar meydana getirilebilir. Bunun yanında artık gerilmeler yorulma ve korozyon hasarlarının da artmasına sebep olur [4].

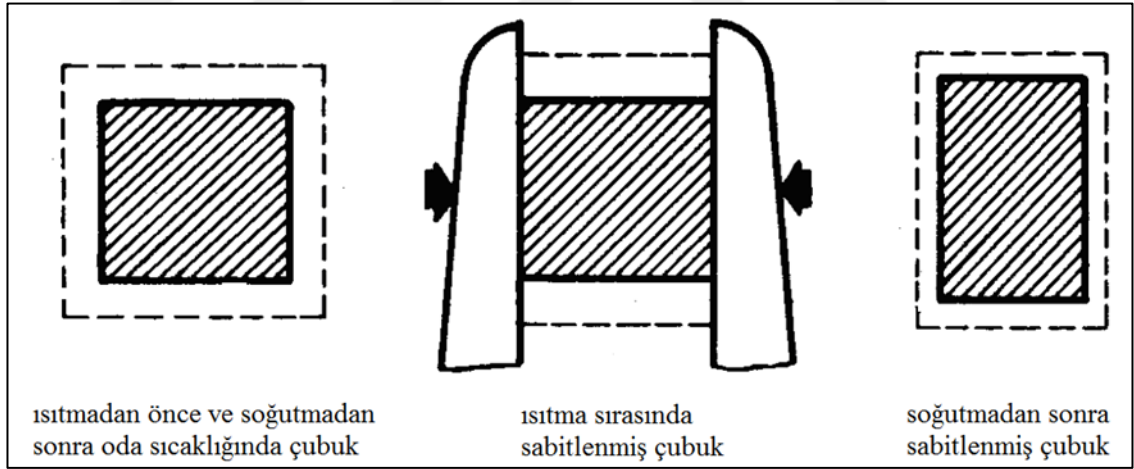
Kaynaklı parçalarda, kaynak işlemi neticesinde meydana gelen artık gerilmeleri azaltmak için ısıl işlemler parçaya uygulanabilir. Isıl gerilim giderme işlemlerinde malzemenin akma sınırı, plastik şekil değişiminin oluşabileceği daha düşük seviyeye düşürülür ve böylece gerilmeler azaltılır. Isıl gerilim giderme işlemlerinden parçanın mekanik özellikleri de etkilenir. Örneğin, kaynaklı parçada ısının etkisi altındaki bölge (ITAB)

temperlenerek kaynak dikişindeki artık gerilmeler azaltıldığında, çelik parçaların gevrek kırılmaya karşı direnci artar.

Kaynaklı metal yapılarda güvenilirliğin artırılması en önemli hususların başında gelir. Mühendislerin dizayn aşamasında artık gerilme ve distorsiyonun etkilerini, süreksizliklerin varlığını, parçanın mekanik özelliklerini, tahribatsız deney şartlarını ve toplam üretim maliyetlerini düşünmek zorundadırlar.

2.1. KAYNAKLI BİRLEŞTİRME SONUCU DİSTORSİYONLARIN OLUŞUMU

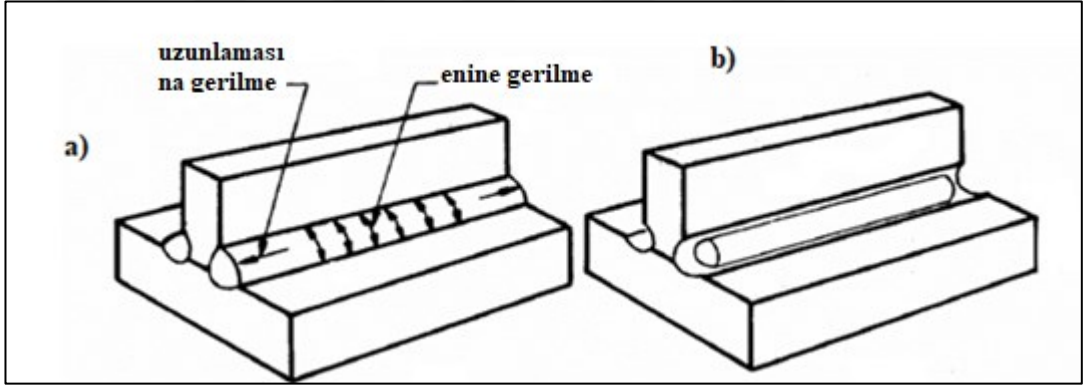
Bir metalin ısıtma ve soğutma sırasında distorsiyonun nasıl ve neden meydana geldiği Şekil 2.5’den anlaşılabilir. Şekil 2.5’de çelik çubuk, homojen olarak ısıtıldığında, her yönde genişler. Metal oda sıcaklığına soğuduğunda homojen olarak ilk boyutlarına geri döner [4].



Şekil 2.5. Örnek bir çelik çubuğun, değişik koşullardaki ısıtma ve soğutma sonucu distorsiyonu.

Bir köşe kaynağında kalan iç gerilmelerin anlaşılması için ise Şekil 2.6 incelenebilir. İki kalın levhayı birleştiren köşe kaynakları, Şekil 2.6(a)’daki gibi uzunlamasına ve enlemesine kalıntı gerilmeler barındırır. Bu gerilmelerin nasıl oluştuğunu anlamak için Şekil 2.6(b)’deki durumu anlamaya çalışmak gerekir. Burada köşe kaynakları ana metalden ayrılmışlardır. Her iki durumda, aynı kaynak metali miktarının varlığı kabul

edilecek olursa, bağımsız haliyle kaynak metali, oda sıcaklığında normal olarak işgal edeceği hacme çekilmektedir. Bu bağımsız kaynak metalini Şekil 2.6(a)'daki haline geri getirebilmek için kaynak metaline uzunlamasına ve enlemesine çekme gerilmeleri uygulamak gerekecektir. Gerilebilmek için kaynak metali akma zorundadır, ama gerekli ölçülere vardığı zaman, kendi akma mukavemetine eşit gerilme altında kalır. Bu kalıntı gerilme kaynaklı konstrüksiyona şekil değiştirtmeye çalışır. Şekildeki levhalar çok rijit ve kaynak göreceli olarak küçük olduğundan, levhaların şekil değiştirmesi mümkün değildir. Ancak konstrüksiyon distorsiyona uğratılabilseydi, kalıntı gerilmeler de giderilmiş olacaktı. Bunun yanında köşe kaynağı yapıldığında, parçalar birbirlerine rijit bir şekilde bağlanmamışlarsa, bir açısız distorsiyon meydana gelecektir [4].



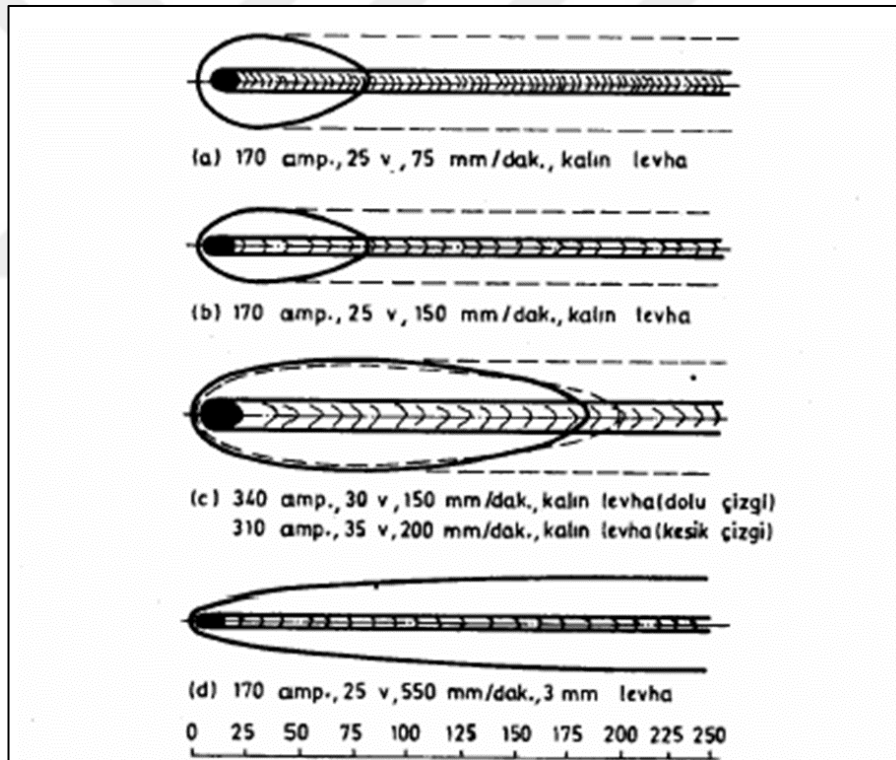
Şekil 2.6. Köşe kaynaklarında kalıntı gerilmelerin oluşumu.

Şekil 2.6(a)'da köşe kaynakları uzunlama ve genişlemesine iç gerilmelere sahip olup bu kaynaklar ana levhadan bağımsız alınabilselerdi Şekil 2.6(b)'de gösterilen boyutlara çekerlerdi. Şekil 2.6(a)'daki koşulu yeniden sağlamak için Şekil 2.6(b)'deki köşe kaynakları, kendi akma mukavemetlerini geçecek kuvvetler tarafından uzunlama ve genişlemesine gerilecektir.

Kaynağa komşu ana metaldeki çekme, distorsiyonu oluşturan gerilmelere eklenir. Kaynak esnasında kaynağa komşu ana metal az çok ergime sıcaklığında ısıtılmış olur, buna karşılık kaynaktan birkaç santimetre uzaklıktaki ana metalin sıcaklığı önemli miktarda daha azdır. Bu büyük sıcaklık farkı; birleştirilecek parçaların iyi karar verilmiş olmaları halinde, homojen olmayan genleşmelere

sebepler olur ve bunu ana metal hareketi ya da metal yer değiştirmesi takip eder. Ark birleşmeden uzaklaştıktan sonra ana metal, aynı kaynak metalini gibi soğur ve çeker. Çevredeki metal, ısıtılmış ana metalin normal olarak çekmesine engel olursa iç gerilmeler meydana gelir. Bu iç gerilmeler, kaynak metalinde oluşan iç gerilmeler ile birlikte, konstrüksiyonun distorsiyona uğrama hassasiyetini artırır.

Komşu ana metalin distorsiyona yardımcı olan hacim bölümü, kaynak süreciyle bir miktar denetim altında tutulabilir. Örneğin, daha yüksek kaynak hızları, kaynakla birlikte çeken komşu ana metal bölgesinin boyutunu azaltır. Bazı tipik kaynaklar için bu etkiler Şekil 2.7’de gösterilmiştir [4].



Şekil 2.7. Değişik kaynak hızlarında kaynak ısısının ana metale etkisi.

Daha yüksek kaynak hızları, kaynakla birlikte çeken komşu ana metal bölgesinin boyutunu küçültür ve distorsiyonu azaltmaya yardımcı olur.

2.1.1. Kaynaklı Birleştirmelerde Distorsiyon Oluşmasına Etki Eden Parametreler

Kaynaklı parçalarda ortaya çıkan distorsiyonları etkileyen parametreler; konstrüksiyonun rijitlik derecesi, malzemenin metalürjik özellikleri, ısıl genleşme katsayısı, ısıl iletkenlik katsayısı, kaynak hızı, kaynak metalinin ergime sıcaklığı, akma sınırı, elastiklik modülü olarak sayılabilir [4,45].

2.1.1.1.Konstrüksiyonun Rijitlik Derecesi

Kaynak sonucu meydana gelen gerilmelerin ortaya çıkardığı kuvvetler, konstrüksiyonun rijitliğine bağlı olarak bir takım çarpılma ve kendini çekmeler ile kendisini gösterir. Çarpılmaya ve şekil değiştirmeye karşı gelen rijitlik derecesi konstrüksiyonun biçimine bağlı olduğu gibi özellikle ince sac tipli konstrüksiyonlarda kaynak esnasında parçanın bağlanma şekli ile ilişkilidir. Kolaylıkla burkulabilen diğer bir deyimle herhangi bir doğrultuda burkulma dayanımı zayıf konstrüksiyonların rijitlik dereceleri de düşüktür. Bu bakımdan, uygulamada ince sac konstrüksiyonlara burkulma dayanımını yükseltecek destek ve takviyeler konulur [4].

2.1.1.2.Malzemenin Metalürjik Özellikleri

Kaynak ısısı sebebiyle parçaların yüksek sıcaklıklara ısıtılması ve soğutulması, içyapı değişikliklerine neden olur. Örneğin; çeliklerin kaynağında kaynak bölgesinde meydana gelen martenzitik yapı, şekil değiştirme kabiliyeti az olan bir içyapıdır. Buna göre içyapıya bağlı olarak, malzeme ya kolay ya da zor şekil değiştirir.

2.1.1.3.Isıl Genleşme Katsayısı

Isıl genleşme katsayısı, bir metalin ısıtıldığında uğradığı genleşme ya da soğuduğunda meydana gelen büzülmenin bir ölçüsüdür. Malzemenin 10°C sıcaklık farkında boyutlarındaki değişmeyi belirten malzemeye ait bir özelliktir. Az miktardaki alaşım elementlerinin etkisi hissedilebilir bir düzeyde değildir. Isıl genleşme katsayısı malzemelerde sıcaklığın bir işlevidir. Isıl genleşme katsayısının büyümesi, kaynaktan

sonra çekme ve çarpılmaların artmasına sebep olur. Isıl genişleme katsayısı sıfır olan ve sıvı halden katı hale geçerken de hiçbir hacim değişikliği göstermeyen gerçek olmayan bir malzeme, kaynak işlemi sonrası hiçbir zaman kendini çekme ve çarpılma eğilimi göstermeyecektir.

2.1.1.4.Isıl İletkenlik Katsayısı

Bir malzeme içinde ısı akış kolaylığının bir ölçüsüdür. Isıl iletkenlik katsayısı küçüldükçe kaynak yerine uygulanan ısı enerjisinin yayılma hızı da azalır. Bu şekilde kaynak bölgesi ile konstrüksiyonun kalan kısmı arasındaki bölgesel sıcaklık farkı yükselir, bu olay da parçada kendini çekme ve çarpılmaların şiddetlenmesine neden olur.

2.1.1.5.Kaynak Hızı

Kaynak hızı deyimi ile kaynakta arkın ilerleme hızı belirtilir. Aynı ark gücünde kaynak hızı yükselirse parçaya uygulanan özgül ısı girdisi azalır, tavlanan bölgenin darlığı nedeni ile kendini çekme miktarı da azalır.

2.1.1.6.Kaynak Metalinin Erime Sıcaklığı

Kaynak bölgesi ile konstrüksiyonun tümü arasındaki sıcaklık farkı arttıkça, oluşan gerilmeler de artar. Kaynak bölgesinin sıcaklığı kaynak metalinin erime sıcaklığı ile sınırlı olduğundan, erime sıcaklığı arttıkça kendini çekme ve çarpılma olasılığı da yükselmektedir.

2.1.1.7.Akma Mukavemeti

Malzemenin akma dayanımı arttıkça, kaynaklı konstrüksiyonu şekil değiştirmeye ve çarpılmaya zorlayan iç gerilmelerin şiddeti yükselir. Akma sınırı düşük malzemelerde, malzeme akarak bu iç gerilmelerin şiddetinin azalmasını sağladığından çarpılma olasılığı da zayıflar.

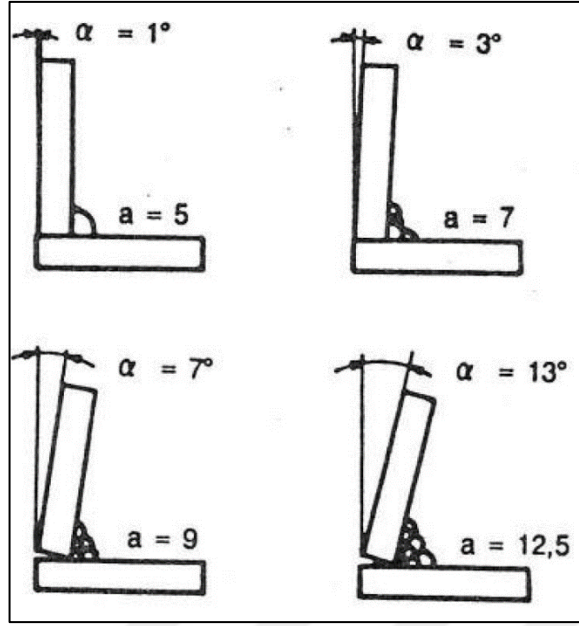
2.1.1.8.Elastiklik Modülü

Elastiklik modülü, malzemenin rijitliğinin bir ölçüsüdür. Daha önce de belirtildiği gibi rijitliğin artması çarpılma olasılığının da azalmasına neden olmaktadır.

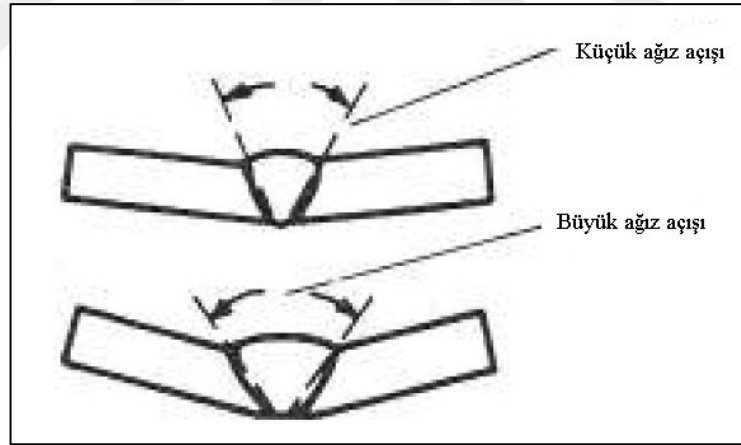
2.1.2. Distorsiyonları Ve Gerilmeleri Engellemek İçin Alınabilecek Önlemler

2.1.2.1.Yapısal Olarak Alınabilecek Önlemler

- İlk olarak kaynak dikişleri gerektiğinden fazla olmamalıdır. Aksi durumda, gerilme ve distorsiyonlar artar.
- Mümkünse ince sacların köşe dikişleri kesintili (metot kaynak) şekilde yapılmalıdır.
- Kaynak dikişleri konstrüksiyonun ağırlık merkezine yerleştirilmeli ya da simetrik olarak düzenlenmelidir.
- Mümkün olduğu kadar kuvvet hatlarının ani yön değiştirmelerinden kaçınılmalıdır.
- Kaynak dikişleri birbirine çok yakın olmamalıdır.
- İnce saclardan yapılan konstrüksiyonlar, burkulma mukavemetlerini artıracak şekilde takviye edilmelidir.
- Mümkün olduğu kadar, şekil değiştirme yeteneği yüksek malzemeler kullanılmalıdır.
- Konstrüksiyon, kaynak sırasında parçaların kendini çekebilmeleri göz önüne alınarak düzenlenmelidir.



Şekil 2.8. İç köşe birleştirmelerinde açısal distorsiyonun kaynak dikiş yüksekliği ile değişimi [46].



Şekil 2.9. Alın birleştirmelerinde açısal distorsiyonun kaynak ağız açısı ile değişimi.

2.1.2.2. Teknolojik Olarak Alınabilecek Önlemler

- Uygun kaynak sırası düzenlenmelidir.
- Kök pasosu kalın bir elektrod veya tel ile yapılmalıdır.
- Açısal distorsiyonu önlemek için mümkün olduğu kadar kalın tabakalar halinde kaynak pasosu çekilmelidir.

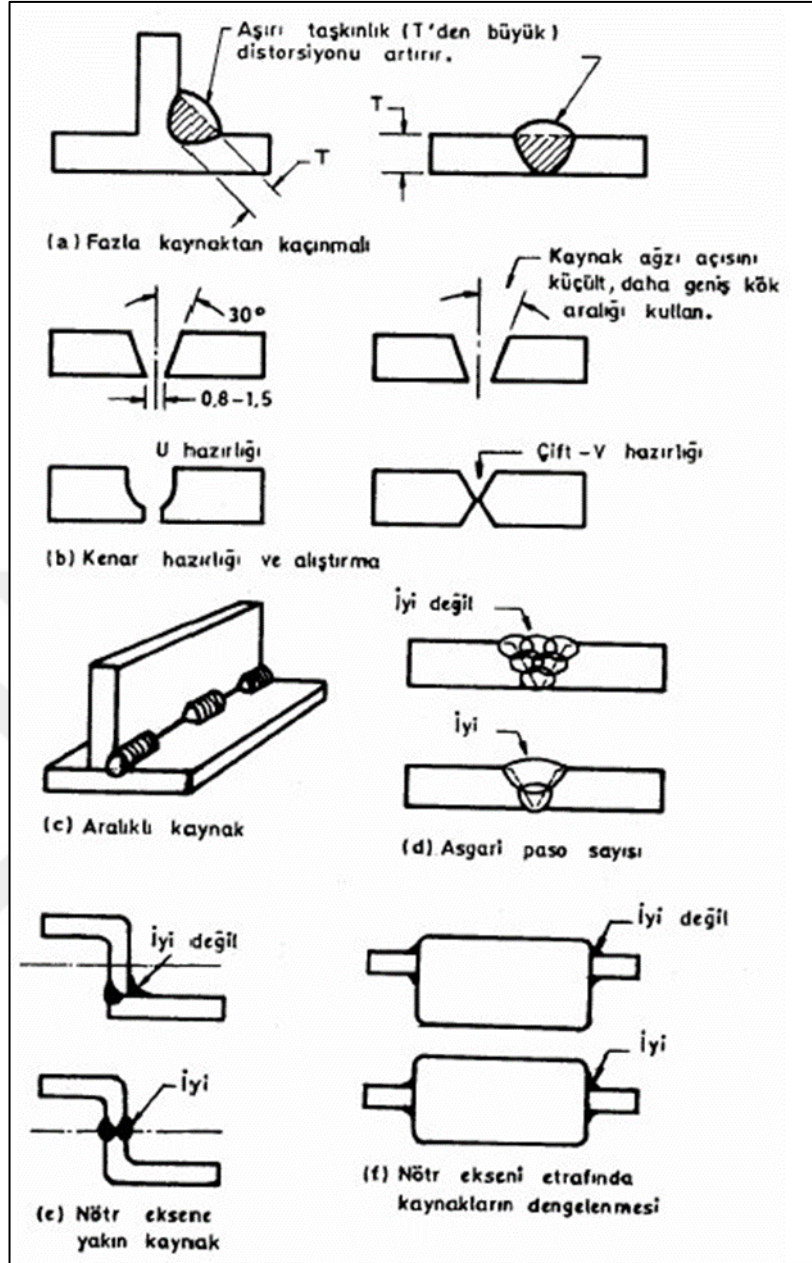
- Küçük pasolarda yapılan kaynakta pasolara önce levha kenarlarından başlanmalıdır.
- Dikişler sıçrayarak ya da geri adım yöntemiyle yapılmalıdır.
- Takviyeler en son kaynak yapılmalıdır.

2.1.2.3.İşletmeyle İlgili Alınabilecek Önlemler

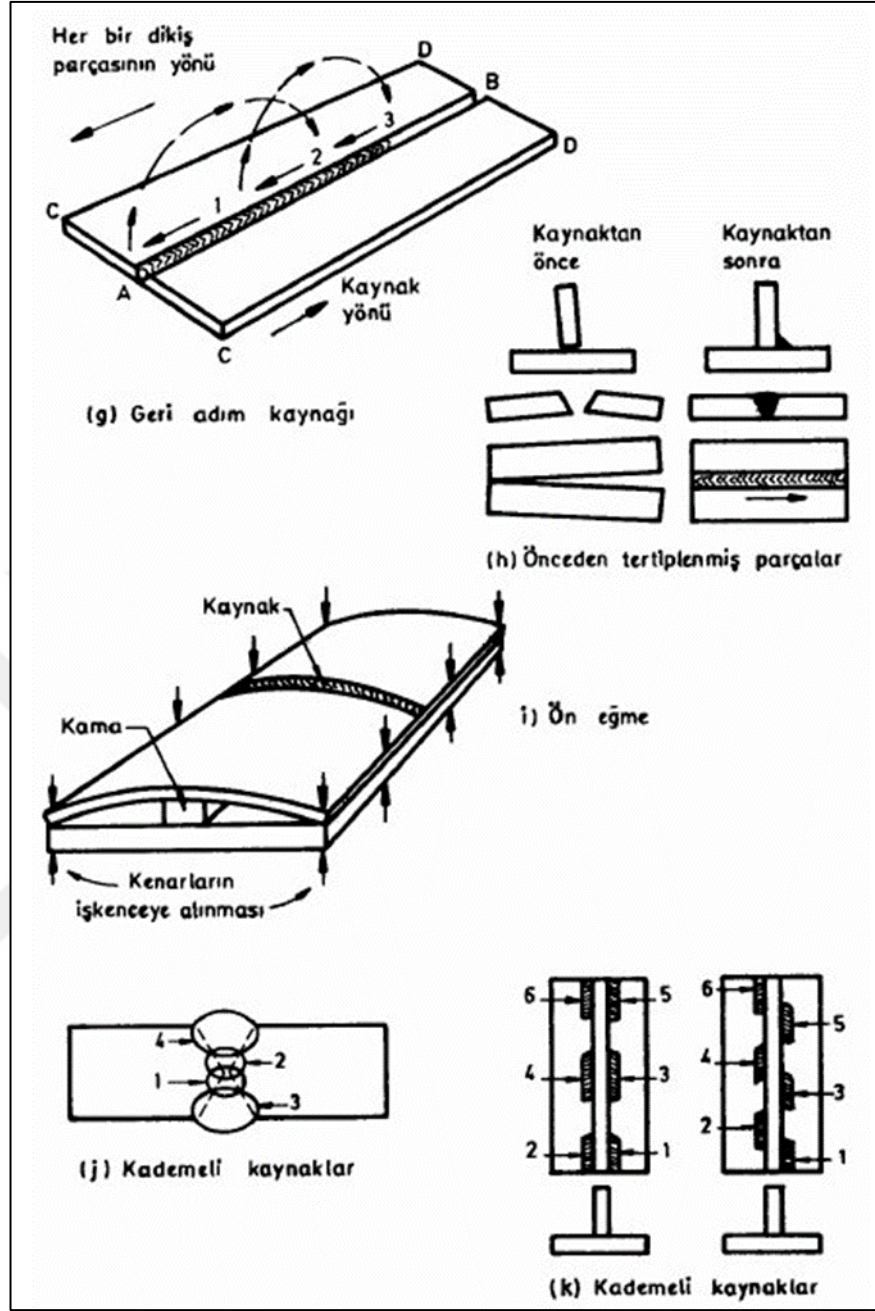
- Kaynak ağızları dikkatli şekilde hazırlanmalıdır.
- Parçalar kaynaktan önce puntalanmalıdır.
- Kaynak sırası ve planına uyulmalıdır.
- Sertleşme yeteneği yüksek malzemelerde ön tavlama uygulanmalıdır.

2.1.2.4.Kaynaktan Sonra Alınabilecek Önlemler

- Gerilme uçlarının ortadan kaldırılması için, kaynaktan sonra dikişler çekiçlenebilir.
- Konstrüksiyon statik bir zorlama etkisi altında bırakılarak, akma sınırının aşıldığı bölgelerde gerilmelerin ortadan kalkması sağlanır.
- Kaynaktan sonra uygun sıcaklıklarda tavlama uygulanması gerilmeleri azaltır.
- Dikişler üzerindeki çıkıntı ve çentikler, mekanik olarak ortadan kaldırılmalıdır.



Şekil 2.10. Gerilme ve distorsiyonları azaltmaya yönelik önlemler.



Şekil 2.11. Gerilme ve distorsiyonları azaltmaya yönelik önlemler.

2.1.3. Kaynaklı Parçalarda Oluşan Distorsiyonların Düzeltilmesi

Kaynaklı parçalarda oluşan distorsiyonların düzeltilmesinde bazı esaslara uyulması, düzeltme için gerekli zamanın en aza indirilmesine yardımcı olur. Düzeltme işleminde aşağıda gösterilen nedenlerle, en genel olarak alevle düzeltme uygulanır.

- Basit bir düzeltme yöntemidir.
- Gerekli düzenek, her işletme ya da atölyede bulunabilir.
- Portatif bir sistem olup, her yerde kullanılabilir.

Alevle düzeltme işleminde parça, malzemenin cinsi ve çarpılma derecesine bağlı olarak, uygun bir sıcaklığa ısıtılır ve çekiç, mengene gibi aletlerle doğrultulur. Ayrıca, gönye, germe civataları, kriko ve delikli levhalar da kullanılır.

Tavlama işleminde, nötr ya da yanıcı gazın biraz fazla olduğu alev türü kullanılır. Üflecin çekirdeğinin parçaya uzaklığı 5 mm kadar olmalıdır. Kaynakta olduğu gibi, sac kalınlığına uygun büyüklükte üfleçler kullanılır. Tavlama sıcaklığı 650–850°C arasında bulunmalıdır. Tavlama sırasında aşağıdaki konular göz önünde bulundurulmalıdır.

- Malzeme 200–350°C arasında iken çekiçle vurularak doğrultulmamalıdır. Çünkü bu sıcaklıklar arasında çatlama tehlikesi vardır.
- Tavlama sıcaklığının 850°C'ın üzerine çıkması, bu bölgede istenmeyen içyapı değişmelerine neden olabilir.
- Tavlanan bölümlerin sıcaklıkları, her zaman kontrol edilmelidir.
- Genellikle, -5°C'nin altındaki sıcaklıklarda doğrultma yapılmamalıdır.

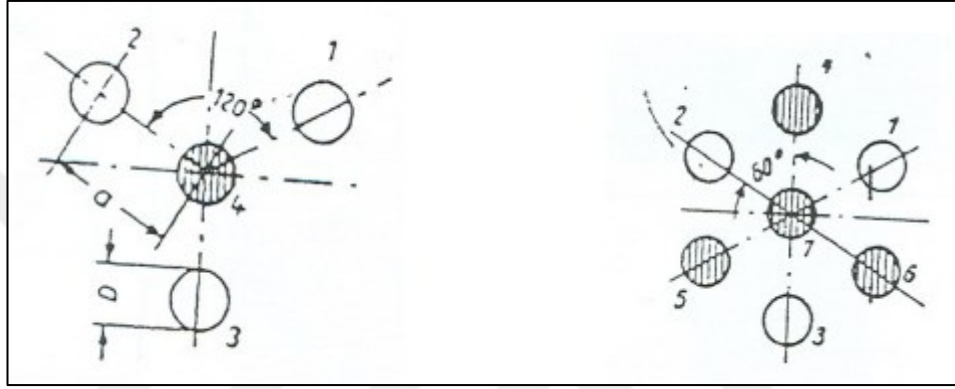
Alevle tavlancak alanın genişliği, çarpılmaya uğramış alan kadardır. Tavlama alanının geniş olması, malzemenin akma kabiliyetine bağlıdır. Tavlanacak bölge genişliği tespit edilirken parçanın genişliğinin de göz önüne alınması gereklidir. Tavlama sırasında parçanın sıkıca sabitlenmesi doğrultmanın etkisini artırır. Sertleşme eğilimi olmayan malzemelerde tavlanan kısımların basınçlı hava ile çabuk soğutulması, kendini çekme etkisini artırır.

Çok eksenli olarak çarpılmış bölümlerde önce bir eksen, daha sonra diğer eksen boyunca doğrultma yapılmalıdır. Kaynak dikişinin zorlamaya maruz kalan bölümleri, darbeli olarak düzeltilmemelidir. Böyle yerler, tavlandıktan sonra uygun çekme ve basma aletleriyle düzeltilmelidir.

Alevle düzeltmede uygulanacak yöntemin seçimi düzeltilecek parçanın şekline bağlı olup, bu yöntemler aşağıda verilmiştir.

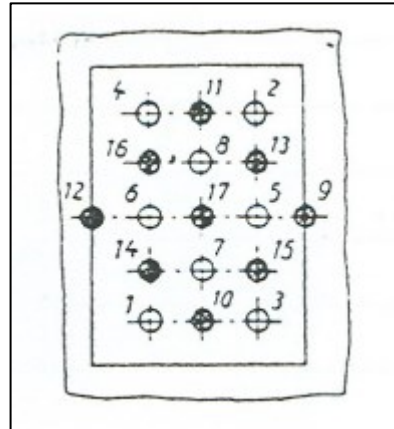
- Noktalama Yöntemleri

1) Üçgen düzenlemesi; üçgen bir geometrik yol izlenerek alevle düzeltme yapılır.



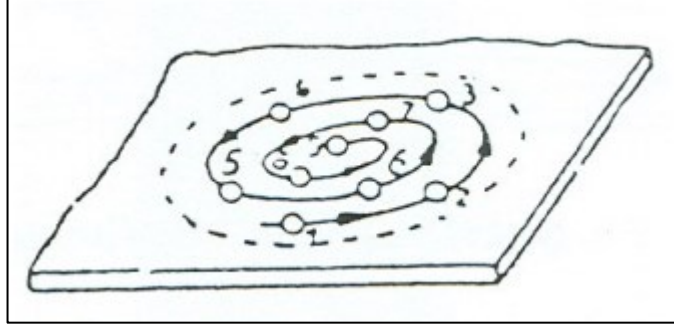
Şekil 2.12. Üçgen tavlama düzenlemesi.

2) Satranç düzenlemesi; birbirine simetrik noktalarla satranç tahtasındaki gibi kademeli olarak alevle düzeltme yapılır.



