

**ÖSTENİTİK (304) VE FERRİTİK (430) PASLANMAZ
ÇELİKLERİN BAKIR ARATABAKA KULLANILARAK
DİFÜZYON KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLMESİ**



GAMZE TOSUN

TEMMUZ 2022

DİYARBAKIR

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÖSTENİTİK (304) VE FERRİTİK (430) PASLANMAZ
ÇELİKLERİN BAKIR ARATABAKA KULLANILARAK
DİFÜZYON KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLMESİ**

GAMZE TOSUN

DİCLE ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM-ÖĞRETİM VE
SINAV YÖNETMELİĞİNİN BİR PARÇASI OLARAK
MÜHENDİSLİK ANA BİLİM DALINDA
YÜKSEK LİSANS TEZİ
OLARAK HAZIRLANMIŞTIR

TEMMUZ 2022

DİYARBAKIR

**ÖSTENİTİK (304) VE FERRİTİK (430) PASLANMAZ ÇELİKLERİN BAKIR
ARATABAKA KULLANILARAK DİFÜZYON KAYNAĞI İLE
BİRLEŞTİRİLMESİ**

Gamze TOSUN tarafından Dicle Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin bir parçası olarak hazırlanan bu çalışma, aşağıda bilgileri yazılı jüri üyeleri tarafından değerlendirilerek **Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı**'nda **Yüksek lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Neslihan Dalkılıç
Müdür, **Fen Bilimleri Enstitüsü**

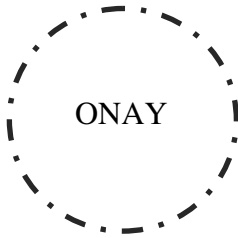
Dr. Öğr. Üyesi Haluk KEJANLI
Danışman, **Makine Mühendisliği Bölümü,**
Dicle Üniversitesi

Sınav Jürisi:

Doç. Dr. Uğur ÇALIGÜLÜ*
Teknoloji Fakültesi Metalurjisi ve Malzeme Mühendisliği,
Fırat Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Haluk KEJANLI**
Makine Mühendisliği Bölümü, Dicle Üniversitesi

Prof. Dr. Erol KILIÇKAP
Makine Mühendisliği Bölümü, Dicle Üniversitesi



Savunma Tarihi: 06/ 07/ 2022

(*) Sınav Jürisi kısmının birinci satırına Jüri Başkanının bilgilerini yazınız.

(**) Sınav Jürisi kısmının ikinci satırına Tez Danışmanının bilgilerini yazınız.



Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tez çalışmasında yer alan tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu beyan ederim. Ayrıca, bahse konu bu kural ve ilkelerin gerektirdiği üzere, bu çalışmada özgün olmayan tüm bilimsel içerikleri kurallara uygun biçimde alıntılıyıp kaynak gösterdiğimi beyan ederim. Beyanıyla çelişen herhangi bir delil bulunduğu takdirde tüm sorumluluğu üstleneceğimi kabul ederim.

Ad, Soyad: Gamze TOSUN

İmza:

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmamda tüm bilgi ve tecrübesini benimle paylaşan, büyük desteği ve ilgisinden dolayı danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Haluk Kejanlı'ya sonsuz teşekkür ve şükranlarımı sunarım. Ayrıca lisans ve yüksek lisans sürecim boyunca bilgi birikimini benimle paylaşan ve desteğini eksik etmeyen tez çalışmamda emeği geçen saygı değer hocam Sayın Öğr. Gör. M. Selçuk Keskin'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak benim bugünlere gelmemde büyük emek ve özverileri bulunan her daim desteklerini hissettiğim, başta annem ve babam olmak üzere tüm aile fertlerime sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ŞEKİLLER LİSTESİ	Viii
TABLolar LİSTESİ	X
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	3
3. METERYAL VE METOT	8
3.1 Paslanmaz Çelikler.....	8
3.2 Paslanmaz Çeliklerinin Üstünlüğü	8
3.3 Paslanmaz Çeliklerin Sınıflandırılması.....	9
3.3.1 Östenitik paslanmaz çelikler	10
3.3.2 Ferritik paslanmaz çelikler	11
3.3.3 Martenzitik paslanmaz çelikler	12
3.3.4 Ferritik-Östenitik (Dubleks) paslanmaz çelikler	13
3.3.5 Çökelme sertleştirmesi uygulanabilir paslanmaz çelikler.....	14
3.4 Difüzyon Kaynağı	15
3.5 Difüzyon Kaynağının Çeşitleri	16
3.5.1 Katı faz difüzyon kaynağı	16
3.5.2 Sıvı faz difüzyon kaynağı	16
3.5.3 Süperplastik difüzyon kaynağı	17
3.6 Difüzyon Kaynağının Parametreleri	17
3.6.1 Sıcaklık.....	17
3.6.2 Basınç.....	18
3.6.3 Süre (Zaman).....	18
3.6.4 Numune yüzeyi	18
3.6.5 Ara tabaka etkisi.....	18

3.6.6 Çalışma ortamı (atmosfer).....	19
3.7 Difüzyon Kaynağının Avantaj ve Dezavantajları	19
3.8 Difüzyon Kaynağının Uygulamaları	20
4. DENEYSEL ÇALIŞMA	22
4.1 Numunelerin Hazırlanışı	22
4.2 Optik Mikroskop İncelemeleri	24
4.3 Mikro sertlik Testleri.....	26
4.4 Çekme Testi	27
4.5 Taguchi Metodu kullanılarak Deney Tasarımı ve Modellemenin Yapılması	27
4.6 Varyans Analizi (ANOVA)	28
5. ARAŞTIRMA BULGULARI	30
5.1 Kaynak Sonrası Mikroyapı Karakterizasyonları	30
5.2 Mikro Sertlik Test Sonuçları	33
5.3 Çekme Testi Sonuçları	35
5.4 Deneylerin Taguchi Optimizasyon Yöntemi ile İrdelenmesi.....	40
5.5 Sinyal / görüntü (S/ N) Oranlarının Elde Edilmesi	40
5.6 ANOVA Çalışmaları.....	43
6. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	45
KAYNAKLAR	47

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1 Krom ve nikel oranına göre paslanmaz çelik türleri	10
Şekil 3.2 Sıvı faz difüzyon kaynağı aşamaları Sıvı faz difüzyon kaynağı aşamaları a) Malzemelerin yerleştirilmesi b) Aratabakanın erimesi c) İzotermal olarak katılaşmış heterojen bağ d) Homojenizasyon	16
Şekil 4.1 Hassas Kesme Cihazı	23
Şekil 4.2 Difüzyon yapılacak numunelerin şematik görseli	23
Şekil 4.3 Deneyin gerçekleştiği ekipmanın şematik görüntüsü	24
Şekil 4.4 Optik Mikroskop Cihazı	25
Şekil 4.5 Sertlik testinin prensibi	26
Şekil 4.6 Mikro Sertlik Cihazı	26
Şekil 4.7 Instron BS 8801 Çekme Test Cihazı	27
Şekil 4.8 Kareler toplamı denklemi	29
Şekil 5.1 960°C birleştirilmiş numunelerin mikroyapı görüntüleri	30
Şekil 5.2 980 °C birleştirilmiş numunelerin mikroyapı görüntüleri	31
Şekil 5.3 1000 °C birleştirilmiş numunelerin mikroyapı görüntüleri	32
Şekil 5.4 Mikrosertlik deneylerinde ölçüm yapılan bölgelerin gösterimi	33
Şekil 5.5 960°C’de 45, 60 ve 75 dk için alınan sertlik grafiği	33
Şekil 5.6 980°C’de 45, 60 ve 75 dk için alınan sertlik grafiği	34
Şekil 5.7 1000°C’de 45, 60 ve 75 dk için alınan sertlik grafiği	34
Şekil 5.8 960°C’ de 45 dk, 1 MPa basınçta kaynaklanan numunenin çekme mukavemeti	35
Şekil 5.9 960°C’ de 60 dk, 2 MPa basınçta kaynaklanan numunenin çekme mukavemeti	36
Şekil 5.10 960°C’ de 75 dk, 3 MPa basınçta kaynaklanan numunenin çekme mukavemeti	36
Şekil 5.11 980°C’ de 45 dk, 2 MPa basınçta kaynaklanan numunenin çekme mukavemeti	37
Şekil 5.12 980°C’ de 60 dk, 3 MPa basınçta kaynaklanan numunenin çekme mukavemeti	37
Şekil 5.13 980°C’ de 75 dk, 1 MPa basınçta kaynaklanan numunenin çekme mukavemeti	38

Şekil 5.14 1000°C’ de 45 dk, 3 MPa basınçta kaynaklanan numunenin çekme mukavemeti	38
Şekil 5.15 1000°C’ de 60 dk, 1 MPa basınçta kaynaklanan numunenin çekme mukavemeti	39
Şekil 5.16 1000°C’ de 75 dk, 2 MPa basınçta kaynaklanan numunenin çekme mukavemeti	39
Şekil 5.17 Çekme Mukavemeti için Taguchi deney dizaynında S/N performans grafiği	42
Şekil 5.18 Çekme mukavemeti için varyans analiz çalışmasının ekran görüntüsü....	42
Şekil 5.19 Çekme mukavemeti için olasılık grafiği	44
Şekil 5.20 Çekme mukavemeti için olasılık grafiği	44

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 3.1 Östenitik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri	11
Tablo 3.2 Ferritik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri	12
Tablo 3.3 Martenzitik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri	13
Tablo 3.4 Dupleks paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri	14
Tablo 3.5 Çökelme sertleşmeli paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri	15
Tablo 4.1 304 -430 paslanmaz çeliklerinin kimyasal analizi (% ağırlık)	22
Tablo 4.2 Bakır ara tabakalı 304-430 paslanmaz çelik malzemelerinin kaynak parametreleri	24
Tablo 5.1 Taguchi L9 deneysel tasarım çalışma tablosu	40
Tablo 5.2 Difüzyon kaynak parametreleri ve çekme deney sonuçları	41
Tablo 5.3 Sinyal/Gürültü (S/N) performans değerlerinin her bir parametre için gösterilmesi	41
Tablo 5.4 Varyans Analiz Sonuçları	43
Tablo 5.5 Regrasyon polinom denklemi	43

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Simge	Açıklama
μm	Mikrometre
$^{\circ}\text{C}$	Derece
Ti	Titanyum
Al	Alüminyum
V	Vanadyum
L	Düşük karbon içeriği
Cu	Bakır
GR2	Saf titanyum
Ni	Nikel
C	Karbon
Cr	Krom
Mn	Mangan
Si	Silisyum
S	Kükürt
P	Fosfor
Mo	Molibden
N	Azot
W	Vanadyum
Nb	Niyobyum
HV	Vickers Sertliği
FeCl ₃	Demirtriklorür
CuCl ₂	Bakırdiklorür
HCl	Hidroklorik asit
HNO ₃	Nitrik asit

Kısaltma

AISI

MPa

mm

TIG

MIG

SEM

ITAB

XRD

EDS

pH

Lt

Dk

S/N

Açıklama

American Iron and Steel Institute

Megapaskal

Milimetre

Tungsten Inert Gas

Metal Inert Gas

Scanning Electron Microscope

Isının Tesiri Altında Kalan Bölge

X-ray Diffraction

Energy Dispersive Spectroscopy

Power of Hydrogen

Litre

Dakika

Sinyal/Gürültü

ÖZET

ÖSTENİTİK (304) VE FERRİTİK (430) PASLANMAZ ÇELİKLERİN BAKIR ARATABAKA KULLANILARAK DİFÜZYON KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLMESİ

Tosun, Gamze

Yüksek Lisans, Makine Mühendisliği Bölümü

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Haluk KEJANLI

Haziran 2022, 67 sayfa

Paslanmaz çelik malzemeler otomotiv parçaları, biyomedikal aletler, mutfak eşyaları, ısı eşanjörleri, nükleer santraller, uzay ve havacılık gibi daha birçok alanda sıklıkla kullanılan bir malzeme türüdür. Paslanmaz çeliklerin korozyona (paslanmaya) karşı dayanıklılığı, farklı sıcaklık aralıklarında çalışma imkanı sunması, uzun ömürlü ve üretiminin kolay olması gibi özellikleri nedeniyle tercih edilmektedirler. Paslanmaz çelik malzemeleri arasında östenitik (AISI 304) ve ferritik paslanmaz çelik (AISI 430) malzemeleri endüstride en çok kullanım ağına sahip iki türüdür. Östenitik paslanmaz çelikler yüzey kalitesi, iyi korozyon direnci, yüksek mukavemet ve iyi kaynaklanabilme özellikleri nedeniyle sıklıkla tercih edilmektedirler. Diğer sıklıkla kullanılan paslanmaz çelik grubu ise ferritik paslanmaz çeliklerdir. Östenitik paslanmaz çeliklere kıyasla maliyetleri daha düşük ve yüksek korozyon direncine sahiptir. Ayrıca ferritik paslanmaz çelikler mıknatıslanma özelliğine de sahiptir.

Bu çalışmada östenitik paslanmaz çelik (AISI 304) ve ferritik paslanmaz çelik (AISI 430) malzemeler, 200 µm kalınlığında bakır folyo aratabaka kullanılarak difüzyon kaynağı tekniği ile birleştirilmiştir. Difüzyon kaynağı, 960, 980 ve 1000°C sıcaklıklarda, 45, 60 ve 75 dakika sürelerde, 1,2 ve 3 Mpa basınç altında argon gazı atmosferinde birleştirilmiştir. Malzemelerin mekanik mukavemetlerini belirlemek için mikro sertlik ve çekme testleri uygulanmıştır. Ayrıca deneylerde Taguchi optimizasyon yöntemi ile Varyans (Anova) analizleri yapıp en etkili parametreler bulunmuş ve deneyin güvenilirlik seviyesi tespit edilmiştir. Sertlik değerleri incelendiğinde 430 paslanmaz çelik tarafında 75 dakika bekleme süresinde 1000 °C sıcaklığında birleştirilmiş numunede 279 HV olarak ölçülmüştür. Ara kesit bölgesinde en yüksek sertlik değeri de aynı sıcaklık ve süredeki numunede 125 HV olarak ölçülmüştür. Çekme testi gerçekleştirilen tüm numuneler incelendiğinde artan sıcaklık ve bekleme sürelerinde çekme dayanımlarında artışın olduğu gözlemlenmiştir. En yüksek çekme mukavemeti 75 dakika ve 1000°C sıcaklığındaki numunede 491,582 MPa olarak ölçülmüştür. Ayrıca tüm numuneler de sorunsuz kaynak bağlantıları gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Difüzyon Kaynağı, AISI 304, AISI 430, Cu Aratabaka, Anova, Taguchi

ABSTRACT

JOINING AUSTENITIC (304) AND FERRITIC (430) STAINLESS STEELS BY DIFFUSION WELDING USING COPPER INTERLAYER

Tosun, Gamze

DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

UNIVERSITY OF DICLE

Supervisor: Dr. Öğr. Üyesi Haluk KEJANLI

April 2022, 67 pages

Stainless steel materials are a type of material that is frequently used in many areas such as automotive parts, biomedical instruments, kitchenware, heat exchangers, nuclear power plants, space and aviation. Stainless steels are preferred because of their resistance to corrosion (rusting), their ability to work in different temperature ranges, their longevity and ease of production. Among the stainless steel materials, austenitic (AISI 304) and ferritic stainless steel (AISI 430) materials are the two types with the most usage network in the industry. Austenitic stainless steels are frequently preferred due to their surface quality, good corrosion resistance, high strength and good weldability. Another frequently used stainless steel group is ferritic stainless steels. Compared to austenitic stainless steels, it has lower costs and higher corrosion resistance. In addition, ferritic stainless steels have the property of being magnetized.

In this study, austenitic stainless steel (AISI 304) and ferritic stainless steel (AISI 430) materials were joined by diffusion welding technique using a 200 μm thick copper foil interlayer. The diffusion source was combined in an argon gas atmosphere at temperatures of 960, 980 and 1000°C, for 45, 60 and 75 minutes. Microhardness and tensile tests were applied to determine the mechanical strength of the materials. In addition, variance (Anova) analyzes were performed with the Taguchi optimization method in the experiments, and the most effective parameters were found and the reliability level of the experiment was determined. When the hardness values were examined, it was measured as 279 HV on the 430 stainless steel side in the combined sample at a temperature of 1000°C with a waiting time of 75 minutes. The highest hardness value in the cross-sectional region was measured as 125 HV in the sample at the same temperature and time. When the tensile test was performed on all samples, it was observed that the tensile strength increased with increasing temperature and waiting times. The highest tensile strength was measured as 491.582 MPa in the sample at 75 minutes and 1000°C temperature. In addition, seamless weld joints were observed in all samples.

Keywords: Diffusion Welding, AISI 304, AISI 430, Cu İnterlayer, Anova, Taguchi

1. GİRİŞ

Günlük hayatımızda paslanmaz çelikler otomotiv, ulaşım, inşaat, mimari, gıda, petrokimya endüstrilerinde, tıbbi aletlerin yapımında, nükleer santrallerde ve ısı eşanjörleri olmak üzere daha birçok alanda kullanım ağına sahip bir malzemedir [1, 2, 3]. Yaygın olarak kullanılan bu malzemelerin korozyon dirençlerinin yüksek olması iyi süneklik göstermeleri, kolay şekillendirilebilmeleri, bakım maliyetlerinin az olması ve estetik görünümüne sahip olmaları bu malzemelerin tercih edilmesini cazip hale getirmektedir [4, 5, 6].

Paslanmaz çeliklerin korozyon direnci, içerisinde en az %10,5 oranında krom alaşımı bulundurmasından kaynaklanmaktadır. Bu alaşım elementi sayesinde malzemenin dış yüzeyi ile oksijen elementi birleşerek malzemenin yüzeyinde sürekli yenilenen bir oksit tabaka oluşmasını sağlayarak malzemeyi dış etkilere karşı deforme olmasının önüne geçmektedir [7, 8, 9]. Paslanmaz çelikler içerisine eklenen alaşım oranları ve mikro yapılarındaki fazlara göre de gruplara ayrılmaktadır. Paslanmaz çelik grupları içerisinde en yaygın kullanılan östenitik paslanmaz çeliklerdir. Östenitik paslanmaz çelikler yüzey kalitesi, iyi korozyon direnci, yüksek mukavemet ve iyi kaynaklanabilme özellikleri nedeniyle sıklıkla tercih edilmektedirler. Bunun yanında yapısında yüksek miktarda nikel elementi bulundurması ise onu pahalı kılmaktadır. Diğer sıklıkla kullanılan paslanmaz çelik grubu ise ferritik paslanmaz çeliklerdir. Östenitik paslanmaz çeliklere kıyasla maliyeti düşük ve yüksek korozyon direnci sayesinde de yaygın kullanım ağına sahiptir [10, 11].

Sürekli gelişen endüstrinin ihtiyaçlarını karşılamak için farklı yapıdaki malzemelerin birleştirilebilmesine olan ihtiyaç artmıştır [12, 13]. Difüzyon kaynağı yöntemi benzer veya farklı malzemelerin birleştirilebilirliğini mümkün kılmaktadır. Difüzyon kaynağı yöntemi ile biyomedikal, elektronik, nükleer ve havacılık gibi birçok alanda kullanılabilmektedir. Son yıllarda difüzyon kaynağı farklı yapıdaki malzemelerin kaynağında oluşabilecek sorunları giderdiğinden dolayı difüzyon kaynağı yöntemi büyük ilgi görmektedir [13].

