



**İSKENDERUN TEKNİK**

ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK  
LİSANS  
TEZİ**

**S460MC İNCE TANELİ YAPI  
ÇELİKLERİNİN MAG KAYNAK  
YÖNTEMİ İLE  
BİRLEŞTİRİLMESİNDE AKIM VE  
KORUYUCU GAZ KARIŞIMININ  
MİKRO YAPI VE MEKANİK  
ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN  
İNCELENMESİ**

**Yasin KARGIN**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI**

**AĞUSTOS 2022**



**S460MC İNCE TANELİ YAPI ÇELİKLERİNİN MAG KAYNAK YÖNTEMİ  
İLE BİRLEŞTİRİLMESİNDE AKIM VE KORUYUCU GAZ KARIŞIMININ  
MİKRO YAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**Yasin KARGIN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**AĞUSTOS 2022**

Yasin KARGIN tarafından hazırlanan “S460MC İNCE TANELİ YAPI ÇELİKLERİNİN MIG/MAG KAYNAK YÖNTEMİ İLE BİRLEŞTİRİLMESİNDE KORUYUCU GAZ KARIŞIMININ MİKRO YAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN İNCELENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile İskenderun Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

**Danışman:** Doç. Dr. Erdoğan KANCA

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

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

.....

**Başkan:** Prof. Dr. Gural ÇAM

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

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

.....

**Üye:** Dr. Öğr. Üyesi Mehmet DEMİR

Kilis 7 Aralık Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

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

.....

Tez Savunma Tarihi: 31.08.2022

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

.....

Doç. Dr. Ersin Bahçeci

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

## ETİK BEYAN

İskenderun Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülendiğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu,
  - Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
  - Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
  - Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
  - Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
  - Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,
- bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Yasin KARGIN

31 / 08 / 2021

S460MC İNCE TANELİ YAPI ÇELİKLERİNİN MAG KAYNAKYÖNTEMİ İLE  
BİRLEŞTİRİLMESİNDE AKIM VE KORUYUCU GAZ KARIŞIMININ MİKROYAPI VE  
MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Yasin KARGIN

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

Ağustos 2022

ÖZET

Bu çalışmada yüksek mukavemetli ince taneli bir çelik olan S460MC çelik plakalar iki farklı koruyucu gaz kompozisyonu ve iki farklı kaynak akımı değerlerinde, kaynak hızı sabit tutulup MAG (Metal Aktif Gaz) kaynak yöntemiyle alın-alına kaynak edilmiştir. Kaynak işleminde kullanılan akım değerleri 140 Amper(A) ve 210 Amperdir. Kullanılan gaz karışımları ise %82 Ar + %18 CO<sub>2</sub> ve %92 Ar + %8 CO<sub>2</sub> olarak seçilmiştir. 140 Amper akım değerinde iki gaz karışımı ile de ayrı ayrı kaynak işlemi yapılmış olup 210 Amper akım değerinde de yine bu iki gaz karışımı ile ayrı ayrı kaynak yapılmıştır. Bu kaynak işlemleri esnasında kaynak hızı ve diğer parametreler sabit tutulmuş ve kaynağın kök kısmında sarkma veya kötü bir form oluşmaması amacıyla seramik altlık kullanılmıştır. Kaynak sonrasında numunelere ilk olarak görsel muayene ve sonrasında çekme testi, eğme testi, sertlik testi ve makro-mikro analizler uygulanmıştır. Böylece S460M çeliğinin kaynaklanmasında hem kaynak akımındaki değişimin hem de karışım gazı olarak Argon gazı ile (Ar) beraber kullanılan CO<sub>2</sub> gazı oranındaki değişimin mikro yapı ve mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir.

Yapılan testler sonucunda görsel muayene ve makro yapı incelemelerinde artan CO<sub>2</sub> gazı oranı ve akım ile beraber daha geniş bir kaynak metal (KM) görülmüştür. Mikro yapı incelemelerinde ısıdan etkilenmiş bölge (IEB) CO<sub>2</sub> oranının ve akım değerinin artması ile tane irileşmesi görülmüş ayrıca perlit(P) ve ferrit(F) fazından oluşan yapıda martensit(M) oluşumu da gözlemlenmiştir. Sertlik ölçüm sonuçlarına bakıldığında akım ve CO<sub>2</sub> oranının artması ile beraber ısı girdisinin artması ve daha yavaş soğuma nedeniyle IEB ve KM bölgelerinde sertlik değerlerinde düşme görülmüştür. Çekme testi sonuçlarına bakıldığında ise kaynak akımındaki ve CO<sub>2</sub> miktarındaki artış akma ve çekme dayanımlarını düşürmüştür. Son olarak eğme testleri sonucuna göre kaynaklı birleştirmelerde herhangi bir çatlak, yırtılma, mikro gözenek veya kalıntıya rastlanmamıştır. 180° hem kep hem de kök eğme testlerinin sorunsuz bir şekilde tamamlandığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler : Kaynak Teknolojisi, MAG, S460M, İnce Taneli Çelik, Mekanik özellikler,  
Sayfa Adedi : 58  
Danışman : Doç. Dr. Erdoğan Kanca

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF CURRENT AND PROTECTIVE GAS MIXTURE  
ON MICROSTRUCTURAL AND MECHANICAL PROPERTIES IN JOINING S460MC  
FINE GRAIN STRUCTURAL STEELS WITH MAG WELDING METHOD

(M. Sc. Thesis)

Yasin KARGIN

ISKENDERUN TECHNICAL UNIVERSITY  
INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES

Agust 2022

ABSTRACT

In this study, S460M steel plates, a high strength fine grained steel, were welded face-to-face with two different shielding gas compositions and two different welding current values, keeping the welding speed constant, with MAG (Metal Active Gas) welding method. The current values used in the welding process are 140 Amperes (A) and 210 Amperes. The gas mixtures used were 82% Ar + 18% CO<sub>2</sub> and 92% Ar + 8% CO<sub>2</sub>. Welding was done separately with two gas mixtures at 140 Ampere current value, and also with these two gas mixtures at 210 Ampere current value. During these welding processes, the welding speed and other parameters were kept constant and a ceramic backing plate was used in order to prevent sagging or a bad form in the root of the weld. After welding, first visual inspection and then tensile test, bending test, hardness test and macro-micro analysis were applied to the samples. Thus, the effect of both the change in welding current and the change in the ratio of CO<sub>2</sub> gas used together with Argon gas (Ar) gas as the mixing gas, on the microstructure and mechanical properties of S460M steel were investigated. As a result of the tests performed, a wider weld metal (WM) was observed with the increased CO<sub>2</sub> gas rate and flow in visual inspection and macro structure examinations. In the microstructure investigations, grain coarsening was observed with the increase of the CO<sub>2</sub> ratio and the current value in the heat-affected zone (HAZ). When the hardness measurement results are examined, it was observed that the hardness values decreased in the HAZ and WM regions due to the increase in the heat input and slower cooling with the increase in the current and CO<sub>2</sub> ratio. When the tensile test results were examined, it was observed that increase in the welding current and the amount of CO<sub>2</sub> decreased the yield and tensile strengths. Finally, according to the results of the bending tests, no cracks, tears, micropores or residues were found in the welded joints. It has been observed that both the cap and root bending tests at 180° were completed without any problems.

Key Words : Welding technologies, Mag, S460M, Fine-grain Structural steel,  
Mechanical properties  
Page Number : 58  
Supervisor : Assoc.Prof.Dr. Erdoğan KANCA

## TEŞEKKÜR

Çalışmam süresince tez danışmanlığımı üstlenerek çalışmanın yürütülmesinde ve sonuçlandırılmasın da bana yol gösteren, her türlü bilimsel ve manevi desteğini esirgemeyen, çok değerli danışmanım Doç. Dr. Erdoğan KANCA'ya, tez sonuçlarımın planlanmasında ve sonuçlandırılmasında desteklerini esirgemeyen kıymetli hocam Dr. Öğr. Görevlisi Faruk ÇAVDAR'a, test süreçlerinde bana sürekli destek olan sevgili arkadaşım Orkun AVŞARA'a, çalışmam boyunca yaptığım deney çalışmalarında laboratuvar imkânı sağlayan TÜV AUSTRIA SILA kalite firmasına ve çalışanlarına, hayatımın her anında sevgi ve anlayışını esirgemeyen, yanımda olan, bana inandığını hissettiren sevgili eşim Aylin VARIŞLI KARGIN'a en derin teşekkürlerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	.v
TEŞEKKÜR.....	.vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE VE ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	3
2.1.Yüksek Mukavemetli İnce Taneli Çeliklerin Genel Özellikleri.....	3
2.2 Alaşım Elementlerinin Çeliklere Etkileri.....	5
2.3. Yüksek Mukavemetli İnce Taneli Yapı Çeliklerinin Üretim Şekilleri .....	7
2.3.1 Termomekanik haddelenmiş çelikler .....	8
2.4. Yüksek Mukavemetli İnce Taneli Yapı Çeliklerinin Kaynak Kabiliyeti .....	9
2.5. S460M Çeliği ve Kaynaklanabilirliği .....	11
2.6 MIG / MAG Kaynağı .....	12
2.6.1. Avantajları ve Dezavantajları.....	14
2.7. Isıdan Etkilenmiş Bölge (IEB) .....	15
2.8. Önceki Çalışmalar .....	17
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	23
3.1. Malzeme Seçimi.....	23
3.2. İlave Metal.....	24
3.3 Koruyucu Gaz .....	25



3.4. Kaynak Makinesi.....	25
3.5. Kaynağın Uygulanması .....	27
3.5.1. Hazırlık aşaması .....	27
3.6. Kaynak İşlemi .....	29
3.7. Kaynak Yapılan Materyallere Uygulanan Analizler .....	31
3.7.1. Görsel muayene.....	32
3.7.2. Makro ve mikro yapı analizi .....	33
3.7.3. Mikro sertlik testi .....	37
3.7.4. Çekme testi.....	38
3.7.5. Eğme testi.....	39
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA .....	41
4.1. Görsel Muayene .....	41
4.2. Makro Yapı Testi .....	42
4.3. Mikro Yapı Testi .....	44
4.4. Mikro Sertlik Testi .....	48
4.5. Çekme Testi.....	50
4.6. Eğme Testi.....	51
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	53
5.1. Sonuçlar.....	53
5.2. Öneriler.....	54
KAYNAKLAR.....	55

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. CEN ISO/TR 15608'e göre ince taneli yapı çeliği grupları .....	5
Çizelge 3.1. S460M alaşımlı özel yapısal çeliğin kimyasal bileşimi .....	23
Çizelge 3.2. S460M çeliğine ait mekanik özellikler .....	23
Çizelge 3.3. Gaz altı kaynak telinin standart gösterimi .....	24
Çizelge 3.4. Gaz altı kaynağında kullanılan ilave kaynak telinin kimyasal yapısında bulunan elementler .....	24
Çizelge 3.5. Gaz altı kaynakta kullanılan ilave kaynak telinin mekanik değerleri .....	24
Çizelge 3.6. Esab Warrior 500i CC/CV gaz altı kaynağının özellikleri .....	26
Çizelge 3.7. Kaynaklama işleminde kullanılan parametreler ve koruyucu gaz türü .....	30
Çizelge 4.1. S460M çeliğinin Farklı akım ve CO <sub>2</sub> oranları ile kaynak edilmesi sonucu elde edilen çekme testi sonuçları .....	51
Çizelge 4.2. Eğme Testi sonuçları .....	52

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Genel ağırlıkta azalma, malzeme ve maliyet azalma grafiği .....	4
Şekil 2.2. Termomekanik haddeleme işlemi ve haddeleme sırasında tane boyutunun küçülmesi.....	9
Şekil 2.3. MIG / MAG kaynağına ait ekipmanın şematize edilmiş görseli .....	14
Şekil 2.4. Kaynak işleminden sonra meydana gelen oluşumlar .....	15
Şekil 2.5. Kaynak dikişi ve çevresinde sıcaklıkla taneler yapı değişimi .....	16
Şekil 3.1. Esab Warrior 500i gaz altı kaynak makinesinin görseli .....	26
Şekil 3.2. Kaynak sırasında kullanılan yürüyen robota ait görsel .....	27
Şekil 3.3. Kaynak yapılacak olan materyaller ve kaynak ağzı ölçüleri .....	28
Şekil 3.4. Puntalama işlemine ait görsel .....	29
Şekil 3.5. (a) Kaynak ağzı kontrolü (b)Kök boşluğunun ayarlanması (c)Seramik altlık montajı (d)Plakaların tezgâha sabitlenmesi (e) Kaynağın bitmiş hali (f) Kaynak kök tarafının görüntüsü .....	31
Şekil 3.6. Kaynaklı numune üstünde test numunelerinin yeri .....	32
Şekil 3.7. Kaynak Kumpası .....	33
Şekil 3.8. Makro ve mikro görüntüleme numunelerini kesmede kullanılan testere .....	34
Şekil 3.9. Makro ve mikro görüntüleme için kesilen numuneler .....	34
Şekil 3.10. Makro inceleme için kullanılan yüzey işleme cihazı .....	35
Şekil 3.11. Makro görüntüleme cihazı .....	36
Şekil 3.12. Deneyde kullanılan optik mikroskop .....	36
Şekil 3.13. Mikro sertlik ölçümünde kullanılan sertlik cihazı .....	37
Şekil 3.14. Vickers sertlik ölçümü .....	37
Şekil 3.15. S460M çeliğinin MAG kaynağıyla farklı akım ve CO2 kompozisyonunda yapılan birleştirmelerin mikrosertlik ölçüm yerlerinin gösterimi .....	38
Şekil 3.16. Testte kullanılan çekme numunesinin ölçüleri .....	38
Şekil 3.17. Çekme ve eğme testinde kullanılan WEW 1000D marka cihaz .....	39
Şekil 3.18. Eğme testi numunelerinin ölçüleri .....	40
Şekil 4.1. Kaynağı tamamlanmış test parçaları .....	42
Şekil 4.2. Makroyapı Görüntüleri (a) A140 %8, (b) 210 %8, (c) 140 %18, (d) 210 %18 .....	44

Şekil 4.3. S460M çeliğine ait mikro yapı görüntüsü .....	45
Şekil 4.4. A140 %8 CO <sub>2</sub> (a) Makroyapı Görüntüsü, (b) Ana Malzeme, (c) IEB ve Ergime Bölgesi, (d) Kaynak .....	46
Şekil 4.5. A140 %18 CO <sub>2</sub> (a) Makroyapı Görüntüsü, (b) Ana Malzeme, (c) IEB ve Ergime .....	47
Şekil 4.6. A210 %8 CO <sub>2</sub> (a) Makroyapı Görüntüsü, (b) Ana Malzeme, (c) IEB ve Ergime Bölgesi, (d) Kaynak .....	47
Şekil 4.7. A210 %18 CO <sub>2</sub> (a) Makroyapı Görüntüsü, (b) Ana Malzeme, (c) IEB ve Ergime Bölgesi, (d) Kaynak .....	48
Şekil 4.8. Sertlik ölçüm noktaları .....	48
Şekil 4.9. Mikro sertlik sonuç grafiği .....	49
Şekil 4.10. Çekme testi sonrası numuneler .....	51
Şekil 4.11. Eğme testi deney numuneleri (Kök Eğme, Yüzey Eğme) .....	52

## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

### **Simgeler**

### **Açıklamalar**

A	Amper
Ar	Argon
CO <sub>2</sub>	Karbondiyoksit
P	Perlit
F	Ferrit
C	Karbon
Ti	Titanyum
Al	Alüminyum
Nb	Niyobyum
V	Vanadyum
Cr	Krom
Ni	Nikel
Mo	Molibden
C°	Santigrat derece

### **Kısaltmalar**

### **Açıklamalar**

IEB	Isıdan etkilenen bölge
KM	Kaynak metali
YMDA	Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımli
IIW	Uluslararası kaynak enstitüsü
MAG	Metal aktif gaz
MIG	Metal inert gaz

## 1. GİRİŞ

Günümüzde imalat endüstrisindeki yüksek mukavemetli hafif çelik yapılara ve dolayısı ile daha ince kesitlere olan ihtiyaçlar artmıştır. İşte bu noktada, otuz yıllık bir süreç içerisinde ince taneli yapı çelikleri, mikro alaşımlama gibi kavramlar teknolojinin gelişmesi ile birlikte yüksek basınç ve sıcaklığa direnç amacıyla çelik literatüründe sağlam bir yer kazanmıştır (Gaspar, 2019).

İnce taneli çelikler çeşitli şekillerde kullanılabilir ve uygulama alanları çok geniştir. Bu çelikler, iyi kaynaklanabilirlik özellikleri, kırılma çatlama karşı yüksek direnç ve iyi soğuk şekillendirme özelliklerinin eşsiz bir kombinasyonunu sağlarlar. Günümüzde de açık deniz çelikleri, aşınmaya dayanıklı kaliteler, yüksek dayanımlı çelikler, kazan ve basınçlı kap çelikleri ve gemi yapımı gibi çok uyarlanabilir ve azami güç veya yapı gerektiren ancak daha az ağırlık gerektiren alanlarda kullanılabilir. Bu çeliklerin ilgili sektörlerde artan oranlarda kullanılmak istenmesiyle birlikte, üretimde sıklıkla kullanılan kaynakla birleştirme işlemlerinde, o malzemenin mekanik özelliklerinden taviz vermeyecek ölçüde güvenilirlik algısı da ön plana çıkmaktadır (Alabi vd., 2018). Özellikle kaynaklı birleştirmelerin ısı tesiri altındaki bölgesinde (IEB) tespit edilen bozulmuş ince tane yapısının sonucu olarak hem sert hem de yumuşamış kısımların varlığı başlangıç mekanik özellikleri de değiştirerek soğuk çatlama olasılıklarını temel problem olarak karşımıza çıkarmaktadır. Mekanik özellikleriyle ön plana çıkan bu çeliklerin yapısal uygulamalarda kullanılmak istenmesi, kaynak ile birleştirme operasyonları sonrası standartlara uygunluğu büyük önem arz etmekte olup, uygulanan ergitme kaynak yöntemleri için gaz kompozisyonun başlangıç mikro yapı ve mekanik özelliklerde sürekliliğin sağlanmasında önemli rolleri olduğu da bir gerçektir (Gaspar, 2019). Özellikle mekanik kabiliyetleriyle ön plana çıkan bu çeliklerin kullanımının yaygınlaşması ile birlikte kaynaklarının uluslararası standartlara uygun yapıp yapılmadığı da önem arz etmekte olup seçilen kaynak yöntemi için ilk olarak kaynak akımı ve gaz kompozisyonun mikro yapı ve mekanik özelliklerde devamlılığın sağlanmasında önemli rolleri olduğu da bir gerçektir (Goss ve Marecki, 2012).

Bu yüzden ana malzemenin mekanik özelliklerini düşürmeden en az çarpılma ve iç gerilme optimizasyonunu sağlayan uygun kaynak yöntemi ve bu yöntemde uygun kaynak parametrelerinin (Akım, gerilim, paso, kaynak ağız geometrisi, elektrod çapı, koruyucu gaz vb.) belirlenmesi gerekmektedir (ODTÜ, 2008).

Bu çalışmada ince taneli bir çelik olan termomekanik olarak haddelenmiş S460M çeliğinin kaynağında birleştirme kalitesini etkileyen karışım gazı ve kaynak akımını değiştirilerek bu kaynak değişkenlerinin birleştirme denemelerinin kaynak bölgesi mekanik ve mikro yapı özelliklerine olan etkileri incelenmiştir.



