

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİRBİRİNE BENZEMEYEN MALZEMELERİN KAYNAKLANABİLİRLİĞİNİN
İNCELENMESİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MUSTAFA ELMAS

HAZİRAN 2024

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİRBİRİNE BENZEMEYEN MALZEMELERİN KAYNAKLANABİLİRLİĞİNİN
İNCELENMESİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mustafa ELMAS

DANIŞMAN: Dr. Öğr. Üyesi Oğuz KOÇAR

ZONGULDAK

Haziran 2024

KABUL:

Mustafa ELMAS tarafından hazırlanan “Birbirine Benzemeyen Malzemelerin Kaynaklanabilirliğinin İncelenmesi” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle/oyçokluğuyla kabul edilmiştir./...../20....

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Oğuz KOÇAR

.....
Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü

Üye: Doç. Dr. Nergizhan ANAÇ

.....
Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Yusuf ARSLAN

.....
Düzce Üniversitesi, Düzce Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü

ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım./...../20....

Prof. Dr. Fikret GÖLGELEYEN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



“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.”

Mustafa ELMAS

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BİRBİRİNE BENZEMEYEN MALZEMELERİN KAYNAKLANABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

Mustafa ELMAS

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Oğuz KOÇAR

Haziran 2024, 57 sayfa

Sanayi alanında, farklı özelliklere sahip malzemelerin birleştirilmesi giderek önem kazanmakta ve bu birleşimlerin son ürünlerin sürekli yüksek performans sergilemesi beklentisini artırmaktadır. Bu tür malzeme kombinasyonlarının birleştirilmesinde sıkça tercih edilen yöntemlerden biri ergitme kaynağıdır. Bu araştırmada, gazaltı metal ark kaynağı yöntemi kullanılarak Protection 600T, DP450 ve S275JR gibi farklı çelik malzemeler, çeşitli kombinasyonlarda (benzer veya farklı) birleştirilmiş ve mikroyapı ile mekanik özellikleri detaylıca değerlendirilmiştir.

Ana metal malzemelerin çekme dayanımları sırasıyla 1524.73 ± 18.7 , 500.8 ± 10.4 ve 508.5 ± 9.5 MPa olarak belirlenmiştir. Benzer malzemelerin kaynaklı numunelerinde en yüksek verim DP450/DP450 çiftinde %103.05 olarak bulunmuş, farklı malzeme çiftlerinden ise DP450/S275JR çiftinde %105.5 olarak ölçülmüştür.

ÖZET (devam ediyor)

Protection 600T, DP450 ve S275JR ana malzemeler için sertlik değerleri sırasıyla 526.5 ± 10.5 , 153.8 ± 1.8 ve 162.5 ± 5.2 olarak ölçülmüştür. Tüm kaynaklı numunelerde, kaynak bölgesinde (kaynak telinden dolayı) ve ısı etkisi altındaki bölgede (tane boyutundaki küçülmeye bağlı olarak) sertlik artışı gözlemlenmiştir. Benzer malzeme çiftlerinin impact enerji değerleri base malzeme impact enerji değerlerine yakın çıkarken, farklı malzeme çiftlerinin impact enerji değeri base malzemelere göre değişiklik göstermiştir. Ek olarak, benzer malzemelerle oluşturulan bağlantılarda eğme kuvveti ana malzemelere yakın çıkarken, farklı malzemelerle oluşturulan bağlantılarda eğme kuvvetinde azalma gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak, DP450 ve S275JR malzemelerinin kaynağı verimli bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Protection 600T'nin ise diğer malzemelerle kaynağı yapılmış olsa da, kaynak dayanımı mekanik özellikleri düşük olan malzeme dayanımı ile sınırlı kalmıştır.

Anahtar Kelimeler: Farklı çelik birleşimleri, gazaltı ark kaynağı, kaynak mukavemeti, mekanik özellikler, Protection 600T, DP450 ve S275JR

Bilim Kodu: 625.02.00

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

AN INVESTIGATION OF THE WELDABILITY OF DISSIMILAR MATERIALS

Mustafa ELMAS

**Zonguldak Bülent Ecevit University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering**

Thesis Advisor: Assist. Prof. Dr. Oğuz KOÇAR

June 2024, 57 pages

In the industrial sector, the merging of materials with different properties is progressively gaining importance, enhancing the expectation for the resulting products to consistently deliver high performance. Among the commonly preferred methods for merging such material combinations is fusion welding. This study involves the fusion welding of various steel materials such as Protection 600T, DP450, and S275JR using the gas metal arc welding method, in different combinations (similar or dissimilar), and meticulously evaluates their microstructure and mechanical properties.

The tensile strengths of the base metal materials are determined as 1524.73 ± 18.7 , 500.8 ± 10.4 , and 508.5 ± 9.5 MPa, respectively. In welded samples of similar materials, the highest efficiency is found in the DP450/DP450 pair at 103.05%, while in different material pairs, it measures 105.5% in the DP450/S275JR combination.

ABSTRACT (continued)

For Protection 600T, DP450, and S275JR base materials, hardness values are measured as 526.5 ± 10.5 , 153.8 ± 1.8 , and 162.5 ± 5.2 , respectively. Across all welded samples, an increase in hardness is observed in the welding zone (due to the welding wire) and the heat-affected zone (due to grain size reduction). While the impact energy values of similar material pairs closely match the base material impact energy values, those of different material pairs vary compared to the base materials. Additionally, bending strength is close to that of the base materials in connections made with similar materials, while a decrease is observed in connections made with different materials.

In conclusion, the welding of DP450 and S275JR materials is efficiently executed. However, the welding strength of Protection 600T, although merged with other materials, remains limited by the material's inherently lower mechanical properties.

Keywords: Dissimilar steel joints, gas metal arc, welding strength, mechanical properties, Protection 600T, DP450 and S275JR

Science Code: 625.02.00

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca hiçbir zaman desteğini esirgemeyen, bilgi ve tecrübeleri ile tez sürecime yön veren ve gerçekleştirilmesini sağlayan tez danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Oğuz KOÇAR'a ve Doç. Dr. Nergizhan ANAÇ'a çok teşekkür ederim.

Tez projemde gerekli malzeme temini ve deney çalışmalarında katkıda bulunan ERDEMİR/ERDEMİR MÜHENDİSLİK ailesine ve AR-GE çalışanlarına çok teşekkür ederim.

Çalışma arkadaşlarım, Tezcan ÇOLAK, Gökhan Deniz UMUCU, Caner GENÇ ve eşi Sayın Dr. Cemre Nur BALCI GENÇ, Sergen TEMEL, Turgay ÇAKIR, Güray CANKAN, Yavuz Selim ÜNSAL, Ümit ÇELİK ve Oğuzhan ÖZTÜRK'e yardım ve desteklerinden dolayı çok teşekkür ederim.

Ayrıca bana destek olan değerli aileme teşekkür etmek istiyorum. Her adımda yanımda olan ve beni motive eden sevgili eşime, bana neşe ve ilham kaynağı olan canım kızım ve oğluma, sevgili annem ve rahmetli babama çok teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL:	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xv
BÖLÜM 1 GİRİŞ	1
1.1 KAYNAĞIN TANIMI VE ENDÜSTRİDEKİ YERİ	2
1.1.1 Kaynağın Tarihsel Gelişimi	2
1.1.2 Kaynağın Endüstrideki Önemi ve Kullanımı.....	3
1.2 KAYNAK YÖNTEMLERİ VE UYGULAMA ALANLARI.....	3
1.3 METAL AKTİF GAZ KAYNAĞI.....	4
1.3.1 MAG Kaynağının Prensipleri	5
1.3.2 MAG Kaynağında Kullanılan Sarf Malzemeler	5
1.3.3 Ark Karakteristiği	7
1.3.4 MAG Kaynağının Endüstriyel Kullanım Alanları.....	9
BÖLÜM 2 ÇELİK TÜRLERİ VE ÖZELLİKLERİ.....	11
2.1 ÇİFT FAZLI DP450 ÇELİĞİ.....	11
2.1.1 Kimyasal Özellikleri	12
2.1.2 Mekanik Özellikleri	13
2.2 YAPISAL S275JR ÇELİĞİ.....	13

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
2.2.1 Kimyasal Özellikleri	14
2.2.2 Mekanik Özellikleri	14
2.3 PROTECTION 600T ÇELİĞİ.....	14
2.3.1 Kimyasal Özellikleri	15
2.3.2 Mekanik Özellikleri	15
BÖLÜM 3 MATERYAL VE YÖNTEM.....	17
3.1 KULLANILAN ÇELİK MALZEMELERİ VE KAYNAK TELİ	17
3.2 KAYNAK İŞLEMİ İÇİN ÖN HAZIRLIKLAR.....	18
3.3 MEKANİK TEST VE MİKROYAPI NUMUNELERİNİN HAZIRLANMASI.....	20
BÖLÜM 4 BULGULAR.....	23
4.1 TEMEL MALZEMELERİN MEKANİK VE MİKROYAPI ÖZELLİKLERİ.....	23
4.2 METALOGRAFİK MUAYENE.....	25
4.2.1 Birbirine Benzer Malzemelerin Kaynak Sonrası Mikroyapısı.....	25
4.2.3 Birbirine Benzemeyen Malzemelerin Kaynak Sonrası Mikroyapısı	27
4.3 MEKANİK TEST MUAYENESİ	30
4.3.1 Mikrosertlik.....	30
4.3.2 Çekme Testi	32
4.3.3 Bükme testi	35
4.3.4 Charpy V- Çentik Testi.....	36
BÖLÜM 5 TARTIŞMA	39
BÖLÜM 6 SONUÇ.....	43
KAYNAKLAR.....	45
ÖZGEÇMİŞ	49

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1 Gaz altı kaynak yönteminin şematik gösterimi.....	4
Şekil 1.2 Kısa ark metal iletimi.....	7
Şekil 1.3 Eksenel olmayan iri damla iletimi	8
Şekil 1.4 Eksenel spreyci iletimi.....	8
Şekil 3.1 Kaynak için ön hazırlık ve kaynak sırasında alınan görüntüler a: kaynak ağzının şematik görünümü b: ön tavlama sıcaklığının ölçülmesi c: MAG kaynak işlemi d: Kaynak işlemi esnasındaki Voltaj değerinin ölçümü e: Kaynak kep yüksekliğini ölçülmesi f: Sıvı penetran muayenesi g: Deney numunelerinin hazırlanması.	19
Şekil 3.2 Lincoln LF-33 gazaltı kaynak makinası.	19
Şekil 3.3 MJT4000 WATERJET marka su jeti kesim makinası.....	20
Şekil 3.4 Mekanik test ve mikroyapı için hazırlanan numunelerin ölçüleri.....	21
Şekil 3.5 QNess 10 A+ marka mikro-Vickers sertlik test cihazı.	21
Şekil 3.6 Wance marka darbe cihazı.	22
Şekil 3.7 Zwick / Roell marka çekme testi cihazı.	22
Şekil 4.1 Temel malzemeler için stres ve gerilim eğrileri.....	23
Şekil 4.2 Temel malzemelerin mikroyapısal görüntüsü a: Protection 600T (1000x), b ve c: DP450 d: DP450 martenzit faz oranı, e ve f: S275JR.	24
Şekil 4.3 Protection 600 T mikroyapı görüntüleri. a ve b Protection 600 malzeme geçiş bölgesi mikroyapıları (200x, 1000x) c ve d Kaynak bölgesi mikroyapıları (200x, 1000x).	25
Şekil 4.4 DP450-DP450 için mikroyapı görüntüleri. a, b ve c: HAZ bölgesi (500x, 1000x) ve faz oranı d, e ve f: Kaynak bölgesi mikroyapı görüntüleri (500x, 1000x) ve faz oranı.....	26
Şekil 3.5 S275JR-S275JR malzeme çifti için mikroyapı görüntüleri. a ve b: ITAB bölgesi (500x, 1000x) c ve d: Kaynak bölgesi mikroyapı görüntüleri (500x, 1000x).....	27
Şekil 3.6 Protection 600T-S275JR malzeme çifti için mikroyapı görüntüleri a ve b: ITAB bölgesi (500x, 1000x) c ve d: Kaynak bölgesi mikroyapı görüntüleri (500x, 1000x)	28

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 4.7 DP450-Protection 600T malzeme çifti için mikroyapı görüntüleri. a ve b: ITAB bölgesi (500x, 1000x) c ve d: Kaynak bölgesi mikroyapı görüntüleri (500x, 1000x)	29
Şekil 4.8 DP450-S275JR malzeme çifti için mikroyapı görüntüleri. a ve b: ITAB bölgesi (500x, 1000x) c ve d: Kaynak bölgesi mikroyapı görüntüleri (500x, 1000x).....	30
Şekil 4.9 Protection 600T, S275JR ve DP450 numunelerinin kaynak sonrası mikrosertlik ölçümleri.....	31
Şekil 4.10 Kaynak sonrası stress-uzama diyagramı.	33
Şekil 4.11 Kaynaklı numunenin çekme kırılması morfolojileri (Kaynak Alanı: WA (welding area), Kırılma Alanı: RA (rupture area)).	34
Şekil 4.12 Darbe çentik sonrası seçilen numunelerin kırılma yüzeyleri.	37

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 DP450 çeliğinin kimyasal özellikleri (wt%).....	12
Çizelge 2.2 DP450 çeliğinin mekanik özellikleri.....	13
Çizelge 2.3 S275JR çeliğinin kimyasal özellikleri (wt%).....	14
Çizelge 2.4 S275JR çeliğinin mekanik özellikleri.	14
Çizelge 2.5 Protection 600T çeliğinin kimyasal özellikleri (wt%).....	15
Çizelge 2.6 Protection 600T çeliğinin mekanik özellikleri.....	15
Çizelge 3.1 ER70S-A1 kaynak telinin kimyasal özellikleri.....	17
Çizelge 3.2 ER70S-A1 kaynak telinin mekanik özellikleri.	17
Çizelge 3.3 Çeliklerin kimyasal özellikleri (wt%).....	18
Çizelge 3.4 Çeliklerin mekanik özellikleri.....	18
Çizelge 3.5 Kaynak için planlanan deney tasarımı.	18
Çizelge 3.6 Kaynak Parametreleri.....	20
Çizelge 4.1 Kaynak sonrası mekanik özellikler	33
Çizelge 4.2 Kaynak öncesi ve sonrası numunelerin maksimum eğme testi sonuçları.....	36
Çizelge 4.3 Charpy V-çentik deney sonrası darbe enerjisi.	37



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

Al	: Alüminyum
C	: Karbon
CO ₂	: Karbondioksit
Cr	: Krom
MAG	: Metal Aktif Gaz
Mn	: Manganez
Ni	: Nikel
P	: Fosfor
S	: Kükürt
Si	: Silisyum

KISALTMALAR

DP	: Dual phase
GMAW	: Gaz Altı Metal Aktivliği Kaynağı
HAZ	: Heat Afected Zone
ITAB	: Isı Tesiri Altında Kalan Bölge
PAGB	: Prior Austenite Grain Boundaries
TRIP	: Transformation-Induced Plasticity
TWIP	: Twinning-Induced Plasticity
UTS	: Maksimum Çekme Mukavemeti



BÖLÜM 1

GİRİŞ

Dünya genelinde teknolojinin gelişmesiyle, yüksek mukavemetli çelik malzemelere olan ihtiyaç gün gittikçe artmaktadır [1]. Bu nedenle endüstride malzemelerin/çeliklerin kendisinden başka malzemelerle birlikte kullanılarak niteliğinin geliştirilmesi çok olağan bir durumdur/ çok yaygındır. Birbirine benzemeyen malzemelerin birlikte kullanılmasıyla üretilmiş çeşitli yapı ve sistemler bulunmaktadır. Özellikle endüstriyel uygulamalar ve akademik çalışmalarda zırh çelikleri, Twinning-induced plasticity (TWIP) steels, transformation-induced plasticity (TRIP) steels ve Dual phase (DP) vb. gibi yüksek mukavemetli çelikler ile yapı çeliklerinin birlikte kullanıldıkları görülmektedir [2, 3]. Ayrıca, nükleer santraller, petrol rafinerileri ve savunma sanayi (askeri araçlar vs.) gibi özel alanlarda ise birbirine benzemeyen malzemelerin/bu malzemelerin bir arada kullanılması/kullanılabilirliği ayrı bir önem arz eder [4, 5]. Bunun yanı sıra, kalın parçalar yerine ince fakat yüksek mukavemete sahip parçaların birleştirilmesi hafiflik avantajı getirir [2]. Bu yüzden malzemelerin birleştirme teknolojilerindeki (kaynak işlemleri vb.) davranışlarının bilinmesi sanayide/endüstride hem güvenli hem de verimli olarak kullanılabilmesi için oldukça gereklidir [6]. Bu amaçla yapılmış araştırmalarda birbirine benzemeyen metal malzemelerin birleştirilmesinde gaz metal ark kaynağının, farklı metallerin ve metal alaşımlarının kaynakları arasında en etkili tekniklerden biri olduğu tespit edilmiştir [7-11]. Birbirine benzemeyen metal malzemelerin gaz metal ark kaynağı; genellikle kimyasal bileşimleri, ergime sıcaklıkları ve ısıl genişleme özellikleri farklı olan en az iki metalin veya alaşımın birleştirilmesiyle yapılmaktadır [12]. Farklı kimyasal ve mekanik özelliklere sahip bu malzemelerin kaynakla birleştirilmesi işleminde, kaynak bölgesindeki fiziksel özelliklerin değişmesi nedeniyle kaynak mukavemetini değerlendirmek kolay değildir [13]. Kaynağın düzgün ve doğru yapılması, uygun kaynak işleminin seçilmesine, işlem parametrelerine, metallerin özelliklerine ve işlem şartlarına bağlıdır [14]. Birbirine benzemeyen metallerde ısıl genişlemenin farklı olması sebebiyle kaynak sırasında gerilimli korozyon çatlama, artık gerilme oluşumu ve kaynağın her iki tarafında gerilim konsantrasyonunun bozulması gibi istenmeyen çeşitli hatalar meydana gelebilmektedir [15, 16]. Kaynak işleminde bir

parametrenin değişmesiyle kaynak özellikleri önemli ölçüde etkilenmektedir. Bu sebepten ötürü bazı araştırmacılar, kaynak işleminin parametrelerini kontrol ederek kaynaklı parçaların mekanik özelliklerinin geliştirilmesine odaklanmaktadır [17].

1.1 KAYNAĞIN TANIMI VE ENDÜSTRİDEKİ YERİ

Kaynak, benzer veya farklı malzemelerin enerji, ısı, basınç veya kuvvet uygulanarak birleştirilmesi ile sürekli bir yapı oluşturulmasını sağlayan işlemdir. Kaynak, birbirine bağlanacak parçaların kenarlarının veya yzeylelerinin ısıtılması ve eritilmesiyle gerçekleştirilir. Daha sonra, erimiş metal soğuyarak ve katılaşarak birleştirilecek parçaları bir araya getirir. Kaynak sırasında dolgu kullanılırsa, kaynaklanan malzemeler arasındaki bağlantıyı güçlendirmek ve istenilen sonuçları elde etmek için dolgu malzemesinin erime sıcaklığının kaynaklanan malzemelerin erime sıcaklığına yakın olması önemlidir [18]. Kaynak işlemi, farklı yöntemler kullanılarak gerçekleştirilebilir.