Biz bu çalışmada Taguchi deney tasarımı metodunu ve Anova kullanılarak yaygın olarak kullanılan östenitik paslanmaz elik (304) ile ferritik paslanmaz elik (430) malzemelerini bakır ara tabaka kullanarak difüzyon kaynağı ile birleştirilip en ideal kaynak parametrelerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca kaynaklı numunelerin birleştirilme sonrasında mekanik mukavemetlerini belirlemek için; Mikrosertlik ve çekme testleri uygulanıp optik mikroskop yardımıyla kaynak bölgesi incelenmiştir.



2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Hızla gelişen endüstriyle birlikte farklı özelliklere sahip malzemelerin birleşimini zorunlu kılmıştır. Farklı yapıdaki malzemelerin kaynak ile birleştirilmesi, istenilen özelliklere sahip yeni malzemelerin üretilmesini sağlamaktadır. Endüstride paslanmaz çelik malzemeler korozyon dirençlerinin yüksek olması, dayanıklı, uzun ömürlü ve iyi kaynaklanabilme özelliklerinden dolayı sıklıkla kullanılıyorlar [14]. Paslanmaz çelik malzemeleri farklı kaynak yöntemleri kullanılarak kaynak edilebilirlikleri mümkündür. Bunlardan bazıları; elektrik ark kaynağı, toz altı ark kaynağı, MIG kaynağı, TIG kaynağı ve difüzyon kaynağı gibi birçok yöntemlerle birleşimi gerçekleştirilebilmektedir [15]. Paslanmaz çelikler ile ilgili yapılan çalışmaların bir kısmına aşağıda değinilmiştir.

Bilgin bu çalışmasında Ti-6Al-4V ile 304L malzemelerini bakır ara tabaka kullanarak difüzyon kaynağı uygulamıştır. Deneylerinde numunelerin basınç değerlerini eşit tutup 830, 850 ve 870°C olacak şekilde üç farklı sıcaklık değerinde, argon gaz atmosferinde 50, 70 ve 90 dakika bekleme sürelerinde uygulamıştır. Deney sonucunda numunelerin birleşim yerlerinde meydana gelmiş olan yapısal farklılıklar optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda kısmen tüm sıcaklık ve sürelerde hazırlanan numunelerde paslanmaz çelik ile bakır arasında düşük bir difüzyonun sağlandığı görülmüştür. Ayrıca deney sonucunda en yüksek kesme dayanımını 870°C sıcaklık ve 90 dakikalık bekleme süresinde 118 MPa değeri elde etmiştir [16].

Balasubramanian bu çalışmasında Ti-6Al-4V ve 304 paslanmaz çelik levhalarını gümüş folyo ara tabaka kullanarak difüzyon kaynağı ile birleşebilme kabiliyetini araştırmıştır. Deneylerinde sıcaklık değerinin 700°C'nin altında ve 825°C'nin üzerinde tutulduğunda malzemelerin birleşiminin ayrıldığını gözlemlemiştir. İyi bir birleşim için sıcaklık değerini 700 ila 800°C arasında tutulması gerektiğini belirtmiş. Malzemelerin bekleme sürelerinin 30 ila 90 dakika arasında tutulduğunda birleşmenin rahatlıkla gerçekleşebildiğini ve dayanımlarının arttığını, bekleme süresinin 120 dakikaya çıkarıldığında ise dayanımın azaldığını ve malzemede sağlıklı bir birleşimin sağlanmadığını belirtmiştir [17].

Kaya bu çalışmasında üç farklı kaynak çeşidini kullanarak 304 östenitik paslanmaz çelik ve 430 ferritik paslanmaz çelik levhalarını kaynak ederek birleştirmiştir. Kaynak işlemi biten numunelerin çekme dayanımı, çentik darbe dayanımı, mikrosertlik ve mikro yapı özelliklerini incelemiştir. Çekme testi sonucunda numunelerde kopmalar kaynak ITAB bölgesine yakın ferritik paslanmaz çelik tarafında meydana gelmiştir. Çekme dayanımları her üç kaynakta da yakın bir değer çıkmak kaydıyla en yüksek çekme dayanımı sırasıyla; TIG, MIG ve ark kaynaklarında görülmüştür. Deneylerde kullanılan malzemelerde en yüksek mikrosertlik değerleri 430 ferritik paslanmaz çelik tarafında ölçülmüştür [10].

Palabıyık bu çalışmasında AISI 304 ve AISI 204Cu paslanmaz çeliklerin önce ilk ticari hallerini daha sonra ısıtıl işlem uygulanmış hallerinin mikroyapı, çekme testi ve sertliklerini incelemiştir. Ayrıca ısıtıl işlem uygulamış olduğu numuneleri çeşitli oranlarda deforme edip onların mikroyapılarını, sertliklerini inceleyip çekme testine tabii tutmuştur. Bunlara ek olarak malzemelerin korozyon davranışlarını incelemiştir [18].

Yıldız ve arkadaşları bu çalışmada saf titanyum ile 430 ferritik paslanmaz çelik malzemelerini nikel ara tabaka kullanarak farklı sıcaklık ve bekleme sürelerinde difüzyon kaynağını gerçekleştirmişler. Kaynak işleminin ardından deney numunelerinin çekme kesme ve sertlik testlerine tabii tutmuşlardır. Kesme-makaslama testinde en yüksek dayanım değerini 214 MPa olduğu görülmüştür. Ayrıca optik ve SEM kullanılarak mikro yapısal özelliklerini incelemiştir. Yapılan incelemeleri sonucunda artan sıcaklık ve bekleme sürelerinde difüzyon mesafesinin arttığını belirtmişlerdir [19].

Demirtaş ve İncesu bu çalışmasında 304-430 paslanmaz çelik saclar ile Al 1050 malzemesini kullanarak yaklaşık 600°C sıcaklıkta haddelene yöntemiyle üç katmanlı kompozit malzeme elde etmişlerdir. Haddelenen numunelere daha sonra 12 ve 24 saat 450°C'de ve 12 saat 550°C'de ısıtıl işlem uygulamışlardır. Isıtıl işlem sonrası kompozit plakaların ara yüzey mukavemeti, mikroyapı özellikler ve mekanik özelliklerini incelemiştir. En yüksek mekanik özellik (434,95 MPa) ve süneklik 450°C-12 saat ısıtıl işlem uygulanan numunede gözlemlenmiştir [11].

Taşkın ve Ozan yaptıkları deneysel çalışmada AISI 430 ferritik paslanmaz çelik ve AISI 1010 çeliğini bakır ara tabaka kullanarak 800, 900, 1000 ve 1100°C sıcaklık değerlerinde 15 MPa basınç altında difüzyon kaynağı ile birleştirilme durumlarını araştırmışlardır. Numunelerin mikro sertlik değerlerini ölçüp malzemelerin mikro yapısal farklılıklarını optik ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelemişlerdir. Çalışma sonucunda tüm sıcaklık değerlerinde difüzyon kaynağının gerçekleştiğini ve bakır malzemesinin AISI 1010 ve AISI 430 içerisinde tane sınırında biriktiğini belirtmişlerdir [20].

Guo ve arkadaşları yaptıkları çalışmada 304 ve 430 paslanmaz çelik malzemelerini bakır ara tabakalı ve ara tabakasız olmak üzere hazırladıkları numuneleri sürtünme karıştırma kaynağını kullanarak başarıyla birleştirmişlerdir. Çalışma sonucunda bakır ara tabakalı numunelerin kesme yüklerinin %62 oranında ara tabakasız bağlantıdan yüksek olduğunu bildirmişlerdir [21].

Hajiannia ve ark. AISI 347 östenitik paslanmaz çelik ile A335 düşük alaşımlı malzemeler kullanılarak iki farklı dolgu metali seçilerek gaz tungsten ark kaynağı uygulanıp mikro yapıları ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir [22].

Kejanlı bu çalışmasında toz metalürjisi yöntemiyle imal ettiği Monel K-500 malzemesini 304L (ticari olarak temin edilmiş) paslanmaz çeliği saf nikel (Ni) ve Alüminyum 2024 ara tabakası kullanarak difüzyon kaynağı ile birleştirmiştir. Numuneleri 60 dakika bekleme süresi altında 950-980°C sıcaklıklarını kullanarak 3 MPa sabit basınç altında gerçekleştirmiştir. Kaynaklanan numunelerin difüzyon ara bölgesi X-ışını kırınımı, optik mikroskop, taramalı elektron mikroskobu ve enerji dağılımlı spektrometri analizi ile incelenmiştir. Ayrıca numunelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi için mikrosertlik ve bindirme kesme testleri uygulanmıştır [13].

Kejanlı ve arkadaşları yaptıkları bu çalışmada GR2 ve GR5 (Ti6Al4V) malzemelerini alüminyum bakır ara tabaka kullanarak 850, 900 ve 950°C sıcaklıklarında 5 MPa basınç ve argon gazı eşliğinde difüzyon kaynağı ile birleştirmişlerdir. Birleştirilen malzemelerde kaynak sıcaklıklarının malzemeye etkisini inceleyip, kesme-makaslama ve mikro sertlik testlerini uygulamışlardır [23].

Rady ve arkadaşları bu çalışmalarında SIAION seramiği ile 2205 dubleks paslanmaz çelik malzemelerini difüzyon ile birleştirip ara yüzey ve difüzyon bölgesinin fiziksel özelliklerini, faz dönüşümlerini araştırmışlardır. Çalışmalarında dubleks paslanmaz çeliğe nitrürleme işlemi uygulayıp daha sonra sıcak pres ile difüzyonla birleştirme yapmışlardır. İşlem parametresi olarak 30 dakika ve 1 saatlik bekletme süreleri için 1200°C sıcaklık kullanmışlardır. Araştırma sonunda numuneleri metalografi ve mikro analizler ile incelemişlerdir [24].

Szwed ve arkadaşı yaptıkları bu çalışmada saf titanyum ve paslanmaz çelik malzemelerini farklı ara tabaka bağlantıları kullanarak korozyon dirençlerindeki farklılıkları incelemişlerdir. Çalışmaları sırasında alüminyum, nikel ve bakır ara tabakalarını kullanıp 600 ve 900°C sıcaklığında difüzyon kaynağı ile birleştirip galvanik korozyon testi uygulamışlardır. Mikro yapılarını incelemek için X-ışını Kırınımı (XRD) ve bir enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi (EDS) tekniklerini kullanmışlardır [25].

Akbar ve arkadaşları bu çalışmada bakır malzemesi ve 304L paslanmaz çelik malzemesini farklı sıcaklık, bekleme süresi ve basınç değerleri için anova ve regrasyon analizlerini gerçekleştirip, difüzyon bağlantısı üzerine olan etkilerini incelemişlerdir. Çekme testi sonucunda tüm deney numuneleri bakır malzemesinden koptuğunu belirtmişlerdir [26].

Torun ve arkadaşları Ni75Al25 alaşımı ile 316 L paslanmaz çelik malzemesini 950°C sıcaklıkta 30, 60 ve 120 dakika bekleme sürelerinde 5MPa basınç altında bakır aratabaka kullanarak difüzyon kaynağı ile birleştirmişlerdir. Deney numunelerine kesme mukavemet ve mikro sertlik testlerini uygulayıp Sem ve EDS analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Araştırma sonucunda bakır aratabaka ile ana malzemeler arasında atomsal yapıda difüzyon olduğunu ve Ni3Al alaşım malzemesinden nikel ve alüminyumun bakırın içerisine difüzyon olduğunu, paslanmaz çeliğin içerisinde bulunan krom ve demir atomlarının da bakırın içerisinde bulunduğunu belirtmişlerdir [27].

Tolun seramik ve bakır malzemelerine farklı sıcaklık, basınç ve bekleme süreleri için difüzyon kaynağı ile birleştirilmesini sağlamış, kaynaklı numunelerine kesme ve mikrosertlik testlerini uygulayıp mekanik özelliklerini incelemesini gerçekleştirmiştir. Ayrıca SEM görüntülerini alarak, EDX, XRD analizlerini gerçekleştirmiştir. Yaptığı deney sonucunda kesme mukavemetinde en iyi sonucu 900 °C sıcaklıkta 4,5 MPa basınç altında ve 60 dk bekleme süresinde kaynaklanan numunede elde edildiğini, mikrosertlik ölçümleri sonucunda ise bakır malzemesinin sertlik değerinde düşüş yaşandığını seramik malzemesinde ise artışın olduğunu bildirmiştir [28].

3. METERYAL VE METOT

3.1 Paslanmaz Çelikler

Paslanmaz çelikler hayatımızın içerisinde bulunan ve sıklıkla kullandığımız yüksek alaşımlı bir çelik türüdür. Otomotiv, uzay ve havacılık, sağlık sektörlerinde, tarım aletlerinde, tekstil alanında, mutfak eşyalarında ve daha birçok alanda geniş bir kullanım alanına sahiptir. Geniş bir kullanıma sahip olan paslanmaz çeliklerde tüm çelikler gibi temeli demir – karbon alaşımına dayanmaktadır. Paslanmaz çelikleri diğer çeliklerden ayıran en önemli özellik ve sık kullanılmasının başlıca nedeni korozyona karşı dayanıklı olmalarıdır. Korozyona karşı dayanıklı olmasının temel nedeni içerisinde en az %10,5 oranında krom içermesidir. Krom elementi malzemenin yüzeyinde oksijen ile birleşerek malzemenin dış yüzeyinde bir oksit tabaka oluşumu sağlar ve oluşan bu tabaka sayesinde malzeme dış etkilere karşı malzemenin deforme olmasını önlemektedir. Bu oluşan tabaka kendini sürekli yenileyen bir yapıya sahiptir [7, 8, 9].

Çeliklerin korozyona karşı mukavemet gösterebilmesi için krom elementinin uygun miktarda içerisinde bulunması yeterli olmaktadır. Ama çeliğin daha zorlu durumlarda kullanılması gerektiğinde çeliğin daha fazla mukavemet gösterebilmesi için dayanıklılığını arttırmak için Nikel, Molibden vb. daha birçok elementin eklenmesi gerekmektedir. Bir çeliğin içerisinde bulunan alaşım elementlerinin karışım oranları malzemenin paslanmaz hale gelmesini, korozyona karşı dayanıklılığını belirlemektedir. Çeliklerde Karbon ve kükürt gibi elementlerin karışım oranları artırıldığı takdirde ise malzemenin paslanmazlık ve korozyona karşı dayanımında azalmalar görülecektir [8, 29, 30].

3.2 Paslanmaz Çeliklerinin Üstünlüğü

Paslanmaz çelikler yaşantımızda sık olarak kullanılan çeliğin bir türüdür. Paslanmaz çeliklerin korozyona dayanıklılığı, yüksek ve düşük sıcaklıklara karşı mukavemetli oluşu, üretiminin rahat olması, mekanik dayanımının yüksek olması gibi özelliklerinin fazlalığı malzeme seçerken tercih edilme sebeplerini arttırmaktadır [7]. Aşağıda paslanmaz çeliklerin avantajları sıralanmıştır;

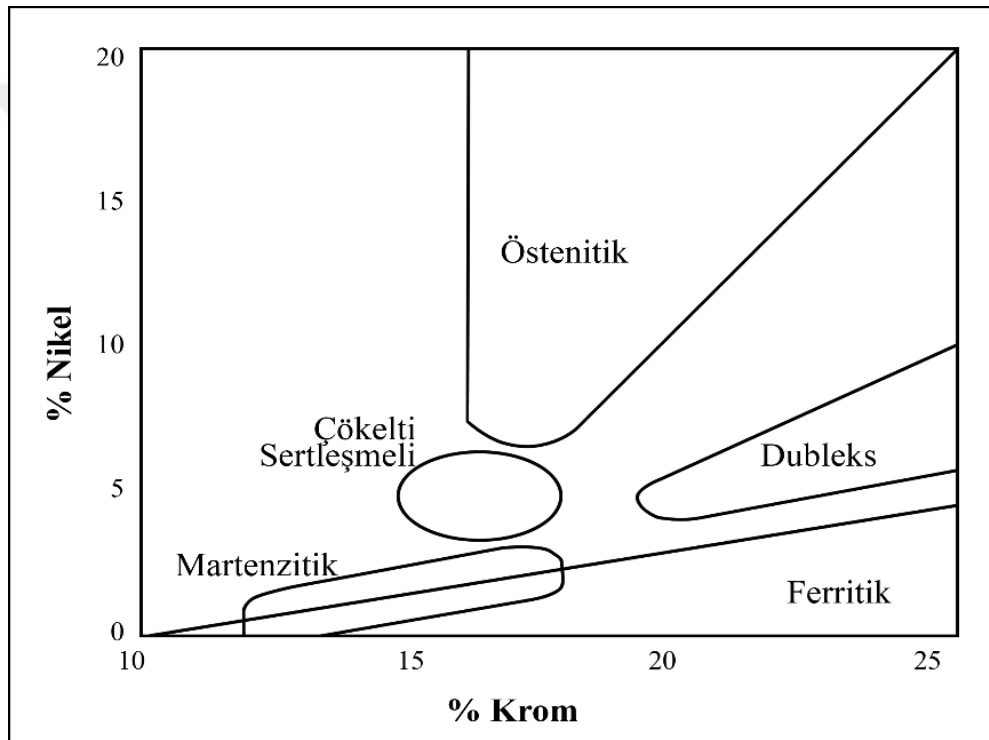
- **Yüksek korozyon dayanımı:** Paslanmaz çelikler korozyona karşı yüksek dayanıma sahiptirler. Paslanmaz çeliklerin içerisinde bulunan krom elementi dış atmosferde bulunan oksijen ile tepkimeye girerek çeliğin dış yüzeyinde koruyucu bir tabaka oluşturmaktadır. Bu tabaka sayesinde çelik korozyona karşı dayanıklılık kazanmaktadır [7, 8, 31].
- **Yüksek ve düşük sıcaklık:** Paslanmaz çeliklerin bir kısmında yüksek sıcaklıklarda mekanik dayanımlarında göz ardı edilebilecek seviyede azalmalar yaşanmaktadır. Bazı paslanmaz çelikler düşük sıcaklık koşullarında bile gevrekleşmezler ve tokluklarını koruyabilmektedir. Ayrıca paslanmaz çelikler geniş sıcaklık aralıklarında kullanılabilirler [7, 8, 32].
- **Mekanik Dayanım:** Paslanmaz çeliklerin büyük bir kısmı soğuk şekillendirme yapılarak dayanımının artırılabilir. Bazı türlerinde ise malzemeye ısıtma işlemleri uygulanarak yüksek dayanım kazandırmak mümkündür [7, 8, 31].
- **İmalat Kolaylığı:** Paslanmaz çeliklerin birçoğu kesme, bükme, sıcak ve soğuk şekillendirme, talaşlı imalat ve kaynak işlemleri ile kolaylıkla biçimlendirilebilirler [7, 8, 31].
- **Görünüm:** Paslanmaz çelikler çeşitli yüzey kalitelerinde üretilebilmektedir. İstenilen görünümde elde edilen yüzeyler kalite ve bakım kolaylığı sunarak uzun süre kullanılabilirler [7, 8].
- **Hijyenik Özellik:** Kolay temizlenebilir özellikleri bu malzemelerin hastane, mutfak, gıda ve ilaç sanayinde yaygın olarak tercih edilmesini sağlamaktadır [7, 8].
- **Uzun Ömür:** Paslanmaz çelikler dayanıklı, bakımı kolay ve uzun süreler kullanılabilirler. Bu da onları ekonomik yapmaktadır [7, 8].