## 2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE VE ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

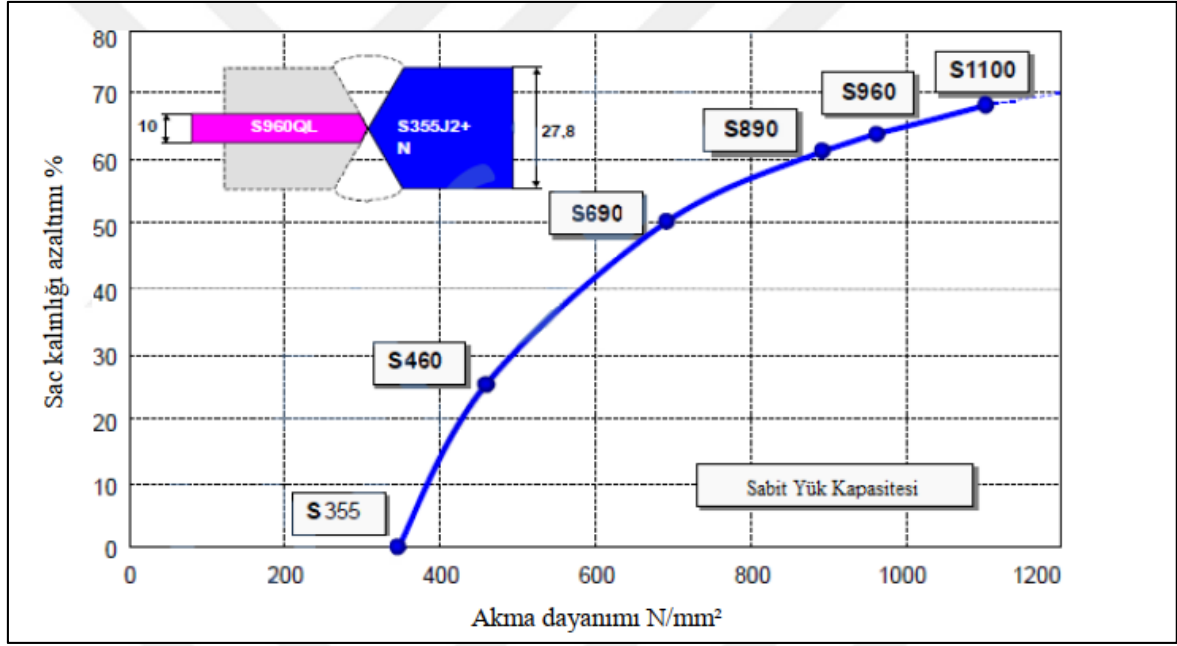
### 2.1.Yüksek Mukavemetli İnce Taneli Çeliklerin Genel Özellikleri

Teknolojik gelişmeler ve yapı çeliklerinin dayanımlarının düşük olması ve buna bağlı olarak farklı ihtiyaçlardan kaynaklanan imalatlar için dayanımları yüksek çeliklere ihtiyaç duyulmuştur. Bu ihtiyaca cevap verebilmek adına Metalurjideki ilerlemeler sayesinde yapı çeliğine mikro alaşım elementleri (Vanadyum, Titanyum, Niyobyum) eklenerek ve ayrıca yapı çeliğinin termomekanik haddeme işleminden geçirilerek mikro yapısal özelliklerin kontrol altına alınması ile yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çelikler (YMDA) üretilmiş ve bazı özellikler kazandırılmıştır. Kazandırılan bu sıra dışı mekanik özellikler sayesinde üretilen YMDA çelikleri; aşınmaya, korozyona, darbeye daha dayanıklı hale gelmiştir (Türker, 2017).

İnce taneli, yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çeliklerin tanelerinin ince yapıda olması ve ince dağılmış karbür ve nitrürlerin bulunması sebebiyle mukavemet değerleri ve çentik darbe tokluğu artmaktadır. Bütün ince taneli çelikler St52'nin geliştirilmiş hali olarak düşünülebilir. İçerdikleri karbon oranı sertleşme sebebiyle %0,2 olarak sınırlandırılmıştır (GSI-SLV-TR, 2009).

(YMDA) plastik özellik göstermelerinin yanı sıra oluşturdukları yapıya hafiflikte sağlamaktadır. Bu özelliklerinin yanı sıra endüstride yaygın olarak kullanılması ve mühendisler tarafından çok tercih edilmesine sebep olan en önemli etkenlerden biride düşük karbon oranları sayesinde kaynaklanabilirliklerinin iyi olmasıdır. İyi kaynaklanabilirlikleri sayesinde hem zaman açısından karlı hem tamir maliyetleri düşük olmaktadır. YMDA çelikleri sayesinde hem daha güçlü hem de hafif yapılar elde etmek mümkündür. Ayrıca fiyat / performans oranını düşündüğümüz zaman da oldukça avantajlı bir materyaldir (Harman vd., 2020). Yüksek mukavemetli ince taneli çelik malzeme kullanımı ile parçanın kalınlığında azalma doğal olarak ta ağırlıktaki azalma ile alakalı bir grafik Şekil 2.1'de yer almaktadır.





Şekil 2.1. Genel ağırlıkta azalma, malzeme ve maliyet azalma grafiği (Hüyüktepe, 2019).

Genel olarak bu çeliklerin minimum 360 MPa'lık bir akma mukavemetine sahip olmaları beklenmektedir. Bu değerin sağlanabilmesi için yapılarında maksimum %0,29 oranında C ayrıca Mo, V, Nb ve Ti gibi sayıca oldukça az olan alaşımlar bulunmalıdır. Mikro alaşım teknolojilerini geliştirmesi ve bu çeliklerin tanecik boyutunun azaltılması ile mukavemet değerleri yukarılara taşınabilmektedir (Hüyüktepe, 2019).

Yüksek mukavemetli çelikler ince taneli veya özel kalite çeliklerdir (Batıgün, 2016). Bu tür çelikler Avrupa literatüründe ince taneli yapı çelikleri olarak bilinmektedir (Tekin, 1992). CEN ISO/TR 15608'e göre ince taneli çelik gruplarının yer aldığı tablo Çizelge 2.1'de yer almaktadır (CEN ISO/TR, 15608).

Çizelge 2.1. CEN ISO/TR 15608'e göre ince taneli yapı çeliği grupları (Batıgün, 2016).

Tür	Adlandırma (Standart)	Akma Sınırı[N/mm <sup>2</sup> ]	Temelalaşımı (Parçaanalizi%)	Mukavemet kazandırma metodu
İnce taneli Yapı çeliği N	1.3 Normalize haddelenmiş ince taneli yapı çeliği (EN 10 025-3)	275 - 460	C ≤ 0,22; Si ≤ 0,65; Mn ≤1,80;Al ≥ 0,015; İlave mikroalaşım: V≤0,22;Nb≤ 0,06; Ti; ≤ 0,06 Σ ≤0,26	Tane küçültme, Makro alaşım, çökeltiler
İnce Taneli Yapı Çeliği M	2.1 - 2.2 Termomekanik haddelenmiş ince taneli yapı çeliği (EN 10 025-4)	75 - 500 (norm.) 275 - 700 (ticari.)	≤ 0,18; Si ≤ 0,65; Mn ≤1,80; Al ≥ 0,015; Mikro alaşım: V ≤ 0,14; Nb ≤ 0,06; Ti; ≤ 0,06	Tane küçültme, Makro alaşım, Soğuk deformasyon
İnce Taneli Yapı Çeliği Q	3.1 - 3.2 - 3.3 Suverilmiş,ıslah edilmişince taneli çelikler (EN 10025-6)	460 - 960 (norm.) 460 - 1.300 (ticari.)	C ≤ 0,22; Si ≤ 0,86; Mn ≤1,80; Al ≥ 0,010; Mikroalaşım: V ≤ 0,14; Nb ≤ 0,07; Ti; ≤ 0,07 ve: Cr ≤1,6; Ni ≤ 2,1; Mo ≤ 0,74 kısmen: Zr veya B	Tane küçültme, Makro alaşım, Dönüştürme, Soğuk deformasyon

## 2.2 Alaşım Elementlerinin Çeliklere Etkileri

Çeliğin yapısına çeşitli alaşım elementleri eklenerek mekanik özellikleri bakımından oldukça çeşitli materyaller elde edilebilir. Genel olarak mühendislik uygulamalarında ihtiyaç duyulan yüksek sertlik değeri, sıcaklık farklarında bile mekanik dayanımlarını koruyan, belirli şartlar altında bile tokluk değerinin yüksek olması, aşınma direncinin yüksek olması, korozyona karşı direncinin yüksek olması gibi çeşitli özelliklere bağlı olarak elementler ve bu elementlerin sayıları belirlenmektedir (Karabulut vd., 2016).

Alaşım elementlerinin çeliğin yapısında bulunma oranına göre alaşımlı çeliklere düşük alaşımlı veya yüksek alaşımlı olmak üzere iki gruba ayrıldığından önceki başlıklarda yer verilmiştir.

Çeliğin yapısına eklenen alaşım elementleri genel olarak şu şekildedir (Hüyüktepe, 2019).

- Titanyum (Ti), Alüminyum (Al), Niyobyum (Nb), Vanadyum (V)

Ancak bu alaşım elementlerinden ziyade başka elementlerde kullanılmaktadır. Kullanılan elementler ve özellikleri ise şu şekildedir;

Karbon elementi çeliğin yapısını güçlendirici element olarak karşımıza çıkmaktadır. Çelikler karbon oranına göre sınıflandırılır.

Niyobyum çeliğin mikro yapısında tane boyutunu küçültür ve yeniden kristalleşme süresini arttırmaktadır. Akma dayanımını da artıran bir element olan niyobyum, karbür oluşturuca özelliklerinden dolayı östenitleme sırasında da çözünmez halde (Hüyüktepe, 2019).

Titanyumun tanecikli yapısının azalması ve karbür oluşturuca özelliğinden dolayı sertlikte artış sağlar. Gücün artmasında önemli rol oynar. Vanadyum çok küçük miktarlarda kullanıldığında ısıya karşı direnci artırır. Alaşımly yapı çeliklerinde taneyi temizleyerek fiziksel özelliklerini iyileştirdiği gibi kesici kenarların uzun süre keskin kalmasını sağlar. Ayrıca akma mukavemetini ve çekme mukavemetini artırma etkisine sahiptir. Yeniden kristalleşme sıcaklığı oldukça düşüktür. Tane incelmesine etkisi çok az olduğu için viskoziteyi arttırmada etkili değildir (Yumuşak, 2008).

Alüminyum, nitrojen ile bağlandıktan sonra östenit tanelerinin büyümesini engeller. Östenitin dönüşümünü teşvik eder ve çelikteki oksijeni azaltma etkisine sahiptir.

Kobalt, ısı direncini artıran ve yüksek sıcaklıklarda tahılın kabalaşmasını önleyen bir element olarak bilinir. Aşınma direncini arttırdığı için genellikle takım çeliklerinde kullanılır (Yumuşak, 2008).

Manganez, malzemenin gücünü artırır ve esnekliği biraz azaltır. Dövme ve kaynak yapma yeteneğini geliştirir. Ek olarak, karbon miktarı sertliğine ve gücüne bağlıdır. Ayrıca oksijeni giderir ve ayrıca korozyon direncini artırır (Yumuşak, 2008).

Bir alaşım elementi olarak silikon, sertliği ve mukavemeti artırır. Bu, malzemenin esnekliğini azaltma etkisine sahiptir. Çelik üretimi sırasında alaşıma oksijen giderici olarak eklenir (Yumuşak, 2008).

Fosfor ve kükürt, çelikte istenmeyen zararlı elementler olarak bilinmektedir. Kırılganlığı artırır, yuvarlanmayı zorlaştırır. Çeliğin işlenebilirliğini arttırmaya gerek olmayan durumlarda fosfor gibi yabancı bir madde olarak kabul edilir ve istenmez. Düşük kükürt içeriğinin korunması, düşük kırılma tokluğu ve düşük yorulma direncini önler.

Krom, korozyon direncini, sertleşmeyi ve aşınma direncini artırır. Yüksek sıcaklıklarda dayanıklılığın korunmasını sağlar. Krom kaplı paslanmaz çeliklerde, artan krom içeriği ile kaynaklanabilirlik azalır.

Nikel-krom ile birlikte sertlik derinliğini artırma etkisine sahiptir. Cr-Ni çelik paslanmaya ve ısıya dayanıklıdır. Mukavemet, tokluk ve sertleşebilirlik Cr ve Mo ile etkin bir şekilde artırılır (Yumuşak, 2008).

Molibden, çekme mukavemetini, özellikle ısı direncini ve kaynaklına bilirligi artırır. Yüksek molibden içeriği, malzemenin bir çekiçle oluşumunu zorlaştırır. Bu element çoğunlukla nikel veya krom ile kombinasyon halinde kullanılır, böylece krom ve nikel ile birlikte çekme mukavemetini ve akma mukavemetini artırır. Tungsten (tungsten) güçlendirici bir etkiye sahiptir. Güçlü karbür oluşturuvcu etkisinden dolayı martenzitin yumuşamasını geciktirir. Bu hizmet ömrünü uzatır ve takım çeliklerinin yüksek sıcaklıklara karşı direncini artırır. Bu nedenle takım çeliklerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Isıya dayanıklı çeliklerin üretimi için uygundur, çünkü yüksek çalışma sıcaklıklarında çelik tavlamaadan sertleşmesini kaybeder. Bunun kaynaklanabilirlik üzerinde olumlu bir etkisi vardır. Çok düşük limitlerde bor, plastik özelliklerini, dövme özelliklerini ve işleme özelliklerini düşürmeden çeliğin çekme mukavemetini ve sertleşebilirliğini önemli ölçüde artırır. Bakır Akışkanlığı ve çekme mukavemetini artırır, esnekliği azaltır ve atmosferik korozyona karşı direnci artırır (Yumuşak, 2008).

### **2.3. Yüksek Mukavemetli İnce Taneli Yapı Çeliklerinin Üretim Şekilleri**

Yüksek dayanıma sahip ince taneli yapı çelikleri kullanıcılara 3 farklı şekilde sunulurlar. Bu sıralama yüksek dayanımlı üretimden düşük dayanımlı üretime doğru aşağıdaki gibidir. (Harman vd., 2019).

Su verilmiş ve temperlenmiş (ıslah edilmiş) ince taneli yapı çelikleri (S460Q, S690Q), Termomekanik haddelenmiş çelikler (S420M, S460M), Normalizasyon haddelenmesi yapılmış çelikler (S420N, S460N).

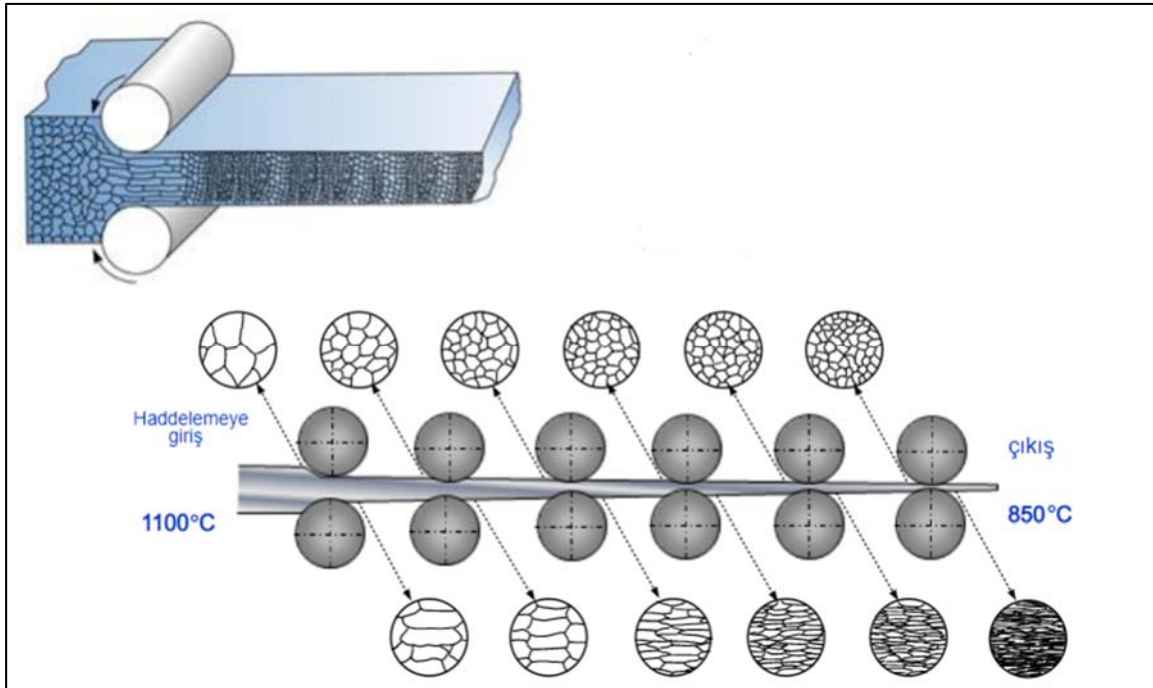
Bu çalışmada termomekanik olarak haddelenmiş S460M çeliği kullanıldığında aşağıda bu üretim yönteminden bahsedilmiştir.

### **2.3.1 Termomekanik haddelenmiş çelikler**

Termomekanik işlem malzemeye faz dönüşümü sırasında, öncesinde veya faz dönüşümü sonrasında uygulanabilmektedir. Termomekanik işlemin esası plastik deformasyon esnasında çelikte meydana gelen kafes hatalarının oluşturulmasına dayanmaktadır (Taş, 2012).

Termomekanik haddeleme işlemi ile malzemeye ilave alaşımlama yapmadan malzemenin işlenebilirlik ve dayanım kabiliyetlerinin artırıldığından dolayı ilave bir alaşım maliyeti oluşturulmamış olur. Bu da metalik malzemelerin mukavemet ve işlenebilirlik gibi özelliklerinde iyileştirme ve üretim maliyetlerinde tasarruf sağlamaktadır. Termomekanik haddeleme işlemi ve sonrası yapıdaki tanelerin küçülmesi işlemi Şekil 2.2’de gösterilmiştir (Ulaştı, 2018).

Termomekanik haddeleme yöntemiyle mikro alaşımlı çeliklerin tane boyutlarının kontrol altına alınması mümkündür. Üstün mekanik özelliklerin sağlanması tane boyutlarının kontrolünün sağlanması ile mümkün olmaktadır ve asıl amaç küçük tane boyutu elde ederek yüksek mukavemet, süneklilik ve tokluk sağlamaktır. Ancak bütün bu özelliklerini elde edilebilmesi için termomekanik haddeleme işleminin doğru bir şekilde yapılması önem arz etmektedir. Bunu yapabilmek içinde ezme miktarı, sıcaklık ve alaşım oranlarının uygun bir şekilde ayarlanması gerekmektedir (Ulaştı, 2018).



Şekil 2.2. Termomekanik haddeleme işlemi ve haddeleme sırasında tane boyutunun küçülmesi (Vural vd., 2003).

#### 2.4. Yüksek Mukavemetli İnce Taneli Yapı Çeliklerinin Kaynak Kabiliyeti

Bir yapının kaynak edilmesinin amacı ekonomik ve uzun süreli olacak şekilde işlevini yerine getirebilmesidir. Kaynak yapılmadan önce mutlaka kaynak edilecek malzemeler ve bunların yapıdaki yerleri ve yapıya olan etkilerinin iyi bilinmesi şarttır. Kaynak kabiliyeti, malzeme, konstrüksiyon ve imalat'a aynı oranda bağlıdır. Kaynak kabiliyeti ile ilgili üç özelliğe önem vermek gerekmektedir.

İmalatın kaynak edilebilirliği, yapının kaynak emniyeti ve malzemelerin kaynaklanabilirliği

Yukarıda belirtilen özelliklerin her biri imalata, malzemeye ve konstrüksiyona bağlı olmalarına rağmen etkileri birbirinden farklılık gösterir. Eğer bir malzeme, imalat ve konstrüksiyon şeklindeki özellikleri, kendisinden beklenen her talebe uygun bir kaynak özelliği gösteriyorsa, o malzeme kaynağa uygun malzeme demektir (Vural vd., 2003).

İnce taneli yapı çeliklerinin içerdikleri düşük karbon ve içerdikleri alaşım elementlerindeki sınırlamadan dolayı kaynaklanabilirlik kabiliyetleri yüksektir. Yapı çelikleri soğuma hızları malzemelerin karbon eşlenik değerlerine ( $C_{eş}$ ) göre hesaplanan ön ısıtma değeri ve yüksek enerji girdisi sınırlarında kaynak edilmektedir. Standart yapı çeliklerinin aksine ince taneli

çeliklerde soğuma hızının çok yavaş olması mukavemet ve tokluk üzerinde düşürücü etkisi olan yüksek karbonlu martenzit ve ferrit yapılarının oluşmasına sebep olmaktadır. Bu durum yüksek ön ısıtma ve tek paso ile kaynaklanan malzemelerin IEB bölgelerinde meydana gelmektedir. Çok pasolu kaynaklarda ise her pasodan sonra atılan diğer kaynak pasosu bir önceki pasoyu temperleme etkisi yapmakta ve kaynak bölgesinde iyileşme meydana gelmektedir. Malzeme kalınlıkları arttığı zaman soğuma hızı artacağından kalın malzemelere ön tav uygulaması sertleşme ve sertleşmeye bağlı çatlakların oluşmaması için ideal bir yöntem olarak kabul görmektedir (Anık ve Vural, 2010: 224-233). Sertleşme riski olan malzemeler kırılma ve çatlak riskine karşı daha korumasızlardır bu yüzden sertleşmeye sebep olan etmenler malzemelerin kaynaklanabilirliğini olumsuz yönde etkilerler. Bu tür malzemelerin kaynakları için özel önemler alınması şarttır. Düşük alaşımlı çeliklerde Cr, V, Ni, Mo gibi elementler sertleşme eğilimine artırıcı rol oynarlar bunların dışında özellikle karbon ve mangan, alaşımsız çeliklerin sertleşme kabiliyetine tesir eden en önemli elementlerdir. Bu alaşım elementlerinin malzemelerin sertleşebilirlik / kaynaklanabilirliklerine nasıl bir etkide bulunacağını tahmin edebilmek için karbon eşdeğeri (Ceş) kavramı oluşturulmuştur (Harman, 2019).