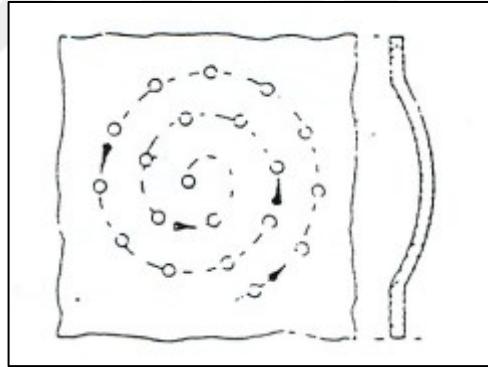
Şekil 2.13. Satranç tavlama düzenlemesi.

- 3) Helezonik düzenleme; bir yay eksenini izi, içten dışa veya dıştan içe doğru izlenerek alevle tavlama yapılır.



Şekil 2.14. Helezonik tavlama düzenlemesi.

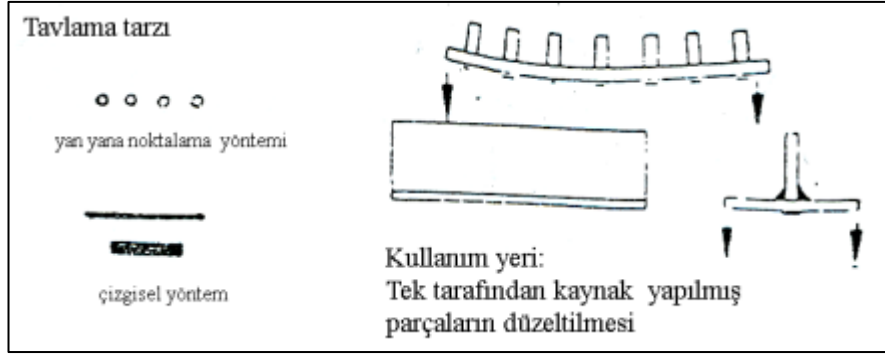
- 4) Noktalı düzenleme; şişkinlik olan bölgelerde dairesel bir yol izlenerek gerçekleştirilir.



Şekil 2.15. Noktalı tavlama düzenlemesi.

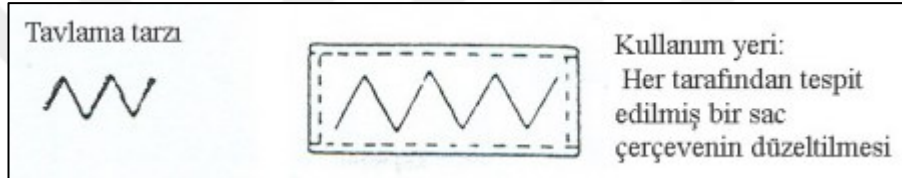
- Isı Yolu Yöntemleri

- 1) Yan yana noktalama yöntemi;
- 2) Çizgisel düzenleme;



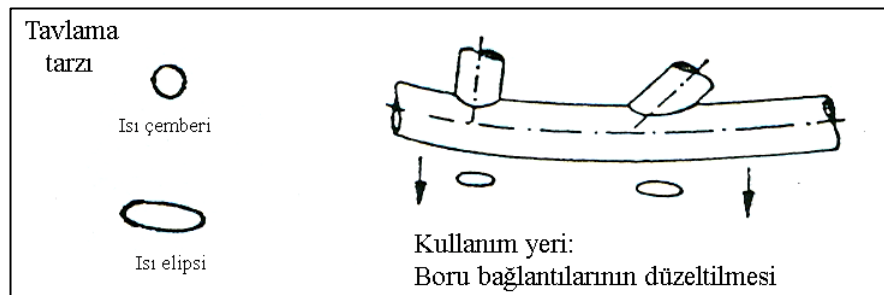
Şekil 2.16. Yanyana noktalama ve çizgisel tavlama düzenlemeleri.

- 3) Zikzak düzenleme; zikzak bir yol izlenerek alevle düzeltme gerçekleştirilir.



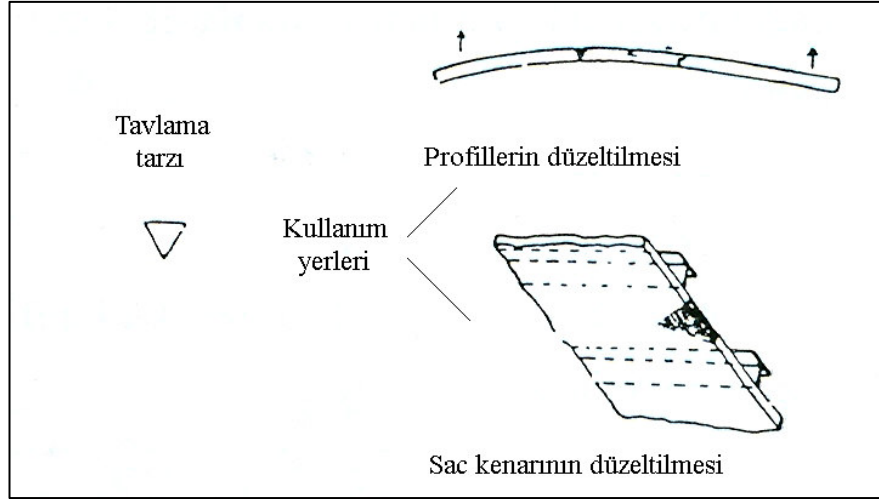
Şekil 2.17. Zikzak tavlama düzenlemesi.

- 4) Isı çemberi ya da elipsi; deformasyonlu bölgeye dairesel bir ısı bölgesi oluşturularak gerçekleştirilir.



Şekil 2.18. Isı çemberi ve ısı elipsi tavlama yöntemi.

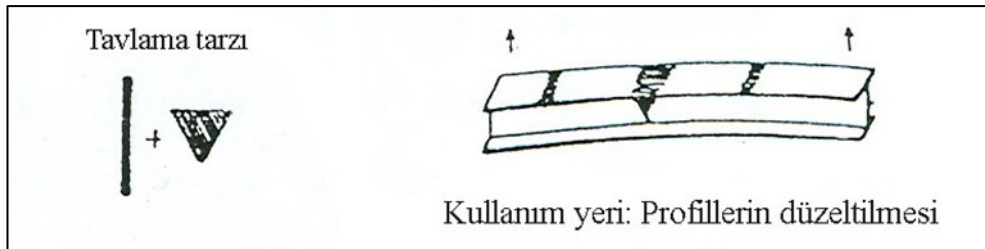
- Isı Kaması Yöntemi; alevle düzeltme yolu bir kama şekli oluşturularak gerçekleştirilir.



Şekil 2.19. Isı kaması tavlama yöntemi.

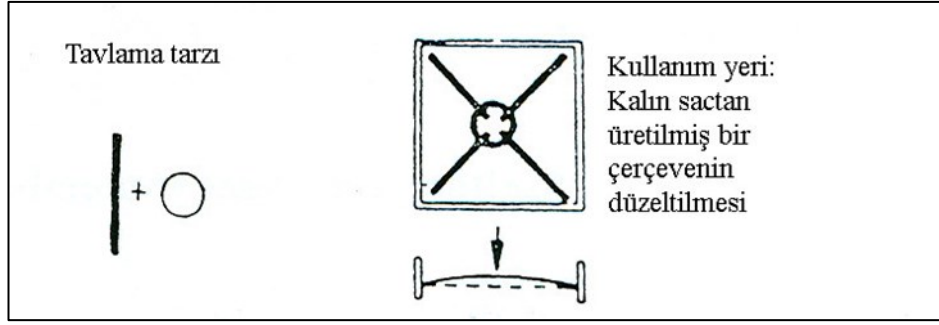
- Birleşik yöntem

- 1) Isı yolu ve ısı kaması; ısı kaması yöntemine ek olarak bir ısı yolu oluşturularak düzeltme gerçekleştirilir.



Şekil 2.20. Isı yolu ve ısı kaması yöntemi.

- 2) Isı haçı ve ısı çemberi; deforme bölge haç şeklinde bir ısı yolu izlenerek veya bir ısı çemberiyle kuşatılarak gerçekleştirilir.



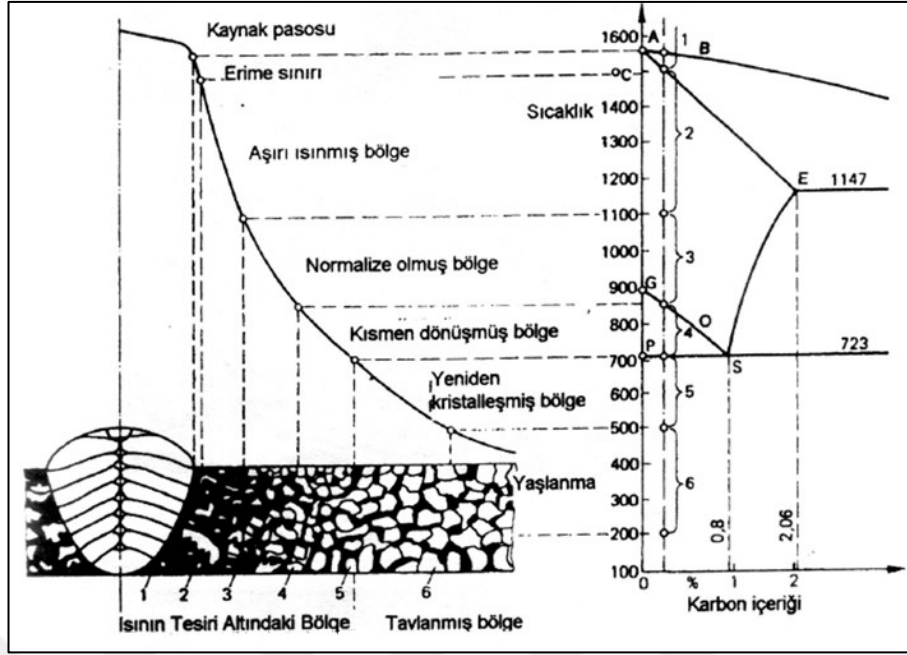
Şekil 2.21. Isı haçı ve ısı çemberi yöntemi.

2.2. GEMİ İNŞA SANAYİNDE SIKLIKLA KULLANILAN ÇELİKLER VE KAYNAK YÖNTEMLERİ

2.2.1. Çeliklerde Kaynak Bölgesi

Kaynak dolgusunun bulunduğu ve kaynak işleminde uygulanan ısıdan etkilenen tüm bölgelere kaynak bölgesi adı verilir. Bu bölge, kaynak metali ve ısının etkisi altındaki bölge (ITAB) olmak üzere iki ana bölgeye ayrılır. Ergime bölgesi ile ısının etkisi altındaki bölgeyi birbirinden ayıran ergime sınırı ve kaynak ısısından etkilenmeyen bölge ile de birbirinden farklı dört bölge meydana gelir.

Bu bölgeler şekil 2.22’de görülebilir.



Şekil 2.22. Kaynak sırasında ısının tesiri altındaki bölge [47] .

Ergime bölgesi, ısının etkisiyle ergiyen ve daha sonra katılaştıran bölgedir. Kaynak metal (ilave metal) ile esas metalin karışımından meydana gelir. Esas metalin kaynak metaline oranı, uygulanan kaynak yöntemine ve paso sayısına bağlı olarak değiştiğinden, ergime bölgesinin karışım oranı bilinse bile, bu bölgenin bileşimini hesaplamak olanaksızdır. Çünkü alaşım elemanlarının bir kısmı yanma ile yok olmaktadır.

Kaynak banyosu katılaştıkça, kaynak yerine verilen ısının büyük bir bölümü ısı iletimi yolu ile esas metal üzerinden transfer edilir.

Ergime çizgisi, ergiyen ve ergimemiş ısının etkisi altındaki bölgeyi birbirlerinden ayıran ara yüzeydir. Bu sınır parlatma ve dağlama işlemleri ile çıplak gözle görülebilmektedir.

Isının etkisi altındaki bölge, 1450°C ile 700°C arasında değişim gösterir. Ulaşılan maksimum sıcaklık ile bağlantılı olarak farklı özelliklerde bölgeler meydana gelebilir.

Kaynak ile birleştirme işleminde, ısının etkisi altındaki bölge çok hızlı olarak ısınır ve bununla birlikte parça kalınlığı, ısı kaynağının şiddeti, varsa ön tavlama sıcaklığı ve çelik malzemenin ısıl özelliklerinin fonksiyonu olarak hızla soğumaktadır.

Soğuma hızı, çelik malzemenin bileşimine bağlı olarak kritik soğuma hızını aştığında ve özellikle 900 °C üzerindeki bir sıcaklığa kadar ısınan bölgelerde sert ve gevrek martenzitik yapı oluşur. Bu sebepten dolayı kaynak işleminde en kritik bölge ısının etkisi altındaki bölge olmaktadır.

Kaynaktan Sonra Oluşan İçyapılar;

- İri Taneli Bölge:

Kaynağın hemen yakınında bulunan ve kaynak esnasında 1450 °C ile 1200°C arasındaki sıcaklığa maruz kalan bölgedir. Çeliğin bileşimine ve soğuma hızına göre martenzitik veya temperlenmiş martenzitik yapı görülür. Bu bölge en yüksek sertliğe sahiptir. Bu bölge, iri taneli olup gevrek, yüksek çentik hassasiyetine ve düşük bir uzamaya sahiptir.

- İnce Taneli Bölge:

Kaynak yapılırken 1200°C ile 900°C arasındaki bir sıcaklığa ulaşan bölgedir. İç yapı bakımından birinci bölgeye benzer bir yapıdadır. Fakat daha ince taneli bir yapı oluşur. Bu bölgenin tokluğu yüksektir ve tane boyutundan ötürü uzama ve çekme dayanımları diğer bölgelerden daha fazladır.

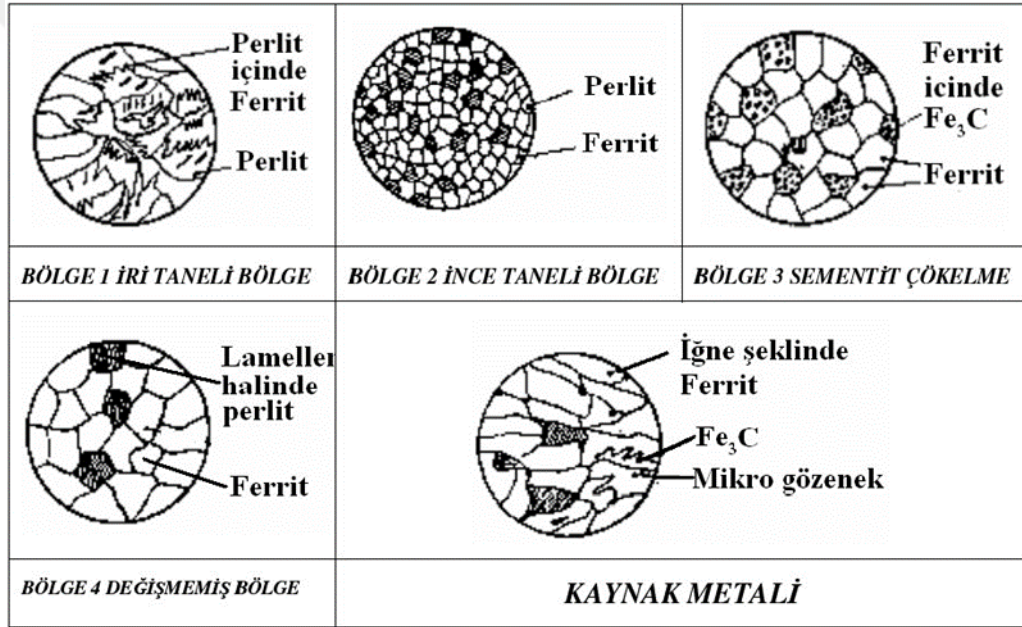
- Kısmen Dönüşüme Uğramış Bölge:

İnce taneli bölgenin devamı olup, kaynak sırasında A3 ile A1 arasındaki bir sıcaklığa maruz kalmaktadır. Kaynaktan oluşan sıcaklık, metali alt kritik noktanın üzerine çıkarmak için yeterlidir. Bu sıcaklıkta ferrit değişmeden kalır, fakat perlit östenit içinde erir. Bu yapı iyi uzama verir.

- İç Yapı Değişimine Uğramamış veya Temperlenmiş Bölge:

Bu bölgenin sıcaklığı, kaynak esnasında Fe-C denge diyagramında A1 noktasının altında bulunur ve genellikle içyapı değişime uğramamıştır.

Kaynak edilebilirlik, malzemeye hiçbir ön tavlama gerektirmeden ve özel önlemler almadan malzemelerin kaynak edilmesi, kaynak kabiliyetinin yüksek olduğunu gösterir. İlave metal ile esas metal karıştığı zaman oluşan kaynak metalinin kırılmaya karşı uygun bileşimde olması gerekir. Kaynak metali ve ısının tesiri altında kalan bölgede oluşan mikroyapılar Şekil 2.23’de gösterilmektedir [4].



Şekil 2.23. Kaynak metali ve ITAB’da oluşan iç yapılar.

Bütün ergitme kaynak yöntemlerinde özellikle, elektrik ark kaynağında soğuma hızı; sertleşmeye yatkın fazla olan çeliklerde, gereken önlemler alınmadığı zaman ITAB bölgesinde, martenzit oluşumunu sağlayacak şiddettedir. Kaynak metali için yani ergime bölgesi için böyle bir tehlike yoktur. Çünkü elektrod üreticileri tarafından, kaynak metalinin bileşimi, hızlı soğuma halinde dahi sertleşme oluşturmayacak şekilde ayarlanmıştır. ITAB bölgesinde sert ve kırılğan bir yapının ortaya çıkması, soğuk çatlakların oluşmasına neden olmaktadır.

Kaynaktan sonra ortaya çıkan iç gerilmelerin, çalışma şartlarındaki zorlamaların ve kaynak banyosunda yayılan hidrojenin etkilerinin birbiri üzerine çalışması ve sertleşen bölgenin plastik şekil değiştirme özelliğinin olması nedeni ile kılcal çatlaklar meydana gelmektedir. Genellikle yüzeyden görülmeyen bu çatlaklar zamanla kritik büyüklüğe eriştiğinde hiç beklenmedik bir anda ve büyük bir hızla parçanın kaynak dikişine paralel olarak boydan boya kırılmasına sebep olur.

2.2.2. Gemi İnşaatında Sıklıkla Kullanılan Çelikler

Çelikler, günümüzde en fazla oksijen üfleme ve elektrik ark yöntemi ile elektrik ark fırınlarında elde edilir. Çelikler, kaynar çelik (rimmed steel), yarı sakınleştirilmiş (semi killed) ve sakınleştirilmiş (fully killed) olmak üzere üç farklı şekilde imal edilebilirler. Ana unsurları büyük ölçüde demir ve kontrollü miktarda karbondur. Üretimde metal bazlı olmayan kükürt, silisyum ve fosfor gibi elementlerin miktarının en azda tutulması önemlidir. Çelik malzemelerin mekanik özellikleri kimyasal bileşim değişikliği ile sağlanır. Örneğin; çekme mukavemeti çelikteki karbon miktarını değiştirilerek veya kimyasal yapıya krom, nikel, mangan gibi alaşım elementleri katılarak değiştirilebilir [35,48].

Gemi inşaatında genelde kullanılan çelikler; dinamik yükler altında rahatça çalışabilecek ve kaynak kabiliyeti yüksek olan kimyasal bileşimlerinde %0,15 ile %0,23 oranlarında karbon içeren ve mangan alaşımı açısından zengin olan “yumuşak çelik (mild steel)” malzemedir. Bu tür malzemelerde kaynak kabiliyetine olumsuz yönde etki ettiği için fosfor ve kükürt minimum seviyede tutulur (%0,05’den az) ayrıca oluşan sülfür haddeleme işlemi sırasında çatlama neden olabilir. Soğuk ve sıcak şekil vermeye ve kaynağa uygun olan bu malzemenin işleme sıcaklıklarında mekanik özelliklerinde önemli bir değişme görülmez. Ancak çok düşük sıcaklıklarda darbe dayanımını kaybeder, kırılma kazanır ve gevrek kırılma meydana gelebilir. Bir çeliğin gemi inşaatında kullanılabilmesi için gemiyi belgeleyecek klas kurumunca muhakkak denetlenmiş, test edilmiş ve soğuk damgalanmış olması gerekmektedir.

1959 yılından sonra dünyada önde gelen gemi klas kuruluşları tarafından gemi inşasında kullanılan saclar standartlaştırılmıştır. Şu an gemi inşa sektöründe, karbon

çelikleri, yüksek mukavemetli ve ekstra yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çelikler olarak üç farklı çelik türü kullanılmaktadır.

Karbon çelikleri, normal mukavemetli çeliklerdir ve A, B, D ve E kalite olarak sınıflandırılmışlardır. Bunların içinde gemi inşaatı piyasasında en sık kullanılan A kalite normal yumuşak çeliktir, B kalite sac A kalite sacdan daha iyi bir kalitede yumuşak çeliktir ve genel olarak daha kritik yerlerde kalın saclar olarak kullanılır. C, D ve E kalite saclar ise darbe dayanımı daha iyi olan çeliklerdir. Normal mukavemetli yumuşak çeliklerin yanı sıra gerilmelerin yüksek olduğu büyük tanker ve dökme yük gemileriyle ağırlığın önemli olduğu savaş gemileri, ro-ro ferri ve yolcu gemileri gibi konstrüksiyonlarda yüksek mukavemetli az alaşımlı (HSLA=high strength low alloy) tekne yapım çeliği kullanılır. Yüksek mukavemetli tekne yapım çelikleri üç ayrı mukavemet değerinde 32, 36 ve 40 (kg/mm²) olmak üzere sınıflandırılır ve tokluklarına göre AH, DH, EH ve FH olarak adlandırılır. Benzer şekilde düşük sıcaklıklarda kullanılacak olan, örneğin soğutularak sıvılaştırılmış LPG ve LNG taşıyan gemilerin tanklarında soğuk ortamda kırılma eğilimi olmayan; korozif etkisi yüksek maddeler taşıyan tankerlerin tanklarında ise ekstra yüksek mukavemetli az alaşımlı korozyona dayanıklı çelik saclar kullanılır [35,49–51].

Türk Loydu Kurallarına göre metalurjik karakteristiklerine dayanarak çeşitli gemi inşaatı çelikleri aşağıdaki üç mukavemet kategorisine göre sınıflandırılabilir:

- Normal mukavemetli tekne yapım çelikleri A, B, D, E (Genelde minimum akma sınırı 235 N/mm² ve maksimum 315 N/mm² olan yapı çeliklerini içerir) olarak,
- Yüksek mukavemetli tekne yapım çelikleri A32, D32, E32, F32, A36, D36, E36 ve F36 (Genelde minimum akma sınırı 315 N/mm² ve maksimum 355 N/mm² olan yapı çeliklerini içerir) olarak ve,
- Yüksek mukavemetli tekne yapım çelikleri A40, D40, E40, F40 (Akma sınırı minimum 355 N/mm² ve maksimum 390 N/mm² olan yapı çeliklerini içerir) olarak bilinmektedir [45,52–56].

2.2.2.1. Normal Mukavemetli Gemi İnşa Çeliği

Normal mukavemetli gemi inşa çeliği gemi yapımında en sık kullanılan malzemedir. Yüksek mukavemet istenmeyen bölgelerde kullanılan bu saclar gemilerde dış bordada, üst yapılarda, ambar içlerinde ve denizde seyir etmeyecek yani dalga kuvvetine maruz kalmayacak nehir tipi gemilerde en sık kullanım yerleridir.

Normal mukavemetli tekne yapım çeliği C değeri yaklaşık %0,20 civarındadır ve Mn değeri %0,5 ila 1 arasındadır. Normal mukavemetli sacların değişen kalitelerine göre kimyasal bileşimleri Çizelge 2.1’de verilmiştir. Normal mukavemetli tekne yapım çeliklerinde bulunan bazı alaşım elementlerinin görevleri şunlardır; Mn ve Si, dayanımı ve sertliği artırır. Al’un, tane inceltici etkisi vardır. Cu, α - γ geçiş sıcaklığını düşürür. Cr, aşınma ve korozyon direncini artırır. Ni, düşük sıcaklıklarda tokluğu artırır. Mo ise, yüksek sıcaklıklarda dayanımı artırır [48,57].

Normal mukavemetli tekne yapım çeliklerin en üst akma sınırı değeri (σ_A) en az 235 N/mm² ve çekme mukavemeti (σ_C) ise, 400-520 N/mm² değerleri arasındadır. Çentik darbe tokluğu enerjileri sırasıyla +20, 0, -20, -40 °C’deki özelliklerine göre normal tekne yapım çeliği sağlamlık özellikleri birbirinden farklı olan A, B, D, E kalitelerine göre gruplandırılır.

Çizelge 2.1. Normal mukavemetli çelikler için kimyasal bileşimi [52].

Kalite	TL-A	TL-B	TL-D	TL-E
Kimyasal bileşim (%) (pota analizi) (7), (8)	(Karbon + 1/6 manganez) %0,40’ı aşmamalıdır			
C_{max}	0,21(2)	0,21	0,21	0,18
Mn_{min}	2,5xC	0,80(3)	0,60	0,70
Si_{max}	0,50	0,35	0,35	0,35
P_{max}	0,035	0,035	0,035	0,035
S_{max}	0,035	0,035	0,035	0,035
Al(asitteçözülebilir) _{min}	-	-	0,015(5)(6)	0,015(6)
(2) Profiller için en çok %0,23				
(3) TL-B kalite çeliklerde çentik darbe testi yapıldığında manganez oranı %0,60’a indirilebilir.				
(5) 25 mm kalınlığın üstündeki TL-D kalite çelik için				

(6) TL-E kalite ve kalınlığı 25 mm üzerinde TL-D kalite için asitle çözülebilir kısmı yerine toplam alüminyumun miktarı belirlenebilir. Bu durumda toplam alüminyumun miktarı %0,020'den az olmamalıdır. TL alüminyum için bir üst sınır isteyebilir. TL'nun özel onayıyla, tane inceltici diğer elementlere izin verilebilir.

(7) Eriyikte, aşağıdaki elementler maksimum değerleri geçmemelidir:
- Cu: 0,30%, Cr: 0,20%, Ni: 0,40%, Mo: 0,08%

(8) Üretim yöntemi diğer başka elementlerin katılmasını gerektiriyorsa, bunların miktarları belirtilecektir.

2.2.2.2.Yüksek Mukavemetli Gemi İnşa Çeliği

Yüksek mukavemetli az alaşımlı (HSLA) çeliklerin akma sınırının yüksekliği, daha ince cidar kalınlıklarının kullanılabilmesi ile hem gemi ağırlıklarını azaltır hem de yüksek gerilmeye maruz alanlarda kalın plakalar kullanımını engeller. Dolayısıyla kaynak zamanından tasarruf edilir. Ayrıca, yüksek korozyon dayanımı istenilen bölgeler için de çok sık kullanılır [53,54]. Yüksek mukavemetli tekne yapım çelikleri, çekme mukavemetinin, sertliğin ve korozyon dayanımının artması için Mn ve Cu alaşımı açısından zengindir. Buna bağlı olarak akma ve çekme dayanımları normal tekne yapım çeliğinden yüksektir. Normal mukavemetli tekne yapım çeliğinden farklı olarak eklenen Nb, V, Ti ve N alaşım elementlerinin dayanımı, sertliği, korozyon direncini artırıcı ve tane büyümesini engelliyici özellikleri vardır [57].

2.2.2.3.Düşük Sıcaklıklarda Kullanılan Gemi İnşa Çeliği

Özellikle sıvılaştırılmış gaz taşınması için amaçlanan tanker gemilerinde özel nitelikli saclar kullanılır. Bu tür çelikler servis sıcaklıklarına göre 4 grupta sıralanabilir;

Servis sıcaklığı en az 0°C'de çalışacak çelikler, normalize edilmiş veya su verilmiş, temperlenmiş üst akma sınırı 410 N/mm²'yi aşmayan, ortalama darbe dayanımları 27J olan tamamen sakinleştirilmiş C-Mn saclardır.

Servis sıcaklığı 0°C ve -55°C arası çalışacak çelikler, genellikle tamamen sakinleştirilmiş normalize edilmiş, ince taneli C-Mn saclardır.

Servis sıcaklığı -55°C ve -196°C arası çalışacak çelikler, genellikle ince taneli ferritik Ni alaşımlı çeliklerdir. Fakat, östenitik paslanmaz çelik veya Al alaşımları da kullanılabilir [51]. Ni alaşımı düşük sıcaklıklarda tokluğu artırır, ısıl işlem sıcaklıklarını artırır, çeliğin kritik sıcaklıklarını düşürür [45]. Bu servis sıcaklığında çalışacak çelikler çekme ve çentik darbe dayanımları her sıcaklık için test edilmelidir.

Servis sıcaklığı -196°C altında çalışacak çelikler, östenitik düşük karbonlu (%0,10'dan az) paslanmaz çelikler ve alüminyum alaşımlarıdır. Kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri kullanılacak malzemeye göre değişmektedir [51].

2.2.3. Gemi İnşaatında Sıklıkla Kullanılan Kaynak Yöntemleri

2.2.3.1. Oksi-asetilen Kaynak Yöntemi

Gemi inşaatında, elektrik ark kaynaklarının gösterdikleri gelişmelerden dolayı, oksi-asetilen kaynağı kullanılmamaktadır. Sadece oksijen ile kesme ve tavlama işlemleri yapılmaktadır. Daha önce atölyelerde kaynak edilmiş olan blokların kızakta birleştirilmesi sırasında tamamen birleşmelerini ve sağlıklı olarak kaynak edilebilmelerini sağlamak için oksi-asetilen alevinden faydalanılmaktadır. Ayrıca, gemi inşaatında kullanılan levhalar ve blokları taşımak için geçici olarak kaynak edilmiş olan taşıma mapaları da bu yöntemle kesilir. Bunun bilgisayar kontrollü oksijenle kesme tezgahlar kullanılmaktadır. CNC kesme tezgahlarında daha önceden CAD ile çizilmiş olan sac resmi ile hazırlanmış olan program tezgâha aktarılarak mümkün olan en az hurda malzeme sarfiyatı da hesaplanarak saclar kesilmektedir [45].

2.2.3.2. Elektrik Ark Kaynağı

Gemi inşaatında örtülü elektrodla ark kaynağı yönteminden, blokların oluşturulmasında ve kızakta birleştirilmesinde kullanılır. Açık havada yapıldığından blokları gazaltı yöntemlerinden herhangi biri ile yapmak pratik değildir. Yüzeylerin eğrisel olması nedeniyle tozaltı kaynağı da uygulanamaz. Örtülü elektrodla ark kaynağı oksi-asetilen kaynağından daha avantajlı olduğundan blokların birleştirilmesi işlemlerinde alternatif olmayan bir kaynak yöntemidir. Kızakta yapılan blok ekleri ve

dış kaplama kaynaklarında, ayrıca elemanların kaynaktan önce birleştirilmeleri ve uzunluğu fazla olmayan dikişlerinde en çok tercih edilen yöntemdir. Gazaltı kaynak yöntemleri örtülü elektrodla ark kaynağından daha seri oldukları için, tozaltı kaynak yöntemi de daha güçlü bir kaynak yöntemi olduğu ve daha az enerji kaybı olduğu için örtülü elektroda tercih edilen yöntemlerdir. Ancak bu iki yöntemin kullanımının mümkün olmadığı durumlarda örtülü elektrodla elektrik ark kaynağı yöntemi kullanılmaktadır [4].

2.2.3.3.Koruyucu Gaz Uygulanan Kaynak Yöntemleri

Kaynak maliyetini düşürmek, temin süresini kısaltmak ve kaynakçı faktörünün dikiş kalitesine olan etkisini azaltmak için günümüz teknolojisi ve mekanize kaynak yöntemleri diye adlandırılan bazı yöntemler geliştirilmiştir. Bütün bu kaynak yöntemlerinde esas olan, çıplak elektrot telini mekanik bir tertibat yardımıyla otomatik olarak sürekli ilerletip, akımı ark bölgesine çok yakın bir yerden vererek telin yüklenebileceği akım şiddetini arttırarak erime gücünü yükseltmektedir. Ancak burada önemli olan, elektrot örtüsünün görevini yüklenecek bir faktörün devreye sokulmasıdır. Elektrot örtüsünün görevleri içinde en önemlisi bir koruyucu gaz atmosferi oluşturarak, kaynak banyosunu havanın oksijen ve azotunun olumsuz etkilerinden korumasıdır. O halde, örtünün yerini alacak nesne kesinlikle bu görevi yüklenmiş olmalıdır. Gaz altında yapılan bu kaynaklar TIG (Tungsten Inert Gas), MIG (Metal Inert Gas) ve MAG (Metal Active Gas) kaynağı olarak üçe ayrılır.

Gemi inşaatında TIG kaynak yöntemi fazla tercih edilmemektedir. MIG ve MAG yöntemleri ise seri yöntemler olduklarından tercih edilmektedirler. Gazaltı kaynak yöntemlerinin kullanımını sınırlayan durum, kapalı yerde yapılması gerekliliğidir. Bunların haricinde MIG ve MAG yöntemleri otomasyonla üretim prosesine son derece uygundur. Kapalı atölyelerde ön imalatlarda ve blok imalatında en çok kullanılan yöntemdir [4].

TIG Kaynağı

Erimeyen tungsten elektrot kullanılması, gerektiğinde esas metal eritilerek ilave kaynak metaline gereksinimi ortadan kaldırmaktadır. Bu yöntemle kaynak süresince kaynakçı kaynak banyosunu çok iyi bir biçimde görebilmekte, dolayısı ile kontrol altında tutabilmektedir. Kaynak banyosu üzerinde cüruf olmayışı dikişte cüruf kalma tehlikesini ortadan kaldırmaktadır. TIG kaynağında koruyucu gaz olarak önceleri sadece helyum kullanılmıştır. Fakat helyum yerini çok kısa bir zamanda argona bırakmıştır. Helyum gazının sarfiyatı argona nazaran fazladır ve havadan hafif olduğu için de çabuk uçar. Argonun havadan ağır olması dolayısıyla erimiş kaynak banyosunu koruma kabiliyeti fazladır [58].