3.3 Paslanmaz Çeliklerin Sınıflandırılması

Paslanmaz çeliklerin içerisinde çeşitli alaşım elementleri yer almaktadır. Bu alaşım elementlerinden en önemlileri demir, krom, nikel, molibden ve mangandır. Paslanmaz çeliklerin içerisinde bulunan bu alaşım elementlerinin oranları ve de mikro yapısında bulunan kararlı fazlara göre beş gruba ayrılmaktadırlar [33]. Bunlar;

- Östenitik Paslanmaz Çelikler
- Ferritik Paslanmaz Çelikler
- Martenzitik Paslanmaz Çelikler
- Ferritik-Östenitik (Dubleks) Paslanmaz Çelikler
- Çökeltme Sertleştirilmesi Uygulanabilir Paslanmaz Çelik'tir.

Paslanmaz çeliklerin içerisinde bulunan krom ve nikel oranlarına göre sınıflandırılması da Şekil 3.1 de gösterilmektedir.



Şekil 3.1 Krom ve nikel oranına göre paslanmaz çelik türleri [33]

3.3.1 Östenitik paslanmaz çelikler

Östenitik paslanmaz çelikler % 16-25 Cr ve % 6-22 Ni içeren çelik türlerinden biridir. Bu çelik grubu her sıcaklıkta kararlı halde bulunabilmektedirler. İçerisinde bulunan Ni elementinin pahalı olmasından dolayı nikel içeriğinin azaltılıp yerine mangan, karbon, azot gibi alaşımlar eklenerek oluşturulan farklı yapıda alaşımlarda üretilmiştir [6]. Tablo 3.1’de östenitik paslanmaz çeliklerin kimyasal içerik değerleri verilmiştir.

Tablo 3.1 Östenitik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri [18]

Kalite	%C	%Cr	%Ni	%Mn	%Mo	%Si	%S	%P	Diğer
201	0,15	16,0-18,0	3,50-5,50	5,5-7,5	-	1,0	0,03	0,06	0,25 N
202	0,15	17,0-19,0	4,0-6,0	7,5-10,0	1,0	1,0	0,03	0,06	0,25 N
204Cu	0,15	15,5-17,5	1,5-3,5	6,5-9,0	-	0,75	0,03	0,06	2,0-4,0 Cu
301	0,15	16,0-18,0	6,0-8,0	2,0	-	-	0,03	0,045	-
304	0,08	18,0-20,0	8,0-12,0	2,0	-	-	0,03	0,045	-
304L	0,03	18,0-20,0	8,0-12,0	2,0	-	-	0,03	0,045	-
310	0,25	24,0-26,0	19,0-22,0	2,0	-	1,5	0,03	0,045	-
316	0,08	16,0-18,0	10,0-14,0	2,0	2,0-3,0	1,0	0,03	0,045	-
316 Ti	0,08	16,0-18,0	10,0-14,0	2,0	2,0-3,0	1,0	0,03	0,045	0,50 Ti

Östenitik paslanmaz çelikler en yaygın olarak kullanılan çelik türüdür. Bu çelikler manyetik özelliğe sahip değildir. Şekillendirilebilme kabiliyetleri yüksek olup çok düşük ve çok yüksek sıcaklıklara dayanabilir. Kaynaklanabilirlik özelliği de yüksektir [28]. Östenitik paslanmaz çeliklerinin arasında tür olarak ise yaygın olarak AISI 304 ve AISI 304 L kalite paslanmaz çelikler kullanılmaktadır [18].

3.3.2 Ferritik paslanmaz çelikler

Ferritik paslanmaz çelikler demir-krom alaşımlarının birleşiminden oluşmuştur. Yapısında % 12-30 Cr ve %0,12 civarında karbon bulunmaktadır. Bu paslanmaz çelik türünün başlıca alaşım elementi kromdur. Alaşımlarında az da olsa bulunan molibden, silisyum ve titanyum gibi elementler korozyon direncini veya işlenebilirliğinin artırılması için kullanılmaktadır [33, 34]. Aşağıda Tablo 3.2’de ferritik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşenlerini gösteren tablo bulunmaktadır.

Tablo 3.2 Ferritik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri [18]

Kalite	%C	%Cr	%Mn	%Mo	%Si	%S	%P	Diğer
405	0,08	12,0-14,0	<1,0	-	<1,0	0,015	0,04	
409	0,03	10,5-12,5	<1,0	-	<1,0	0,015	0,04	0,65 Ti
410	0,08	12,0-14,0	<1,0	-	<1,0	0,015	0,04	
430	0,08	16,0-18,0	<1,0	-	<1,0	0,015	0,04	
434	0,08	16,0-18,0	<1,0	0,9-1,40	<1,0	0,015	0,04	
439	0,05	12,0-14,0	<1,0	-	<1,0	0,015	0,04	0,8 Ti
444	0,025	17,0-20,0	<1,0	1,8-2,5	<1,0	0,015	0,04	0,8 Ti
446	0,02	26,0-29,0	<1,0	-	<1,0	0,015	0,04	0,5-1,0 Al

Ferritik paslanmaz çeliklerin en önemli farklılıklarından biri içerisinde nikel elementi bulunmamasıdır. Buna rağmen nikel içeren diğer paslanmaz çelik gruplarında olduğu gibi aynı korozyon direncini sağlayabilmektedirler. İçerisinde nikel bulundurmadığı içinde maliyeti ekonomiktir ve bu özelliği nedeniyle de tercih edilen bir malzemedir [34].

Ferritik paslanmaz çelikler manyetik özelliğe gösterir. Ayrıca ısı işlem ile sertleştirilemezler. Bu çeliklerde düşük tokluk ve gevrekleşme duyarlılıkları olduğu için kullanım alanları kaynaklı montaj ve makine elemanı olarak kullanımı sınırlıdır. Bu çeliklerin sertleştirilmesi ancak soğuk şekil değiştirme ile mümkündür [35, 36]. Yüksek sıcaklıklarda mukavemet özellikleri de azalmaktadır. Bu çeliklerin, östenitik paslanmaz çelik türüne göre akma ve çekme dayanımı ile sünekliği düşüktür. Ferritik paslanmaz çelikler mutfak gereçlerinde, otomobil egzoz elemanlarında ve şasi parçalarında kullanımları yaygındır. Ferritik paslanmaz çelik grubunda en çok kullanılan tür 430 kalite grubudur [7,18].

3.3.3 Martenzitik paslanmaz çelikler

Paslanmaz çelik türlerinin içerisinde en küçük gruptur. Martenzitik paslanmaz çelikler %11,5 - %18 arasında Cr ve diğer paslanmaz çelik gruplarına kıyasla %0,15 - %1,2 arasında yüksek karbon içeriğine sahiptirler. Bu grupta yer alan paslanmaz çeliklerin kimyasal içeriğinde ya hiç ya da az miktarda nikel ve molibdenyum bulunabilmektedir [37].

Martenzitik paslanmaz çelikler orta seviyede korozyon direnci göstermesine rağmen yüksek mukavemet ve yüksek mekanik dayanımına sahip olması nedeniyle tercih edilmektedirler [37]. Karbon miktarı 0,1 den yüksek olan çelikler östenitik içyapıya sahiptirler. Östenitleme sıcaklığı çeliğin türüne bağlı olarak 950-1050°C aralığındadır. Bu çelikler östenitik fazından hızlı soğutulması sonucu martenzite dönüşümü ile elde edilir [34]. Martenzitik paslanmaz çeliklerde mekanik dayanım, yapıdaki karbon miktarına bağlı olarak ısıtılma işlemi ile sağlanmaktadır. Karbon miktarının artması ile dayanım, sertlik artar ama süneklik ve tokluk değerlerinde de düşüş gerçekleşir [35]. Dayanıklılık ve sünekliği iyileştirmek, işlenebilirliğini arttırmak, iç gerilmeleri minimize etmek için temperleme işlemi gerçekleştirilir [37]. Ayrıca martenzitik paslanmaz çelikler manyetik özelliğe sahiptir ve kaynak edilebilirliği ise düşüktür [36, 38]. Martenzitik paslanmaz çelikler hafif su reaktörleri, pompa parçaları, valf yuvaları, çatal bıçak takımı, medikal cihazlar, yapısal malzemeler, plastik kalıpları ve tıbbi cihazlar gibi daha birçok alanda kullanılırlar [37]. Aşağıda Tablo 3.3' te martenzitik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşenlerini gösteren çizelge bulunmaktadır.

Tablo 3.3 Martenzitik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri [18]

Kalite	%C	%Cr	%Ni	%Mn	%Si	%S	%P
410	0,08-0,15	11,5-13,5	<0,75	<1,5	<1,0	0,015	0,04
420(X20Cr13)	0,16-0,25	12,0-14,0	-	<1,5	<1,0	0,015	0,04
420(X30Cr13)	0,26-0,35	12,0-14,0	-	<1,5	<1,0	0,015	0,04
420(X39Cr13)	0,36-0,42	12,5-14,5	-	<1,0	<1,0	0,015	0,04
420(X46Cr13)	0,43-0,50	12,5-14,5	-	<1,0	<1,0	0,015	0,04

3.3.4 Ferritik-Östenitik (Dubleks) paslanmaz çelikler

Paslanmaz çelikler içerisinde bulunan en yeni gruptur. Yapısında östenitik ve ferritik fazların ikisini de içyapısında beraber barındıran çelikler dubleks olarak isimlendirilmektedir. Her iki fazda yapısında bulunduğundan her iki fazın üstün özelliklerini görmemiz mümkündür. Bu gruptaki çelikler % 18-28 oranında krom %4,5-8 oranlarında nikel içermektedirler. Ayrıca dubleks çeliklerin çoğunluğu %2,5-4 molibden içermektedir [33, 38]. Dubleks paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri Tablo 3.4'te görülmektedir.

Tablo 3.4 Dupleks paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri [18]

Kalite (EN)	%C	%Cr	%Ni	%Mn	%Mo	%N	%Cu	%W
1.4460	0,08	23,0-28,0	2,5-5,0	1,0	1,0-2,0	1,0	0,03	0,06
1.4482	0,03	19,5-21,5	1,0-3,0	0,6	6,0	0,05-0,17	1,0	-
1.4362	0,03	21,0-23,0	4,5-6,5	2,0	2,5-3,5	0,08-0,20	-	-
1.4507	0,04	24,0-27,0	4,5-6,5	1,5	2,9-3,9	0,10-0,25	1,5-2,5	-
1.4501	0,03	24,0-26,0	6,0-8,0	1,0	3,0-4,0	0,20-0,30	0,5-1,0	0,5-1,0
1.4462	0,03	21,0-23,0	4,5-6,5	2,0	2,5-3,5	0,08-0,20	-	-
1.4410	0,03	24,0-26,0	6,0-8,0	1,2	3,0-5,0	0,24-0,32	0,5	-

Bu paslanmaz çelik türünün östenitik paslanmaz çelik türüne göre çok daha iyi korozyon direncine sahiptir ve akma mukavemeti ise neredeyse iki katı fazladır. Ayrıca daha iyi gerilim korozyonu dayanımı gösterebilmektedir. Dupleks paslanmaz çeliklerin tokluk ve süneklilik değerleri ferritik paslanmaz çeliklerle kıyaslandığında yüksek, östenitik paslanmaz çeliklerden ise düşüktür. Çekme dayanımları östenitik ve ferritik paslanmaz çeliklerden iki kat daha yüksektir. Dupleks paslanmaz çelikler denizcilik uygulamalarında, petrokimyasal endüstrisi, ısı dönüştürücüler, sıcak su tankları ve kimyasal tanklarda kullanılırlar [18, 34].

3.3.5 Çökelme sertleştirilmesi uygulanabilir paslanmaz çelikler

Bu çeliklerin içyapısı östenitik, yarı östenitik veya martenzitik olabilir. Çökelti oluşumu için Al, Ti, Nb ve Cu elementleri ile alaşımlama yapılır. Çökelme sertleştirilmesi uygulanabilir çeliklerin akma dayanımı 1700 MPa değerine kadar çıkabilir. Bu çelikler yüksek süneklilik ve tokluğa sahiplerdir. Aynı zamanda bu çeliklerin mıknatıslanma özellikleri bulunmaktadır. Ayrıca orta-iyi seviyesinde korozyon dayanımına ve iyi kaynak edilebilme kabiliyetleri de sahiptir [34, 38]. Çökelme sertleştirilmesi uygulanabilir çeliklerin kimyasal bileşimleri Tablo 3.5’ te görülmektedir.

Tablo 3.5 Çökelme sertleşmeli paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri [18]

Kalite	%C	%Cr	%Ni	%Mn	%Mo	%Diğer
PH 13-8 Mo	0,05	12,25-13,25	7,5-8,5	0,2	1,0-2,0	2,0-2,5 Mo/ 0,9-1,35 Al / 0,01 N
PH 15-5	0,07	14,0-15,50	3,5-5,5	1,0	6,0	2,5-4,5 Cu/0,15-0,45 Nb
PH 17-4	0,07	15,5-17,5	3,0-5,0	1,0	2,5-3,5	3,0-5,0 Cu/0,15-0,45 Nb
PH 17-7	0,09	16,0-18,0	6,5-7,75	1,0	2,9-3,9	0,75-1,0 Al

Bu çelikler yaygın olarak havacılık ve diğer bazı yüksek teknoloji endüstrilerinde tercih edilmektedirler. Uzay endüstrisinde, nükleer atık depolama tesislerinde, yüksek mukavemetli şaftlarda, pervane bıçaklarında gibi yerlerde kullanılmaktadır [18].

3.4 Difüzyon Kaynağı

Difüzyon kaynağı iki malzeme yüzeyinin üst üste getirilip malzemelerin ergime sıcaklığından düşük bir sıcaklıkta gözle görülebilir bir plastik deformasyona maruz bırakmayan bir basınç altında, malzemelerin metalürjik bir bağ oluşturacak kadar süre bekletilerek malzemelerin birleştirilme yöntemidir. Yöntem difüzyon esastır malzemelerin atomları bulundukları bölgeden sıcaklık, basınç gibi faktörlerle diğer malzemenin atomlarıyla yer değiştirme prensibine dayanmaktadır. Difüzyon kaynağının en büyük avantajı farklı yapıdaki malzeme çiftlerinden yeni bir malzemenin üretilebilmesidir [39, 40, 41].

Difüzyonla birleştirilecek malzemeler arasında aratabaka kullanılmıyorsa katı hal difüzyon kaynağı adı verilmektedir. Birleştirilen yüzeyler arasında tamamen ergiyen bir aratabaka kullanılıyorsa sıvı hal difüzyon kaynağı adı verilmektedir. Genellikle, farklı malzemelerin birleştirilmesinde aratabaka tercih edilir. Birleştirilecek malzemelerin kaynağının kaliteli ve sorunsuz olması isteniyorsa kaynak edilecek malzemeler doğru sıcaklık ve basınç değerleri seçilerek temiz bir ortamda özen gösterilerek gerçekleştirilmelidir [41].

3.5 Difüzyon Kaynağının Çeşitleri

Difüzyon kaynağı basınç işlemine, ara tabakanın kullanımına ve oluşan geçici fazlara göre çeşitli bölümlere ayrılabilir.

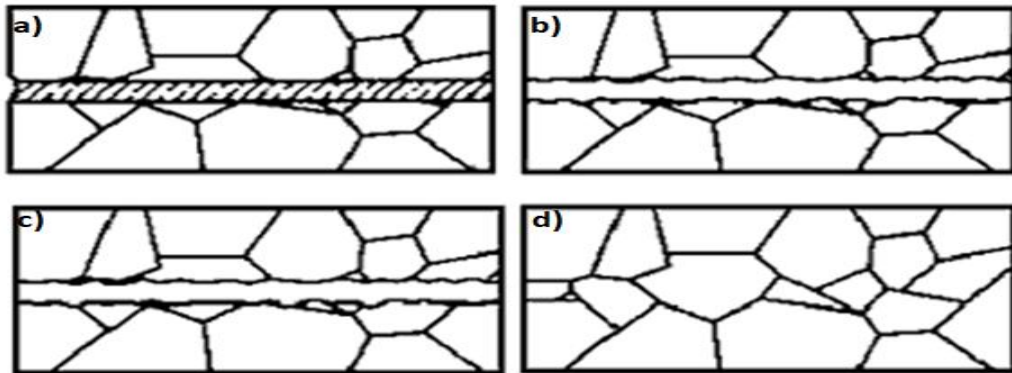
3.5.1 Katı faz difüzyon kaynağı

Katı fazda yapıştırma, esas olarak vakumda veya koruyucu bir atmosferde gerçekleştirilir, ısı radyan, indüksiyon, doğrudan veya dolaylı dirençli ısıtma ile uygulanır. Basınç tek eksenli veya izostatik olarak uygulanabilir.

Katı fazda farklı malzemelerin, özellikle metal-seramik bağlantılarının, birleştirilmesi gerektiğinde, birleştirme işlemine yardımcı olmak ve kaynak sonrası gerilim dağılımını değiştirmek için diğer malzemelerin tek veya çoklu ara katmanlarını eklemek mümkündür [42].

3.5.2 Sıvı faz difüzyon kaynağı

Bu teknik, yalnızca farklı malzeme kombinasyonlarına veya farklı bir metal ekin kullanıldığı 'benzer' malzemelere uygulanabilir. Katı hal difüzyon süreçleri, kaynak ara yüzeyinde bir bileşim değişikliğine yol açar ve bu fazın eridiği sıcaklık olarak kaynak sıcaklığı seçilir. Alternatif olarak, farklı metal ara parça ile ana malzemeden daha düşük bir sıcaklıkta erir. Böylece, ara yüzey boyunca ince bir sıvı tabakası yayılır ve ana malzemelerden herhangi birinin erime noktasından daha düşük bir sıcaklıkta bir eklem oluşturur. Kaynak sıcaklığındaki bir azalma eriyiğin katılaşmasına yol açar ve bu faz daha sonra sıcaklıkta tutularak ana malzemelere difüze edilebilir [42, 43].



Şekil 3.2 Sıvı faz difüzyon kaynağı aşamaları a) Malzemelerin yerleştirilmesi b) Aratabakanın erimesi c) İzotermal olarak katılaşmış heterojen bağ d) Homojenizasyon [42]

3.5.3 Süperplastik difüzyon kaynağı

Bu teknik, özellikle havacılık endüstrisi içinde geliştirilmiştir ve endüstriyel önemi, burada ayrı olarak düşünülmesi gerektiği kadardır. İşlem, ticari olarak titanyum ve alaşımları için kullanılır; bu malzeme, tanımlanmış gerinim oranı koşulları içinde yüksek sıcaklıklarda süperplastik özellikler sergileyen bir malzemedir. Bu sıcaklık ve basınç koşulları, kaynak için gerekli koşullarla örtüşür ve bu nedenle iki işlem, sırayla veya birlikte tek bir üretim işleminde birleştirilmiştir [42, 43].