En yaygın kaynak yöntemleri arasında Elektrik Ark Kaynağı (Electric Arc Welding), Gaz Kaynağı (Gas Welding), Direnç Kaynağı (Resistance Welding), Ark Gaz Kaynağı (Gas Metal Arc Welding) ve Tungsten Ark Gaz Kaynağı (Gas Tungsten Arc Welding) bulunmaktadır. Kaynak, metal parçaları bir araya getirme ve güçlü bağlantılar oluşturma yeteneği nedeniyle birçok endüstride yaygın olarak kullanılır. Otomotiv, gemi yapımı, inşaat, metal mobilya imalatı, havacılık, boru hatları, enerji santralleri gibi birçok endüstride kaynak işlemi önemli bir rol oynamaktadır. Sağlam ve dayanıklı bağlantılar oluşturarak yapısal bütünlüğü sağlar ve parçalar arasında mekanik mukavemeti arttıran kaynak, birçok endüstriyel uygulama için temel bir üretim ve onarım yöntemi olarak kabul edilir.

1.1.1 Kaynağın Tarihsel Gelişimi

Kaynak işlemine yönelik erken form örnekleri, insanlık tarihinin çok eski zamanlarına kadar uzanır. Antik ağlarda, metal parçaları birleştirmek için lehimleme gibi basit kaynak yöntemleri kullanılıyordu. Lehimleme, metal parçaları ısıtarak eriyen bir lehim malzemesi ile birbirine bağlama işlemidir. Bu yöntem, bakır, gümüş ve altın gibi düşük erime noktasına sahip metallerin birleştirilmesinde yaygın olarak kullanılmıştır. Ortaçağ boyunca ve Rönesans döneminde, demircilik ve metal işçiliği alanındaki gelişmelerle kaynak işlemi daha da önem kazandı. Demirciler, ateşin kullanımıyla metalleri şekillendirme ve birleştirme konusunda

uzmanlaştılar. Özellikle 15. yüzyılda, demir parçaları birleştirmek için kıvılcım üreten bir alet olan "kaynak çekiçleri" geliştirildi. Sanayi Devrimi ile birlikte, kaynak teknolojilerinde büyük ilerlemeler kaydedildi. 19. yüzyılın ortalarında, elektrikli ark kaynağı gibi modern kaynak yöntemleri geliştirildi. Bu, endüstriyel üretimde büyük bir devrim yarattı ve metal işleme sektöründe kullanımı hızla yaygınlaştı. 20. yüzyıl boyunca, kaynak teknolojileri giderek daha fazla çeşitlilik kazandı ve iyileştirildi [19].

1.1.2 Kaynağın Endüstrideki Önemi ve Kullanımı

Kaynak, endüstriyel faaliyetler açısından büyük öneme sahiptir ve geniş bir uygulama alanına sahip olup, metal parçaların bir araya getirilmesinden yapıların inşasına ve onarımlarına kadar birçok alanda kullanılmaktadır. Özellikle otomotiv endüstrisinde, kritik parçaların üretiminde kaynak işlemi oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Benzer şekilde, gemi yapımında çeşitli metal yapıların oluşturulması ve gemi gövdelerinin kaynaklanması önemli bir rol oynamaktadır. İnşaat sektöründe ise, çelik çerçevelerin montajı ve yapısal güçlendirme işlemlerinde kaynak kullanımı oldukça yaygındır. Elektronik endüstrisinde de, hassas bileşenlerin bir araya getirilmesi ve lehimlenmesinde kaynak teknolojisi önemli bir yer tutmaktadır. Kaynak, sağlam, dayanıklı ve estetik açıdan tatmin edici bağlantılar oluşturarak ürün kalitesini artırırken, aynı zamanda üretim süreçlerini de optimize eder. Bununla birlikte, kaynak işlemi hızlı ve verimli bir şekilde gerçekleştirilebilir, bu da üretim verimliliğini artırır ve maliyetleri düşürür. Dolayısıyla, endüstride kaynak, birçok sektörde temel bir üretim ve montaj işlemi olarak kabul edilir ve modern endüstrinin vazgeçilmez bir unsuru haline gelmiştir.

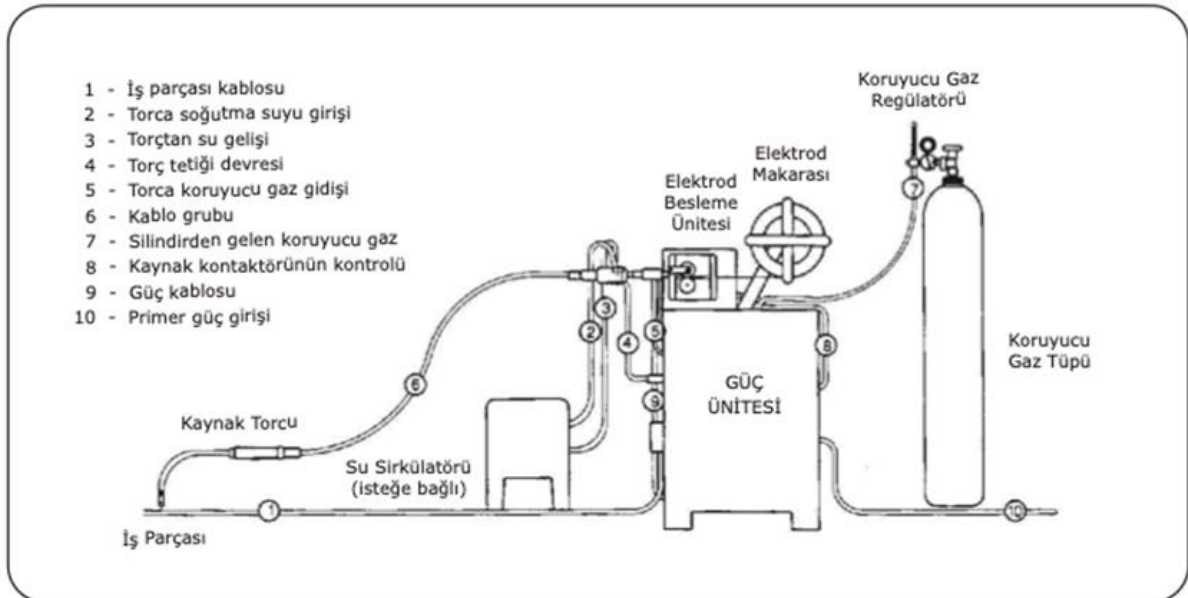
1.2 KAYNAK YÖNTEMLERİ VE UYGULAMA ALANLARI

Kaynak işlemi, çeşitli yöntemler aracılığıyla gerçekleştirilir ve her bir yöntemin belirli endüstriyel uygulama alanları bulunmaktadır. Elektrik ark kaynağı, metal parçaları birleştirmek için bir elektrot aracılığıyla yüksek sıcaklıklı bir elektrik arkı kullanır. Bu yöntem, otomotiv endüstrisinden gemi yapımına kadar geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir. Gaz kaynağı, oksijen ve asetilen gibi gazların yanması sonucu oluşan yüksek sıcaklıkta bir alev kullanarak metal parçaları birleştirir. İnşaat sektöründe yapısal çelik montajı ve bakım işleri gibi alanlarda yaygın olarak kullanılır. Direnç kaynağı, metal parçaları birleştirmek için elektrik akımının direncinden kaynak ısısı üreten bir yöntemdir. Otomotiv endüstrisinde gövde parçalarının

üretimi ve elektronik endüstrisinde lehimleme işlemleri için kullanılır. Ark Gaz Kaynağı ve Tungsten Ark Gaz Kaynağı yöntemleri, elektrotlar aracılığıyla bir elektrik arkı oluşturur ve koruyucu bir gaz atmosferi altında eritme sağlar. Metal yapılar, boru hatları ve hassas parçaların üretimi gibi çeşitli uygulama alanlarında kullanılırlar. Her bir kaynak yönteminin avantajları ve dezavantajları vardır ve doğru yöntemin seçimi, uygulama gereksinimlerine ve malzemelerin özelliklerine bağlıdır. Bu yöntemler endüstriyel üretim süreçlerinde yaygın olarak kullanılır ve metal parçaların bir araya getirilmesi ve yapısal bütünlüğün sağlanması için önemli araçlar sunarlar.

1.3 METAL AKTİF GAZ KAYNAĞI

Metal Aktif Gaz (MAG) kaynağı, orta ila yüksek kaynak metal birikim hızları üretebilen, yarı otomatik bir kaynak işlemidir. MAG işlemi, bir tüketilebilir elektrot ile iş parçası arasında bir doğru akım arkının kullanıldığı bir işlem olup, sürekli olarak ark bölgesine beslenen tüketilebilir tel elektrodu eritmek ve baz metali eritmek için kullanılır. Eritilmiş bir kaynak havuzu oluşturulur ve katılaştığında kaynak bağlantısını oluşturur. Eritilmiş elektrot ve kaynak havuzu, aktif (oksitleyici) gazın bir kalkanı ile atmosferden korunur [20]. Gaz altı kaynak yönteminin şematik gösterimi Şekil 1.1’de verilmiştir.



Şekil 1.1 Gaz altı kaynak yönteminin şematik gösterimi [21].

1.3.1 MAG Kaynağının Prensipleri

MAG kaynağı, manuel, mekanize ve otomatik robotik uygulamalar için uygundur. Bir elektrik motoru, kaynak tabancası aracılığıyla kontrol edilen bir hızda bir tüketilebilir tel elektrodu arkın içine besler. Burada, tel elektrodunun ucu, başlıca kaynak akımı tarafından kontrol edilen bir hızda erir. Güç kaynağı, kaynakçının/denetleyicinin eklemde tam bir birleşme sağlamaya odaklanabilmesi için sabit bir ark voltajını (ark uzunluğunu) korumak üzere tasarlanmıştır [20]. MAG kaynağında ana parametreler ve etkileri şunlardır:

- Akım; nüfuziyeti ve kaynak banyosunu kontrol eder.
- Gerilim; elektrot damlacıklarının şeklini ve nüfuziyeti kontrol eder.
- İlerleme hızı; elektrot damlacıklarının boyutunu ve nüfuziyeti kontrol eder.

1.3.2 MAG Kaynağında Kullanılan Sarf Malzemeler

MAG Kaynağında Kullanılan Teller

Kaynak, dolgu teli veya örtülü elektrot kullanımıyla ısı ve/veya basınç uygulamasıyla metalleri birleştirmek için kullanılan önemli bir imalat işlemidir. Kaynaklı bileşenlerin hizmet sırasında güvenli performansını sağlamak için, uygun kaynak sarf malzemelerinin yanı sıra kullanılacak doğru kaynak parametresinin (akım) seçimi önemlidir [22].

Bazı kaynaklı bileşenlerin zamanından önce arızalanmasının, kaynak sarf malzemelerinin ve kaynak akımının uygunsuz seçiminden kaynaklandığını göstermektedir [23, 24] Kaynak sarf malzemelerinin ve kaynak akımının uygunsuz seçimiyle ilgili sorunlar, servis sırasında kaynaklı bileşenin mekanik davranışını bozan istenmeyen metalurjik mikro yapıların oluşumuna sebep olur.

Kaynak sarf malzemeleri terimi, kaynakçılar tarafından tam bir bağlantı oluşturmak için kullanılan gazlar ve dolgu tellerini ifade eder. Hizmete uygunluk ve maliyet açısından en uygun kaliteye ulaşmak için en uygun kaynak sarf malzemesinin seçimi büyük önem taşımaktadır. Seçim genellikle ana metalin metalurjisinin ve servis koşullarının incelenmesini içerir [25]. Kaynakçılar tarafından kullanılmak üzere piyasada ticari olarak temin edilebilen, değişen alایشim içeriğine sahip farklı tipte sarf malzemeler bulunmaktadır [22].

MAG Kaynağında Kullanılan Gazlar

Gazaltı kaynak yöntemlerinde, elektrik enerjisi, koruyucu gaz ve kaynak metal olmak üzere üç tür sarf malzemesi kullanılır. Kaynak telinin kimyasal bileşimi ve kullanılan koruyucu gaz türü, kaynak metalinin bileşimini ve mekanik özelliklerini belirleyen en önemli faktörlerdir. MAG yönteminde koruyucu gazın ark bölgesini tamamen kaplaması ve atmosferin olumsuz etkilerinden koruması gerekmektedir. MAG kaynağında aktif gazlar veya bunların çeşitli oranlarda karışımı kullanılabilir. Kaynak işlemi için gaz seçiminde çeşitli faktörler göz önünde bulundurulmalıdır; bunlar, kaynatılan metal veya alaşımın türü, ark karakteristiği ve metalin damla geçiş biçimi, kaynak hızı, parça kalınlığı ve gereken nüfuziyet, gazın tedarik edilebilirliği ve maliyeti, ve kaynak dikişinden beklenen mekanik özellikler gibi faktörlerdir.

Metal aktif gaz kaynağı, kullanılan koruyucu gazın türüne göre MAG-C (Karbondioksit) kaynağı ve MAG-M (Karışım gaz) kaynağı olarak iki ana gruba ayrılır [26].

Karbondioksit (CO₂), renksiz ve kokusuz bir gazdır, özgül ağırlığı 1,997 kg/m³'tür ve basınçlı tüplerde saklanır. 15°C'de, yaklaşık 65 atmosfer basınç altında tüpler doldurulur ve bu koşullarda gaz sıvı haldedir. Karbon yanması sonucunda oluşan CO₂, endüstriyel süreçlerde, yanıcı gazların üretiminde, kireç taşının kalsinasyonunda ve alkolün fermantasyonunda yan ürün olarak kullanılır. Gazaltı kaynak işletmelerine CO₂ genellikle tüpler içinde sağlanır ve tüp içindeki CO₂'nin büyük bir kısmı sıvı halde bulunur. Soğuk iklimlerde, CO₂ karının (kuru buz) çıkışını engellemek için tüplere elektrikli ısıtıcılar yerleştirilir.

CO₂'nin yanı sıra, MAG kaynağında inert ve aktif gazların çeşitli oranlarda karışımları kullanılabilir. Kullanılan çeşitli gazlar ve gaz karışımları, kaynak işleminin atmosferik karakterini etkiler. Argon, helyum gibi asal gazlar, nötr bir atmosfer oluştururken, argon gazına oksijen veya karbondioksit gibi aktif gazların eklenmesiyle oksitleyici bir atmosfer elde edilebilir. Hidrojen gazının karıştırılması ise redükleyici bir atmosfer oluşturur. Oksijenin karıştırılması, kaynak banyosunun sıcaklığını artırır, yüzey gerilimini azaltır ve kaynak banyosunun akıcılığını artırır.

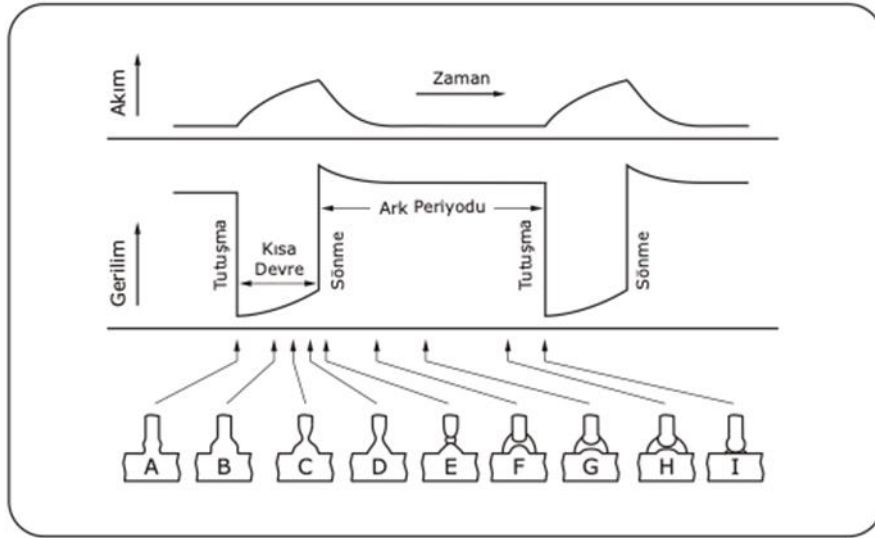
Ayrıca, düşük akım yoğunluklarında ince taneli ve kısa devresiz damla geçişinin oluşmasına yardımcı olur. Bu oksitleyici etki, mangan, silisyum, alüminyum, titanyum, zirkonyum gibi alaşım elementlerinin miktarı artırılarak dengelenir. Çeliğin MIG kaynağında, argon gazına

oksijen ve karbondioksit eklenerek bu etki sağlanır. Bu şekilde, oksijenin etkisiyle oksitlerin oluşumu hızlanır, yüzey gerilimi zayıflatılır ve ince taneli bir metal geçişi sağlanır [27].

1.3.3 Ark Karakteristiği

Kaynak işlemi sırasında oluşturulan ark, kaynağın temel unsurlarından biridir ve kaynak sürecindeki performansı etkiler. Ark karakteristiği, kaynakta kullanılan akım, voltaj ve gaz türü gibi faktörlere bağlı olarak değişir. Üç temel ark karakteristiği kısa ark, uzun ark ve spreyci ark olarak ayrılmaktadır;

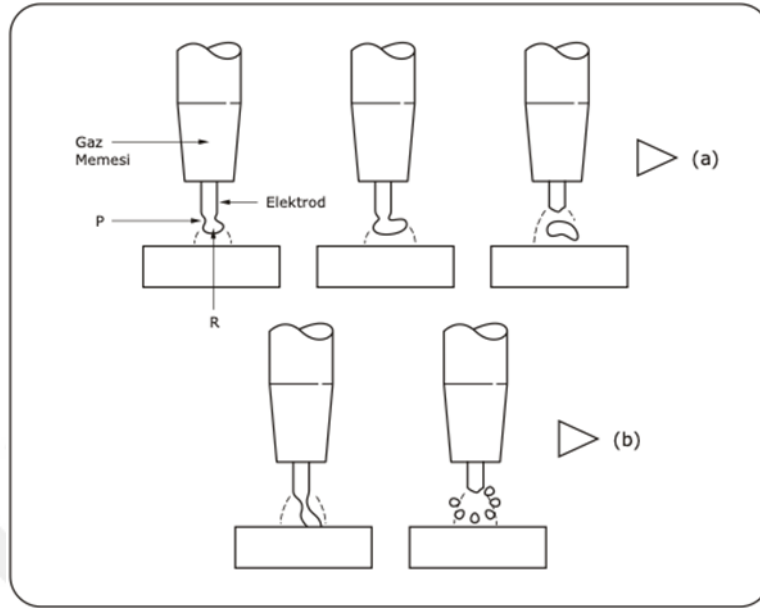
Kısa Ark; kaynak elektrodu ve iş parçası arasındaki mesafenin kısa olduğu bir ark karakteristiğidir. Bu tip ark, düşük voltaj ve yüksek akım kullanılarak oluşturulur. Kısa ark, genellikle düşük akım yoğunlukları ve küçük kaynak akımları için kullanılır. Bu ark tipi, daha yoğun bir ısı sağlar ve daha derin bir nüfuziyet sağlayabilir. Kısa ark kullanımı, ince metal levhaların kaynağında yaygın olarak tercih edilir. Kısa ark metal iletimin şematik gösterimi Şekil 1.2’de verilmiştir.