MIG Kaynağı

Soygaz atmosferi altında eriyen elektrotlarla yapılan bu gaz altı kaynağı türü SIGMA kaynağı olarak bilinir. MIG kaynağında koruyucu gaz olarak argon, helyum veya her ikisinin karışımı kullanılır. Hafif metallerin MIG kaynağında kullanılan argon gazının yüksek saflıkta olması gerekir (%99,99). Çelik malzemelerin MIG kaynağında ise, argon gazına oksijen ve karbondioksit gazları karıştırılır. Bu karışımda oksijen %3-6, karbondioksit %5-13 arasındadır [58]. Gaz karışımına bağlı olarak, dikişte elde edilen dikiş formları değişmektedir.

MAG Kaynağı

Eriyen elektrotla karbondioksit atmosferi altında yapılan, gazaltı kaynak usulüdür. MIG kaynağından tek farkı, kullanılan koruyucu gazın karbondioksit olmasıdır. Bu sebepten MIG kaynak donanımı, MAG kaynağında da kullanılır. MAG kaynağı, alüminyum ve alaşımları gibi kolayca oksitlenen malzemelerin kaynağında kullanılmaz. Günümüzde büyük oranda, çelik malzemelerin kaynağında kullanılmaktadır.

2.2.3.4.Tozaltı Ark Kaynak Yöntemi

Tozaltı kaynağı, kaynak için gerekli ısının tükenen elektrod (veya elektrodlar) ile iş parçası arasında oluşan ark (veya arklar) sayesinde ortaya çıktığı bir ark kaynak yöntemidir. Ark bölgesi kaynak tozu tabakası ile kaynak metali ve kaynağa yakın ana metalde ergiyen kaynak tozu (cüruf) ve kaynak dikişi tarafından korunur. Tozaltı kaynağında elektrik, arktan ve ergimiş metal ile ergimiş cüruftan oluşan kaynak banyosundan geçer. Ark ısıyı elektrodu, kaynak tozunu ve ana metali ergiterek kaynak ağzını dolduran kaynak banyosunu oluşturur. Koruyucu görevi yapan kaynak tozu ayrıca kaynak banyosu ile reaksiyona girerek kaynak metalini deokside eder. Alaşımli çelikleri kaynak yaparken kullanılan kaynak tozlarında, kaynak metalinin kimyasal kompozisyonunu dengeleyen alaşım elementleri bulunabilir. Tozaltı kaynağı otomatik olarak gerçekleştirilen bir kaynak yöntemidir.

Bu kaynak yönteminde, bir bobine sarılan kaynak teli bir motorun tahrik ettiği makaralar arasından ve bir temas memesinden geçerek kaynak bölgesine gönderilir. Gerekli akımı temas memesinden alan tel ile iş parçası arasında ark oluşur ve ayrı bir kanaldan gelen silikat ve toprak alkali metalleri içeren özel bir toz, ark bölgesini havanın olumsuz etkilerinden korur. Kaynak teli ve iş parçası arasında oluşan arkın sıcaklığından tel ve esas metalin bir bölümü ergiyerek istenen birleşmeyi gerçekleştirir. Ark, bir toz örtüsü altında bulunduğundan çevreye ışınım yapmaz ve bu şekilde ark enerjisinin büyük bir bölümü (yaklaşık olarak %68'i) doğrudan doğruya kaynak için tüketilmiş olur. Bu oran elektrik ark kaynağında %25'dir [59].

Tozaltı Ark Kaynağında Kullanılan Kaynak Telleri

Tozaltı kaynak yönteminde kullanılan çıplak elektrotlar, kaynak teli diye adlandırılır. Tozaltı kaynak telleri, elektrik ark ocaklarında üretilen, kimyasal yapısı ile kaynak yerinin metalürjik güvenliği bakımından yüksek manganez (Mn) içeren özel çeliklerden imal edilirler. Çeşitli amaçlar için genellikle dairesel kesitli olarak 1,2 ile 12 mm çaplarında imal edilirler. Tozaltı kaynağında kullanılan teller özellikle bileşimlerindeki manganez miktarına göre sınıflandırılmakta olup, sınıflandırma Çizelge 2.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.2. Tozaltı kaynak tellerindeki manganez miktarı [59].

Düşük Manganezli Kaynak Telleri	%0,30 – 0,60 Mn
Orta Manganezli Kaynak Telleri	%0,90 – 1,25 Mn
Yüksek Manganezli Kaynak Telleri	%1,75 – 2,25 Mn

Tozaltı ark kaynağında kullanılan kaynak tellerinin içerisine aynı zamanda karbon, silisyum, mangan, krom, nikel gibi alaşım elementleri ilave edilir. Bu elementlerin kaynak bölgesine kattığı etkiler Çizelge 2.3’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.3. Tel içerisine katılan alaşım elamanlarının kaynağa kazandırdığı özellikler [60].

Alaşım elemanı	Kaynağa kazandırdığı özellik
Karbon (C)	Sertliğini artırır, dayanımı yükseltir.
Silisyum (Si)	Deokside eder, işleme ve kaynak kabiliyetini artırır.
Manganez (Mn)	Sertlik, çekme ve çentik darbe dayanımını artırır (Uzama).
Molibden (Mo)	Sıcaklığa karşı dayanımını artırır.
Krom (Cr)	Sertliğini yükseltir ve sıcaklığa karşı dayanımını artırır.
Nikel (Ni)	Düşük sıcaklıklarda dayanımını artırır.

Tozaltı kaynağında elektrod çapının kaynak karakteristikleri üzerinde etkileri vardır. Diğer bütün koşullar sabit tutulduğunda, elektrod çapının artırılması ile dolgu genişliği artar, nüfuziyet ve dolgu miktarı azalır.

Tozaltı Ark Kaynağında Kullanılan Kaynak Tozları

Tozaltı ark kaynağında kullanılan kaynak tozları, örtülü elektrodlardaki örtünün fonksiyonunu yerine getirir. Kaynak işlemine fiziksel ve metalurjik bakımdan tesir eder. Kaynak tozları fiziksel olarak kaynak banyosunu atmosferden korur, kaynak dikişine uygun bir form verir ve çabuk soğumasına mâni olur. Kaynak tozları, kaynak metalinin alaşımlandırılmasına, dikişin gözeneksiz olmasına ve kaynak metalinin içyapısının hatalardan arındırılmış olmasına etki eder [61].

Tozaltı Ark Kaynağının Avantajları Ve Dezavantajları

Avantajları;

- Yüksek kaynak hızı, kaynak parametreleri uygun seçildiğinde hatasız ve güzel görünümlü kaynak dikişleri elde edilir.
- Kaynak arkı, kaynak tozu tarafından örtüldüğünden ark ışınlarından korunmak için maske kullanmaya gerek yoktur.
- Kaynak esnasında zararlı metal tozları ve duman çıkmaz.
- Derine işleme kabiliyeti iyi olduğu için dar ve daha derin kaynak ağzı açmadan 16 mm kalınlığa kadar, iki taraflı kaynakta ise 30 mm kalınlığa kadar kaynak yapabilme imkânı sağlar.
- Yarı otomatik, tam otomatik uygulamalara uygun olduğu gibi istenirse elle uygulama imkânı da vardır [47].

Dezavantajları;

- Yöntemin ilk yatırım maliyeti yüksektir.
- Tozaltı ark kaynak tozları havadan nem almaya eğilimlidir, bu da kaynakta gözeneğe neden olur. Bu nedenle tozları kurutma ihtiyacı ortaya çıkar. Tozlar kaynaktan evvel 2-3 saat 300 °C'de ısıtılmalıdır.
- Yüksek kalitede kaynaklar elde edebilmek için ana metal düzgün olmalı, yüzeyinde yağ, pas ve kirlilikler olmamalıdır.
- Tozaltı kaynağı 5 mm'den ince malzemelerde yanma yapabileceği için genellikle uygun değildir.
- Yöntem özel bazı uygulamalar hariç, düz, yatay pozisyondaki alın kaynakları ve köşe kaynakları için uygundur [61].

BÖLÜM 3

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. DENEY NUMUNELERİNİN HAZIRLANIŞI

Özellikle sanayi devriminden sonra artan enerji ihtiyacını karşılamak üzere dünyada sınırlı halde katı, sıvı ve gaz olarak bulunan petrol ve türevlerini aramak üzere çok çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bunlardan en önemlileri arasında sayılabilecek dünya üzerindeki açık deniz ve okyanuslarda kullanılan, arama ve sondaj faaliyetlerini yürüten petrol platformlarıdır. Bu platformlar aylarca hatta yıllarca okyanusun ortasında kalarak arama ve sondaj faaliyetlerini gerçekleştirebilirler. Bu noktada platformlara çok çeşitli sıvı ve kimyasalları gerek destek olarak gerekse platforma veya platformdan transfer etmek amacıyla açık deniz petrol platformu destek gemileri (petrol supply vessel) sınıfı gemiler geliştirilmiştir. Bu gemilerin en belirgin özellikleri; çalıştıkları okyanuslar ve denizlerin standart ticari gemilerin rotalarından daha dalgalı denizler olması sebebiyle gemilerin genel olarak mukavemetli olmaları ve taşıdıkları yüklerin çeşitli olması sebebiyle de bünyesinde özel malzemelerin kullanılarak imal edilmiş olmasıdır.

Bu çalışmada bahsi geçen açık deniz destek gemilerinin çoğu tasarımında, dahili olarak bünyesinde bulunan paslanmaz çelik sacdan yapılmış tanklar düşünülerek, bu malzemelerin birbiriyle ve kendi içlerinde tozaltı kaynak yöntemiyle birleştirilmiş bağlantıları farklı kaynak parametreleri altında yapılmış, bu bağlantıların mekanik özellikleri ve distorsiyon ölçümleri yapılarak bir en iyileme araştırması gerçekleştirilmiştir.

3.1.1. DeneYlerde Kullanılan Malzemeler

DeneYlerde, Türkiye’de üretilen açık deniz destek gemilerin imalatında yoğun olarak kullanılan AH36 düşük karbonlu elik ve taşıyacağı özel kimyasal sıvıları depolayacağı elik tankın imalatında kullanılan AISI316L paslanmaz elik malzemelerin kullanılmasına karar verilmiştir. AH36 düşük karbonlu elik malzeme Türkiye’de gemi inşatında sıklıkla tercih edilen, işlenebilirliği yüksek olan bir elik malzemedir. AISI316L ise paslanmaz elik sınıfında düşük karbonlu olması sebebiyle taneler arası korozyon problemini büyük ölçüde ortadan kaldırdığı ve kırılganlığı AISI316’ya göre daha az olduğu için özellikle denizcilik alanında yoğunlukla tercih edilmektedir.

3.1.2. Deney Numunelerini Sabitlemek İçin Kullanılacak Kaynak Tutucu Aparatın Hazırlanması

Tozaltı kaynak işleminin öncesinde üzerinde hassasiyetle durulması gereken iki husus bulunmaktadır. Birincisi, tozaltı kaynak robotunun hareket edeceği yolun pürüzsüz ve düzgün olmasının sağlanması, ikincisi ise birleştirilecek malzemelerin alın alına getirildikleri zaman aynı hizada olmaları çok büyük önem arz etmektedir. Tozaltı uygulamalarında robotun takip edeceği yolun önceden dşnlmş olması ve przszlğnn sağlanması gerekmektedir, aksi takdirde kaynak işlemi sonunda sağlıklı bir kimyasal yapıda bağlantı elde edilemeyecektir. Bahsi geçen ikinci durumun sağlanamaması durumunda ise iki malzeme arasındaki yükseklik veya geometri farkından dolayı tozaltı kaynağı robotu ile hatalı bir birleştirme işlemi gerçekleşmiş olur.

Birleştirme işleminin sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi için malzemeleri birbirine sabitlemede kullanılan bir tutucu aparat tasarlanmış ve imal edilmiştir. şekil 3.1’de tozaltı kaynaklı birleştirme yapılan malzemeleri sabitlemede kullanılan tutucu kaynak aparatı gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Tozalıtı ark kaynak birleştirme için geliştirilen tutucu aparat.

3.1.3. Deneyde Kullanılan Malzeme Kimyasal Kompozisyonu, Kaynak Numunelerinin Hazırlanışı Ve Kaynak Parametreleri

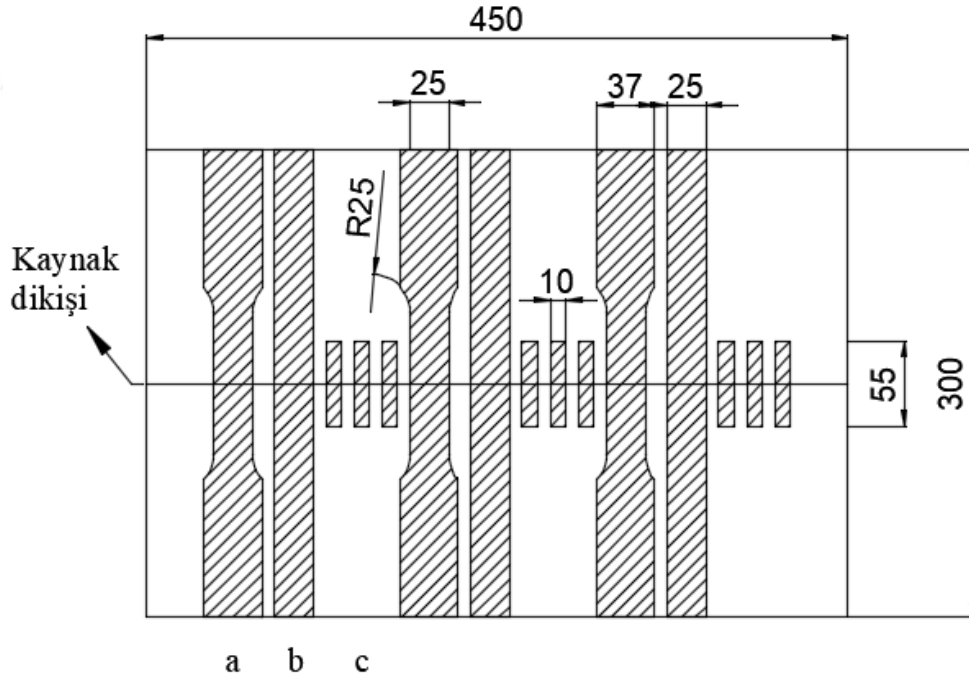
İlk olarak deney numunelerinin oluşturulacağı çelik sac plakalar belirlenmiş ve her sac plakasından spektral analiz yapmak için numuneler alınmış ve bu numunelerin metalografisi incelenerek, saclar üretilirken hangi yönde haddeleme yapıldığı belirlenmiştir. AH36 ve AISI316L çelik malzemelere ait kimyasal bileşimler Çizelge 3.1’de verilmiştir. Tozalıtı ark kaynak dikişleri hadde yönüne dik olacak şekilde uygulanmıştır. Sonrasında TSE (Türk Standartları Enstitüsü) EN (European Norm) 4136 (metalik malzemelerin kaynakları üzerinde tahribatlı deneyler, enine çekme deneyi), 9016 (metalik malzemelerde kaynaklar üzerinde tahribatlı deneyler, vurma deneyleri, deney numunesi yeri, çentik yönü ve muayene) ve 5173 (metalik malzemelerde kaynak dikişleri üzerinde tahribatlı muayeneler, eğme deneyleri) standartları incelenerek numune boyutları hesaplanmıştır. Ayrıca, deneysel verilere göre elde edilecek sonuçların kullanılabilirliğini sağlamak amacıyla her bir deney numunesinden üçer adet hazırlanmasına karar verilmiştir. Nihai olarak üçer adet çekme, eğme ve darbe çentik numunesinin boy ve genişlikleri hesaplanarak plaka boyutlarının yüksekliğinin 300 mm, genişliğinin ise 450 mm olması hesaplanmıştır. Plakanın kalınlığı ise kaynak işlemi bittikten sonra birer mm alt ve üst yüzeylerden

freze ile yüzey temizliği yapıp 10 mm'ye düşürüleceği hesaplanıp, plaka kalınlığı 12 mm olarak seçilmiştir.

Çizelge 3.1. AH36 ve AISI316L çeliklerinin spektral analizleri.

Kalite	C	Si	Mn	P	S	Al	Ti	Cu	Cr	Ni	Mo	Nb
AH36	0,14	0,15	0,95	0,015	0,063	0,035	0,013	0,013	0,03	0,006	0,016	0,034
AISI 316L	0,035	0,773	1,271	0,033	0,043	0,016	0,107	0,435	17,33	9,874	0,456	0,026

Toplamda numune boyutları için 450x300 mm'lik bir plakaya ihtiyaç olduğu hesaplanmıştır. 300 mm'lik boyu elde edebilmek için 450x150 mm'lik plakalar kesilerek 450 mm'lik geniş kısımlarından kaynaklı birleştirme yapılmıştır. Şekil 3.2'de, kaynaklı numuneler için çekme deneyi, darbe çentik deneyi ve eğme deneyi standart numune boyutları ve 450x300 mm'lik plakaya kaynatıldıktan sonra kesim için dizilmiş hali verilmiştir.



Şekil 3.2. a) TSE4136'ya göre çekme numunesi boyutları, b) TSE5173'e göre eğme numunesi boyutları, c) TSE9016'ya göre darbe çentik numune boyutları.

Sonuçta, kaynak numunesi standartlarına uygun olarak AH36 çeliği ile AISI 316L paslanmaz çelik malzemelerin her biri için üç adet kaynaklı birleştirme deney seti

oluşturulmuştur. Ayrıca, farklı özelliklere sahip iki çelik malzeme kalitesi önce birbiriyle sonra dissimilar olacak şekilde üç farklı deney seti grubu oluşturulmuştur. Birinci deney setinde gemi bünyesindeki sıklıkla kullanılan birleştirmeleri öngörüp AH36 çelik malzemeler AH36 çelik malzemelerle birleştirilmiştir. İkinci deney setinde, gemi bünyesinde yukarıda bahsi geçen özel tankların, geminin bünyesini oluşturan AH36 çeliği ile AISI 316L paslanmaz çeliği birleştirilmiştir. Son olarak, yine yukarıda bahsi geçen tankların gemi bünyesi üzerinde kendi içlerinde birleştirilmelerini öngörüp AISI 316L paslanmaz çelik numuneler birbirleriyle kendi içinde birleştirilmiştir.

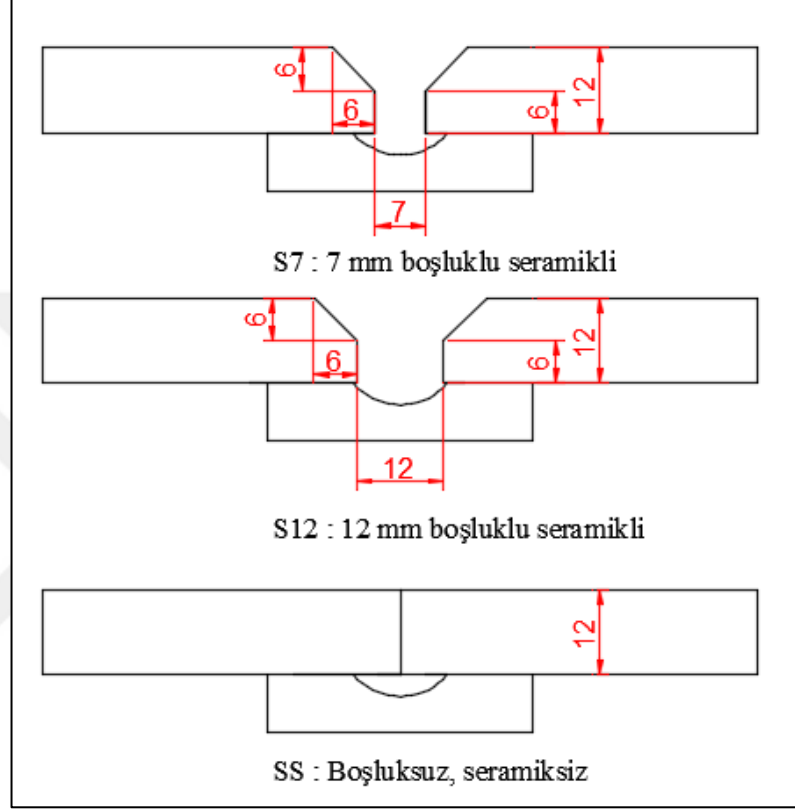
Bu birleştirmelerin her birinde 450x150x12 mm ebatlarında plakalar birleştirilerek 450x300x12 mm boyutlarında dokuz adedi kaynak parametrelerinin değişimini incelemek için, dokuz adedi ise distorsiyon ölçümü için olmak üzere her bir deney grubu için on sekiz adet 450x300x12 mm ebatlarında deney numunelerini içerisinden kesip çıkarılabilecek şekilde plakalar oluşturulmuştur. Bu işlem üç deney seti grubu için uygulanmış, 54 adedi AH36 ve 54 adedi AISI 316L olmak üzere toplamda 108 adet 450x150x12 mm parça kesilerek yukarıda tarif edilen şekilde içlerinden mekanik testler için numuneler çıkarılacak şekilde birbirleriyle farklı kaynak parametreleri altında birleştirilmişlerdir. Bütün deney setleri için uygulanan kaynaklardan şekil 3.3'de kesilen ve birleştirilen parçalar gösterilmiştir.



Şekil 3.3. AH36-AH36, AH36-AISI 316L ve AISI 316L-AISI 316L çelik birleştirmeleri için 450x300x12 mm parçaların hazırlanması.

Bütün deney setlerinde 450x150x12 mm parçalar birleştirilirken kaynak ağzı detayı Şekil 3.4'de gösterildiği gibi arkalıklı (seramikli) 7 mm boşluklu (S7), arkalıklı (seramikli) 12 mm boşluklu (S12) ve arkalık ve seramik kullanılmadan, boşluksuz bir şekilde (SS) olmak üzere üç farklı kaynak ağzı birleşim detayı belirlenmiştir.

Çalışmanın bundan sonraki kısımlarında, kaynak birleşim tipleri belirtilen kısaltma kodlarla adlandırılacaktır. Kaynak ağızlarının 24 adet parçaya açılması, kök paso atılması, 12 adet parçaya kaynak ağızı açılmaması ve çift taraftan kaynak uygulaması 3 deney seti için eşit şekilde ve standartlarda uygulanmıştır.



Şekil 3.4. Birleşme detaylarının numaralandırılması ve detayların gösterimi.

3.1.3.1.AH36-AH36 Birleşimleri

Bu deney seti birleşimlerinde öncelikle, 36 adet 450x150x12 mm parçanın 24 tanesine 45° V tipi manuel olarak elle kullanılan kaynak ağızı açma makinesi kullanılarak kaynak ağızı açılmıştır. 12 tanesine ise çift taraflı olarak kaynatılacağı için kaynak ağızı açılmamıştır. Bu parçalar birbirine yapıştırılıp bir taraftan tozaltı ile kaynatılmış, daha sonra diğer tarafından zımpara taşı ile kaynağın özü bulunacak kadar temizlenmiş ve en sonunda tozaltı kaynağı ile tam nüfuz edecek şekilde kaynatılmıştır. Bu parçalarda seramik altlık kullanılmamıştır. Bu durum gemi inşa sanayinde tozaltı kaynağı ile birleştirilmelerde özellikle büyük panel birleşimlerinde sıkça uygulanan bir yöntemdir.

Kaynak ağızı 45° V tipi şekilde açılan 24 adet parçaya sabit 32 mm/dk hızı ve 9,6 amper değeri ile 3 mm kalınlığında gaz altı ark kaynak metodu ile kök paso atılmıştır. Bu uygulamanın sebebi, bu parçaların birleştirilmesi esnasında boşluk olduğu için seramik kullanılacağından direkt olarak seramiğe tozaltı uygulanması neticesinde yüksek amper girdisi olacağı ve seramiklerin bunları kaldıramayıp kullanılamaz hale geleceğidir. Nitekim pratikte gemi tersanelerinde uygulama bu şekildedir. AH36-AH36 çelik çifti birleşimlerinin hazırlanması ilgili resimler Şekil 3.5'te gösterilmiştir.



Şekil 3.5. AH36-AH36 çelik çifti birleşimlerinin hazırlanması.

Kaynak Parametreleri

AH36-AH36 parçaların tozaltı ark kaynağı ile birleştirilmesi çalışmasında yukarıda bahsedildiği üzere her bir deney seti için 36 adet 450x150x12 mm boyularında parçalar birleştirilerek numuneleri çıkarabilmek için toplam 18 adet 450x300x12 mm'lik plakalar oluşturulmuştur. Bunların 9 adedi distorsiyon ölçümleri, kaynak çekmelerini görebilmek için destek lamasız, birleştirilmiştir. 9 adedi ise düzlüklerle kaynaktan önce montajlanarak distorbe olmasının önüne geçilmeye çalışılmıştır. Bu işlemler AH36-AH36, AH36-AISI 316L ve AISI 316L-AISI 316L her bir deney seti için 3 defa tekrarlanmış olup her birinde kullanılan kaynak parametreleri değişkenlik göstermiştir. Bunlar 1'den 18'e kadar numaralandırılmıştır. 1-9 arası olanlar distorsiyon ölçümü yapmak için 10-18 arası olanlar ise mekanik testleri yapmak için oluşturulmuştur. Distorsiyon için oluşturulan parçalarda kaynak çekmesini engellemek için düzlük vs. yardımcı eleman kullanılmamıştır.

Gemi inşa sanayisinde yapılan görüşmeler sonucunda, 12 mm kalınlığında AH36 kalite çelik birleştirilmesinde kullanılan optimum kaynak akımının 425A olduğu

belirlenmiş olup, alt sınır olarak 400A ve üst sınır olarak 450A olmak üzere üç farklı kaynak akım değeri seçilmiştir.

Numunelerin kodlarıyla birlikte kullanılan kaynak parametrelerine göre listelenmiş hali Çizelge 3.2’de gösterilmiştir. Burada; GAK, gaz altı ark kaynağını, TAK ise tozaltı ark kaynağını ifade etmektedir.

Çizelge 3.2. AH36-AH36 tozaltı kaynak parametreleri.

Deney Numarası	Tipi	Kaynak Metodu	Akım (A)	Hız (cm/dk)		Isı Girdisi (kJ/mm)	
				1. Paso /	2. Paso		
1/10	Distorsiyon	S7	GAK +TAK	400	43	35	0,28
2/11		S7	GAK +TAK	425	43	36	0,35
3/12		S7	GAK +TAK	450	43	37	0,37
4/13		SS	TAK	400	42	35	0,33
5/14		SS	TAK	425	42	35	0,35
6/15		SS	TAK	450	42	35	0,37
7/16		S12	GAK +TAK	400	34	28	0,33
8/17		S12	GAK +TAK	425	34	28	0,35
9/18		S12	GAK +TAK	450	34	28	0,37

Yine yukarıdaki çizelgede belirtilen ısı girdileri, her numune için ayrı ayrı Eşitlik 1’de verilen ısı girdisi denklemine göre hesaplanmıştır.

$$HI = \mu \times \frac{I \times E}{V \times 1000} \text{ (kJ/mm)} \quad (1)$$

Formülde verilen HI=Isı girdisi miktarı μ =ark verimidir ve tozaltı ark kaynağı için bu değer 0,95’tir. I=Akım (A)’ı, E=Voltaj (V)’ı, V=Kaynak hızı (mm/s)’nı belirtmektedir.

Tozaltı ark kaynağı iki pasoda gerçekleştirildiği için ısı girdisi bu iki değer aritmetik ortalaması olarak alınmıştır. Arkalıksız, boşluksuz (SS) 4, 5, 6, 13, 14, 15 numaralı numunelere çift taraflı işlem olduğu için çizelgede belirtilen değerlerin bu numuneler için iki defa uygulandığı unutulmamalıdır.

AH36 çiftlerinin tozaltı kaynağı ile birleşiminde kaynak makinesi olarak ESAB AB markasının A2 Multitrack modeli tercih edilmiştir. Ayrıca 3,2 mm çapında Hyundai marka kaynak teli ve tozaltı ark kaynak tozu olarak Geka markası kullanılmıştır. Kullanılan tozaltı kaynak teli ve tozunun kimyasal özellikleri Çizelge 3.3'te belirtilmiştir.

Çizelge 3.3. Tozaltı ark kaynak teli ve tozunun kimyasal kompozisyonu.

Kaynak Teli	C	Si	Mn	P	S	Mo
Hyundai H14-3.2 mm	0.10	0.29	1,56	0.022	0.011	-
Kaynak Tozu	C	Si	Mn	Mo	-	-
Geka Eliflux BFB S2	0,07	0,35	1,50	-	-	-

3.1.3.2.AH36-AISI 316L Birleşimleri

Bu deney seti birleşimlerinde ilk olarak, 36 adet 450x150x12 mm boyutlarında parçanın 24 tanesine 45° V tipi manuel olarak elle kullanılan kaynak ağızı açma makinesi ile kaynak ağızı açılmıştır. 12 tanesine ise çift taraflı olarak kaynatılacağı için kaynak ağızı açılmamıştır. Bu parçalar birbirine montajlanıp bir taraftan tozaltı ile kaynatılmış, daha sonra diğer tarafından zımpara taşı ile kaynağın özü bulunacak kadar temizlenmiş ve en sonunda da tozaltı kaynağı ile tam nüfuz edecek şekilde kaynatılmıştır. Ayrıca bu parçalarda seramik altlık kullanılmamıştır.

Bu deney setinde, kaynak ağızı 45° V tipi şekilde açılan 24 adet parçaya sabit 32 mm/dk hız ve 9,6 amper değeri ile yaklaşık olarak 3 mm kalınlığında gaz altı kaynak metodu ile kök paso atılmıştır. AH36-AISI 316L çelik çiftinin hazırlanmasıyla ilgili resimler Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. AH36-AISI 316L çelik ve paslanmaz çelik çiftinin hazırlanması.

Kaynak Parametreleri

Gemi inşa sanayisinde yapılan görüşmeler ve ön deneyler sonucunda, AH36-AISI 316L çelikleri ve 12 mm kalınlık birleştirmelerinde kullanılan optimum kaynak akımının 400A olduğu belirlenmiş olup, alt sınır olarak 350A ve üst sınır olarak 450A olmak üzere üç farklı kaynak akım değeri seçilmiştir.

Numunelerin kodlarıyla birlikte kullanılan kaynak parametrelerine göre listelenmiş hali Çizelge 3.4'te gösterilmiştir. Burada; GAK, gaz altı ark kaynağını, TAK ise tozaltı ark kaynağını ifade etmektedir.

Çizelge 3.4. AH36-AISI 316L tozaltı kaynak parametreleri.

Deney Numarası	Tipi	Kaynak Metodu	Akım (A)	Hız (cm/dk)		Isı Girdisi (kJ/mm)	
				1. Paso /	2. Paso		
1/10	Distorsiyon	S7	GAK +TAK	350	43	35	0,24
2/11		S7	GAK +TAK	400	43	36	0,33
3/12		S7	GAK +TAK	450	43	37	0,37
4/13		SS	TAK	350	42	35	0,29
5/14		SS	TAK	400	42	35	0,33
6/15		SS	TAK	450	42	35	0,37
7/16		S12	GAK +TAK	350	34	28	0,29
8/17		S12	GAK +TAK	400	34	28	0,33
9/18		S12	GAK +TAK	450	34	28	0,37

Çizelge 3.4’te verilen ısı girdileri, Eşitlik 1 kullanılarak her numune için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Tozaltı ark kaynağı iki pasoda gerçekleştiği için ısı girdisi bu iki değer aritmetik ortalaması olarak alınmıştır. Arkalıksız, boşluksuz (SS) 7, 8, 9, 16, 17, 18 numaralı numunelere çift taraflı işlem olduğu için tabloda belirtilen değerlerin bu numuneler için iki defa uygulandığı unutulmamalıdır.

AH36- AISI 316L çiftlerinin tozaltı ark kaynağı ile birleşiminde kaynak makinesi olarak ESAB AB markasının A2 Multitrack modeli tercih edilmiştir. Ayrıca 3,2 mm çapında Hyundai marka kaynak teli ve tozaltı kaynak tozu olarak da Geka markası kullanılmıştır. Kullanılan tozaltı ark kaynak teli ve tozunun kimyasal özellikleri Çizelge 3.5’de belirtilmiştir.

Çizelge 3.5. Tozaltı ark kaynak teli ve tozunun kimyasal kompozisyonu.

Kaynak Teli ESAB OK Autrod 309L-3,2 mm	C	Si	Mn	N	S	Mo	Ni	Cr
	0,02	0,4	1,8	0,05	0,011	0,1	13,4	23,2
Kaynak Tozu Geka Eliflux BFB S2	C	Si	Mn	Mo	-	-		
	0,07	0,35	1,50	-	-	-		

3.1.3.3.AISI 316L-AISI 316L Birleşimleri

Bu deney seti birleşimlerinde ilk olarak, 36 adet 450x150x12 mm parçanın 24 tanesine 45° V tipi manuel olarak elle kullanılan kaynak ağı açma makinesiyle kaynak ağı açılmıştır. 12 tanesine ise çift taraflı olarak kaynatılacağı için kaynak ağı açılmamıştır. Bu parçalar birbirine montajlanıp bir taraftan tozaltı ile kaynatılmış, daha sonra diğer tarafından zımpara taşı ile kaynağın özü bulunacak kadar temizlenmiş ve en sonunda da tozaltı kaynağı ile tam nüfuz edecek şekilde kaynatılmıştır. Ayrıca bu 12 parçada seramik altlık kullanılmamıştır.