Karbon eşdeğeri; çeliğin içerdiği alaşım elementlerinin oluşturduğu sertliğe eşdeğer sertliği veren karbon miktarıdır. Elementler ağırlık yüzdeli miktarlarda ifade edildiğinde, düşük alaşımlı çelikler için Uluslararası Kaynak Enstitüsü (IIW) tarafından oluşturulan ve tüm dünyada en yaygın şekilde kullanılan karbon eşdeğeri formülü;  $Ceş = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15$  şeklindedir. (Çam, 2021: 193)

Bir kaynaklı birleştirmenin mekanik özelliklerini, akma sınırından daha çok sıcaklık zaman eğrisi belirler. Yaygın olarak malzeme kalınlığına bağlı olarak 50-250 derece arası bir ön tav uygulanır. Burada önemli olan malzeme kalınlığı ve karbon eş değeridir. Bu değerlere bağlı olarak SEW 088 de bulunan ön ısıtma sıcaklıklarına dikkat edilmelidir. SEW 088 soğuk çatlağın önlenmesi için ölçülen minimum ön ısıtma sıcaklıklarının belirlenmesi yönergelerini içerir. Ayrıca çok pasolu kaynaklarda pasolar arası sıcaklığa dikkat edilmelidir. Çok yüksek pasolar arası sıcaklıklarda malzemede dayanım kaybı oluşacaktır. Genel olarak 200C°-250C° değerleri aşılmamalıdır (GSI-SIV-TR, 2009).

Kaynak esnasında malzemeye verilen ısı kaynak bölgesinin mekanik özelliklerine etki etmektedir. Bu ısı girdisi akım, voltaj ve kaynağın yapılma hızına bağlı olarak değişmektedir. İnce taneli çeliklerin kaynağında şu hususlara dikkat edilmelidir.

1-Olabildiğince dar açılı kaynak ağızları açılmalıdır. Geniş kaynak ağızları daha fazla dolgu malzemesi buna bağlı olarak daha fazla ısı girdisine, açılmalara, sertleşme ve çatlaklara hem de fazladan maliyet çıkmasına neden olabilir.

2-Tek ve salınlı geniş kaynak pasolarından kaçınılmalıdır. Daha düşük ısı girdisi sağlayan çizgisel ve çoklu paso tekniği kullanılmalıdır. İlk paso yan duvarlara atılmalı bunun üzerine atılacak olan paso hem bir alttaki pasoyu hem de IEB bölgesine temperleme etkisi yaratacaktır.

3-Ön ısıtma sıcaklıkları hesaplanmalı ve mutlaka uygulanmalıdır.

4-Doğru dolgu malzemesi seçimi yapılmalı ve uygun koşullarda saklanmalıdır (Anık ve Vural, 2010: 224-233).

## **2.5. S460M Çeliği ve Kaynaklanabilirliği**

460M çelik, açık deniz yapıları gibi zorlu ortamlarda kullanım için özel olarak tasarlanmış bir çeliktir. S460M çeliğinin kaynağında temel kural; malzemeye özgü özelliklere yani malzemenin “ince taneli” olduğuna dikkat edilmesidir, ince taneli çelikler, mikro alaşımlı ve/veya belirli soğutma işlemleriyle üretilerek ince taneli yapıları sayesinde akma dayanımlarının yükseltilmesidir. Bunun anlamı, normal bir yapı veya kazan çeliğinin yerine daha ince bir sac kullanılması ve daha hafif bir yapı oluşturulabilmesidir (Anık ve Vural, 2010: 224-233). IIW (International Institute of Welding), IIS (Institute International de la Soudure) nin tarifine göre kaynaklanabilme özelliği tek başına malzemenin kendisine bağlı değildir. Kaynaklı yapı ve kaynak yöntemine de bağlıdır. Bazı metaller bir kaynak yöntemiyle kaynatıldığında iyi bir kaynak kabiliyeti gösterebilirken başka bir kaynak yönteminde aynı kabiliyeti gösteremeyebilir. Bu çalışmada ince taneli bir çelik olan S460M çeliğinin MAG kaynak yöntemi kullanılarak kaynak edilmiştir (Anık, 2010).

Kaynaklı birleşimin mekanik özelliklerini belirleyen en önemli parametre kaynak esnasındaki sıcaklık-zaman seyridir. Kaynak esnasında malzemenin soğuma hızını tespit



etmek için IEB'nin 800 C° den 500 C° soğuması sırasında geçen zaman t8/5 süresi olarak isimlendirilir. Burada bahsedilen ısı iletimi iki boyutlu ve 3 boyutlu olarak sınıflandırılmaktadır. Üç boyutlu ısı iletiminde plaka kalınlığının soğuma hızına hiçbir etkisi bulunmazken iki boyutlu ısı iletiminde ısı malzemenin tüm kesiti tarafından aktarılmaktadır. İki boyutlu ısı iletiminde levha kalınlığının artması sonucu ısı iletimi artar. Üç boyutlu ısı iletimindeyse levha kalınlığının ısı iletimine hiçbir etkisi yoktur. T8/5 süresi hat enerjisi, plaka kalınlığı ön ısıtma sıcaklığı, dikiş şekli ve paso sırası gibi etmenlere bağlı olarak değişmektedir. Eğer ısıdan etkilenen bölgede belirli bir sertlik değerinin aşılması isteniyorsa t8/5 süreside ona göre seçilmelidir. Yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çeliklerinde 10-25 saniye arası süreler istenen mekanik değerleri sağlamaktadır. Gerekli t8/5 süreleri EN1011-2 (SEW 088 ek sayfa 3)'de verilmektedir.

## **2.6 MIG / MAG Kaynağı**

Gazaltı ark kaynak tekniğinde hem asal hem de aktif gazlar kullanılabilir. Sürekli ilave metal besleme ile koruyucu gaz atmosferi altında yapılan birleştirmeler MIG (metal inert gaz), MAG (metal aktif gaz) veya GMAK (gaz metal ark kaynağı) olarak adlandırılır. (Çam,2021:60) Bu yöntemle yapılan birleştirme işleminde, gereken ısı enerjisi, malzeme ve tel arasında oluşan direnç tarafından üretilir. Kaynak torcu, ilave teli kaynak bölgesine besleme görevini ve koruyucu gazı kaynak bölgesine göndererek kaynak banyosunu havanın içindeki zararlı elementlerden korumasını sağlar (Güner ,2007).

Yöntemin gaz korumasına göre isimlendirilmesi değişmektedir. Asal gaz atmosferi altında bir kaynak işlemi yapılırsa, buna MIG adı verilir. Aktif gaz koruması altında bir kaynak işlemi yapılırsa, buna MAG adı verilmektedir (Candan vd., 2006).

Gaz altı kaynak yönteminin yapı çeliklerinin kaynağında kullanımına olan ilginin artmasının, kullanılacak olan koruma gazlarının geliştirilmesi, Karışım gazları ile yapılan kaynaklı yapılarda kaynak dikişinin daha düzgün sonuçlar verecek şekilde iyileştirilmesi, ayrıca hızlı ve ekonomik kaynak bağlantıları meydana getirilmesinde önemi oldukça büyüktür

Ark kaynakları arasında bilinen ve kullanımının en yaygın olduğu kaynak şekli MIG / MAG kaynağıdır. İsimlendirmede kaynak sırasında kullanılan koruyucu gazın türü etkili

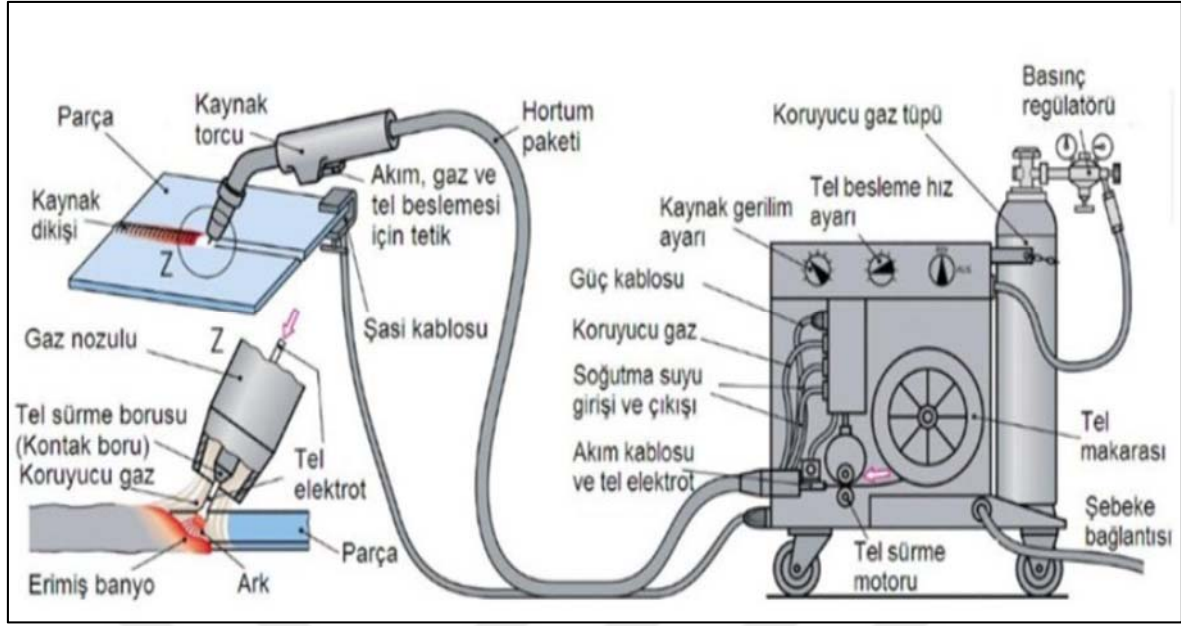
olmaktadır. Korumalı ark kaynağı, soy gaz olduğu zaman MIG kaynağı, aktif gaz olduğu zaman ise MAG kaynağı olarak isimlendirilir ve sınıflandırılır. Aktif gaz kaynakları da kendi içerisinde iki gruba ayrılmaktadır. Bunlar yine kullanılan gaza göre gruplandırılırlar. İlk olarak MAGC (CO<sub>2</sub>) diğeri ise MAGM yani karışık gazdır (Ormanlı, 2021).

Kaynak işleminde kullanılan koruyucu gazın inert yani kimyasal olarak reaksiyona girmeyen gaz olduğu zaman MIG olarak tanımlanır. MIG kelimesinin açılımı ise *metal inert gaz* olarak yapılmaktadır. Eğer kullanılan gaz daha az aktif ise MAG olarak tanımlanmaktadır. MAG kelimesinin açılımı ise *metal aktif gaz* olarak yapılmaktadır (Ormanlı, 2021).

MAG kaynağı işlemi sırasında kullanılan koruyucu gaza ait bağlantıların donmasının önüne geçebilmek amacı ile boru çıkışına bir ısıtıcı donanım eklenmesi dışında MIG kaynağı ile benzerdir. Kaynak işlemi sırasında materyal ile elektrot arasında bir ark oluşmaktadır. Elektrot bir motordan sabit bir hızla beslenmektedir (Ormanlı, 2021).

Telin besleme hızı olarak da bilinen elektrot besleme hızı akımın gücünü belirleyen bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Ark boyu güç kaynağı aracılığı ile belirlenir ve kaynak yapan personelin kaynak sırasında nozulü kaynak yapılacak bölgeye sabit uzaklıkta tutması gerekmektedir (Ormanlı, 2021).

Bahsi geçen bu yükseklik ise 20 mm olarak tavsiye edilmektedir. Şekil 2.3'de MIG / MAG kaynağına ait bir donanımın şematize edilmiş görseli bulunmaktadır. Koruyucu gaz bakımından genel olarak %5 oksijen ya da argon veya karbondioksit kullanılmaktadır (Ormanlı, 2021).



Şekil 2.3. MIG / MAG kaynağına ait ekipmanın şematize edilmiş görseli (Ormanlı, 2021)

### 2.6.1. Avantajları ve Dezavantajları

Demir veya demir dışında alaşımlar barındıran materyallerin birleştirilmesinde MIG / MAG kaynağı minimum maliyet ve yüksek mukavemet için tercih edilmektedir. MIG / MAG kaynağı kullanılarak çeşitli materyaller kolayca birleştirilebilirler. Bunun yanı sıra her türü geometrik şekillerde kaynak yapmak mümkündür (Ormanlı, 2021).

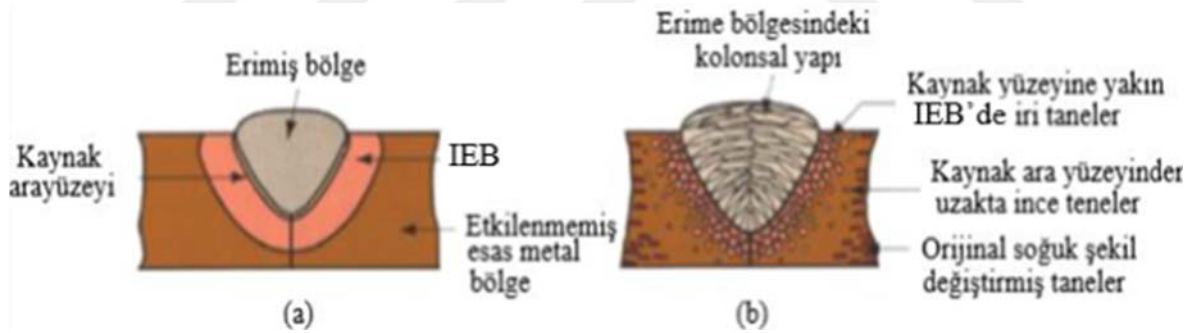
MIG / MAG kaynağında kullanılarak elektrotlar minimum maliyete sahip olmakla birlikte verimin literatürde %93 – 98 arasında olduğu bilinmektedir. Bu bakımdan kaynak materyalin birim uzunlukları genel olarak diğer kaynak yöntemlerine göre daha azdır. Bu kaynak yönteminin uygulama sonrasında kaynak görüntü bakımından oldukça ideal bir görünümde. Bundan dolayı kaynak sonrasında herhangi bir temizlik işlemine gerek duyulmamaktadır. Kaynak öncesinde gerekli olan ısı miktarı bu yöntemde daha azdır bundan dolayı da daha az kaynak buharı olacak ve kaynakçının görüş açısının iyi olması dolayısı ile kaynak işleminin daha kaliteli ve güzel olması kaçınılmazdır (Ormanlı, 2021).

MIG / MAG kaynağı yüksek hız gerektiren işlemlerde, otomasyon işlemlerinde ve yarı otomatik programlanabilir çalışmalarda kullanılabilir. MIG / MAG kaynağını diğer kaynak yöntemleri ile karşılaştırıldığı zaman en büyük avantaj 100 gr kaynak materyali 5 ml hidrojen içermesidir. Bu kaynak yöntemin birçok avantajı olmasının yanı sıra birçok da dezavantajı bulunmaktadır. Kaynak başlangıcında ısı geçişi ve dolgu materyalinin erimesi

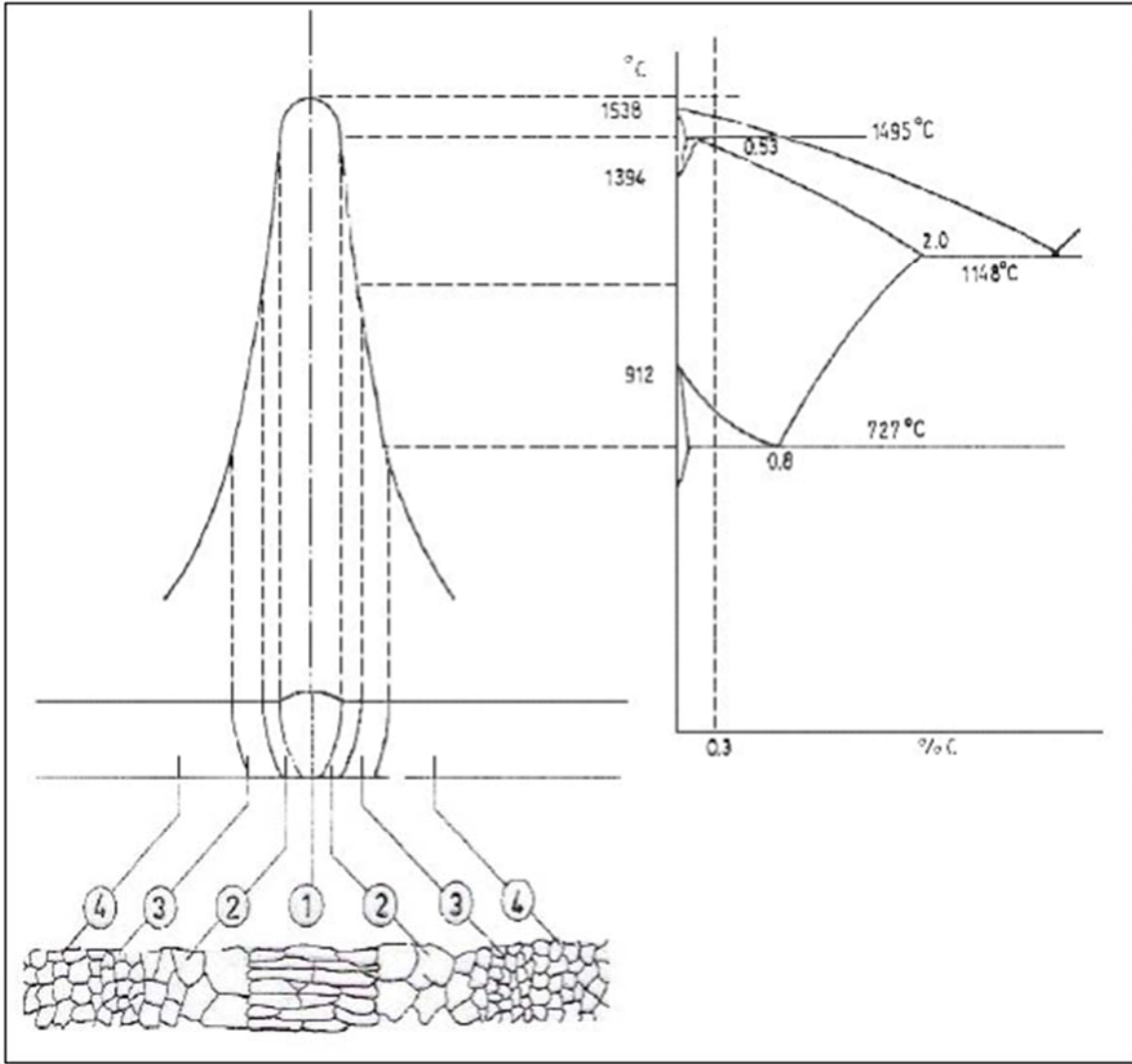
aynı anda gerçekleştiği zaman kaynak başlangıcında veya ek yerlerinde bağlantı hatalarının önlenmesi her zaman mümkün olmamaktadır. Ayrıca düşük hızlarda kaynak yapıldığı zaman arkın önünde giden kaynak banyosu da bağlantıya zarar verebilmektedir. Açık havaya yapılan kaynak işlemi yapıldığı zaman koruyucu gazın muhafaza edilmesi gerekmektedir (Ormanlı, 2021).

## 2.7. Isıdan Etkilenmiş Bölge (IEB)

Ergime derecesine kadar ısı tesiri altında kalmayan fakat (723 °C) olan alt kritik sıcaklığa kadar ulaşan bir ısı ana metali etkiler. Kaynak dikişini çevreleyen bu kısma Isıdan Etkilenmiş Bölge (IEB) adı verilir. Burada ana metalin kendi tanelisel yapısı çöker, onun yerine başka bir yapı meydana gelir, üretim aşamasında çeşitli ısıl işlemlerle (yumuşatma, sertleştirme, temperleme) ana metale kazandırılmış özellikler bozulmaya uğrar. Kaynaktan sonra malzeme ve IEB bölgesinde meydana gelen değişimler Şekil 2.4’de ve kaynak dikişi ve çevresinde sıcaklıkla tanelisel yapıdaki değişimler de Şekil 2.5’de gösterilmektedir (Kırbaş, 2014).