Şekil 1.2 Kısa ark metal iletimi [21].

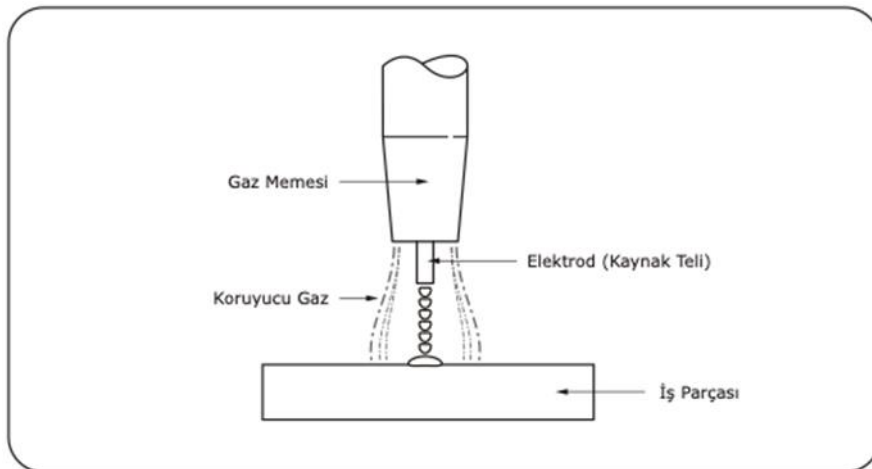
Uzun Ark; kaynak elektrodu ve iş parçası arasındaki mesafenin daha uzun olduğu bir ark karakteristiğidir. Bu tip ark, yüksek voltaj ve düşük akım kullanılarak oluşturulur. Uzun ark, genellikle kalın metal levhaların kaynağı için tercih edilir. Uzun ark, daha az yoğun bir ısı sağlar

ve daha yüzeyde kalır, bu da daha geniş bir kaynak havuzuna neden olabilir. Uzun ark damla iletimin şematik gösterimi Şekil 1.3’de verilmiştir.



Şekil 1.3 Eksenel olmayan iri damla iletimi [28].

Sprey Ark; yüksek akım yoğunlukları ve düşük voltajlar kullanılarak oluşturulan bir ark karakteristiğidir. Bu tip ark, kaynak elektrodu ve iş parçası arasındaki mesafenin orta uzunlukta olduğu bir aralıkta oluşur. Sprey ark, daha yüksek hızlarda ve daha büyük kalınlıklardaki metal levhaların kaynağı için kullanılır. Bu ark tipi, erimiş metalin küçük damlalar halinde püskürtülerek kaynak havuzuna aktarıldığı bir süreci içerir. Sprey ark, daha az sıçrama ve daha temiz bir kaynak sağlayabilir. Sprey iletimin şematik gösterimi Şekil 1.4’de verilmiştir.



Şekil 1.4 Eksenel spreyletim [29].

1.3.4 MAG Kaynağının Endüstriyel Kullanım Alanları

MAG kaynağı, endüstriyel uygulamalarda geniş bir kullanım alanına sahiptir. Özellikle otomotiv endüstrisinde, araçların şasi, gövde ve egzoz sistemleri gibi kritik parçalarının üretiminde sıkça tercih edilir. MAG kaynağı, yüksek kaliteli ve dayanıklı kaynak bağlantıları sağlayarak araçların güvenilirliğini ve dayanıklılığını artırır. Gemi inşaatında da yaygın olarak kullanılan bu yöntem, çeşitli metal yapıların birleştirilmesinde ve gemi gövdelerinin kaynaklanmasında etkili bir çözüm sunar. İnşaat sektöründe, çelik çerçevelerin montajı ve yapısal güçlendirme işlemlerinde MAG kaynağı sıklıkla kullanılır ve yapıların sağlam bir şekilde birleştirilmesini sağlar. Elektronik endüstrisinde de MAG kaynağı önemli bir rol oynar; hassas bileşenlerin birleştirilmesi ve lehimlenmesinde kullanılan bu yöntem, elektronik cihazların üretiminde güvenilir ve sağlam bağlantılar sağlar. Metal işleme endüstrisinde de geniş bir kullanım alanına sahip olan MAG kaynağı, çeşitli metal parçaların birleştirilmesi, tamirata ve imalatında etkili bir çözüm sunar. MAG kaynağının sağladığı güvenilir ve dayanıklı bağlantılar, üretim süreçlerini optimize ederken endüstriyel verimliliği artırır ve maliyetleri düşürür. Bu nedenle, MAG kaynağı modern endüstrinin vazgeçilmez bir bileşeni olarak kabul edilir ve geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir.



BÖLÜM 2

ÇELİK TÜRLERİ VE ÖZELLİKLERİ

Çelik, demir ve karbonun çeşitli oranlarda bir araya gelmesiyle oluşan bir alaşımdır. Farklı çelik türleri, içerdikleri karbon miktarına, diğer alaşım elementlerine ve işlenme yöntemlerine bağlı olarak çeşitli özelliklere sahiptir. Endüstriyel amaçlar için çeşitli çelik türleri mevcuttur. Her bir çelik türünün mikroyapı ve mekanik özellikleri farklılık gösterir ve farklı kullanım alanlarına sahiptir [30]. Genellikle, çelikler düşük karbonlu, orta karbonlu ve yüksek karbonlu çelikler olarak üç ana gruba ayrılır [31]. Düşük karbonlu çelikler genellikle makinelerde işlenebilirlik, kaynaklanabilirlik ve düşük maliyetleri nedeniyle yaygın olarak kullanılır. Bunlar genellikle yapısal uygulamalarda, otomotiv parçalarında ve inşaat sektöründe kullanılır. Orta karbonlu çelikler daha yüksek mukavemet ve sertlik seviyelerine sahiptir. Bu çelikler, makinelerin bileşenleri, miller, dişliler ve çeşitli araçlar gibi orta mukavemet gerektiren uygulamalarda kullanılır. Yüksek karbonlu çelikler yüksek mukavemet, sertlik ve aşınma direnci sağlarlar. Bu çelikler genellikle bıçaklar, yaylar, aletler ve rulmanlar gibi yüksek mukavemet ve sertlik gerektiren uygulamalarda kullanılır.

Ayrıca, çeşitli alaşım elementleri eklenerek özel özelliklere sahip çelikler elde edilebilir. Örneğin, krom eklenmiş çelikler korozyon direnci sağlarken, nikel eklenmiş çelikler düşük sıcaklıklarda kırılabilirliği azaltabilir ve mukavemeti artırabilir. Manganez, silikon, vanadyum ve molibden gibi diğer alaşım elementleri de çeliklerin özelliklerini değiştirebilir ve iyileştirebilir. Bu çeşitli çelik türleri ve alaşımları, endüstride geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir ve malzeme seçiminde önemli bir rol oynarlar.

2.1 ÇİFT FAZLI DP450 ÇELİĞİ

" DP" terimi, çeliklerin ikili faz yapısını ifade eder; bu, çeliklerin mikro yapısında farklı iki fazın bir arada bulunduğu anlamına gelir. DP çeliklerin, mukavemet ve şekillendirme kolaylığı arasındaki başarılı bir dengesi, otomotiv endüstrisinde geniş çapta benimsenmesine neden

olmuştur [32]. DP çelikleri iyi bir mukavemet-ağırlık oranına, basit termal işleme, Lüders bantlarının (deformasyon çizgileri) olmamasına ve kolay şekillendirilebilirliğe sahiptir. DP çeliğin mukavemeti, martensit fraksiyonuna atfedilirken, ferrit, duktaliteyi korumaya yardımcı olur [33, 34]. DP çeliklerinin yapısal özellikleri, ferritik bir ana yapı içinde yayılmış martensit adacıklarından oluşur. Bu fazların miktarı, dağılımı, şekli, tane boyutları ve kimyasal bileşimi kontrol edilerek, çeşitli mekanik özelliklere sahip farklı kaliteler elde edilebilir [35].

DP çelikler, ferrit ve %5-20 arası martensit içerirler ve mukavemetleri 450 ila 1200 MPa (megapascal) arasında değişir. DP çeliklerin mikroyapısı genellikle yumuşak ferrit üzerine dağılmış sert martensit adacıklarından oluşur. Bu derecelerin mukavemet seviyesi, mikroyapıdaki martensit miktarı ile ilişkilidir. Düşük akma oranı ve yüksek iş sertleşme oranına sahip olan DP çelikler, yüksek mukavemet, iyi çarpışma dayanımı ve iyi şekillendirilebilirlik gerektiren otomotiv bileşenlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır [36, 37].

DP450 çeliğindeki “450” ifadesi, çeliğin minimum çekme mukavemetini belirtir. Yani, DP450 çeliği, minimum 450 MPa çekme mukavemetine sahip bir çelik sınıfını ifade eder. Bu değer, çelik malzemenin ne kadar yüksek bir mukavemete sahip olduğunu gösterir ve çelik endüstrisinde malzeme seçiminde önemli bir kriterdir.

2.1.1 Kimyasal Özellikleri

DP450 çeliğinin kimyasal özellikleri, çelik üreticisi veya spesifik bir DP450 kalitesi için belirli özelliklere bağlı olarak değişebilir. Ancak genel olarak, DP çelikler genellikle düşük karbonlu çelikler olup karbon (C), manganez (Mn), silisyum (Si), fosfor (P), kükürt (S), alüminyum (Al) ve krom (Cr) gibi elementlerin belirli oranlarda alaşımlanmasıyla üretilirler. Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları TAŞ. tarafından üretilen DP450 çeliğinin kimyasal özellikleri Çizelge 2.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1 DP450 çeliğinin kimyasal özellikleri (wt%).

C	Mn	P	S	Si	Al	Cr
%	%	%	%	%	%	%
0.057	1.077	0.018	0.002	0.206	0.043	0.501

2.1.2 Mekanik Özellikleri

Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları TAŞ. tarafından üretilen DP450 çeliğinin mekanik özellikleri Çizelge 2.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.2 DP450 çeliğinin mekanik özellikleri.

Akma mukavemeti (MPa)	317
Çekme mukavemeti (MPa)	495
Uzama (%)	32
Elastik modül (N/mm ²)	188 GPa
Sertlik	195 HV
Darbe enerjisi	-
Karbon eşdeğeri (Cev)	0.44

2.2 YAPISAL S275JR ÇELİĞİ

S275JR çeliği, yapısal bir çelik sınıfını ifade eder ve genellikle inşaat ve mühendislik uygulamalarında kullanılır. S275JR, alaşımsız düşük karbonlu hafif bir çelik sınıfı malzemesidir. Düşük mukavemet sunmasına rağmen mükemmel işlenebilirlik sağlar ve her türlü kaynak işlemi için uygundur. S275JR çeliği, geniş kapsamlı genel ve yapısal uygulamalar için kullanılan çok düşük bir karbon içerir. Bu malzemeler, yapısal uygulamalarda inşaat ekipmanları imal etmek ve imalat endüstrilerinde kullanılmak üzere kullanılır. S275JR çeliği, yapılarda genellikle taşıyıcı elemanlar, çelik yapılar, kirişler, sütunlar, levhalar, boru hatları ve diğer yapısal bileşenlerin imalatında kullanılır. Yapısal mühendislik projelerinde yaygın olarak tercih edilir çünkü uygun maliyeti, iyi işlenebilirliği ve orta seviye mukavemeti ile tanınır. S275JR levha, mükemmel yüksek sıcaklık özellikleri sunar ve yüksek dövülebilirlik ve kaynaklanabilirlik özelliklerini içerir [38].

S275JR çeliği, minimum 275 MPa akma mukavemetine sahip olan bir yapısal çelik sınıfıdır. Bu, çelik malzemenin dayanıklılığını ifade eder ve çelik parçaların taşıma kapasitesini belirler.

2.2.1 Kimyasal Özellikleri

Bu çeliğin kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri standartlara ve üreticilere göre değişebilir, ancak genellikle C, Mn, Si, S ve nikel (Ni) gibi elementlerin belirli oranlarda alaşımlanmasıyla üretilir. Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları TAŞ. tarafından üretilen S275JR çeliğinin kimyasal özellikleri Çizelge 2.3’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.3 S275JR çeliğinin kimyasal özellikleri (wt%).

C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	P	S
%	%	%	%	%	%	%	%
0.071	0.307	0.008	0.019	0.016	0.001	0.010	0.012

2.2.2 Mekanik Özellikleri

Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları TAŞ. tarafından üretilen S275JR çeliğinin mekanik özellikleri Çizelge 2.4’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.4 S275JR çeliğinin mekanik özellikleri.

Akma mukavemeti (MPa)	279
Çekme mukavemeti (MPa)	448
Uzama (%)	34
Elastik modül (N/mm ²)	210 GPa
Sertlik	160 HB
Darbe enerjisi	27 Jul (0°C)
Karbon eşdeğeri (Cev)	0.40

2.3 PROTECTION 600T ÇELİĞİ

Protection 600T olarak adlandırılan ultra-yüksek sertlikte zırh çeliği, balistik penetrasyona karşı yüksek dirence sahiptir. Zırh çelikleri, genellikle askeri araçlar, zırhlı araçlar, gemiler ve uçaklar gibi çeşitli savunma uygulamalarında kullanılan yüksek mukavemetli çeliklerdir. Bunlar, balistik darbelere, mermilere, şoklara ve diğer dış etkilere karşı direnç sağlamak için tasarlanmıştır. Zırh çelikleri, balistik testlerde incelenerek performansları değerlendirilir ve genellikle belirli balistik sınıflara göre sınıflandırılır ve böylelikle bu çeliklerin hangi tür balistik tehditlere karşı koruma sağladığı belirlenir.

2.3.1 Kimyasal Özellikleri

Zırh çelikleri, genellikle yüksek karbon ve alaşımlı çeliklerden üretilir ve özel bir işlemle geçirilerek yüksek mukavemet, sertlik ve dayanıklılık elde edilir. Bu çeliklerin kimyasal bileşimi, işleme yöntemleri ve sertleştirme işlemleri, belirli bir uygulamanın gereksinimlerine bağlı olarak değişebilir. Miilux Yüksek Mukavemetli Çelik Üretim A.Ş tarafından üretilen Protection 600T çeliğinin kimyasal özellikleri Çizelge 2.5’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.5 Protection 600T çeliğinin kimyasal özellikleri (wt%).

C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	P	S	B
%	%	%	%	%	%	%	%	%
0.45	0.80	0.70	0.50	3.0	0.60	0.015	0.0004	0.003

2.3.2 Mekanik Özellikleri

Miilux Yüksek Mukavemetli Çelik Üretim A.Ş tarafından üretilen Protection 600T çeliğinin mekanik özellikleri Çizelge 2.6’da gösterilmiştir.

Çizelge 2.6 Protection 600T çeliğinin mekanik özellikleri.

Akma mukavemeti (MPa)	1400
Çekme mukavemeti (MPa)	1950
Uzama (%)	6
Elastik modül (N/mm ²)	-
Sertlik	570-650 HBW
Darbe enerjisi	14 Jul (-40°C)
Karbon eşdeğeri (Cev)	0.88



BÖLÜM 3

MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 KULLANILAN ÇELİK MALZEMELERİ VE KAYNAK TELİ

Çalışmamızda birbirine benzemeyen (bi-material) malzemeler olarak çift fazlı DP450 çeliği, yapısal S275JR çeliği ve Protection 600T çeliği kullanılmıştır. Çalışmamızda kullanılan çelik malzemeleri ERDEMİR Sıcak Haddehane Sürekli Tavlama hattında üretilmiştir. Kaynak teli olarak 1.2 mm çapında AWS A5.28:ER70S-A1 tel kullanılmıştır.

Kaynak telinin kimyasal bileşimleri Çizelge 3.1’de ve mekanik özellikleri Çizelge 3.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 ER70S-A1 kaynak telinin kimyasal özellikleri.

C	Mn	Si	Mo
%	%	%	%
0.1	1.1	0.6	0.5

Çizelge 3.2 ER70S-A1 kaynak telinin mekanik özellikleri.

Akma mukavemeti (MPa)	460
Çekme mukavemeti (MPa)	550-670
Uzama (%)	22
Elastik modül (N/mm ²)	-
Sertlik	-
Darbe enerjisi	47

Çalışmamızda kullanılan çeliklerin kimyasal bileşimleri Çizelge 3.3’de ve mekanik özellikleri Çizelge 3.4’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.3 Çeliklerin kimyasal özellikleri (wt%).

	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	P	S	B	Fe
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Protection 600T	0.45	0.80	0.70	0.50	3.0	0.60	0.015	0.004	0.003	balance
DP450	0.057	1.077	0.206	0.501	-	-	0.090	0.002	-	balance
S275JR	0.071	0.307	0.008	0.019	0.016	0.001	0.010	0.012	-	balance

Çizelge 3.4 Çeliklerin mekanik özellikleri.

	Protection 600T	DP450	S275JR
Akma mukavemeti (MPa)	1400	317	279
Çekme mukavemeti (MPa)	1950	495	448
Uzama (%)	6	32	34
Elastik modül (N/mm ²)	-	188 GPa	210 GPa
Sertlik	570-650 HBW	195 HV	160 HB
Darbe enerjisi	14 Jul (-40°C)	-	27 Jul (0°C)
Karbon eşdeğeri (Cev)	0,88	0.44	0.40

3.2 KAYNAK İŞLEMİ İÇİN ÖN HAZIRLIKLAR

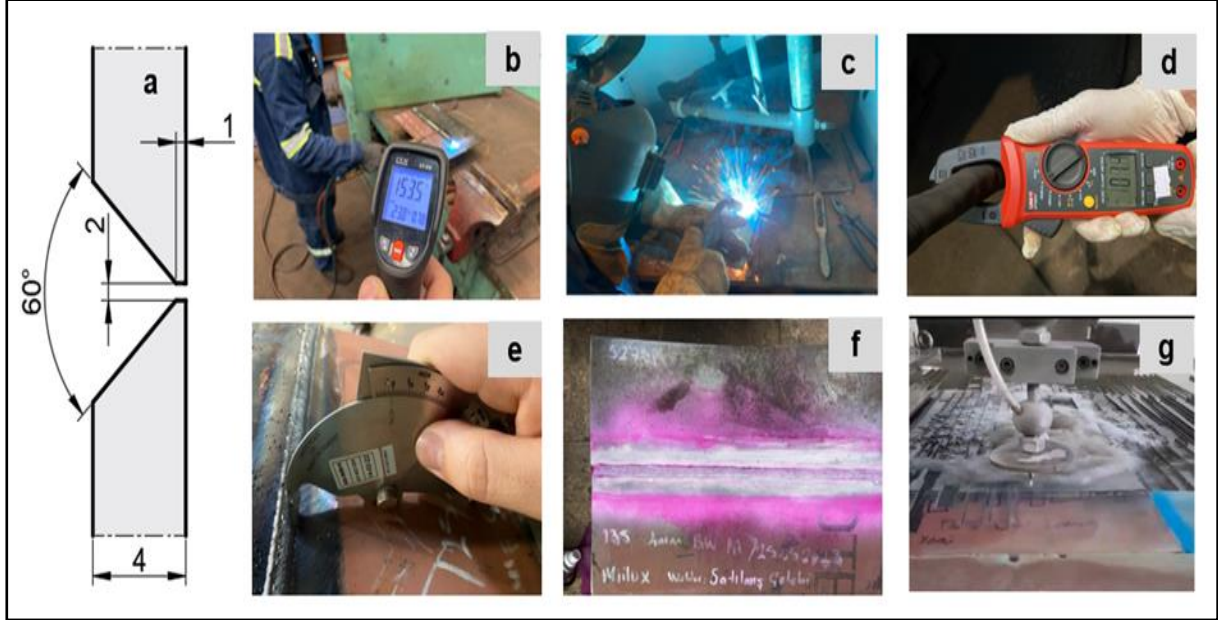
Kaynaklanacak numuneler 120x500x4 mm boyutlarında hazırlanmıştır. Çalışmamızda kullanılan çeliklerin kaynaklanabilirliğinin araştırılması için planlanan deney tasarımı Çizelge 3.5’de verilmiştir.