3.6 Difüzyon Kaynağının Parametreleri

Difüzyon kaynağı belirli parametre koşulları altında malzemelerin birleştirilme işlemidir. Difüzyon kaynağının kaliteli ve dayanıklı olması belirleyen çeşitli parametreler mevcuttur. Bu parametreler genellikle;

1. Sıcaklık
2. Basınç
3. Süre (Zaman)
4. Numune yüzeyi
5. Ara tabaka etkisi
6. Çalışma ortamı (atmosfer)

3.6.1 Sıcaklık

Difüzyon kaynağında sıcaklık önemli bir parametredir. Sıcaklık değeri arttıkça malzemenin akma gerilmesi azalır. Böylece ilk plastik deformasyon ve malzemedeki yüzey pürüzlülüklerin giderilmesi kolaylaşır. Kaynak edilecek yüzeylerin arasında mikro deformasyon olması istenmektedir. Bu da kaynak edilecek malzemelerin ergime sıcaklığından düşük bir sıcaklık değeri ve uygun basınç seçilip yapılması önemlidir. Düşük sıcaklık ve basınç uygulanan yüzeyler de malzemelerin arasında istenmeyen boşluklar ve yetersiz birleşmenin görülmesi kaçınılmaz olacaktır. Ya da tam tersi seçilen malzemelerden birinden ergime noktasının üstünde bir sıcaklık seçilirse malzemedede erime olayı olacaktır ve buda istenilen bir durum değildir [16, 44].

3.6.2 Basınç

Difüzyon kaynağında basınç, birleştirilecek yüzeyler arasında ilk teması ve difüzyon olayının daha iyi gerçekleşmesini sağlayan önemli bir parametredir. Basınç değeri dikkatli bir şekilde belirlenmelidir. Numunelere uygulayacağımız basınç değerini belirlerken sıcaklık ile arasındaki ilişkiye de dikkat edilmelidir. Çünkü yüksek sıcaklarda malzemelerin sünekliliği artacaktır ve gereğinden fazla basınç uygulanırsa malzemede deformasyonlar oluşabilir. İyi bir kaynak elde etmek için uygulanacak basınç; yüzey pürüzlülüklerini giderecek kadar büyük, kaynaklanan parçaları makroskopik deformasyona uğratmayacak kadar küçük seçilmelidir [16, 45].

3.6.3 Süre (Zaman)

Difüzyon kaynağında numunelere uygulayacağımız kaynak sıcaklığı gereğinden daha uzun süre uygulanırsa numunelerin mekanik özelliklerinde kayıplar görülebilir. Ya da numuneye uygulayacağımız süre olması gerekenden kısa tutulursa kaynak işlemi gereken birleşimi gerçekleştiremez ve işlem başarısız olur. Genellikle sıcaklık ve basınç değerleri arttırılarak kaynak süresi kısaltılabilmektedir. Ayrıca sabit basınç ve sıcaklıkta numunelere uygulanacak olan süre uzun tutulduğu takdirde bağlantı mukavemetini belirli bir noktaya kadar artırır [16, 44].

3.6.4 Numune yüzeyi

Difüzyon kaynağı uygulanacak malzemelerin olabildiğince pürüzsüz yüzeylerinin olmasına dikkat edilmelidir. Kaynak yapılacak metallerin yüzeyleri kir ve oksit artıklarından temizlenmelidir. Eğer yüzeylerinde fazlaca pürüzlülük ya da şekil bozukluğu bulunuyorsa bunlar zımparalama işlemine tabii tutulmalıdırlar. Numune yüzeylerinin olabildiğince pürüzsüz ve temiz olması difüzyonun daha sağlıklı ve kaynağın kaliteli olmasını sağlayacaktır [43].

3.6.5 Ara tabaka etkisi

Aynı veya farklı malzemelerin difüzyon kaynağı gerçekleştirilirken aratabaka tercih edilebilmektedir. Ana malzeme ile ergitme sıcaklıklarından düşük bir sıcaklıkta kaynak uygulanmalıdır. Ara tabakalar kaynaklanacak yüzeylere elektrolitik püskürtme, toz partikül olarak ya da folyo şeklinde uygulanabilmektedir [46]. Ara tabaka kullanımının bazı avantajları;

-Aynı veya malzeme türlerinin birleştirilmesinde kullanılabilir.

- Ara bölgede kullanılacak ara tabaka gerekenden daha az bir basınç ile plastik deformelere imkan sağlayabilmekte.
- Birleştirilecek olan malzemeler yüksek sıcaklık ve bekleme sürelerinde kaynak edilebilirken, ara tabaka kullanılarak sıcaklık değeri ve süre daha aşağıya çekilebilir.
- Kaynaklanacak malzemeler ile ara tabaka kullanılarak farklı mekanik etkiler sağlanabilir.
- Yüzeyler arasındaki birleşme oluşumunu hızlandırmaktadır.

3.6.6 Çalışma ortamı (atmosfer)

Difüzyon kaynağı yapılacak parçaların yüzeylerinde ve arakesitlerinde oluşabilecek oksitlenmenin önüne geçmek için koruyucu bir atmosfer altında kaynak işleminin yapılması gerekir. Kaynağı gerçekleştirilecek numuneler vakum altında ya da bir soy gaz atmosferi eşliğinde gerçekleştirilir. Soy gaz olarak argon, azot ve helyum gazlarından herhangi biri seçilebilir. Oksijen miktarını en aza indirmeye yardım eden hidrojenin indirgeyici bir atmosfer ortamı olduğu düşünülebilir. Ancak hidrojen, titanyum, zirkonyum, kolombiyum ve tantal alaşımlarında hidrat olduğundan bu malzemelerin kaynağında kullanılmaz. Soy gazlar atmosferdeki oksijenin seviyesini ancak belirli bir seviyeye indirebilmektedir, kararlı oksitlere sahip metallerde vakum kullanılmaktadır [16, 47].

3.7 Difüzyon Kaynağının Avantaj ve Dezavantajları

Difüzyon kaynağının tercih edilme sebeplerinden bazıları şunlardır:

- Difüzyon kaynağı ile minimum iki malzeme olacak şekilde aynı türdeki iki metal ya da bir metalle, metal olmayan bir malzeme çiftleri kolayca birleştirilebilir.
- Kaynak edilmiş parçaların üstünde istenmeyen bozukluklar (çapak gibi) için sonradan işlem yapılmasına ihtiyaç duyulmaz.
- Belirli miktardaki parçanın difüzyon kaynağıyla birleşimi aynı anda yapılabilir.
- Kaynak öncesi ön ısıtma gerektiren parçalar kolaylıkla kaynak edilebilir.
- Ergitme kaynağında görülen deformasyonlar, ön ve son tavlama işlemlerine ihtiyaç duyulmaz.
- Diğer ergitme kaynak yöntemleri kullanılarak birleştirilmesi güç olan malzemelerin kaynağı bu yöntemle, yüksek verimle gerçekleştirilebilir.
- Uzay ortamında bu kaynak yönteminin uygulanabilirliği mümkündür.

-Seramik ve kompozit malzemelerinin, metal ya da farklı malzemelerle birleştirilmesinde en faydalı ve etkili metottur [16, 28].

Difüzyon kaynağının bazı dezavantajları da vardır. Bunlar:

-Kaynak ekipmanlarının maliyetleri fazladır.

-Kaynağın gerçekleştirebilmek için özel ortam ve aparat gerektirir.

-İşlem büyük üretim miktarlarına uygulanmaz. Ancak, belirli sayılardaki numuneler aynı anda birleştirilebilmektedir.

- Birleştirilecek parçaların yüzeyleri diğer kaynaklara kıyasla daha fazla temiz bir yüzey hazırlama özeni ve koruyucu gaz atmosferi gerektirir [16, 28].

3.8 Difüzyon Kaynağının Uygulamaları

Difüzyon kaynağının uygulama alanları;

-Havacılık ve uzay sanayisinde; daha ucuz, verimli, hafif ve tasarımı daha kolay parçaların üretimine imkan sağlayan bir kaynak türüdür. Difüzyon kaynağı ve süper plastik şekillendirme ile titanyum alaşımlarından F15 füze yuvası, B1 bombardıman uçağı için patlama lülesi, T38 uçağı için ana iniş arka kapısı, rüzgar kanatçıkları imal edilmiş ve maliyetten düşüş sağlanmıştır [43, 47].

-Savunma sanayi; buradaki kullanım amacı diğer üretim yollarıyla pahalı ve bir bütün olarak üretilmeyen parçaları üretmektir. Örneğin, hidrojenin varlığının bir problem olduğu, martenzitik yapıdaki kaynaklı bağlantılarda difüzyon kaynağı kullanılmaktadır. Yine planör tipi uçakların imalatında kullanılan, çelik ve alüminyumun birleştirilmesinde de kolaylık sağlamaktadır [43].

-Nükleer sanayisinde; difüzyon kaynağı sıklıkla kullanılmakla birlikte, Barttle “Sıcak-İzostatik Difüzyon Kaynağını” küçük UO_2 levhacıklarıyla düz plaka tipi yakıt parçalarının üretiminde tercih edilmiştir. Bu parçalar da Westinghouse Bettis basınçlı su reaktöründe ikinci çekirdek yüklemesinde kullanmıştır. Başka bir kullanımda, Amerikan ordusu için seyyar güç reaktörlerinin, tüp şeklindeki paslanmaz çelik ve UO_2 ’den oluşan yakıt parçalarının üretilmesinde tercih edilmiştir [43, 47].

-Elektronik sanayi; elektrik ve elektronik ürünlerinin üretiminde vakum ekipmanlarının parçaları için kullanılmaktadır. Difüzyon kaynağının elektronik cihazların üretim aşamasında kullanılması; X ışını depolama tüplerinin ve diğer birimlerin ömürlerini 10-12 katı kadar uzattığı ve elektronik cihazlarının güvenilirliğinde de yüzde 300-400 iyileşme sağlandığı tespit edilmiştir [47].

-Genel mühendislik alanlarında; kaynak çatlaması ve gevrek metaller arası yapıların oluşması tehlikesinin bulunduğu durumlarda tercih edilmektedir [43].

Difüzyon kaynağının özel avantajlar sağladığı bağlantı türleri;

- Yüzey kaplama,
- Difüzyon kaynağıyla tek seferde birleştirilmesi mümkün olan karmaşık şekilli ve içi boş yapı ve elemanları,
- Döküm ve dövme ile üretilen ürünlerde difüzyon kaynağı: Dökümde kullanılan karmaşık maçalardan veya dövmede girinti açılardan kaynaklanacak zorlukların üstesinden gelmede kullanılabilir [43].

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

Çalışmada 304 ve 430 paslanmaz çelik levhalar bakır ara tabaka kullanılarak farklı sıcaklık, süre ve basınç parametrelerinde difüzyon kaynağı gerçekleştirilmiştir. Kaynak işleminden sonra numunelere Çekme Deneyi, Vickers Mikrosertlik Deneyi ve Mikroyapı Testine tabi tutulacaklardır.

Tablo 4.1 304 -430 paslanmaz çeliklerinin kimyasal analizi (% ağırlık) [48]

Element	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni
AISI 304	0,08 max	2,0 max	0,045 max	0,03 max	0,75 max	1,8-20,0	8,0-10-5
AISI 430	0,12 max	1,0 max	0,045 max	0,03 max	1,0 max	16,0-18,0	0,75 max

Çalışma da kullanılan 304 ve 430 paslanmaz çeliklerin kimyasal analiz değerleri tablo 4.1’de verilmiştir.

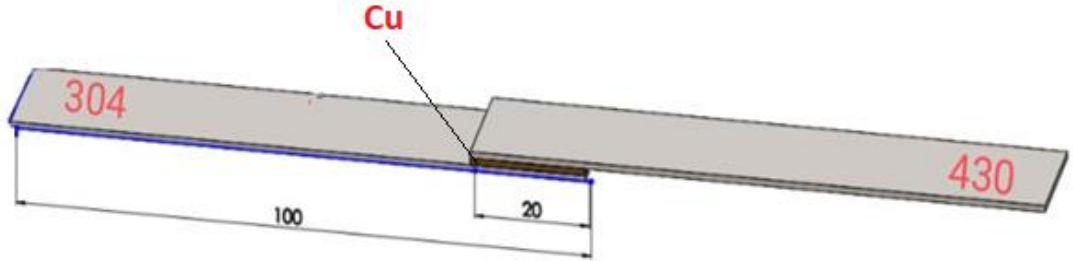
4.1 Numunelerin Hazırlanışı

304 ve 430 paslanmaz çelik levhalar 1x20x100 mm ölçülerinde Metcon Mıracut 151 markalı cihazda soğutma sıvısı kullanılarak kesilmiştir (Şekil4.1). Kesilen numunelerin birleştirilecek olan yüzeyleri 180, 240, 400, 600, 800, 1000’lik silisyum karbür zımparalarla yüzeyleri düzeltilip ultrasonik titreşim makinesiyle temizleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Ardından önce su, sonra saf alkolle temizlenip kuru hava ile kurutulmuştur.



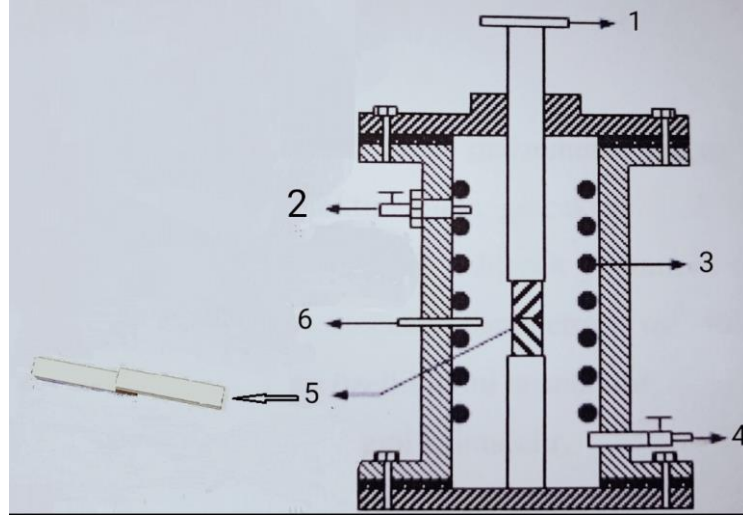
Şekil 4.1 Hassas Kesme Cihazı

Numuneler arasındaki difüzyonu kolaylaştırmak için 200 µm kalınlığında bakır folyo ara tabaka uygun ebatlarda kesilip hazırlanan yüzeyler arasına yerleştirilmiştir (Şekil 4.2). Ara bölge 1, 2 ve 3 MPa basınç altında kalacak şekilde difüzyon kaynak ekipmanına yerleştirilmiştir.



Şekil 4.2 Difüzyon yapılacak numunelerin şematik görseli

Daha sonra hazırlanan numuneler Tablo 4.2’de verilen kaynak parametreleri kullanılarak yüzeylerinde oluşabilecek oksitlenmeleri önlemek için 4 lt/dk debide %99,9 saflıkta argon gaz atmosferinde difüzyon kaynağı fırınında numuneler kaynak edilmiştir (Şekil 4.3).



1-Yük 2-Argon Çıkış 3-Isıtma Bobini 4-Argon Giriş 5-Numune 6-Termokulp
Şekil 4.3 Deneyin gerçekleştirildiği ekipmanın şematik görüntüsü [43]

Tablo 4.2 Bakır ara tabakalı 304-430 paslanmaz çelik malzemelerinin kaynak parametreleri

Deney No	Difüzyon Kaynak Parametreleri		
	Sıcaklık (°C)	Süre (Dk)	Basınç (MPa)
1	960	45	1
2	960	60	2
3	960	75	3
4	980	45	2
5	980	60	3
6	980	75	1
7	1000	45	3
8	1000	60	1
9	1000	75	2

4.2 Optik Mikroskop İncelemeleri

Kaynakla birleştirilmiş numunelerin difüzyon bölgesindeki içyapı değişimlerini incelemek için ara tabaka yüzeyine dik doğrultuda olacak şekilde numuneler silüsyum karbür diskli kesme cihazıyla kesilmiştir. Hazırlanan numunelerin ara kesitte mikroyapı ve mikrosertlik analizlerini gerçekleştirmek için bakalite alma işlemi uygulanmıştır.

Bakalite alınan numunelerin yüzeyleri aşamalı olarak 180, 240, 400, 600, 800, 1000, 1200 ve 2000‘gritlik silisyum karbür zımpara ile su altında zımparalandı. Bu işlemin ardından numuneler (6-3 μm) elmas pastalı çuha üzerinde parlatılıp su ve alkol ile temizlenip kurutulmuştur.

Parlatma işleminin ardından malzeme yüzeyinin incelenmesi için dağlama işlemi gereklidir. Parlatılmış malzemelerin yüzeyleri ışığı dışarı yansıtarak yüzey yapısının detaylarının görüntülenmesini güçleştirir. Bunun önüne geçmek içinde kontrast oluşturmak gerekir; bunu da malzeme dağlanarak yapılır Numunelerin parlatılmış yüzeylerinde gerçekleştirilen bazı inceleme türleri şunlardır [43]:

- Mikroyapının incelenmesi,
- Kalıntı incelenmesi,
- Çatlak incelenmesi,
- Porozite incelenmesi,
- Kaynak bölgesi kalitesinin incelenmesi.

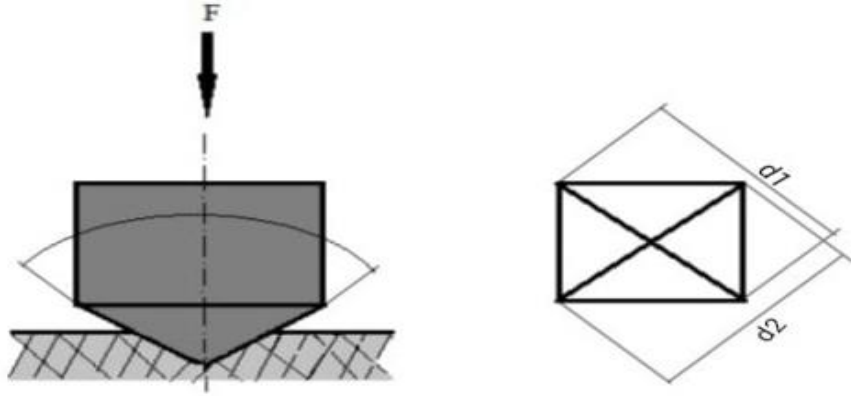


Şekil 4.4 Optik Mikroskop Cihazı

Mikroyapı incelemelerini yapabilmek için parlatılan numuneler FeCl_3 8,5 gm, CuCl_2 2,4 gm, alkol 122 ml, HCl 122 ml, HNO_3 6 ml çözeltisi içerisinde 20 saniye bekletilerek dağlandı. Dağlama işleminin ardından yüzeyler su ve alkol ile temizlenip, kurutulmuştur. Numunelerin mikroyapı görüntüleri NIKON Epiphot 200 marka optik mikroskop cihazı (Şekil 4.4) kullanılarak incelenmiştir.

4.3 Mikro sertlik Testleri

Sertlik ölçümünde dörtgen tabana sahip karşılıklı yüzeyleri arasında açı bulunan, dik piramit şeklinde olan basma ucunun tepe noktası ile deneyde kullanılacak malzemeye kuvvet uygulanır (Şekil 4.5). Yükün kaldırılmasıyla basma ucu malzeme yüzeyinde iz bırakır ve bu izin köşegen uzunlukları ölçülerek malzemenin sertliği hesaplanır [49].