Şekil 2.4. Kaynak işleminden sonra meydana gelen oluşumlar (Işık, 2014)



Şekil 2.5. Kaynak dikişi ve çevresinde sıcaklıkla taneler yapı değişimi (Işık, 2014)

## 2.8. Önceki Çalışmalar

Harman, Ada ve Çetinkaya çalışmalarında ince taneli ve mikro alaşımlı yapıya sahip bir malzeme olan QStE 420TM çeliğinin elektrik ark kaynak yöntemi ile 3 farklı kimyasal birleşime sahip çubuk elektrot kullanarak (E11018-G H4, E7018-1 H4R ve E7018 H8 AWS) bu elektrotların malzeme üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Numunelere Metalurjik olarak makro ve mikro inceleme mekanik olarak da çekme, eğme, çentik darbe ve sertlik testleri yapılmıştır ve her elektrot kullanımı için bir deney yapılmıştır. Karbon eş değeri (Ceş) yükseldikçe kaynak banyosundaki akışkanlığın azaldığı buna bağlı olarak kaynak hızının azalması ile ısı girdisi artması sonucu Deney 3 (E7018 H8 AWS) den Deney 1 (E11018-G H4) e doğru daha geniş bir IEB bölgesi olduğu gözlemlenmiştir. Isı girdisinin artması sonucu Mikroyapılar incelendiğinde kaynak metalinde mikro karbürlerin homojen ve noktasal boyutlu dağılımının bozulduğu, bunun sonucu olarak da Deney 1’de düşük ısı girdisinin bir sonucu olarak hızlı soğumaya bağlı olarak karbon oranı yüksek, sert ve gevrek yapılar oluşmuş Deney 2’de (E7018-1 H4 R) ise aşırı ısı girdisinin sonucu olarak tane irileşmesi meydana gelmiştir

Yapılan sertlik testlerinde zamandan bağımsız dönüşümlerin neticesinde hızlı soğumaya bağlı olarak martenzit gibi gevrek ve sert yapıların olduğu IEB’in ergime çizgisine yakın olduğu bölgede sertlik en yüksek değerlerde çıkmıştır. Her 3 deneyde de yapılan çekme testlerinde minimum akma mukavemeti değeri ana malzemeninkinden yüksek çıkmış ve kopmalar farklı ısı girdilerinden dolayı farklı noktalardan olmuştur (Harman vd., 2022).

Ermis ve Celikten çalışmalarında termo mekanik olarak haddelemiş 8 mm kalınlığında S460M ince taneli çelik malzemeyi, MAG kaynak yöntemini kullanarak çelik plakalar arasında 3 farklı ölçüde gap boşluğu (gap boşluğu yok, 1 mm ve 2 mm) bırakarak kaynatmışlardır. Gap boşluklarının malzemenin mekanik özellikleri üzerine etkisini incelemek içinde çekme testi, çentik darbe testi, eğme testi ve sertlik testi yapmışlardır.

Çekme testi sonuçlarında ana malzemede kopma meydana geldi. Bu sonuçlar kaynak dikişlerinin güvenli olduğunu göstermektedir. Sertlik testi sonucu incelendiğinde, sertliğin ana malzemeye doğru. Eğme testi sonucunda çatlak, yırtılma vb. kaynak hatalarına rastlanmamıştır (Ermis ve Celikten, 2021).

Kornokar vd. çalışmalarında termo mekanik olarak haddelenmiş ince taneli bir çelik olan S500MC çeliğininin, otomatik gaz tungsten ark kaynağı (GTAK) yöntemi ile farklı ısı girdilerinde kaynak etmişler ve bu yöntemin kaynaklı malzemenin mekanik özellikleri (çekme testi) ve mikro yapısına etkilerini incelemişlerdir. Kaynaklanmadan önce ana malzemenin iç yapısı ferrit ve perlitten oluşuyordu. Bununla birlikte kaynak sonrası kaynak metalinin mikro yapısı büyük olasılıkla martenzite dönüşmüş ve östeniti tutmuştur. Isı girdisinin artması ve karbürlerin çözünmesi nedeniyle martensitik yapıların boyutu artmıştır. Tutulan östenit miktarı da ısı girdisindeki artışla artmıştır. Isıdan etkilenen bölgenin mikro yapısı kaynak metaline yakın olan kısımlarda ince bir martensitik yapı olarak gözlemlenirken ana metale yakınlaşan bölgede mikro yapı olarak perlit ve martensit kombinasyonu oluştuğunu gözlemlenmiştir. IEB'dE mikroyapısal değişiklikler meydana gelmesine rağmen bu durum çekme dayanımını olumsuz etkilememiş, tüm numunelerde ana metalde kırılma meydana gelmiştir ve maksimum 690 MPa çekme dayanımına ulaşılmıştır. Kaynak metalinde martenzit mikroyapısının varlığı, ana metalde başarısızlığa yol açan o bölgedeki mukavemeti arttırmıştır (Kornokar vd., 2022)

Dong ve arkadaşları bu çalışmalarında düşük alaşımlı yüksek mukavemetli çeliklerde ısı girdisinin mikro yapıya ve mekanik özelliklere etkisinin incelemişlerdir. HSLA çeliğinin gaz tungsten ark kaynağı, farklı kaynak ısı girdileri ile gerçekleştirilmiş ve hazırlanan bağlantılarda kaynak ısı girdisinin mikroyapı, Vickers sertliği ve ısıdan etkilenmiş bölgenin (IEB) darbe tokluğu üzerindeki etkileri sistematik olarak araştırılmıştır. Düşük kaynak ısı girdisine sahip IEB'deki mikro yapı esas olarak martensitten oluşuyordu ve kaba taneli IEB'nin mikrosertliği, ince tane bölgesinden daha yüksek ölçüldü. Sonuçlar, kaynak ısı girdisinin arttırılmasının martensit oluşumunu baskılayabileceğini ve IEB'nin mikrosertliğini azaltabileceğini göstermektedir. Bununla birlikte, IEB'nin darbe tokluğu, kaynak ısı girdisinin artmasıyla belirli bir artış göstermemiştir. Testler, kaynak ısı girdisi 0,67 kJ/mm olduğunda IEB'nin optimum kapsamlı özelliklerinin elde edildiğini göstermektedir (Dong vd., 2014).

Ormanlı bu çalışmasında düşük alaşımlı yüksek mukavemetli bir çelik olan S960QL çeliğini iki farklı gaz birleşimi ve 3 farklı kaynak akımı değerlerinde MAG kaynak yöntemi ile kaynaklamıştır. Kaynak esnasında kaynak hızı sabit tutulmuş olup 245,215 ve 185A olmak üzere plakalar 3 farklı akım değerinde %80Ar %20 CO<sub>2</sub> ve %95Ar %5 CO<sub>2</sub> oranlarında karışım gazları kullanmıştır. Bu sayede hem Ar gazına ilave edilen CO<sub>2</sub> gazının hem de

kaynak akım değerindeki değişimin kaynaklı birleştirme üzerindeki etkilerini incelemiştir. Kaynak sonrası numunelerin her birine makro ve mikro yapı, görsel muayene, çekme testi, sertlik testi, çentik darbe testi ve eğme testleri yapılmıştır. Bu testlerin sonucunda ilk olarak kaynak akım değeri ve karışım gazındaki CO<sub>2</sub> oranının artmasıyla kaynaklarda daha derin nüfuziyet ve daha geniş kaynak yapıları olduğu görülmüştür. Bununla birlikte mikro yapı görüntülemelerinde akımda ki artışın etkisiyle hem IEB hem de kaynak metali bölgesinde temperlenmiş martensit yapısına ek olarak ferlit ve beynit yapılarının olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca IEB bölgesinde tanelerin irileştiği görülmüştür. Mekanik test sonuçlarında Kaynak akımı ve CO<sub>2</sub> deki artış ile beraber çekme ve akma mukavemet değerlerinde düşüş görülmüş en iyi çekme dayanımı değeri 185A-%5 CO<sub>2</sub> birleşiminde görülmüştür. IEB ve KM deki sertlik değerlerinde de akım ve CO<sub>2</sub> oranının artması ile birlikte daha yavaş soğuma hızının bir sonucu olarak düşüş tespit edilmiştir. Son olarak eğme testlerinde kök eğmeleri tamamında çatlaklar gözlemlenirken yüzey eğmede akım değerinin artması ile çatlaklar oluşmamıştır (Ormanlı, 2021)

Ebrahimnia vd. bu çalışmalarında koruyucu gaz bileşimlerinde ki Ar ve CO<sub>2</sub> gaz oranlarındaki değişimin kaynaklı birleştirme üzerindeki etkilerini metalografik (makro, mikro test) ve mekanik (çentik darbe ve sertlik) sonuçlarını incelemiştir. Test plakası olarak bir yapı çeliği olan St 37-2 kullanmışlardır. Karışım gaz oranlarını ise 97.5% Ar + 2.5% CO<sub>2</sub>, 90% Ar + 10% CO<sub>2</sub>, 82% Ar + 18% CO<sub>2</sub> ve 75% Ar + 25% CO<sub>2</sub> olacak şekilde ayarlamışlardır. Kaynak yöntemi MAG olup kaynak parametreleri 20 (V), 180 (A) ve 30 (cm/dk) olarak bütün numunelerde sabit olarak tutulmuştur.

Sonuçlar incelendiğinde karışım gazında ki CO<sub>2</sub> miktarının artması ile gözeneklerin azaldığı görülmüş, mikro yapıda iğneli ferritin hacim oranı azalmış widmanstatten ferritin hacim oranı artmıştır. CO<sub>2</sub> miktarının artması ile çentik darbe dayanımı artmış daha sonrasında sabit kaldığı gözlemlenmiştir. Sertlik değerlerinde ise CO<sub>2</sub> Oranının artması ile ısı girdisinin artması sonucu sertlik değeri kaynak metali ve IEB bölgesinde düşüş göstermiştir (Ebrahimnia vd., 2009).

Haupt vd. çalışmalarında düşük alaşımlı yüksek dayanımlı bir çelik olan ve MAG kaynak yöntemiyle birleştirilen DOMEX 700 çeliğinde AWS ER 90S-D2 (A1) ve AWS ER 120S-G (A2) elektrotları ve Ar + 15% CO<sub>2</sub> (G1) ve Ar + 8% CO<sub>2</sub> (G2) karışım gazlarının mekanik (çekme, sertlik ve çentik darbe) ve mikro yapı özellikleri üzerine etkilerini incelemiştir.



AWS ER90S-D2 (A1) ve AWS ER 120S-G (A2) elektrotlarının kullanımı, DOMEX 700 endüstriyel uygulaması ile doğrulanmıştır. AWS ER 90S-D2 mekanik özellikleri ve firmaların kaynak prosedürleri nedeniyle genellikle vinçlerin üretim hatlarında uygulanan bir kaynak sarf malzemesidir. Bununla birlikte karbon oranı ve diğer alaşım oranları daha yüksek olan AWS ER 120S-G bir alternatif olarak gelir, çünkü daha yüksek alaşım elementleri kaynaklı bağlantıya daha yüksek kalite ve özellikler sağlayabilir. Sonuçlara bakıldığında AWS ER 120S-G elektrotunun uygulanması, her ikisi için de aynı gazı kullanan AWS ER 90S-D2 elektrotuna kıyasla kaynaklı bağlantılar için daha yüksek mekanik mukavemet ve uzama değerleri sağladı. AWS ER 120S-G elektrotunun uygulanması, her ikisi için de aynı gazı kullanan AWS ER 90S-D2 elektrotuna kıyasla kaynaklı bağlantılar için Cr ve Ni gibi alaşım elementlerini daha fazla içerdiğinden daha yüksek mekanik mukavemet ve uzama değerleri sağlamıştır. AWS ER 120S-G elektrotuyla ve G1 ve G2 gazları ile yapılan denemelerin mikro görüntülerine bakıldığında ana malzeme de poligonal ferrit ve ferrit karbür agregaları görülmekte iken HAZ bölgesine bakıldığında widmanstatten ferrit mevcudiyeti görülmektedir. Kaynak metalinin mikro yapılarında iğneli ferrit yapısına rastlanmıştır. Bununla birlikte, alaşım elementlerinin daha düşük olduğu elektrot A1'i uygularken çekme mukavemeti değerleri düşmüştür. A2 elektrodu, Cr ve Ni gibi A1 elektrodundan daha yüksek alaşım elementleri içeriği sunarak mekanik mukavemeti ve dayanıklılığı artırır. Ayrıca, A2'de Ti ve V'nin daha yüksek mevcudiyeti, mekanik mukavemet artışını haklı çıkaran karbürler oluşturmuştur. AWS ER 90 S-D2 (A1) elektrotunu uygularken, bu elektrotta bulunan alaşım elementlerinin daha düşük içeriği nedeniyle kaynak metalinde ve IEB'de daha büyük bir sertlik azalması görülmüştür (Haupt vd., 2018)

Barlas vd. (2021) çalışmalarında ince taneli yüksek dayanımlı bir çelik olan S960QL çeliğinin 2 farklı gaz bileşimleri (%95 Ar %5 CO<sub>2</sub> ve %80 Ar %20 CO<sub>2</sub>) ve 3 farklı akım (185,215,245 Amper) değerinin kullanarak MAG kaynak yöntemiyle kaynatmışlardır. Uyguladıkları bu kaynak değişkenlerinin kaynak bölgesinin mekanik ve mikroyapı özelliklerine olan etkilerini tespit etmek amacıyla makro, mikroyapı testleri ile çekme, çentik darbe testleri ve mikrosertlik ölçümleri yapmışlardır. Tedarikçiden alınan ana malzeme ince taneli temperlenmiş martenzit (TM) ve beynit (B) yapısına sahiptir. Kaynak akımı ve koruyucu gazdaki CO<sub>2</sub> oranındaki artışı ile kaynak bölgesine giren ısı miktarının arttığını, soğuma hızının azaldığını ve bütün numunelerde tane irileşmesi ve beynitin martenzite olan oranının arttığını gözlemlemişlerdir. Bu dönüşümlerin bir sonucu olarak da dayanım

değerleri ve çentik darbe dayanımlarının düştüğünü görmüşlerdir. %95Ar %5 CO<sub>2</sub> ve 185 Amper değerleri kullanılarak kaynak yapılan numunenin IEB bölgesinin en dar olduğu ve TM+B yapısının korunduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca sertlik testinde en yüksek değerler ve çekme testinde de en iyi performansı yine %95Ar %5 CO<sub>2</sub> ve 185A numunesi göstermiştir. Ancak akım ve CO<sub>2</sub> değerinin artması sonucu muhtemel çökeltilerin çözünmesi ve tanelerin irileşmesi sebebiyle KM ve IEB'deki sertlikler azalmıştır (Barlas vd., 2021).

Karabulut vd. çalışmalarında düşük alaşımlı bir çeliği toz altı kaynak yöntemiyle 3 farklı akım (350,400,450 Amper) bu akım değerlerinde kaynak hızları da sırasıyla 42,46,50 cm/dakika seçerek kaynak etmişlerdir. Bu değerlerde ısı girdileri hesaplandığında bunlarda sırasıyla 1,34/1,53/1,73 kJ/mm olarak hesaplanmıştır. Kaynak edilen parçalara mikro yapı testi ve mekanik testler (çekme testi ve sertlik testi) uygulanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada kullanılan çeliğin ilk mikro yapısı ferrit ve perlit yapısından oluşmaktadır. Bununla birlikte, tüm kaynaklı numunelerin kaynak metali, IEB'ye yakın poligonal ferrit ve plaka ferritine, kaynak metalinin merkezinde Widmanstatten ferrit ve az miktarda martensit e sahip olduğu gözlemlenmiştir. Kaynak esnasında malzemeye giren ısı miktarı akım arttıkça artmış ve bunun neticesinde IEB'de arttığı gözlemlenmiştir. En yüksek çekme mukavemeti, 400 A kaynak akımında kaynaklanmış ve 665 MPa olarak ölçülmüştür. Bunun nedeni, kaynaklı bağlantıların geçiş bölgesinde Widmanstatten ferrit oluşumudur. Kaynak akımındaki bir artış, ısı girdisini yükseltti ve bu da Widmanstatten ferrit oluşumunu teşvik etti. 350,400,450 Amperlik numuneler için sırasıyla 281 HV, 297 HV ve 320 HV ile en yüksek sertlik kaynak metalinde elde edilmiştir. Genel olarak, kaynak akımı arttıkça, büyük östenit tanecikleri ve yüksek soğuma hızı nedeniyle kaynak merkezinde daha fazla widmanstatten ferrit veya martensitik yapının oluşması mümkündür (Karabulut vd., 2016)

Şık bu çalışmasında 4 mm et kalınlığına sahip yapı çeliğini (St 52-3) MAG kaynak yöntemiyle 3 farklı karışım gazı (80Ar+18 CO<sub>2</sub>+2O<sub>2</sub>, 88Ar+10 CO<sub>2</sub>+2 O<sub>2</sub> ve 93Ar+5 CO<sub>2</sub>+2O<sub>2</sub>) ile kaynak etmiştir. Bu şartlarda kaynak edilen numuneleri mekanik (sertlik, yorulma deneyi) ve metalografik(mikro) olarak incelemiştir. Ar+ O<sub>2</sub> koruyucu gaz karışımları ile yapılan numunelerin akma mukavemetleri O<sub>2</sub> yüzdesinin artması ile artmaktadır. Aynı şekilde O<sub>2</sub> yüzdesinin artmasıyla çekme mukavemeti düşmekte buna karşılık % uzama miktarı azalmaktadır. Ar+ CO<sub>2</sub> koruyucu gaz ortamında kaynak yapılan numunelerde CO<sub>2</sub> oranının artmasıyla akma ve çekme dayanımlarının düştüğü ve % sünekliliğin arttığı görülür. Ar+ CO<sub>2</sub> + O<sub>2</sub>'nin üçlü karışım gazı ile kaynak edilen numunelerde Argona ilave edilen O<sub>2</sub>

+ CO<sub>2</sub> gazları belirli bir orandan sonra artması ile akma ve çekme mukavemetlerinde düşme % süneklilik miktarlarında artma görülür. Argona CO<sub>2</sub> eklenmesi ark sıcaklığını artırıcı etki yapmakta O<sub>2</sub> kaynak banyosu yüzey gerilimine etki ederek daha üniform olmasını sağlamakta ve kaynak dikişi mukavemetini artırıcı etkiler ortaya koymaktadır. Yapılan yorulma dayanımı deneyleri sonucunda CO<sub>2</sub> miktarı az olan gaz karışımının (93Ar+5 CO<sub>2</sub> +2 O<sub>2</sub>) değeri 88Ar+10 CO<sub>2</sub>+2 O<sub>2</sub> göre düşük çıkmıştır. Bunun nedeni Argon gazına ilave edilen CO<sub>2</sub> ve O<sub>2</sub> gazının çok az düşüşe sebep olmasıdır. Çünkü sertlik doğrudan yorulma dayanımına etki etmektedir. Sert malzemelerin yorulma dayanımları yumuşak malzemelere göre daha yüksek olmaktadır. Esas metalin mikro incelemesinde düzensiz bir biçimde tane yapısına sahip ve yer yer eş eksenli yapılardan meydana geldiği görülmektedir. 80Ar+18 CO<sub>2</sub> +2 O<sub>2</sub> numunesinde geçiş bölgesinde ana metal tarafında çok ince tane yapısı görülmektedir. Kaynak metali bölgesinde ise ısı yayılımı ile paralellik sağlayacak şekilde tane yönelmesi söz konusudur. Kaynak bölgesinde dendritik tane yapısı görülmektedir. Diğer kısımlarda çok küçük ve düzensiz şekilde tane yapısı hakimdir (Şık, 2007).

Kalkan bu çalışmasında düşük alaşımli yüksek dayanımlı bir çelik olan S460M çeliğinin farklı kalınlıklardaki örneklerine (8mm,20mm) tam mekanize GMAW (Gaz altı kaynak yöntemi) kullanarak çoklu pasolu kaynağın hem salınımlı (torca salınım vererek yapılan kaynak) hem de salınım sız olarak denenmesinin malzemenin mikro yapısı ve mekanik özelliklerine etkisini araştırmıştır. Numunelerin iç yapısında ki değişimleri görebilmek için makro ve mikro inceleme yapılmış ayrıca mekanik özelliklerinin tespiti içinde çekme testi, sertlik testi ve çentik darbe testleri yapılmıştır. Bu testler sonucunda farklı kalınlıklardaki iki malzemenin yapılan kaynaklar sonrası mekanik değerlerinin birbirinden farklı olduğu görülmüştür.20mm lik malzemeye uygulanan salınımlı çoklu paso kaynak yönteminin çentik darbe dayanım sonuçları düz çoklu paso yöntemine kıyasla %22-%38 arasında iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir. Salınımlı çoklu paso yönteminin düz çoklu paso yöntemine göre IEB' nin daha dar olduğu görülmüştür. Sertlik değerlerine bakıldığında 20 mm lik parçaların sertlik değerleri 8mm lik parçanın sertlik değerlerine göre daha yüksek çıkmıştır. Bütün kaynak denemelerinde mikro yapı görüntülerinde IEB bölgesi ince taneli ve düzenli yapı; kaynak metali kısmı ise iri taneli ve düzenli yapı çıkmıştır. Aynı şartlarda Çentik darbe dayanımları kıyaslandığında 20 mm kalınlığında ki malzemenin çentik darbe dayanımı %20 çekme deney sonuçları ise %25 daha iyi sonuçlar vermiştir. Bunun sebebi olarak 20 mm kalınlığında ki malzemenin 3 boyutlu ısı iletimine sahip olması ön görülmüştür (Kalkan, 2018)

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Malzeme Seçimi

Söz konusu malzeme ince taneli, kaynaklanabilir, termomekanik haddelenmiş yapı çeliğidir. Standart karşılığı EN 10025-4:2004 tür. S460M çeliği, hem ana metalde hem de kaynakta mükemmel sertliğe, mükemmel korozyon direncine ve minimum bakıma, köprü yapımında ve diğer yapılarda daha düşük yaşam döngüsü maliyetine, artırılmış dayanıklılığa veya tehlikeli boya kalıntılarının işlenmesine gerek kalmadan daha uzun hizmet ömrüne sahiptir. 460M çeliğinin korozyon önleyici özellikleri, geleneksel yapı çeliklerinden çok daha iyidir. Zamanla çelik, yüzeyine iyi yapışan ve korozyonu önemli ölçüde yavaşlatan koruyucu bir oksit tabakası oluşturur. Bu katman oluşmaya başladığında, çeliğin açık kahverengi-turuncu rengi tek tip koyu kahverengiye dönüşerek belirgin bir görsel etki yaratır. 460M çelik, açık deniz yapıları gibi zorlu ortamlarda kullanım için özel olarak tasarlanmış bir çeliktir.