Bu deney setinde kaynak ağı 45° V tipi şekilde açılan 24 adet parçaya sabit 32,5 mm/dk hız ve 13 amper değeri ile yaklaşık olarak 3 mm kalınlığında gaz altı kaynak metodu ile kök paso atılmıştır. AISI 316L-AISI 316L parçaların hazırlanmasıyla ilgili resimler Şekil 3.7’de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. AISI 316L-AISI 316L paslanmaz çelik çiftinin hazırlanması.

Kaynak Parametreleri

Gemi inşa sanayisinde yapılan görüşmeler sonucunda, 12 mm kalınlığında AISI 316L-AISI 316L paslanmaz çelik çiftinin birleştirilmesinde kullanılan optimum kaynak akımının 350A olduğu belirlenmiş olup, alt sınır olarak 300A ve üst sınır olarak 400A olmak üzere üç farklı kaynak akım değeri seçilmiştir.

Numunelerin kodlarıyla birlikte kullanılan kaynak parametrelerine göre listelenmiş hali Çizelge 3.6'da gösterilmiştir. Burada; GAK, gaz altı ark kaynağını, TAK ise tozaltı ark kaynağını ifade etmektedir.

Çizelge 3.6. AISI 316L-AISI 316L tozaltı kaynak parametreleri.

Deney Numarası	Tipi	Kaynak Metodu	Akım (A)	Hız (cm/dk)		Isı Girdisi (kJ/mm)	
				1. Paso /	2. Paso		
1/10	Distorsiyon	S7	GAK +TAK	300	43	35	0,21
2/11		S7	GAK +TAK	350	43	36	0,29
3/12		S7	GAK +TAK	400	43	37	0,33
4/13		S12	GAK +TAK	300	42	35	0,25
5/14		S12	GAK +TAK	350	42	35	0,29
6/15		S12	GAK +TAK	400	42	35	0,33
7/16		SS	TAK	300	34	28	0,25
8/17		SS	TAK	350	34	28	0,29
9/18		SS	TAK	400	34	28	0,33

Çizelge 3.6'da verilen ısı girdileri, Eşitlik 1 kullanılarak her numune için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Tozaltı ark kaynağı 2 pasoda gerçekleştiği için ısı girdisi bu iki değer aritmetik ortalaması olarak alınmıştır. Arkalıksız, boşluksuz (SS) 7, 8, 9, 16, 17, 18 numaralı numunelere çift taraflı işlem olduğu için tabloda belirtilen değerlerin bu numuneler için iki defa uygulandığı unutulmamalıdır.

AISI 316L paslanmaz çelik çiftlerinin tozaltı ark kaynağı ile birleşiminde kaynak makinesi olarak ESAB AB markasının A2 Multitrack modeli tercih edilmiştir. Ayrıca 3,2 çapında Hyundai marka kaynak teli ve tozaltı kaynak tozu olarak da Geka markası kullanılmıştır. Kullanılan tozaltı kaynak teli ve tozunun kimyasal özellikleri Çizelge 3.7'de belirtilmiştir.

Çizelge 3.7. AISI 316L paslanmaz çelik çiftlerinin tozaltı ark kaynağı ile birleşiminde kullanılan tozaltı ark kaynak teli ve tozunun kimyasal kompozisyonu.

Kaynak Teli GEKA Elox Up 316L-3,2 mm	C	Si	Mn	N	S	Mo	Ni	Cr	Cu
	0,018	0,55	2,24	0.05	0.016	2,03	11,32	18,03	0,36
Kaynak Tozu Geka Eliflux BFB S2	C	Si	Mn	Mo	-	-	-	-	-
	0,07	0,35	1,50	-	-	-	-	-	-

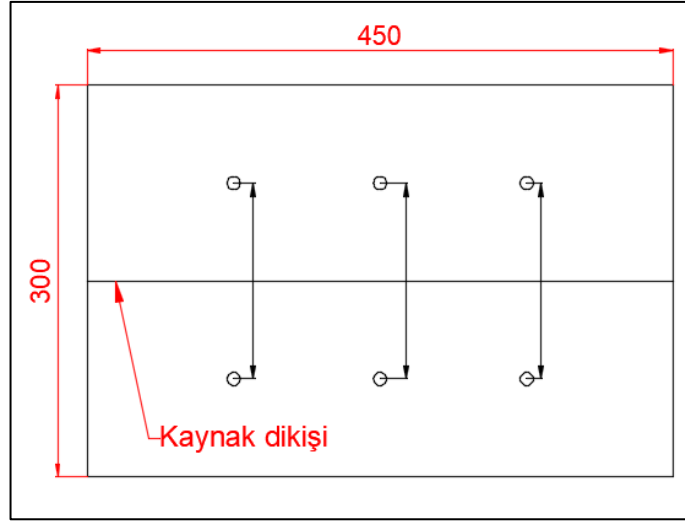
3.1.4. Tahribatsız Muayene-Radyografik Muayene

Kaynak dikişlerinde herhangi bir kaynak hatası ve süreksizlik (gözenek, gaz boşluğu, çatlak vb.) oluşup oluşmadığını kontrol etmek amacıyla, mekanik deneyler öncesinde bütün deney numuneleri radyografik muayeneye tabi tutulmuştur.

Radyografik muayene kontrolü, EKA NDT Gözetim Ltd. tarafından 190 kV, 5 mA enerji ile 220 sn pozlama süresinde, film kaynak uzaklığı ffd: 700 mm olacak şekilde X ışınları uygulanarak Cemre Tersanesi ön imalat atelyesinde gerçekleştirilmiştir. Kaynak dikişlerinin radyografik muayene kontrolü sonucunda herhangi bir gözenek, gaz boşluğu, çatlak vb. kaynak hatasına rastlanmamıştır.

3.2. DİSTORSİYONLARIN ÖLÇÜMÜ

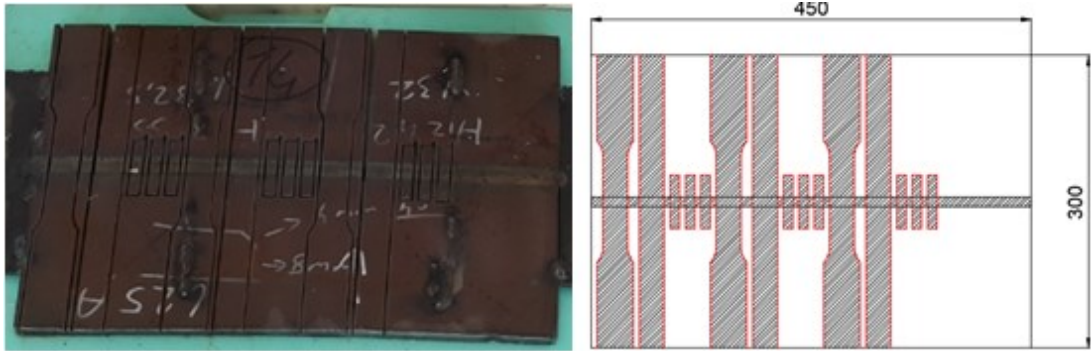
Her bir deney seti için 36 adet 450x150x12 mm boyutlarındaki plakalar Şekil 3.8’de gösterildiği gibi birleştirilerek toplam 18 adet 450x300x12 mm parça oluşturulmuştur. Bunlar 1’den 18’e kadar numaralandırılmıştır. 1-9 arası olanlar mekanik testler için numuneleri çıkarabilmek için kullanılmış olup, 9-18 arası numaralandırılanlar tamamen düzlüksüz ve destek lamasız birleştirilerek çarpılması istenmiştir. Distorsiyon miktarının belirlenmesi için öncelikle kaynak yapılmadan önce 450x150x12 mm parçaların boyuna orta noktasında eşit aralıklarla sert metal marka kalemi ile üç yerden işaretlenmiştir. Parçalar soğuduktan sonra işaretlenen üç yerin karşılıklı mesafeleri kumpasla ile ölçülerek distorsiyon miktarı tespit edilmiştir.



Şekil 3.8. Distorsiyonların ölçümü için parçaların markalanması.

3.3. MEKANİK DENEYLER VE UYGULANIŞI

Tozaltı ark kaynağı ile birleştirilen paslanmaz ve düşük karbonlu çelik çiftlerinin mekanik ve mikroyapı özelliklerinin belirlenebilmesi için birleştirmelerden deney numuneleri ilgili standartlara göre belirlenmiş ölçülerde lazer kesim vasıtasıyla çıkarılmıştır. Şekil 3.9’da deney numunelerinin makro görüntüsü ve numune boyutları şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Lazer kesim ile çıkarılan numunelerin görüntüsü ve numune boyutları.

Tahribatlı muayene yöntemlerinden olan çekme deneyi için kaynaklı numuneler TSE EN 4136 standardına uygun olarak her bir parametre için üçer adet, eğme deneyi için TS EN 5173 standardına uygun olarak üçer adet, V çentik darbe deneyi için TS EN

9016 standardına uygun olarak 12'şer adet numune hazırlanmıştır. Metalografi ve sertlik incelemeleri için birer adet çentik numuneleri kullanılmıştır.

3.3.1. Çekme Deney Numunesinin Hazırlığı Ve Deneyi

Kaynaklı birleştirmelerin ve deneylerde kullanılan düşük karbonlu ve paslanmaz çelik ana malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan temel testlerden olan çekme deneyi için, her bir kaynak parametresine ait üçer adet kaynaklı çekme deney numuneleri TS EN ISO 4136 standardına göre hazırlanmıştır. Bu bağlamda, bütün numunelerin özdeş ve yüzey kalitesinin aynı olması için frezeleme işlemleri aynı kesme şartları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.10'da çekme deney numunelerinin fotoğrafları gösterilmiştir.



Şekil 3.10. TS EN 4136 standardına göre hazırlanmış çekme deneyi numuneleri.

Çekme deneyi, Karabük Üniversitesi Demir Çelik Enstitüsü'nde, bünyesinde bulunan 100 kN kapasiteli Zwick/Roell Z600 marka universal çekme testi cihazında 0,00025 1/s çekme hızında enine doğrultuda gerçekleştirilmiştir. (Şekil 3.11)



Şekil 3.11. Zwick/Roell Z600 çekme testi cihazı.

3.3.2. Çentik Darbe Deney Numunesinin Hazırlığı Ve Deneyi

Kaynaklı numunelerin ani kuvvet etkisi altında darbe dayanımlarının belirlenebilmesi amacıyla her bir kaynak parametresine ait 12'şer adet darbe deneyi numuneleri TSE EN ISO 9016 standardına göre hazırlanmıştır. Şekil 3.12'de standart hazırlanan (10x10x55 mm) darbe deney numuneleri gösterilmiştir.



Şekil 3.12. TSE EN ISO 9016 standardına göre hazırlanan çentik darbe deneyi numuneleri

Darbe deneyi, Karabük Üniversitesi Demir Çelik Enstitüsü'nde, Zwick/Roell RKP450 marka sarkaç tipi motorize Charpy darbe deney cihazı kullanılarak, +20° ve -40° sıcaklıklarda gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.13).

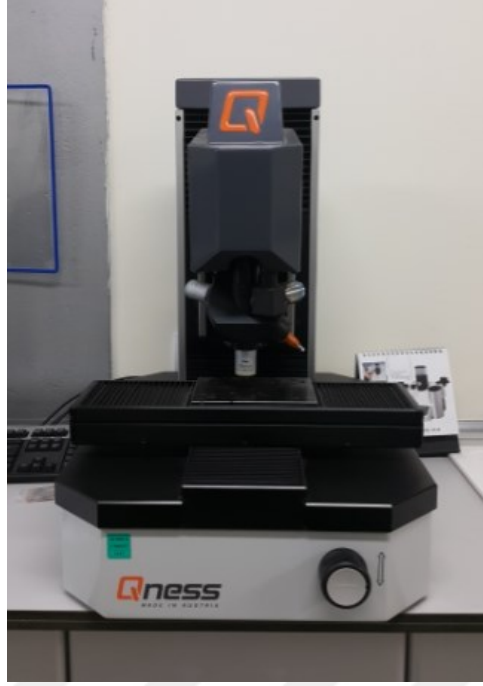


Şekil 3.13. Charpy deney cihazı.

3.3.3. Sertlik Ölçümü

Farklı kaynak parametrelerinde birleştirilen deney numunelerinin ana malzeme, ITAB ve kaynak metali sertlik profilleri belirlenmiştir. Sertlik ölçümü metalografik olarak hazırlanan numune üzerinde Karabük Üniversitesi Demir Çelik Enstitüsü mekanik testler laboratuvarında bulunan QNESS marka Vickers mikrosertlik ölçüm cihazıyla elmas piramit batıcı uca 15 saniye süreyle 500 g yük uygulayarak 2 mm aralıklarla gerçekleştirilmiştir.

Sertlikler her üç farklı birleşim gruplarından ve üç farklı kaynak akımının orta değerindeki numuneler üzerinden alınmıştır. Şekil 3.14'de sertlik ölçüm cihazı gösterilmiştir.



Şekil 3.14. Sertlik ölçüm cihazı.

BÖLÜM 4

SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

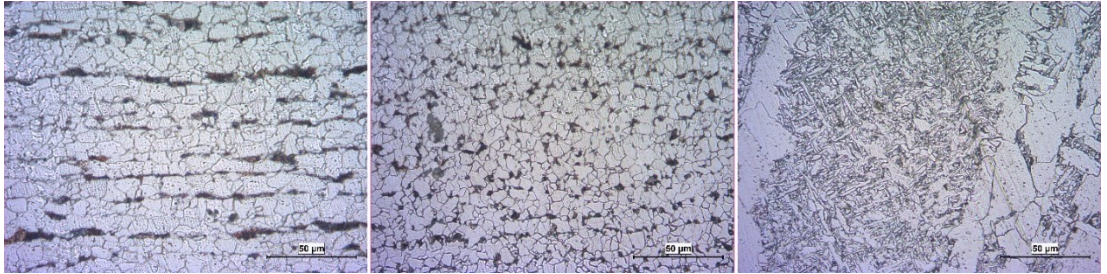
4.1. MİKROYAPI İNCELEMELERİ VE MEKANİK DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

4.1.1. Mikroyapı İncelemeleri

Çalışmada farklı kaynak ağızı, farklı kalite birleşim ve farklı akım değerlerinde birleştirilen çeliklerin kaynaklı birleştirmelerinden optik mikroskop ile mikroyapı görüntüleri alınmıştır. Mikroyapı görüntüleri için her bir birleştirme grubundan optimum açıklığa sahip seramikli ve seramiksiz numuneden olmak üzere, en uygun kaynak akım değeri kullanılarak birleştirilen iki farklı numune çiftinden görüntü alınmıştır.

4.1.1.1. AH36-AH36 Birleştirme İçin Mikroyapı İncelemeleri

AH36 çelik çifti birleştirmesinin mikroyapı görüntüleri Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de gösterilmiştir.

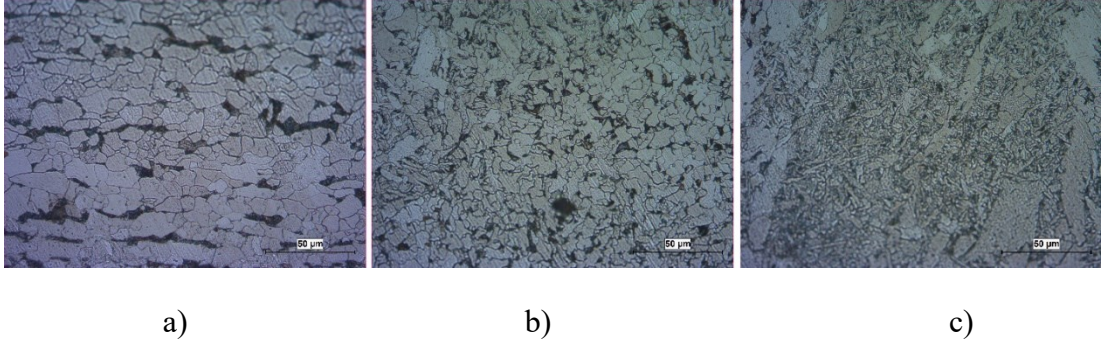


a)

b)

c)

Şekil 4.1. 2 numaralı numunenin mikroyapı görüntüleri; a) ana metal bölgesi, b) ITAB (ısı tesiri altındaki bölge) c) kaynak metali.

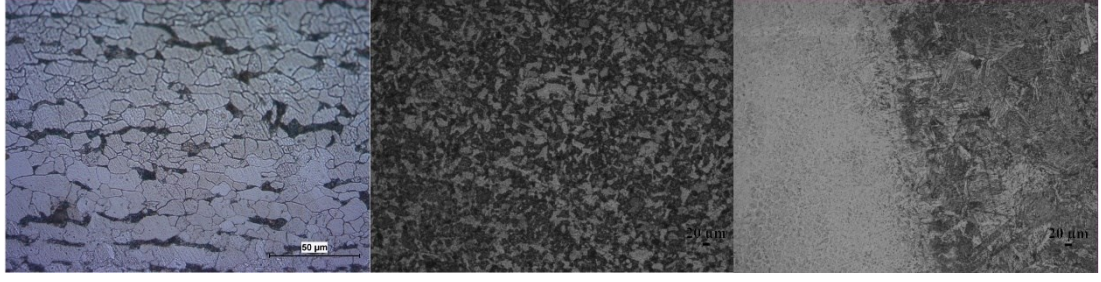


Şekil 4.2. 5 numaralı numunenin mikroyapı görüntüleri; a) ana metal b) ITAB (ısı tesiri altındaki bölge) bölgesi, c) kaynak metali bölgesi.

2 ve 5 numaralı numunelerin kaynak işlemi sonrası mikroyapı analizlerinde ana metal ve ITAB-kaynak geçiş bölgelerinin benzer mikroyapı ve faz özelliklerine sahip olduğu görülmektedir. Bu numunelerdeki ısı girdilerinin de birbirine yakın olmasından dolayı tane boyutu değişimlerinin de benzer özellikler taşıdığı, kaynak metali bölgesine doğru özellikte perlitik yapılarda olmak üzere ferritik yapılarda tane incelmeleri gözlemlendiği buna karşın birleştirme bölgelerinde tane irileşmesi tespit edilmiştir. 2 numaralı numunede farklı olarak ötektoid öncesi ferrit fazları oranı fazla olup daha belirgindir ancak her iki birleştirmede de kaynak metalinde asiküler ferrit yapıların varlığı dikkat çekmektedir. Kaynak metali detaylı olarak incelendiğinde farklı fazlarda ferrit yapıları da göze çarpmaktadır. Literatürde yapılan bir çalışmada yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çeliklerin birleştirilmesinde tozaltı ark kaynağı kullanılmış olup, kaynaklı bölgede ferrit ve perlit yapılarının incelendiği gözlemlenmiştir [62]. Benzer şekilde birleşme bölgesine komşu olan yapılarda ferrit tane büyümesi varlığı da dikkat çekmektedir. Literatürde yapılan bir diğer çalışmada, birleşme bölgesinde belirgin üç farklı fazın (allotromorfik ferrit (α_{am}), Widmanstätten ferrit (α_{ws}) ve intergranüler iğnemsî ferrit (α_{ac})) oluştuğunu tespit etmişlerdir [63].

4.1.1.2.AH36-AISI 316L Birleştirme İçin Mikroyapı İncelemeleri

AH36-AISI 316L çelik ve paslanmaz çelik çifti birleştirmesine ait mikroyapı görüntüleri Şekil 4.3, 4.4, 4.5 ve 4.6'da gösterilmiştir.

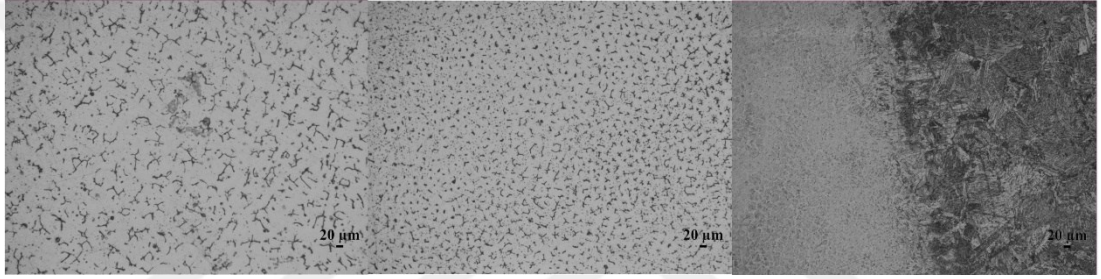


a)

b)

c)

Şekil 4.3. 2 numaralı numunenin AH36 çelik tarafı mikroyapı görüntüleri; a) ana metal b) ITAB (ısı tesiri altındaki bölge) c) kaynak metali.

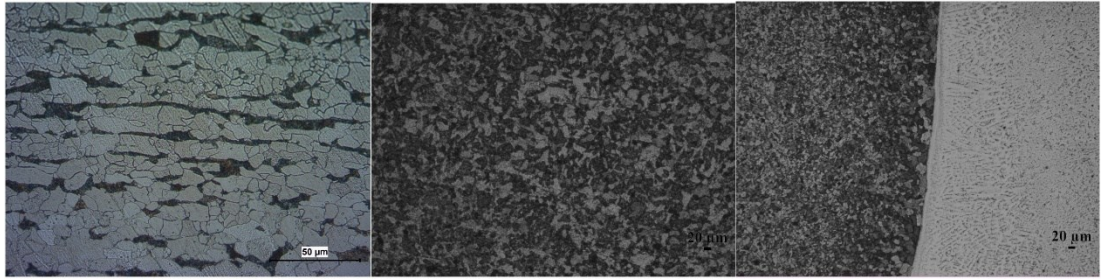


a)

b)

c)

Şekil 4.4. 2 numaralı numunenin AISI 316L paslanmaz çelik tarafı mikroyapı görüntüleri; a) ana metal b) ITAB (ısı tesiri altındaki bölge) c) kaynak metali.

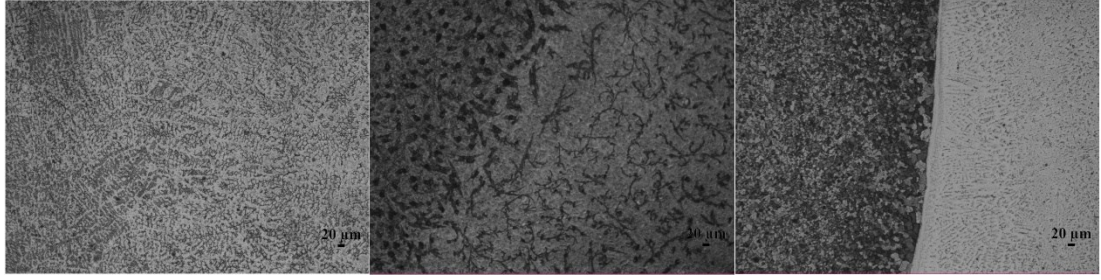


a)

b)

c)

Şekil 4.5. 5 numaralı numunenin AH36 çelik tarafı mikroyapı görüntüleri; a) ana metal, b) ITAB (ısı tesiri altındaki bölge) c) kaynak metali.



a)

b)

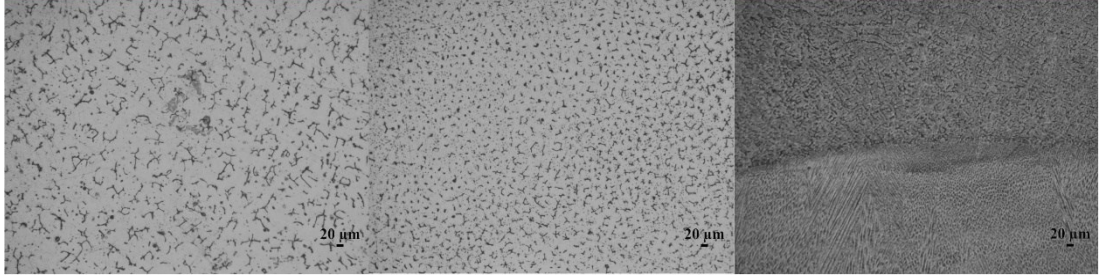
c)

Şekil 4.6. 5 numaralı numunenin AISI 316L paslanmaz çelik tarafı mikroyapı görüntüleri; a) ana metal b) ITAB (ısı tesiri altındaki bölge) c) kaynak metali.

Eş metallerin kaynaklı birleştirme bağlantıları incelendiğinde AH36-AISI 316L farklı metallerin birleştirilmesi sonrası mikroyapısal farklılıklar önemli ölçüde dikkat çekmektedir. AH36 ana metal ve ITAB bölgesi incelendiğinde tane incelmesinin önemli ölçüde gerçekleştiği dikkat çekmekte olup, AISI 316L tarafında ITAB'da tane irileşmesinin olduğu gözlemlenmiştir. 2 numaralı numunede birleşme bölgesinde homojen bir mikroyapı görülmekte olup herhangi bir faz vb. farklılıkları gözlemlenmemiştir. Ancak 5 numaralı numunede hem AH36 çelik hem de AISI 316L paslanmaz çelik tarafında tane boyutu ITAB'da korunmuş olup, boyut büyümesi ve faz değişimleri birleşme bölgesine komşu en yakın bölgede belirginleşmiştir. Bu konuyla ilgili olarak literatürde yapılan bir çalışmada AISI 4140 düşük alaşımlı çelik ve AISI 316 paslanmaz çeliğin gazaltı ark kaynağı ile birleştirilmesi sonrası mikroyapı ve mekanik özellikleri incelenmiştir [64]. Bu çalışmada farklı olarak çelik malzemede martenzitik yapılar gözlemlenmiş olup bunun nedeni yapılan çalışmalarda ısı girdilerinin farklı olması, dolayısıyla farklı mikroyapı özelliklerine neden olduğu tespit edilmiştir. Farklı ısı girdilerine rağmen östenitik tane yapısına sahip AISI 316L malzemede tane irileşmesi, tez çalışmasındaki AISI 316L davranışıyla benzer niteliktedir. Literatürde yapılan bir diğer çalışmada AISI 316L ve AH36 farklı metallerin alın kaynağı sonrası mikroyapı incelemelerinde ferrit yapının yanında martenzit yapıların da varlığı göze çarpmaktadır [65].

4.1.1.3.AISI 316L-AISI 316L Birleştirme İçin Mikroyapı İncelemeleri

AISI 316L-AISI 316L paslanmaz elik çiftine ait mikroyapı görüntüleri Şekil 4.7 ve 4.8’de gösterilmiştir.

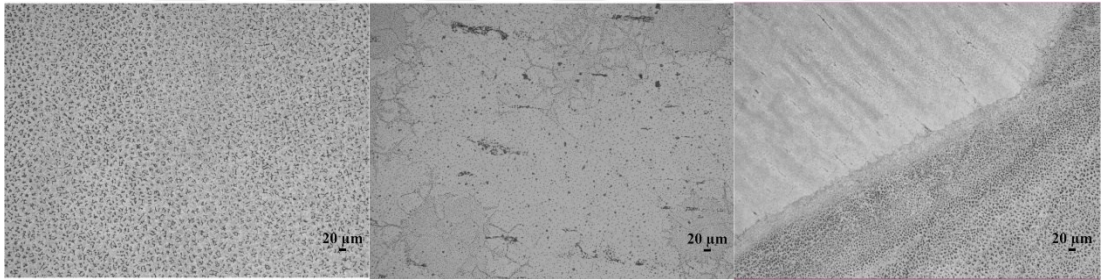


a)

b)

c)

Şekil 4.7. 2 numaralı numunenin mikroyapı görüntüleri; a) ana metal b) ITAB (ısı tesiri altındaki bölge) c) kaynak metalini.



a)

b)

c)

Şekil 4.8. 5 numaralı numunenin mikroyapı görüntüleri; a) ana metal b) ITAB (ısı tesiri altındaki bölge) c) kaynak metalini.

Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’de ana metalin mikroyapı görüntülerinde parlak bölgenin γ -östenit, karanlık fazın da δ -ferrit olduğu görülmektedir. Birleşme bölgesine yaklaştıkça δ -ferrit fazının, ısının etkisiyle birlikte tane boyutunda irileşmeler gözlemlenmiştir. Kaynak birleşme bölgesinde de dendrit yapılarının olduğu belirgin bir biçimde gözlemlenmiştir. AISI 316L paslanmaz elik çifti kaynaklı birleştirmelerinde ITAB’da tane kabalaşması ve kaynak metalinde dendrit oluşumları

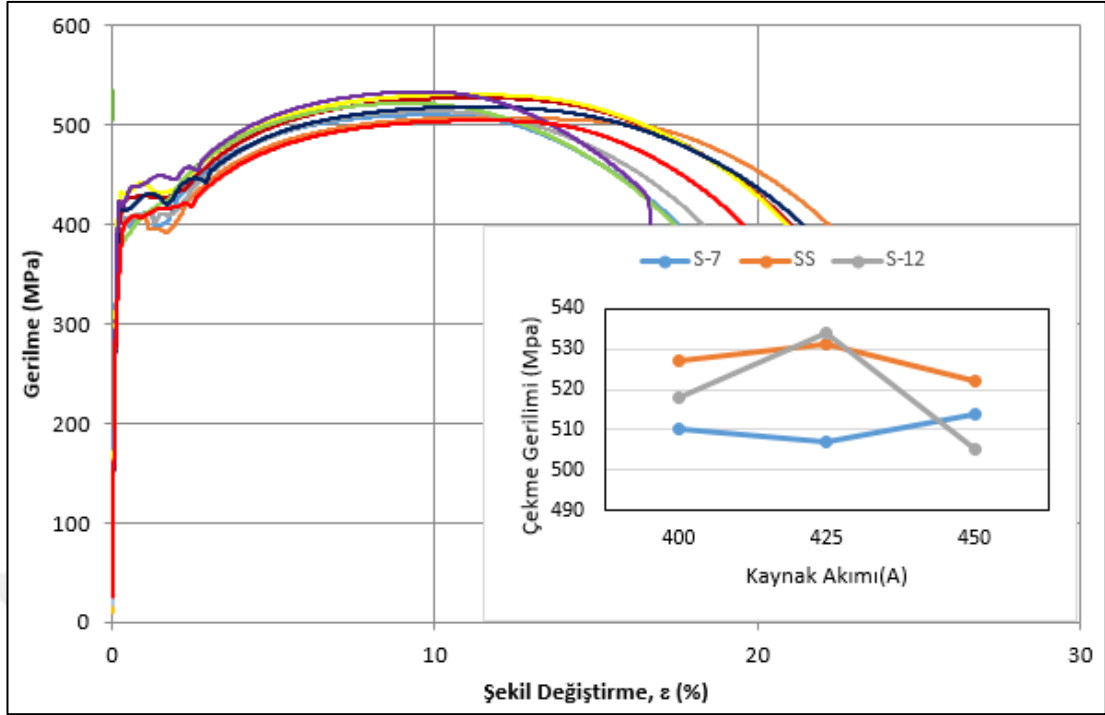
benzer literatür çalışmalarında da destekleyici nitelikte sonuçların varlığına rastlanılmıştır [66,67].

4.1.2. Çekme Deneyi Sonuçları

Genel olarak bütün kaynaklı birleştirmeler için, kaynak bölgesi ve ısı tesiri altındaki bölgenin (ITAB) servis şartlarında maruz kalınan gerilmeler nedeniyle çekme gerilmesine maruz kalacağı söylenebilir. Kaynaklı deney numunelerinin çekme dayanımının belirlenebilmesi için boyutları ve uygulama biçimi deneysel metot bölümünde anlatılan deney numunelerine çekme testi uygulanmıştır. Kaynaklı birleştirmelerinin çekme deneyleri üç defa tekrar edilmiş ve deneyler sonucunda elde edilen değerlerin ortalaması alınarak gerilme-uzama çizelgeleri oluşturulmuştur.

4.1.2.1.AH36-AH36 Birleştirmesine Ait Çekme Deneyi Sonuçları

AH36-AH36 çelik çifti birleştirmesi için gerçekleştirilen çekme deneyleri sonucunda tüm kaynak parametrelerine göre elde edilen gerilme-uzama grafiği değişimleri Şekil 4.9'de gösterilmiştir.



Şekil 4.9. AH36-AH36 çelik çifti birleştirmelerine ait gerilme-uzama grafiği.

Çizelge 4.1. AH36-AH36 çelik çifti birleştirmesi için çekme testi sonuçları.