Şekil 4.5 Sertlik testinin prensibi

Mikro sertlik ölçümlerinde 304 - 430 paslanmaz çeliklerin bakır aratabaka ile kaynak edilen numunelerin sertlikleri AOB markalı Hardness Vickers Test cihazı ile ölçülmüştür (Şekil 4.6). Sertlik ölçümleri numunelere 0,05 kg yükün 10 sn uygulanmasıyla yapılmıştır.



Şekil 4.6 Mikro Sertlik Cihazı

4.4 Çekme Testi

Taguchi L9 deneysel tasarımı ile oluşturulup difüzyon kaynağı ile birleştirilen 9 adet deney numunesinin çekme dayanımlarını belirleyebilmek amacıyla çekme testi uygulanmıştır. 304-430 bakır ara tabakalı paslanmaz çelik malzemelerinin çekme testleri Dicle Üniversitesi Merkezi laboratuvarında Instron BS 8801 çekme test cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.7). Çekme testinde numunelerde kopma meydana gelene kadar 3 mm/dk hızda yük uygulanıp test gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.7 Instron BS 8801 Çekme Test Cihazı

4.5 Taguchi Metodu kullanılarak Deney Tasarımı ve Modellemenin Yapılması

Endüstride ürün ve proseslerin daha başarılı olması için birçok yöntem geliştirilmiştir. Bunlardan en önemlisi istenen seviyeye erişmede başarılı olan deney tasarım yöntemidir. Deney tasarımının başarılı olmasına karşın yüksek maliyetli olmasından dolayı pek fazla uygulanamamıştır. Bundan dolayı da deney süresini kısaltacak ve düşük maliyetle bu deneyleri yapabilmek adına çeşitli çalışmalar yapılmış ve Japon Genichi Taguchi deney tasarım metodunu geliştirerek bunu sağlamıştır [50, 51].

Genichi Taguchi tarafından bulunmuş bu tasarım metodu Taguchi yöntemi olarak anılmakta ve istatistik tabanlı bir veri işleme programıdır. Verilerin girişinden sonra elde edilen sonuçlar ışığında kalite geliştirilir, süre, zaman ve maliyetten tasarruf edilir. Bu analiz yöntemi endüstrinin birçok dalına uygulanabilir temel anlamda kontrol edilebilecek ve kontrol edilemeyecek parametreleri tanır ve bir proses oluşturur. Bu işlemin sonunda da bir çıktı elde eder. Tolerans hesaplamaları sinyal/gürültü (S/N) oranıyla belirlenir. Sinyal ortalamayı, gürültü ise standart sapmayı tanımlamaktadır [51]. Bu oranın artması kalitenin de artması demektir. S/N oranı üç ayrı şekilde kategorize edilebilir:

1-En düşük - En iyi

Logaritmik işlemdeki “Y” değeri sıfırı hedefler, yani en küçük değer en iyi değeri temsil eder.

$$S/N \text{ Oranı} = -10.\log(\Sigma Y^2 /n)$$

2-En yüksek - En iyi

Logaritmik işlemdeki “Y” değeri sonsuzu hedefler. Negatif değildir ve ölçülebilirdir.

$$S/N \text{ Oranı} = -10.\log[\Sigma(1/Y^2)/n]$$

3-Nominal – En iyi

Logaritmik işlemdeki “Y” değeri orta bir değerdir. Bu değere gelinirse varyasyon sıfır olur ve en iyi durum ortaya çıkar.

$$S/N \text{ Oranı} = 10.\log(\Sigma(Y-m)^2/S^2)$$

4.6 Varyans Analizi (ANOVA)

İngiliz istatistikçi Sir Ronald Fisher 1920 deney tasarım metodunu bulup, deney tasarımını doğru sonuca ulaştırmayı sağlayan Varyans (anova) analizini geliştiren kişidir [48]. Varyans analizi gerçekleştirilerek ürünün kalitesinde tesiri olan parametrelerin çıktıların kıyaslanmasını sağlayıp bu parametrelerin birbiriyle olan etkileşimini belirler. Varyans analizi elde edilen çıktı verilerinin performanslarını çeşitli formüller ile hesaplaması yapılarak elde edilir. Deneyde kullanılan her parametrenin serbestlik derecesi, tüm parametrelerin kareler toplamı bulunur. Daha sonra tek tek hesaplanıp bulunan kareler toplamı tüm kareler toplamına oranlanarak varyans etkisi bulunur [51].

Kareler toplamı aşağıdaki denklem ile ifade edilir;

$$KT = \frac{k}{N \times n} \sum_{t=1}^k T_t^2 - \frac{T^2}{N \times n}$$

Burada;

KT = Kareler toplamı

k = Ortogonal dizindeki seviye sayısı

t = Her faktörün seviyesi

T_t = Her faktöre ait sonuçların toplamı

T = Deney sonuçlarının toplamı

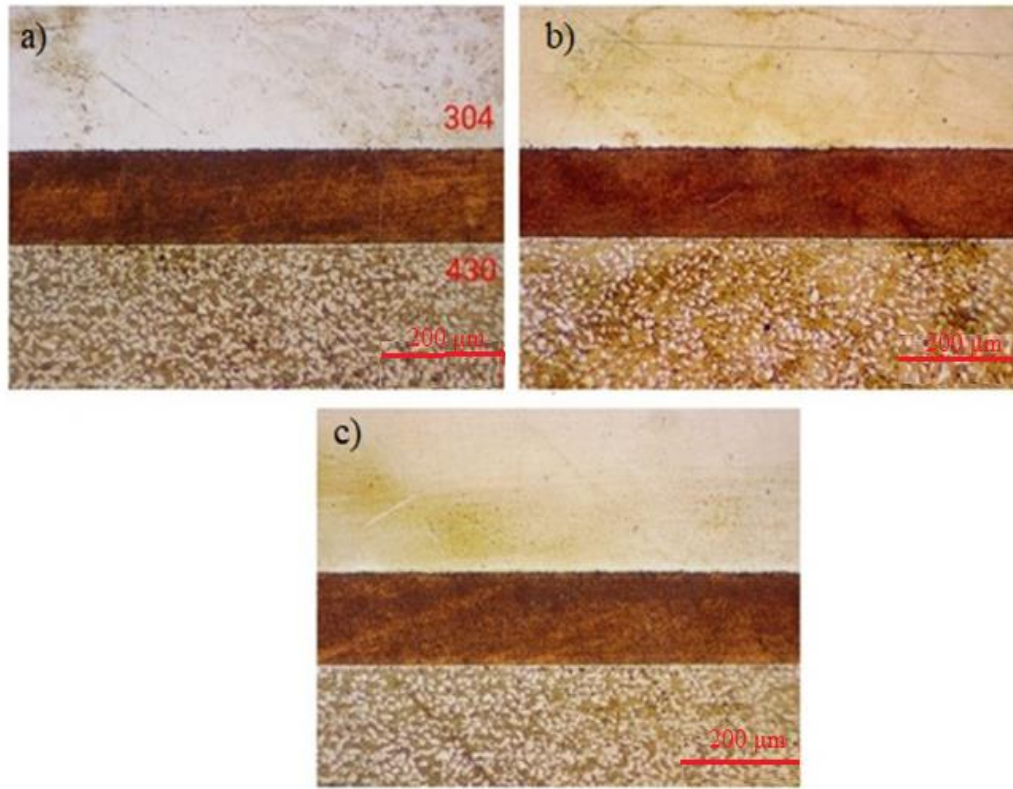
N = Deneme sayısı

Şekil 4.8 Kareler toplamı denklemi [51]

5. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu çalışmada farklı parametre değerleri kullanılarak, difüzyon kaynağı ile 304-430 paslanmaz çelik malzemeler bakır ara tabakası ile birleştirilmesi araştırılmıştır. Kaynak işleminden ardından numunelerin çekme dayanımları, mikro sertlik değerleri ve mikroyapı incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca çalışmada, optimizasyon olarak Taguchi deney tasarım yöntemiyle S/N oranları ve Anova çalışmaları yapılarak en uygun parametre değerlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

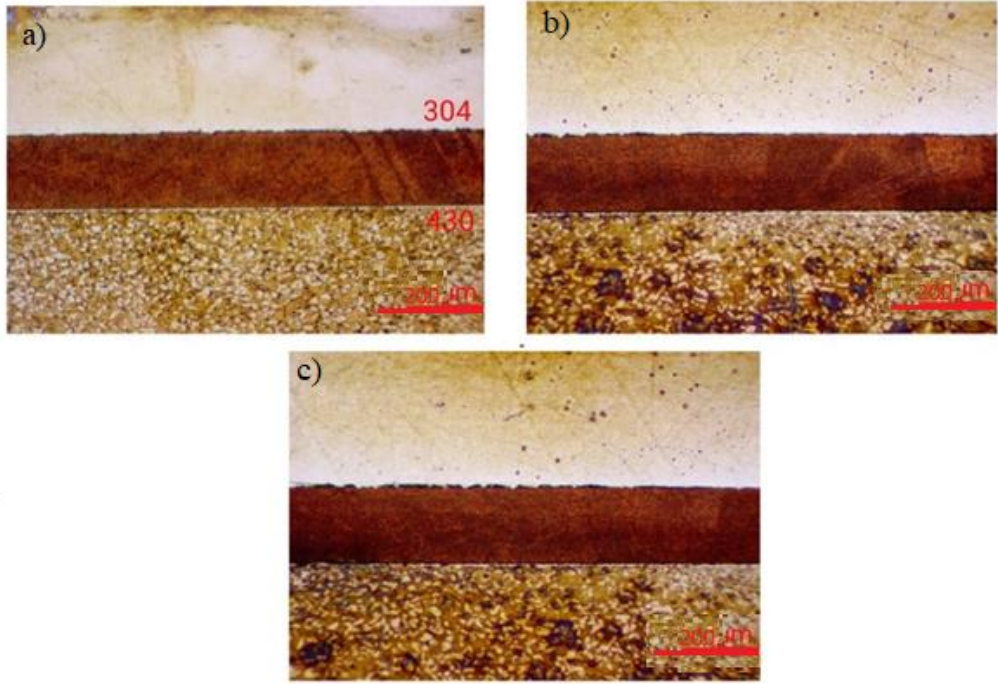
5.1 Kaynak Sonrası Mikroyapı Karakterizasyonları



Şekil 5.1 960°C birleştirilmiş numunelerin mikroyapı görüntüleri

a) 960°C, 45 dk, 3 MPa b) 960°C, 60 dk, 3MPa c) 960°C, 75 dk, 3MPa

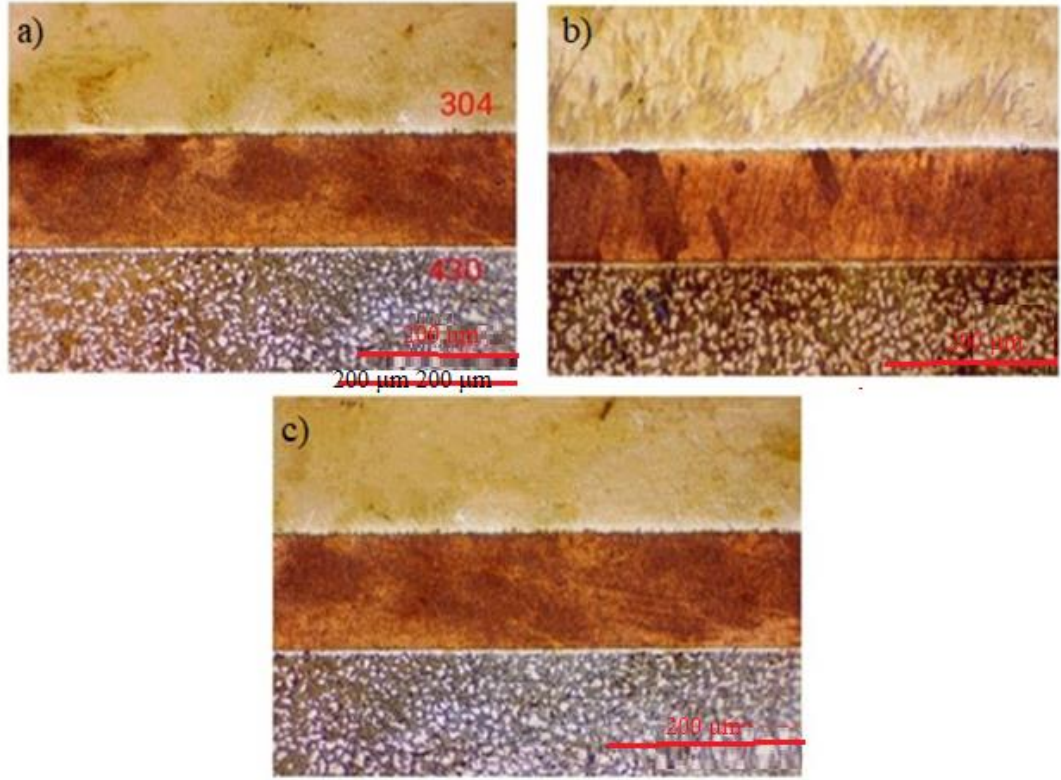
Şekil 5.1’de 960°C de 45, 60 ve 75 dakika bekleme sürelerine ait deney numunelerinin optik mikroskop görüntüleri gösterilmiştir. Mikroyapı görüntüleri incelendiğinde süre artışıyla bakır aratabakasında dikkate değer ölçüde difüzyonun olmadığı, görülmektedir. Bakır aratabakasında dikkate değer ölçüde bir inceleme olmadığı görülmüştür.



Şekil 5.2 980 °C birleştirilmiş numunelerin mikroyapı görüntüleri

a) 980°C, 45 dk, 3 MPa b) 980°C, 60 dk, 3MPa c) 980°C, 75 dk, 3MPa

Şekil 5.2’de deney numunelerinin optik mikroskop görüntüleri verilmiştir. Mikroyapı görüntüleri incelendiğinde süre artışıyla bakır aratabakanın 304 ve 430 paslanmaz çelik tarafına difüzyon gerçekleştirdiği görülmektedir. Sıcaklık arttıkça bakırın daha fazla difüzyon kabiliyetinin arttığı, 304 ve 430 paslanmaz çelik malzemeleri ile bakır arasında ısıdan etkilenen bir bölgenin oluştuğu görülmüştür.



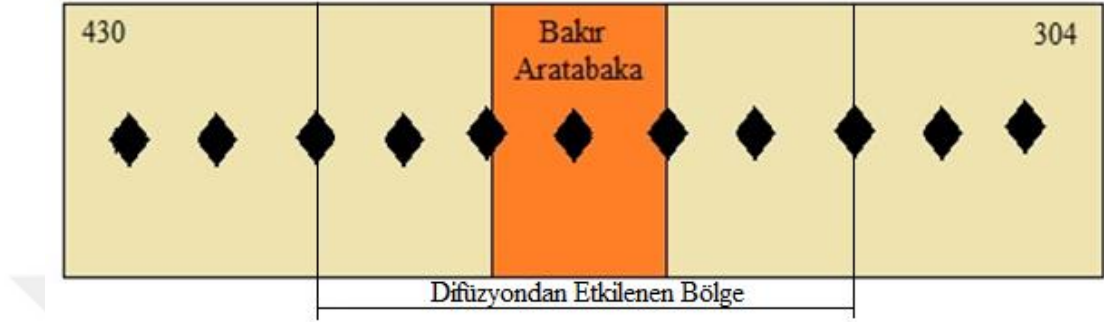
Şekil 5.3 1000 °C birleştirilmiş numunelerin mikroyapı görüntüleri

a) 1000°C, 45 dk, 3 MPa b) 1000 °C, 60 dk, 3MPa c) 1000°C, 75 dk, 3MPa

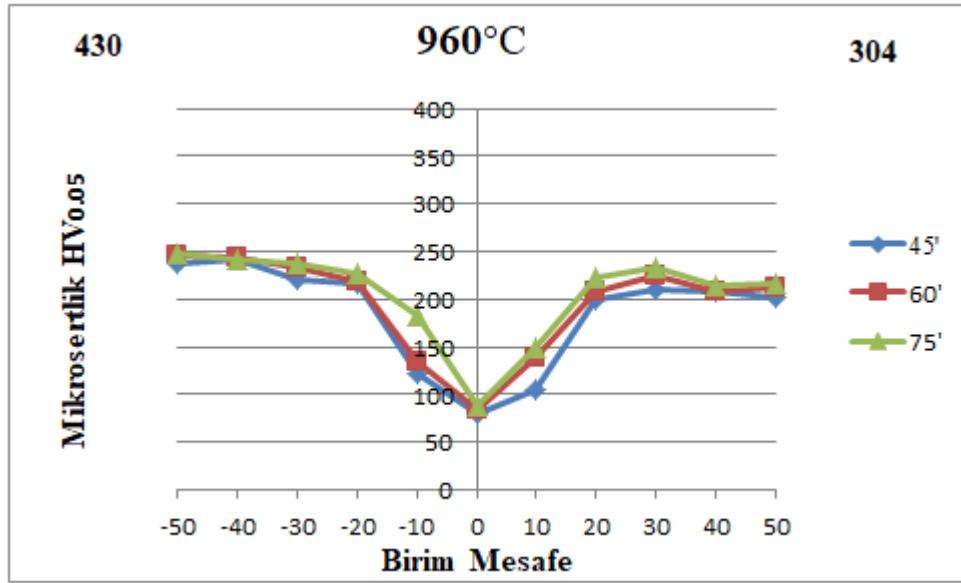
1000°C’de birleştirilen numunelerin optik mikroskop görüntüleri Şekil 5.32’de verilmiştir. Difüzyon kaynağı gerçekleştirilen deneyler arasında bakır ile paslanmaz çelik malzemeleri arasında oluşan difüzyon geçişlerinin daha belirgin olduğu görülmüştür. Sıcaklık ve bekleme süresinin artmasıyla bakır aratabaka ile paslanmaz çelikler arasında difüzyon kabiliyetinde artışın gerçekleştiği belirlenmiştir. Ayrıca 340 ve 430 paslanmaz çelik arasında ısıdan etkilenen bir bölge olduğu gözlenmiştir.

5.2 Mikro Sertlik Test Sonuçları

Mikro sertlik için hazırlanıp dağlanan numuneler Şekil 5.4'te görüldüğü gibi bakır aratabakanın orta noktasından başlanarak birim aralıklarla 11 farklı bölgeden sertlik ölçümleri alınmıştır.