Bu projede sertifika numarası 0038227I Heat numarası 937821olan 5mm kalınlığına malzeme kullanılmıştır.

Malzemeye ait mekanik ve kimyasal özellikler Çizelgelerde verilmiştir.

Çizelge 3.1. S460M alaşımlı özel yapısal çeliğin kimyasal bileşimi

Standard 1	Kalite	C%	MN %	P%	S%	SI%	AL%	CR%	MO%	V%	NB%	TI%
EN 10025- 4	S460M	0.06 9	1.14 5	0.012	0.00 1	0.098	0.051	0.023	0.002	0.005	0.031	0.034

Çizelge 3.2. S460M çeliğine ait mekanik özellikler

Re N/mm <sup>2</sup>		Rm N/mm <sup>2</sup>	As %Min.	Darbe Boyuna		Katlama Enine, 180°K <sub>mç</sub> (d:kalınlık)
d<16mm	16<d≤20	540-720 (55,1-73,4)	17	Sıcaklık °C	KVc Min.J	4d
460 (46,9)	440 (44,9)			-20	40	

### 3.2. İlave Metal

Gaz altı kaynak yönteminin en önemli etkenlerinden bir tanesi de kaynak telinin seçimidir. Seçilen kaynak telinin bileşimi kaynak sonrası istenilen mekanik özellikleri sağlamak zorundadır. Bu yüzden kaynak teli seçerken ana malzemenin kimyasal kompozisyonu, ana metalin mekanik özellikleri, koruyucu gazın türü ve esas metalin kalınlığı ve geometrisi gibi hususlara dikkat edilmesi gerekmektedir (Güner, 2007).

MIG / MAG kaynağında kullanılan elektrotlar bir bobin üzerine sarılmış tel biçiminde kaynak makinesine bağlanmaktadır. Bobinin boyutları ve teli çapları çeşitli standartlar ile belirtilmiştir. Katı halde bulunan tel elektrotlar, çekme makineleri kullanılarak üretilirler. Paslanmaz çelik olan elektrotlar haricinde kaynak sırasında tel nozuldan geçerek temas kolaylığı sağlar ve bunun yanı sıra telin korunması amacı ile nozullar bakır ile kaplanmıştır (Ormanlı, 2021). Gaz altı kaynak telinin standart gösterimi Çizelge 3.3'te kimyasal olarak bileşimi ise Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Gaz altı kaynak telinin standart gösterimi

Telin Türü	Masif Gaz Altı Kaynak Teli
Marka	GEKA
Tel Çapı	1,2 milimetre
Standart Gösterimi (EN)	TS EN ISO 14341-(A G42 3 C G4Si1) SG3
Standart Gösterimi (AWS)	AWS A5.18 (ER 70S-6)

Çizelge 3.4. Gaz altı kaynağında kullanılan ilave kaynak telinin kimyasal yapısında bulunan elementler

C	Mn	Si
0,1	1,7	1,0

Çizelge 3.5. Gaz altı kaynakta kullanılan ilave kaynak telinin mekanik değerleri

Akma Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	Çekme Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	Çentik Darbe Dayanımı (ISO-V/-40°C)	Uzaman (%) (Lo=5do) (%)
460<	540 – 680	47 joule <	22 <

### 3.3 Koruyucu Gaz

MIG / MAG kaynağının yapıldığı sırada kullanılan gazların en önemli amacı erimiş halde bulunan materyalin havada bulunan oksijen ve azotun olumsuz etkisinden korumaktır. Birleştirme işleminin gerçekleştirileceği materyallerin yapısal özelliklerinin belirlenmesinde bağlantının şekli ve kaynak işlemi sırasında kullanılan gazın türü oldukça önemlidir. Bahsi geçen şekil ve gaz faktörü oluşarak arkın geometrik şeklini, ısı transferini ve ortaya çıkacak olan enerjinin türünü direkt olarak etkilemektedir. Artık halde bulunan erimiş metali ve arkı korumak amaç ile en az iki gazdan oluşan koruyucu gazlar kullanılmaktadır (Ormanlı, 2021). Bu kaynak türünde genel olarak argon gazı kullanılmaktadır. Ancak argon gazına ek olarak gaz yapısına oksijen, helyum, hidrojen ve karbondioksit gazları eklenmektedir. Gazın belirlenmesinde eriyik banyonu ve koruyucu gaz arasında ortaya çıkan kimyasal bağlara göre yapılmaktadır (Ormanlı, 2021).

Koruyucu olarak kullanılan gazlar MAG kaynağında argon gazı ve karbondioksit gazları birbirine karışırlar. Oluşan oksitler, oksijen gazının etkisi altında kolaylıkla erimektedir. Erimiş olarak bulunan elektrot telinden düşecek olan damlacıklar materyal üzerinde oluşacak olan yüzey gerilimini zayıflatacaktır (Ormanlı, 2021).

Bu çalışmada S460MC yapısal çeliğinin kaynaklanmasında koruyucu gazda bulunan karbondioksit oranındaki değişimin yapının mikro yapı ve mekanik özellikler üzerine olan etkileri incelenmeye çalışılmıştır.

### 3.4. Kaynak Makinesi

Bu çalışmada OZAS-ESAB WARRİOR 500İ CC/CV model 3390480338 seri numaralı gaz altı kaynak makinesi kullanılmıştır. Kaynak makinesi pulse – sinerjik fonksiyonu olan, ayrılabilir tel beslemesi bulunan, hava soğutma sistemi ile çalışan inverter bir makinedir. Bu makine ile alaşımsız yapısal çelikler, alüminyum, alüminyum alaşımları gibi materyaller kullanılmaktadır. Synergic fonksiyonu ile ilavem metal, koruyucu gaz ve tel çapı programlanabilmektedir. Materyal kalınlığına göre kaynak akımı ve tel hızı otomatik olarak ayarlanabilmektedir. Kullanılan gaz altı kaynak makinesinin özellikleri için Çizelge 3.6'de incelenebilir.



Şekil 3.1. Esab Warrior 500i gaz altı kaynak makinesinin görseli

Çizelge 3.6. Esab Warrior 500i CC/CV gaz altı kaynağının özellikleri

Model	WARRİOR 500İ CC/CV
Çalışma Voltajı	380 V,3 Faz,50/60 Hz
Amper Aralığı	5 – 500 A
Açık Devre Voltajı	54 Volt

Bu çalışmada kaynak makinesi ile birlikte fikstüre yerleştirilen ve kedi olarak isimlendirilen ve Şekil 3.2’de gösterilen robottan da yararlanılmıştır. Bu robot sayesinde hem kaynak hızı sabit tutulmuş hem de kaynakçıdan kaynaklanabilecek hataların önüne geçilmiştir.



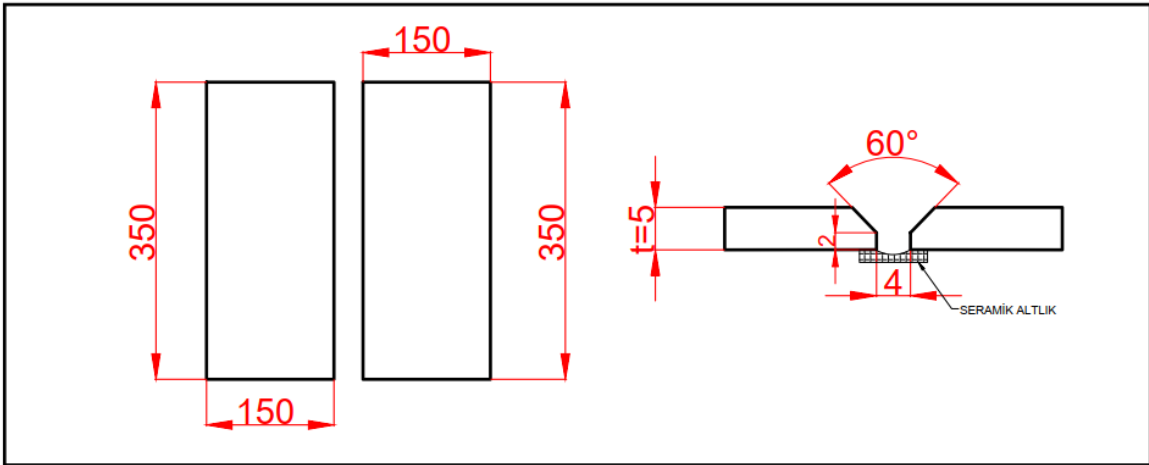
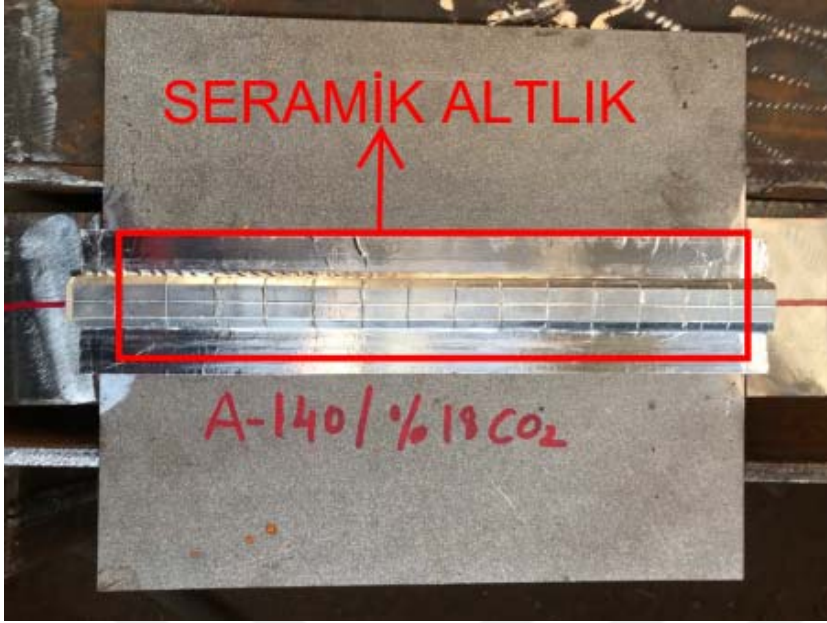
Şekil 3.2. Kaynak sırasında kullanılan yürüyen robota ait görsel

### 3.5. Kaynağın Uygulanması

#### 3.5.1. Hazırlık aşaması

Temin edilen S460M çeliği EN ISO 15614-1 standardına göre 150x350mm ölçülerinde kesilmiştir. Kaynak hazırlığı olarak Şekil 3.3'de. Görüldüğü gibi parçalara 30° lik bir kaynak ağzı açılmış, kök boşluğu olarak 4mm aralık bırakılmış ve 2 mm pah kırılmıştır. Uygun kaynak işlemine geçebilmek ve tek taraftan kusursuz kaynak yapabilmek için oluklu seramik altlık kullanılmıştır.





Şekil 3.3. Kaynak yapılacak olan materyaller ve kaynak ağzı ölçüleri

Kaynaklanacak malzemelerin tezgah üzerine alındıktan sonra tezgaha kaynak ile puntalama yöntemiyle kaynaklanmıştır. Bunun sebebi kaynak esnasında malzemenin stabilitesini korumak ve bu sebepten oluşabilecek hataların önüne geçmektir. Ayrıca kaynak başlangıç ve bitiş kısımlarında oluşabilecek kaynak hatalarının önüne geçmek için başlangıç ve bitiş plakaları plakanın uç kısımlarına kaynatılmıştır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Puntalama işlemine ait görsel

### 3.6. Kaynak İşlemi

MAG yöntemiyle birleştirme denemeleri 140 ve 210 Amper (A) olmak üzere iki farklı kaynak akımı ve %80 Ar + %20 CO<sub>2</sub> ve %92 Ar + %8 CO<sub>2</sub> olmak üzere iki farklı gaz kompozisyonu kullanılarak yapılmıştır. Kaynak hızı (2.1mm/sn) ve diğer kaynak parametreleri ise sabit tutulmuştur. Kaynak işlemi sonrası iş-parçaları havada soğumaya bırakılmıştır. Bu şartlar altında hem CO<sub>2</sub> gazı miktarındaki değişimin hem de kaynak akımındaki değişimin kaynak bölgesine etkileri incelenmiştir. Çizelge 3.7. de birleştirmelerde kullanılan MAG kaynak parametrelerini göstermektedir. Kodlamada verilen sayılardan ilki kaynak akımını, sonraki sayı ise gaz kompozisyonundaki % CO<sub>2</sub> oranını ifade etmektedir.

Çizelge 3.7. Kaynaklama işleminde kullanılan parametreler ve koruyucu gaz türü

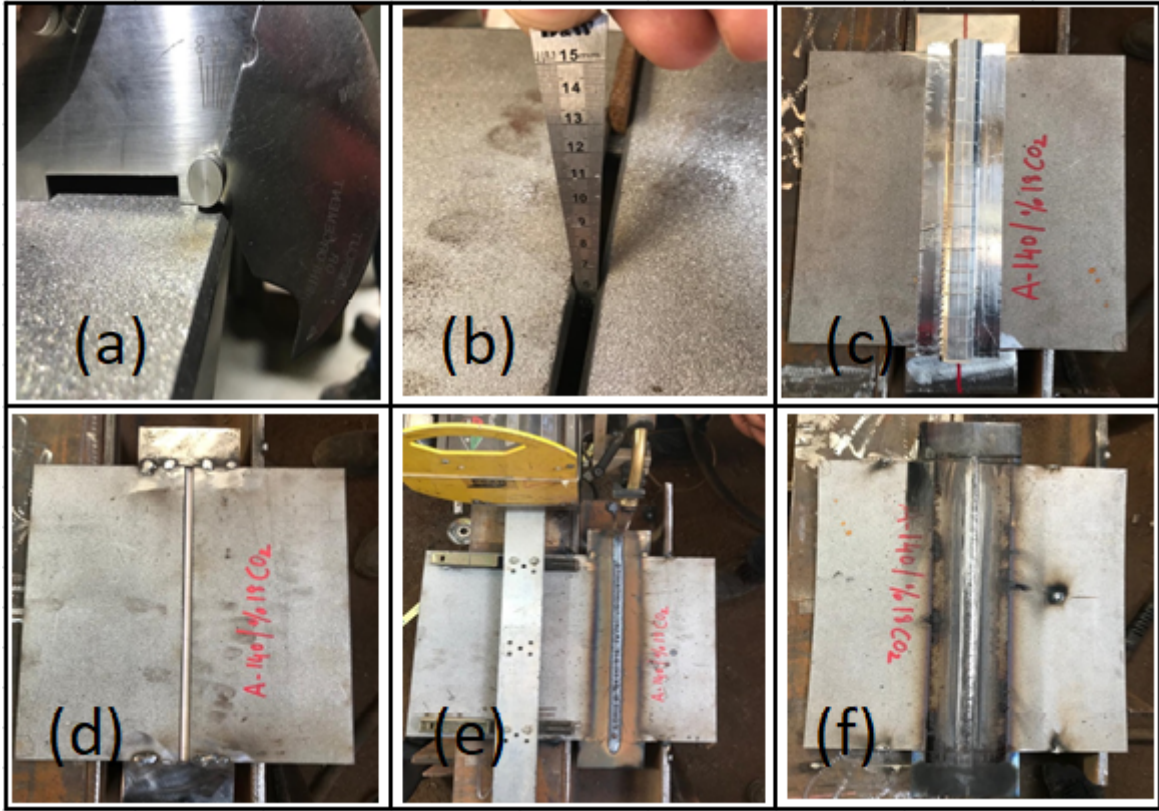
Numune Kodu	Tel Çapı (mm)	Akım (A)	Gerilim (V)	TelSürme Hızı (mm/sn)	Kaynak Hızı (mm/sn)	Isı Girdisi (KJ/mm)	Koruyucu Gaz (%)
140/18	1.2	140	25-28	5.0mm/sn	2.1mm/sn	1,33	80Ar+18CO2
220/18	1.2	220	27-30	8.9mm/sn	2.1mm/sn	2,26	80Ar+18CO2
140/8	1.2	140	25-28	5.0mm/sn	2.1mm/sn	1,33	92Ar+8CO2
220/8	1.2	220	27-30	8.9mm/sn	2.1mm/sn	2,26	92Ar+8CO2

Uygulamada birim kaynak uzunluğundaki enerji kullanımı olarak ifade edilen ısı girdisi aşağıdaki denklem ile hesaplanmaktadır.

$$H = (\eta \cdot I \cdot E) / (V \cdot 1000)$$

Eşitlikteki H ısı girdisini (KJ/mm),

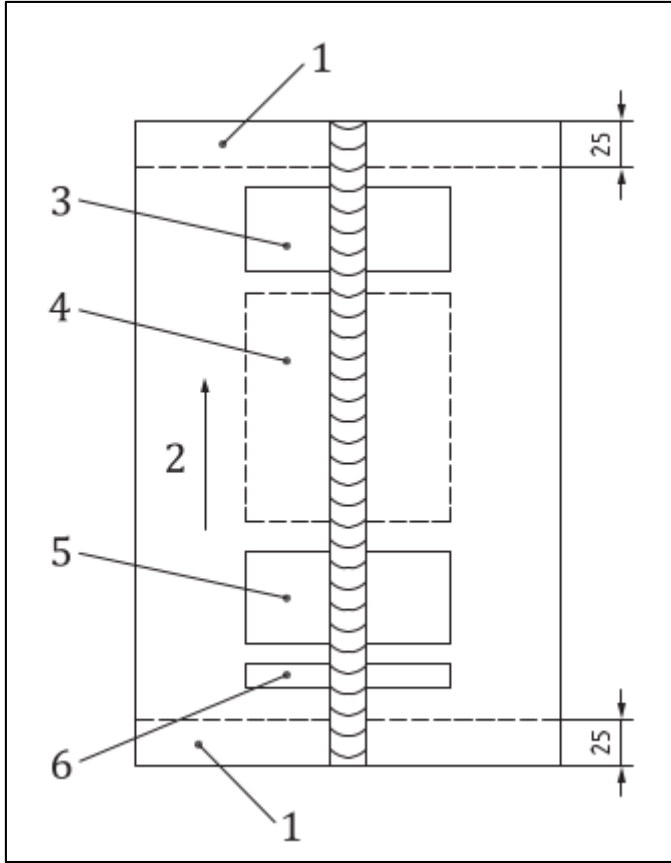
I: kaynak akımını (A), E: ark gerilimini (V), v ise kaynak hızını (mm/s) ifade etmektedir.  $\eta$  ise kaynak verimi sabit bir sayıdır. Gazaltı MAG kaynağı için 0,8 olarak kabul edilmektedir (Shome, 2017). Birleştirmelerde, iş-parçası kalınlığı, tel besleme hızı ve seçilen kaynak akım değerine göre diğer parametreleri otomatik olarak ayarlayabilen, su soğutmalı bir tel sürme ünitesine sahip ESAB WARRİOR 500İ CC/CV marka bir inverter gazaltı kaynak makinesi kullanılmıştır. Kaynak işlemine başlamadan önce ilk olarak kaynak ağızı açılan plakaların kaynak ağızı açılı kontrol edilmiştir. Daha sonrasında kaynak ağı kontrolü yapılan plakalar montajlandıktan sonra kök boşluğu ayarı yapılmış ve ölçü kontrolü yapılmıştır. Montajı tamamlanan plakaların seramik altlık uygulaması yapılmış ve kaynağa hazır hale getirilen parçaların kaynak tezgahına sabitleme işlemleri tamamlanmıştır. Son olarak test parametreleri olan 140 amper akım, %92 Ar %8 CO<sub>2</sub>, 220 amper akım %92 Ar %8 CO<sub>2</sub>, 140 amper akım, %80 Ar %20 CO<sub>2</sub>, 220 amper akım %80 Ar %20 CO<sub>2</sub> parametrelerinde tek paso olacak şekilde EN14732 standartlarına göre sertifikalı otomatik kaynak operatörü eşliğinde kaynaklar yapılmıştır. Kaynaklı parçaların görselleri sırasıyla Şekil 3.5' de gösterilmiştir.