Çizelge 3.5 Kaynak için planlanan deney tasarımı.

Deney no	Malzeme	Malzeme
1	Protection 600T	Protection 600T
2	DP450	DP450
3	S275JR	S275JR
4	Protection 600T	S275JR
5	Protection 600T	DP450
6	DP450	S275JR

Kaynak için ön hazırlık ve kaynak sırasında alınan görüntüler Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Levhaların birleşme bölgelerine, V 60° açıyla 5 mm genişliğinde bir kaynak oluğu açılmış ve 2 mm kök mesafesi bırakılmıştır (Şekil 3.1a). Farklı kalitedeki çeliklerin kullanılması nedeniyle, karbon eşdeğerlikleri incelenmiştir. Karbon eşdeğerliklerinin en düşüğü (S275JR) 0.40 olduğu için levhalar, kaynak öncesi 150-190 °C sıcaklıkta tavlanmıştır (Şekil 3.1b).

Kaynak işlemi için gerekli ön tavlama sıcaklığı, Cem DT-835 model (-50°C-800°C) termometre ile ölçülmüştür. Kaynak işlemi için Lincoln LF-33 Gazaltı kaynak makinesi kullanılmıştır (Şekil 3.1 c, Şekil 3.2).



Şekil 3.1 Kaynak için ön hazırlık ve kaynak sırasında alınan görüntüler **a:** kaynak ağzının şematik görünümü **b:** ön tavlama sıcaklığının ölçülmesi **c:** MAG kaynak işlemi **d:** Kaynak işlemi esnasındaki Voltaj değerinin ölçümü **e:** Kaynak kep yüksekliğini ölçülmesi **f:** Sıvı penetran muayenesi **g:** Deney numunelerinin hazırlanması.



Şekil 3.2 Lincoln LF-33 gazaltı kaynak makinesi.

Kaynak parametreleri Çizelge 3.6’da sunulmuştur. Kaynak sırasında Ar %82 + %18%CO₂ koruyucu gazı ve ER 70 S-A1 marka kaynak teli kullanılarak, 12 m³/sn gaz debisiyle 4 pasoda gerçekleştirilmiştir. Kaynak sırasında pens ampermetre kullanılarak kaynak voltajı ölçülerek doğrulama yapılmıştır (Şekil 3.1 d). Kaynak sonrası soğuma işlemi, kaynaklı örneklerin kontrollü bir şekilde taş yünüyle sarılarak gerçekleştirilmiştir. Son olarak, kaynak dikişlerinin kontrolü için penetrant testi (temizleyici: CR60, penetrant: CR51, geliştirici: CR70) yapılmıştır (Şekil 3.1 f). Mekanik testler için gerekli numuneler MJT4000 WATERJET marka su jeti kesim makinası ile kesilmiştir (Şekil 3.3). Numuneler 4000 bar basınç ve 300 mm/dk kesme hızıyla kesilmiştir (Şekil 3.1 g).

Çizelge 3.6 Kaynak Parametreleri.

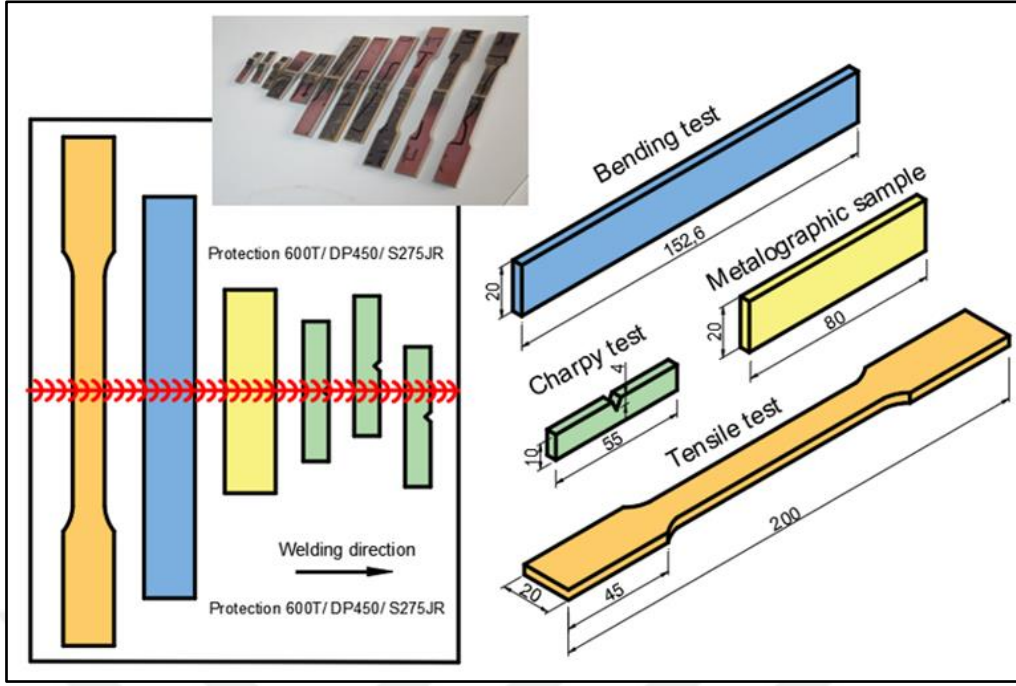
GMAW Kaynağı	Özellikleri
Koruyucu gaz	EN ISO 14175: M21 (Balans Ar %82 + % 18%CO ₂)
GMAW tel	ER 70 S-A1 GEKA Ø 1,2
Kaynak akımı (A)	120-130
Kaynak gerilimi (V)	19-20
Kaynak hızı (mm/sn)	5.7



Şekil 3.3 MJT4000 WATERJET marka su jeti kesim makinası.

3.3 MEKANİK TEST VE MİKROYAPI NUMUNELERİNİN HAZIRLANMASI

Kaynak sonrası mekanik ve mikroyapı özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan numunelerin boyutları Şekil 3.4’de gösterilmektedir.



Şekil 3.4 Mekanik test ve mikroyapı için hazırlanan numunelerin ölçüleri.

Çalışmamızda sertlik testi için QNess 10 A+ marka mikro-Vickers sertlik test cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.5). Sertlik dağılımı için kaynaklı numuneler, kaynak çizgisine dik olarak, 0.5 mm aralıklarla 9.81 N baskı yükü ve 15 sn baskı süresiyle test edilmiştir.



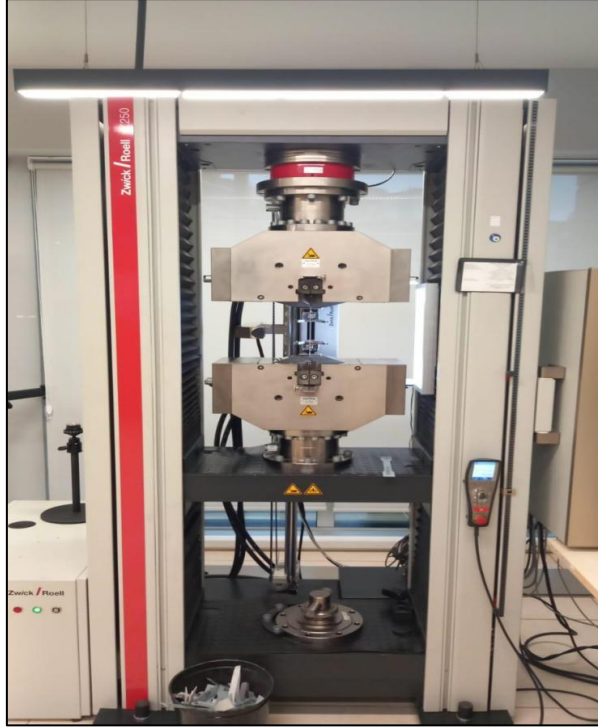
Şekil 3.5 QNess 10 A+ marka mikro-Vickers sertlik test cihazı.

Darbe testi Wance marka darbe cihazı ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.6). Darbe enerjisi ölçümü için, GB/T229-2007 standartına uygun olarak, numunenin darbe absorpsiyon enerjisi JBN-300 sarkaç test cihazı kullanılarak belirlenmiştir.



Şekil 3.6 Wance marka darbe cihazı.

Kaynaklı numunelerin çekme dayanımı, oda sıcaklığında 2 mm/dk hızında çalışan 60 tonluk Zwick Roell marka çekme cihazı kullanılarak ölçülmüştür (Şekil 3.7). Son olarak, yüzey kırılma morfolojisi ve malzeme iç yapısı, elektron mikroskobu yardımıyla incelenmiştir.



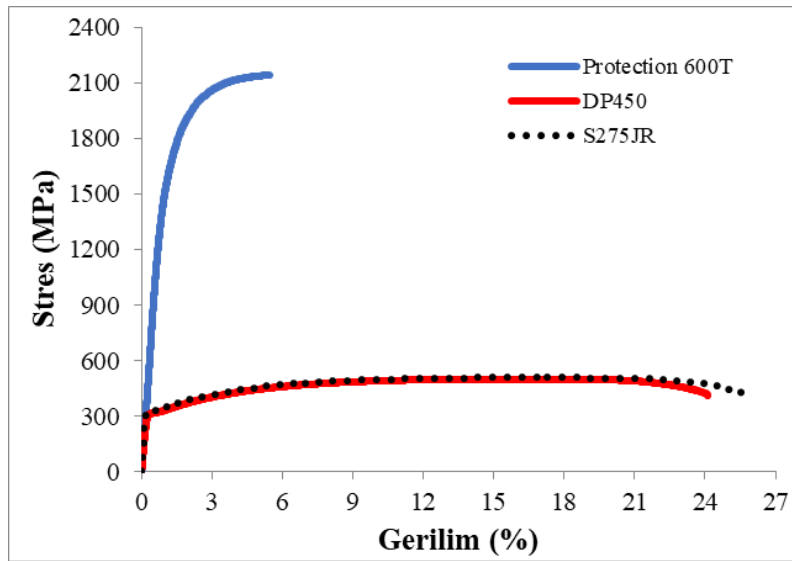
Şekil 3.7 Zwick / Roell marka çekme testi cihazı.

BÖLÜM 4

BULGULAR

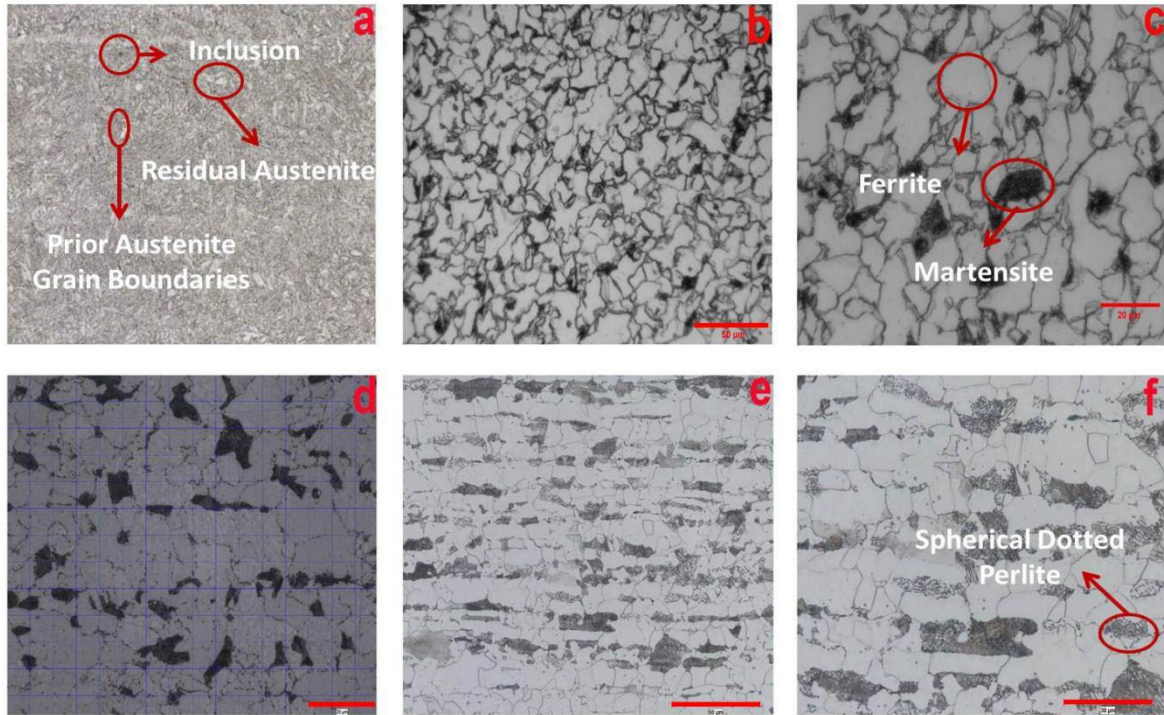
4.1 TEMEL MALZEMELERİN MEKANİK VE MİKROYAPI ÖZELLİKLERİ

Protection 600T, DP450 ve S275JR malzemelerinin mekanik özelliklerini belirlemek için hadde yönünde çekme, mikrosertlik, darbe çentik ve eğme testleri yapılmıştır. Çekme testi sonuçlarına göre, Protection 600T için ultimate tensile strength (UTS) 2141.98 ± 23.2 MPa, DP450 için 500.8 ± 10.4 MPa ve S275JR çeliği için 508.15 ± 9.5 MPa olarak tespit edilmiştir. Mikrosertlik değerleri ise sırasıyla 526.5 ± 10.5 HV, 153.8 ± 1.8 HV ve 162.5 ± 5.2 HV olarak ölçülmüştür. Protection 600T, yüksek karbon içeriğinden dolayı ultra yüksek sertlik gösterirken, diğer iki malzemeye kıyasla daha yüksek mekanik özelliklere sahiptir. Şekil 4.1’de base malzemelerin stres-gerilim (stress-strain) grafikleri gösterilmiştir. Bu grafiklerden anlaşıldığı üzere, Protection 600T yüksek mukavemet sergilerken, uzama kabiliyeti düşüktür. Base malzemelerin kopma uzamaları karşılaştırıldığında, en yüksek uzama $\%25.41 \pm 1.3$ ile S275JR çeliğinde elde edilmiştir. DP450’de $\%23.95 \pm 1.7$ ve Protection 600T’de ise $\%4.34$ uzama gözlemlenmiştir.



Şekil 4.1 Temel malzemeler için stres ve gerilim eğrileri.

Protection 600T, DP450 ve S2575JR çeliğin kaynak öncesi mikroyapı görüntüleri Şekil 4.2’de verilmiştir. Protection 600T’nin mikroyapısı incelendiğinde martensite ve retained austenite inside prior austenite matrix olduğu görülmektedir (Şekil 4.2 a). Prior austenite grain boundaries (PAGB) belirgindir ve ince taneli yapıya sahiptir. Bu ince taneli martensitik yapı zırh çeliğine yüksek sertlik ve tokluk kazandırmaktadır [39]. Çift fazlı çeliklerde, ferrit matris içinde dağılmış büyük martenzit adaları bulunur. Dual phase çeliklerinde mekanik özellikler esas olarak mikroyapıdaki martenzit miktarına bağlıdır [40]. DP450 mikroyapısı incelendiğinde ferrit matris yapıda yoğun ferrit ve az miktarda martenzit yapı olduğu görülmektedir (Şekil 4.2 b, c ve d). DP450 çeliğinde martenzit faz oranını belirlemek için grid yöntemi (gridler arası mesafesi 7,2 μm) kullanılmıştır (Şekil 4.2 d). %13,3 olarak hesaplanmıştır. S2575JR yapı çeliğinin ana malzeme mikroyapı görüntüsü incelendiğinde siyah renkte görülen bölgeler perlit, açık renkli olarak görülen bölgeler ise ferriti temsil etmektedir [41] (Şekil 4.2 e ve f). S2575JR çeliğinin içerdiği karbon miktarına bağlı olarak mikroyapıda ferrit ve perlit taneleri oluşmaktadır.

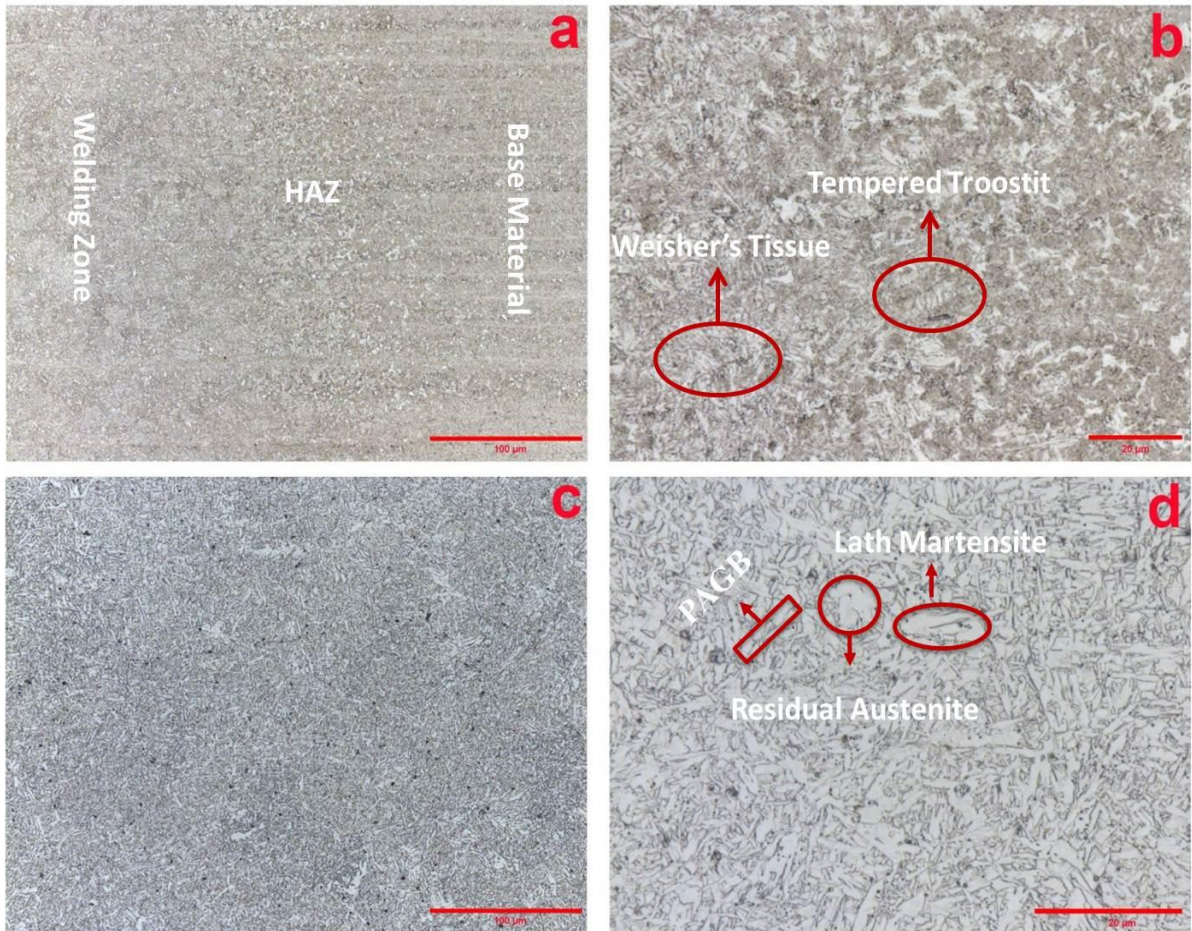


Şekil 4.2 Temel malzemelerin mikroyapısal görüntüsü **a:** Protection 600T (1000x), **b ve c:** DP450 **d:** DP450 martenzit faz oranı, **e ve f:** S2575JR.