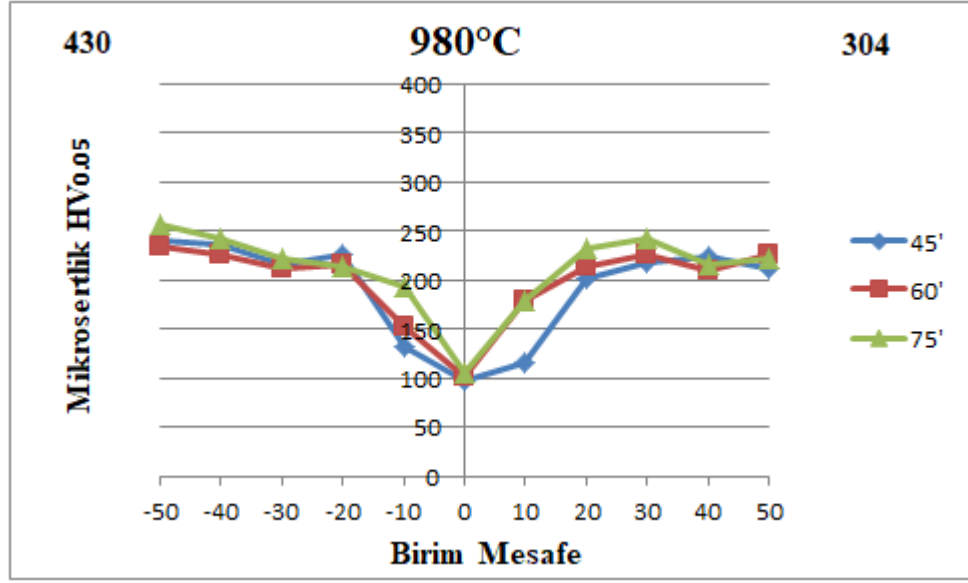


Şekil 5.4 Mikrosertlik deneylerinde ölçüm yapılan bölgelerin gösterimi



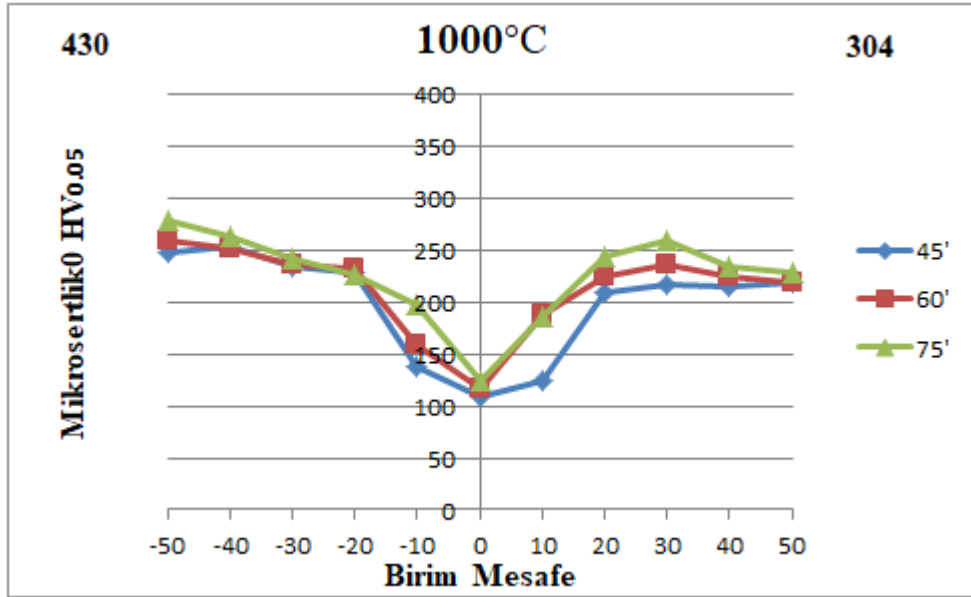
Şekil 5.5 960°C'de 45, 60 ve 75 dk için alınan sertlik grafiği

960°C'de birleştirilen numunelerin sertlik test ölçümü (Şekil 5.5) sonucunda bakır aratabakadan her iki ana metale gidildikçe sertlik değerlerinde yükseliş olduğu gözlemlenmiştir. Bakır aratabakanın kaynak öncesinde mikrosertlik değeri 128.26 HV olarak ölçülmüştür. Kaynak sonrası ise bakır aratabaka da en yüksek sertlik değeri 88.9 HV ölçülmüştür. Paslanmaz çelik malzemelerinde en yüksek sertlik değeri 430 tarafında 75 dakikada kaynaklanmış numunede 249 HV olarak ölçülmüştür.



Şekil 5.6 980°C'de 45, 60 ve 75 dk için alınan sertlik grafiği

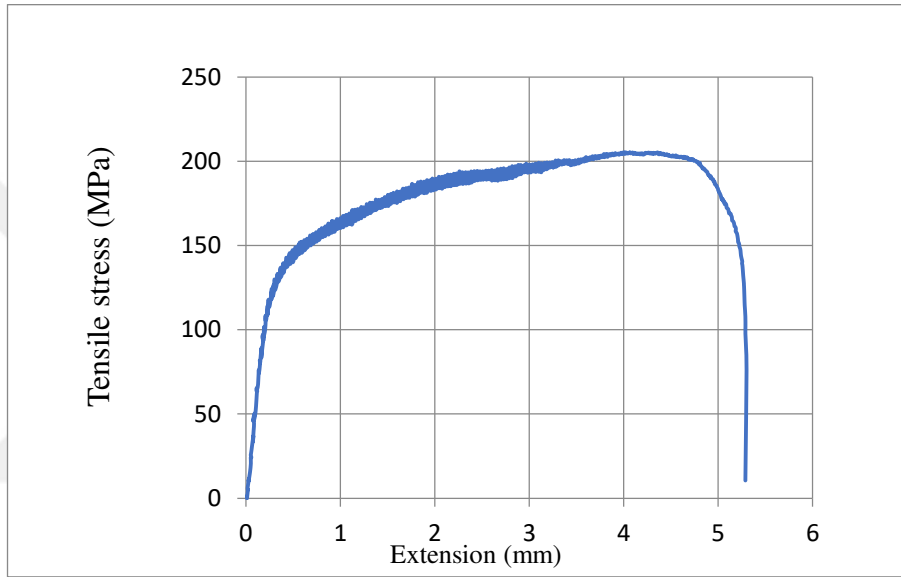
980°C'de birleştirilen numunelerin sertlik test ölçümü (Şekil 5.6) incelendiğinde bakır ara tabakanın sertliği en yüksek 75 dakikada gerçekleşen numunede 105 HV olarak bulunmuştur. Aratabakadan uzaklaştıkça sertlik değerlerinde artış olduğu gözlemlenmiştir. En yüksek sertlik değeri 430 malzemesinde 75 dakikalık numunede 256,5 HV olarak ölçülmüştür.



Şekil 5.7 1000°C'de 45, 60 ve 75 dk için alınan sertlik grafiği

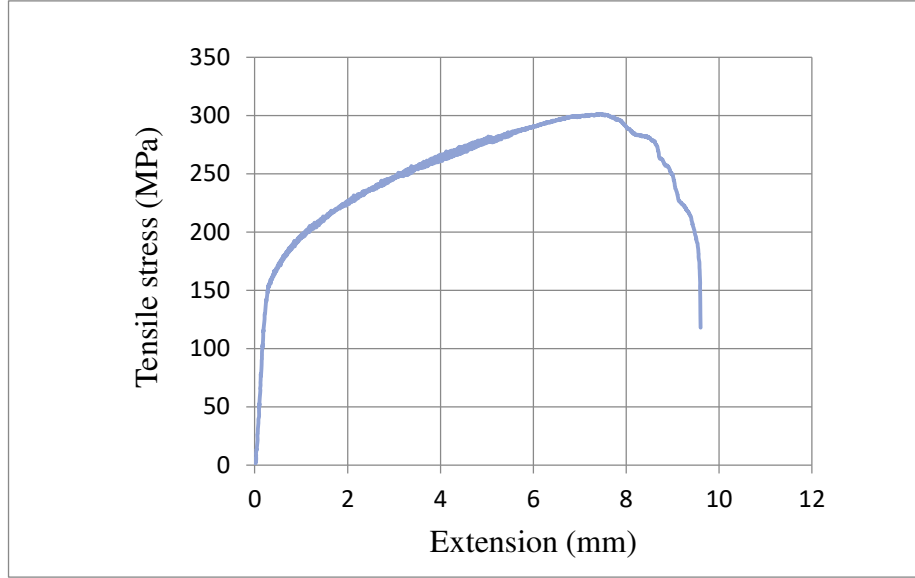
1000°C’de birleştirilen numunelerin sertlik test ölçümünde (Şekil 5.7) diğer sıcaklık değerlerinde gözlemlendiği gibi bu sıcaklıkta kaynaklanan tüm numunelerde de aratabakadan uzaklaştıkça sertlik değerlerinde artışın olduğu görülmüştür. Bakır aratabakada en yüksek sertlik 1000°C sıcaklıkta 75 dakikalık numunede 125 HV olarak ölçülmüştür. 1000°C’de en yüksek sertlik değeri 75 dakikada kaynaklanmış numunede 430 malzemesinde 279 HV olarak ölçülmüştür.

5.3 Çekme Testi Sonuçları



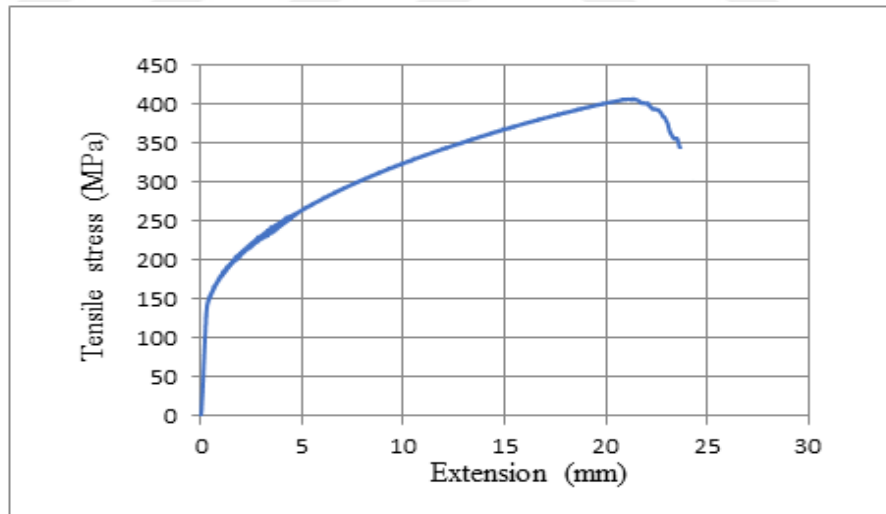
Şekil 5.8 960°C’ de 45 dk, 1 MPa basınçta kaynaklanan numunenin çekme mukavemeti

960°C sıcaklığında ve 45 dakikada hazırlanan kaynaklı numune (Şekil 5.8) 150,47 MPa yükte akmaya başlayıp 205,347 MPa yükten sonra maksimum çekme göstererek kopmuştur. Ayrıca kaynaklı malzeme 5,5 mm uzama göstermiştir.



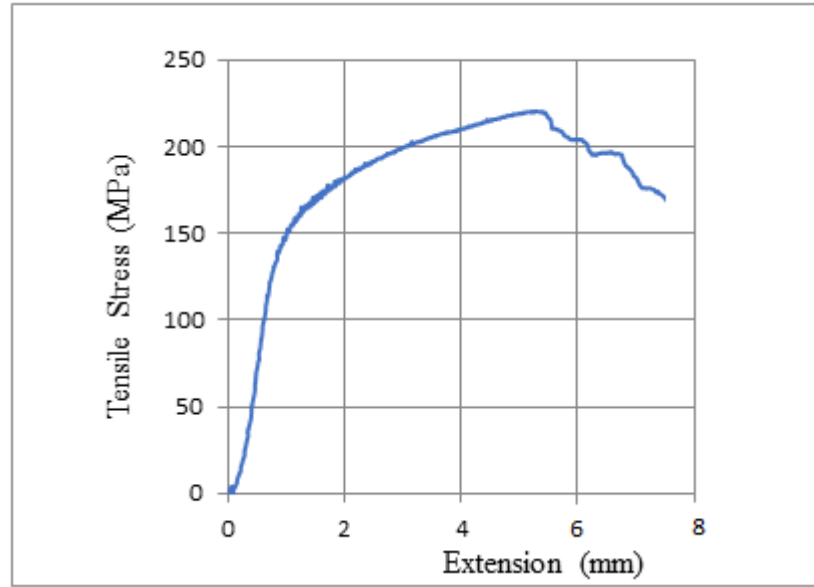
Şekil 5.9 960°C’ de 60 dk, 2 MPa basınçta kaynaklanan numunenin çekme mukavemeti

960°C sıcaklığında ve 60 dakikada hazırlanan kaynaklı numune (Şekil 5.9) 179,73 MPa yükte akmaya başlayıp 301,407 MPa yükten sonra maksimum çekme göstererek kopmuştur. Ayrıca kaynaklı malzeme 9,8 mm uzama göstermiştir.



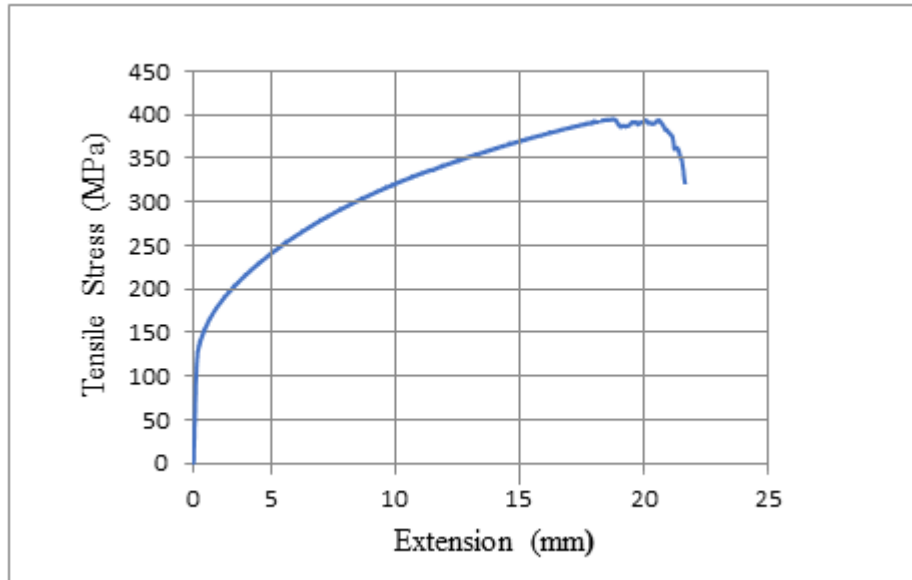
Şekil 5.10 960°C’ de 75 dk, 3 MPa basınçta kaynaklanan numunenin çekme mukavemeti

960°C sıcaklığında ve 75 dakikada hazırlanan kaynaklı numune (Şekil 5.10) 166 MPa yükte akmaya başlayıp 406,596 MPa yükten sonra maksimum çekme göstererek kopmuştur. Ayrıca kaynaklı malzeme 23 mm uzama göstermiştir.



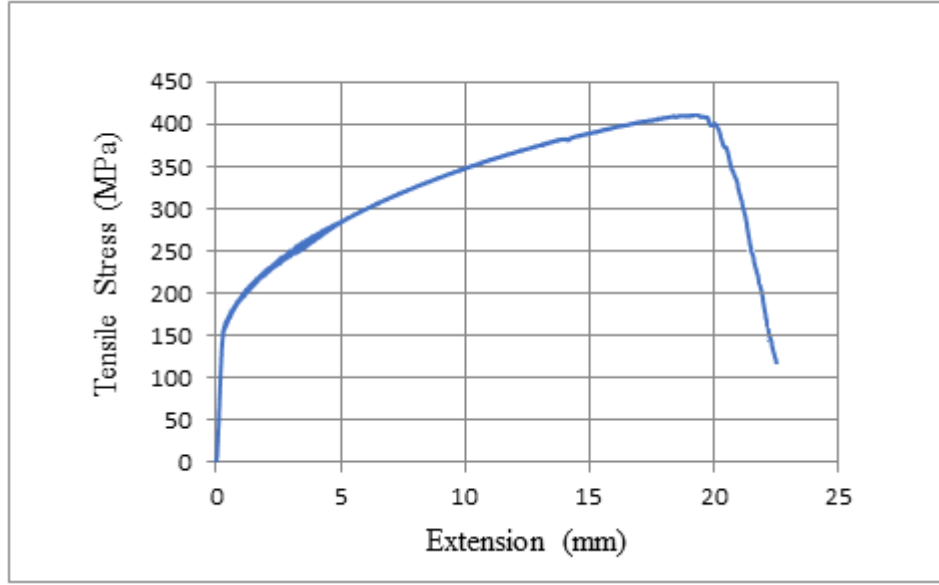
Şekil 5.11 980°C’ de 45 dk, 2 MPa basınçta kaynaklanan numunenin çekme mukavemeti

980°C sıcaklığında ve 45 dakikada hazırlanan kaynaklı numune (Şekil 5.11) 173 MPa yükte akmaya başlayıp 220,578 MPa yükten sonra maksimum çekme göstererek kopmuştur. Ayrıca kaynaklı malzeme 6,7 mm uzama göstermiştir.



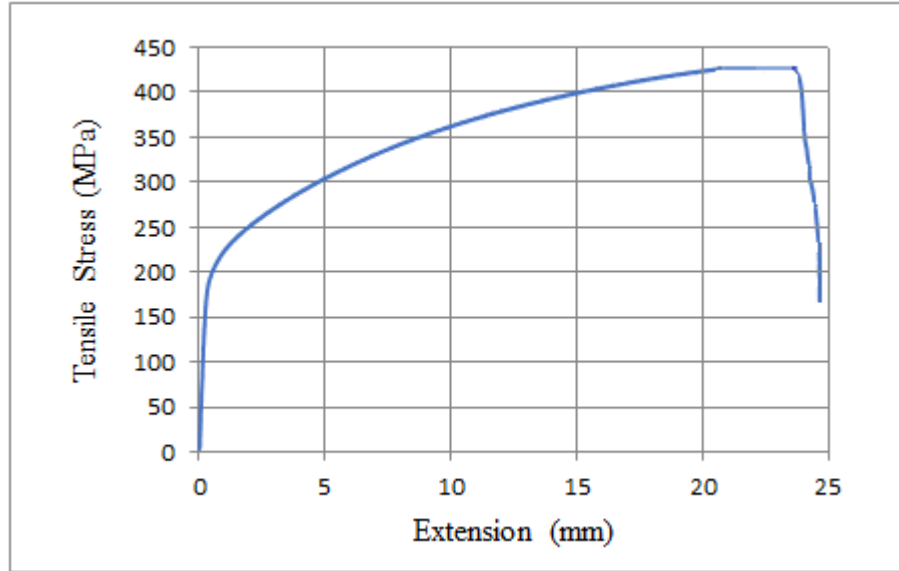
Şekil 5.12 980°C’ de 60 dk, 3 MPa basınçta kaynaklanan numunenin çekme mukavemeti

980°C sıcaklığında ve 60 dakikada hazırlanan kaynaklı numune (Şekil 5.12) 153,44 MPa yükte akmaya başlayıp 395,332 MPa yükten sonra maksimum çekme göstererek kopmuştur. Ayrıca kaynaklı malzeme 21.8 mm uzama göstermiştir.