Numune No	Renk	Gerilme (MPa)	Şekil Değişirme (%)
1	Blue	510	18,6
2	Orange	517	23,0
3	Grey	514	19,3
4	Red	523	21,8
5	Yellow	531	21,5
6	Green	522	18,2
7	Dark Blue	520	22,3
8	Purple	534	16,8
9	Red	525	20,4

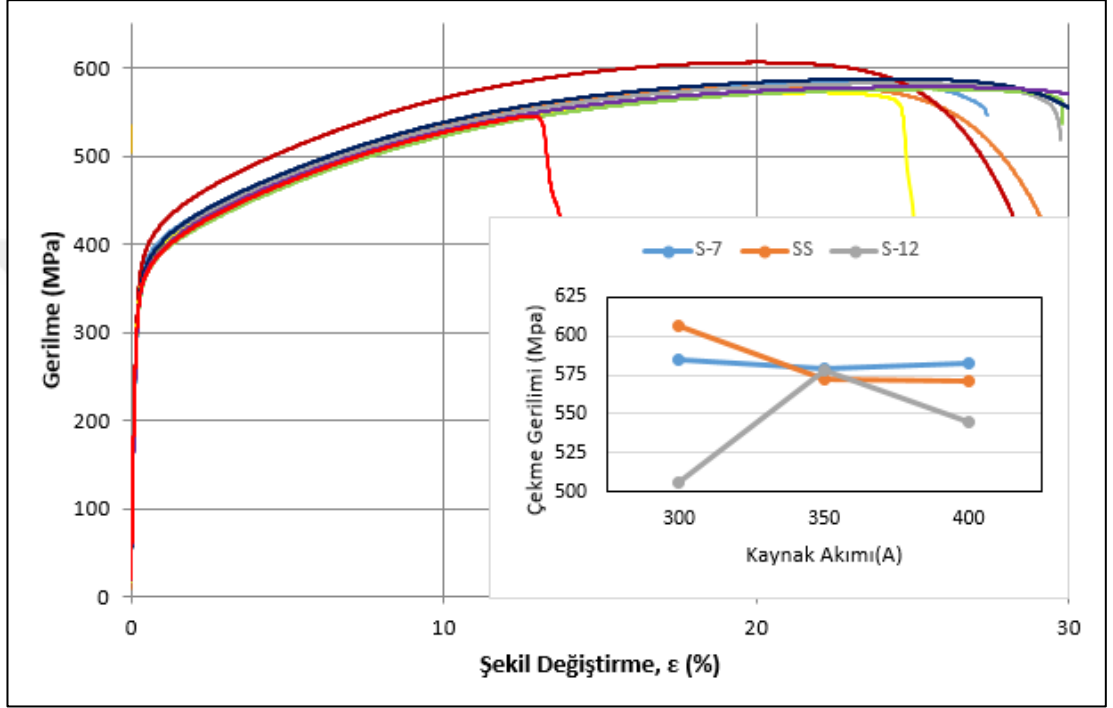


Şekil 4.10. AH36-AH36 çelik çifti birleştirme ait çekme deneyi sonrası kopma görüntüleri.

Çizelge 4.1 ve Şekil 4.9'dan görüldüğü üzere AH36-AH36 çelik çifti birleştirmelerinin çekme dayanımları ana malzemenin dayanımından (çekme mukavemeti (σ_c) 400-520 N/mm² arasında) [52] daha yüksek bulunmuştur. Kaynaklı birleştirmelerin statik kuvvet etkisi altındaki davranışlarına tozaltı ark kaynak parametreleri ve kaynak akımı çok belirgin olarak yansımamıştır. Ayrıca Şekil 4.10'da görüldüğü üzere kopmalar tümüyle ana malzemeden gerçekleşmiştir. Bu sonucun alınmasında, kaynak parametresi değişimlerinin kaynak ısı girdisi üzerindeki yansımalarının çok küçük olması önemli bir etken olarak tespit edilmiştir. Dikkat edilmesi gereken bir noktada 4, 5 ve 6 numunelerin çekme dayanımları ufak da olsa diğer numunelere oranla biraz fazla olmasıdır. Bu durumun açıklaması olarak kaynak ağzı bağlantısına, seramiksiz ve çift taraflı birleştirilmesinin etkili olduğu düşünülmektedir. Bunun yanında literatürde yapılan bir çalışmada [68] düşük karbonlu alaşımlı çeliğe yapılan tozaltı ark kaynağı sonrasında düşük voltaj, yüksek tel besleme hızı ve düşük kaynak hızlarının maksimum çekme dayanımını olumlu etkilediği vurgulanmıştır. Kaynak metaline yakın olduğu görülen kopmalarda radyografik muayene sonucunda bazı deney numunelerinde oluşan kaynak hatalarının payı olduğu belirlenmiştir. Ancak genel olarak kopmanın ana malzemeden meydana gelişi birleştirmelerin kaynak kabul edilebilirliğinin iyi olduğuna işaret etmektedir.

4.1.2.2.AH36-AISI 316L Birleştirmesine Ait Çekme Deneyi Sonuçları

AH36 çeliği ve AISI 316L paslanmaz çelik çifti birleştirmesi için gerçekteştirilen çekme deneyleri sonucunda tüm kaynak parametrelerine göre elde edilen gerilme-uzama grafiği değişimleri Şekil 4.11’de gösterilmiştir.



Şekil 4.11. AH36-AISI 316L çelik çifti birleştirmelerine ait gerilme-uzama grafiği.

Çizelge 4.2. Çekme testi sonuçlarının renklerine göre gösterilmesi.

Numune No	Renk	Gerilme (MPa)	Şekil Değişirme (%)
1	Blue	583	27,1
2	Orange	580	29,7
3	Grey	576	29,5
4	Red	581	28,6
5	Yellow	572	25,1
6	Green	569	25,7
7	Dark Blue	571	33,6
8	Purple	568	35,2
9	Red	561	13,9

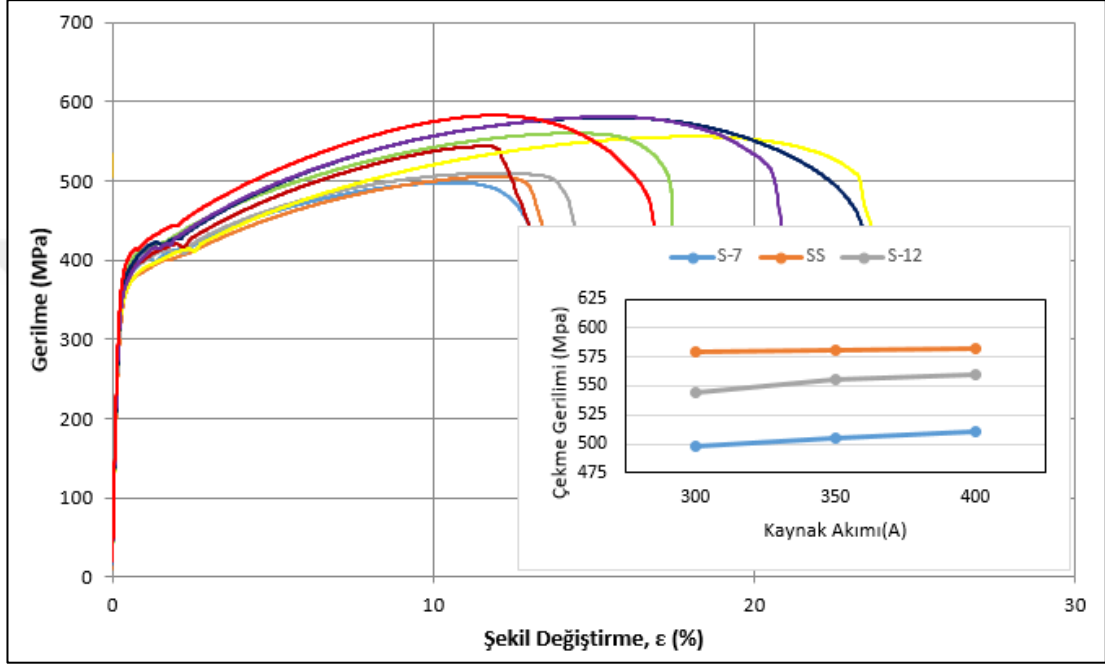


Şekil 4.12. AH36-AISI 316L çelik çifti birleştirmelerine ait çekme deneyi sonrası kopma görüntüleri.

Çizelge 4.2 ve Şekil 4.11'den görüldüğü gibi AH36 çelik ve AISI 316L paslanmaz çelik çifti birleştirmelerinin çekme dayanımları AH36 çelik ana malzeme dayanımından daha yüksek olup, AISI 316L paslanmaz çelik ana malzeme dayanımına ise yakın değerler bulunmuştur. Kaynaklı birleştirmelerin statik kuvvet etkisi altındaki davranışlarına tozaltı kaynak parametreleri ve kaynak ilerleme hızı çok belirgin olarak yansımamıştır. Ayrıca Şekil 4.12'de görüldüğü üzere kopmalar ana malzemedeki gerçeğe yakın gerçekleşmiştir. Bu durumun nedeninin kaynak parametresi değişimlerinin, kaynak ısı girdisi üzerindeki yansımalarının çok küçük olmasından dolayı olduğu düşünülmektedir. Dikkat edilmesi gereken bir nokta da 4 numaralı numunenin çekme dayanımını istisna sayarsak 1, 2 ve 3 numaralı numunelerin çekme dayanımlarının ortalama olarak diğer numunelerin çekme dayanımı ortalamalarına oranla biraz daha yüksek olduğu söylenebilir. Bu durumun açıklaması olarak Çizelge 3.4'de belirtilen bu birleştirmelerin kaynak ağzı bağlantısının 1, 2 ve 3 numaralı numunelerde seçilen 7 mm'lik optimum uzaklıklı ve seramikli bağlantının farklı kalite birleştirmelerde çekme testi açısından daha iyi sonuç verdiği belirlenmiştir. Kaynak metaline yakın olduğu düşünülen kopmalarda radyografik muayene sonucunda bazı deney numunelerinde oluşan kaynak hatalarının payı olduğu değerlendirilmektedir. Ayrıca belirtilen ön kaynak parametreleri dikkate alındığında tozaltı ark kaynağı için AH36 çeliği AISI 316L paslanmaz çelik çifti birleşimlerinin mekanik özellikleri diğer aynı malzeme birleştirmelerine nazaran daha yüksek çekme dayanımına sahip olduğu gözlemlenmiştir. Ancak genel olarak kopmanın ana malzemedeki meydana gelişini birleştirmelerin kaynak kabul edilebilirliğinin iyi olduğuna işaret etmektedir.

4.1.2.3.AISI 316L-AISI 316L Birleştirmesine Ait Çekme Deneyi Sonuçları

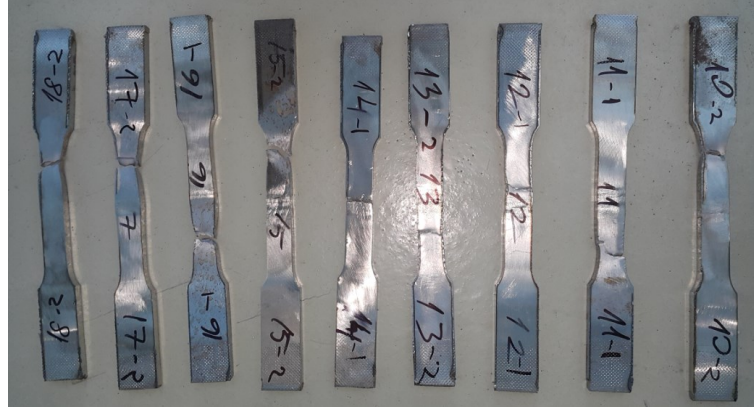
AISI 316L paslanmaz çelik çifti birleştirmesi için gerçekleştirilen çekme deneyleri sonucunda tüm kaynak parametrelerine göre elde edilen gerilme-uzama grafiği değişimleri Şekil 4.13’de örnek olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.13. AISI 316L-AISI 316L paslanmaz çelik çifti birleştirmelerine ait gerilme-uzama grafiği.

Çizelge 4.3. Çekme testi sonuçlarının renklerine göre gösterilmesi.

Numune No	Renk	Gerilme (Mpa)	Şekil Değişirme (%)
1	Mavi	516	13
2	Turuncu	525	15,1
3	Gri	532	16,1
4	Kırmızı	544	13,7
5	Sarı	556	25,7
6	Yeşil	567	17,2
7	Koyu Mavi	571	23,3
8	Purpür	575	22,4
9	Kırmızı	580	13,9



Şekil 4.14. AISI 316L-AISI 316L paslanmaz çelik çifti birleştirmelerine ait çekme deneyi sonrası kopma görüntüleri.

Çizelge 4.3 ve Şekil 4.13'den görüldüğü gibi AISI 316L-AISI 316L paslanmaz çelik çifti birleştirmelerinin çekme dayanımları ana malzemenin dayanımına yakın değerler bulunmuştur. Kaynaklı birleştirmelerin statik kuvvet etkisi altındaki davranışlarına tozaltı ark kaynak parametreleri ve kaynak akımı çok belirgin olarak yansımamıştır. Ayrıca Şekil 4.14'de görüldüğü üzere kopmalar ana malzemeden gerçekleşmiştir. Bu sonucun alınmasında, kaynak parametresi değişimlerinin kaynak ısı girdisi üzerindeki yansımalarının çok küçük olması bir etken olarak değerlendirilmiştir. Dikkat edilmesi gereken bir nokta da 7, 8 ve 9 numaralı numunelerin çekme dayanımlarının ortalama olarak diğer numunelerin çekme dayanımı ortalamalarına oranla yüksek olduğu söylenebilir. Bu durumun açıklaması olarak Çizelge 3.6'da belirtilen bu boşluksuz kaynak ağız bağlantı ve çift taraflı kaynaklı birleştirmelerin aynı kalite paslanmaz çelik birleştirmelerde çekme testi açısından daha iyi sonuç verdiği tespit edilmiştir. Kaynak akımındaki değişim kaynak sonrası soğuma hızına etki ederek kaynak metali mikroyapısındaki delta ferrit oranında azalmaya bağlı olarak bilhassa çekme dayanımında az da olsa artış eğilimi göstermiştir. Kaynak metaline yakın olduğu düşünülen kopmalarda radyografik muayene sonucunda bazı deney numunelerinde oluşan kaynak hatalarının payı olduğu belirlenmiştir. Kaynak akımındaki değişim kaynak sonrası soğuma hızına etki ederek kaynak metali delta ferrit oranında azalmaya bağlı olarak bilhassa çekme dayanımında az da olsa artış eğilimi göstermiştir [69]. Ancak genel olarak kopmanın ana malzemeden meydana gelişi birleştirmelerin kaynak kabul edilebilirliğinin iyi olduğuna işaret etmektedir. AH36-AH36 çelik çifti birleştirmesi çekme grafikleri incelendiğinde belirgin akma davranışı gösterdiği

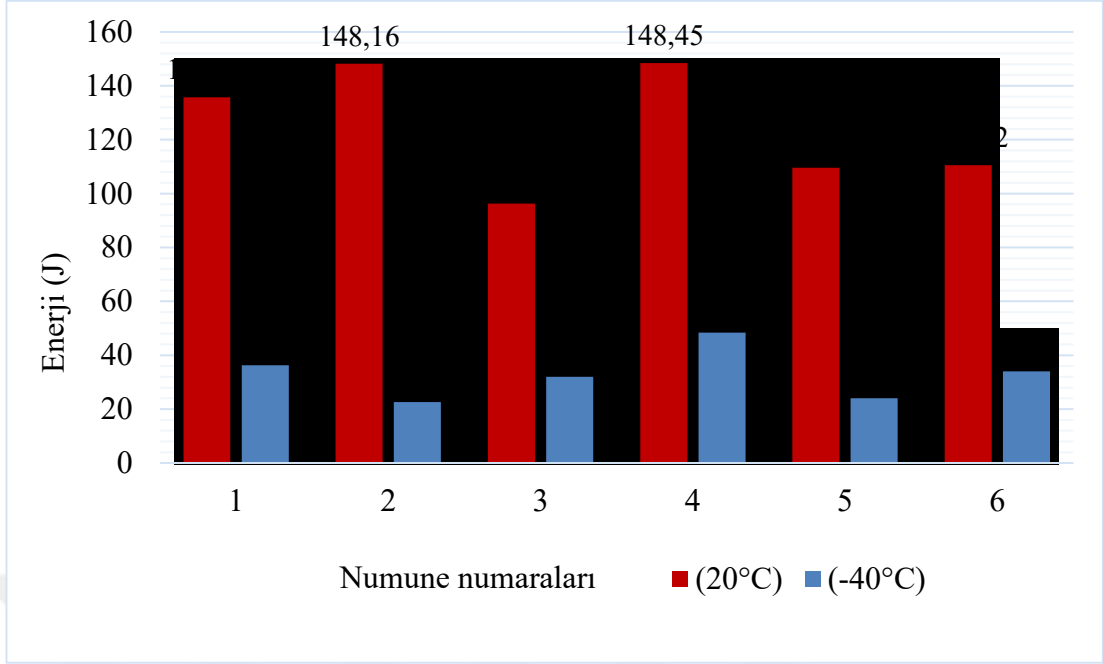
belirlenirken, dissimilar AH36-AISI 316L çelik ve paslamaz çelik çifti birleştirmesi ile AISI 316L-AISI 316L paslanmaz çelik çifti birleştirmelerinin çekme grafiklerinde belirgin akma davranışının olmadığı gözlemlenmiştir.

4.1.3. Çentik Darbe Deneyi Sonuçları

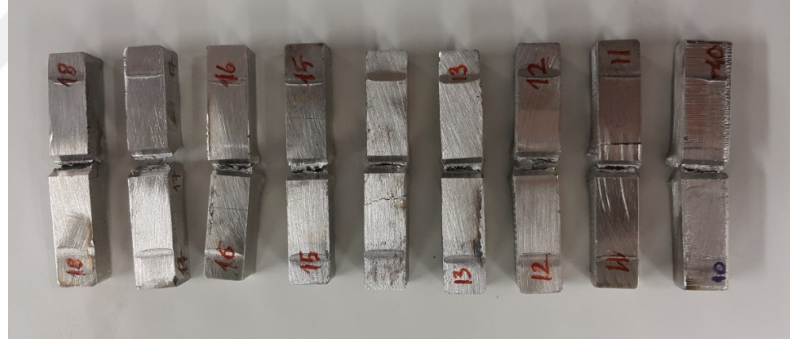
Giriş kısmında belirtildiği gibi bu çalışma, açık deniz destek gemisi imalatında kullanılan aynı kalite çeliklerin ve farklı kalite çeliklerin birbirleriyle kaynaklı birleştirilmesinde kaynaklı yapıdaki değişimlere odaklanmıştır. Bu kapsamda, açık deniz destek gemilerinin petrol aramak ve sondaj faaliyetleri esnasında özellikle kuzey denizlerinde düşük sıcaklıklarda operasyonlarını gerçekleştirdikleri varsayılarak, kaynaklı birleştirmelerin +20°C ve -40°C sıcaklıklardaki tokluklarının belirlenebilmesi için deney numunelerine bu sıcaklıklarda V çentik darbe testleri uygulanmıştır. Numuneler seramikli ve seramiksiz olmak üzere iki ana grupta incelenmiştir. Seramik kullanılanlardan da kararlı sonuç elde edebilmek için optimum 7 mm boşluğa sahip olanlar tercih edilmiştir. Kaynaklı birleştirmelerin darbe dayanımları sırasıyla alt bölümlerde detaylı olarak değerlendirilmiştir.

4.1.3.1. AH36-AH36 Çelik Çifti Birleştirmelerine Ait Darbe Çentik Testi Sonuçları

Farklı kaynak parametreleri altında kendi aralarında tozaltı kaynağı ile birleştirilen AH36 düşük karbonlu çelik deney numunelerinin +20°C ve -40°C sıcaklıklarındaki ortalama darbe dayanımı Şekil 4.15’de verilmiştir. Deneyler sonucunda numunelerin görüntüsü Şekil 4.16’da gösterilmiştir. Çizelge 3.2’de belirtilen 1, 2 ve 3 numaralı numuneler, burada yine optimum 7 mm boşluklu kaynak ağzı yapısını göstermekte olup, 4, 5 ve 6 numaralı numuneler ise seramiksiz, boşluksuz, çift taraflı kaynaklı yapıya sahiplerdir.



Şekil 4.15. AH36-AH36 çelik çifti birleştirmelerinin çentik darbe dayanımı sonuçları.



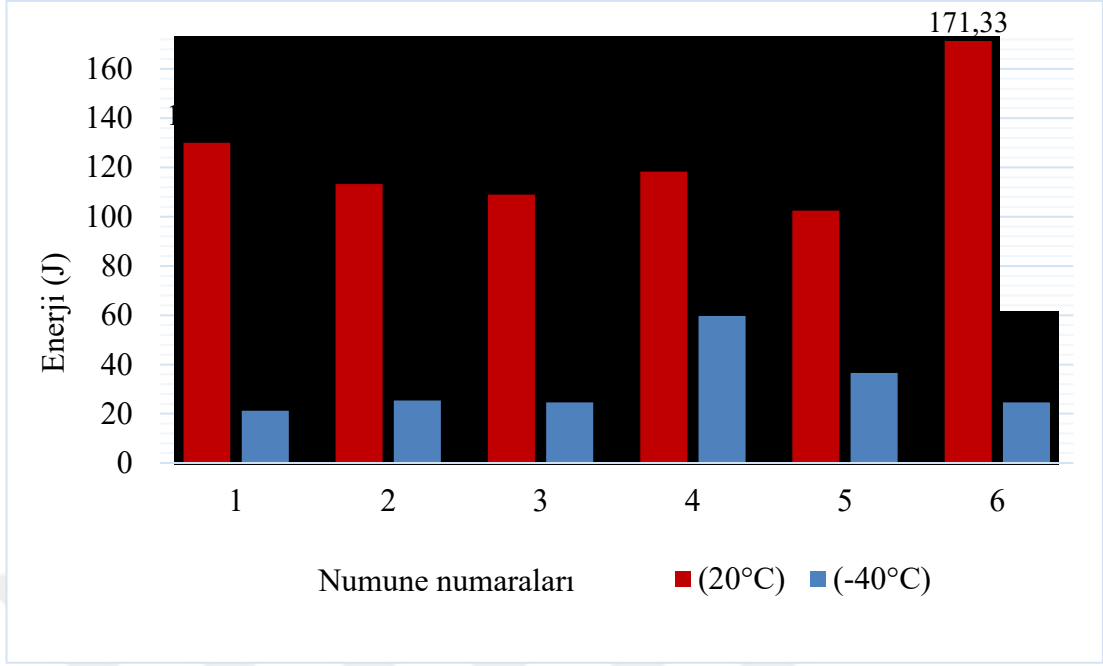
Şekil 4.16. AH36-AH36 çelik çifti birleştirmelerinin çentik darbe testi sonucu görüntüsü.

Şekil 4.15 ve 4.16'dan görüldüğü üzere AH36 düşük karbonlu çelik birleştirmelerin çentik darbe deneyi sonuçları incelendiğinde, kaynak ağzı bağlantı biçiminin ve sıcaklığın darbe dayanımı üzerinde etkisi olduğu tespit edilmiştir. +20°C'de en yüksek enerji 2 ve 4 numaralı numunelerden elde edilmiştir. Seramikli birleştirme grubunda optimum kaynak akım değeri olan 425A'de en yüksek değere ulaşılırken; seramiksiz, boşluksuz, çift taraflı birleştirmede bu değer 400A ile alt seviyede gerçekleşmiştir. -40°C'de en düşük enerji 2 ve 5 numaralı numunelerde gerçekleşmiş olup optimum kaynak akım seviyesi olan 425A ile gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Çift taraflı kaynak

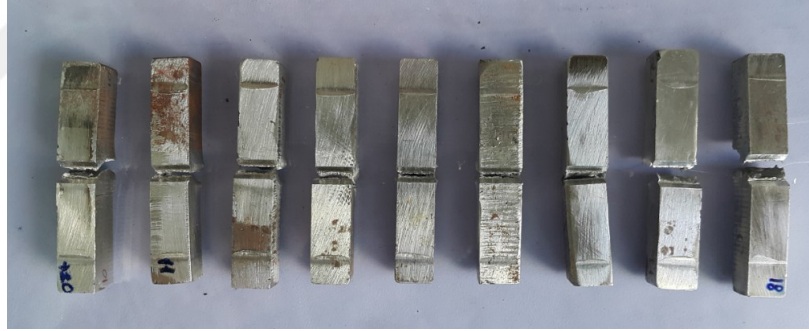
metodunun sonuçları incelendiğinde, çift taraflı kaynağın kaynak darbe direncini artırdığı gözlemlenmemiştir. +20°C için her iki grupta da akımın artması darbe tokluğu enerjisini azalttığı değerlendirilmektedir. -40°C’de akımın darbe tokluğu enerjisiyle doğru orantılı bir değişim gösterdiği görülmektedir ancak 425A’de belirli oranda darbe tokluğu enerjisinin düştüğü dolayısıyla malzemenin darbe tokluğunun kötüleştiği dikkat çekmektedir. Belirtilen akımlar ve sıcaklık değerlerinde literatürde yaygın olarak benzer çalışmalar bulunmasa da yapılan bir çalışmada voltaj değerlerinin AISI 316L paslanmaz çeliğin TIG kaynağı sonrası darbe tokluğu enerjisinde önemli oranlarda artış gösterdiği gözlemlenmiştir [70].

4.1.3.2.AH36-AISI 316L Birleştirmesine Ait Darbe Çentik Testi Sonuçları

Farklı kaynak parametreleri kullanılarak tozaltı kaynağı ile birleştirilen AH36 çelik ve AISI 316L paslanmaz çelik malzeme çiftinden oluşan deney numunelerinin +20°C ve -40°C sıcaklıklardaki ortalama darbe dayanımları Şekil 4.17’de verilmiş olup, test sonucu numunelerin görüntüsü Şekil 4.18’de gösterilmiştir. Çizelge 3.4’de belirtilen 1, 2 ve 3 numaralı numuneler burada yine optimum 7 mm boşluklu kaynak ağzı yapısını göstermekte olup, 4, 5 ve 6 numaralı numuneler ise seramiksiz, boşluksuz, çift taraflı kaynaklı yapıya sahiplerdir.



Şekil 4.17. AH36-AISI 316L birleşimli numunelerin darbe dayanımı sonuçları.

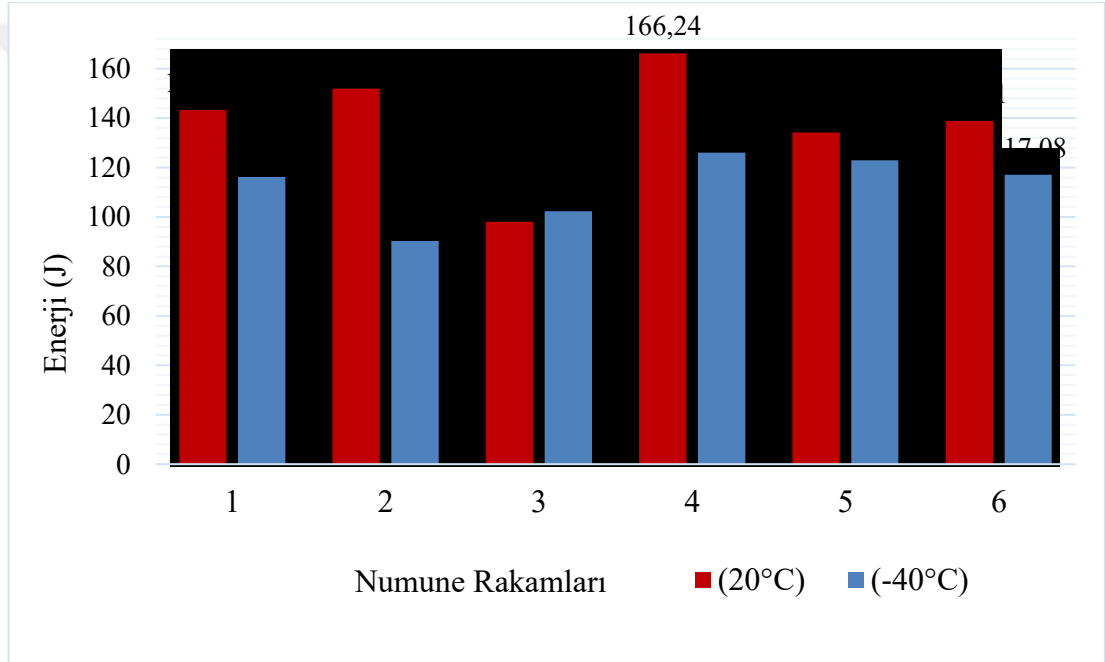


Şekil 4.18. AH36-AISI 316L çentik darbe testi sonucu görüntüsü.

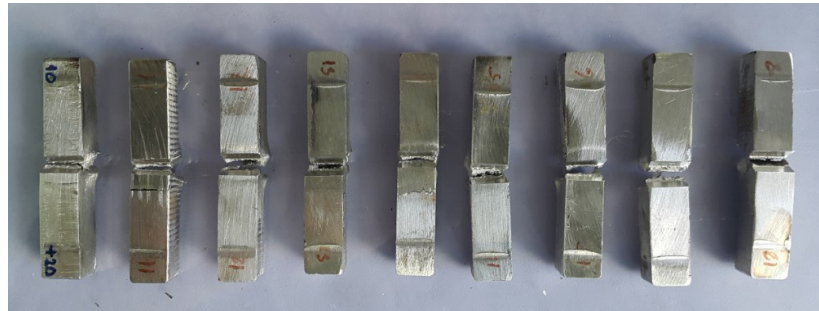
Şekil 4.17 ve 4.18'den görüldüğü üzere AH36-AISI 316L birleştirmelerinin deney numunelerinin darbe deneyi sonuçları incelendiğinde, kaynak ağızı bağlantı biçiminin ve sıcaklığın darbe dayanımı üzerinde etkisi olduğu tespit edilmiştir. +20°C'de en yüksek enerji 6 numaralı numuneden elde edilmiştir. Seramikli grubunda 350A ile alt seviye amper değerinde en yüksek enerji değerine ulaşılırken; seramiksiz, çift taraflı birleştirmede bu değer 450A ile üst seviye amper değerinde gerçekleşmiştir. Yine -40°C'de en düşük enerji 1 numaralı numunede gerçekleşmiş olup 350A ile gerçekleştiği gözlemlenmiş, bu sıcaklıkta seramikli grubunun ortalaması seramiksiz, çift taraflı birleştirmelere kıyasla daha düşük çıktığı görülmüştür.

4.1.3.3.AISI 316L-AISI 316L Birleştirmesine Ait Darbe Çentik Testi Sonuçları

Farklı kaynak parametreleri ile tozaltı kaynağı kullanılarak birleştirilen AISI 316L paslanmaz çelik birleştirmelerine ait deney numunelerinin +20°C ve -40°C sıcaklıklardaki ortalama darbe dayanımları Şekil 4.19'da verilmiştir. Darbe testi sonucunda numunelerin görüntüsü Şekil 4.20'de gösterilmiştir. Çizelge 3.4'de belirtilen 1, 2 ve 3 numaralı numuneler burada yine optimum 7 mm boşluklu kaynak ağızı yapısını göstermekte olup, 4, 5 ve 6 numaralı numuneler ise seramiksiz, boşluksuz, çift taraflı kaynaklı yapıya sahiplerdir.



Şekil 4.19. AISI 316L-AISI 316L birleşimli numunelerin darbe dayanımı sonuçları.



Şekil 4.20. AH36-AISI 316L darbe çentik testi sonucu görüntüsü.

Şekil 4.19 ve 4.20'den görüldüğü üzere AISI 316L-AISI 316L birleştirmelerinin deney numunelerinin darbe deneyi sonuçları incelendiğinde, kaynak ağzı bağlantı biçiminin ve sıcaklığın darbe dayanımı üzerinde etkisi olduğu tespit edilmiştir. +20°C'de en yüksek enerji 4 numaralı numuneden elde edilmiştir. Seramikli grubunda 350A optimum seviye amper değerinde en yüksek enerji değerine ulaşılırken; seramiksiz, çift taraflı birleştirmede bu değer 300A ile alt seviye amper değerinde gerçekleşmiştir. Yine -40°C'de en düşük enerji 2 numaralı numunede gerçekleşmiş olup 350A ile gerçekleştiği gözlemlenmiş, bu sıcaklıkta seramiksiz, çift taraflı grubunun ortalaması seramikli birleştirmelere kıyasla daha yüksek çıktığı görülmüş olup, genel olarak bütün numunelerde -40°C'de görülen enerjilerin ortalaması AH36-AH36 ve AH36-AISI 316L ortalamasına göre yüksek çıktığı görülmüştür. Paslanmaz çeliklerde yapılan çalışmalarda delta ferritin tokluk ve süneklik üzerinde önemli etkileri olduğu tespit edilmiştir. Bazı çalışmalarda kalıntı delta ferritin darbe tokluğunu artırdığı dikkat çekmiştir [71]. Bir diğer çalışmada ise ana metaldeki delta ferritin darbe tokluğunu artırdığı kaynak bölgesinde oluşacak delta ferritin darbe tokluğuna olumsuz yönde etki ettiği gözlemlenmiştir [72]. Ayrıca mikroyapı çalışmalarında elde edilen görüntüler dikkate alındığında, +20°C'de yapılan darbe tokluğu deneylerinde literatürde elde edilen sonuçlara paralel olarak darbe tokluğunda belirli bir oranda artış görülmüş ve bu durumda mikroyapı ve delta ferrit dağılımı ile ilişkili olabileceği değerlendirilmektedir. Ancak -40°C'de bu durum tam tersi bir tavır sergilemekte olup, ortaya çıkan bu sonucun literature bu noktada özgün bir netice sunduğu değerlendirilmektedir.