4.2 METALOGRAFİK MUAYENE

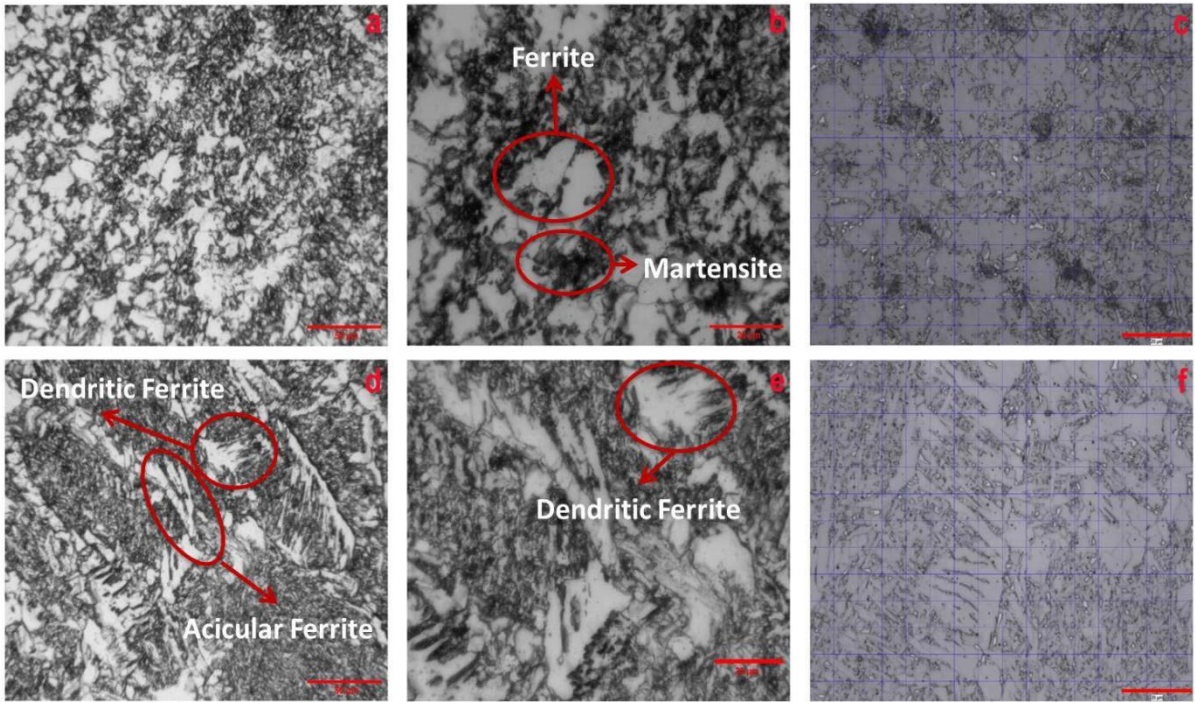
4.2.1 Birbirine Benzer Malzemelerin Kaynak Sonrası Mikroyapısı

ER70S-A1 tel kullanılarak kaynaklanan Protection 600 T malzemesine ait ısı tesiri altında kalan bölge (ITAB ya da heat affected zone; HAZ) ve kaynak bölgesi mikroyapıları Şekil 4.3'de sunulmuştur. İncelenen kaynaklı numunelerde ana malzeme ile ITAB geçişlerinin homojen ve pürüzsüz olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.3 a). Ana malzeme, yoğun bir şekilde temperlenmiş martenzit yapıda bulunmasına karşın, ITAB bölgesinde ısı etkisiyle birlikte orta sıcaklıkta tavlanmış, martenzitin iğne şeklinin adım adım kaybolduğu temperlenmiş troostit yapısı gözlemlenmiştir (Şekil 4.3 b). Kaynak metalinde temperlenmiş martenzitin hakim olduğu ancak bazı bölgelerde martensit demetleri veya paralel olarak hizalanmış çıta martenzit fazının az miktarda olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.3 c ve d). Ayrıca, kaynak bölgesinde kalıntı östenit ve birincil östenit tanesi sınırları ile weisher dokusunun belirlendiği gözlemlenmiştir (Şekil 4.3 d).



Şekil 4.3 Protection 600 T mikroyapı görüntüleri. **a ve b** Protection 600 malzeme geçiş bölgesi mikroyapıları (200x, 1000x) **c ve d** Kaynak bölgesi mikroyapıları (200x, 1000x).

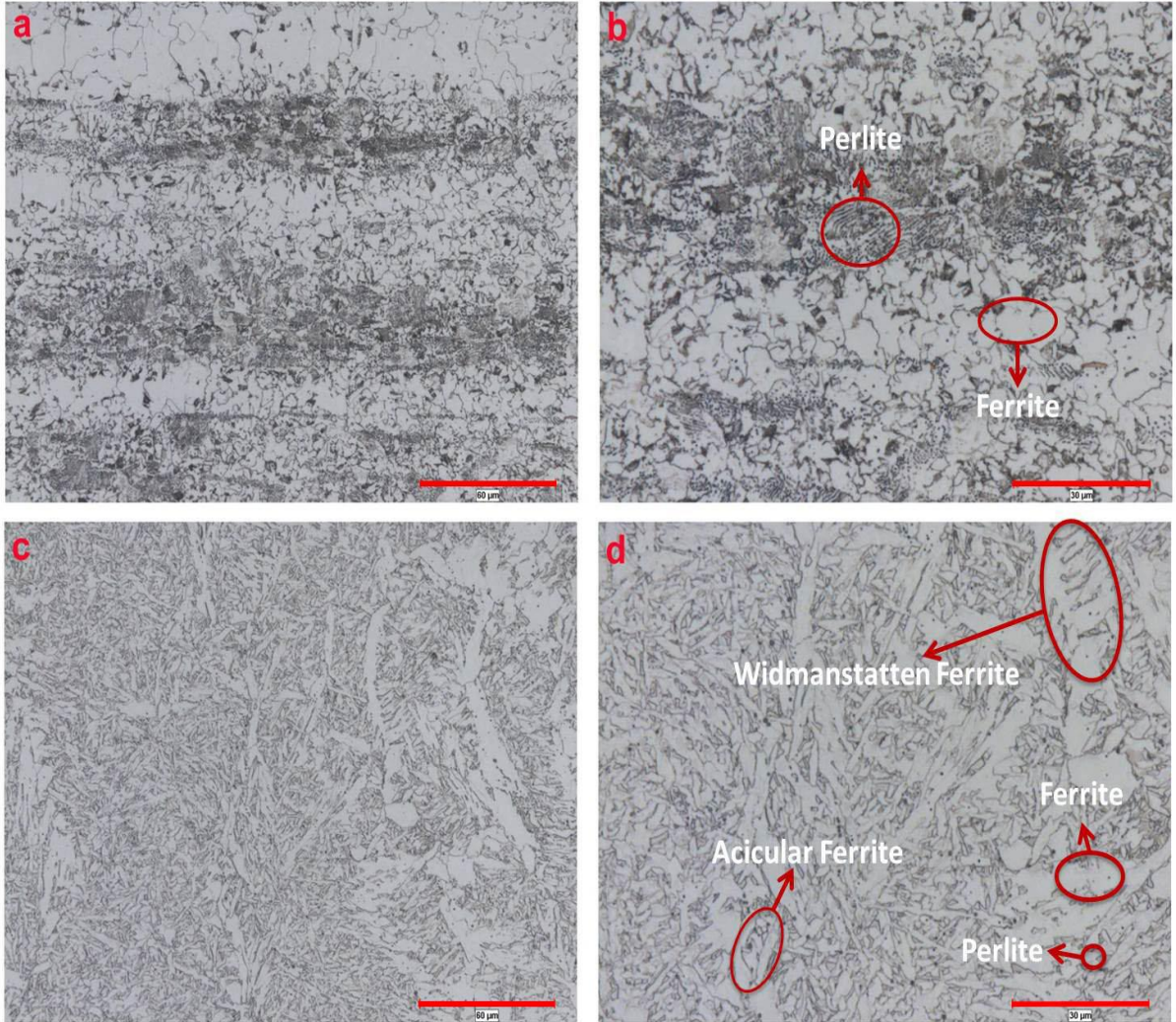
DP450-DP450 malzeme çiftinin kaynak sonrası ITAB ve kaynak bölgesi mikroyapı görüntüleri Şekil 4.4'de sunulmuştur. ITAB'da martenzit fazının baskın olduğu (Şekil 4.4 a ve b), kaynak bölgesinde ise ferrit oranının arttığı belirlenmiştir (Şekil 4.4 d ve e). Kaynak bölgesinde yer yer asiküler ferrit oluşumlarına rastlansa da genel olarak dentritik ferrit oluşumu gözlenmiştir. ITAB'da ferrit ve martenzit fazları homojen bir şekilde dağılırarak yumuşak bir geçiş bölgesi oluşturmuştur. ITAB'dan kaynak bölgesine geçiş noktasında martenzit fazları sütun halinde dizilmiş olsa da kaynak yapılan bölgelerde genellikle ferritin dentrit haline gelmiş bölgelerinde martenzit fazları gözlemlenmiştir. Martenzit faz oranı ergime bölgesine yakın bölgelerde yaklaşık olarak %27,2 olarak saptanmıştır (Şekil 4.4 c), kaynak bölgesinde ise yaklaşık olarak %7,2 olarak belirlenmiştir (Şekil 4.4 f).



Şekil 4.2 DP450-DP450 için mikroyapı görüntüleri. **a, b ve c:** HAZ bölgesi (500x, 1000x) ve faz oranı **d, e ve f:** Kaynak bölgesi mikroyapı görüntüleri (500x, 1000x) ve faz oranı

Şekil 4.5'de, S275-S275 malzeme çiftinin ITAB ve kaynak bölgesi mikroyapı görüntüleri sunulmuştur. ITAB'da ferrit ve düzenli perlit fazlarının (Şekil 4.5 a ve b) hakim olduğu, kaynak bölgesinde ise ferrit oranının baskın olduğu bir mikroyapı oluşmuştur (Şekil 4.5 c ve d). Ayrıca, kaynak bölgesinde ek telin etkisiyle bazı bölgelerde perlit ve windmasttaten ferrite rastlansa da genel olarak yoğun asiküler ferrit oluşumu gözlemlenmiştir. Isı etkisi altındaki bölgelerde ise yumuşak bir geçiş gözlenmiş olup ferrit ve perlit fazları homojen bir şekilde dağılırarak yumuşak bir geçiş bölgesi oluşturmuştur. ITAB'dan kaynak bölgesine geçiş noktasında perlit ve ferrit fazları

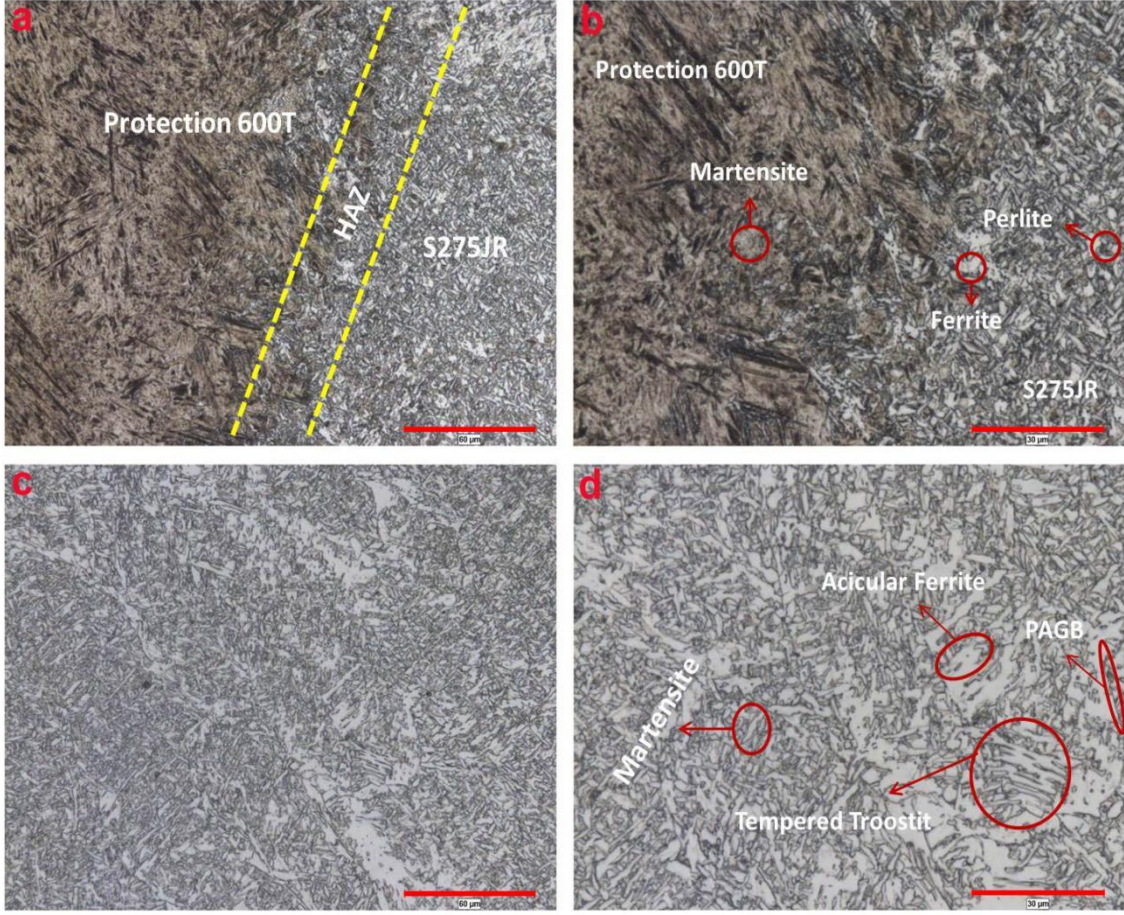
sütun halinde dizilirken, kaynak bölgesinde ferrit fazlarının genel olarak asiküler ferrite dönüştüğü gözlenmiştir.



Şekil 3.5 S275JR-S275JR malzeme çifti için mikroyapı görüntüleri. **a ve b:** ITAB bölgesi (500x, 1000x) **c ve d:** Kaynak bölgesi mikroyapı görüntüleri (500x, 1000x)

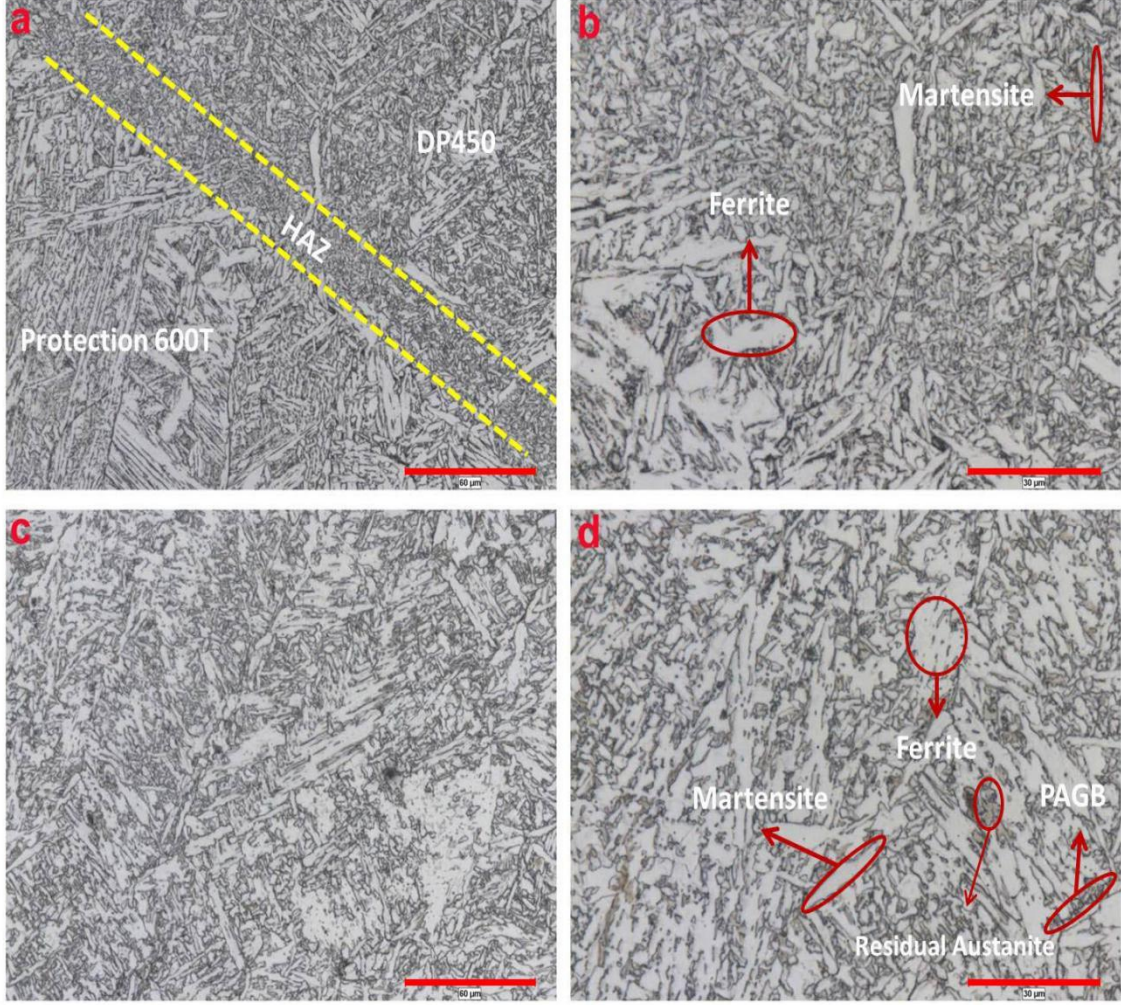
4.2.3 Birbirine Benzemeyen Malzemelerin Kaynak Sonrası Mikroyapısı

Şekil 4.6'da, Protection 600T-S275 malzeme çiftinin geçiş bölgesi ve kaynak bölgesine ait mikroyapı görüntüleri sunulmuştur. Kaynak bölgesinde yer yer asiküler ferrit ve yoğun martenzitlerin hakim olduğu tespit edilmiş, ayrıca temperlenmiş troostit oluşumuna ve birincil öztenit tane sınırlarına rastlanmıştır. ITAB'da ise ferrit, perlit ve martenzit fazları ayrı ayrı gözlemlenmektedir. Isı etkisi altındaki bölgelerde martenzit fazı ile ferrit-perlit fazları homojen bir şekilde dağılmamıştır ve keskin bir geçiş görülmektedir. Bu durum, ITAB bölgesinde keskin bir sınırın oluşmasına neden olmuştur.