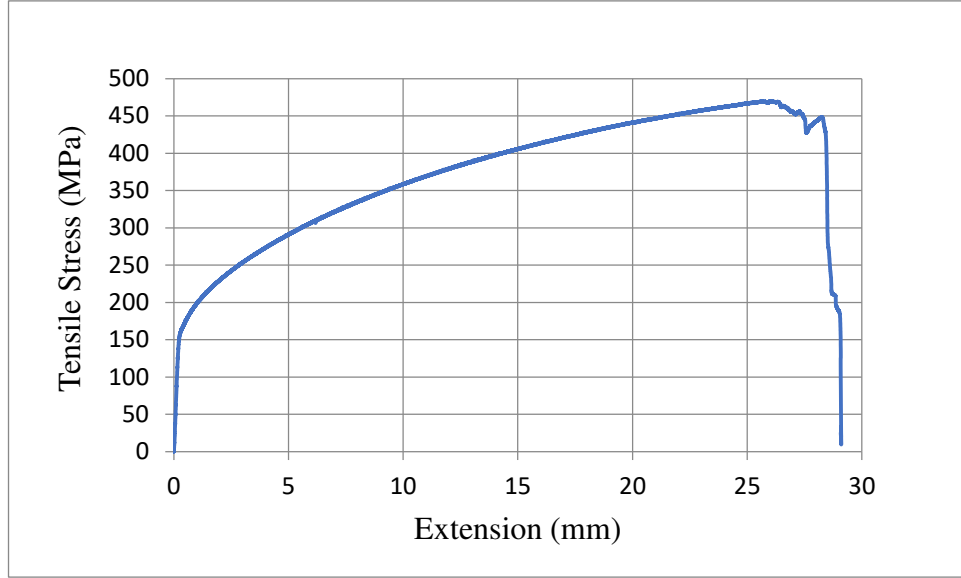
Şekil 5.13 980°C' de 75 dk, 1 MPa basınçta kaynaklanan numunenin çekme mukavemeti

980°C sıcaklığında ve 75 dakikada hazırlanan numune (Şekil 5.13) 179 MPa yükte akmaya başlayıp 412,221 MPa yükten sonra maksimum uzama göstererek kopmuştur. grafiği elde edilmiştir. Ayrıca kaynaklı malzeme 23.8 mm uzama göstermiştir.



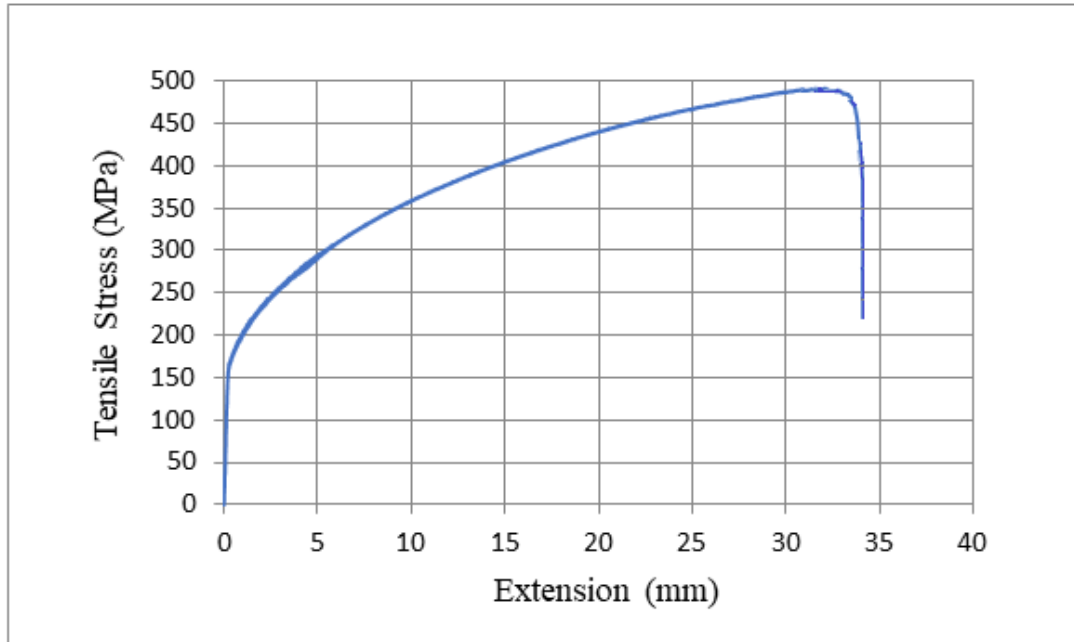
Şekil 5.14 1000°C' de 45 dk, 3 MPa basınçta kaynaklanan numunenin çekme mukavemeti

1000°C sıcaklığında ve 45 dakikada hazırlanan numune (Şekil 5.14) 207,77 MPa yükte akmaya başlayıp 427,047 MPa yükten sonra maksimum çekme göstererek kopmuştur. Ayrıca kaynaklı malzeme 24.96 mm uzama göstermiştir.



Şekil 5.15 1000°C' de 60 dk, 1 MPa basınçta kaynaklanan numunenin çekme mukavemeti

1000°C sıcaklığında ve 60 dakikada hazırlanan numune (Şekil 5.15) 180,40 MPa yükte akmaya başlayıp 469,946 MPa yükten sonra maksimum çekme göstererek kopmuştur. Ayrıca kaynaklı malzeme 29 mm uzama göstermiştir.



Şekil 5.16 1000°C' de 75 dk, 2 MPa basınçta kaynaklanan numunenin çekme mukavemeti

1000°C sıcaklığında ve 75 dakikada hazırlanan numune (Şekil 5.16) 182,10 MPa yükte akmaya başlayıp 491,582 MPa maksimum çekme göstermiştir. Ayrıca bu numune 34 mm uzama göstermiştir. Yapılan tüm deney numuneler incelendiğinde en yüksek çekme dayanımı ve uzama oranı bu deney parametresinde elde edilmiştir.

5.4 Deneylerin Taguchi Optimizasyon Yöntemi ile İrdelenmesi

Bu çalışmada Taguchi optimizasyon yönteminin kullanılma sebebi 304-Cu-430 malzemeleri difüzyon kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilmesinde, kaynağı etkileyecek faktörlerin bağıl etkisini belirlemektir. Deneysel çalışmada difüzyon kaynak sıcaklığı, bekleme süresi ve basınç deney parametreleri olarak seçilmiştir. Her deney parametresine bağlı 3 seviye bulunmakta ve deneyin gerçekleştirilmesi için $3^3 = 27$ tane deneyin yapılması gerekmektedir. Ama Taguchi yönteminde L_9 ortogonal dizisi (Tablo 5.1) seçildiğinde bu deney sayısı 9'a düşmüş bu da daha az maliyet ve sürelerde deneylerin gerçekleştirilmesini mümkün kılmıştır. Yapılan deneysel tasarım çalışmaları ile gerçekleştirilen çekme test sonuçları (Tablo 5.2) kullanılarak Minitab 18 programında S/N ve ANOVA analiz çalışmaları yapılarak sonuçlar değerlendirilmiştir.

Tablo 5.1 Taguchi L_9 deneysel tasarım çalışma tablosu

Deney no	Kaynak Sıcaklığı	Bekleme Süresi	Basınç
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2

5.5 Sinyal / görüntü (S/ N) Oranlarının Elde Edilmesi

Taguchi optimizasyonu, difüzyon kaynak yönteminde kullanılan parametrelerden etkili olan parametreyi belirlemek için kullanılır. Bu nedenle Sinyal/Gürültü (S/N) oranı kullanılırsa en iyi sonucu veren kaynak parametreleri belirlenebilecektir [52].

Bu çalışmada her bir deney numunesine ait çekme mukavemet değerleri elde edildikten sonra Minitab 18 programında Tablo 5.3'de gösterildiği üzere S/N oranlarının değerleri elde edilmiş ve Varyans analiz çalışmaları yapılmıştır. S/N oranı 3 farklı şekilde oluşturulabilmektedir. Biz bu çalışmada optimum proses parametrelerini bulabilmek için S/N oranlarından en yüksek en iyi durum olan yani “large is better” durumunu tercih edilmiştir.

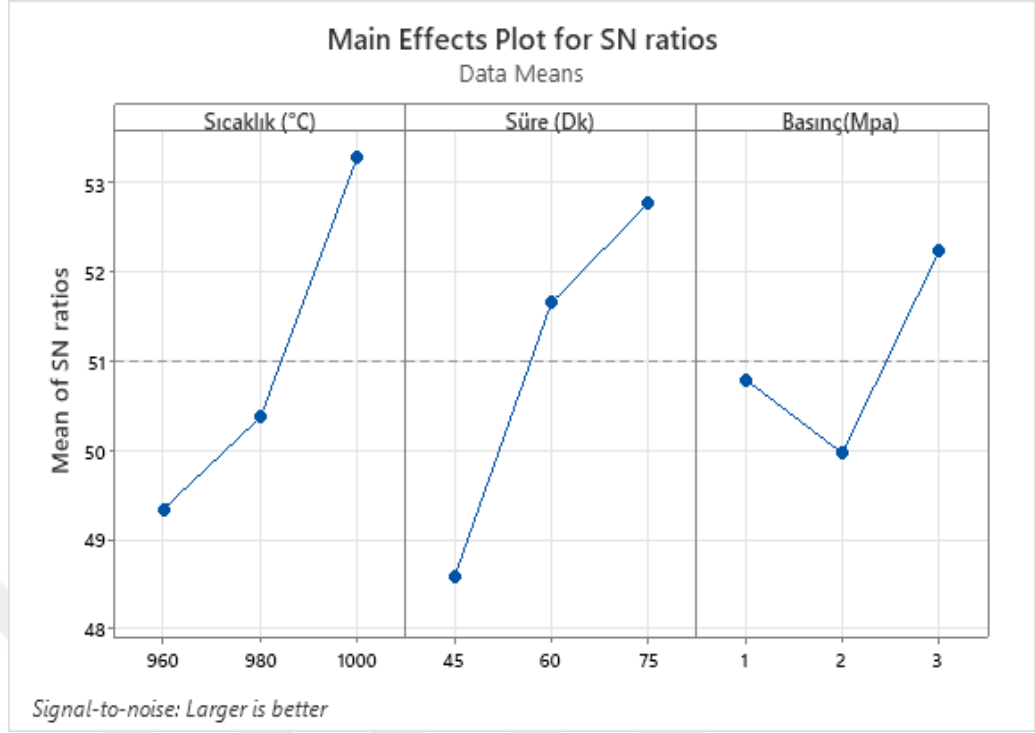
Tablo 5.2 Difüzyon kaynak parametreleri ve çekme deney sonuçları

Deney No	Malzeme	Difüzyon Kaynak Parametreleri			Çekme Mukavemeti (MPa)
		Sıcaklık (°C)	Süre (Dk)	Basınç (MPa)	
1	304-Cu-430	960	45	1	205,347
2	304-Cu-430	960	60	2	301,407
3	304-Cu-430	960	75	3	406,596
4	304-Cu-430	980	45	2	220,578
5	304-Cu-430	980	60	3	395,332
6	304-Cu-430	980	75	1	412,221
7	304-Cu-430	1000	45	3	427,046
8	304-Cu-430	1000	60	1	469,946
9	304-Cu-430	1000	75	2	491,582

Tablo 5.3 Sinyal/Gürültü (S/N) performans değerlerinin her bir parametre için gösterilmesi

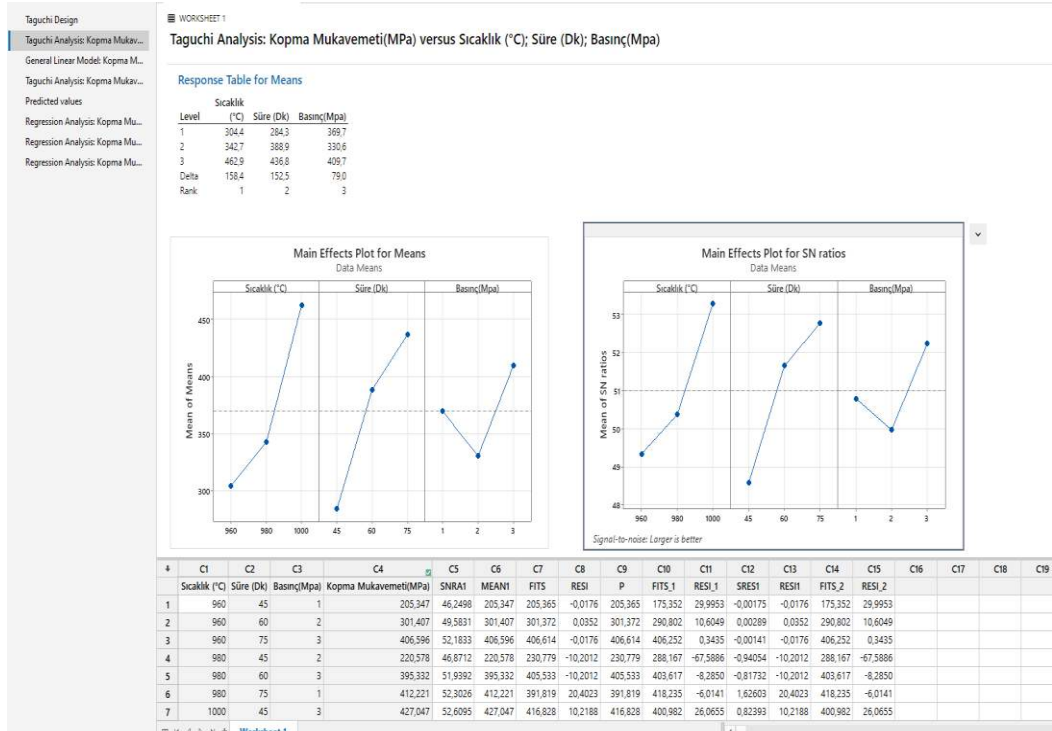
Seviye	Sıcaklık(°C)	Süre (Dk)	Basınç (MPa)
1	49,34	48,58	50,79
2	50,37	51,65	49,97
3	53,29	52,77	52,24

Tüm parametreler değerlendirildiğinde S/N oranının en yüksek en iyi durum (large is better) değerlerine göre yapılan çalışmayla Tablo 5.3'deki verilerden Şekil 5.17'de gösterilen grafik elde edilmiştir. Grafik incelendiğinde S/N oranlarında en uygun parametrelerinin sıcaklık için 53.29, süre için 52,77 ve basınç içinde 52,24 olduğu görülmüştür. Elde edilen sonuçlar ışığında en iyi kaynak parametresinin 1000 °C sıcaklıkta, 75 dk bekleme süresi ve 3 MPa basınç altında gerçekleştirilmesin gerektiği belirlenmiştir.



Şekil 5.17 Çekme Mukavemeti için Taguchi deney dizaynında S/N performans grafiği

Minitab 18 programında çekme mukavemeti için hazırlanan S/N grafiğinin son halini içeren analiz çalışmasının ekran görüntüsü Şekil 5.18’de verilmiştir.



Şekil 5.18 Çekme mukavemeti için varyans analiz çalışmasının ekran görüntüsü

5.6 ANOVA Çalışmaları

Deneysel çalışmada ANOVA kullanılmasının asıl nedeni, kaynak kalitesine etki eden parametrelerini incelemektir. Varyans analizi matematiksel bir metoda sahiptir ve bu analiz ile kaynak işleme parametrelerinden hangilerinin kaynak kalitesine en çok etki ettiğini ya da hangi parametrelerin anlamlı (doğru) sonuç verdiğini tespit edilmesinde kullanılmaktadır. Taguchi yöntemi ile gerçekleştirilen Varyans analiz çalışmasının sonuçları Tablo 5.4’de verilmiştir. Difüzyon kaynağında en etkili parametre %47,70 oranına sahip olan sıcaklıktır. Ardından %42,45 oranıyla süre ve %8,39 oranıyla basınç faktörü gelmektedir.

Tablo 5.4 Varyans Analiz Sonuçları

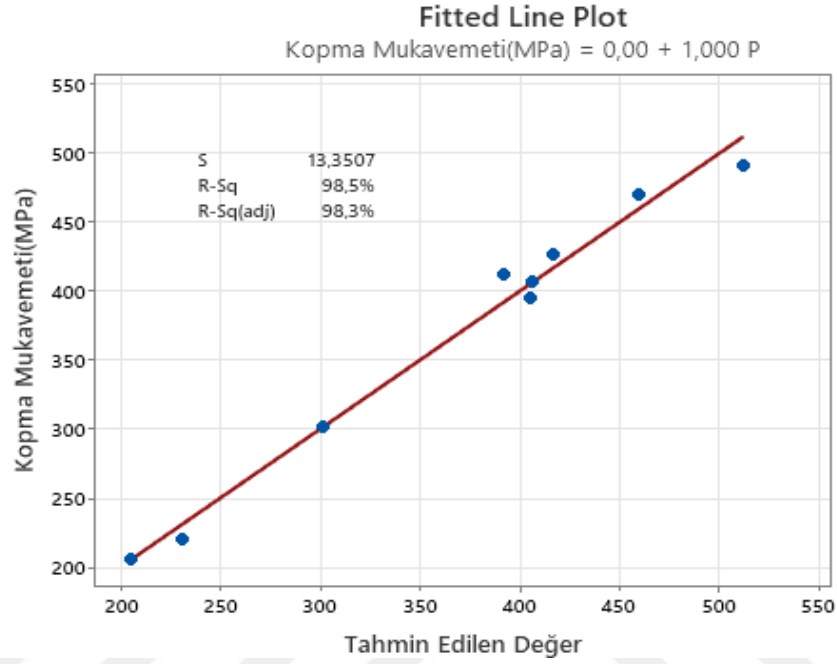
Parametreler	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Ortalama Kareler Toplamı	% Etki Oranı	P Değeri
Sıcaklık (°C)	2	40993	20496,3	%47,70	0,030
Süre (Dk)	2	36479	17163,1	%42,45	0,035
Basınç (MPa)	2	7213	3606,4	%8,39	0,147
Hata	2	1248	623,8	%1,45	
Toplam	8	85932		%100	
R-Sq= %98,55			R-Sq(adj) = %94,19		

Çekme mukavemeti için Regresyon analizi: Belirtilen seviyedeki parametreler için çekme mukavemetlerinin yaklaşık değerlerinin bulunması için Tablo 5.5’de polinom denklemi oluşturulmuştur.

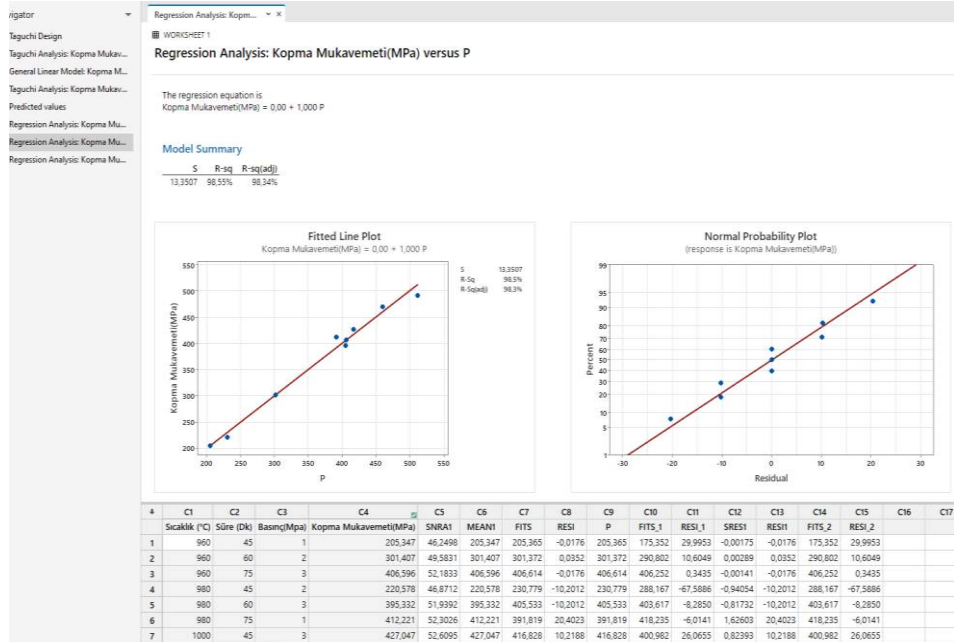
Tablo 5.5 Regrasyon polinom denklemi

Çekme Mukavemeti (MPa)	=	370,01- 65,6 Sıcaklık (°C)_960
		- 27,3 Sıcaklık (°C)_980
		+ 92,9 Sıcaklık (°C)_1000
		- 85,7 Süre (Dk)_45
		+ 23,2 Süre (Dk)_60
		+ 62,5 Süre (Dk)_75
		- 13,4 Basınç (Mpa)_1
		- 26,2 Basınç (Mpa)_2
		+ 39,7 Basınç (Mpa)_3

Difüzyon kaynak sıcaklığı, bekleme süresi ve basınç parametreleri için Şekil 5.19’da aolasılık grafiği oluşturulup, düz çizgi boyunca dağılmış ve %95 güven seviyesinin üstünde çalışılmış olup %98,55 oranı elde edilmiştir. Şekil 5.20’de ise olasılık grafiğinin minitab programında elde edilen ekran görüntüsü gösterilmiştir.