4.1.4. Birleştirmelerin Mikrosertlik Ölçümü Sonuçları

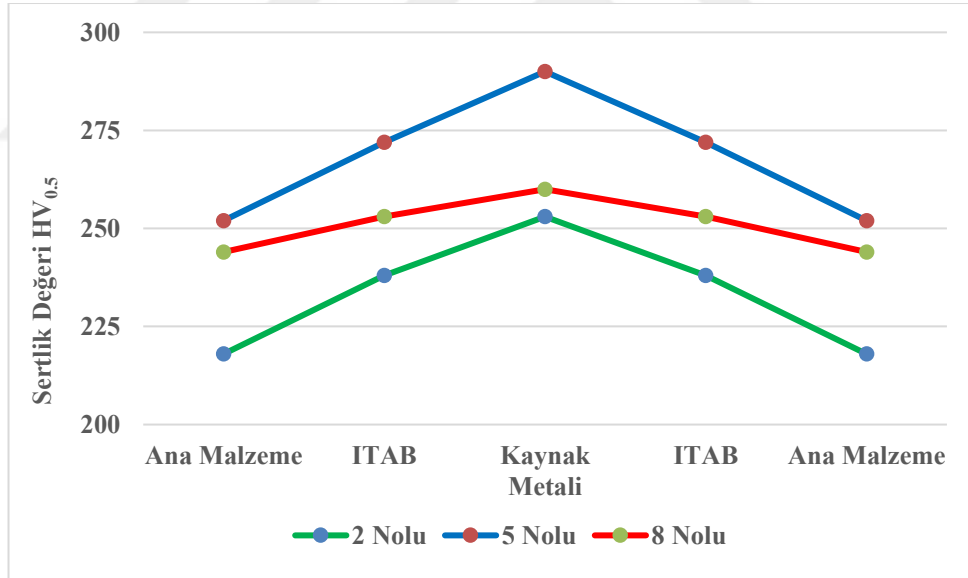
Kaynaklı deney numunelerinin sertlik profillerinin çıkarılabilmesi için ölçüm yapıldığı bölge ve uygulama biçimi deneysel çalışmalar bölümünde anlatıldığı gibi deney numunelerine mikro sertlik ölçümü uygulanmıştır. Kaynaklı birleştirmelerin sertlik dağılımları ile ilgili değerlendirmeler her bir kaynaklı birleştirme grubu için sırasıyla aşağıda verilmiştir.

4.1.4.1.AH36-AH36 Birleştirmesine Ait Mikrosertlik Ölçüm Sonuçları

Çalışmada kullanılan aynı kalite malzeme ve Çizelge 3.2’de belirtilen üç farklı kaynak kaynak ağız yapısına sahip grup içerisinde ortalamaya olan numuneler tercih edilerek birleştirmelerin, AH36 ana malzeme, ITAB ve kaynak metali bölgelerinden elde edilen sertlik değerleri belirlenmiştir. Belirtilen bölgelerden alınan ortalama sertlik sonuçları Çizelge 4.4 ve şekil 4.21’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.4. AH36-AH36 birleştirmelerinin farklı bölgelerinin sertlik sonucu.

Numune No	Sertlik Değeri		
	Ana Malzeme	ITAB	Kaynak Metali
2	218	238	253
5	252	272	290
8	244	253	260



şekil 4.21. AH36-AH36 birleştirmelerinin numunelerine ait sertlik dağılımları.

Çizelge 4.4 ve şekil 4.21’den görüldüğü üzere AH36 düşük karbonlu çelik numunelerin sertlik ölçümü sonuçları incelendiğinde, sertliği ölçülen bölgeler arasında kaynak metali en sert bölge daha sonra ITAB ve sonrasında da ana metale ait bölgelerin sertliği geldiği görülmektedir. Kaynak parametrelerinin sertlik değeri üzerinde etkisi çok belirgin değildir. Birleştirmelerin elde edilmesinde kullanılan ısı

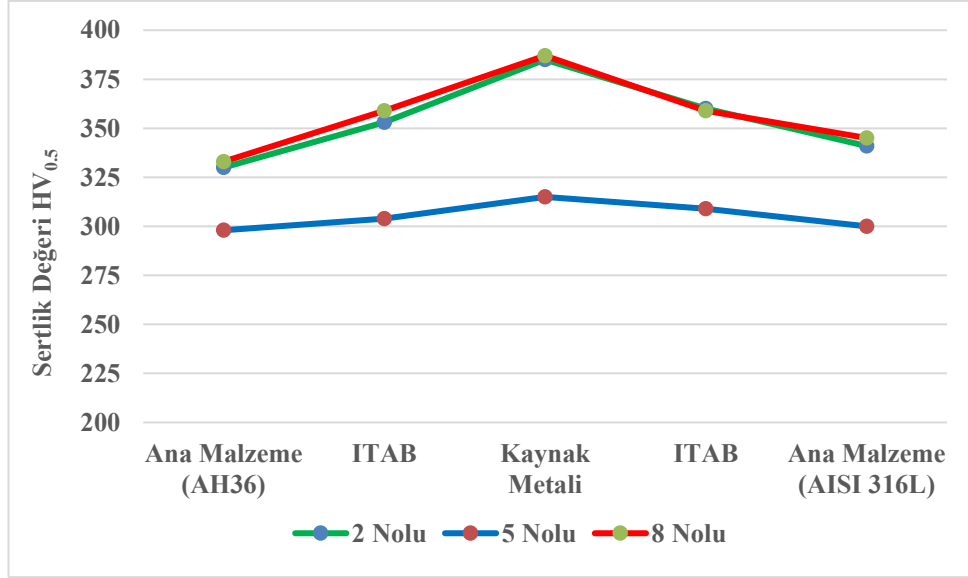
girdilerinin yakın oluşu, bu çeliğin ısı ile sertleştirilememesi ve tozaltı kaynağının doğası gereği dar bir ITAB oluşu bütün bu sonuçların üzerinde etkisi olduğu belirlenmiştir. 5 numaralı çift taraflı kaynaklı birleştirilen numunenin diğer numunelerin ITAB ve kaynak metali sertlik değerlerinden daha yüksek değerlere sahip olduğu gözlemlenmiştir. Tüm kaynak parametreleri için ITAB ve kaynak metalinde çatlak riskine neden olabilecek 350 Vickers sertlik değerinin aşılmadığı sonuçlardan görülmektedir. Kaynak metalinin sertliğinin daha yüksek bulunmasında kaynak metali morfolojisi ve hızlı katılaşmanın sonucu ince tane boyutu olduğu görülmüştür.

4.1.4.2. AH36-AISI 316L Birleştirmesine Ait Mikrosertlik Ölçüm Sonuçları

Çalışmada kullanılan aynı kalite malzeme ve Çizelge 3.4’de belirtilen üç farklı kaynak kaynak ağız yapısına sahip grup içerisinde ortalama olan numuneler tercih edilerek birleştirmelerin, AH36 ana malzeme, ITAB, kaynak metali ve AISI 316L ana malzeme sertlik dağılımları belirlenmiştir. Belirtilen bölgelerden alınan ortalama sertlik sonucu Çizelge 4.5 ve Şekil 4.22’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.5. AH36-AISI 316L birleştirmelerinin farklı bölgelerinin sertlik sonucu.

Numune	Sertlik Değeri				
	Ana Malzeme (AH36)	ITAB	Kaynak Metali	ITAB	Ana Malzeme (AISI 316L)
2	330	353	385	360	341
5	298	304	315	309	300
8	333	359	387	359	345



Şekil 4.22. AH36-AISI 316L birleştirmelerinin numunelerine ait sertlik dağılımları.

Çizelge 4.5 ve Şekil 4.22’den görüldüğü üzere AH36 düşük karbonlu çelik ile AISI 316L paslanmaz çelik birleştirmelerinin numunelerinin sertlik ölçümü sonuçları incelendiğinde, sertliği ölçülen bölgeler arasında en yüksek sertliğe sahip bölge kaynak metali, sonrasında ITAB olarak dikkat çekmektedir. Kaynak işleminden etkilenmeyen ana metalin sertliği en düşük olduğu görülmektedir. Kaynak parametrelerinin sertlik değeri üzerinde etkisi çok belirgin değildir. Bununla birlikte ana malzemenin iki tarafta farklı oluşu iki farklı ITAB sertlik değeri ortaya çıkarmış ve nispeten çok büyük bir fark olmamasına rağmen paslanmaz çelik ITAB tarafının sertlik değerlerinin fazla çıktığı görülmüştür. Birleştirmelerin elde edilmesinde kullanılan ısı girdilerinin yakın oluşunun, bu çeliğin ısı ile sertleştirilememesinin ve tozaltı kaynağının doğası gereği dar bir ITAB oluşunun bütün bu sonuçların üzerinde etkisi olduğu değerlendirilmektedir. Tüm kaynak parametreleri için ITAB ve kaynak metalinde çatlak riskine neden olabilecek 350 Vickers sertlik değerinin [69] bir miktar aşıldığı bu durumun da kaynak bölgesinde farklı metal kaynaklarının doğası gereği heterojen bir yapının varlığı ve sertliğin bu bağlamda farklılaşmasından kaynaklandığı tespit edilmiştir. Kaynak metalinin sertliğinin daha yüksek bulunmasında kaynak metali morfolojisi ve hızlı katılaşmanın sonucu ince tane boyutu olduğu belirlenmiştir.

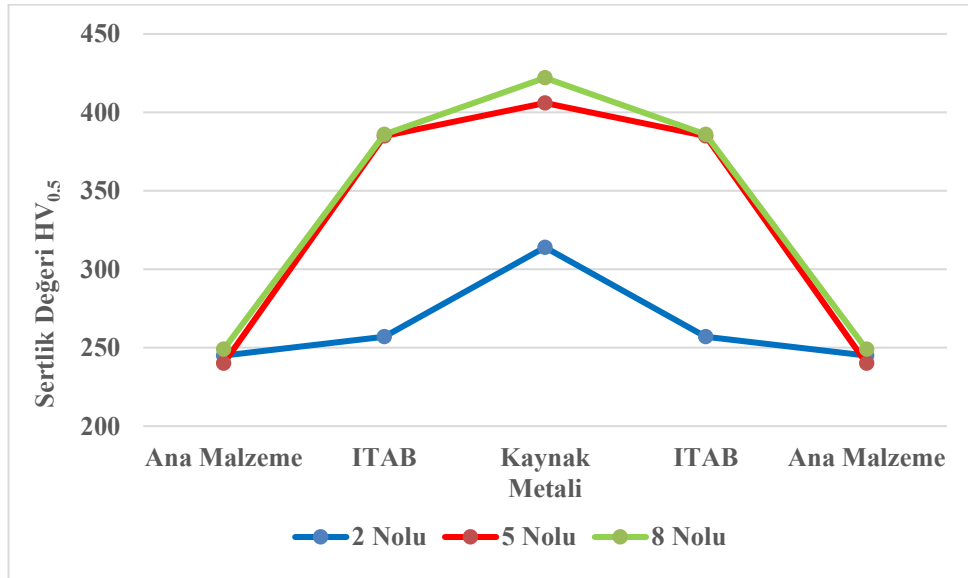
Sonuç olarak distorsiyonları gidermek üzere gemi inşaatında kaynak sonrası ısı işlemlerinin uygulanması neticesi de düşünülerek ITAB ve kaynak metallerindeki sertlik değerlerinin kademeli olarak artması arzu edilen bir durumdur. Bu durumun farklı yükler etkisi altında kalan bu malzemelerin davranışlarına yansımaları beklenir.

4.1.4.3. AISI 316L-AISI 316L Birleştirmesine Ait Mikrosertlik Ölçüm Sonuçları

Çalışmada kullanılan aynı kalite malzeme ve Çizelge 3.6’da belirtilen üç farklı kaynak ağız yapısına sahip grup içerisinde ortalama olan numuneler tercih edilerek birleştirmelerin, AISI 316L ana malzeme, ITAB ve kaynak metali sertlik dağılımları belirlenmiştir. Belirtilen bölgelerden alınan ortalama sertlik sonucu Çizelge 4.6 ve Şekil 4.23’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.6. AISI 316L-AISI 316L birleştirmelerinin farklı bölgelerinin sertlik sonucu.

Numune No	Sertlik Değeri		
	Ana Malzeme	ITAB	Kaynak Metali
2	245	257	314
5	240	385	406
8	249	386	422



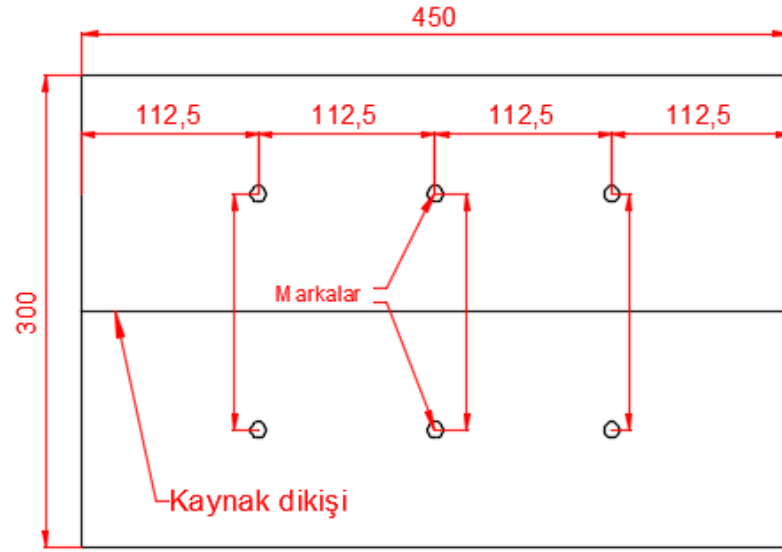
Şekil 4.23. AISI 316L-AISI 316L birleştirmelerinin numunelerine ait sertlik dağılımları.

Çizelge 4.12 ve Şekil 4.23'den görüldüğü üzere AISI 316L paslanmaz çelik numunelerin sertlik ölçümü sonuçları incelendiğinde, sertliği ölçülen bölgeler arasında kaynak metali en sert bölge daha sonra ITAB ve sonrasında da ana metale ait bölgelerin geldiği görülmektedir. Kaynak parametrelerinin sertlik değeri üzerinde etkisi çok belirgin değildir. Birleştirmelerin elde edilmesinde kullanılan ısı girdilerinin yakın oluşunun ve bu çeliğin ısı ile sertleştirilememesinin bu sonuçların üzerinde etkisi olduğu tespit edilmiştir.

Tüm kaynak parametreleri için ITAB ve kaynak metalinde çatlak riskine neden olabilecek 350 Vickers sertlik değerinin 5 ve 8 nolu numuneler için aşıldığı 2 nolu numune için aşılmadığı sonuçlardan görülmektedir. Sertlik sonuçlarına paralel olarak literatürde yapılan çalışmada ITAB, ana malzeme, kaynak bölgesi sertlik bölgesi ve değişimi bağlamında benzer sonuçlar elde edilmiş olup bu sertlik değişiminin kaynak termal çevriminden etkilenen ITAB ferrit-östenit dengesi ferrit tanelerinin kabalaşarak ferrit lehine eğilim göstermesi bu bölgenin sertliğinin ana metalden fazla ancak ince taneli kaynak metalinden daha düşük bulunmasına neden olduğu belirlenmiştir [69,73].

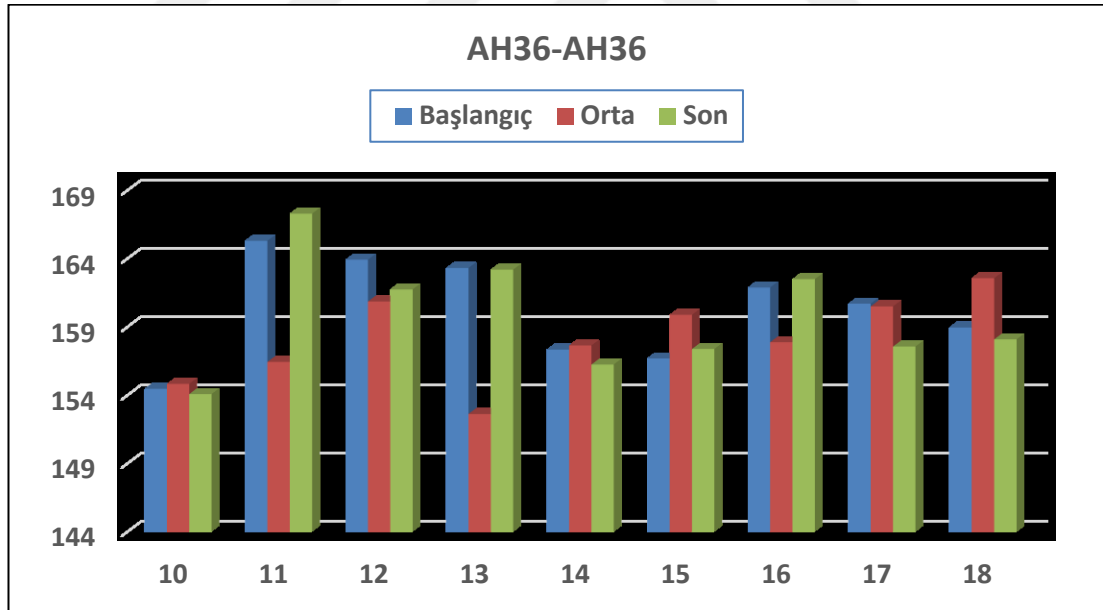
4.1.5. Distorsiyon Miktarının Değerlendirilmesi

Bölüm 3.1.3'de kaynak numunelerinin hazırlanışında açıklandığı üzere, her bir üç farklı deney setinde 9 levha mekanik deney numuneleri için 9 levha ise distorsiyonların ölçümü için aynı kaynak parametreleri ve kaynak ağızı bağlantılarıyla birleştirilmiştir. 450x150x12 mm boyutlarında iki levha 450 mm genişlik tarafından alın altına gelecek şekilde birleştirilmiştir. 450 mm genişliği eşit dört parçaya bölerek üç nokta ile kaynak öncesi çelik marka ile noktalar belirlenmiştir. Kaynak öncesi uzaklık Şekil 4.17'den görüleceği üzere standart olarak bütün bağlantılarda 150 mm olup üç farklı birleştirmenin kaynak sonrası tek eksenden değişim miktarları aşağıda sırasıyla Çizelge 4.7, 4.8 ve 4.9'da gösterilmiştir.

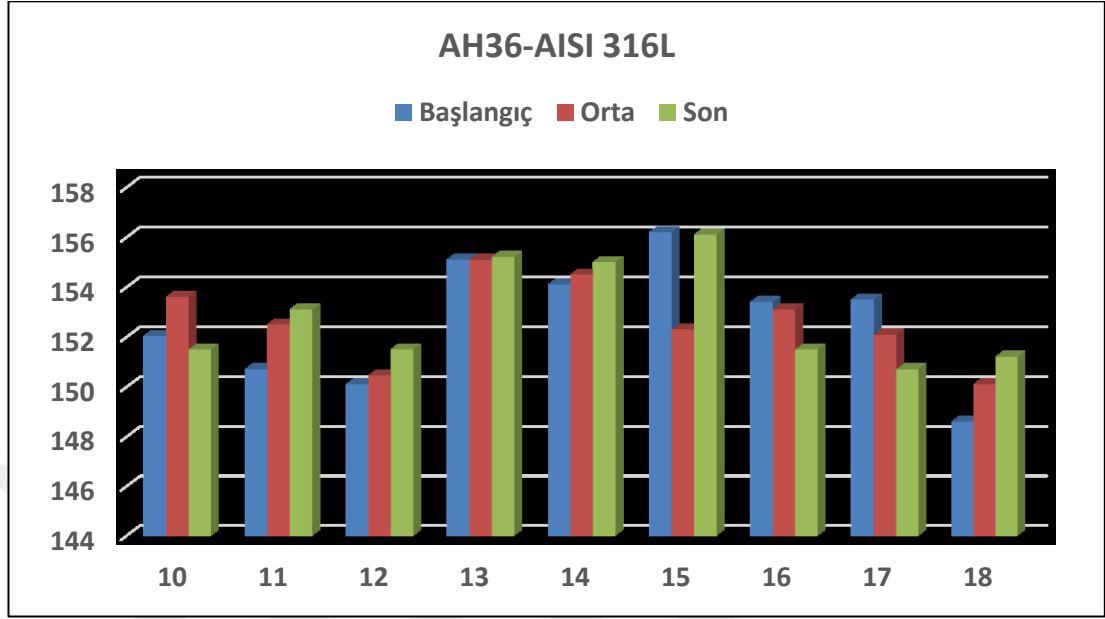


Şekil 4.24. Kaynak işlemi öncesi markalama.

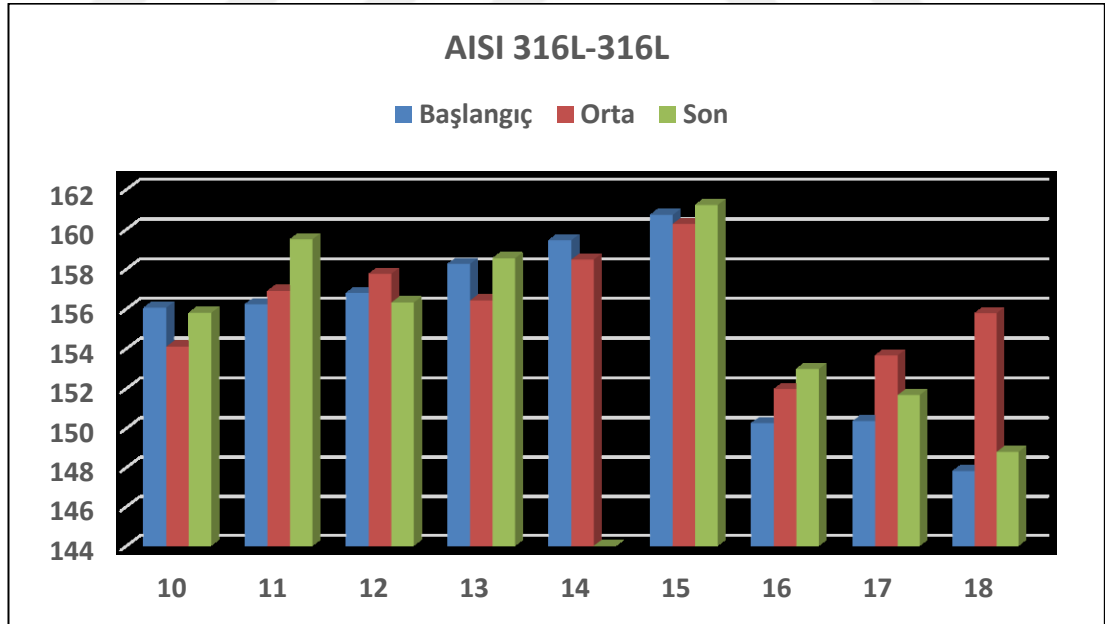
Çizelge 4.7. AH36-AH36 birleştirmelerinin sonucunda elde edilen deformasyon miktarları.



Çizelge 4.8. AH36-AISI 316L birleştirmelerinin sonucunda elde edilen deformasyon miktarları.



Çizelge 4.9. AISI 316L-AISI 316L birleştirmelerinin sonucunda elde edilen deformasyon miktarları.



AH36 ve AISI 316L malzemelerinin kendi içlerinde ve birbirleriyle birleştirmelerinin neticesinde elde edilen levhalardaki distorsiyon miktarları verilmiştir. Levhaların numunelerin kesildiği levhalardan farkı distorsiyon oluşmasına müsaade edilmiş ve destekleyici lama, düzlük vs. kullanılmamıştır. Kullanılan kaynak parametrelerinin ve

kaynak ağzı biçiminin distorsiyona etkisi olduğu görülmüş olmakla distorsiyon miktarları arasındaki farkların çok fazla olduğu da söylenememektedir.

Son olarak Klas Kuruluşları Uluslararası Birliği (IACS), özetle deniz kazaları sonucunda klas kuruluşları arasında bir alt sınır belirlemek amacıyla kurulmuş, klas kuruluşları üstü bir kurul olup, dünyadaki en iyi klas kuruluşları bu kurula üyedirler. Alt limitte belirlenen kurallar gemi inşaatında genel kabul görür kurallar dahilindedir. Bu bağlamda, IACS, 47 numaralı gemi inşaatı ve tamir kalite standardı, tablo 6.6 blok montaj kurallarına göre; düz ve eğik levhalar ile düz ve eğik kübik levhaların montajında distorsiyon oranları standart 10 mm iken limit olarak 20 mm distorsiyona kadar müsaade etmektedir. Tespit edilen bazı distorsiyon değerleri, birkaç bağlantı tipi ve akım değerlerinde 10 mm’yi geçse de 20 mm distorsiyonu geçen hiçbir bağlantı tipi ve akım değerinin sebep olduğu bağlantı yoktur. Dolayısıyla bu durumda elde edilen değerler kurallar dahilinde kabul edilebilir seviyededir [74].

AH36-AH36 çelik çifti birleştirmelerinin distorsiyon miktarlarını gösteren Çizelge 4.7’de verilen grafik incelendiğinde; en düşük distorsiyon miktarı 10 numaralı levhada görülmüştür. Bunun nedeninin tavsiye edilen optimum 7 mm açıklıklı kaynak ağzı yapısına sahip olması ve en düşük kaynak akımı derecesinin kullanılmış olması durumu olduğu görülmüştür. Ayrıca distorsiyon miktarının 7 mm kaynak ağzı açıklığından 12 mm açıklığa doğru gidildikçe fazla ısı girdisi nedeniyle distorsiyon miktarının arttığı görülmektedir. Son olarak 13, 14 ve 15 numaralı numuneler Çizelge 3.2’de belirtildiği gibi çift taraflı kaynakla birleştirilmiş olup, daha fazla ısı girdisi olacağı düşünülürken zıt yönlerden yapılan kaynağın düşünülenin aksine bir etki gösterdiği görülmüş [75] ve bu numunelerdeki distorsiyon miktarları ortalama olarak düşük çıkmıştır.

AH36-AISI 316L birleştirmelerinin distorsiyon miktarlarını gösteren Çizelge 4.8’de verilen grafik incelendiğinde; en düşük distorsiyon miktarı 18 numaralı levhada görülmüştür. Çizelge 3.4’de belirtilen en yüksek 450A akım miktarı ve 12 mm geniş kaynak ağzı açıklığına sahip farklı kalitedeki bu iki malzemenin birleşiminde distorsiyon yönünden optimum özellik sergilediği söylenebilir. Bu açıdan bakıldığında AH36-AH36 düşük karbonlu çelik birleşiminde gösterilen distorsiyon miktarının 7

mm kaynak ağız açıklığından 12 mm'ye doğru gidildikçe fazla ısı girdisi nedeniyle distorsiyon miktarının artması, farklı iki kalitede olan bu ikili birleştirme yöntemi için söylenememektedir. Ayrıca yine AH36-AH36 birleşimine zıt olarak; 13, 14 ve 15 numaralı çift taraflı tozaltı kaynak metodu ile birleştirilen levhalarda düşük distorsiyon miktarı beklenirken grafik incelendiğinde ortalama olarak yüksek değerler çıktığı elde edilmiş ve aynı tavrı sergilediği gözlemlenmiştir.

Son olarak AISI 316L-AISI 316L birleştirmelerinin distorsiyon miktarlarını gösteren Çizelge 4.9'de verilen grafik incelendiğinde; en düşük distorsiyon miktarı yine 18 numaralı levhada görülmüştür ayrıca farklı akımlardaki distorsiyon miktarları da diğerlerine oranla düşük çıkmıştır. Yine AH36-AH36 düşük karbonlu çelik birleşiminde sergilenen distorsiyon miktarının 7 mm kaynak ağız açıklığından 12 mm'ye doğru gidildikçe fazla ısı girdisi nedeniyle miktarının artması tavrı, aynı kalitedeki bu paslanmaz çelik çiftinde tersi yönde meydana gelmiş kaynak ağız açıklığı arttıkça distorsiyon miktarları azalmış denilebilir. Yine son olarak AH36-AH36 birleşimine zıt olarak; bu grupta da 13, 14 ve 15 numaralı çift taraflı tozaltı kaynak metodu ile birleştirilen levhalarda düşük distorsiyon miktarı beklenirken grafik incelendiğinde ortalama olarak yüksek değerler elde edilmiş ve aynı tavrı sergilediği gözlemlenmemiş bilakis zıt yönde bir tavrı sergilediği görülmüştür.

4.1.6. Yapısal Ve Mekanik Özelliklerin Optimizasyonu

4.1.6.1.Taguchi Optimizasyon Metodu

Bir kalite iyileştirme ve maliyet düşürme yöntemi olarak tanımlanabilecek "Taguchi Tekniği", Japon Mühendis ve Bilim adamı Dr. Genichi Taguchi'nin 1940'larda başladığı çalışmalarıyla geliştirdiği ve özellikle 1980 sonrası tüm dünyada geniş bir etki alanı bulan bir kalite geliştirme metodudur.

Taguchi Yöntemi, parametre tasarımı, sistem tasarımı ve tolerans tasarımı üzerine kurulmuş bir deney tasarım ve optimizasyon yöntemidir. En yaygın olarak, kalite güvence sistemleri kapsamında toplanan verilerin, istatistiksel analizinde kullanılmaktadır. Taguchi'nin deney tasarım yöntemi, farklı parametrelerin, farklı

seviyeleri arasından optimum kombinasyonu saptamak adına oldukça yararlı bir yöntemdir [76].

Taguchi, felsefesini üç temel anlayış üzerine bina etmiştir. Sonradan geliştirilen tüm teknikler bu kavramlar ışığında oluşturulmuştur. Taguchi felsefesinin temel prensipleri: Kalite, ürünün tasarımı aşamasında göz önünde bulundurulması gereken bir kriterdir, sonradan ürüne katılamaz. Kaliteye, hedef değerden sapmaların en aza indirilmesiyle en mükemmel düzeyde ulaşılır. Böylelikle ürün kontrol edilemeyen çevre faktörlerine (gürültü faktörleri) karşı dayanıklı hale gelir. Kalitenin maliyeti standart değerlerden sapmanın bir fonksiyonu olarak hesaplanmalı ve kayıplar da sistem çapında ölçülmelidir. Kaliteyi iyileştirmek için atılması gereken birinci adım; ürün karakteristiklerinin hedeflenen değerleri etrafında dağılmasını sağlamaktır. Bunu gerçekleştirmek içinse Taguchi, özel olarak hazırlanmış ve Ortogonal diziler olarak adlandırılan tabloları kullanarak tasarladığı deneyleri kullanmıştır. Bu tabloların kullanımı deney tasarımını basit ve kolay anlaşılır hale getirmiştir. İkinci olarak, ideal değerlere uyan ürünler üretebilmek için hedef değer etrafındaki sapmaları azaltmak gerekir. Bu amacı gerçekleştirmek için de Taguchi gürültü faktörlerini ele almaktadır. Onun terminolojisiyle “Gürültü Faktörleri”; prosesin kalite değişkenini (respons) etkileyen ve kontrol altına alınmaları ekonomik olarak mümkün olmayan faktörlerdir. Hava koşulları, tezgâh yıpranmaları vs. sapmaların (varyasyon) başlıca sebebi olan gürültü faktörleridir. Her bir parametrenin, her bir seviyesini içeren tüm kombinasyonlar için oldukça fazla deneysel çalışma yapılması gereken durumlarda, Taguchi Yöntemi kullanılarak, çok daha az sayıda deneysel çalışma ile sonuca ulaşmak mümkün olmaktadır. Taguchi deneysel tasarım metodunda geliştirilen metodoloji üç temel kavramdan oluşur bunlar; sistem tasarımı, parametre tasarımı ve tolerans tasarımıdır [76–80].

Sistem Tasarımı

Sistem tasarımı bu metodun ilk adımıdır. Bu adımda eldeki bütün materyaller değerlendirilir, aynı zamanda mevcut teknolojik yenilikler araştırılır ve sistemde kullanılabilirliği üzerine fizibilitesi yapılır. Bu adımda amaç en az maliyetle en iyi ürün tasarımı ve maksimum müşteri memnuniyetidir. Taguchi'ye göre, ürünün kalitesini

iyileştirmede en belirleyici çalışmaların yapılabileceği aşama hem ürün hem de proses için parametre tasarım aşamasıdır. Ürün parametre tasarımı, ürün parametrelerinin malzeme formülasyon değerleri, çeşitli boyutlar, yüzey özellikleri gibi optimal değerlerin belirlenmesi anlamına gelmektedir.

Parametre Tasarımı

Süreç yenilemesi ve iyileştirmesinin en önemli adımı parametre tasarımıdır. Varyasyonun nedenini araştırmadan ve ortadan kaldırmadan kaliteyi geliştirmek ve kontrol edilemeyen faktörlere karşı güçlü yapmak için kullanılır. Bu adımda üretilecek olan ürünün ya da geliştirilecek olan ürünün özelliklerinin en iyi seviyeye getirilebilmesi için üretimde kullanılan parametrelerin iyileştirilmesi sağlanır. Parametrelere en iyi seviyeler seçilir. Üretim esnasında ürünün kalitesini olumsuz etkileyecek kontrol edilemeyen etkiler belirlenir. Bunlara kontrol edilemeyen parametre adı verilir bu parametrelerin etkileri minimize edilir. Parametre tasarımında amaç üründe ortaya çıkabilecek varyasyonu asgariye indirerek, ürünün maliyetini azaltmaktır. Bu adımda parametreler bloklanırken Taguchi nin geliştirmiş olduğu ortogonal diziler kullanılır. Taguchi, kayıp fonksiyonu olarak bilinen ve aynı zamanda gürültü oranı (S/N-Signal/Noise) fonksiyonu olarak da ifade edilen üç farklı amaca uygun fonksiyon vardır. Bunlar;

Performans karakteristiği adı verilen sonucun en düşük en iyi olduğu durumda:

$$S/N = -10 \log\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2\right) \quad (4.1)$$

En yüksek (büyük)en iyi olduğu durumda:

$$S/N = -10 \log\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 1/y_i^2\right) \quad (4.2)$$

Nominal en iyi olduğunda:

$$S/N = 10 \log(y^2/S^2) \quad (4.3)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (4.4)$$

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad (4.5)$$

y_i = Performans karakteristiğinin i. gözlem değeri

n = denemede test sayısı

\bar{y} = Gözlem değerlerinin varyansı olup S/N oranı büyüdükçe hedef etrafında ürün

varyansı küçülür.

Tolerans Tasarımı

Parametre tasarımının varyasyonu azaltmada yeterli olmadığının kanıtlandığı durumlarda kullanılır. Parametre düşük maliyetli, geniş ölçüde değişen faktörler kullanılabilir. Varyasyonu istenilen değere düşürmek için bu bileşenleri kalitesinin geliştirilmesi halen gerekiyorsa, tolerans tasarımı gündeme gelir.