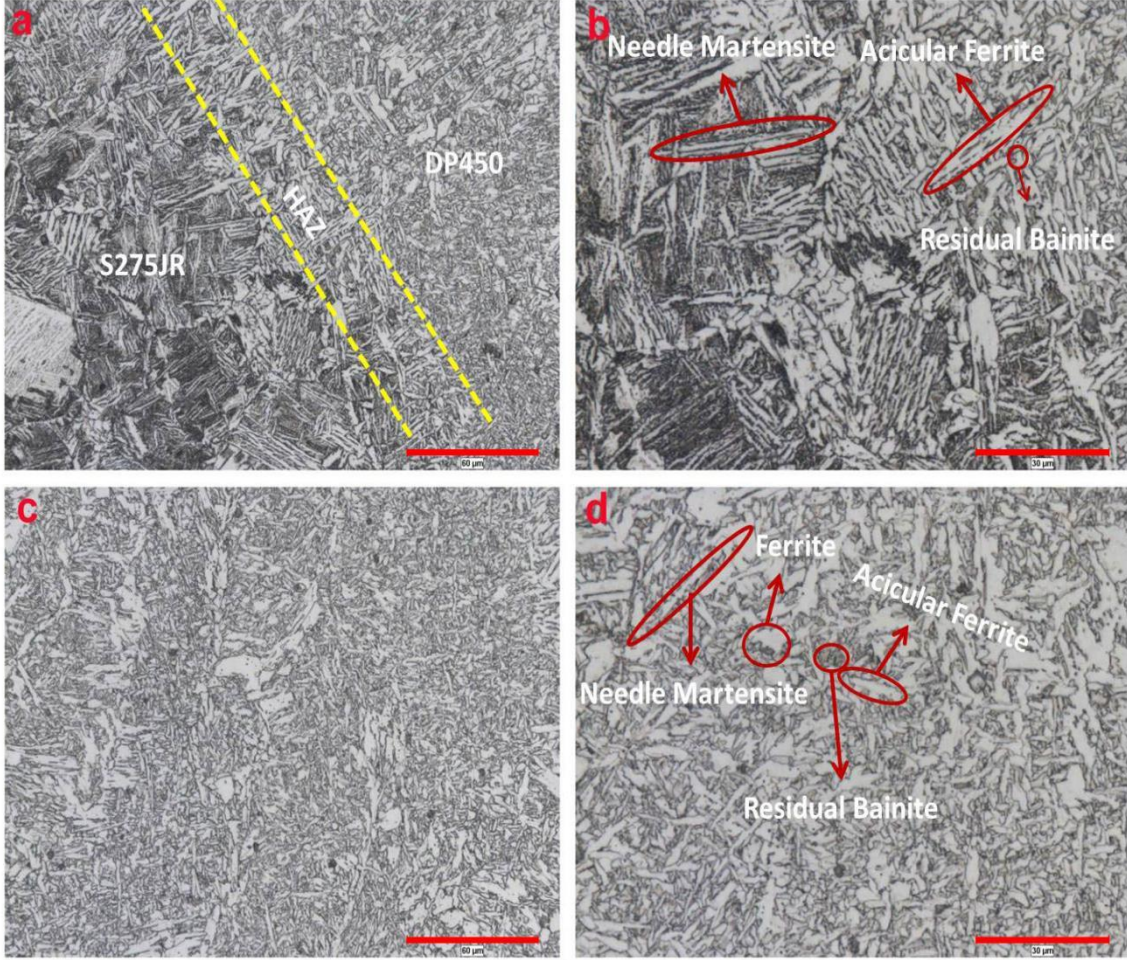
Şekil 3.6 Protection 600T-S275JR malzeme çifti için mikroyapı görüntüleri **a ve b**: ITAB bölgesi (500x, 1000x) **c ve d**: Kaynak bölgesi mikroyapı görüntüleri (500x, 1000x)

Şekil 4.7'de, DP450-Protection 600T malzeme çiftinin geçiş bölgesi ve kaynak bölgesine ait mikroyapı görüntüleri sunulmuştur. ITAB'da ferrit ve martenzit fazları izlenmektedir (Şekil 4.7 a ve b). Isı etkisi altındaki bölgelerde ise martenzit ve ferrit fazlarının homojen olarak dağıldığı belirlenmiş olup yumuşak bir geçiş gözlenmektedir. Kaynak bölgesinde ferrit ve martenzitlerin baskın olduğu tespit edilmiş ve kalıntı östenit ile yer yer birincil östenit tane sınırlarına rastlanmıştır (Şekil 4.7 c ve d).



Şekil 4.7 DP450-Protection 600T malzeme çifti için mikroyapı görüntüleri. **a ve b:** ITAB bölgesi (500x, 1000x) **c ve d:** Kaynak bölgesi mikroyapı görüntüleri (500x, 1000x)

Şekil 4.8’de, DP450-S275 malzeme çiftinin geçiş bölgesi ve kaynak bölgesine ait mikroyapı görüntüleri sunulmuştur. ITAB’ta, asiküler ferrit ve perlit fazlarının yanı sıra martenzit fazı da gözlemlenmektedir. Isı etkisi altındaki bölgelerde ise martenzit fazı ile ferrit-perlit fazları homojen olarak dağılmamıştır ve belirgin bir geçiş mevcuttur. Bu durum, ITAB bölgesinde net bir sınır oluşmasına neden olmuştur. Kaynak bölgesinde ise asiküler ferrit ve iğnesel martenzitlerin hakim olduğu belirlenmiş, ayrıca kalıntı beyit ve yer yer perlit izlenmiştir. Kaynak metalinde ise kullanılan ilave telin etkisiyle birlikte yoğun asiküler ferrit ve martenzit oluşumları gözlenmiştir.



Şekil 4.8 DP450-S275JR malzeme çifti için mikroyapı görüntüleri. **a ve b:** ITAB bölgesi (500x, 1000x) **c ve d:** Kaynak bölgesi mikroyapı görüntüleri (500x, 1000x)

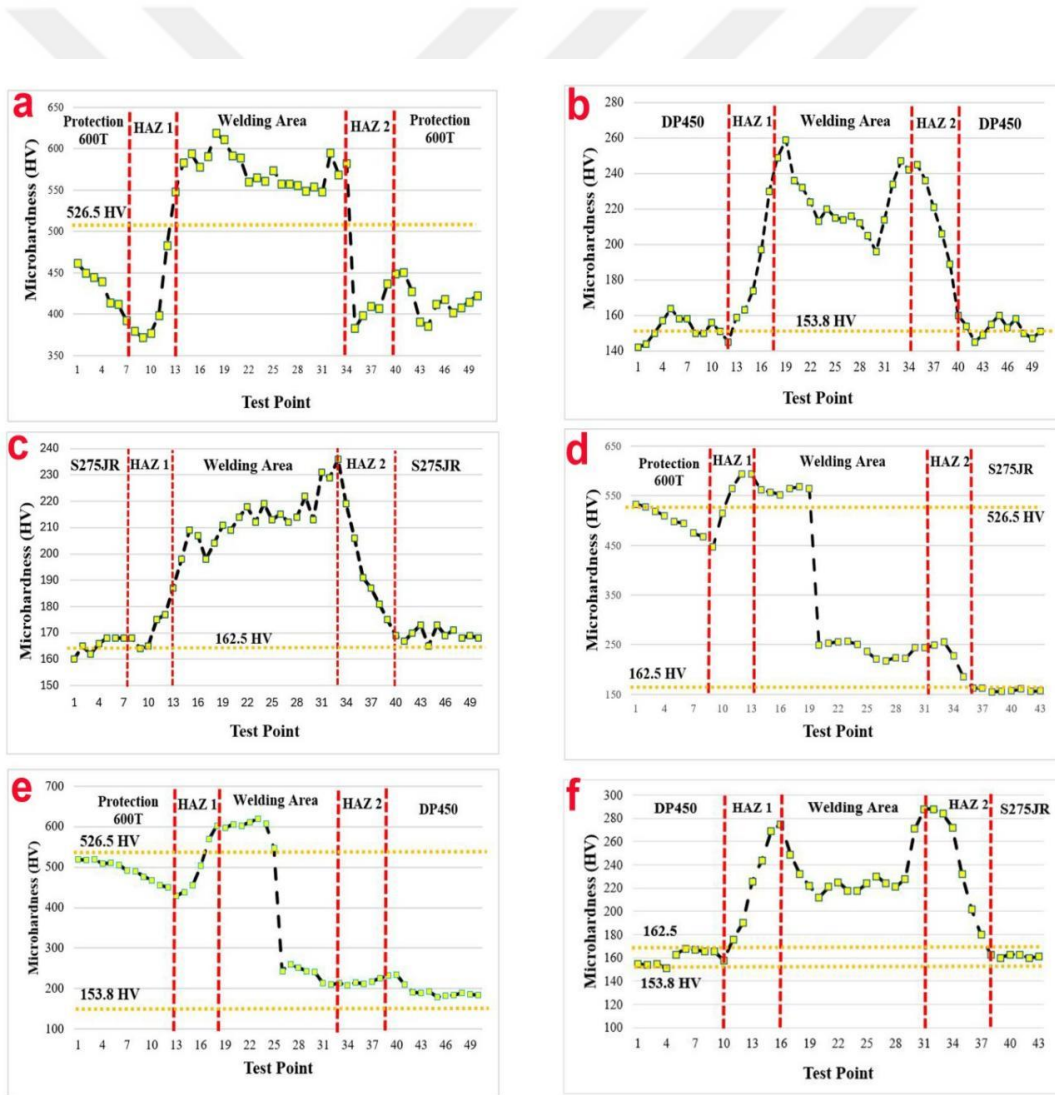
4.3 MEKANİK TEST MUAYENESİ

4.3.1 Mikrosertlik

Protection 600T, S275JR ve DP450 örnekleri Gaz Altı Metal Aktifliği Kaynağı (GMAW) ile birleştirildikten sonra mikrosertlik ölçümleri yapıldı. Mikrosertlik ölçümleri, kaynağa dik yönde ve 0.5 mm aralıklarla 10 saniye boyunca (HV 0.1) uygulandı. Şekil 4.9'da, Protection 600T, S275JR ve DP450'nin kendi aralarındaki (Protection 600T/Protection 600T, S275JR/S275JR ve DP450/DP450) mikrosertlik ölçümleri ayrıntılı olarak gösterilmiştir. Ayrıca, Şekil 4.9'da, farklı kombinasyonlarda kaynaklanmış numunelerin (Protection 600T/DP450, Protection 600T/S275JR ve DP450/S275JR) mikrosertlik ölçümleri sunulmuştur. Şekil 4.9'da görüldüğü gibi, sertlik değerlerinin kaynak bölgesine doğru arttığı gözlemlenmiştir. Bu artışın, kaynak sırasında ilave edilen tel kaynak malzemesinden kaynaklandığı

düşünülmektedir. Ayrıca, tüm numunelerde ITAB mikrosertlik değerinin arttığı tespit edilmiştir. Mikrosertlik değerleri şu şekildedir: Protection 600T için ana metalde 526.5 ± 10.5 HV ve kaynak bölgesinde 619 ± 20 HV, DP450 için ana metalde 153.8 ± 1.8 HV ve kaynak bölgesinde 259 ± 8.1 HV, S275JR için ana metalde 162.5 ± 5.2 HV ve kaynak bölgesinde 236 ± 9.3 HV.

Şekil 4.9'da, Protection 600T'den DP450/S275JR tarafına doğru mikrosertlik değerlerinin azaldığı görülmektedir. Bu durum, malzemelerin mekanik özelliklerindeki farklılıklardan kaynaklanmaktadır. Şekil 4.9'da DP450/S275JR malzeme çiftinde, mikrosertlik değerleri yüksekten düşüğe doğru sıralandığında, ITAB (288 ± 26.5 HV), kaynak bölgesi (232 ± 5.5 HV) ve ana metal (166 ± 6.3 HV) olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.9 Protection 600T, S275JR ve DP450 numunelerinin kaynak sonrası mikrosertlik ölçümleri.

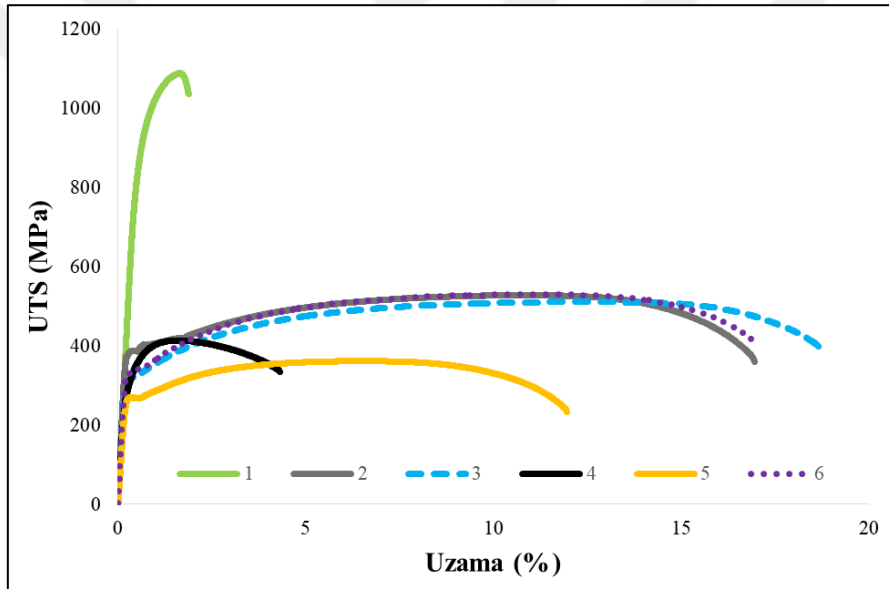
4.3.2 Çekme Testi

Protection 600T, DP450 ve S275JR malzemelerinin kaynak sonrası gerilme-gerinme grafikleri (ortalama değerlere yakın olanlar seçilmiştir) Şekil 4.10'da, kaynak sonrası maksimum çekme mukavemeti (ultimate tensile strength, UTS) ve yüzde uzama değerleri, ayrıca ana malzemeye göre kaynak verimliliği Çizelge 4.1'de sunulmuştur. Ana malzemelerin kaynak sonrası UTS değerleri sırasıyla 1083.4 ± 3.99 , 516.5 ± 11 ve 507.3 ± 5.7 MPa olarak belirlenmiştir. Kaynak verimliliği, kaynak mukavemeti ile base malzeme UTS arasındaki oranlar hesaplanarak belirlenmiştir ve sırasıyla %49.4, %103.05 ve %99.76 olarak bulunmuştur. Protection 600T'nin kaynak mukavemetinin base malzeme UTS'ye göre düştüğü görülmüştür, muhtemel sebep kaynak işlemi sırasında ilave edilen kaynak teli olabilir. DP450 ve S275JR malzemelerin kaynak verimliliğinin base malzemeye kıyasla başarılı olduğu görülmüştür. Tüm numuneler için yapılan görsel incelemeler ve penetrant testlerinde yüzeyde açık kaynak hataları, boşluk gibi kusurların olmadığı tespit edilmiştir. Şekil 4.10 incelendiğinde, kaynaklı numunelerin (Protection 600 T/Protection 600 T, DP450/DP450 ve S275JR/S275JR) gerilme-gerinme diyagramlarının base malzeme ile benzerlik gösterdiği görülmektedir. Şekil 4.10'deki numaralandırma Çizelge 4.1'de belirtilen numunelerle aynı malzemeleri ifade etmektedir.

Farklı malzemelerin kaynağında UTS değerleri şu şekildedir: Protection 600 T/S275JR için 413.6 ± 1.6 MPa, Protection 600 T/DP450 için 360.6 ± 0.4 MPa ve yüzde uzama değerleri ise sırasıyla 4.3 ± 0.17 , 5.3 ± 0.2 olarak bulunmuştur. Protection 600 T'nin diğer malzemelerle kaynağında UTS ve verimliliğin düştüğü gözlemlenmiştir. Bu durum, malzemelerin farklı kimyasal içeriklerinden kaynaklanabilir; kaynak bölgesine ilave edilen telin ana metalden kaynak bölgesine geçerken soğuma hızlarının farklı olması da etkili olabilir, bu da tane yapılarında aşırı büyümeye neden olabilir. Benzer sonuçlar literatürde de bulunmaktadır. Örneğin, Badkoobeh ve diğerleri, UNS S43000 Ferritik Paslanmaz Çeliğin lazer kaynağı ile birleştirilmesinde, kaynak bölgesinde aşırı büyümüş ferrit ve martenzit tanelerinin oluştuğunu ve bunun zayıf kristalografi yapıdan sorumlu olduğunu belirtmişlerdir [42]. Çoban ve diğerleri, zırh çeliklerinin kaynak birleştirilmesiyle ilgili çalışmalarında, malzeme kalınlığına bağlı olarak oluşan pik sıcaklıkların ve soğuma hızlarının mikroyapısal değişikliklere neden olduğunu belirtmişlerdir. Bu, her bölgenin sertlik değerlerinin değişmesine yol açar. Bu mikroyapısal değişikliklerin neden olduğu, en yüksek sıcaklıklara karşılık gelen bölgede büyük taneli, ısıdan etkilenmiş bir bölgenin oluşmasıdır [43].