Şekil 3.5. (a) Kaynak ağzı kontrolü (b)Kök boşluğunun ayarlanması (c)Seramik altlık montajı (d)Plakaların tezgâha sabitlenmesi (e) Kaynağın bitmiş hali (f) Kaynak kök tarafının görüntüsü

### 3.7. Kaynak Yapılan Materyallere Uygulanan Analizler

Kaynakların tamamlanmasının ardından kaynak bölgesinde meydana gelen mikro yapısal değişimleri tespit etmek ve bu değişimlerin mekanik özelliklere etkisini değerlendirmek amacıyla her numuneye gözle muayene, 2 adet çekme, 2 adet eğme ve mikro sertlik ölçümleri yapılmıştır. Ayrıca makro yapı ve IEB, kaynak metali ve ana malzemeden mikro görüntülemeler yapılmıştır.



Şekil 3.6. Kaynaklı numune üstünde test numunelerinin yeri (TS EN 15614-1., 2017).

1. Bölge ıskartaya çıkarılan bölgeleri, 2. kaynak yönünü, 3. Bölge çekme ve eğme test numune alanını, 4. bölge çentik darbe test numune alanını, 5. bölge çekme ve eğme test numune alanını ve 6. Bölge makro, mikro ve sertlik test numune alanını göstermektedir. (TS EN 15614-1., 2017).

### 3.7.1. Görsel muayene

Yüksek mukavemetli düşük alaşımlı S460MC çeliğinin farklı akım ve koruyucu gazlar kullanılarak, MAG kaynağı ile birleştirilmesi sonucunda elde edilen kaynaklara kaynak sonrası görsel olarak görülebilecek yüzeysel olan kusurları belirlemek amacı ile görsel muayene yapılmıştır. Gözle muayene, kaynak kep ve kök bölgelerinin dikkatlice kontrol edilmesidir. Genelde kaynaklı bölgelerin muayenelerinde gerçekleştirilen ilk işlemdir. Özellikle kaynağın her iki yüzeyinde (kep ve kök) çatlak, yanma oluğu, yetersiz nüfuziyet, gözenek, kökte sarkma gibi kusurların kontrolü gerçekleştirilir (Celasun, 2012).

Bu muayenede görsel muayene standardı TS EN ISO 17637 ve görsel muayene değerlendirme standardı olan TS EN ISO 5817-C standardı baz alınmıştır ve gerekli ölçümler kalibrasyonlu kaynak kumpası ile yapılmıştır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Kaynak Kumpası

### 3.7.2. Makro ve mikro yapı analizi

Makro ve mikro inceleme görüntüleri Tuv Austria Sıla kalite firması laboratuvarında TS EN ISO 17639 standardına uygun şekilde yapılmıştır. Deney numunelerinin makro veya mikro incelenmesi için öncelikle, parça üzerinde uygun bölgesi seçilerek (standartlarda belirtilen ve inceleme sonucunda en uygun makro ve mikro yapı görüntüsünü verecek) numune 35×12 mm boyutlarında testere ile mekanik olarak kesme işlemine tabi tutulur. Kesme işleminde kullanılan testere Şekil 3.8 ve kesilen numuneler ise Şekil 3.9 de görülmektedir.



Şekil 3.8. Makro ve mikro görüntüleme numunelerini kesmede kullanılan testere



Şekil 3.9. Makro ve mikro görüntüleme için kesilen numuneler

Kesme işleminde dikkat edilmesi gerek en önemli noktalardan biri parçanın kesme esnasında ısınmasının önlenmesidir. Numunelerin ısınarak yapısal değişimine izin verilmemelidir. Mikroskop ile makro incelemelerde bulunabilmek için numuneler sırası ile 60-110-180-220-400-600 numara kum SiC su zımparası yardımı ile yüzey zımparalama işlemine mikro inceleme yapabilmek için ise Şekil 3.10 de görülen saphir 330 marka yüzey işleme cihazında

400-600-800-1000-1200 mesh'lik zımpara ile zımparalanmış ardından 3 µm'lik elmas pasta yardımı ile parlatılmış ve dağlamaya hazır hale getirilmiştir. Dağlama kimyasalı olarak 100 ml etil alkol-2 ml HCl-6 ml pikrik asit karışımı kullanılmıştır. Zımparalama işlemi sırayla en küçük mesh numaraları zımparadan başlayarak sırayla büyük mesh numaralarına geçilir. Zımparalama esnasında numunenin ısınmasını önlemek amacıyla işlem boyunca su ile soğutma işlemi yapılır ve numune yüzeyinde küçük metal parçalarının kalması da engellenmiş olur. Zımparalama sonucunda yüzeyi hazırlanan numuneler parlatma ve daha sonra dağlama işlemlerine tabii tutulmuştur. Makro inceleme Şekil 3.11. De görülen Struers /Welding Expert 5 Marka cihazla mikro yap görüntüleme ise Şekil 3.12. Kozo marka optik mikroskopta TS EN 17639 standartlarına uygun biçimde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.10. Makro inceleme için kullanılan yüzey işleme cihazı





Şekil 3.11. Makro görüntüleme cihazı



Şekil 3.12. Deneyde kullanılan optik mikroskop.

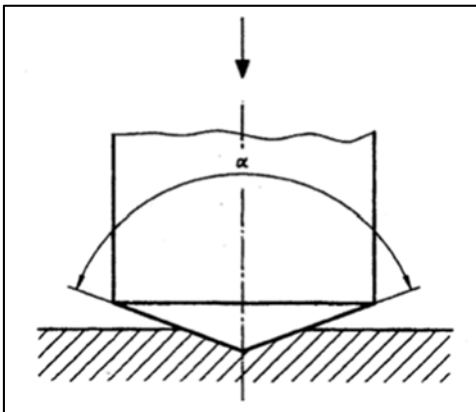
### 3.7.3. Mikro sertlik testi

Mikro sertlik testleri TS EN ISO 9015-1:2011 no'lu standarda göre Tuv Auatria Sıla Kalite firması laboratuvarında şekil 3.13 de gösterilen Qness marka cihazla vickers sertlik ölçme yöntemi kullanılarak yapılır.

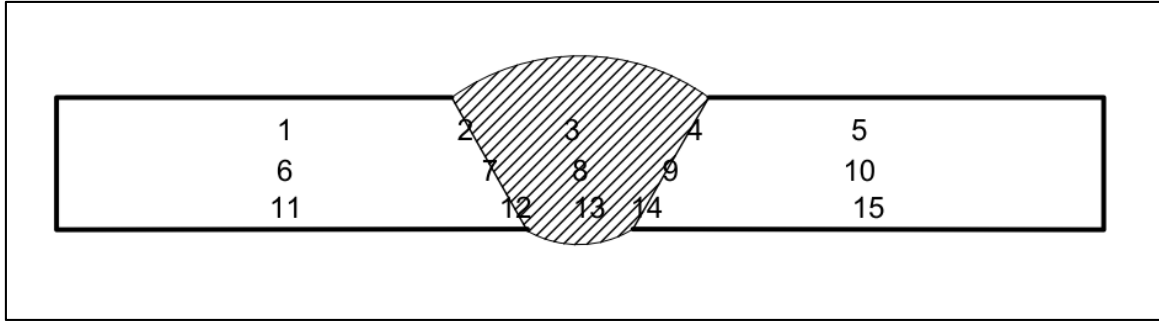


Şekil 3.13. Mikro sertlik ölçümünde kullanılan sertlik cihazı

Elmasta, kare tabanlı, karşılıklı yüzeyleri arasındaki açı belirtilmiş, dik piramit biçiminde bir basma ucunun tepe noktası deney parçasının yüzeyine bastırılır ve 1000g lık yük 10s süre ile uygulanır. Deney kuvvetinin (F) kaldırılmasından sonra ortaya çıkan izin köşegen uzunluğu ölçülür. Şekil 3.14 de vickers sertlik ölçümünün uygulanış şeması ve Şekil 3.15 de malzeme üzerinde uygulandığı noktalar görülmektedir.



Şekil 3.14. Vickers sertlik ölçümü (TS EN ISO 9015-1, 2011)

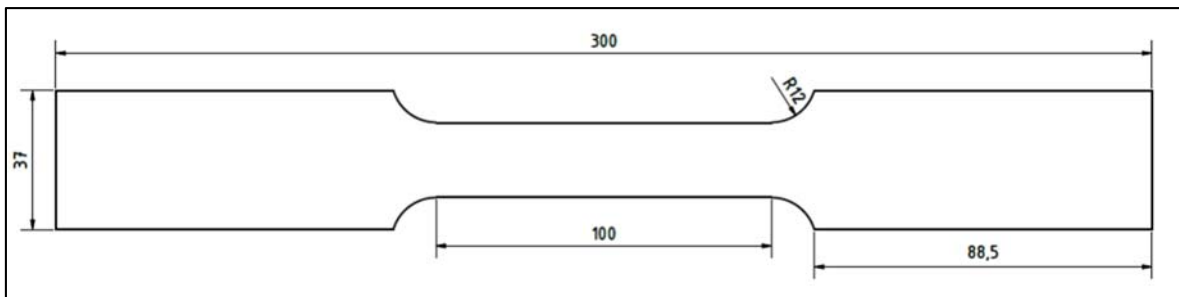


Şekil 3.15. S460M çeliğinin MAG kaynağıyla farklı akım ve CO2 kompozisyonunda yapılan birleştirmelerin mikrosertlik ölçüm yerlerinin gösterimi

### 3.7.4. Çekme testi

Çekme deneyinin amacı; malzemelerin statik yük altındaki elastik ve plastik davranışlarını belirlemektir. Bunun için boyutları standartlara uygun daire veya dikdörtgen kesitli deney parçası; çekme cihazına bağlanarak, aksenal ve değişken kuvvetler uygulanır. Çekme cihazı esas olarak; birbirine göre aşağı ve yukarı hareket edebilen, deney parçasının bağlandığı iki çene ve bunlara hareket veya kuvvet veren, bu iki büyüklüğü ölçen ünitelerden oluşur. Çenelerden birisi sabit hızda hareket ettirilerek deney parçasına değişken miktarlarda çekme kuvveti uygulanır ve bu kuvvete karşılık gelen uzama kaydedilir (Çekme Deneyi de.edu.tr 2021).

TS EN ISO 4136 (2013) numaralı metalik malzemelerin üzerinde yapılan tahribatlı Deneyler, enine çekme deneyi isimli standarda göre çekme testleri yapılmıştır. Her test parçası için 2 adet şekil? De görüldüğü gibi 37 mm genişliğinde 300 mm uzunluğunda numuneler çıkartılmıştır. Test 3mm/min hızında oda sıcaklığında yapılmıştır.



Şekil 3.16. Testte kullanılan çekme numunesinin ölçüleri (TS EN ISO 4136, 2013).

Yüzeyinde ki çapaklar taşlanarak düzeltilmiş olan çekme numuneleri Şekil 3.17. de gösterilen WEW 1000D 50-1000(KN) marka çekme ve eğme testine tabi tutulmuştur.

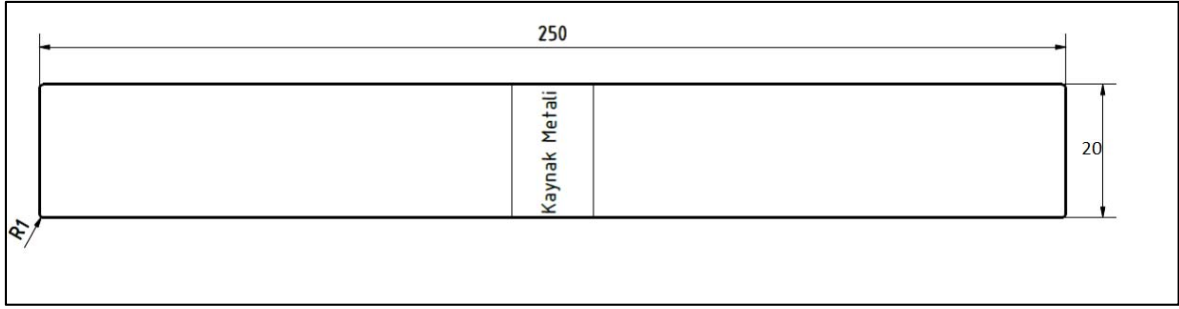


Şekil 3.17. Çekme ve eğme testinde kullanılan WEW 1000D marka cihaz.

### 3.7.5. Eğme testi

Bu deneyin amacı kaynaklı birleştirmenin yüzey kısmındaki veya yüzeye yakın bölgede ki birleştirmenin sünekliliğini veya yüzeye yakın hataların mevcut olup olmadığının değerlendirilmesi için TS EN ISO 5173 standardına uygun olarak yapılır. Alın kaynaklı ya da giydirme kaynaklı numunelere uygulanır (Ormanlı, 2021).

Eğme testi için numuneler kök eğme ve yüzey eğme testi için Şekil 3.18. de görülen 250×20×5 mm<sup>3</sup> ölçülerde kesilmiştir. Numunelerin kep ve kök bölgelerindeki kaynaklı kısımlar malzeme ile sıfırlanacak şekilde taşlanmıştır.



Şekil 3.18. Eğme testi numunelerinin ölçüleri (TS EN 5173:2010/A1., 2012).

Birleştirilen S460MC plakaların kaynak yüzeyi ve kök kısmı mukavemetleri ile varsa kaynak hatalarının tespiti için üç-nokta eğme deneyleri çekme testinde kullanılan Şekil 3.17 de gösterilen WEW 1000D marka düzenekte üzerindeki aparat değiştirilerek gerçekleştirilmiştir. Testler 180°, yani U-şekli alıncaya veya çatlama, kırılma görülünceye kadar yükleme yapılarak kök eğme ve yüzey eğme testi gerçekleştirilmiştir. Eğme testinde mandrel basma kuvveti olarak 40 kN/cm<sup>2</sup> ve eğme mandreli deformasyon hızı ise 4-5 mm/dk değerleri kullanılmıştır.

## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

### 4.1. Görsel Muayene

Yüksek mukavemetli düşük alaşımlı ince taneli S460M çeliğinin belirlenen gaz ve akım kompozisyonlarında kaynak edilmesinden sonra ki yüzey resimleri Şekil 4.1. de gösterilmektedir. Numuneler incelendiğinde düşük amperde (A140) kaynak edilen test parçalarının yüksek akımda (A210) kaynak edilen numunelere göre kaynak kep yüksekliklerinin ve kaynak dikiş genişliklerinin düşük olduğu ölçülmüştür. En yüksek kep yüksekliği A210-%8 kodlu test parçasında iken en geniş kaynak dikiş genişliği de A210-%18 kod numaralı test parçasında ölçülmüştür. En düşük kep yüksekliği ve kaynak dikiş genişliği A140-%8 kod numaralı test parçasında ölçülmüştür. Ek olarak sıçrantı miktarının, kaynak akım değerinin ve CO<sub>2</sub> oranının yükselmesiyle birlikte azalan ark karalılığı ve iri damla iletiminin bir sonucu olarak arttığı gözlemlenmiştir. Bunların dışında görsel muayenede mekanik sonuçlara etkiyecek herhangi bir süreksizlik, çatlak, yanma oluşu gibi kusurlara rastlanmamıştır.



Şekil 4.1. Kaynağı tamamlanmış test parçaları

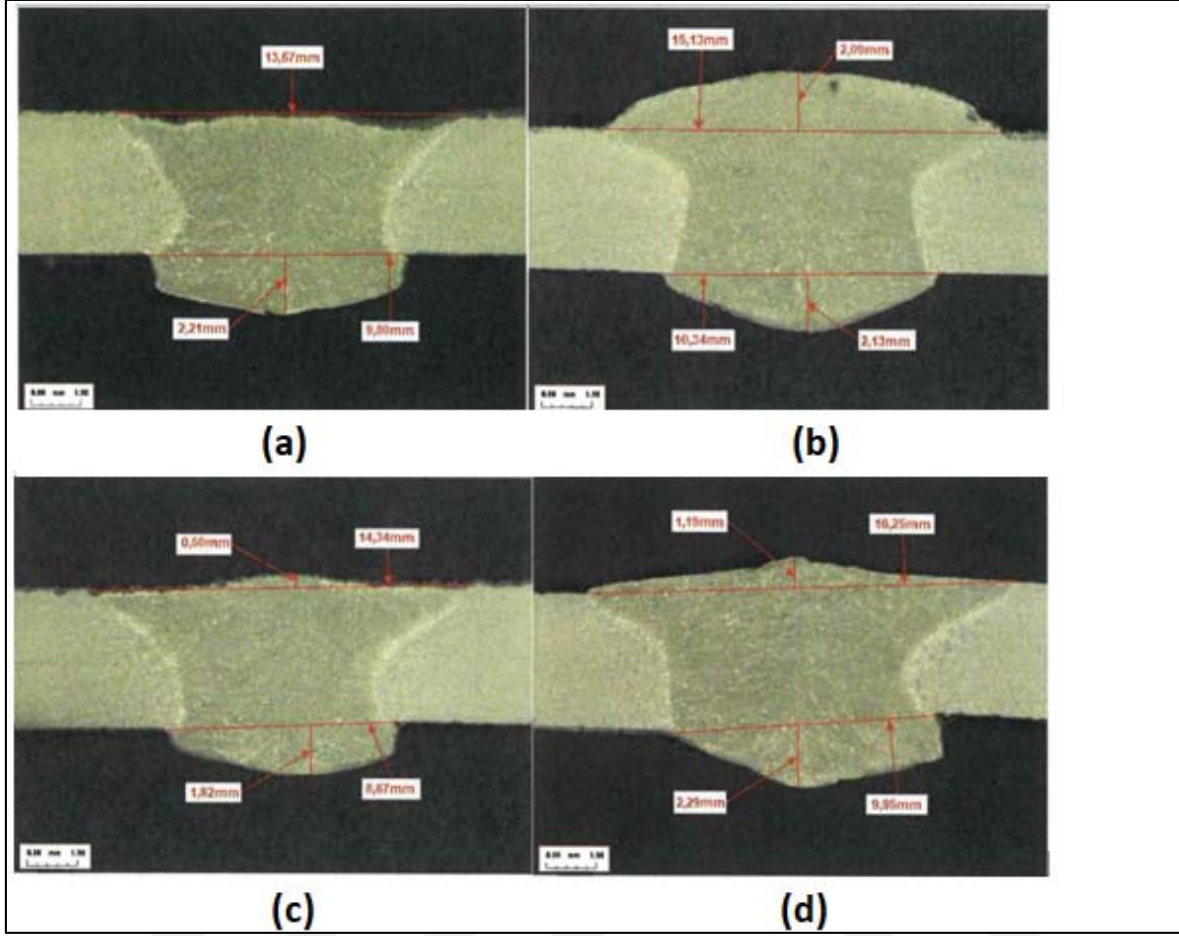
#### 4.2. Makro Yapı Testi

Şekil 4.2’de dört farklı numuneden alınmış makro test sonuçları görülmektedir. Öncelikle bütün numunelerin makro görüntüleri incelendiğinde mekanik özellikleri etkileyecek herhangi bir süreksizlik tespit dilmemiştir. Yapılan Ölçüm ve gözlemler sonucu kaynak kep genişlikleri A140 %8-13,57 mm, A140 %18-14,3 mm, A210 %8-15,13 mm, A210 %18-16,25 mm olarak ölçülmüştür. Değerlere baktığımızı aynı akım değerinde olan fakat CO<sub>2</sub> oranındaki artış ile artan kaynak genişliği değeri 140 amper için 0,73 mm oranında, 210 amper için 1.12 mm oranında arttığı görülmüştür. Akım değerleri arttırıldığında ise artış oranı aynı CO<sub>2</sub> oranlarında 1,56 mm ve 1,95mm olarak ölçülmüştür. Sonuçlara bakıldığında kaynak genişliğinin hem akım hem de CO<sub>2</sub> oranının artması sonucu arttığı gözlemlenmiştir. Fakat bu artışın büyük oranda kaynak akım değerindeki artışa, nispeten de CO<sub>2</sub> oranındaki artışa bağlı olduğu gözlemlenmiştir. Bunun sebebi olarak ısı girdisi formülünde kullanılan eşitlik de dikkate alındığında, akım faktörünün oldukça önemli olduğu; akım değerinin

artması ile açığa çıkan ısının önemli miktarının da metal kesiti boyunca iletildiği açıktır (Adak vd., 2015). Bu durum Ormanlı (2021) tarafından yapılan çalışma ile de uyumluluk göstermektedir. Kep yüksekliklerini incelediğimizde kep yüksekliği A210 %8 kodlu numunede en yüksek değere A140 %8 değerinde ise en düşük değere sahip olduğu görülmüştür. Kaynak akımındaki artış tel besleme hızını artıracığından yığılma miktarı artacak ve dikiş yüksekliği de artacaktır (Akin ve Ersoyoğlu, 2016).

Kaynaklı birleştirmelerde malzemenin kalitesindeki değişimin önemli etkenlerden bir tanesi de kaynaklı yapıdaki ısıdan etkilenen bölgedeki mikroyapısal değişimlerdir. Malzemenin mekanik özelliklerinin korunması ve iyileştirilmesi bu bölgenin kontrol altında tutulmasıyla mümkün olmaktadır (Linnert, 1994). Buradaki asıl amaç mekanik özelliklerin korunması amacıyla ısıdan etkilenen bölgeyi olabildiğince düşük seviyede tutmaktır buda ısı girdisinin kontrol altına alınmasıyla mümkün olabilir. Isı girdisini artıran önemli etkenlerden biri kaynak akımındaki artış diğeri CO<sub>2</sub> gaz oranında ki artışla birlikte arkta meydana gelen ekzotermik reaksiyonlardır. Bu iki değişkenin değerinin artması ısı girdisini artıracak ve IEB genişleyecektir (Gunaraj ve Murugan, 2002).

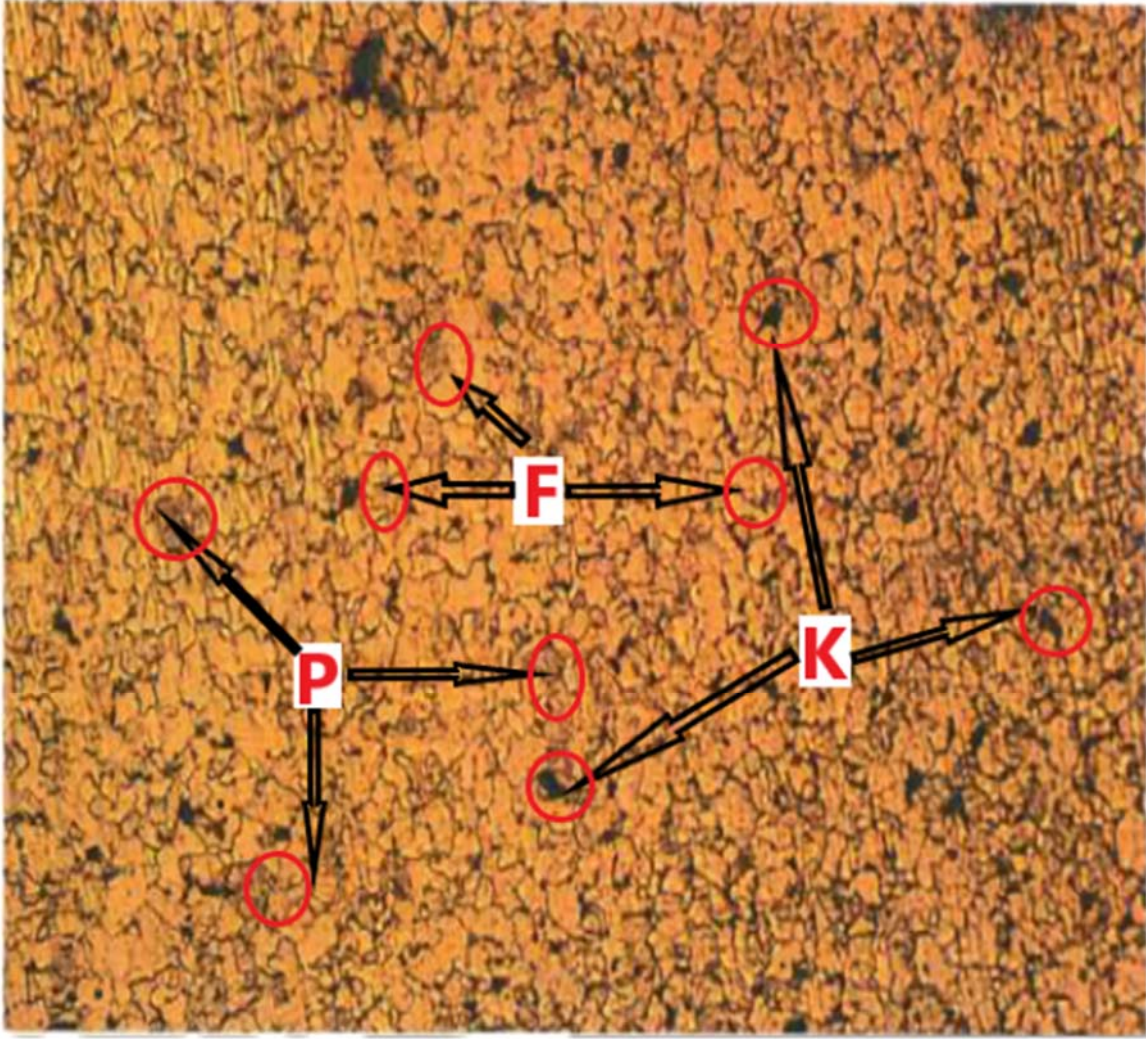




Şekil 4.2. Makroyapı Görüntüleri (a) A140 %8, (b) 210 %8, (c) 140 %18, (d) 210 %18

### 4.3. Mikro Yapı Testi

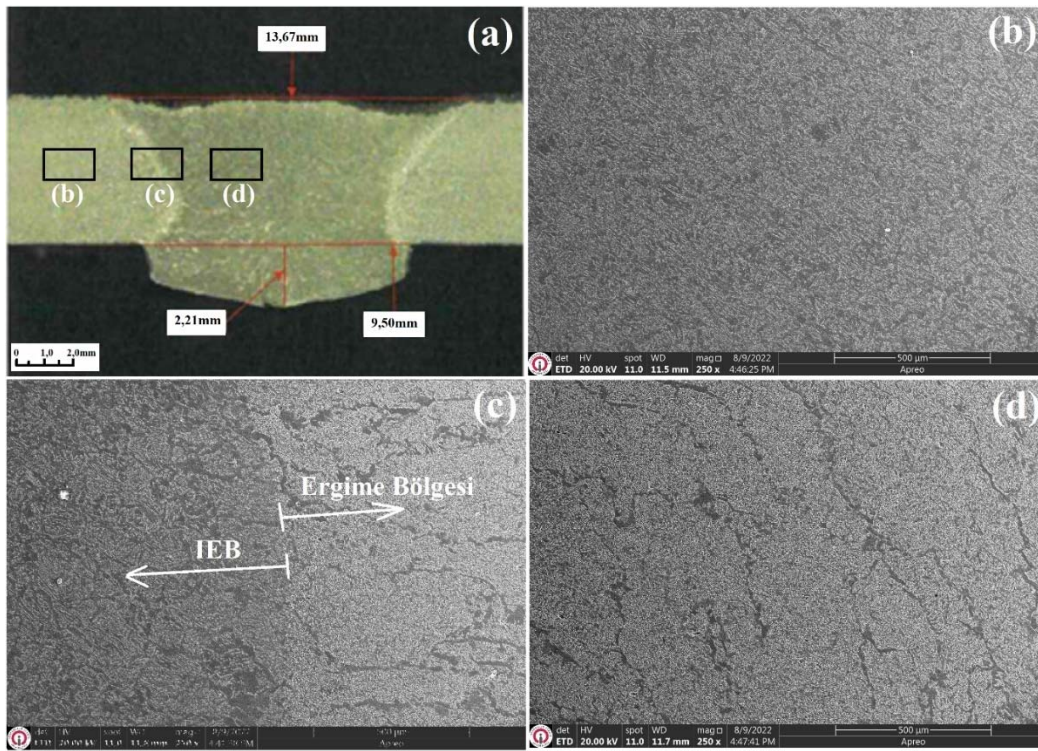
Makro yapısını incelediğimiz numuneleri daha detaylı incelemek amacıyla mikroyapı görüntüleri alınmıştır. Kaynak sonrası oluşacak mikro yapı görüntülerini inceleyip yorumlayabilmek için kaynak yapılmadan önce ana malzemenin mikro yapı görüntüsü alınmıştır. Alınan bu görüntü Şekil 4.3'te verilmiştir.



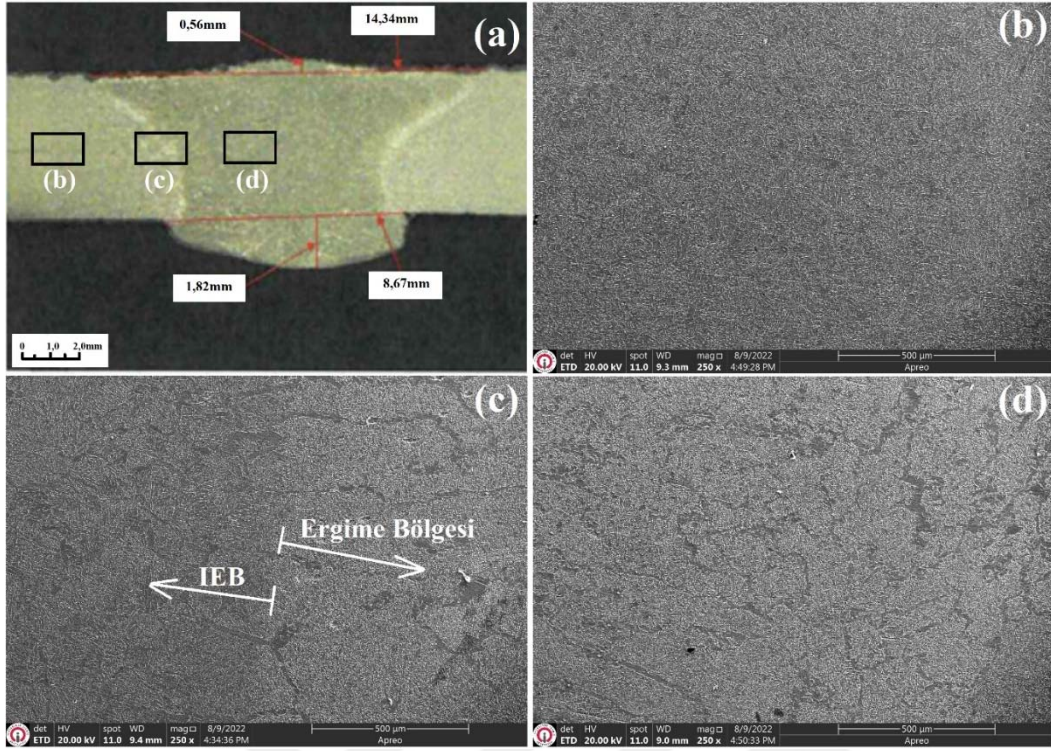
Şekil 4.3. S460M çeliğine ait mikro yapı görüntüsü

Mikro yapı görüntüsü incelendiğinde önceden termo mekanik olarak haddeleme işlemi sonucunda meydana gelen homojen dağılımlı ince tane yapısı görülmekte ve yoğunluklu olarak ferrit(açık alanlar), az miktarda perlit(koyu alanlar) ve karbür içermektedir. Düşük karbonlu düşük alaşımlı çeliklerin nihai mikro yapısını genel olarak dört faktör belirler: soğuma süresi, alaşım elementleri, başlangıçtaki östenitin boyutu ve oksijen miktarı (Kou, 2013). Şekil 4.4,4.5,4.6 ve 4.7 de sırasıyla A140 %8 CO<sub>2</sub>-A140 %18 CO<sub>2</sub>- A210 %8 CO<sub>2</sub> ve A210 %18 CO<sub>2</sub> numunelerine ait ana malzeme, IEB, ergime bölgesi ve kaynak metali bölgelerine ait mikro yapı görüntüleri görünmektedir. Bu denemelerde kaynağın otojen doğası nedeniyle, tüm numunelerde oksijen miktarı aynı ve alaşım elementlerinin miktarı da benzerdir. Buradaki temel faktör ısı girdisi ve bunun sonucu olarak soğuma süresidir. Isı girdisinin artması ve yüksek soğuma süresi nedeniyle çökeltilerin çözünmesine neden olmuş, martenzit paketlerinin boyutunu ve kalan östenit miktarını arttırmıştır. Bunun nedeni,

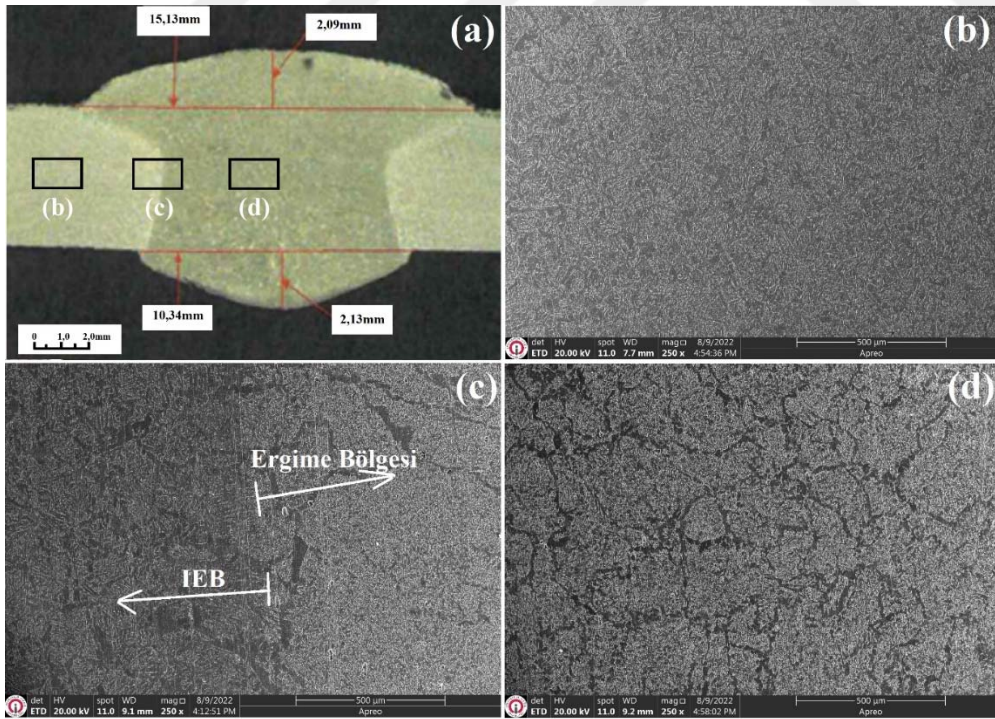
kaynak işlemi sırasında mikro alaşımlı karbürlerin çözünerek tane büyümesi bariyerini ortadan kaldırarak ana metale kıyasla kaynak bölgesinde iri taneler oluşmasına neden olmaktadır. IEB'de kaynak sırasındaki sıcaklık seviyesi, soğutma sırasında büyük olasılıkla martensite dönüşen tek fazlı östenite ulaşmış ve karbürlerin çözünmesi nedeniyle tanelerin boyutu ana metale göre artmıştır. Tane büyümesinin miktarı doğrudan ısı girdisi ile ilgilidir; daha yüksek ısı girdisi ile tanelerin boyutu daha da artmıştır. Sonuç olarak, IEB'nin nihai mikro yapısı büyük olasılıkla ferrit-perlit ve martensit fazlarından oluşmaktadır (Kornokar vd., 2022).



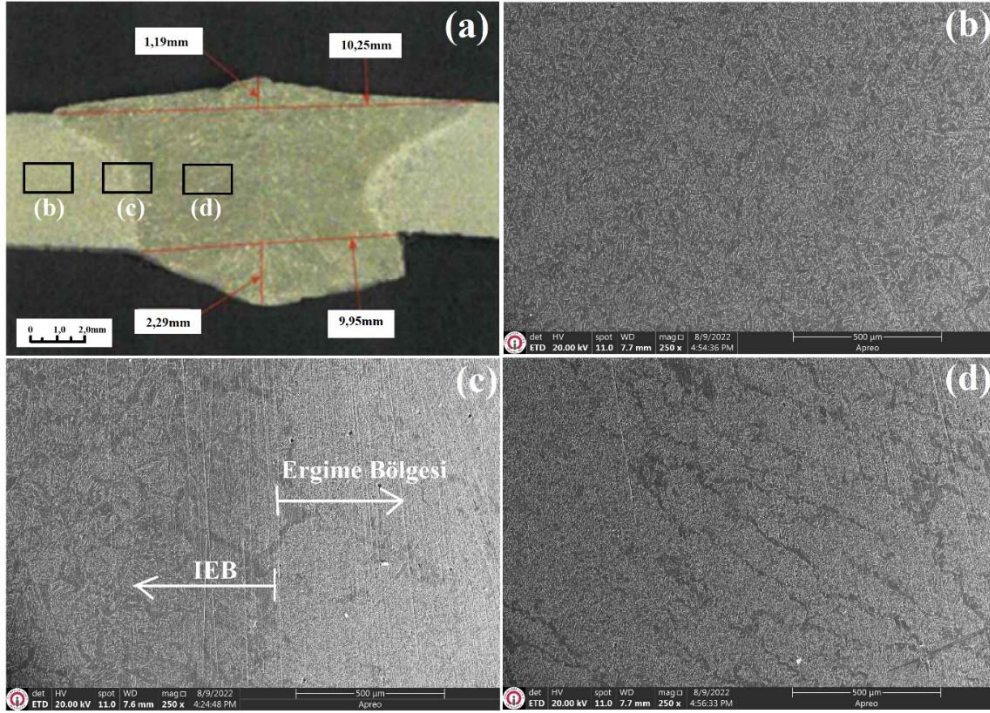
Şekil 4.4. A140 %8 CO<sub>2</sub> (a) Makroyapı Görüntüsü, (b) Ana Malzeme, (c) IEB ve Ergime Bölgesi, (d) Kaynak



Şekil 4.5. A140 %18 CO<sub>2</sub> (a) Makroyapı Görüntüsü, (b) Ana Malzeme, (c) IEB ve Ergime Bölgesi, (d) Kaynak



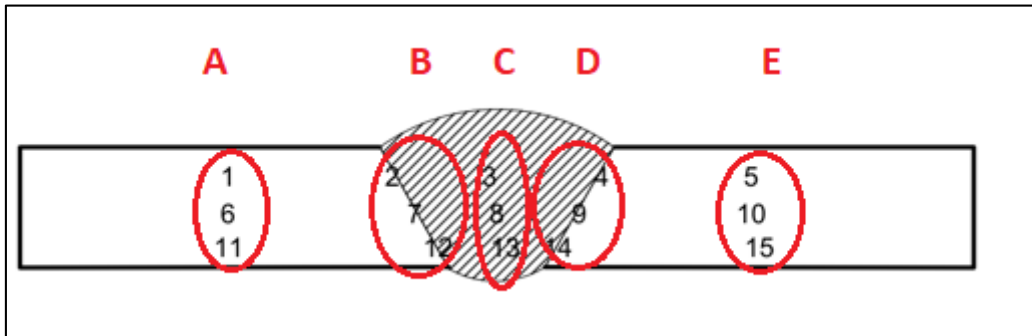
Şekil 4.6. A210 %8 CO<sub>2</sub> (a) Makroyapı Görüntüsü, (b) Ana Malzeme, (c) IEB ve Ergime Bölgesi, (d) Kaynak



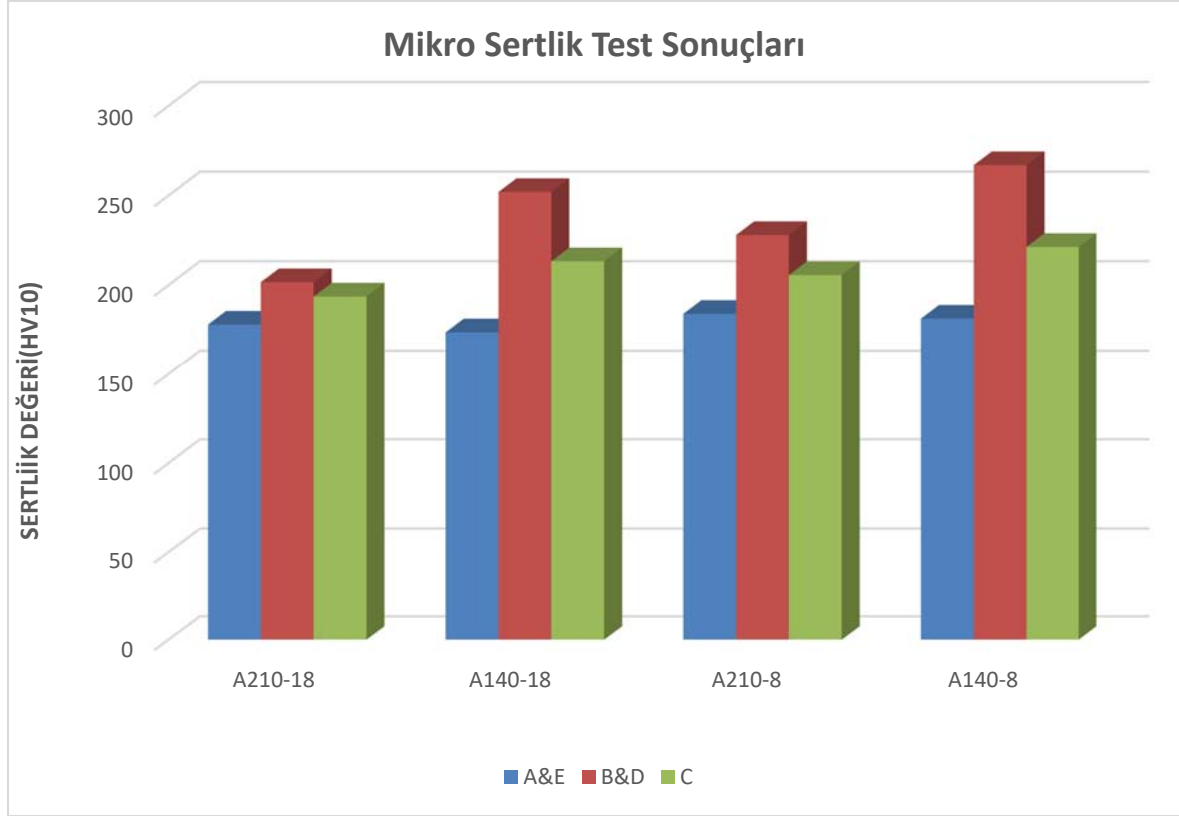
Şekil 4.7. A210 %18 CO<sub>2</sub> (a) Makroyapı Görüntüsü, (b) Ana Malzeme, (c) IEB ve Ergime Bölgesi, (d) Kaynak

#### 4.4. Mikro Sertlik Testi

Şekil 4.8’de 1 den 15 e kadar olan noktalardan alınan sertlik değerlerinin Ana Malzeme(A,E) IEB (B,D) ve kaynak metali (C) noktalarında ortalama değerleri alınarak çıkan değerler A,B ve C noktaları için Şekil 4.9’da grafiğe dökülmüştür.