Taguchi Deneysel Tasarımının Prosedürleri

Taguchi metodu ile deney tasarımında uygulanması gereken bazı temel prosedürler belirlenmiştir. Deneyin tam olarak Taguchi metoduna göre gerçekleştirilmesi için bu prosedürlerin uygulanması gerekmektedir [81].

- 1) Problemin tanımlanması.
- 2) Gürültü oranının seçimi ve ölçüm sisteminin belirlenmesi
- 3) Deney parametrelerinin ve parametrelere ait seviyelerin belirlenmesi
- 4) Parametrelerin kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen olarak ayrılması
- 5) Parametreler arasında etkileşimin olup olmadığının kontrol edilmesi
- 6) Deneye uygun ortogonal dizinin seçilmesi
- 7) Tüm parametrelerin ortogonal sütuna atanması
- 8) Kalite kayıp fonksiyonları ve performans istatistiklerinin seçilmesi
- 9) Deneylerin belirli tekrarda yapılması ve sonuçların kaydedilmesi
- 10) Varyans analizinin yapılması ve etkin parametrenin belirlenmesi
- 11) İstenilen sonuca göre en iyi parametre seviye kombinasyonunun belirlenmesi
- 12) Gerçekleme deneyinin yapılması ve deneyin sonuçlandırılması

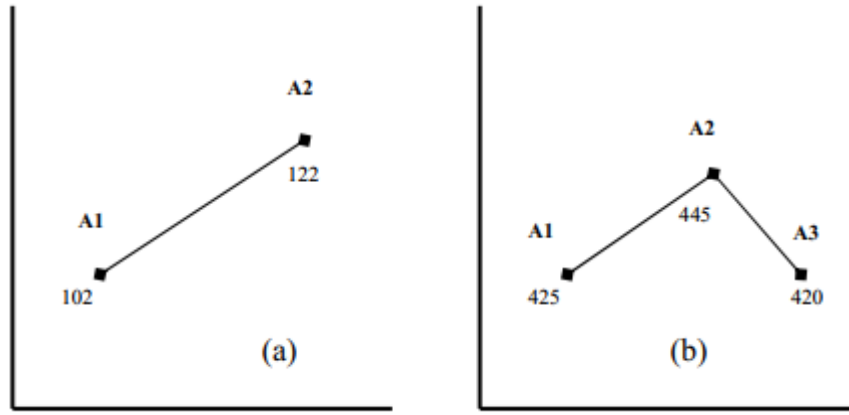
Varyans Analizi

Ürün veya proses geliştirmenin amacı; müşteri beklentileri ve ihtiyaçları ile ilgili olan ürün veya prosesin performans karakteristiğini geliştirmektir. Deneylerin amacı ise ürün veya prosesin değişimini kontrol etmek ve azaltmaktır. Sonra da performansı etkileyen parametrelerin hangileri olduğu ile ilgili bir karar verilmelidir. Kalite ile ilgili tartışmaların büyük bir bölümü varyans ile ilgili olduğundan dolayı, deneysel verilerin yorumlanmasında ve gerekli kararların verilmesinde varyans analizi (ANOVA) istatistiksel metotları kullanılmaktadır.

ANOVA test edilen parça gruplarının ortalama performansları arasındaki farklılığı ortaya koymak için kullanılan istatistiğe dayalı bir araçtır. Varyans analizi toplam varyasyonu bileşenlerine ayıran matematiksel bir tekniktir ve serbestlik derecesi, karelerin toplamı, ortalama kareler (varyans) vb. gibi niceliklerin hesaplanmasında kullanılmaktadır.

Etkin Parametrelerin Belirlenmesi

Etkin parametrelerin belirlenmesinde sütun etkisi metodu kullanılmaktadır [81]. Deneylere karşılık gelen ortalama değerleri ya da S/N değerleri için A parametresinin 1. seviyesine karşılık gelenler toplanır. A parametresinin 2. seviyesine karşılık gelen ortalamalar ya da S/N değerleri de toplandıktan sonra diğer seviyenin toplamından çıkarılır. Aradaki farkın işaretine bakılmaksızın büyük farka sahip olan etkili olarak seçilir. Etkin parametreler belirlenirken seviyelere karşılık gelen değerler bir grafik üzerinde gösterilebilir. Şekil 4.25a'da 2 seviyeli ve b'de 3 seviyeli A parametresinin sütun etkisi metodu grafik üzerinde gösterilmiştir. Şekil 4.25a'da A1 seviyesine ait değerlerin toplamı 102, A2 seviyesine ait değerlerin toplamının 122 olduğuna görülmektedir. Buna göre A parametresinin en etkili seviyesi 2 dir denebilir. Şekil 4.25b'de A1 seviyesine ait değerlerin toplamı sırası ile 425,445 ve 420 dir. Buna göre A parametresinin en etkili seviyesi 2 dir denilebilir.



Şekil 4.25. Sütun etkisinin grafik üzerinde gösterimi a) iki seviyeli b) üç seviyeli

4.1.6.2. AH36-AH36 Birleştirmelerinin Optimizasyonu

Deney sonuçlarının değerlendirilmesi, elde edilen veriler MINITAB 18 yazılımında Taguchi metodu kullanılarak grafikler ve analizler elde edilmiştir. L9 ortogonal dizilimine göre yapılan deneyler neticesinde çekme dayanımının (ÇD) ve distorsiyon miktarının (Dm) S/N oranları bulunmuştur. AH36-AH36 birleşimleri için yapılan kaynaklı birleştirme deneyleri sonucunda elde edilen çekme dayanımı değerleri için "en büyük en iyi" ve distorsiyon miktarları için "en küçük en iyi" yaklaşımına göre hesaplanan S/N oranları Çizelge 4.10'da verilmiştir.

Çizelge 4.10. AH36-AH36 birleşimleri için deneysel sonuçlar ve S/N oranları.

Deney No	Bağlantı tipi (Bt)	Akım (A)	ÇD (MPa)	Dm (mm)	ÇD-S/N	Dm-S/N
1	1	1	510	154,81	54,1514	-43,7960
2	1	2	517	156,42	54,2698	-43,8858
3	1	3	514	160,85	54,2193	-44,1284
4	2	1	523	152,61	54,3700	-43,6717
5	2	2	531	157,63	54,5019	-43,9528
6	2	3	522	159,87	54,3534	-44,0753
7	3	1	520	157,87	54,3201	-43,9660
8	3	2	534	160,49	54,5508	-44,1090
9	3	3	525	162,55	54,4032	-44,2197

Tozaltı kaynağı ile birleştirilen malzemelerin birleşimin kaynak parametreleri olarak bağlantı tipi (Bt) ve akım (A) iki farklı seviyesi kullanılarak 9 adet deney yapılmıştır.

Faktörlerin ÇD üzerindeki etki seviyelerini belirlemek amacıyla %95 güven düzeyinde yapılan varyans analizi (ANOVA) sonuçları Çizelge 4.11’de verilmiştir. Burada, her bir faktör/değişkenin önem seviyesini gösteren P değerleri ile serbestlik derecesi (SD), kareler toplamı (KT), kareler ortalaması (KO), F değerleri ve yüzde etki oranları (PCR) görülmektedir. Değişkenlerin önem seviyesi, ANOVA tablosundaki P değeri dikkate alınarak belirlenmektedir. Ayrıca, her bir değişkenin çekme dayanımı üzerindeki yüzde etki oranları (PCR) hesaplanmış olup, ANOVA tablosunda verilmiştir.

Çizelge 4.11. Çekme dayanımı için varyans analizi sonuçları.

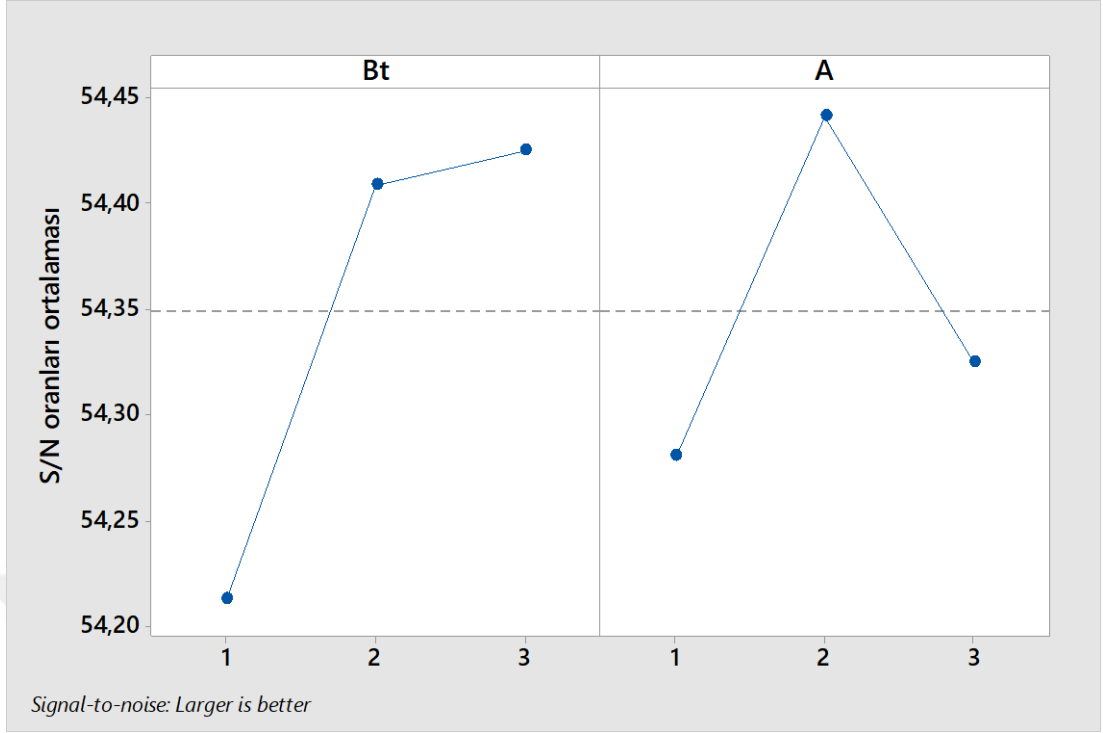
Faktör	SD	KT	KO	F	P	%PCR
Bağlantı tipi (Bt)	2	297,56	148,778	24,35	0,006	63,10
Akım (A)	2	149,56	74,778	12,24	0,02	31,72
Hata	4	24,44	6,11			5,18
Toplam	8	471,56				100

Çizelge 4.11 incelendiğinde, ÇD üzerinde en fazla öneme sahip değişken %63,10 PCR ile bağlantı tipi olarak bulunmuştur. ÇD üzerinde ikinci derecede öneme sahip değişken ise %31,72’lik PCR değeri ile akım değeridir. ANOVA tablosundaki P değerlerine göre %95 güven düzeyinde ÇD için önemli olmadığı belirlenmiştir.

ÇD’nin deneysel sonuçları kullanılarak hesaplanan S/N oranları Şekil 4.26’daki ana etki grafiklerinde gösterilmiştir. Ayrıca, ÇD için hesaplanan ortalama S/N oranlarının değişkenlere göre dağılımı Çizelge 4.12’de verilmiştir. Şekil 4.26’daki ana etki grafikleri ile Çizelge 4.12’deki S/N oranlarının maksimum ve minimum noktaları arasındaki fark (delta) incelenecek olursa, ÇD üzerinde etkili olan en önemli değişkenin bağlantı tipi (Bt) olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.12. Çekme dayanımı için S/N oranları.

Faktör	S/N oranları			
	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Delta
Bağlantı tipi	54,21	54,41	*54,42	0,21
Akım	54,28	*54,44	54,33	0,16
*Optimum seviyeler				



Şekil 4.26. Çekme dayanımının S/N oranları ana etki grafiği.

AH36-AH36 birleşimlerinin “En büyük en iyi” amaç fonksiyonu ile hesaplanan S/N oranlarına göre ÇD için optimum değişken seviyeleri Bt nin 3.seviyesi (S12) ve A’nın 2.seviyesi (425 amper) olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.12).

Çizelge 4.13. Distorsiyon miktarı için varyans analizi sonuçları.

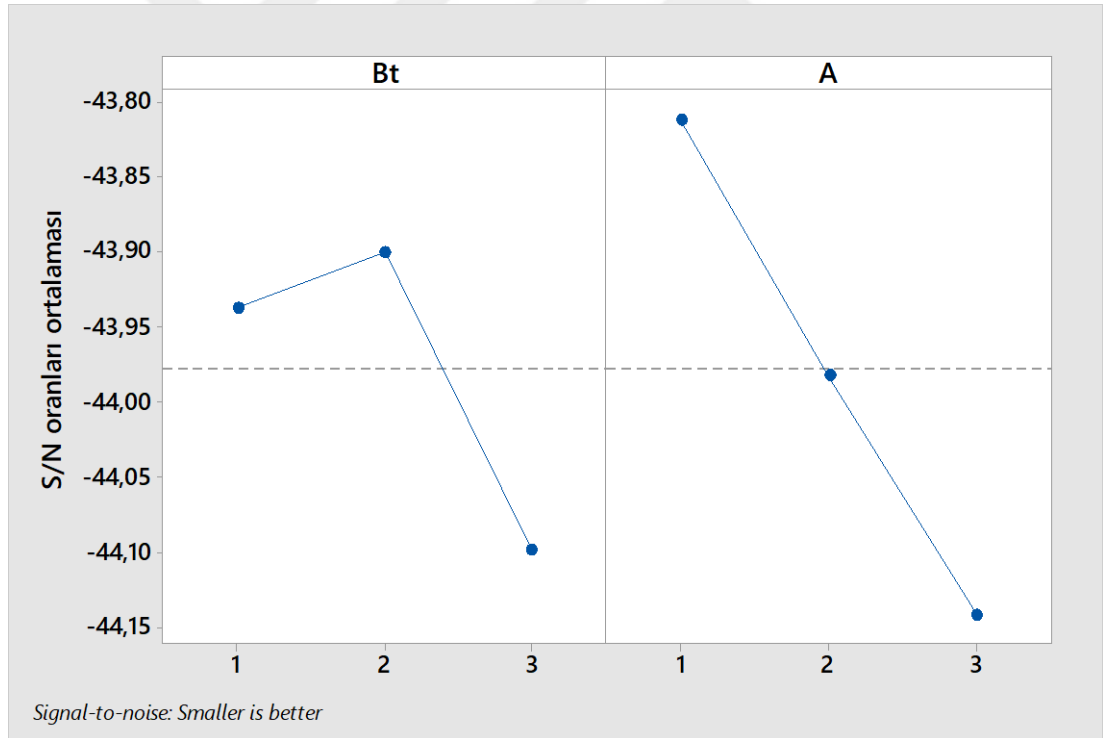
Faktör	SD	KT	KO	F	P	%PCR
Bağlantı tipi (Bt)	2	22,054	11,027	10,22	0,027	27,48
Akım (A)	2	53,895	26,948	24,97	0,005	67,15
Hata	4	4,316	1,08			5,37
Toplam	8	80,266				100

Çizelge 4.13 incelendiğinde, Dm üzerinde en fazla öneme sahip değişken %67,15 PCR ile akım (A) olarak bulunmuştur. Dm üzerinde ikinci derecede öneme sahip değişken ise %27,48’lik PCR değeri ile bağlantı tipidir. ANOVA tablosundaki P değerlerine göre, %95 güven düzeyinde Dm için önemli olmadığı belirlenmiştir.

Dm'nin deneysel sonuçları kullanılarak hesaplanan S/N oranları Şekil 4.27'deki ana etki grafiklerinde gösterilmiştir. Ayrıca, Dm için hesaplanan ortalama S/N oranlarının değişkenlere göre dağılımı Çizelge 4.14'de verilmiştir. Şekil 4.27'deki ana etki grafikleri ile Çizelge 4.14'deki S/N oranlarının maksimum ve minimum noktaları arasındaki fark (delta) incelenecek olursa, Dm üzerinde etkili olan en önemli değişkenin akım (A) olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.14. Distorsiyon miktarı için S/N oranları.

Faktör	S/N oranları			
	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Delta
Bağlantı tipi	-43,94	*-43,9	-44,10	0,20
Akım	*-43,81	-43,98	-44,14	0,33
*Optimum seviyeler				



Şekil 4.27. Distorsiyon miktarının S/N oranları ana etki grafiği.

AH36-AH36 birleşimlerinin “En küçük en iyi” amaç fonksiyonu ile hesaplanan S/N oranlarına göre Dm için optimum değişken seviyeleri Bt nin 2.seviyesi (S12) ve A nin 1.seviyesi (400 amper) olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.14).

4.1.6.3.AH36-AISI 316L Birleştirmelerinin Optimizasyonu

Deney sonuçlarının değerlendirilmesi, elde edilen veriler MINITAB 18 yazılımında Taguchi metodu kullanılarak grafikler ve analizler elde edilmiştir. L9 ortogonal dizilimine göre yapılan deneyler neticesinde çekme dayanımının (ÇD) ve distorsiyon miktarının (Dm) S/N oranları bulunmuştur. AH36-AISI 316L birleşimleri için yapılan kaynaklı birleştirme deneyleri sonucunda elde edilen çekme dayanımı değerleri için "en büyük en iyi" ve distorsiyon miktarları için "en küçük en iyi" yaklaşımına göre hesaplanan S/N oranları Çizelge 4.15'de verilmiştir.

Çizelge 4.15. AH36-AISI 316L birleşimleri için deneysel sonuçlar ve S/N oranları.

Numune No	ÇD (MPa)	Dm (mm)	ÇD-S/N	Dm-S/N
1	583	153,6	55,31337	-43,7278
2	580	152,5	55,26856	-43,6654
3	576	150,45	55,20845	-43,5478
4	581	155,09	55,28352	-43,8117
5	572	154,5	55,14792	-43,7786
6	569	152,3	55,10225	-43,654
7	571	153,1	55,13272	-43,6995
8	568	152,08	55,08697	-43,6414
9	561	150,1	54,97926	-43,5276

Tozaltı kaynağı ile birleştirilen malzemelerin birleşimin kaynak parametreleri olarak bağlantı tipi (Bt) ve akım (A) iki farklı seviyesi kullanılarak 9 adet deney yapılmıştır. Faktörlerin ÇD üzerindeki etki seviyelerini belirlemek amacıyla %95 güven düzeyinde yapılan varyans analizi (ANOVA) sonuçları Çizelge 4.16'da verilmiştir. Burada, her bir faktör/değişkenin önem seviyesini gösteren P değerleri ile serbestlik derecesi (SD), kareler toplamı (KT), kareler ortalaması (KO), F değerleri ve yüzde etki oranları (PCR) görülmektedir. Değişkenlerin önem seviyesi, ANOVA tablosundaki P değeri dikkate alınarak belirlenmektedir. Ayrıca, her bir değişkenin çekme dayanımı üzerindeki yüzde etki oranları (PCR) hesaplanmış olup, ANOVA tablosunda verilmiştir.

Çizelge 4.16. Çekme dayanımı için varyans analizi sonuçları.

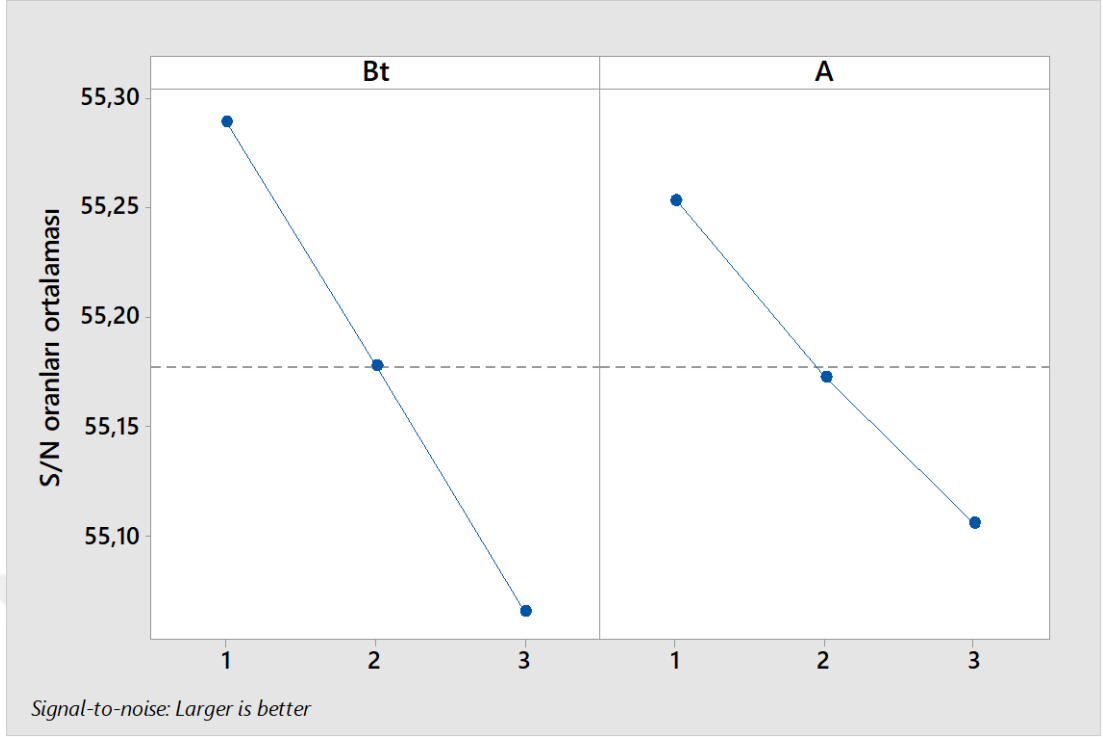
Faktör	SD	KT	KO	F	P	%PCR
Bağlantı tipi (Bt)	2	254,89	127,444	33,74	0,003	62,14
Akım (A)	2	140,22	70,111	18,56	0,009	34,18
Hata	4	15,11	3,78			3,68
Toplam	8	410,22				100

Çizelge 4.16 incelendiğinde, ÇD üzerinde en fazla öneme sahip değişken %62,14 PCR ile bağlantı tipi olarak bulunmuştur. ÇD üzerinde ikinci derecede öneme sahip değişken ise %34,18'lik PCR değeri ile akım değeridir. ANOVA tablosundaki P değerlerine göre %95 güven düzeyinde ÇD için önemli olmadığı belirlenmiştir.

ÇD'nın deneysel sonuçları kullanılarak hesaplanan S/N oranları Şekil 4.28'deki ana etki grafiklerinde gösterilmiştir. Ayrıca, ÇD için hesaplanan ortalama S/N oranlarının değişkenlere göre dağılımı Çizelge 4.17'de verilmiştir. Şekil 4.28'deki ana etki grafikleri ile Çizelge 4.17'deki S/N oranlarının maksimum ve minimum noktaları arasındaki fark (delta) incelenecek olursa, ÇD üzerinde etkili olan en önemli değişkenin bağlantı tipi (Bt) olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.17. Çekme dayanımı için S/N oranları.

Faktör	S/N oranları			
	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Delta
Bağlantı tipi	*55.26	55,18	55,07	0,22
Akım	*55.24	55,17	55,10	0,15
*Optimum seviyeler				



Şekil 4.28. Çekme dayanımının S/N oranları ana etki grafiği.

AH36-AISI 316L birleşimlerinin “En büyük en iyi” amaç fonksiyonu ile hesaplanan S/N oranlarına göre ÇD için optimum değişken seviyeleri Bt nin 1.seviyesi (S7) ve A nın 1.seviyesi (400 amper) olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.17).

Çizelge 4.18. Distorsiyon miktarı için varyans analizi sonuçları.

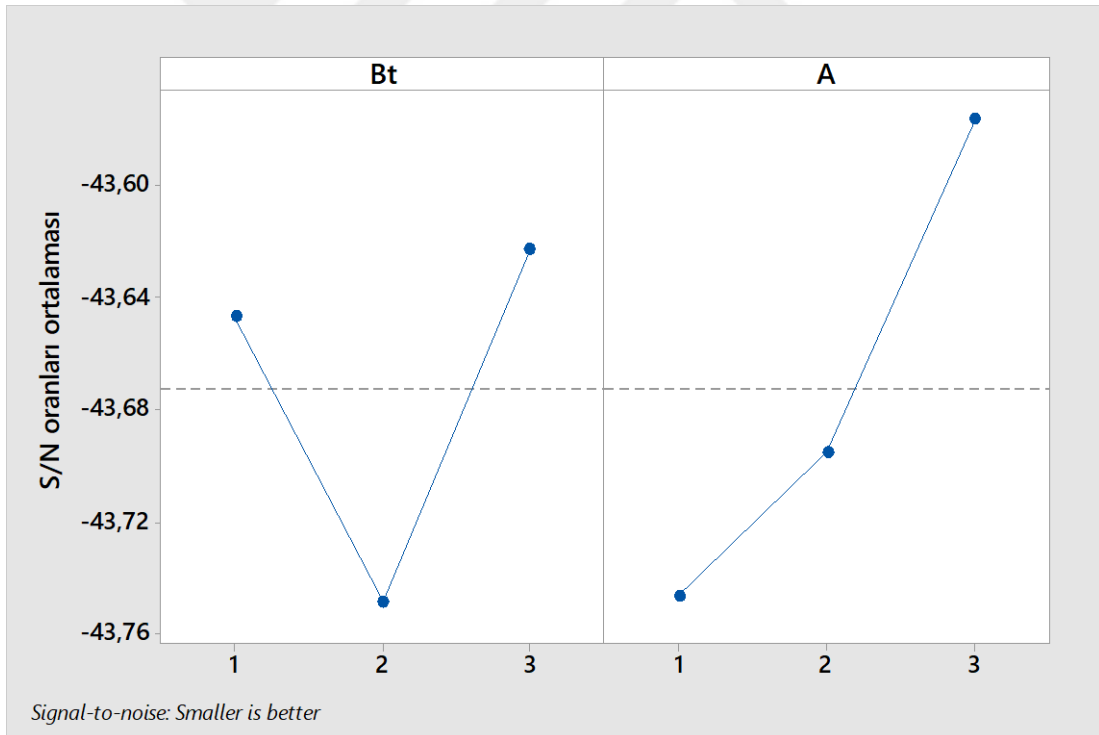
Faktör	SD	KT	KO	F	P	%PCR
Bağlantı tipi (Bt)	2	8,2023	4,10114	204,09	0,000	36,80
Akım (A)	2	14,009	7,00448	348,58	0,000	62,84
Hata	4	0,0804	0,02			0,36
Toplam	8	22,2916				100

Çizelge 4.18 incelendiğinde, Dm üzerinde en fazla öneme sahip değişken %62,84 PCR ile akım (A) olarak bulunmuştur. Dm üzerinde ikinci derecede öneme sahip değişken ise %36,80’lik PCR değeri ile bağlantı tipidir. ANOVA tablosundaki P değerlerine göre %95 güven düzeyinde Dm için önemli olmadığı belirlenmiştir.

Dm'nin deneysel sonuçları kullanılarak hesaplanan S/N oranları Şekil 4.29'daki ana etki grafiklerinde gösterilmiştir. Ayrıca, Dm için hesaplanan ortalama S/N oranlarının değişkenlere göre dağılımı Çizelge 4.19'da verilmiştir. Şekil 4.29'daki ana etki grafikleri ile Çizelge 4.19'daki S/N oranlarının maksimum ve minimum noktaları arasındaki fark (delta) incelenecek olursa, Dm üzerinde etkili olan en önemli değişkenin Akım (A) olduğu görülmekle beraber bağlantı tipinin (Bt) de önemi büyüktür.

Çizelge 4.19. Distorsiyon miktarı için S/N oranları.

Faktör	S/N oranları			
	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Delta
Bağlantı tipi	-43,65	-43,75	*-43.62	0,13
Akım	-43,75	-43,70	*-43.58	0,17
*Optimum seviyeler				



Şekil 4.29. Distorsiyon miktarının S/N oranları ana etki grafiği.

AH36-AISI 316L birleşimlerinin “En küçük en iyi” amaç fonksiyonu ile hesaplanan S/N oranlarına göre Dm için optimum değişken seviyeleri Bt nin 3.seviyesi (SS) ve A nın da 3.seviyesi (450 amper) olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.19).

4.1.6.4.AISI 316L-AISI 316L Birleştirmelerinin Optimizasyonu

Deney sonuçlarının değerlendirilmesi, elde edilen veriler MINITAB 18 yazılımında Taguchi metodu kullanılarak grafikler ve analizler elde edilmiştir. L9 ortogonal dizilimine göre yapılan deneyler neticesinde çekme dayanımının (ÇD) ve distorsiyon miktarının (Dm) S/N oranları bulunmuştur. AISI 316L-AISI 316L birleşimleri için yapılan kaynaklı birleştirme deneyleri sonucunda elde edilen çekme dayanımı değerleri için "en büyük en iyi" ve distorsiyon miktarları için “en küçük en iyi” yaklaşımına göre hesaplanan S/N oranları Çizelge 4.20’de verilmiştir.

Çizelge 4.20. AISI 316L-AISI 316L birleşimleri için deneysel sonuçlar ve S/N oranları.

Numune No	ÇD (MPa)	Dm (mm)	ÇD-S/N	Dm-S/N
1	516	154,09	54,2530	-43,7555
2	525	156,89	54,4032	-43,9119
3	532	157,75	54,5182	-43,9594
4	544	156,41	54,7120	-43,8853
5	556	158,47	54,9015	-43,9989
6	567	160,26	55,0717	-44,0965
7	571	151,96	55,1327	-43,6346
8	575	153,65	55,1934	-43,7307
9	580	155,77	55,2686	-43,8497

Tozaltı kaynağı ile birleştirilen malzemelerin birleşimin kaynak parametreleri olarak bağlantı tipi (Bt) ve akım (A) ve iki farklı seviyesi kullanılarak 9 adet deney yapılmıştır. Faktörlerin ÇD üzerindeki etki seviyelerini belirlemek amacıyla %95 güven düzeyinde yapılan varyans analizi (ANOVA) sonuçları Çizelge 4.21’de verilmiştir. Burada, her bir faktör/değişkenin önem seviyesini gösteren P değerleri ile serbestlik derecesi (SD), kareler toplamı (KT), kareler ortalaması (KO), F değerleri ve yüzde etki oranları (PCR) görülmektedir. Değişkenlerin önem seviyesi, ANOVA

tablosundaki P değeri dikkate alınarak belirlenmektedir. Ayrıca, her bir değişkenin çekme dayanımı üzerindeki yüzde etki oranları (PCR) hesaplanmış olup, ANOVA tablosunda verilmiştir.

Çizelge 4.21. Çekme dayanımı için varyans analizi sonuçları.

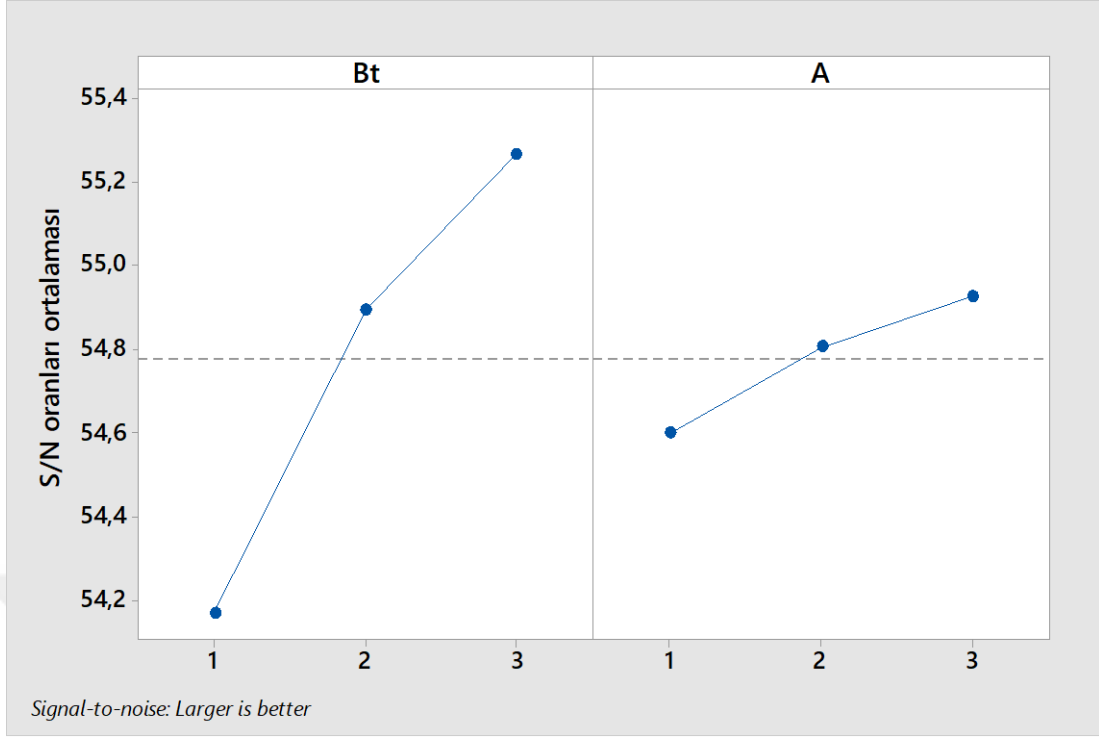
Faktör	SD	KT	KO	F	P	%PCR
Bağlantı tipi (Bt)	2	3969,56	1984,78	159,49	0,000	90,14
Akım (A)	2	384,22	192,11	15,44	0,013	8,73
Hata	4	49,78	12,44			1,13
Toplam	8	4403,56				100

Çizelge 4.21 incelendiğinde, ÇD üzerinde en fazla öneme sahip değişken %90,14 PCR ile bağlantı tipi olarak bulunmuştur. ÇD üzerinde ikinci derecede öneme sahip değişken ise %8,73'lik PCR değeri ile akım değeridir. ANOVA tablosundaki P değerlerine göre %95 güven düzeyinde ÇD için önemli olmadığı belirlenmiştir.

ÇD'nın deneysel sonuçları kullanılarak hesaplanan S/N oranları Şekil 4.30'daki ana etki grafiklerinde gösterilmiştir. Ayrıca, ÇD için hesaplanan ortalama S/N oranlarının değişkenlere göre dağılımı Çizelge 4.22'de verilmiştir. Şekil 4.30'daki ana etki grafikleri ile Çizelge 4.22'deki S/N oranlarının maksimum ve minimum noktaları arasındaki fark (delta) incelenecek olursa, ÇD üzerinde etkili olan en önemli değişkenin bağlantı tipi (Bt) olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.22. Çekme dayanımı için S/N oranları.

Faktör	S/N oranları			
	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Delta
Bağlantı tipi	54,39	54,90	*55,2	0,81
Akım	54,7	54,83	*54,95	0,25
*Optimum seviyeler				



Şekil 4.30. Çekme dayanımının S/N oranları ana etki grafiği.

AISI 316L-AISI 316L birleşimlerinin “En büyük en iyi” amaç fonksiyonu ile hesaplanan S/N oranlarına göre ÇD için optimum değişken seviyeleri Bt nin 3.seviyesi (SS) ve A nın da 3.seviyesi 450 (amper) olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.22).

Çizelge 4.23. Distorsiyon miktarı için varyans analizi sonuçları.

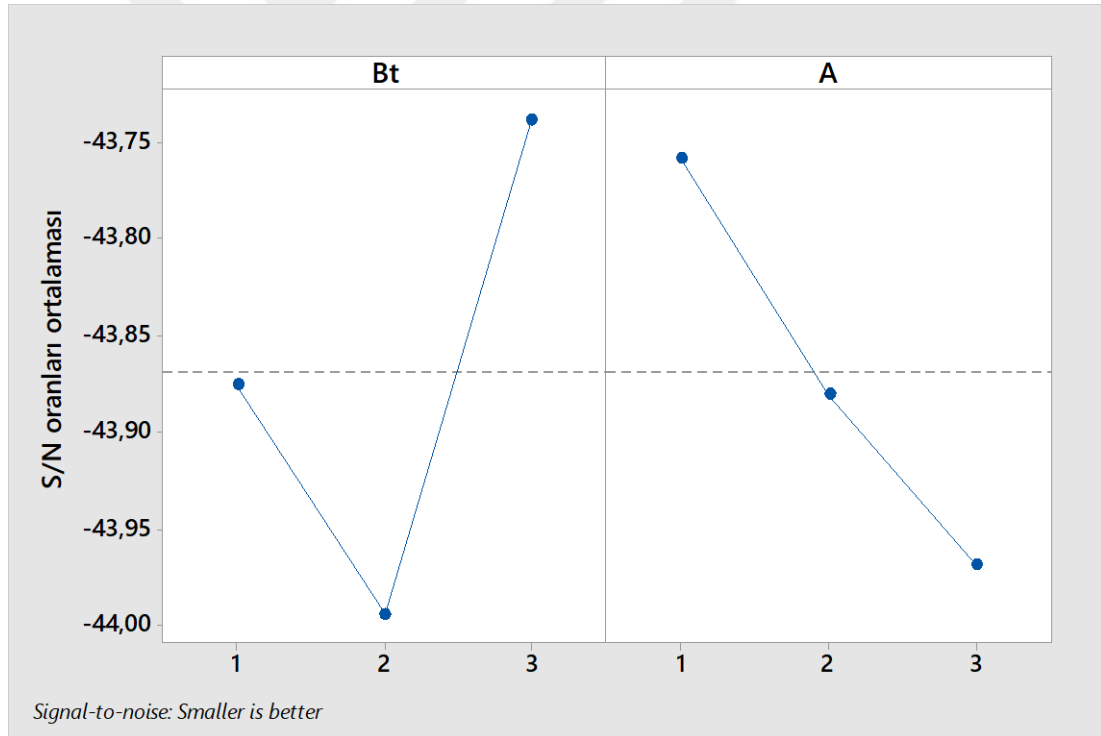
Faktör	SD	KT	KO	F	P	%PCR
Bağlantı tipi (Bt)	2	31,6054	15,8027	125,36	0,000	58,92
Akım (A)	2	21,5331	10,7665	85,41	0,001	40,14
Hata	4	0,5042	0,13			0,94
Toplam	8	53,6427				100

Çizelge 4.23 incelendiğinde, Dm üzerinde en fazla öneme sahip değişken %58,92 PCR ile bağlantı tipidir olarak bulunmuştur. Dm üzerinde ikinci derecede öneme sahip değişken ise %40,14'lük PCR değeri ile akımdır. ANOVA tablosundaki P değerlerine göre %95 güven düzeyinde Dm için önemli olmadığı belirlenmiştir.

Dm'nin deneysel sonuçları kullanılarak hesaplanan S/N oranları Şekil 4.31'deki ana etki grafiklerinde gösterilmiştir. Ayrıca, Dm için hesaplanan ortalama S/N oranlarının değişkenlere göre dağılımı Çizelge 4.24'de verilmiştir. Şekil 4.31'deki ana etki grafikleri ile Çizelge 4.24'deki S/N oranlarının maksimum ve minimum noktaları arasındaki fark (delta) incelenecek olursa, Dm üzerinde etkili olan en önemli değişkenin bağlantı tipi olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.24. Distorsiyon miktarı için S/N oranları.

Faktör	S/N oranları			
	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Delta
Bağlantı tipi	-43,88	-43,99	*-43.74	0,26
Akım	*-43.76	-43,88	-43,97	0,21
*Optimum seviyeler				



Şekil 4.31. Distorsiyon miktarının S/N oranları ana etki grafiği.

AISI 316L-AISI 316L birleşimlerinin “En küçük en iyi” amaç fonksiyonu ile hesaplanan S/N oranlarına göre Dm için optimum değişken seviyeleri Bt nin 3. Seviyesi (SS) ve A nin 1.seviyesi (400 amper) olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.24).

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, üç farklı AH36-AH36 çelik çifti, AH36-AISI 316L çeliği ile paslanmaz çelik çifti ve AISI 316L-AISI 316L paslanmaz çelik çifti farklı kaynak parametreleri ile tozaltı ark kaynağı yöntemi kullanılarak birleştirilmiştir. Kaynaklı birleştirmelerin kalitesi mekanik testler, sertlik ölçümü, mikroyapı incelemesi ve distorsiyon miktarı ölçülerek değerlendirilmiştir. Ayrıca çekme dayanımı ve distorsiyon miktarı açısından kaynak parametrelerinin Taguchi metodolijisi ile optimizasyonu yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiş ve bazı öneriler verilmiştir.

- AH36-AH36 çelik çifti birleştirmelerinin mikroyapı incelemelerinde, kaynak metali ve ITAB-kaynak geçiş bölgelerinin benzer mikroyapı ve faz özelliklerine sahip olduğu belirlenmiştir. Değişen kaynak parametreleri ve kaynak koşullarına bağlı oluşan ısı girdilerinin birbirine yakın olmasından dolayı tüm birleştirmelerde oluşan tane boyutu değişimlerinin de benzer özellikler taşıdığı görülmüştür.
- AH36-AISI 316L çelik ve paslanmaz çelik çifti birleştirmelerinde, AH36 çeliğinde ITAB'da tane incelmesinin önemli ölçüde gerçekleştiği dikkat çekmekte olup, AISI 316L tarafında ITAB'da tane irileşmesinin oluştuğu gözlemlenmiştir. Seramikli numunede birleşme bölgesinde homojen bir mikroyapı görülürken, seramiksiz birleştirilen numunenin birleşme bölgesine en yakın yerde tane büyümesi ve faz değişimleri meydana gelmiştir.
- AISI 316L-AISI 316L paslanmaz çelik çifti birleştirmelerinin mikroyapı incelemelerinde, birleşme bölgesine yaklaştıkça δ -ferrit fazının, ısının etkisiyle birlikte tane boyutunda irileşmeler gözlemlenmiştir. Kaynak birleşme bölgesinde ise belirgin bir biçimde dendrit yapılarının oluştuğu belirlenmiştir.
- AH36-AH36 çelik çifti birleştirmelerinin çekme dayanımları ana malzemenin dayanımından daha yüksek bulunmuştur.

- AH36-AISI 316L çelik ve paslanmaz çelik çifti birleştirmelerinin mekanik özellikleri diğer eş malzeme birleştirmelerine nazaran daha yüksek çekme dayanımına sahip olduğu gözlemlenmiştir.
- AISI 316L-AISI 316L paslanmaz çelik çifti birleştirmelerinde, boşluksuz kaynak ağzı bağlantı ve çift taraflı kaynaklı birleştirmelerin çekme dayanımlarının, aynı kalite paslanmaz çelik birleştirmelerde seramikli bağlantılı numunelerinin çekme dayanımından fazla olduğu belirlenmiştir.
- AH36-AH36 çelik çifti birleştirmelerinin darbe tokluğu enerjisi, +20°C'deki her iki grup için akımın artışının darbe tokluğu enerjisini azalttığı, -40°C'de darbe tokluğu enerjisinin akımla doğru orantılı bir değişim göstermediği tespit edilmiştir.
- AH36-AISI 316L çelik ve paslanmaz çelik çifti birleştirmelerinde en düşük darbe tokluğu enerjisi, -40°C'de 1 numaralı seramik bağlantılı numunede elde edilmiştir.
- AISI 316L-AISI 316L paslanmaz çelik çifti birleştirmelerinde, -40°C'de seramiksiz, çift taraflı grubunun ortalaması seramikli birleştirmelere kıyasla daha yüksek çıktığı gözlemlenmiş olup, genel olarak bütün numunelerde -40°C'de görülen enerjilerin ortalaması AH36-AH36 ve AH36-AISI 316L ortalamasına göre yüksek çıktığı görülmüştür.
- AH36-AH36 çelik çifti birleştirmelerinin mikrosertlik değerleri incelendiğinde, tüm kaynak parametreleri için ITAB ve kaynak metalinde çatlak riskine neden olabilecek 350 Vickers sertlik değerinin aşılmadığı görülmektedir.
- AH36-AISI 316L çelik ve paslanmaz çelik çifti birleştirmelerinde, tüm kaynak parametreleri için ITAB ve kaynak metalinde çatlak riskine neden olabilecek 350 Vickers sertlik değerinin bir miktar aşıldığı, bu durumun kaynak bölgesinde farklı metal kaynaklarının doğası gereği heterojen bir yapının olmasından kaynaklandığı belirlenmiştir.
- AISI 316L-AISI 316L paslanmaz çelik çifti birleştirmelerinde, kaynak termal çevriminden etkilenen ITAB ferrit-östenit dengesi ferrit tanelerinin kabalaşarak ferrit lehine eğilim göstermesi ile bu bölgenin sertliğinin ana metalden fazla ancak ince taneli kaynak metalinden daha düşük bulunmasına neden olduğu tespit edilmiştir.

- AH36-AH36 çelik çifti birleştirmelerinin distorsiyon miktarları incelendiğinde, kaynak ağızı açıklığının 7 mm'den 12 mm'ye artmasıyla fazla ısı girdisinin oluşmasına bağlı olarak distorsiyonun arttığı tespit edilmiştir.
- AH36-AISI 316L çelik ve paslanmaz çelik çifti birleştirmelerinde kaynak ağızı açıklığına göre distorsiyon miktarlarındaki değişim, AH36-AH36 malzeme çiftinde elde edilen sonuçlardan farklıdır. Ayrıca, AH36 eş birleştirmelerine zıt olarak; çift taraflı, seramiksiz birleştirmelerde düşük distorsiyon miktarı beklenirken, distorsiyonun yüksek değerlerde olduğu belirlenmiştir.
- AISI 316L-AISI 316L paslanmaz çelik çifti birleştirmelerinde, kaynak ağızı açıklığı arttıkça distorsiyon miktarının azaldığı görülmüştür. Ayrıca, seramiksiz ve çift taraflı birleştirilen levhalarda düşük distorsiyon miktarı beklenirken, seramikli grupta diğer gruplara nazaran yüksek miktarlarda distorsiyon ölçülmüştür.
- AH36-AH36 çelik çifti birleştirmeleri için yapılan ANOVA sonuçlarına göre, ÇD üzerinde en fazla öneme sahip değişken %63,10 PCR ile bağlantı tipi olarak bulunmuştur. ÇD için optimum değişken seviyeleri; S12 bağlantı tipi ve 425 amper olarak belirlenmiştir. Dm üzerinde en fazla öneme sahip değişken %67,15 PCR ile akım (A) olarak bulunmuştur. Dm için optimum değişken seviyeleri S12 bağlantı tipi ve 400 amper olarak belirlenmiştir.
- AH36-AISI 316L çelik ve paslanmaz çelik çifti birleştirmelerinin ANOVA sonucuna göre, ÇD üzerinde değişkenlerin önem seviyeleri %62,14 ve %34,18'lik PCR değerleri ile sırasıyla bağlantı tipi ve akım değeri olarak bulunmuştur. ÇD için optimum değişken seviyeleri Bt nin 1.seviyesi (S7) ve A nın 1.seviyesi (400 amper) olarak belirlenmiştir. Dm üzerinde değişkenlerin önem sıralaması, %62,84 ve %36,80'lik PCR değeri ile sırasıyla akım (A) ve bağlantı tipi olarak belirlenmiştir. Dm için optimum değişken seviyeleri Bt nin 3.seviyesi (SS) ve A nın da 3.seviyesi (450 amper) olarak belirlenmiştir.
- AISI 316L-AISI 316L paslanmaz çelik çifti birleştirmelerinin ANOVA sonucuna göre, ÇD üzerinde en fazla öneme sahip değişken %90,14 PCR ile bağlantı tipi olarak bulunmuştur. ÇD üzerinde ikinci derecede öneme sahip değişken ise %8,73'lik PCR değeri ile akım değeridir. ÇD için optimum değişken seviyeleri, SS bağlantı tipi ve 450 amper olarak belirlenmiştir. Dm üzerinde değişkenlerin önem seviyesi sıralaması, %58,92 ve %40,14'lük PCR

değerleri ile sırasıyla bağlantı tipi ve akımdır. Dm için optimum değişken seviyeleri, SS bağlantı tipi ve 400 amper olarak belirlenmiştir.

Gemi inşa sanayinde kaynaklı imalat, paneller ve düzlemsel bölgeler harici dar bölgeler, blok imalatı, eğimli yüzeylerin birleştirilmesinde çoğunlukla insan kabiliyetine dayalı elektrik ve gazaltı kaynağı ile gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada, son yıllarda ülkemizde pazar payı yüksek olan açık deniz gemilerinin üretiminde sıklıkla kullanılan çelik malzemelerin birleştirilmesine dayalı bir optimizasyon çalışması yapılmıştır. Deneysel ve istatistiksel sonuçlar dikkate alındığında, özellikle farklı özellikteki malzeme çiftlerinin otomatik kaynak yöntemi ile birleştirilmesinde bile distorsiyon noktasında minimizasyonun zor olduğu söylenebilir. Bu bağlamda, gemi üretiminin tasarım aşamasından itibaren düşünülerek küçük konstrüktif yapılardan büyük blok ek birleştirilmelerine kadar simetrik olarak, otomasyon sistemine dayalı optimum kaynak parametlerinin kullanılması önerilmektedir. Ayrıca, kaynak işleminin yapay zekalı robot teknolojisine evrilmesi ile, hem insan kaynaklı problemler ortadan kaldırılabilir, hem de zaman, kalite, termin ve maliyet açısından büyük kazanımlar sağlanabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Yıldız, A., "Türkiye’de tersanelerin tarihi ve gemi inşa sanayisinin gelişimi", *Mühendis Ve Makine Dergisi*, 578 (49): 23–47 (2008).
2. Meclis Araştırması Komisyonu, "Tuzla raporu", *Resmî Gazete*, (26868): 8–85 (2008).
3. Tüsiad, "Türkiye Sanayisine Genel Bakış: Gemi İnşaa Sanayii", *Tüsiad*, 574 (10): 1–28 (2010).
4. Balık, B. E., "Gemi inşaatında kaynak sırası yöntem ilişkisi ve kaynak muayene planlarının incelenmesi", *Yıldız Teknik Üniversitesi*, (2008).
5. Lee, J. M., Seo, H. D., and Chung, H., "Efficient welding distortion analysis method for large welded structures", *Journal Of Materials Processing Technology*, 256 (November 2017): 36–50 (2018).
6. Wang, J., Zhao, H., Zou, J., Zhou, H., Wu, Z., and Du, S., "Welding distortion prediction with elastic FE analysis and mitigation practice in fabrication of cantilever beam component of jack-up drilling rig", *Ocean Engineering*, 130 (March 2016): 25–39 (2017).
7. Sun, G. F., Wang, Z. D., Lu, Y., Zhou, R., and Ni, Z. H., "Investigation on microstructure and mechanical properties of NV E690 steel joint by laser-MIG hybrid welding", *Materials And Design*, 127 (January): 297–310 (2017).
8. Liu, G. L., Yang, S. W., Han, W. T., Zhou, L. J., Zhang, M. Q., Ding, J. W., Dong, Y., Wan, F. R., Shang, C. J., and Misra, R. D. K., "Microstructural evolution of dissimilar welded joints between reduced-activation ferritic-martensitic steel and 316L stainless steel during the post weld heat treatment", *Materials Science And Engineering: A*, 722 (October 2017): 182–196 (2018).
9. Reddy Vempati, S., Brahma Raju, K., and Venkata Subbaiah, K., "Optimization of Welding Parameters of Ti 6al 4v Cruciform shape Weld joint to Improve Weld Strength Based on Taguchi Method", *Materials Today: Proceedings*, 5 (2): 4948–4957 (2018).
10. Long, H., Hu, Y., Jin, X., Yu, H., and Zhu, H., "An optimization procedure for

- spot-welded structures based on SIMP method", *Computational Materials Science*, 117: 602–607 (2016).
11. Hayajneh, M. T., Al-Dwairi, A. F., and Obeidat, S. F., "Optimization and control of bending distortion of submerged arc welding I-beams", *Journal Of Constructional Steel Research*, 142: 78–85 (2018).
 12. Kaya Y., Kahraman N., Durgutlu A., G. B., "Toz altı Ark Kaynağı İle Birleştirilen Farklı Kalınlıktaki Grade A Gemi Saclarının Mekanik Özelliklerinin Araştırılması", *Engineering Sciences*, 5 (August 2009): 348–357 (2010).
 13. Mandal, N. R., Prabu, S. K., and Kumar, S., "Buckling of Stiffened Panels and Its Mitigation.", *Journal Of Ship Production & Design*, 30 (4): 201–206 (2014).
 14. Hashemzadeh, M., Chen, B. Q., and Guedes Soares, C., "Numerical and experimental study on butt weld with dissimilar thickness of thin stainless steel plate", *International Journal Of Advanced Manufacturing Technology*, 78 (1–4): 319–330 (2015).
 15. Paniagua-Mercado, A. M., López-Hirata, V. M., and Saucedo Muñoz, M. L., "Influence of the chemical composition of flux on the microstructure and tensile properties of submerged-arc welds", *Journal Of Materials Processing Technology*, 169 (3): 346–351 (2005).
 16. Guo, W., Dong, S., Francis, J. a., and Li, L., "Microstructure and mechanical characteristics of a laser welded joint in SA508 nuclear pressure vessel steel", *Materials Science And Engineering: A*, 625: 65–80 (2015).
 17. Huang, Z. Y., Luo, Z., Ao, S., and Cai, Y. C., "Underwater laser weld bowing distortion behavior and mechanism of thin 304 stainless steel plates", *Optics And Laser Technology*, 106: 123–135 (2018).
 18. Byung, S. C. and Kim, C., "Counter-deformed design of ship structural parts using geometric shape deformation based on welding distortion estimation", 442–453 (2015).
 19. Huang, T. D., Harbison, M., Kvidahl, L., Niolet, D., Walks, J., Stefanick, K., Phillippi, M., Dong, P., Decan, L., Caccese, V., Blomquist, P., Kihl, D., Wong, R., Nappi, N., Gardner, J., Wong, C., Bjornson, M., and Manuel, A., "Reduction of Overwelding and Distortion for Naval Surface Combatants , Part 1 :

- Optimized Weld Sizing for Lightweight Ship Structures", 30 (4): 184–193 (2014).
20. Kemp P, "The Oxford Companion to Ships and the Sea", *Oxford University Pres*, (1976).
 21. Internet: Sapp M E, "Welding Timeline 1900-1950", <http://www.weldinghistory.org/whfolder/folder/wh1900.html> .
 22. Anik S, "Örtülü Elektrod İle Elektrik Ark Kaynağı", *GEV Yayınları*, 9 (2013).
 23. Mitchell W H and Sawyer L A, "The Empire Ships of World War II", *Lloyd's Of London Press Ltd.*, 120 (1990).
 24. Irving B, "Welding's Vital Part in Major American Historical Events", *American Welding Society*, (2005).
 25. Anik S, "Kaynak Tekniği El Kitabı-Yöntemler ve Donanımlar", *GEV Yayınları*, 8 (1991).
 26. Black J. T. and Kohser R. A., "DeGarmo's Materials and Process in Manufacturing Tenth Ed.", John Wiley & Sons Inc, (2007).
 27. Moradpour, M. A., Hashemi, S. H., and Khalili, K., "Multi-objective Optimization of Welding Parameters in Submerged Arc Welding of API X65 Steel Plates", *Journal Of Iron And Steel Research International*, 22 (9): 870–878 (2015).
 28. Chan, C. W., Man, H. C., and Yue, T. M., "Parameter optimization for laser welding of NiTi wires by the taguchi method", *Lasers In Engineering*, 30 (3–4): 247–265 (2015).
 29. Deng, D., Liang, W., and Murakawa, H., "Determination of welding deformation in fillet-welded joint by means of numerical simulation and comparison with experimental measurements", *Journal Of Materials Processing Technology*, 183 (2–3): 219–225 (2007).
 30. Nowacki, J. and Rybicki, P., "The influence of welding heat input on submerged arc welded duplex steel joints imperfections", *Journal Of Materials Processing Technology*, 164–165: 1082–1088 (2005).
 31. Michaleris, P. and Debiccari, A., "Prediction of welding distortion", *American Welding Society - Welding Journal*, 76 (April): 172–s (1997).
 32. Jung, G. H. and Tsai, C. L., "Plasticity-Based Distortion Analysis for Fillet Welded Thin Plate T-Joints", *Welding Journal*, (June): s177–s187 (2004).

33. Kanjilal, P., Pal, T. K., and Majumdar, S. K., "Combined effect of flux and welding parameters on chemical composition and mechanical properties of submerged arc weld metal", *Journal Of Materials Processing Technology*, 171 (2): 223–231 (2006).
34. Kaluç E, "Kaynak Teknolojisi Alanında Ulusal Örgütlenmeye Doğru", *Kaynak Teknolojisi II. Ulusal Kongresi*, 8 (1999).
35. Eyres D J, "Steel", Ship Construction 5th Edition, *Butterworth-Heinemann, Oxford*, 39–44 (2001).
36. ASM International, "Metals Handbook, Desk Edition", *ASM International, Ohio*, 2571 (2001).
37. Teng, T. L., Fung, C. P., Chang, P. H., and Yang, W. C., "Analysis of residual stresses and distortions in T-joint fillet welds", *International Journal Of Pressure Vessels And Piping*, 78 (8): 523–538 (2001).
38. Chandel, R. S., Seow, H. P., and Cheong, F. L., "Effect of increasing deposition rate on the bead geometry of submerged arc welds", *Journal Of Materials Processing Technology*, 72 (1): 124–128 (1997).
39. Nguyen, T. N. and Wahab, M. A., "The effect of weld geometry and residual stresses on the fatigue of welded joints under combined loading", *Journal Of Materials Processing Technology*, 77: 201–208 (1998).
40. Teng, T. L. and Lin, C. C., "Effect of welding conditions on residual stresses due to butt welds", *International Journal Of Pressure Vessels And Piping*, 75 (12): 857–864 (1998).
41. Alipooramirabad, H., Paradowska, A., Ghomashchi, R., and Reid, M., "Investigating the effects of welding process on residual stresses, microstructure and mechanical properties in HSLA steel welds", *Journal Of Manufacturing Processes*, 28: 70–81 (2017).
42. Jiang, J., Chiew, S. P., Lee, C. K., and Tiong, P. L. Y., "An experimental study on residual stresses of high strength steel box columns", *Journal Of Constructional Steel Research*, 130: 12–21 (2017).
43. Alipooramirabad, H., Ghomashchi, R., Paradowska, A., and Reid, M., "Journal of Materials Processing Technology Residual stress- microstructure-mechanical property interrelationships in multipass HSLA steel welds", *Journal Of Materials Processing Tech.*, 231: 456–467 (2016).

44. Ramesh, R., Dinaharan, I., Kumar, R., and Akinlabi, E. T., "Microstructure and mechanical characterization of friction stir welded high strength low alloy steels", *Materials Science And Engineering A*, 687 (January): 39–46 (2017).
45. Oğuz B., "Malzeme Bilgisine Giriş", (1989).
46. Anık S, "Kaynak Tekniği", İstanbul, (1973).
47. Külahlı, E., "Kaynak Bilimi", *Oerlikon Yayını*, 2-23 (1988).
48. Bhadeshia H.K.D.H, H. R. W. ., "Steels Microstructure and Properties", *3th Edition, Elsevier, Oxford*, (2006).
49. Zielinski A and Domzalicki P, "Hydrogen Degradation og High-Strenght Low-Alloyed Steels", *Journal Of Materials Processing Technology*, (133): 230–235 (2003).
50. Türk Loydu, "Kısım 3 Kaynak Kuralları-Bölüm 11 Mekanik ve Teknolojik Testler", *Türk Loydu*, İstanbul, 7 (2018).
51. American Bureau of Shipping, "Rules for Building and Classing, Steel Vessels", *ABS*, Houston, part 5c. Specific vessel types (chapters 7-10) (2010).
52. Türk Loydu, "Kısım 2 Malzeme Kuralları-Bölüm 3 Çelik Levhalar, Profiller ve Çubuklar", *Türk Loydu*, İstanbul, 3-14 (2018).
53. Asarkaya M., "Gemi İnşasında Kullanılan Kaynak Yöntemlerinin Mekanik Özelliklere Etkisi", *Sakarya Üniversitesi*, (2006).
54. Nasser S. N. and Guo W. G., "Thermomechanical response of DH36 structural steel over a wide range of strain rates and temperatures", *Mechanics Of Materials*, (35): 1023–1047 (2003).
55. Oğuz B., "Ark Kaynağı", (1989).
56. Ekin, S., "Çelik Gemilerin İnşasında Kaynak Prosesi Üzerine Kalite Kontrol ve Proses İyileştirme Çalışmaları", *Trakya Üniversitesi*, (2006).
57. Klepaczko J. R., Rusinek A., Rodriguez-Martinez J. A., P. R. B. and A. A., "Modelling of thermo-viscoplastic behaviour of DH36 and Weldox 460-Estructural steels at wide ranges of strain rates and temperaturs, comparison of constituve relations for impact problems", *Mechanics Of Materials*, (41): 599–621 (2009).
58. Asarkaya M., "Tersanelerde Uygulanan ve Uygulanabilecek Kaynak Yöntemleri", *Gemi Mühendisliği Ve Sanayimiz Sempozyumu*, (2004).
59. Apay S., "Tozaltı sert dolgu kaynağına bor tozu ilavesinin aşınma özellikleri

- üzerine etkisi", *Gazi Üniversitesi*, (2007).
60. Internet: Milli Eğitim Bakanlığı, M., "Metal Teknolojisi Tozaltı Kaynağı", http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/TozaltıKaynağı.pdf .
 61. Kahraman, N., G. B., "Modern Kaynak Teknolojisi", *EPA-MAT Basım Yayın*, 30-38 (2009).
 62. Liu, W., Pan, H., Li, L., Lv, H., Wu, Z., Cao, F., and Zhu, J., "Corrosion behavior of the high strength low alloy steel joined by vertical electro-gas welding and submerged arc welding methods", *Journal Of Manufacturing Processes*, 25: 418–425 (2017).
 63. Kiran, D. V., Basu, B., and De, A., "Influence of process variables on weld bead quality in two wire tandem submerged arc welding of HSLA steel", *Journal Of Materials Processing Technology*, 212 (10): 2041–2050 (2012).
 64. Reddy, M. P., William, A. A. S., Prashanth, M. M., Kumar, S. N. S., Ramkumar, K. D., and Arivazhagan, N., "Assessment of mechanical properties of AISI 4140 and AISI 316 dissimilar weldments", *Procedia Engineering*, 75: 29–33 (2014).
 65. Rong, Y., Xu, J., Lei, T., Huang, Y., Shao, X., and Wang, C., "Magnetism aided mitigation of deformation and residual stress in dissimilar joint 316L with EH36", *Journal Of Materials Processing Technology*, 259 (November 2017): 23–32 (2018).
 66. Zhang, X., Mi, G., Chen, L., Jiang, P., Shao, X., and Wang, C., "Microstructure and performance of hybrid laser-arc welded 40 mm thick 316 L steel plates", *Journal Of Materials Processing Tech.*, 259 (December 2017): 312–319 (2018).
 67. Cui, C. Y., Cui, X. G., Ren, X. D., Liu, T. T., Hu, J. D., and Wang, Y. M., "Microstructure and microhardness of fiber laser butt welded joint of stainless steel plates", *Materials And Design*, 49: 761–765 (2013).
 68. Sailender, M., Reddy, G. C., and Venkatesh, S., "Influences of process parameters on weld strength of low carbon alloy steel in purged SAW", *Materials Today: Proceedings*, 5 (1): 2928–2937 (2018).
 69. Köse, C., "Medikal Alanda Kullanılan Paslanmaz Çeliklerin Lazer Kaynak Kabiliyeti Ve Kaynaklı Bağlantıların Biyoaktivite Ve Biyokorozyon Davranışlarının Araştırılması", (2015).

70. Sabzi, M. and Mersagh, S., "Drastic improvement in mechanical properties and weldability of 316L stainless steel weld joints by using electromagnetic vibration during GTAW process", *Journal Of Manufacturing Processes*, 33 (April): 74–85 (2018).
71. Chandravathi, K. S., Laha, K., Bhanu Sankara Rao, K., and Mannan, S. L., "Microstructure and tensile properties of modified 9Cr–1Mo steel (grade 91)", *Materials Science And Technology*, 17 (5): 559–565 (2001).
72. Pandey, C., Mahapatra, M. M., Kumar, P., and Saini, N., "Comparative study of autogenous tungsten inert gas welding and tungsten arc welding with filler wire for dissimilar P91 and P92 steel weld joint", *Materials Science And Engineering A*, 712 (December 2017): 720–737 (2018).
73. Das, S., Biswas, A., Debbarma, J., and Deoghare, A. B., "ScienceDirect Study of hardness of the weld bead formed by partial hybrid welding by metal inert gas welding and submerged arc welding at three different heat inputs", *Materials Today: Proceedings*, 5 (5): 13650–13657 (2018).
74. International Association of Classification Societies, "No . 47 Shipbuilding and Repair Quality Standard (Rev. 7 June 2013)", (1996): 1–63 (2013).
75. Fu, G., Lourenço, M. I., Duan, M., and Estefen, S. F., "Influence of the welding sequence on residual stress and distortion of fillet welded structures", *Marine Structures*, 46: 30–55 (2016).
76. Güral, G., "Gazaltı Kaynağında Proses Parametrelerinin Optimizasyonu", *Dokuz Eylül Üniversitesi*, (2003).
77. Dhas, J. E. R. and Kumanan, S., "Optimization of parameters of submerged arc weld using non conventional techniques", *Applied Soft Computing Journal*, 11 (8): 5198–5204 (2011).
78. Ghosh, N., Pal, P. K., Nandi, G., and Rudrapati, R., "ScienceDirect Parametric Optimization of Gas metal arc welding process by PCA based Taguchi method on Austenitic Stainless Steel", *Materials Today: Proceedings*, 5 (1): 1620–1625 (2018).
79. Bharath, P., Sridhar, V. G., and Senthil Kumar, M., "Optimization of 316 stainless steel weld joint characteristics using taguchi technique", *Procedia Engineering*, 97: 881–891 (2014).
80. Tarng, Y. S., Juang, S. C., and Chang, C. H., "The use of grey-based Taguchi

methods to determine submerged arc welding process parameters in hardfacing", *Journal Of Materials Processing Technology*, 128 (1–3): 1–6 (2002).

81. Ross, P. J., "Taguchi Techniques for Quality Engineering", 2 edition. Ed., *McGraw-Hill Professional*, USA, (1995).



ÖZGEÇMİŞ

Ahmet Fatih YILMAZ 1986 yılında Kastamonu’da doğdu; ilk ve orta öğrenimini Karabük’te tamamladıktan sonra 2004 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Bölümü’nü kazandı. Mezuniyetinden sonra kısa dönem denizci er olarak askerlik görevini tamamladı. Daha sonra Tuzla ve Yalova’daki çeşitli tersanelerde gemi mühendisi olarak birçok ticari gemi inşasında çeşitli kademelerde çalıştı. 2012 yılında Bartın Meslek Yüksekokulu Gemi inşaatı programına öğretim görevlisi olarak atandı. 2014 yılından itibaren de halen çalışmaya ettiği Karabük Üniversitesi TOBB Meslek Yüksekokulu Makine Programı’nda öğretim görevlisi olarak atanmıştır. Halen Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda doktora programını sürdürmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Karabük Üniversitesi TOBB Meslek Yüksekokulu Merkez/Karabük
E-posta : ahmetfatihyilmaz@gmail.com