Şekil 5.19 Çekme mukavemeti için olasılık grafiği



Şekil 5.20 Çekme mukavemeti için olasılık grafiği

6. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu çalışmada östenitik AISI 304 ve ferritik AISI 430 paslanmaz çelik çifti 200 µm kalınlığında bakır aratabaka kullanılarak argon gazı atmosferinde sabit basınç altında 960, 980 ve 1000 °C sıcaklık, 45, 60 ve 75 dakika sürelerde difüzyon kaynağı ile birleştirilmiştir. Kaynaklı numunelerin içyapıları optik mikroskop ile incelenmiş mekanik özelliklerini belirlemek için de çekme ve mikro sertlik testleri uygulanmıştır. Ayrıca Taguchi optimizasyon yöntemi kullanılarak deney sayı ve dizin sıralamaları belirlenmiş, S/N ve Varyans (ANOVA) analiz çalışmaları yapılmıştır. Deney sonuçları aşağıda özetlenmiştir:

- Deney numunelerinin mikroyapı görüntüleri incelendiğinde bakır aratabakasındaki dikkate değer ölçüde bir incelmeye olmadığı görülmüştür.
- Tüm deney numuneleri sorunsuz kaynaklanmış ve numuneler aratabakadan ayrılarak kopmuştur.
- Sertlik test sonuçları incelendiğinde; aratabakadan uzaklaştıkça sertlik değerlerinde artışın olduğu gözlemlenmiştir. 304-430 paslanmaz çelik çiftinde en yüksek sertlik değeri 430 tarafında 1000°C sıcaklıkta 75 dakika kaynaklanmış numunede 279 HV olarak ölçülmüştür.
- Bakır aratabakası kaynak öncesi ve sonrasında sertlik değerleri incelenmiş ve kaynaktan sonra bakırın sertliğinde düşüş yaşandığı belirlenmiştir. Bakır aratabakada en yüksek sertlik değeri 125 HV olarak ölçülmüştür.
- Tüm deney numunelerinde artan sıcaklık ve bekleme sürelerinde malzemelerin çekme dayanımlarında artışın gerçekleştiği belirlenmiştir. En yüksek çekme dayanımı 1000 °C sıcaklığında ve 75 dakika bekleme süresinde 491,582 MPa olarak ölçülmüştür. En düşük çekme dayanımı ise 960°C’de 45 dakika bekleme süresinde birleştirilen numunede 205,347 MPa olarak ölçülmüştür.

- En yüksek % uzama 1000°C sıcaklıkta 75 dakika bekleme süresinde kaynaklanan numunede 34 mm olarak ölçülmüştür. Ayrıca tüm deney numunelerinin kaynak bölgesinden ayrılmıştır.
- S/N performans grafiği incelendiğinde en iyi kaynak parametresinin 1000 °C sıcaklıkta, 75 dk bekleme süresi ve 3 MPa basınç altında kaynağın en iyi sonucu vereceği belirlenmiştir.
- Çekme mukavemeti için gerçekleştirilen Varyans (ANOVA) analizinde en etkili parametreler sırasıyla; difüzyon kaynak sıcaklığı %47,70, %42,45 bekleme süresi ve %8,39 oranlarında basınç faktörü etkili olmuştur ve hata payı %1,45 olduğu belirlenmiştir.
- Difüzyon kaynak sıcaklığı, bekleme süresi ve basınç parametreleri için olasılık grafiği oluşturulup, düz çizgi boyunca dağılmış ve %95 güven seviyesinin üstünde %98,55 oranı elde edilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] S. Detriche, S. Vivegnis, J.F. Vanhumbecq, A. Felten, P. Louette, F.U. Renner, J. Delhalle, Z. Mekhalif, "XPS fast depth profile of the native oxide layers on AISI 304, 316 and 430 commercial stainless steels and their evolution with time," *Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena*, 243, pp.146970, 2020.
- [2] V. Chandrasekar, K.D. Ramkumar, "Effect of Nb-free consumables on the microstructure and structural integrity of pressure vessel grades of dissimilar austenitic stainless steel welded joints," *Journal of Materials Research and Technology*, 18, 3443-3456, 2022.
- [3] X. Du, T. Xi, C. Yang, H. Zhao, K. Yang, "Cu addition retards the static recrystallization of cold-deformed 316L biomedical stainless steel," *Journal of Materials Research and Technology*, 2022.
- [4] Y. Chen, F. Zhou, R. Zhang, Y. Cai, "Experimental study on seismic behavior of welded H-section stainless steel beam-columns," *Engineering Structures*, 259, pp.114105, 2022.
- [5] N.R. Baddoo, "Stainless steel in construction: a review of research, applications, challenges and opportunities," *Journal of Constructional Steel Research*, 64 (11), pp. 1199-1206, 2008.
- [6] M.C. Majumder, "Investigation of Mechanical Properties of AISI 430 Friction Welded AISI 304 with Different Steels," *Materials Physics and Chemistry (TRANSFERRED)* 1.1, 2018.
- [7] A. Aran, M.A. Temel, "Paslanmaz Çeliklerin Üretimi, Kullanımı, Standartları (2.bs.) , " Sarıtaş Teknik Yayın No:1, İstanbul: Acar Matbaacılık A.Ş, 2004.
- [8] H. Uzun, "Paslanmaz Çeliğin Fiber Lazerle Kesilmesinde İşleme Parametrelerinin Optimizasyonu," Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2019.
- [9] G. Güç, "Lazer Kaynak İle İşlenmiş Ferritik Paslanmaz Çeliklerin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi," İstanbul Teknik Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2021.
- [10] Y. Kaya, "AISI 304 ve AISI 430 paslanmaz çeliklerin TIG, MIG ve Örtülü Elektrod Ark kaynağıyla birleştirilebilirliğinin araştırılması," *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi* 25.3,549-557, 2010.
- [11] H. Demirtaş ve A. İncesu, "Haddeme ile Birleştirilen AISI 430/A1 1050 /AISI 304 Tabakalı Kompozitlerde Isıl işlemin Ara Yüzey ve Mekanik Özelliklere Etkisi," *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, cilt 11, hayır. 1, s. 61-70, 2022.

- [12] A. Handa, V. Chawla, "Investigation of mechanical properties of friction welded AISI 304 and AISI 1021 steels," *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 75 (9), 1493-1500, 2014.
- [13] H. Kejanlı, "Diffusion welding of stainless steel 304L/Monel K-500 composite materials produced with different methods," *Advanced Composites Letters*. January, 2020.
- [14] U. Arabacı, M. Çimen, "AISI 1050, AISI 304 ve AISI 430 tip çeliklerin yakma alın kaynak yöntemiyle kaynatılması ve mekanik özelliklerin incelenmesi," *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, 7 (4) , 927-937, 2019.
- [15] H. Çuğ ve F. Dağlar , "AISI304L ve AISI430 Kalite Paslanmaz Çeliklerin Nokta Direnç Kaynak Kabiliyetine İlave Yapıştırıcının Etkisi," *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, vol. 8, no. 2, pp. 1586-1603, Apr., 2020.
- [16] B. Bilgin, "Ti-6Al-4V/304L malzeme çiftinin bakır aratabaka kullanılarak difüzyon kaynağı ile birleştirilmesi," *Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, 2007.
- [17] M. Balasubramanian, "Characterization of diffusion-bonded titanium alloy and 304 stainless steel with Ag as an interlayer," *Int J Adv., Manuf Teknoloji*, 82:153–162, 2016.
- [18] O. Palabıyık, "Soğuk deformasyonun AISI 304 ve AISI 204Cu kalite paslanmaz çeliklerin mikro yapılarına, mekanik özelliklerine ve korozyon davranışlarına etkisi," *Yüksek lisans tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, 2013.
- [19] A. Yıldız, Y. Kaya, N Kahraman, "Joint properties and microstructure of diffusion-bonded grade 2 titanium to AISI 430 ferritic stainless steel using pure Ni interlayer," *Int J Adv Manuf Technol*, 86:1287–1298, 2016.
- [20] M. Taşkın, S. Ozan, "AISI 430-AISI 1010 çelik çiftinin Cu aratabaka kullanılarak yapılan TLP difüzyon kaynağında sıcaklığın birleştirmeye etkisinin araştırılması," *Fırat Üniversitesi Doğu Araştırmaları Dergisi* 2.3: 180-184, 2004.
- [21] G. Guo, Y. Shen, C. Cui, A. Gao, B. Wang, J. Yin, "Interfacial properties of friction stir lap welded 430/304 stainless steels using Cu interlayer," *Materials Letters* 284, 2021.
- [22] I. Hajiannia, M. Shamanian, M. Kasiri, "Microstructure and mechanical properties of AISI 347 stainless steel/A335 low alloy steel dissimilar joint produced by gas tungsten arc welding," *Mater Des*, 50 pp. 566-573, 2013.
- [23] H. Kejanlı, N. Katı, M.S. Keskin, "GR2-GR5 Titanyum alaşımlarının alüminyum aratabaka difüzyon yöntemi ile birleştirilmesi," *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, cilt. 8, hayır. 4, s. 817-825, 2017

- [24] M.A. Rady, P. Hussain, N.B. Shaik, B. Bakthavatchalam, "Investigation on the physical properties and diffusion layer phase transformation at the interface of Sialon-Duplex Stainless-Steel bonding," *Journal of Mechanical Engineering and Sciences* 15.3, 2021.
- [25] B. Szwed, M. Konieczny, "Evaluation of corrosion resistance of titanium/stainless steel diffusion joints bonded by interlayers made of pure metals," *Materials Science and Engineering*, Vol. 461. No:1., IOP, Publishing, 2018.
- [26] A.A.A. Akbar, S.A. Ajeel, and S.M. Hassoni, "Optimization of Diffusion Bonding of Pure Copper (OFHC) with Stainless Steel 304L," *Al-Khwarizmi Engineering Journal*, vol. 14, no.2, p.p. 30-39, 2018.
- [27] O. Torun, İ. Çelikyürek ve B. Baksan, "Ni75Al25 alaşımı ve 316 L paslanmaz çeliğin bakır ara tabaka kullanılarak difüzyon kaynağı," *El-Cezeri* cilt: 6. no: 3: 517-524, 2019.
- [28] F. Tolun, "Bakır ve Porselen Malzemelerin Difüzyon Kaynağı İle Birleştirilebilirliğinin İncelenmesi ve Analizi," *Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, 2013.
- [29] J. C. Lippold, "Lippold, JC., Kotecki, DJ," 142-144, 2005.
- [30] O. Outokumpu, "Handbook of stainless steel," *Outokumpu Stainless AB, Sweden*, 2013.
- [31] M. Talha, C.K Behera ve O.P Sinha, "A review of nickel-free nitrogen-containing austenitic stainless steels for biomedical applications," *Materials Science and Engineering: C* 33.7 (2013): 3563-3575, 2013.
- [32] R. Yılmaz ve Z. Barlas, "Paslanmaz çeliklerin gazaltı kaynak yöntemi ile birleştirilmesinde koruyucu gaz kompozisyonunun mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisi," *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 11.3 (2011): 391-400, 2005.
- [33] B. Yavuzer, "Mekanik Alaşımlama ile Üretilen AISI 304 Östenitik Paslanmaz Çeliklere Alaşım Elementlerinin Etkisi," *Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, 2019.
- [34] E. Çetin, "Paslanmaz Çeliklerin Lazer Nokta Kaynak Yöntemiyle Birleştirilmesinin Mikro Yapı ve Mekanik Özelliklere Etkisi," *Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, 2019.
- [35] M. Türkan, "Kaynaklı ve kaynaklı olmayan östenitik paslanmaz çeliklerin korozyon ortamlardaki çekme davranışları," *Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Pamukkale Üniversitesi*, 2013.
- [36] U. Çalığülü, "AISI 304-430 paslanmaz-AISI 1010 çelik çiftlerinin lazer yöntemi ile kaynağında birleşme özelliklerinin incelenmesi," *Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi*, 2009.

- [37] L. Yakut, “Toz Enjeksiyon Kalıplama Metodu ile Üretilen AISI-420 Martenzitik Paslanmaz Çeliklere Niyobyum İlavesinin Etkisi: Mikroyapı, Mekanik ve Korozyon Özellikleri,” Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2020.
- [38] M. Şen, “AISI 304 Tipi Ostenitik Paslanmaz Çeliklerde Soğuk Şekillendirme Miktarının Korozyon Üzerine Etkisinin İncelenmesi,” Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2010.
- [39] H. Kejanlı, M. AVCI, “T/M yöntemiyle üretilmiş Mg-Ti alaşımının difüzyon kaynağı ile birleştirilmesine aratabakanın etkisi,” Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 9(1), 279-289, 2018.
- [40] B. Kurt, N. Orhan, “Dubleks Paslanmaz Ve AISI 4140 Çeliğinin Difüzyon Kaynağı Tekniği İle Birleştirilebilirliğinin Araştırılması,” 1. Uluslar Arası Mesleki Ve Teknik Eğitim Teknolojileri Kongresi, Marmara Üniversitesi, 2005.
- [41] E. Atasoy, “Titanyum ve Düşük Karbonlu Çelik Çiftinin Arabağlayıcı Kullanılarak Difüzyon Kaynağı İle Birleştirilebilirliğinin Araştırılması,” Bilim Uzmanlığı Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.
- [42] S. Dunkerton, “Diffusion bonding,” TWI World Centre For Materials Joining Technology, 1-5, 2001.
- [43] H. Kejanlı, “Toz metalurjisi yöntemiyle üretilmiş Ni-Ti-Cu alaşımlarının sıvı faz difüzyon kaynağı ile birleştirilebilirliğinin araştırılması,” Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.
- [44] M. Say, “Mikro Alaşım Bor İçerikli AISI 8620 Çeliğinin Nikel Ara Folyo Kullanılarak Difüzyon Kaynağının Araştırılması,” Yüksek Lisans Tezi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2021.
- [45] U. Delice, “1,4462 Dubleks Paslanmaz Çelik Malzemelerin Nikel Ara Tabaka Kullanarak Difüzyon Kaynağı İle Birleştirilmesi,” Yüksek Lisans Tezi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2021.
- [46] S. Kitapçı, “AISI 4340 VE AISI 316 L çelik çiftinin difüzyon kaynağı,” Yüksek Lisans Tezi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2020.
- [47] L. Fidan, “Saf Alüminyum ve Saf Bakırın Difüzyon Kaynağında Arafazların Oluşumu ve Etkisi,” Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
- [48] T. Osmanoğlu, “AISI 304 VE 430 Kalite Paslanmaz Çeliklerin Mikroyapılarına, Mekanik Özelliklerine ve Korozyon Davranışlarına Soğuk Deformasyonun Etkileri,” Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2012.

[49] M. Biçen, “Farklı ark kaynak yöntemleriyle birleştirilen yüksek mukavemetli API 5L X80 çeliğinin mekanik özelliklerinin belirlenmesi,” MS thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2019.

[50] S. Özüak, “Taguchi deney tasarımlarının excel çizelge arayüzleriyle uygulanması,” Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, 2008.

[51] B. Yıldız, “Derin çekme işleminde kalıp tasarımının sonlu elemanlar yöntemi ile optimizasyonu,” Yüksek Lisans Tezi, Dicle üniversitesi, 2017.

[52] M. Konar, “DP600-8XXX serisi alüminyum alaşımının CMT tekniği ile birleştirilebilirliğinin incelenmesi,” Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, , Fen Bilimleri Enstitüsü, 2017.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyad, Ad :

TOSUN Gamze

E-Posta :

Eğitim Bilgileri

Derece	Kurum	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans :	Dicle Üniversitesi	2022
Lisans :	Dicle Üniversitesi	2017

İş Deneyimi

Dönem (Yıl) /	Şirket, Kurum/	Görev

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

- 1.
- 2.
- 3.
- 4.

Özel İlgiler

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEZ BENZERLİK BİLDİRİMİ FORMU

Öğrencinin Adı, Soyadı	Gamze TOSUN		
Öğrenci No	18818006		
Ana Bilim Dalı	Mühendislik		
Program Türü	Proje ☐	Yüksek Lisans ☒	Doktora ☐
Tez Danışmanı (Ünvanı, Adı, Soyadı)	Dr. Öğr. Üyesi Haluk KEJANLI		
(Varsa) II. Tez Danışmanı (Ünvanı, Adı, Soyadı)			
Tez Başlığı	ÖSTENİTİK (304) VE FERRİTİK (430) PASLANMAZ ÇELİKLERİNBAKIRARATABAKA KULLANILARAK DİFÜZYON KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLMESİ.		
RAPOR BİLGİLERİ			
Raporlama Aşaması	Tez Savunma Sınavı Sonrası		
Sayfa Sayısı	67		
Raporlama Tarihi	06.07.2022		
Benzerlik Oranı (%)	19		

Yukarıda bilgileri verilen tez çalışmamın toplam 67 sayfalık kısmına ilişkin, 06/07/2022 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin isimli intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan intihal raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 19 olarak tespit edilmiştir.

Uygulanan filtrelemeler:

- ☐Başlangıç Bölümleri (Kabul ve Onay sayfası, Teşekkür sayfası, Özet/Abstract) hariç
☐Kaynaklar hariç
☐Alıntılar hariç/dâhil
☒Diğer (Her şey dahil)

Tezimin benzerlik oranı, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İntihal Raporu Uygulama Esaslarında belirtilen üst sınır benzerlik oranını aşmamaktadır. Benzerlik oranım üst sınır benzerlik oranının altında olsa dahi aksinin tespit edilmesi durumunda her türlü yasal sorumluluğu kabul ettiğimi ve hukuki sonuçlarına razı olduğumu bildirir, gereğini arz ederim.

Öğrencinin Adı, Soyadı: Gamze TOSUN

Tarih: 06.07.2022

İmza:

Danışman Adı, Soyadı:

Dr. Öğr. Üyesi Haluk KEJANLI

Tarih:06.07.2022

İmza:

Ana Bilim Dalı Başkanı Adı, Soyadı:

Prof. Dr. Vedat ORUÇ

Tarih:06.07.2022

İmza: