
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

PROTAC 500-600, MARS-300 ZIRH ÇELİKLERİNİN KAYNAKLI BİRLEŞTİRMELERİNDE MİKROYAPI, MEKANİKSEL ÖZELLİKLERİ VE ABRASİV AŞINMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Ali Batuhan VURAL

YÜKSEK LİSANS
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ŞUBAT 2022

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- 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 çalışmasında 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.

Ali Batuhan VURAL

15/02/2022

PROTAC 500-600, MARS-300 ZIRH ÇELİKLERİNİN KAYNAKLI BİRLEŞTİRMELERİNDE MİKROYAPI, MEKANİKSEL ÖZELLİKLERİ VE ABRASİV AŞINMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Ali Batuhan VURAL

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Şubat 2022

ÖZET

Bu çalışma zırhlı muharebe araçlarında kullanılan Protac 500, Protac 600 ve Mars 300 zırh çeliklerinin MAG kaynak yöntemi ile birleştirme işlemini ele almaktadır. İlave metal olarak zırh çeliklerinin MAG kaynağı için önerilen X-90 IG ve 307Si MAG kaynak telinin kullanımı ile işlemler gerçekleştirilmiştir. Kaynaklı imalata uygun parametrelerde ön sıcaklık ve pasolar arası sıcaklık dikkate alınarak farklı dolgu malzemeleri ile kaynak işlemleri yapılmıştır. Kaynaklama işlemi esnasında farklı dolgu malzemelerinin ısı girdisi farkı ile birlikte farklı kimyasal kompozisyonların oluşturduğu alaşımlamanın etkisi de incelenmiştir. Kaynaklı imalat sonrası kaynak bölgesi ve ısıdan etkilenen bilge(ıtab) ve ana malzemedeki mukavemet farkı gözlenmiş olup, oluşan yeni yapının kaybettiği ve kazandığı yeni özellikler belirlenmiştir. Zırh çeliklerinin mekaniksel özellikleri çekme testi, sertlik ve mikroyapı özellikleri belirlenerek dolgu malzemelerinin oluşturduğu farklar incelenmiş, kaynağa uygunluğu belirlenmiştir. Ayrıca çalışmamızda, deneylerde kullanılan zırh çeliklerinin abrasiv aşınma davranışları incelenmiştir.

Bilim Kodu : 91511

Anahtar Kelimeler : Zırh çeliği, Kaynaklı birleştirme, Mag kaynağı, Dolgu malzemeleri, Aşınma

Sayfa Adedi : 83

Danışman : Prof. Dr. Mahmut İZCİLER

INVESTIGATION OF MICROSTRUCTURE, MECHANICAL PROPERTIES AND ABRASIVE WEAR BEHAVIORS OF PROTAC 500-600, MARS-300 ARMOR STEELS IN WELDED JOINTS

(M. Sc. Thesis)

Ali Batuhan VURAL

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

February 2022

ABSTRACT

This study deals with the process of combining Protac 500, Protac 600 and Mars 300 armor steels used in armored combat vehicles with the MAG welding method. As an additional metal, the process was carried out using the X-90 IG and 307Si MAG welding wire recommended for MAG welding of armor steels. In accordance with the parameters suitable for welded manufacturing, operations gap carried out with different filling materials considering the preliminary temperature and the temperature between the passes. The difference in heat input of different filler materials during the welding process and the effect of alloying formed by different chemical compositions were also studied. After the welded manufacturing, the strength difference in the welding zone, itab and the main material was observed, and the new properties lost and gained by the new structure were determined. Tensile testing, microstructure examination and hardness of armor steels were taken into consideration and both the differences between the filler materials and the differences between them were examined and their suitability for welding gap determined. In our study, the abrasive welding behavior of armor steels in the experiments was also investigated.

Science Code : 91511

Key Words : Armor steel, Welded joining, Mag welding, Filling materials, Abrasive wear

Page Number : 83

Supervisor : Prof. D r. Mahmut İZCİLER

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla, bakış açısıyla, engin tecrübesi ve yorumlarıyla, gösterdiği büyük sabırla beni yönlendiren Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölümü, değerli danışman hocam Prof. Dr. Mahmut İZCİLER'e saygılarımla sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Kıymetli tecrübelerinden faydalandığım, yardımını, desteğini ve emeğini hiçbir zaman esirgemeyen Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölüm Başkanı hocam Prof. Dr. İhsan KORKUT'a saygılarımla teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım esnasında yardımlarıyla beni destekleyen Kaynak Mühendisi Tansu ÖZDOĞAN'a, Kaynak Mühendisi Yücel DUR'a, Metalurji ve Malzeme Mühendisi Cebrail KOÇAK'a teşekkürler ederim.

Çalışmalarım boyunca maddi manevi desteklerini esirgemeyen Babam Ahmet VURAL'a, Annem Nazife VURAL'a ve sevgili Kardeşim Aybike VURAL'a teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca her türlü desteğini benden esirgemeyen Bilgisayar Mühendisi / Elektrik Elektronik Mühendisi Selva Rüveyda AYDIN'a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT v

TEŞEKKÜR vi

İÇİNDEKİLER vii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ ix

RESİMLERİN LİSTESİ x

ŞEKİLLERİN LİSTESİ xii

SİMGELER VE KISALTMALAR xiv

1. GİRİŞ 1

2. ÇALIŞMANIN LİTERATÜRDEKİ YERİ VE ÖNEMİ 3

3. ZIRH ÇELİKLERİ VE BALİSTİK ÖZELLİKLERİ 7

3.1. Balistik Çeşitleri ve Özellikleri 8

3.1.1. İç balistik 9

3.1.2. Ara balistik 10

3.1.3. Dış balistik 10

3.1.4. Hedef balistik 11

3.2. Zırh Çeliklerinin Metalürjisi 13

3.2.1. Zırh çeliklerinin kimyasal kompozisyonu 14

3.2.2. Zırh çeliklerine uygulanan ısıl işlem ve oluşan mikro yapılar 15

4. KAYNAK YÖNTEMLERİ VE ZIRH ÇELİKLERİNİN KAYNAK KABİLİYETLERİ 19

4.1. Kaynak ve Yöntemleri 19

4.2. Kaynak Yöntemleri ve Çeşitleri 20

4.2.1. Asetilen-oksijen aleviyle gaz kaynağı 21

4.2.2. Elle ark kaynağı 22

Sayfa

4.2.3. Tungsten-ınert gaz kaynağı 24
4.2.4. Metal koruyucu gaz kaynağı 27
5. MATERYAL METOT 33
5.1. Kullanılan Malzemeler 33
5.2. Dolgu Malzemeleri 36
5.3. Zırh Çeliklerinde Kaynak 37
5.4. Kullanılan Cihazlar 41
6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR 43
6.1. Deneylerin Yapılışı 43
6.1.1. Çekme testi 44
6.1.2. Mikroyapı incelemeleri 47
6.1.3. Sertlik ölçümleri 53
6.1.4. Abrasiv aşınma testi 55
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 75
7.1. Öneriler 77
KAYNAKLAR 79
ÖZGEÇMİŞ 83

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 2.1. Numune aşınma oranları ve aşınma dirençleri 6