DP450/S275JR malzemelerin kaynak mukavemeti 526.3 ± 3.5 MPa olarak belirlenmiştir. Bu değer, DP450'ye göre %105.5 ve S275JR'ye göre %103.5 daha yüksektir. Ayrıca, uzama değeri 15.8 ± 1.63 olarak ölçülmüştür. DP450/S275JR mekanik özelliklerinin ana malzemeden daha yüksek olmasının nedenleri arasında, ITAB bölgesinde martenzit fazı ile ferrit-perlit fazlarının homojen olmayan bir dağılım göstermesi ve kaynak bölgesinde asiküler ferrit ile iğnesel martenzitlerin baskın olması yer alabilir. Kaynak verimliliği, aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır [9, 44]:

$$\text{Weld efficiency (\%)} = \frac{\text{UTS of welded joint (MPa)}}{\text{UTS of base material (MPa)}} * 100 \quad (4.1)$$

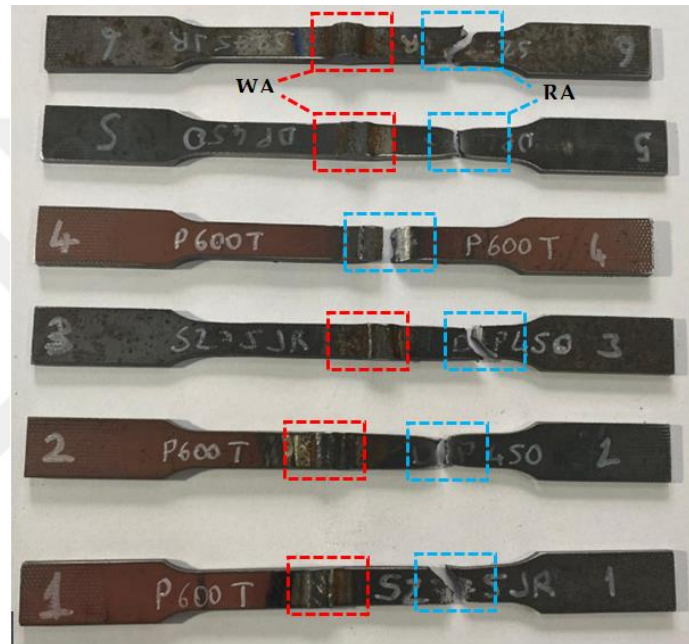


Şekil 4.10 Kaynak sonrası stress-uzama diyagramı.

Çizelge 4.1 Kaynak sonrası mekanik özellikler

	Malzeme 1	Malzeme 2	UTS	Uzama%	Kaynak verimliliği (%)		
					Protection 600T	DP450	S275JR
1	Protection 600T	Protection 600T	1083.4±3.99	1.25±0.16	49.4	-	-
2	DP450	DP450	516.5±11	16.2±1.46	-	103.05	-
3	S275JR	S275JR	507.3±5.7	18.4±0.05	-	-	99.76
4	Protection 600T	S275JR	413.6±1.6	4.3±0.17	19.3	-	81.34
5	Protection 600T	DP450	360.6±0.4	5.3±0.2	16.87	72.01	-
6	DP450	S275JR	526.3±3.5	15.8±1.63	-	105.5	103.5

Çekme testi numunelerinin kırılma yüzeyleri Şekil 4.11'de verilmiştir. S275JR malzemesi ile yapılan kaynaklı çiftlerde kırılmanın gevrek kırılma olarak gerçekleştiği gözlemlenmiştir. DP450/DP450 ve Protection 600 T/DP450 malzeme çiftlerinde, kırılma sünek kırılma olarak ve DP450 tarafında meydana gelmiştir. DP450/S275JR'de ise kırılma DP450 malzeme tarafında gerçekleşmiştir. Protection 600 T / Protection 600 T kaynaklı birleşimlerde kırılma kaynak bölgesinde meydana gelmiştir. Bu veriler, kaynaklı birleşimlerin uygun şekilde yapıldığını ve kırılmanın, temel malzemenin mukavemetine göre beklenen yerlerde gerçekleştiğini göstermiştir.



Şekil 4.11 Kaynaklı numunenin çekme kırılması morfolojileri (Kaynak Alanı: WA (welding area), Kırılma Alanı: RA (rupture area)).

Çalışmamızda, farklı malzemeler olan Protection 600T, DP450 ve S275JR çeliklerin ER70S-A1 kaynak teli kullanılarak birleştirilebilirliği araştırılmıştır. Yapılan kaynak sonrası ısı tesiri altındaki bölge ve kaynak bölgesi mikroyapı incelemeleri sonucunda, DP450-Protection 600T malzeme çiftinin uyumlu olduğu tespit edilmiştir. Bu malzeme çiftinde, kaynak bölgesindeki mikroyapıda martenzit fazının arttığı ancak östenit ve ferrit fazlarının nispeten sünekliği arttırdığı belirlenmiştir. Ancak, mekanik özellikler incelendiğinde, malzemenin mikroyapısındaki bu fazlar nedeniyle sertlik ve akma/çekme dayanımının azaldığı görülmüştür.

Protection 600T ile S275JR malzeme çiftinde ise, çekme dayanımında artış gözlemlenmiş olsa da tokluk azalmış, sertlik ve mukavemette ise artış görülmüştür. DP450 ve S275JR malzeme çiftinin mikroyapı ve çekme diyagramları incelendiğinde, malzemelerin ve kaynak telinin iyi bir uyum sağladığı ve buna bağlı olarak mekanik özelliklerin arttığı belirlenmiştir.

Sonuç olarak, Protection 600T, DP450 ve S275JR malzeme çiftlerinin kaynağında en iyi sonuçların sırasıyla DP450-S275JR, Protection 600T-DP450 ve Protection 600T-S275JR çiftlerinde elde edildiği görülmüştür. Protection 600T- Protection 600T malzeme çiftinde ise, kaynak sonrasında mukavemette belirgin bir azalma meydana gelmiştir, bu durum kaynak telinin mekanik özelliklerinin Protection 600T'ye göre düşük olmasından kaynaklanmaktadır. DP450-DP450 ve S275JR-S275JR malzeme çiftlerinde ise, kaynak teli ile ana malzemeler arasında uyum olduğu için kaynak dayanımı, base malzeme dayanımıyla aynı veya daha yüksek olmuştur.

4.3.3 Bükme testi

Protection 600T, DP450 ve S275JR malzemelerinde, kaynak sonrası deformasyon analizi için benzer ve farklı malzemeler arasında 90° eğme testi gerçekleştirilmiştir. Tablo 6'da eğme testi sonuçları sunulmuştur. Kaynak öncesi Protection 600T, DP450 ve S275JR malzemelerinde sırasıyla 16.7±0.4, 11.0±0.2 ve 9.3±0.3 kN maksimum eğme kuvvetleri elde edilmiştir. Kaynak sonrası ise aynı malzemeler için sırasıyla 16.8±0.1, 11.6±0.9 ve 10.4±0.7 kN maksimum eğme kuvvetleri belirlenmiştir. Bu sonuçlar, kaynak işleminin yüksek bir verimlilikle gerçekleştirildiğini ve eğme testi sırasında kaynak bölgesinin ana malzeme gibi davrandığını göstermektedir. Ancak, farklı malzemeler arasında yapılan kaynaklarda eğme kuvvetinde belirgin bir düşüş gözlemlenmiştir. Bu durumun nedeni, kaynak bölgesinin iki farklı malzemedan oluşması ve geçiş bölgelerinin çatlak oluşumuna veya çatlak ilerlemesine neden olması olabilir

Çizelge 4.2 Kaynak öncesi ve sonrası numunelerin maksimum eğme testi sonuçları.

	Malzeme Çifti	Maks. Eğme Kuvveti (kN)
Base material	Protection 600T	16.7±0.4
	DP450	11.0±0.2
	S275JR	9.3±0.3
Similar material	Protection 600 T/Protection 600T	16.8±0.1
	DP450/DP450	11.6±0.9
	S275JR/S275JR	10.4±0.7
Dissimilar material	Protection 600 T/DP450	10.7±0.1
	Protection 600 T/ S275JR	9.4±0.1
	DP450/S275JR	8.2±0.4

4.3.4 Charpy V- Çentik Testi

Ana metallerin Charpy V-notch (CVN) deneyi sonucunda impact enerjileri şu şekildedir: Protection 600T için 75 ± 2.7 , DP450 için 85 ± 3.4 ve S275JR için 32 ± 1.2 olarak bulunmuştur. Kaynaklı numunelerde CVN deneyi için kaynak bölgesi ve ITAB (HAZ) numuneleri hazırlanmıştır. Çizelge 4.3'de, HAZ 1, HAZ 2 ve kaynak bölgesinden alınan numunelerin CVN deneyi sonuçları verilmiştir.

Protection 600T (1) ve S275JR (3) malzemelerin HAZ bölgesi için impact enerji değerleri sırasıyla (87.3 ± 1.6 ve 44.3 ± 1.3) olarak elde edilmiştir, base malzemeye göre daha yüksektir. Ancak, DP450'de (2) HAZ bölgesinde impact enerji değerinde (75.8 ± 8.4) bir düşüş gözlemlenmiştir. Protection 600T, DP450 ve S275JR kaynak bölgesinden alınan numunelerin impact enerjilerinde (sırasıyla 57.0 ± 1.5 , 85 ± 3.4 ve 32 ± 1.2) bir düşüş olmuştur. Bu durum, kaynak bölgesine ilave edilen kaynak telinin mikroyapıyı etkilemesinden kaynaklanmaktadır.

Farklı malzeme çiftlerinin kaynaklanması sonrası CVN deneyleri, kaynak bölgesi ve her malzemenin HAZ olmak üzere üç farklı bölgeden yapılmıştır. Protection 600T/S275JR ve DP450/S275JR malzeme çiftlerinde, S275JR'nin HAZ bölgesinde impact enerjisinin base malzemeye göre arttığı belirlenmiştir. Bu durum, S275JR'nin HAZ bölgesinde ısının etkisiyle ferrit ve perlit fazlarıyla birlikte martenzit fazının oluşmasından kaynaklanmaktadır. Protection 600T ve DP450 HAZ bölgesinden ve tüm malzeme çiftlerinin kaynak bölgesinden alınan numunelerin impact enerjilerinde bir düşüş belirlenmiştir. CVN darbe testi sonrasında seçilen

numunelerin kırılma yüzeyleri Şekil 4.12’de verilmiştir. Darbe testi sonucunda numunelerin tamamen kırılmadığı ve malzemenin sünek davranış gösterdiği görülmektedir.

Çizelge 4.3 Charpy V-çentik deney sonrası darbe enerjisi.

	Malzeme Çiftleri	HAZ 1	Welding Zone	HAZ 2
1	Protection 600 T/Protection 600T	87.3±1.6	57.0±1.5	-
2	DP450/DP450	75.8±8.4	55.7±0.2	-
3	S275JR/S275JR	44.3±1.3	25.9±2.3	-
4	Protection 600 T/DP450	47.1±1.0	37.9±6.2	55.1±7.6
5	Protection 600 T/ S275JR	69.7±4.6	48.79±1.7	40.4±1.2
6	DP450/S275JR	60.1±2.0	46.47±1.8	51.0±0.9



Şekil 4.3 Darbe çentik sonrası seçilen numunelerin kırılma yüzeyleri.



BÖLÜM 5

TARTIŞMA

Zırh çelikleri, mermiler ve patlayıcılarla delinmeye karşı dayanıklı ultra yüksek mukavemete ve sertliğe sahip malzemelerdir. Tanklar, zırhlı araçlar, helikopter parçaları gibi balistik darbe ve çarpışma uygulamalarına dayanıklı ekipmanlarda kullanılırlar [45]. Yapılan bir çalışmada Ultra-high Hard Armor çeliği ile Rolled Homogenous Armor çeliklerini gaz metal ark kaynağıyla birleştirmişlerdir [46]. Bu sebeple Zırhlı savaş araçlarının %75 ini oluşturan RHA çeliği, araç hareketliliğini geliştirmek amacıyla yüksek mukavemet-ağırlık avantajına sahip UHA çelikleriyle bir arada kullanılmaktadır. Kaynak için Austenitic Stainless Steel, Duplex Stainless Steel ve Low Hydrogen Ferritic dolgu telleri kullanılmıştır. Araştırmacılar, dolgu malzemelerinin kaynaklı parçaların balistik direnci üzerindeki etkilerini ve gaz metal ark kaynağı yapılan her iki zırh sınıfı çelik bağlantıların metalurjik karakterizasyonunu incelemişlerdir.

Başka bir çalışmada ise zırhlı araç imalatında kullanılan Quenched and Tempered High Strength (Q&T) Steels kaynaklı bağlantılarının metalurjik özellikleri değerlendirilmiştir [47]. Zırh sınıfı Q&T çeliklerinin kaynağında, ITAB'da kaynak sonrası hidrojenin neden olduğu soğuk çatlama ve kaynak ısıl döngüsünden dolayı ITAB'ın yumuşaması gibi problemler bulunmaktadır. Sonuçlar, bu durumun çeliğin balistik özelliklerini olumsuz etkilediğini ortaya çıkarmıştır. Araştırmacılar robotic GMAW m kullanılarak kaynaklanan The Protection 500 (according to MIL-A-46100 standard) zırh çeliklerinin mikro yapısı ve sertliği üzerinde levha kalınlığının etkisini incelemişlerdir. ER110S-G dolgu metali kullanılarak gerçekleştirilen kaynağın karakterizasyonu, mikro sertlik testleri ile mikro ve makro yapısal incelemelerin yapılmasıyla tamamlanmıştır [43]. Levha kalınlığı arttıkça yumuşama bölgesinin genişliğinin ciddi ölçüde azaldığı ve aynı ısı giriş miktarının mikro sertliği biraz arttırdığı görülmüştür. Zırh çeliğinin kaynağı sırasındaki ısı değişimlerine bağlı olarak içyapıları ve buna bağlı olarak farklı bölgelerde oluşan mekanik özellikleri değişmektedir.

Kaçar ve Emre çalışmalarında [48] ArmoX 500T zırh çeliği ve AISI 304 çeliklerinden oluşturdukları çiftlerin gaz metal ark kaynak kabiliyetlerini incelemişlerdir. Uygun kaynak parametreleri seçimiyle bu malzemelerin birleştirilmesinde başarılı olunacağını ifade etmişlerdir. Zırh çeliklerinin birleştirilmesinde genellikle gaz metal ark kaynağı (GMAW) kullanılmaktadır. Günen ve arkadaşları, GMAW ile farklı kaynak tekniklerinin (cold metal transfer arc welding (CMT) ve hybrid plasma arc welding (HPAW)), mikroyapı ve mekanik özellikler üzerindeki etkilerini karşılaştırmışlardır. Üç farklı kaynak işleminde hem kaynak metali hem de ısıdan etkilenen bölgenin sertliği ana metalden yüksek çıkmıştır. Kaynak parametrelerinin optimizasyonunun yapılması, hatasız kaynaklar elde edilmesine yardımcı olmuştur [49]. Başka bir çalışmada 25mm kalınlığındaki ZGMn13Mo manganez çeliği ve A514 düşük alaşım çeliği ile ER309L paslanmaz çelik kaynak telini kullanarak çoklu paso gazaltı kaynağı (multi-pass gas metal arc welding) gerçekleştirmiştir [50]. Kaynaklı numunelerin mikroyapıları, gerilme özellikleri incelenmiş ve mikro sertlik değerleri ölçülmüştür.

Bu çalışmada Protection 600T zırh çeliği, DP450 (Dual-phase steels) ve S275JR çeliği (structural steel) kullanılmıştır. S275JR çeliği alaşımsız, düşük karbonlu, yumuşak çelik kalitesidir. Çift fazlı DP 450 çelik ise, düşük karbonlu ve yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çeliklere göre daha iyi soğuk şekillendirilme özelliği ve mukavemet gösterir [51]. Yüksek mukavemetleri ve süneklikleri nedeniyle otomotiv sektöründe tercih edilirler [52, 53]. DP çelik malzemeleri birleştirmek için gaz metal ark kaynağı (GMAW) gibi füzyon kaynak işlemleri kullanılmaktadır [54].

Bu malzemeler sahip oldukları özellikleri sayesinde birbirleriyle birleştirilebilmektedir. Bu birleştirme işlemleri sonucunda maliyet ve ağırlık tasarrufu gibi mühendislik avantajları sağlanmaktadır. Farklı özelliklere sahip malzemelerin birleştirilmesi, tasarımların işlevselliğini ve verimliliğini artırdığı için sanayide önemli konulardan biridir. Farklı metal malzemeler aynı süreçte üretilemedikleri ve aynı özelliklere sahip olmadıkları için farklı yöntemlerle birleştirilirler. Bu çalışmada, benzer ve farklı malzeme kombinasyonlarında üç tür malzemenin kaynaklanması hedeflenmiş ve kaynak yetenekleri hem mekanik hem de mikroyapısal olarak incelenmiştir. Deneylerde kullanılan farklı çelik kaliteleri Protection 600T, DP450 ve S275JR genel yapı çeliğidir. Çelik malzemeleri birleştirmek için GMAW yöntemi kullanılmıştır. Çelik plakaların kalınlığı 5 mm'dir. Kaynak öncesi, kaynak olukları (V 60° ve 2 mm kök aralığı) açılarak hazırlıklar yapılmış ve çok geçişli teknik kullanılarak kaynak işlemleri uygulanmıştır. Kaynak öncesi hazırlıklar ve kaynak sonrası kalite kontrol prosedürleri Şekil 1'de verilmiştir.

Sertlik ölçümlerinde, temel malzemelerin sertlik değerleri Protection 600T için 526.5 HV, DP450 için 153.8 HV ve S275JR için 162.5 HV olarak belirlenmiştir. Benzer malzemelerde (Şekil 11 a-c), HAZ'ye yaklaştıkça sertlikte bir azalma, kaynak bölgesinde ise kaynak telinin etkisiyle sertlikte bir artış gözlemlenmiştir. HAZ'de gözlemlenen sertlik azalması, ısının etkisiyle mikro yapıda tane büyümesiyle açıklanabilir. Kaynak bölgesindeki mikrosertlik değerleri Protection 600T için 619 HV, DP450 için 259 HV ve S275JR için 236 HV olarak belirlenmiştir. Farklı malzemelerde (Şekil 11 d ve e), Protection 600T'den kaynak bölgesine geçişte sertlik artışı gözlemlenirken, diğer malzemeye geçişte sertlikte bir azalma meydana gelmiştir. Bu azalmanın, DP450 ve S275JR malzemelerinin nispeten daha düşük sertliğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. DP450/S275JR malzeme çiftinde, mikrosertlik değerleri kaynak bölgesi (sırasıyla 249 HV /271 HV) ve temel metal (sırasıyla 168 HV/163 HV) olarak belirlenmiştir. Zhang ve arkadaşları, Nano-Ölçek Çökelme-Güçlendirilmiş çeliklerin lazer kaynağı üzerine yaptıkları çalışmada, kaynak sonrası mekanik testler gerçekleştirmişlerdir. Mikrosertlik ölçümlerinde en yüksek değerlerin kaynak bölgesinde, ardından HAZ'de ve en düşük değerlerin temel malzemede olduğunu belirtmişlerdir. Bunun nedeni, soğuma hızı nedeniyle kaynak bölgesinde oluşan yeni fazdaki elementlerin çökelme ve ikinci faz oluşturma süresi bulamamasıdır. Sonuç olarak, fazda kalan elementler alışımda büyük ölçüde çözülerek kaynak sonrası katı çözeltilerin güçlenmesine neden olmaktadır [55].

DP450/DP450, S275JR/S275JR ve DP450/S275JR malzemelerinin çekme testi sonuçları, kaynak işleminin başarıyla gerçekleştirildiğini göstermektedir. Çekme testinde elde edilen %100 kaynak dayanım verimliliği, makro ve mikroyapıda gözlemlenen başarılı birleştirmeyi doğrulamaktadır. DP450 ve S275JR malzemelerinin kaynaklı birleşimlerinde kırılma DP450 malzemesinde gerçekleşmiştir. Kaynak bölgesinin dayanımı DP450 malzemesinden daha yüksekti. Bu durumda, DP450 ve S275JR malzeme çiftinin birbirleriyle ve kaynak teliyle uyumlu olduğu ve mekanik özelliklerinin iyileştiği söylenebilir. Protection 600T/Protection 600T malzeme çiftinin kaynaklı birleşimlerinde kırılma kaynak bölgesinde gerçekleşmiştir. Protection 600T'nin daha yüksek mukavemete sahip olmasına (2141.98 MPa) rağmen, kaynak bölgesinde istenen mukavemet, kaynak telinin mekanik özellikleri nedeniyle (550-670 MPa) sağlanamamıştır. Protection 600T ile DP450 ve Protection 600T ile S275JR malzemelerinin birleştirilmesinde benzer bir durum gözlemlenmiştir. DP450/Protection 600T malzeme çiftinde, kaynak bölgesinde martensitik fazda bir artış gözlemlenirken, yapıda mevcut olan östenit ve ferrit fazlarının nispeten artan sünekliği bulunmuştur. Protection 600T ve S275JR ile kaynaklanmış numunelerde, çekme mukavemeti artarken, tokluk azalmış ve sertlik ile

mukavemette bir artış tespit edilmiştir. DP450/S275JR kaynaklı birleşimi, farklı uygulamalarda (taşınma, araç gövde imalatı vb.) başarıyla kullanılabileceğini göstermiştir. Protection 600T/DP450 kaynaklı birleşimler askeri amaçlar için kullanılabilir.

Bükme testleri, kaynaklı birleşimlerin deformasyon kabiliyetleri ile süneklik ve toklukları hakkında önemli bilgiler sağlar. Bükme testinde, uygulanan kuvvetin sonucu olarak oluşan deformasyon veriye dönüştürülür. Test sonucu elde edilen deforme olmuş numunelerin eğrilik miktarı, deformasyon kabiliyeti hakkında fikir verir. Bükme testi sonuçları, kaynaklanmamış numuneler için Protection 600T, DP450 ve S275JR sırasıyla 16.7 kN, 11.0 kN ve 9.3 kN, kaynaklı numuneler için ise sırasıyla 16.8 kN, 11.6 kN ve 10.4 kN olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre, kaynaklı numunelerin bükme dayanımının temel malzemeden daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Farklı malzemelerde, bükme kuvveti temel malzeme performansının altında kalmıştır. Bunun, kaynak bölgesinin iki farklı malzemeden oluşması ve geçiş bölgelerinin çatlak oluşumuna/çatlak yayılmasına neden olmasıyla açıklanabileceği söylenebilir.

Charpy darbe testleri 21 °C oda sıcaklığında gerçekleştirilmiş ve darbe dayanımları, kaynak bölgesinden ve HAZ'den hazırlanan numunelerle karşılaştırılmıştır. Benzer malzemelerde (Protection 600T ve S275JR), HAZ'deki darbe enerjisi değerleri temel malzemeye kıyasla artarken, DP450'de HAZ'de darbe enerjisi değeri azalmıştır. Bu malzeme çiftlerinde, kaynak bölgesinden alınan numunelerde darbe enerjisinde azalma gözlemlenmiştir. Protection 600T/S275JR ve DP450/S275JR malzeme çiftlerinde, S275JR'nin HAZ'ındaki darbe enerjisinin temel malzemeye göre arttığı belirlenmiştir. Protection 600T/DP450 malzeme çiftinin HAZ'inden ve tüm farklı malzeme çiftlerinin kaynak bölgesinden alınan numunelerin darbe enerjilerinde azalma belirlenmiştir. Darbe tokluğu birçok parametreden etkilenir. Darbe tokluğunu etkileyen en önemli faktör, kaynak bölgesindeki mikro yapıdaki düzensiz dağılımdır. Kaynaklı birleşimlerin darbe tokluğu değeri, ferrit, bainit içeriği ve tane boyutuyla doğrudan ilişkilidir [56]. Bu nedenle, çalışmada farklı bölgelerden alınan darbe çentik numunelerinde farklı darbe dayanımları ölçülmüştür.

BÖLÜM 6

SONUÇ

Tez çalışmamızda, farklı mekanik ve mikroyapısal özelliklere sahip Protection 600T, DP450 ve S275JR çeliklerinin GMAW yöntemiyle birleştirilebilirliği incelenmiştir. Ana malzemeler ve birbirine benzer/benzemeyen çeliklerin kaynak bağlantıları, mekanik testler ve optik inceleme ile analiz edilmiştir. Çalışmamızda elde edilen sonuçlar aşağıda belirtilmiştir.

Birbirine benzer malzeme çiftlerinden Protection 600T, DP450 ve S275JR'nin kaynak verimlilikleri sırasıyla %49.4, %103.05 ve %99.76 olarak belirlenmiştir. Protection 600T'deki düşük verimlilik, kaynak mukavemetinin ilave kaynak telinin mekanik özelliklerine bağlı olmasından kaynaklanmaktadır. Bu çalışmada, birbirine benzer malzeme çiftleri başarıyla kaynaklanmıştır.

Birbirine benzemeyen malzeme çiftlerinde (Protection 600T/S275JR, Protection 600T/DP450 ve DP450/S275JR) kaynak verimlilikleri sırasıyla %19.3/81.34, %16.87/72.01 ve %105.5/103.5 olarak belirlenmiştir. DP450/S275JR malzeme çiftinin kaynağı başarılı olmuştur.

DP450/DP450, S275JR/S275JR ve DP450/S275JR malzeme çiftlerinde, kaynak teli ile ana malzemeler arasında mikroyapıda uyum olduğu belirlenmiştir. Bundan dolayı ana malzeme ve kaynaklı numunelerin dayanımı aynı veya daha yüksek çıkmıştır.

Ana malzemelerin mikrosertlikleri Protection 600T, DP450 ve S275JR için sırasıyla 526.5 ± 10.5 , 153.8 ± 1.8 ve 162.5 ± 5.2 HV olarak belirlenmiştir. Tüm kaynaklı numunelerde HAZ ve kaynak bölgesinde sertlik değerlerinde artış tespit edilmiştir.

CVN testi sonucunda, benzer malzemelerin kaynağında HAZ'da iyileşme olurken, kaynak bölgesinden alınan numunelerde absorbe edilen enerji değerlerinde düşme gözlenmiştir.

Birbirine benzemeyen malzemelerde ise HAZ ve kaynak bölgesinde S275JR malzemesine göre artış, diğer iki malzemeye göre ise düşme gözlenmiştir.

Eğme testi sonucunda, kaynaklı birbirine benzer malzeme çiftlerinde eğme kuvveti ana malzemeye göre iyileşmiştir. Birbirine benzemeyen malzemelerde ise eğme kuvvetinde azalma meydana gelmiştir.



KAYNAKLAR

- [1] **Kocadağistan, M E and Çinar O** (2023) Investigation of the weldability of AISI 430 and HARDOX 500 steels by CMT method. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 30(3): p.0-0
- [2] **Kılıç, S. and F. Öztürk** (2016) Comparison of Performances of Commercial TWIP900 and DP600 Advanced High Strength Steels in Automotive Industry. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 31(3)
- [3] **Májlinger, K., E. Kalácska, and P.R. Spena** (2016) Gas metal arc welding of dissimilar AHSS sheets. *Materials & design*, 109: p.615-621
- [4] **Hanninen, H., et al.** (2006) Dissimilar metal weld joints and their performance in nuclear power plant and oil refinery conditions. *VTT TIEDOTTEITA*, 2347: p.208
- [5] **Derya, A., İ. Anil, and İ. Kırık** (2022) Investigation of the microstructural and mechanical properties of AISI 1020/RAMOR 500 steel couple joined by friction welding. *Dicle University Journal of Engineering*, 13(1): p.51-56
- [6] **Rončák, J., O. Adam, and M. Zobač.** (2023) *Electron beam welding of AlCoCrFeNi2. I high entropy alloy to EN 1.4301 austenitic steel.* in *Journal of Physics: Conference Series*. IOP Publishing.
- [7] **Abioye, T., T. Olugbade, and T. Ogedengbe** (2017) Welding of dissimilar metals using gas metal arc and laser welding techniques: a review. *Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences*, 8(6): p.225-228
- [8] **Kaçar, R., et al.** (2018) Effects of welding methods on the mechanical properties of joining dissimilar steel couple. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 33(1)
- [9] **Özturan, A.B., G. İrsel, and B.N. Güzey** (2022) Study of the microstructure and mechanical property relationships of gas metal arc welded dissimilar Hardox 450 and S355J2C+ N steel joints. *Materials Science and Engineering: A*, 856: p.143486
- [10] **Mvola, B., P. Kah, and J. Martikainen** (2014) DISSIMILAR FERROUS METAL WELDING USING ADVANCED GAS METAL ARC WELDING PROCESSES. *Reviews on Advanced Materials Science*, 38(2)
- [11] **Devaraj, J., A. Ziout, and J.E.A. Qudeiri** (2021) Grey-based taguchi multiobjective optimization and artificial intelligence-based prediction of dissimilar gas metal arc welding process performance. *Metals*, 11(11): p.1858
- [12] **Chaudhari, R., P. Loharkar, and A. Ingle.** (2020) *Applications and challenges of arc welding methods in dissimilar metal joining.* in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publishing.
- [13] **Erhard, A., et al.** (2004) *Modeling for the improvement of dissimilar weld inspection.* in *16th World conference on NDT, Montreal.*

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- [14] **Bayock, F.N., et al.** (2019) Experimental review of thermal analysis of dissimilar welds of High-Strength Steel. *Reviews on Advanced Materials Science*, 58(1): p.38-49
- [15] **Maurya, B.K., et al.** (2017) Experimental analysis of dissimilar metal welds of mild steel and stainless steel. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 4(5).
- [16] **Bajpei, T., H. Chelladurai, and M.Z. Ansari** (2017) Experimental investigation and numerical analyses of residual stresses and distortions in GMA welding of thin dissimilar AA5052-AA6061 plates. *Journal of Manufacturing Processes*, 25: p.340-350
- [17] **Singh, S., et al.** (2022) Variant of MIG welding of similar and dissimilar metals: A review. *Materials Today: Proceedings*, 56: p.3550-3555
- [18] **Chaturvedi, M. and S.A. Vendan,** (2021) *Welding: An Overview*, in *Advanced Welding Techniques: Holistic View with Design Perspectives* Springer. p. 1-15.
- [19] **Odermatt, A.A.,** (2010) *Welding: A Journey to Explore Its Past*. Hobart Institute of Welding Technology.
- [20] **Vairamani, V., et al.** (2019) Optimization and microstructure analysis of Corten steel joint in mag welding by post heat treatment. *Materials Today: Proceedings*, 21
- [21] **O'Brien, A.,** (2004) *Welding Handbook, Volume 2: Welding Processes*. Miami, USA: Amer Welding Society.
- [22] **Adzor, S., E. Nnuka, and K. Nnakwo** (2019) Effect of Welding Consumables on the Mechanical Properties of Micro-Alloyed Steel Weldment. 4: p.419-425
- [23] **Thomas, D.** (2016) Weld Repair and the Importance of Analyzing Failure Mode. *Journal of Failure Analysis and Prevention*, 16
- [24] **Yusof, F. and M.F. Jamaluddin** (2014) Welding Defects and Implications on Welded Assemblies. *Comprehensive Materials Processing*, 6: p.125-134
- [25] **Raj, B., V. Shankar, and A.K. Bhaduri,** (2012) *Welding Technology for Engineers*. Vol. 342. New Delhi: Narosa Publishing House.
- [26] **Selahaddin Anık, Adnan Dikicioğlu, and M. Vural,** (1994) *İmal usulleri*. Birsen Yayınevi.
- [27] **Tülbentçi, K.,** (1990) *MIG-MAG Eriyen Elektrod İle Gazaltı Kaynağı*. Kaynak Teknolojisi Eğitim Araştırma ve Muayene Enstitüsü: Gedik Eğitim Vakfı.
- [28] **Kahraman, N. and B. Gülenç,** (2020) *Modern Kaynak Teknolojisi*. 4. ed. Ankara: Epa-Mat Basım Yayın
- [29] **Anık, S.,** (1991) *Kaynak Tekniği El Kitabı*. Gedik Eğitim Vakfı: Kaynak Teknolojisi Eğitim Araştırma ve Muayene Enstitüsü.
- [30] **Çuğ, H. and F. Dağlar** (2020) AISI304L ve AISI430 Kalite Paslanmaz Çeliklerin Nokta Direnç Kaynak Kabiliyetine İlave Yapıştırıcının Etkisi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8(2): p.1586-1603

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- [31] **Odebiyi, O., et al.** (2019) A Review of Weldability of Carbon Steel in Arc Based Welding Processes. *Cogent Engineering*, 6
- [32] **Tuncel, O., et al.** (2019) Otomotiv endüstrisinde kullanılan DP450 ve DP800 saçlarında deformasyon hızının ve haddeme yönünün çekme özelliklerine etkisi. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21(1): p.323-335
- [33] **Li, Y., et al.** (2019) Strength response of 1200 MPa grade martensite-ferrite dual-phase steel under high strain rates. *Scripta Materialia*, 164: p.21-24
- [34] **Huang, T.T., et al.** (2016) Strain-hardening behaviors of dual phase steels with microstructure features. *Materials Science and Engineering: A*, 672: p.88-97
- [35] **Kuziak, R., R. Kawalla, and S. Waengler** (2008) Advanced high strength steels for automotive industry. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 8(2): p.103-117
- [36] **Ishikawa, T.,** (2012) 1 - Understanding and controlling microstructural evolution in metal forming: an overview, in *Microstructure Evolution in Metal Forming Processes*, J. Lin, D. Balint, and M. Pietrzyk, Editors, Woodhead Publishing. p. 3-16.
- [37] **Fonstein, N.,** (2017) 7 - Dual-phase steels**Every effort has been made to trace copyright holders and to obtain their permission for the use of copyright material. The publisher apologizes for any errors or omissions in the acknowledgements printed in this book and would be grateful if notified of any corrections that should be incorporated in future reprints or editions, in *Automotive Steels*, R. Rana and S.B. Singh, Editors, Woodhead Publishing. p. 169-216.
- [38] **Govindan, S., et al.** (2021) Statistical analysis of electrodeposited nickel coating to S275JR grade mild steel. *Materials Today: Proceedings*, 46: p.4159-4164
- [39] **Gürol, U., et al.** (2022) Characterization of Armour Steel Welds Using Austenitic and Ferritic Filler Metals. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 75(3): p.757-770
- [40] **Indhu, R., et al.** (2018) Microstructure development in pulsed laser welding of dual phase steel to aluminium alloy. *Procedia Manufacturing*, 26: p.495-502
- [41] **Çetinkaya, C., et al.** (2022) Effect of Primer Coating Applied To S235JR Material on Submerged Arc Weldability. *Journal of Polytechnic*, 25(3): p.1335-1348
- [42] **Badkoobeh, F., H. Mostaan, and A. Sonboli** (2024) On the Microstructural Transformations and Mechanical Performance of Laser Beam Welded UNS S43000 Ferritic Stainless Steel. *Journal of Materials Engineering and Performance*: p.1-13
- [43] **Çoban, O., et al.,** (2021) Effect of Plate Thickness on The Microstructure and Hardness of Robotic Fillet Welded Armour Steels, in *6th International Conference on Welding Technologies and Exhibition (ICWET'21)*: Hatay, Turkey.
- [44] **Sirohi, S., et al.** (2022) Investigation of the microstructure and mechanical properties of the laser welded joint of P22 and P91 steel. *Optics & Laser Technology*, 147: p.107610
- [45] **Saxena, A., et al.** (2018) Influence of welding consumables on tensile and impact properties of multi-pass SMAW ArmoX 500T steel joints vis-a-vis base metal. *Defence technology*, 14(3): p.188-195

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- [46] **Kumar, S.N., et al.** (2022) Effect of failure modes on ballistic performance of Gas Metal Arc welded dissimilar armour steel joints. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 37: p.570-583
- [47] **Magudeeswaran, G., V. Balasubramanian, and G.M. Reddy** (2018) Metallurgical characteristics of armour steel welded joints used for combat vehicle construction. *Defence Technology*, 14(5): p.590-606
- [48] **Kaçar, R. and H.E. EMRE** (2018) Determination of the Mechanical Properties of Gas Metal Arc Welded Armox Steels. *AKU Journal Engineering Application Science*, 1(1): p.15-23
- [49] **Günen, A., S. Bayar, and M.S. Karakaş** (2020) Effect of different arc welding processes on the metallurgical and mechanical properties of Ramor 500 armor steel. *Journal of Engineering Materials and Technology*, 142(2): p.021007
- [50] **Wang, Q., et al.** (2024) Microstructure and Properties of ZGMn13Mo/A514 Dissimilar Steel Multi-pass Welding. *Transactions of the Indian Institute of Metals*: p.1-10
- [51] **Ranji, A.R., S.N. Gishanim, and S. Alirezaee** (2023) Fatigue assessment of welded joints and crack growth considering residual stress. *Engineering Research Express*, 5(4): p.045001
- [52] **Mukherjee, K., et al.** (2011) Characterization of gas metal arc welded hot rolled DP600 steel. *steel research international*, 82(12): p.1408-1416
- [53] **Kuril, A.A., G.J. Ram, and S.R. Bakshi** (2019) Microstructure and mechanical properties of keyhole plasma arc welded dual phase steel DP600. *Journal of Materials Processing Technology*, 270: p.28-36
- [54] **Burns, T.**, (2010) *Weldability of a dual-phase sheet steel by the gas metal arc welding process*. University of Waterloo.
- [55] **Zhang, M., et al.** (2014) Effect of Laser Welding Process Parameters on Microstructure and Mechanical Properties on Butt Joint of New Hot-Rolled Nano-scale Precipitation-Strengthened Steel. *Acta Metallurgica Sinica (English Letters)*, 27(3): p.521-529
- [56] **Sirohi, S., et al.** (2023) Impact of laser beam welding on mechanical behaviour of 2.25Cr-1Mo (P22) steel. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 201: p.104867

ÖZGEÇMİŞ

Lisans eğitimini 2003 yılında İnönü Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde tamamlamıştır. Bölümü 3. Olarak bitirmiştir. 2007’de TWI-CSWIP 3.1 Uluslararası Kaynak Enspektörlüğü sertifikasını almıştır. GSI-SLV Türkiye’ de Uluslararası Kaynak Mühendisliği eğitimi alarak Kaynak Mühendisi unvanını 2016 yılında almıştır. Tahribatsız Muayene Yöntemlerinden (UT-MT-RT-PT) Seviye-2 sertifikalarını çalışma süresi boyunca almıştır. Özel sektörde Kalite Kontrol Başmühendisi olarak çalışmaktadır.