Şekil 4.8. Sertlik ölçüm noktaları



Şekil 4.9. Mikro sertlik sonuç grafiği

Sertlik ölçümleri Şekil 4.8’de görüldüğü gibi 3 adet kaynak metalinden (3,8,13), Sağından ve solundan olmak üzere toplam 6 adet IEB ve 6 adet kaynak metalinden (2,7,12,4,9,14) ölçüm yapılmıştır. Sertlik ölçümü yapılan numunelerin hiçbirinde 450 HV değerinin üstüne çıkılmadığı görülmüş olup EN 10025-6 ve EN ISO 10025-6 ve EN ISO 15614-1 standartlarına uygunluğun sağlandığı görülmektedir. Şekil 4.9 sertlik değerleri incelendiğinde artan kaynak akımı ve CO<sub>2</sub> oranı ile beraber soğumanın yavaşlamasından kaynaklı KM ve IEB’lardaki sertlik değerlerinin düştüğü gözlemlenmiştir. KM ve IEB dan alınan ölçümlere göre sertlik değerleri kıyaslandığında A140-%8>A140-%18>A210-%8>A210-%18 şeklinde bir sırlama ortaya çıkmaktadır. Bunun temel sebebi, düşük ısı girdisi ile birlikte soğuma hızında ki artış ve bu artışın bir sonucu olarak soğuma hızının yüksek olduğu bölgelerde meydana gelen ve diğer fazlara göre daha sert bir yapıya sahip olan temperlenmiş martenzit (TM) ve yüksek ısı girdisi ile meydana gelen ve yine yüksek ısı girdisinin bir sonucu olan tane büyümesidir (Ormanlı, 2021).

Düşük akım parametreleri olan A140-%8 ve A140-%18 in sertlik sonuçlarına bakıldığında IEB bölgesinde 267HV -252HV kaynak metalinde 221HV-213HV, akım değerinin artması

ile A210-%8 ve A210-%18 parametrelerine ait numunelerde sertlik değerlerinin IEB bölgesinde 228HV-202HV, kaynak metalinde ise 206HV-194HV olarak ölçülmüştür. Bu değerlere bakıldığında yüksek akım değerlerinde CO<sub>2</sub> oranındaki artışın sertlik sonuçlarına etkisi düşük akım değerlerindeki CO<sub>2</sub> oranının etkisine göre daha fazla olduğu görülmüştür.

#### 4.5. Çekme Testi

S460MC'nin Çizelge 4.1'deki akma, çekme dayanımı ve % uzama değerleri incelendiğinde TS EN 10025-6 standardına göre kabul kriterlerini karşıladığı görülmüştür. A140/%8- A140/%18- A210/%8- A210/%18 parametrelerinde sırasıyla 520-511-484-467 MPa akma dayanımı değerleri 620-612-612-601 MPa da çekme dayanımı değerleri görülmüştür. Karışım gazındaki CO<sub>2</sub> miktarının çekme testi sonuçlarına baktığımızda A140/%8 ile A140/%18 arasında 9 MPa'lık bir fark söz konusu iken A210/%8 ile A210/%18 numuneleri arasında 65 MPa'lık bir fark olduğu görülmüştür. Değerlerden görüldüğü gibi kaynak akımındaki ve CO<sub>2</sub> oranındaki artışın akma dayanımı ve çekme dayanımı düşürdüğü görülmüştür. Bu düşüşe akım değerindeki değişimin etkisinin CO<sub>2</sub> ye nispeten daha fazla olduğu da görülmektedir. Ormanlı (2021) de yaptığı çalışmada Kaynak akım ve Karışım gazındaki CO<sub>2</sub> oranının artması sonucu kaynak bölgesine giren ısı miktarının ve bunun bir sonucu olan kararsız ark oluşumunun test numunelerinin akma ve çekme testi değerlerinde düşüşe yol açtığını raporlamıştır. Türker de yüksek ısı girdisinin tane irileşmesi, çökeltilerin çözünmesi gibi etkenlerin mekanik özellikler üzerinde azaltıcı bir etkisi olduğunu tespit etmiştir (Türker, 2017). Bu nedenle deney sonuçlarına göre kıyaslama yaptığımızda en yüksek akma ve çekme mukavemetinin gösteren numune en düşük ısı girdisine sahip A140/%8 poz numaralı numunede elde edilmiştir. Düşük ısı girdisinin bir sonucu olarak ince taneli martenzit ve beynit yapısının kaynaklı numunelerin akma dayanımlarına da pozitif etkisi olduğu açıktır (Alabi vd., 2018).

Çekme testlerinde kopmalar bütün malzemelerde sertliğin en düşük olduğu ana malzemede olmuştur. Isı girdisinin artması ve soğuma hızındaki düşüşün bir sebebi olarak kaynak bölgesinde görülen martensit'ten daha düşük sertlik değerine sahip beynitin miktarlarındaki değişim, perlit, ferrit gibi yapıların oluşması ve tane büyümesi gibi etkenlerin dayanımı düşürücü etkileri olacağı açıktır (Ormanlı, 2021).

Çizelge 4.1. S460MC çeliğinin Farklı akım ve CO<sub>2</sub> oranları ile kaynak edilmesi sonucu elde edilen çekme testi sonuçları

Numune Kodu	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)	Kopma Yeri
Ana Malzeme	533	587	-	IEB
A140/%8	520	620	12,21	IEB
A140/%18	511	612	12,18	IEB
A210/%8	484	612	11,87	IEB
A210/%18	467	601	12,17	IEB

Şekil 4.10 incelendiğinde numunelerin tamamının mikro yapı incelemelerinde yüksek ısı girdisinin bir sonucu olarak iri tane oluşumunun olduğu bilinen IEB den kopmuştur. İri taneli olan bu bölge gevrek ve çatlaklara karşı en zayıf olan bölgedir.



Şekil 4.10. Çekme testi sonrası numuneler

#### 4.6. Eğme Testi

Eğme testlerine ait numuneler Şekil 4.11 'de teste ait değerler de Çizelge 4.2' de verilen eğme testi sonuçları beraber değerlendirildiğinde; kaynaklı birleştirmelerde herhangi bir çatlak, yırtılma, mikro gözenek veya kalıntıya rastlanmamıştır. 180° hem kep hem de kök eğme testlerinin sorunsuz bir şekilde tamamlandığı görülmüştür.



Çizelge 4.2. Eğme Testi sonuçları

Numune	Test Tipi	Boyutlar(mm)	Mandrel Çapı(mm)	Mandrel Arası Mesafe	Eğme Açısı(°)	Sonuç
A140/%8	Yüzey Eğme	5x20x25	20	34	180°	Çatlak Görülmemiştir
A140/%8	Kök Eğme	5x20x25	20	34	180°	Çatlak Görülmemiştir
A140/%18	Yüzey Eğme	5x20x25	20	34	180°	Çatlak Görülmemiştir
A140/%18	Kök Eğme	5x20x25	20	34	180°	Çatlak Görülmemiştir
A210/%8	Yüzey Eğme	5x20x25	20	34	180°	Çatlak Görülmemiştir
A210/%8	Kök Eğme	5x20x25	20	34	180°	Çatlak Görülmemiştir
A210/%18	Yüzey Eğme	5x20x25	20	34	180°	Çatlak Görülmemiştir
A210/%18	Kök Eğme	5x20x25	20	34	180°	Çatlak Görülmemiştir



Şekil 4.11. Eğme testi deney numuneleri (Kök Eğme, Yüzey Eğme)

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 5.1. Sonuçlar

Tez kapsamında MAG kaynak yöntemiyle 140, 210 amper değerleri kullanılarak ve amper değeri sabit tutulup koruyucu gaz kompozisyonundaki CO<sub>2</sub> oranı %8 ve %18 olarak değiştirilerek gerçekleştirilen birleştirmelerin görsel muayenesi, mikroyapı ve makroyapı incelemeleri, mikrosertlik, çekme ve eğme testleri yapılmış ve sonuçlar aşağıda

Sıralanmıştır.

- Kaynak akımı ve karışım gazındaki CO<sub>2</sub> oranının artması ile beraber kaynak genişliğinin arttığı görülmüştür. Artan akım ve CO<sub>2</sub> oranı ile birlikte sıçrantı miktarında artış görülmüş bunların dışında herhangi bir süreksizlik görülmemiştir.
- Makro yapı incelemelerine baktığımızda numunelerde herhangi bir hata tespit edilmemiştir.
- Sertlik değerleri incelendiğinde artan kaynak akımı ve CO<sub>2</sub> oranı ile beraber KM ve IEB'lerdeki sertlik değerlerinin düştüğü gözlemlenmiştir.
- Sertlik ölçümü yapılan numunelerin hiçbirinde 450 HV değerinin üstüne çıkmadığı görülmüş olup EN 10025-6 ve EN ISO 10025-6 ve EN ISO 15614-1 standartlarına uygunluğun sağlandığı görülmüştür.
- Artan akım ve CO<sub>2</sub>oranı IEB'de tanelerin irileşmesine ve Martensit yapısının oluşmasına neden olmuştur.
- Bütün numunelerde Akma, çekme dayanımı ve % uzama değerleri incelendiğinde TS EN 10025-6 standardına göre kabul kriterlerini karşıladığı görülmüştür.
- Kaynak akımındaki ve CO<sub>2</sub> oranındaki artışın akma dayanımı ve çekme dayanımı düşürdüğü görülmüştür. Bu düşüşe akım değerindeki değişimin etkisinin CO<sub>2</sub> ye nispeten daha fazla olduğu da görülmüştür.

- En yüksek akma ve çekme mukavemetinin gösteren numune en düşük ısı girdisine sahip A140/%8 poz numaralı numunede elde edilmiştir.
- Kaynaklı birleştirmelerde herhangi bir çatlak, yırtılma, mikro gözenek veya kalıntıya rastlanmamıştır. 180° hem kep hem de kök eğme testlerinin sorunsuz bir şekilde tamamlandığı görülmüştür.

## 5.2. Öneriler

Bu tez çalışmasında kullanılan kaynak akımı ve karışım gazındaki CO<sub>2</sub> oranı iki farklı şekilde denenmiştir. Bu parametrelerin sayıları artırılıp sonuçlar karşılaştırılabilir.

## KAYNAKLAR

- Akın, A. ve Ersoyoğlu, A. S. (2016). Ark Akımı ve Ark Geriliminin Bağlantı Mukavemeti Üzerine Etkilerinin Araştırılması. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4(4), 237-255.
- Alabi, A.A., Moore, P.L., Wrobel, L.C., Campbell, J.C. ve He, W. (2018). Tensile Behaviour of S690QL and S960QL Under High Strain Rate. *Journal of Constructional Steel Research*, 150, 570-580.
- Anık, S. ve Vural, A. (2010). *Yöntemler ve Donanımlar. Kaynak Tekniği El KİEB*. İstanbul: GEV Yayınları.
- Barlas, Z., Ormanlı, E., Öz Saraç, U., Orhan, A. ve Çalgülü, U. (2021). HSS S960QL Çeliğinin MAG Kaynağında Kaynak Akımı ve Gaz Kompozisyonundaki CO<sub>2</sub> Oranının Birleştirme Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 11(2), 1430-1443.
- Batıgün, C. (2016). *Yüksek Mukavemetli Yapı Çelikleri ve Zırh Çeliklerinin Kaynağı*. Ankara: Ders Notları.
- Bayar, S. (2019). *Ramor 500 Zırh Çeliğinin Farklı Ark Ergitme Kaynak Birleştirmelerinin Metalurjik ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi*. İskenderun Teknik Üniversitesi, Hatay.
- Candan, İ., Durgutlu, A., Kahraman, N. ve Gülenç, B. (2006). Farklı Pozisyonlarda MAG Kaynağı ile Birleştirilen Boruların Kaynak Dikişlerinin Ultrasonik ve Mekanik Muayenesi. *Politeknik Dergisi*, 9(3).
- Celasun, E. (2012). *S355J2 Çeliğinin Isıl İşlem ve Farklı Tozaltı Kaynak Tellerinin Kaynak Kabiliyetine Etkisinin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Karabük Üniversitesi, Karabük.
- Çam, G. (2021). Kaynak Bilimi ve Teknolojisi. Nobel
- Dong, H., Hao, X. ve Deng, D. (2014). Effect of Welding Heat Input on Microstructure and Mechanical Properties of HSLA Steel Joint. *Metallography, Microstructure and Analysis*, 3(2), 138-146.
- Ebrahimnia, M., Goodarzi, M., Nouri, M. ve Sheikhi, M. (2009). Study of The Effect of Shielding Gas Composition on The Mechanical Weld Properties of Steel ST 37-2 in Gas Metal Arc Welding. *Materials & Design*, 30(9), 3891-3895.
- Ermis, K. ve Celikten, E. (2021). The Effect of The Gap Between The Materials on The Weld Penetration and Mechanical Values in The MAG Butt Weld Joint. *Journal of Engineering Research and Applied Science*, 10(1), 1650-1657.
- Gaspar, M. (2019). Effect of Welding Heat Input on Simulated HAZ Areas in S960QL High Strength Steel. *Metals*, 9(11), 1226-1239.

- Goss, C. ve Marecki, P. (2012). Fatigue Test Welded Joints Steel S960QL. *Materials Science Forum*, 93-99.
- GSI-SLV-TR (2009). *Kaynak Mühendisliği Ders Notları*. Ankara.
- Gunaraj, V. ve Murugan, N. (2002). Prediction of Heat-Affected Zone Characteristics in Submerged Arc Welding of Structural Steel Pipes. *Welding Journal*, 81(3), 45-53.
- Güner, M. (2007). MAG Kaynağında Elektrod Tipinin (Çıplak Tel-Özlü Tel) Kaynak Dikişi Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi.
- Harman, M. (2019). *Yüksek Mukavemetli Çeliklerin Farklı Kaynak Yöntemleri Kullanılarak Kaynak Edilebilirliğinin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Harman, M., Ada, H. ve Çetinkaya, C. (2022). Investigation of QStE 420 TM Steel Materials Weldability Using Different Basic Electrodes By Electric Arc Welding Method. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 37(4), 2041-2056.
- Harman, M., Hakan, A. D. A. ve Çetinkaya, C. (2020). Qste 420 Tm Çeliğinin Mag Kaynak Yöntemiyle Kaynaklanmasında Dolgu Metali Türünün Metalürjik ve Mekanik Özelliklere Etkisinin Belirlenmesi. *Politeknik Dergisi*.
- Haupt, W., Riffel, K.C., Israel, C.L., Silva, R.H.G. ve Reguly, A. (2018). Effect of Wire Electrode and Shielding Gas Compositions on The Mechanical Properties of DOMEX 700 Steel Welded By The GMAW-P Process. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 40(4), 1-11.
- Dokuz Eylül Üniversitesi (2021, Ekim) Çekme Deneyi <https://makina.deu.edu.tr/wp-content/uploads/2021/10/2>
- Hüyüktepe, E. (2019). *Yüksek Dayanımlı Düşük Alaşımli X65 Boru Hattı Çeliklerde Kaynak Bölgesinin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Kalkan, İ. (2018). *Yüksek Mukavemetli Çeliklerde Çok Pasolu Kaynağının Mekanik ve Mikroyapı Özelliklerine Etkisi*. Yüksek Lisans Tezi. Düzce Üniversitesi, Düzce.
- Karabulut, H., Türkmen, M., Erden, M. A. ve Gündüz, S. (2016). Effect of Different Current Values on Microstructure and Mechanical Properties of Microalloyed Steels Joined By The Submerged Arc Welding Method. *Metals*, 6(11), 281.
- Kırbaş, C. (2014). *AISI P11 ve AISI P91 Kalite Dikişsiz Boru Çeliklerinin Mekanik Özelliklerine Gerilme Giderme Tavlama Sıcaklığının Etkisi*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Kornokar, K., Nematzadeh, F., Mostaan, H., Sadeghian, A., Moradi, M., Waugh, D. G. ve Bodaghi, M. (2022). Influence of Heat Input on Microstructure and Mechanical Properties of Gas Tungsten Arc Welded HSLA S500MC Steel Joints. *Metals*, 12(4), 565.

- Kou, S. (2003). *Weld Metal Solidification Cracking*. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Linnert, G. E. (1994). *Welding Metallurgy Carbon and Alloy Steels*. Miami, Florida: AWS. S. 801.
- ODTÜ (2008). *Kaynak Mühendisliği Ders Notları*. Ankara.
- Shome, M. (2007). Effect of Heat-Input on Austenite Grain Size in The Heat-Affected Zone of HSLA-100 Steel. *Materials Science and Engineering: A*, 445, 454-460
- Şık, A. (2007). Mıg/Mag Kaynağı ile Kaynatılan Çelik Yapılarda Koruyucu Gaz Karışımlarının Mekanik Özelliklere Etkilerinin Araştırılması. *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*.
- Taş, Z. (2012). Yüksek Dayanımlı Düşük Alaşımli Çeliklerde Metalürjik Mukavemet Artırma. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 28(2), 97-101.
- Tekin, E. (1992). *Mühendisler İçin Çelik Seçimi*. Ankara: TMMOB Makine Mühendisleri Odası Yayınları.
- Topbaş, A. (1993). *Isıl İşlemler*. İstanbul: Prestij Yayınevi.
- TS EN 15614-1. (2017). Metalik Malzemeler İçin Kaynak Prosedürlerinin Şartnamesi ve Vasıflandırılması - Kaynak Prosedürü Deneyi - Bölüm 1: Çeliklerin Gaz ve Ark Kaynağı, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 5173:2010/A1. (2012). Metalik Malzemelerde Kaynak Dikişleri Üzerinde Tahribatlı Muayeneler- Eğme Deneyleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Türker, M. (2017). The Effect of Welding Parameters on Microstructural and Mechanical Properties of HSLA S960QL Type Steel with Submerged Arc Welding. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21(3), 673-682
- Ulaştı, E. (2018). *Termomekanik haddeme ile S700MC Kalite Çeliklerin Üretimi ve Üretim Parametrelerinin Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Vural, M., Piroğlu, F., Çağlayan, B.Ö. ve Uzgider, E. (2003). Yapı Çeliklerinin Kaynaklanabilirliği. *Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi*, 4(426), 47-51.
- Yumuşak, D. M. (2008). *Gaz Altı Kaynak Yöntemi ile Kaynatılan Ferritik Paslanmaz Çeliklerde Argon ve Helyum Gazlarının Kaynak Karakteristik Üzerine Etkisinin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi, Ankara.



**DİZİN**

---

**A**

ABSTRACT - v

akım - 58

akma - iv

Argon - 30

---

**Ç**

çekme - 49

çelik - 31

Çizelge - 33

---

**D**

Deney - 44

---

**E**

eğme - 49

eşitlik - 52

---

**G**

gaz - 53

---

**I**

IEB - 31

---

**K**

kalınlık - 9

karışım - 30

kaynak - 59

---

**M**

martensit - 27

mukavemet - 27

---

**Ö**

özellik - 29

---

**S**

sertlik - 31





**TEKNOVERSİTE**





teknoversite **AYRICALIĞINDASINIZ**

**İSTE**