Çizelge 3.1. Zırh çeliklerinin kimyasal kompozisyonlar 15

Çizelge 3.2. Zırh çeliklerinde sertlik..... 17

Çizelge 4.1. Kaynak yöntemlerinin sınıflandırılması 20

Çizelge 5.1. Protac 500 zırh çeliği kimyasal kompozisyonu 33

Çizelge 5.2. Protac 600 zırh çeliği kimyasal kompozisyonu 34

Çizelge 5.3. Mars 300 zırh çeliği kimyasal kompozisyonu 34

Çizelge 5.4. Protac 500 zırh çeliği mekanik özellikleri 35

Çizelge 5.5. Protac 600 zırh çeliği mekanik özellikleri 35

Çizelge 5.6. Mars 300 zırh çeliği mekanik özellikleri 36

Çizelge 5.7. Böhler X 90-IG dolgu malzemesi kimyasal kompozisyonu 36

Çizelge 5.8. Elox SG 307 dolgu malzemesi kimyasal kompozisyonu 37

Çizelge 5.9. Böhler X 90-IG mekanik özellikleri 37

Çizelge 5.10. Geka Elox SG 307 mekanik özellikleri 37

Çizelge 5.11. Kaynak parametreleri..... 39

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim **Sayfa**

Resim 3.1. Balistik çeşitleri ve bölgeleri 9

Resim 5.1. Toplamda 52 derece açılan kaynak ağzı görüntüleri 38

Resim 5.2. Tezgâha kaynak işlemi için sabitleme yapılması..... 38

Resim 5.3. Ön sıcaklık parametreleri..... 39

Resim 5.4. Kök paso işlemi sonrası pasolar arası kontrollü soğuma..... 40

Resim 5.5. Zırh çelikleri kaynaklı imalatın son hali 40

Resim 5.6. Çekme testi numunelerine hazırlık 41

Resim 5.7. Atm Opal 460 numuneleri sıcak bakalite alma cihazı 41

Resim 5.8. Leica mikroyapı ışık mikroskobu 42

Resim 5.9. Brinel sertlik cihazı..... 42

Resim 6.1. Protac 500 zırh çeliğinin Elox 307 dolgu malzemesi kaynaklı imalatının çekme testi görüntüsü 44

Resim 6.2. Protac 500 zırh çeliğinin X 90-IG dolgu malzemesi kaynaklı imalatının çekme testi görüntüsü 44

Resim 6.3. Protac 600 zırh çeliğinin X 90-IG dolgu malzemesi kaynaklı imalatının çekme testi görüntüsü 45

Resim 6.4. Protac 500 zırh çeliğinin Elox 307 dolgu malzemesi kaynaklı imalatının çekme testi görüntüsü 45

Resim 6.5. Mars 300 zırh çeliğinin X 90-IG dolgu malzemesi kaynaklı imalatının çekme testi görüntüsü 46

Resim 6.6. Mars 300 zırh çeliğinin Elox 307 dolgu malzemesi kaynaklı imalatının çekme testi görüntüsü 46

Resim 6.7. Protac 500 X 90-IG kaynaklı birleştirilmesinde mikroyapı görüntüsü 48

Resim 6.8. Protac 500 Geka Elox SG 307 kaynaklı birleştirilmesinde mikroyapı görüntüsü..... 49

Resim 6.9. Protac 600 X 90-IG kaynaklı birleştirilmesinde mikroyapı görüntüsü 50

Resim 6.10. Protac 600 Geka Elox SG 307 kaynaklı birleştirilmesinde mikroyapı görüntüsü..... 51

Resim **Sayfa**

Resim 6.11. Mars 300 X 90-IG mikro yapı görüntüsü verilmiştir..... 52

Resim 6.12. Mars 300 Geka Elox SG 307 mikro yapı görüntüsü verilmiştir. 53

Resim 6.13. Vickers sertlik ölçümünde sertlik kesiti alınan bölgelerin gösterimi 53

Resim 6.14. Sertlik ölçümlerinin alınmış olduğu bölgelerin görüntülenmesi 55

Resim 6.15. Abresiv aşınma parametreleri 56

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 3.1. Dış balistik mermi yolu ve mesafe görseli 11

Şekil 3.2. EN 1063 standardına göre mermi kalibresi ve uçları 12

Şekil 3. 3. EN 1063 standardına göre mühimmat bilgileri 12

Şekil 3.4. Zırh çeliği üretim genel prosesleri 13

Şekil 3.5. Karbür yapıcı elementlerin temperleme karakteristikleri 16

Şekil 4.1. Alın ve köşe kaynakları kaynak bölgesi görseli 20

Şekil 4.2. Asetilen ve oksijen gaz kaynağı makine görseli..... 21

Şekil 4.3. Elle ark kaynağı kaynak gösterimi 22

Şekil 4.4. Örtülü elektrot ve kaynak makinesi..... 24

Şekil 4.5. Tıg kaynak yöntemi torç ve kaynak görseli..... 24

Şekil 4.6. Tıg torç yön ve dikiş şekli 25

Şekil 4.7. Metal koruyucu gaz kaynağı görseli..... 27

Şekil 4.8. Metal koruyucu gaz kaynağı torç ile kaynak metali arasındaki ilişki 28

Şekil 4.9. Kaynak parametrelerinin dikişe etkisi 29

Şekil 4.10. Koruyucu gazların etkisi..... 31

Şekil 6.1. Protac 500, 600 ve Mars 300 numunelerin çekme dayanımı sonuçları..... 47

Şekil 6.2. Vickers sertlik deneyi sonuçları..... 54

Şekil 6. 3. Protac 500 5N kuvvette sürtünme katsayısının belirlenmesi..... 56

Şekil 6.4. Protac 500 5N kuvvette sürtünme kuvveti..... 57

Şekil 6.5. Protac 500 5N kuvvette aşınma derinliği..... 57

Şekil 6.6. Protac 500 10N kuvvette sürtünme katsayısı..... 58

Şekil 6.7. Protac 500 10N kuvvette sürtünme kuvveti..... 59

Şekil 6.8. Protac 500 10N kuvvette aşınma derinliği..... 59

Şekil 6.9. Protac 500 15N kuvvette sürtünme katsayısı..... 60

Şekil 6.10. Protac 500 15N kuvvette sürtünme kuvveti..... 61

Şekil **Sayfa**

Şekil 6.11. Protac 500 15N kuvvette aşınma derinliği..... 61

Şekil 6.12. Protac 600 5N kuvvette sürtünme katsayısı..... 62

Şekil 6.13. Protac 600 5N kuvvette sürtünme kuvveti..... 63

Şekil 6.14. Protac 600 5N kuvvette aşınma derinliği..... 63

Şekil 6.15. Protac 600 10N kuvvette sürtünme katsayısı..... 64

Şekil 6.16. Protac 600 10N kuvvette sürtünme kuvveti..... 65

Şekil 6.17. Protac 600 10N kuvvette aşınma derinliği..... 65

Şekil 6.18. Protac 600 15N kuvvette sürtünme katsayısı..... 66

Şekil 6.19. Protac 600 15N kuvvette sürtünme kuvveti..... 67

Şekil 6.20. Protac 600 15N kuvvette aşınma derinliği..... 67

Şekil 6.21. Mars 300 5N kuvvette sürtünme katsayısı..... 68

Şekil 6.22. Mars 300 5N kuvvette sürtünme kuvveti..... 69

Şekil 6.23. Mars 300 5N kuvvette aşınma derinliği..... 69

Şekil 6.24. Mars 300 10N kuvvette sürtünme katsayısı..... 70

Şekil 6.25. Mars 300 10N kuvvette sürtünme kuvveti..... 71

Şekil 6.26. Mars 300 10N kuvvette aşınma derinliği..... 71

Şekil 6.27. Mars 300 15N kuvvette sürtünme katsayısı..... 72

Şekil 6.28. Mars 300 15N kuvvette sürtünme kuvveti..... 73

Şekil 6.29. Mars 300 15N kuvvette aşınma derinliği..... 73

Şekil 6.30. Değişik yükler altında numunelerin abrasive aşınma davranışı 74

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklamalar
Al	Alüminyum
C	Karbon
Cr	Krom
d (g/cm3)	Yoğunluk
HBN	Brinell sertliği
HRC	Rockwell sertliği
HV	Vickers sertliği
HHA	Yüksek mukavemet
ITAB	Isıdan etkilenmiş bölge
MHO	Martenzit hacim oranı
Mn	Manganez
Mo	Molibden
Nb	Niobyum
Ni	Nikel
P	Fosfor
S (m)	Aşınma Yolu
S	Kükürt
Si	Silisyum
V	Vanadyum
ΔG (mg)	Ağırlık Kaybı
W_a (mm3 /N.m)	Aşınma Oranı
W_r (mm3 /N.m)	Aşınma Direnci

1. GİRİŞ

Gelişmekte olan ülkelerde, savunma sanayisine yapılan yatırımlar ve projeler gün geçtikçe artmaktadır. Teknolojinin ve modern silahların gelişmesi hız kazanırken bunun sonucunda savunma sanayinde kullanılan malzemelerde gelişmektedir. Taarruzlara karşı insanoğlu kendini savunmak için koruyucu ekipmanlar (miğfer, kalkan vb.) geliştirmiştir. Günümüzde pek çok alanda zırh çelikleri daha aktif kullanılmaya başlanmıştır.

Ülkelerin silahlı kuvvetleri ateşli ve şarapnel etkili (patlayıcı, mermiler vb.) silahlara karşı zırh malzemesi olarak çeşitli kompozit malzemeler, alüminyum alaşımları, seramik esaslı malzemeleri kullanılmaktadır. Savunma amaçlı üretilen araçlarda yaygın olarak kullanılan zırh malzemesi çelik alaşımlardır. Bunun en temel sebebi çeliklerin sahip olduğu yüksek dayanım, tokluk, kaynaklı imalatlı birleştirmelere imkân vermesi ve daha düşük üretim maliyetine sahip olmasıdır. Zırh çelikleri özellikle askeri araç üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu araçlar çeşitli çap/boyuttaki mermilere, mühimmatlardaki farklı çekirdek yapılarına karşı (kurşun çekirdek, çelik çekirdek vb.) yüksek dayanım ve mekanik direnç göstermelidir.

Zırhlı araçlarda kullanılan zırh çeliklerinden istenilen koruma seviyelerinin sağlanabilmesi için zırhlı araçların üretim prosesleri hassas olarak belirlenmelidir. Zırhlı araçların üretim yöntemlerinden olan kaynak birleştirme yöntemi, zırh çeliklerinin oluşturduğu yapıları bozmamalıdır. Üretilen taşıtlar sürekli engebeli arazi yapılarında değişen yükler altında, burkulma göstererek (silah, mühimmat, personel miktarı) sürekli titreşim ve hareket halinde kaynak bölgelerinin ve zırh birleşim noktalarının ateş altında istenilen balistik korumayı sağlamalıdır. Koruma sağlanması istenen mühimmat tiplerine göre balistik özelliklerin istenilen korumayı sağlaması gerekir. Sert zırh çeliklerinde gerilmeli korozyon sorunu ortaya çıkabilir. Özellikle gerilimli bölgelerde ve korozif bir ortamla karşılaştığında korozyon artar. Artan mukavemet ve sertliğe bağlı olarak tokluk kaybını azaltmak için ikincil metalürjik işlemlerle kükürt ve fosfor çok düşük seviyelere çekilmiştir. Kükürt ve fosfor ayrıca kaynak işlemi içinde istenmeyen iki element olup, bu elementler kaynağın fiziksel metalürjisini olumsuz yönde etkilemektedir. Üretimde ise termomekanik haddeleme ve ısıl işlem tekniklerinin uygulanmasıyla mekanik özellikleri geliştirilmiştir.

Günümüzde kullanılan zırh çeliklerinden Protac 500, Protac 600 ve Mars 300 zırh çeliklerinin mekanik ve fiziksel özelliklerinin yanı sıra, balistik korumaları, kullanım alanları bilinmektedir. Çalışmanın amacı kaynaklı imalat yapılan zırh çeliklerinin, kaynaklı imalat yapılmadan öncesi ve sonrasındaki aşınmaya karşı dirençleri, mikro yapı incelemeleri ve imalat sonrası su verilerek temperlenmiş martenzit yapının meydana gelmesi ile sertlik değerinin değişiklikleri, aynı şekilde mikro yapı farklılıkları ve mikro yapıda meydana gelen değişikliklerin incelenmesidir. Kullanılacak olan farklı yapıdaki dolgu malzemeleri ile zırh çeliklerine yapılacak kaynaklı imalatın etkisi izlenerek, mikroyapı değişimi, mukavemet farkı, zırh çeliği üzerinde ısı farkının gözlemlemek ve sonuçlarını tespit etmek istenmiştir.

2. ÇALIŞMANIN LİTERATÜRDEKİ YERİ VE ÖNEMİ

Günümüzde hızla ilerleyen teknoloji ile savunma alanında yenilikçi adımlar atılmaya başlanmıştır. Hem dünyada hem de ülkemizde zırh çelikleri üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Ateşli ve şarapnel etkili (patlayıcı, mermiler vb.) silahlara karşı kullanılan zırh malzemelerinin birleştirilmesi hakkında bilgi birikimi literatür anlamında çok yer bulmamaktadır. Oluşan tecrübeye dayalı bilgiler ise zırh üzerine çalışan firmalar bünyesinde saklanmakta olup, kişisel tecrübeler ile şekillenmektedir. Bugüne kadar yapılmış çalışmaların literatür araştırmaları bizlere yeni fikirler katmış ve istediğimiz optimum aralıklar ile başarılı sonuçlar elde etmemize yol göstermektedir.

Zırh çelikleri hem üretim hem kaynaklı imalatta üretilme aşaması büyük dikkatle gerçekleşen, alaşımlama ve ışıl işlem sonucunda yüksek mukavemete ulaşan çelik grubudur. Günümüzde çok fazla zırh çeliği çeşitleri mevcuttur. Ortak özellikleri yüksek mukavemete sahip olmaları bunun ise üretim prosesi ile ilişkisi bilinmektedir. Östenitleme, su verme, temperleme prosesi ile üretim gerçekleşmektedir. Üretimdeki hassasiyet kaynaklı imalatta da devam etmelidir. Isı ve sıcaklığın etkisi zırh çeliklerinin özel üretim prosesi ile kazandığı değerleri bozmaktadır. Bu durum üzerinde birçok tez, makale ele alınmıştır.

Daha önce yapılan araştırmalarda iki dolgu malzemesi ile işlem yapılan numuneler incelenmiş olup, çekme testi sonrası parçalar ana malzemeden daha düşük mekanik özelliklere sahip kaynak dolgu metallerinden kopmuştur. Ferritik özelliğe sahip dolgu malzemesinin çekme test sonuçları östenitik dolgu malzemesine göre daha yüksek çıkmıştır. Ferritik özellikteki dolgu malzemesinin akma mukavemet test sonuçları östenitik malzemeye kıyasla daha yüksek çıkmıştır. Çentik darbe deneyi sonucunda östenitik dolgu malzemesi ferritik dolgu malzemesine göre daha fazla ve mukavemetli değerler vermiştir. Test parçalarına ait sertlik değerleri kaynağın ısı girdisinin etkisiyle temperlenmiş bölgede azalmış ve ısı tesiri altındaki bölgede ise ana malzemenin sertlik değerlerinin üstünde çıkmıştır. Bu çıkışın kabul edilir ölçülerde kaldığı gözlemlenmiştir. Kaynak metali bölgesindeki sertlik değerleri zırh çeliklerine kıyasla çok daha düşük sonuçlar vermiştir. Balistik koruma açısından önemli olan sertlik değerleri kaynak dolgu metalinde düşük seviyelerde gözlemlenmiş olup zırh çeliğinin kullanıldığı kaynaklı konstrüksiyon ve

araçlarda kaynak dikişi bölgelerinin ek tedbirlerle korunması gerektiğini doğurmuştur. İç yapı incelemelerinde her iki dolgu malzemesine ait numunelerde ergime hattı net bir şekilde gözlemlenmiştir. Ferritik dolgu malzemesine sahip numunede martenzitik yapının yanı sıra dentrit ve beynit oluşumları görülmüştür. Östenitik yapıda olan dolgu malzemesinde ise martenzitik östenitik geçişi ve östenitik matrisin içinde ferrit yapılar gözlemlenmiştir [1-3].

Çelik mikro yapısında çift faz elde edilerek çeliğe kolay şekil verilebilirlik ve yüksek mukavemet kazandırılmış ve numune belirli basamaklarda ısıl işlemlerden geçirilerek 7,62 mm çapında zırh delici mermi karşısında balistik anlamda verdiği tepki doğrultusunda balistik anlamda en iyi başarım yakalayan numuneler seramik katmanlı numuneler olarak tespit edilmiştir. Seramik katmanlı numuneler arasında en iyi balistik başarımı 70% martenzit hacim oranı (MHO) da 2.alan yoğunluğundaki numuneler (SM70-9) göstermiştir. Katmansız olarak gerçekleştirilen atışlarda ise M50 ve M70 grubu numunelerinin 3. alan yoğunluğundaki numuneler tam balistik koruma sağlamıştır. En az hasar ise 70% MHO'da ve 50% MHO'da 5. alan yoğunluğundaki malzemelerde meydana gelmiştir. MHO'nun artırılması ile balistik başarımın sağlanacağı ve hafif zırhların elde ederek tespit edileceği görülmüştür. Özellikle tavlanmış malzemelerde olmak üzere alan yoğunluğundaki numunelerde ferrit tane boyutlarında küçülmeler ve uzamalar (daha ince ve uzun yapıda) meydana gelmiştir. Seramik katmanlı olarak atışı gerçekleştirilen tüm numunelerde oluşan adyabatik kayma bantları katmansız atış yapılan numunelere göre daha geniş bant aralıklarına (seyrek bant oluşumu) sahip olmuştur. Buna sebep olarak seramik katman tarafından enerjisinin birçoğu sönümlenen merminin çelik üzerinde daha zayıf bir darbe etkisi yaratması şeklinde değerlendirilebilir[4]. Balistik atışlarda yapının bozulması ve dış katmanda oluşan martenzit yapının bozulması zırh çeliklerinde yüksek mukavemet kayıplarına sebep olup noktasal ani kuvvetlere karşı olan mukavemeti düşürmektedir. Bu sebepten dolayı yapılan kaynaklı imalat, kullanılan dolgu malzemelerinde ısı girdisi, alaşımlama dikkate alınmalıdır. Kaynak parametreleri en uygun şekilde belirlenmeli, yapılan kaynak işleminde başlangıçta ön ısıtma, pasolar arası sıcaklık ve kaynak sonrası soğumalar dikkate alınıp oluşacak yeni mikro yapıda balistik mukavemeti en az şekilde etkilemelidir [5].

Zırh çeliklerinin bazı farklı kaynaklama metotları doğrultusunda yapılan işleme göstermiş oldukları farklı mekanik tepkiler gözlemlenmiştir. Zırh çeliği karakterindeki numuneye 48,

54 ,60 derecelik açılarla X ve V kaynak ağzı metotları ile işlem yapılmış ve MIG kaynak tekniği ile kaynaklama işlemi gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu işlemler sonucunda test numunesinde bahsi geçen mekanik özellikler ve tepkiler sayısal ve deneysel aşamalar açısından kıyaslanmış ve mevcut verilerde uygunluk sağlandığı sonucuna varılmıştır. Çekme yükleri altında en iyi dayanım V tipi kaynak ağzı ve 54 derece açı ile kaynaklı işleme tabi tutulmuş numunelerde tespit edilmiştir. Basma yüklerine en iyi dayanım X tipi kaynak ağzı ve 48 derecelik açı ile kaynaklama işlemine tabi tutulmuş numunelerde tespit edilmiştir. X tipi kaynak ağzı kaynak bağlantıları basma kuvveti etkisinde V geometrideki kaynak bağlantılarına kıyasla daha iyi dayanım göstermiştir. V geometrideki kaynak bağlantıları çekme kuvveti etkisinde X tipi kaynak ağzı kaynak bağlantılarına kıyasla daha iyi dayanım göstermiştir. Yapılan mekanik deneyler doğrultusunda kaynaklı numunelerin tamamında kaynak işleminin gerçekleştirildiği bölgede kopma meydana gelmiş olup buna sebep olarak kaynak malzemesinin mukavemetinin ana metale göre daha düşük düzeylere sahip olması sonuçlandırılması yapılmıştır [6,7]. Bu çalışmanın akabinde biz de değerlendirmede bulunup kaynak ağızlarının ısı girdisi etkisi ile mikro yapıdaki değişikliklerin optimum seviyede tutulabilmesi, başarı kriterini arttırmak ve daha doğru sonuçlar elde etmek için 52 derecelik V kaynak ağzı kullanarak kaynaklı imalatı gerçekleştirmeyi öngördük. Isı girdisini belli seviyede tutmayı ve dolgu malzemesi ile nüfuzyeti tam sağlayıp en yüksek mukavemeti elde etmeyi amaçladık.

Zırh uygulamalarında yaygın olarak kullanılan bir malzemedir. Bu konuda AR-GE çalışmaları yapılırsa bunun sonucunda TSK'nın önemli ihtiyaçları karşılanacaktır. Yüksek sertliğe ve aşınma direncine sahip olan Bor Karbür birçok endüstriyel uygulama için vazgeçilmez bir malzeme olma adayıdır. Bor Karbürün aşınma davranışlarının bilinmesi ve bu konuda yeni ürün ve teknolojik çalışmalar geliştirilmesi önemli bir husustur. Bu sebepten ötürü yüksek sertliğe sahip zırh çelikleri Abresive aşınma deneyleri uygulayarak sert yüzeylerin aşınma dirençlerine bakmak istedik. B_4C ve Al_2O_3 seramik malzemeler AISI H13 çeliğine nazaran çok daha yüksek bir aşınma performansı göstermiştir. B_4C ve Al_2O_3 numuneleri kıyaslandığında B_4C'nin sürtünme ve aşınma özelliklerinin daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Al_2O_3 numunesinin başlangıç yüzey özelliklerinin kötü olmasının bu malzemenin sürtünme ve aşınma performansı üzerinde etki sağlaması mümkündür [8]. Yapılan çalışmalarda adhesiv aşınmanın karakteristik özelliklerinden biri olan malzeme taşımının yumuşak malzeme yüzeyinden sert olana doğru olduğu gözlemlenmiştir. Seramiklerin çelik malzemelere kıyasla daha az aşınırken karşı malzemeyi daha fazla

aşındırmaları bu malzemelerin çok iyi olan aşınma özellikleri yanında sürtünme özelliklerinin de geliştirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Çizelge 2.1 ‘de verildiği gibi yapılan deneylerde aşınma oranı ve aşınma dirençleri verilmiştir.

Çizelge 2.1. Numune aşınma oranları ve aşınma dirençleri [8]

MALZEME	Ağırlık Kaybı ΔG (mg)	Yükleme Ağırlığı M (N)	Aşınma Yolu S (m)	Yoğunluk D (g/cm^3)	Aşınma Oranı Wa (mm^3 /N.m)	Aşınma Direnci Wr ($N.m/mm^3$)
B_4C	0,05	100	5654,86	2,501	$3,54 \times 10^{-8}$	$28,3 \times 10^{6}$
Al_2O_3	0,1	100	5654,86	3,291	$5,37 \times 10^{-8}$	$18,6 \times 10^{6}$
AlSI H13	96,7	100	5654,86	7,75	$2206,5 \times 10^{-8}$	$0,045 \times 10^{6}$

3. ZIRH ÇELİKLERİ VE BALİSTİK ÖZELLİKLERİ

Günümüze kadar insanlar, dış etkenlerin oluşturduğu tehditlere karşı koruma ihtiyacı duymuştur. Silahlanmanın artması da silah tehdidine karşı güvende kalma ihtiyacını beraberinde getirmiştir. Tüm medeniyetler savaşlar boyunca meydanlarda kendilerini korumak istemişlerdir ve 15. yüzyılda yapılan savaşlarda kılıç, miğfer kullanan insanlar yine bu dönemde zırh adını verdikleri vücudu saran çelik elbiselerle dış tehlikelere karşı korunmuştur. Zırh çelikleri vücut zırhlarından ziyade savaş alanlarında toplu imha imkânı sağlayan tank, panzer, uçak ve gemi gibi savaş araçlarının zırhlanmasında kullanılmaktadır. 18. yüzyılın sonlarına doğru, parça tesirli top mermilerinin üretilmesiyle birlikte askerleri güçler için göğüs plakası yeniden önem kazanmıştır. Modern dönemde ise, II. Dünya Savaşı zamanında şarapnel parçaları için yelekleri içine dikilen çelik plaka kullanımı vardır. Bunun yerini 1950'den sonra kullanılan lifli belli bir örme açıları ile oluşan polimer gibi daha modern malzemeler kullanılmıştır. Zırh çelikleri başlıca kullanım alanları içerisinde askeri savunma araçları önde yer almaktadır. 1930 ile 1970'li yıllara kadar zırh çeliklerinin temelini dökme demir oluşturuyordu. Gelişen teknoloji ile silahların mukavemeti yüksek, hızlı ve yivli parçacıklar, füze ve mermileri unsurlarına karşı zırh çelikleri teknolojileri yenilenmekte ve gelişmektedir. 1975'li yılların sonuna doğru özellikle taktiksel ve teknik özelliklere sahip kara araçlarında yoğun bir şekilde zırh çeliği, kaynaklı imalat yöntemi ile kullanılmaktadır. Bu araçlarda kullanılan zırh çeliklerinden beklenen başlıca özellikler şöyle sıralanabilir:

- Balistik darbelere karşı yüksek dayanım
- Kaynaklı imalat birleştirmelerinde minimum mikro yapı ve dayanım farklılığı
- İmalat (kesme, kaynak yapma, şekillendirme vb.) işlemlerinde kolaylık
- İyi bir uzun kullanım ömrü (örn. yüksek yorulma direnci)
- İstenilen koruma seviyesi

Zırh plakalarında olması beklenen en temel mekanik özellik, mukavemet ve kaynak edilebilirlik yeteneğidir. Zırh çeliklerinin düşük karbonlu ve karbon eşdeğerinin düşük olması darbe dayanımı açısından son derece önemlidir. Çelik içindeki alaşım elementleri, genelde de karbon, kaynak edilebilirliği olumsuz ölçüde etkiler. Karbon oranı arttıkça kaynak bölgesinde çatlak ve gevrek kırılma riski artar. Oluşan çatlaklar, kaynaklı yapının

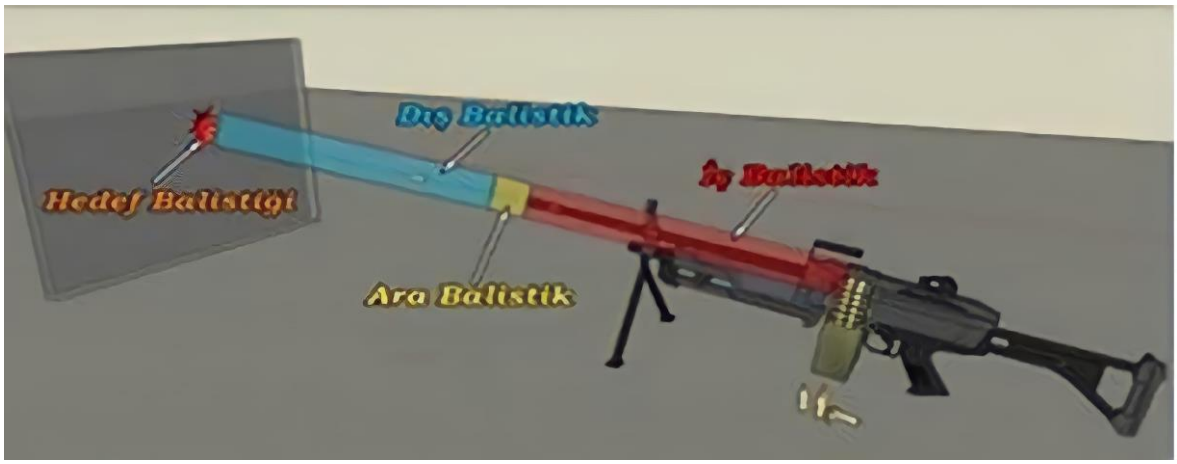
performansını olumsuz yönde etkilediğinden kaynaklı imalat öncesi veya sonrası bazı uygulamalarla bunların giderilmesi gerekir. Zırh çeliklerin düşük karbonlu olması iyi kaynaklanabilirlik açısından önemli rol oynar. Bu yüzden zırh çeliklerinin düşük karbonlu yapıya sahip olması tokluk ve kaynak edilebilirlik açısından son derece önemlidir. Her iki özellik de zırh çeliklerinin kullanım alanlarındaki performansında belirleyici bir role sahiptir. Yani zırh çelikleri yüksek mukavemette ve darbeye karşı enerji absorbe edebilmelidir. Genellikle zırh ürünü olarak kullanılan çelikler haddelenmiş homojen zırh, haddeleme, ısıtılıp su vererek sertleştirme, tekrar ısıtılarak menevişleme işlemlerinin sırayla uygulanması sonucu tok, sünek ve homojen bir yapı elde edilmesi sağlanmıştır. Zırh çeliği bakımından su verme ve menevişleme işlemlerini düşük zırh plakaları için gerek duyulan bir diğer özellik olan tokluk yani dayanıklılık, kuvvetin ve sünekliğin bir kombinasyonudur. Tokluk enerjinin absorbe kabiliyeti olarak da bilinir. Sertleştirme işleminde zırh çeliklerinde 900-950 ^{0}C civarında yapılan östenitleştirme sonucu yapıya gerekli karbon ve karbür oluşturucu alaşım elementleriyle doyumu sağlanarak su verilir. Meydana gelen lata tipi martenzit ortalama 600 ^{0}C'de temperlenir.

3.1. Balistik Çeşitleri ve Özellikleri

Atış bilimi olarak bildiğimiz balistiğin temeli eski imparatorluklara kadar dayanmaktadır, büyük gülleleri hedefe fırlatmak için kullanılan mancınığa Latincede 'Balista' denilmekteydi. 'Balistique' Fransızca temele sahip bu kelimenin anlamı, boşluğa veya havaya fırlatılan bir cismin (mermi, füze, şarapnel vb.) hareket veren güç kaynağının (silah, top vb.) enerjiyi topladığı yoldaki, çıktığı andaki, hedefe ulaştığı yolu ve hedefe noktasal veya yüksek enerji yükleyen bunların etkisini inceleyen bilim dalıdır. Balistik biliminin incelediği kuvvet etki alanlarının çok geniş olması ve tamamen farklı kuvvetlerin etkilerinden ötürü dört alt bilim dalına ayrılmıştır;

- İç balistik
- Ara balistik
- Dış balistik
- Hedef balistiği

Resim 3.1. ‘de görüldüğü gibi dört alt balistik biliminin görsel halinde verilmiştir.



Resim 3.1. Balistik çeşitleri ve bölgeleri [11]

Resim 3.1.’de görülen farklı renklerde dört farklı alt balistik özellikten kırmızı renkte olan alan iç balistiğin yaşandığı yerdir. Ara balistik merminin tam olarak namludan ayrıldığı ve namlu içindeki barutun basıncından dolayı en hızlandığı bölgedir. Dış balistik ise mavi bölge merminin aldığı yoldur, dış etkenleri incelemektedir. Hedef balistik çarpma anı ve oluşturduğu hasarı incelemektedir.

3.1.1. İç balistik

İç balistik genel anlamıyla “ilk patlama anında barutla oluşan yanmanın başlamasından, mermi namludan ayrılana kadar geçen vakit içinde meydana gelen olayları inceleyen bilim dalı” olarak adlandırılır. Ateşlenen barut bir anda ateş alıp yanma gerçekleşmez, kademeli olarak artan bir gaz hacmi oluşturur. Oluşan bu gaz bulutu içeride sıkışarak basıncın yükselmesine sebep olup merminin ileri doğru itilme görevini görür. Fakat oluşan gaz basıncının etki alanını artması ile aynı oranda basınç da düşer. Bu durumdan dolayı basıncın stabil ve dengeli tutulması amacıyla yavaş yanan barutlar ve uzun namlu yolu kullanılır. Bu uzun namlu yolları gazın yarattığı etkiyi artırır ve namlular üzerinde fazla baskı oluşturmaksızın yüksek hızların elde edilmesini sağlar. İç balistik bilimi aşağıda ifade edilen konular üzerine çalışmalar yürütmektedir [10,11].

- Namlu Ağzı Girdapları ve Patlama Basıncı
- Namlu Ağzı Alevi

- Namlu Ağzı Dumanı
- Namlu Ağzı Sesi

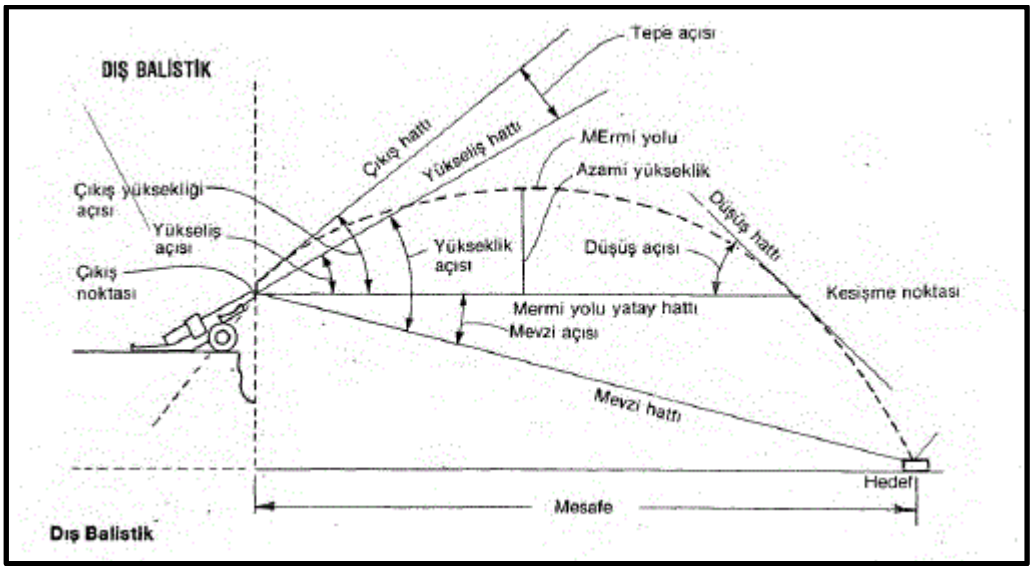
3.1.2. Ara balistik

Namluda yol alan mermi, top, füze gibi çekirdeğin namludan ayrılır ayrılmaz ve hemen ayrıldıktan sonraki namlu iç basıncı ile çıktığında basınç farkının etkisini inceleyen bilim dalıdır. Namlu çıkışında meydana gelen olayları inceler [10,11].

3.1.3. Dış balistik

Dış balistik namluyu terk eden (mermi, füze, gülle, top vb.) çekirdeğin hız, yer çekimi, hava direnci gibi namlu ile hedef arasındaki hareketlerini inceleyen bilim dalıdır. Çekirdek namludan çıktıktan sonra hava etkisi, moment sisteminin, meteorolojik değişkenlerin ve iklimlendirme farklarını inceleyen bilim dalıdır. Mermi veya füzeye tesir eden direnç, yerçekimi ve hava tarafından tesir eden havanın oluşturduğu kuvvetlerin bilinmesi hâlinde, gideceği hedefe çarpma hesabı önemli bir zorluk arz etmez. Ancak, hava direnç kuvvetlerin bilinmesi oldukça zordur. Bir mermi, hava direncini yenmek ve stabil uçuş yapmak için uçuş süresi boyunca hedef bölgesine doğru ilk çıkış hareketiyle gitmek istemektedir. Eğer mermi pozisyonunu değiştirirse, hatta takla atarsa, bu uçuşun plânlandığı gibi gitmediğine ve menziline düşmemesine sebep olur. Uçuş stabilizasyonunu sağlamak için iki metot vardır. Bunlar, kanatçık stabilizasyonu ve spin, dönme stabilizasyonudur. Kanatçık stabilizasyonunda, mermi üzerine monte edilmiş kanatçıklar merminin kendi ekseninde dönmeden gitmesini sağlarlar. Bu durum kanatçıklar üzerinde ortaya çıkan aerodinamik kuvvetler yardımıyla temin edilir. Spin stabilizasyonu bir merminin sâhip olduğu jiroskobik dönme hareketinin bir sonucu olarak daima ilk hedef doğrultusu boyunda hareketi devam eder. Bu dönme hareketinin direnci, doğru eksenden olacak sapmalara müsaade etmez [10,11].

Şekil 3.1. ‘de dış balistiğin merminin alacağı yol ve mesafe gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Dış balistik mermi yolu ve mesafe görseli

3.1.4. Hedef balistik

Namluyu terk eden (mermi, füze, gülle, top vb.) çekirdeğin vardığı hedefin üstünde meydana getirdiği etki, deformasyon ve merminin hedefe çarptığı anda kendisinde oluşan deformasyonu inceleyen bilim dalıdır. Çekirdek ve mermi parçacıklarının hedefe temas ettiği yani hedefe noktasal kuvvet uyguladığı koşulları, vuruş (temas) anındaki hızı, vuruş açısı, hedef, çekirdek ve parçacığın değişkenliğine göre farklılıklar gösterir. Hedef üzerindeki çekirdek veya parçacıklar tarafından oluşturulan etki ve tahribatın incelendiği balistik türüne denir. Araştırmada kullanılan Protac 500, Protac 600 ve Mars 300 ismiyle bilinen yüksek mukavemete (HHA) sahip olan zırh çelikleri kalınlık, alaşımlama ve üretim sonrası yapılan ışıl işlemler ile belli bir balistik (koruma) seviyelerine ulaşmıştır. EN 1063 standardında yer alan koruma seviyelerine göre deneylerde kullanılan Protac 500, 6,5 mm kalınlıkta olup BR6 seviyesinde yani yumuşak uçlu mermiye karşı koruma sağlarken, Protac 600, 9,5 mm ve Mars 300, 10,5 mm kalınlıklara sahip zırh çelikleri BR7 seviyesinde zırh delici (çelik çekirdekli mermi) mermiye karşı koruma sağlamaktadır.



Şekil 3.2. EN 1063 standardına göre mermi kalibresi ve uçları

Şekil 3.2. ‘de mermi uçlarının farkı ile oluşan balistik fark bilinmektedir. BR6 7,62x51mm mermi çekirdeği yumuşak başlıklıdır, fakat BR7 7,62x51mm olan siyah uçlu merminin çekirdeği sert başlıklı ve zırh delici denilmektedir.

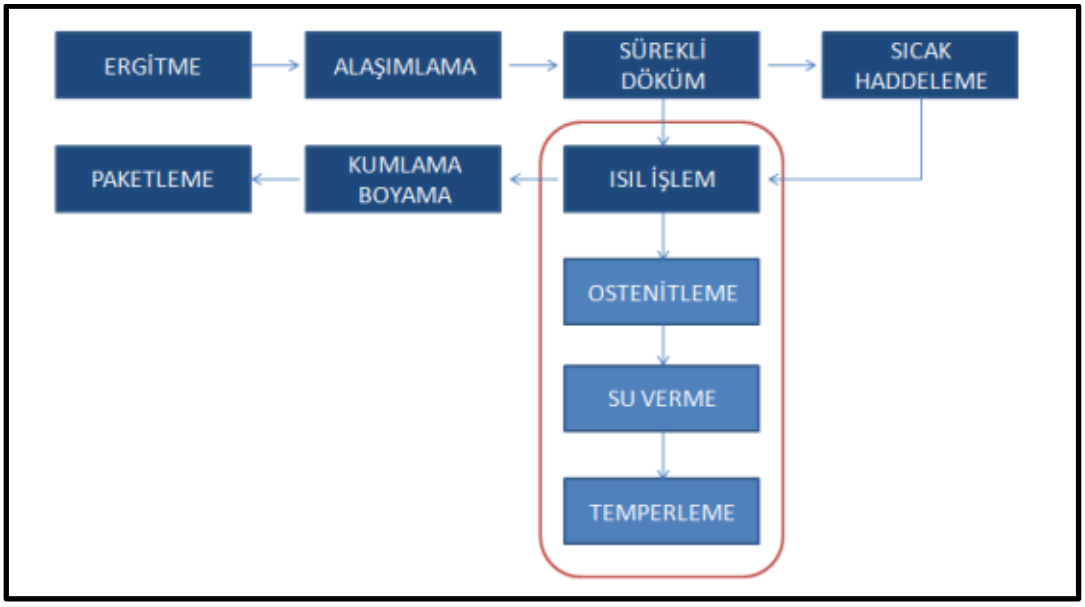
Şekil 3.3. ‘de balistik seviyeler buna bağlı olarak silah ve mühimmat çeşitleri tabloda gösterilmiştir.

Seviye	Silah Tipi	Kalibre	Mühimmat	Ağırlık	Hız	Mesafe	Atış
BR1		.22 LR	LRN	2.6g 40gr	350-370/ms 1148-1214 ft/s	10	3
BR2		9mmx19	FSJ/RN/SC	8g 124gr	390-410 m/s 1280-1345 ft/s	5	3
BR3		.357 Magnum	FSJ/CB/SC	10.2g 158gr	420-440 m/s 1378-1444 ft/s	5	3
BR4		.44 Magnum	FMJ/SWC/SC	15.6g 240gr	430-450 m/s 1411-1476 ft/s	5	3
BR5		5.56x45 NATO	FMJ/STC M855/SS109	4g 62gr	940-960 m/s 3084-3150 ft/s	10	3
BR6		7.62x51 NATO	FSJ/SC M80	9.5g 142gr	820-840 m/s 2690-2756 ft/s	10	3
BR7		7.62x51 AP	FMJ/STC M61 AP	9.8g 150gr	810-830 m/s 2657-2723 ft/s	10	3

Şekil 3. 3. EN 1063 standardına göre mühimmat bilgileri

3.2. Zırh Çeliklerinin Metalürjisi

Zırh çelikleri homojen olarak dağılmış mikro yapıya ve düşük karbonlu alaşıma sistemine sahiptir. İmalat esnasında mukavemet arttırma (östenitleştirme, su verme) ile temperleme aşamalarından geçerler. Yüksek temperleme ile çökelti sertleşen mikro yapı oluşmaktadır. Haddeleme ile üretilecek plaka kesitinde sertleştirme ve temperleme sonrasında yüksek mukavemet ve tokluk elde edilmesi amaçlanır. Haddelenmiş homojen (RHA) ve yüksek mukavemetli (HHA) zırh çelikleri olarak başlıca iki grupta değerlendirilir, bu çeliklerin kalınlıkları boyunca aynı sertliğe sahip olması beklenmektedir. Şekil 3.4. 'de zırh çelikleri üretim prosesi gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Zırh çeliği üretim genel prosesleri [8]

Şekil 3.4. 'de zırh çelikleri üretim prosesi gösterildiği gibi sıcak haddeleme işleminden sonra yeterli sertliği elde etmek için yapılan ısıl işlem çeşitleri gösterilmiştir.

Farklı karakterli mermilerin (kinetik penetratörler, yüksek derecede patlayıcı ve parçalayıcı savaş başlıkları vb.) çoklu darbesine karşı çatlamaya, parçacıkların kopmasına, kırılmaya karşı koruma sağlamaya yönelik amaçlar hedeflenmiştir. Zırh çeliklerinde balistik darbelere karşı yüksek direnç, imalat işlemlerinde kolaylık (kesme, kaynak yapılabilirlik, şekillendirme vb.) ve iyi bir bakım çerçevesinde uzun kullanım ömrü (yüksek yorulma direnci) gibi temel özelliklere sahiptir.

3.2.1. Zırh çeliklerinin kimyasal kompozisyonu

Zırh çeliklerinin dışı sert, iç yapısı ise yumuşaktır. Bu şekilde üretilmesinin köklü nedeni, ilk darbeyi alacak yüzey yani sert olan yüzey darbenin direncini düşürür. İkinci yüzey yani yumuşak olan ise enerjiyi absorbe eder ve böylelikle oluşabilecek hasar minimuma indirilir.

- Zırh çelikleri, düşük karbonlu alaşım çeliklerdir. (genelde %0,30 değerinden az)
- Genel itibariyle Cr, Ni, Mo ve Mn elementleri kullanılır.
- Düşük karbon oranı: imalat kolaylığı, kolay kaynaklanabilirlik ve darbe dayanımı gibi özellikler sunar.
- Bir malzemede karbon oranı, o malzemeden istenilen sertliğe göre değişkenlik gösterir. Zırh çeliklerinde, düşük oranlarda kullanılan karbonun temel amacı ise iki farklı malzemede var olan özelliklerin, tek bir malzemeden istenilmesidir.
- Mukavemet ve sertlik değerlerinin yüksek olması gerekir
- Kullanılacak malzemenin/çeliğin tokluk bakımından yüksek bir değere sahip olması gerekir.

Tokluk, malzemenin plastik deformasyon olmadan absorbe ettiği toplam enerjiyi ifade eder. Çok sert bir malzemenin kırılganlığı yüksek olur. Az sertlik gösteren malzemenin de dayanımı düşük olur. Bu sebeplerden dolayı savunma sanayinde, genel olarak bir malzemeden beklenti şu şekildedir. Hem mukavemeti yüksek, sert bir malzeme olsun hem de tokluk değeri yüksek yani çok fazla enerjiyi emebilir olsun. Bu özelliklerin malzemeye kazandırılması ise birkaç ısıl işlemden geçmesiyle elde edilir.

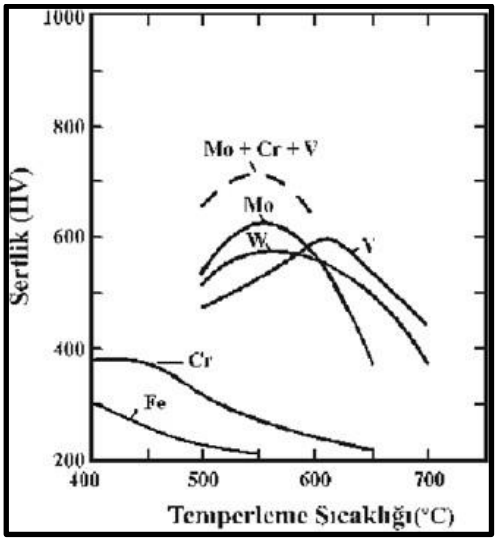
Çizelge 3.1.'de zırh çelikleri kimyasal kompozisyonu gösterilmiştir. Kimyasal kompozisyonlarında aynı kimyasal elementler kullanılmış fakat farklı miktarda kimyasal oranlarda olması aralarındaki mekanik mukavemet farkına sebebiyet vermektedir.

Çizelge 3.1. Zırh çeliklerinin kimyasal kompozisyonlar [12,13]

Kimyasal Bileşim (%)	Protac 500	Protac 600	Mars 300
Karbon	0.30	0.30	0.55
Mangan	1.2	0.45	0.40
Silisyum	1.0	0.9	0.8
Fosfor	0.02	0.005	0.02
Kükürt	0.003	0.0001	0.01
Krom	0.8	0.65	0.14

3.2.2. Zırh çeliklerine uygulanan ısıl işlem ve oluşan mikro yapılar

Zırh çelikleri sahip olması gereken kimyasal bileşimleri esas alınarak ingotlar halinde dökülüp, haddelenip belli standart et kalınlığına sahip plakalar haline getirildikten sonra uygulanan ısıl işlemlerle mekanik özelliklere ulaşılır. Zırh çelikleri martenzitik mikro yapıya sahip oldukları için istenilen mukavemet, sertlik ve tokluk gibi kullanım özelliklerini östenitleme ve su verme sonrası yapılan temperleme ile elde edilir. Alaşım elementleri ile üretilen zırh çeliklerinde bulunan karbon, mangan ve silisyum zırh çeliğinin mukavemet elde edilirken krom, molibden gibi iyi karbür oluşturucu elementler sayesinde sertlik önemli derecede ilave edilir. Tokluk özelliklerini arttırmak için nikel, kobalt gibi alaşım malzemeleri ilave edilir. Saf karbonlu çeliklerde temperleme işlemi ve su verme sonrası martenzit yapı içinde bulunan C, Fe ile birleşerek sementit (Fe_3C) çökelmesi ve çökelme süresi boyunca martenzitin ferrite dönüşmesiyle mukavemet kaybı olur. Zırh çeliği alaşımları içinde bulunan karbür yapıcı elementler C ile çok daha yüksek temperleme sıcaklıklarında farklı karbür (MC, M_2C, M_7C_3, vb.) çökeltileri oluştururlar. Bunun sonucunda artan sertliğe ’ikincil sertlik’ denir. Bu karakteristik sertlik artışı karmaşık bir çökelti sertleşmesi mekanizmasıyla oluşur. Şekil 3.2‘de değişik karbür yapıcı elementlerin oluşturduğu karbürlerin temperleme karakteristikleri verilmiştir. Mo, V ve Cr ile alaşımlandırılmış çeliklerde yüksek temperleme sıcaklıklarında oluşan karbürler başlangıç sertliğini daha da arttırabilmektedir.



Şekil 3.5. Karbür yapıcı elementlerin temperleme karakteristikleri [1]

Şekil 3.5. ‘de karbür yapıcı elementlerin temperleme sıcaklığındaki karekteristik özelliğini göstermektedir. İkincil sertlik sürecinde östenit C ve diğer alaşım elementleriyle en yüksek seviyesine bağlıdır. Martenzitik matris tipide ergiyen karbon ve diğer alaşım elementlerinin oranı ile belirlenir. Mukavemet işleminde zırh çelikleri 900-950 ^{0}C sıcaklıklarda yapılan östenitleşme yeterli karbon ve karbür oluşturucu alaşım elementleriyle en yüksek seviye sağlanarak su verilir. Bu işlem sonucu lata tipi martenzit yapı oluşur ve 600 ^{0}C’de temperlenir. Su verme sonrası %0.2, 0.3 karbon içerir [14].

Zırh çeliğin darbe direncini ve balistik davranışını belirleyen temperleme mekanizmasının açıklanabilmesi için çökelen ve çok ince olan ikincil sertlik çökeltilerinin tipi, boyutu, şekli, miktarı ve dağılımının bilinmesi gerekir. İkincil sertliğe ve çok yüksek sıcaklıklarda yumuşamaya neden olan kimyasal reaksiyonların anlaşılması için çökelti karakteristiği, matrisi ve çökelti kompozisyonları 550-650 ºC’lik sıcaklık aralığında olduğu bilinmelidir. Çökelti boyutu, şekli ve dağılımının belirlenmesi geçirimli elektron mikroskopisi ile gerçekleştirilir. Karbürlerin kabalaşmasıyla karbür bileşimleri enerji dağılım spektrometresi ataçmanlı taramalı geçirimli elektron mikroskobu ile belirlenebilir. Ancak ikincil sertlik, yani maksimum sertlik konumunda bu teçhizat yeterli değildir. Bu nedenle ilgili kompozisyonel saptamalar günümüzde kullanılan mikro analiz yöntemleri içerisinde ayırma gücü en yüksek olan atom prob alan iyon mikroskobu ile gerçekleştirilir. Tane boyutu ve lata boyutunun da performansa etkisi olduğu sonucuna varılmıştır. Azalan tane boyutu ve lata boyutlarında performans yüksektir. Temperleme sıcaklığı arttıkça sertlik,

çekme dayanımı ve akma dayanımında azalma gözlenirken uzama özelliğinde artış meydana geldiği literatür çalışmalarınca bilinmektedir. Sertleştirme işleminden sonra istenilen mikro yapı ve mukavemete ulaşan zırh çelikleri uygulanan laboratuvar deneyleri ile istenilen mekanik özellikleri karşıladığına bakılır [14,17].

Çizelge 3.2. ‘de zırh çeliklerinin sertlik değerleri verilmiş olup aralarındaki mekanik mukavemet farkı gözlenmektedir.

Çizelge 3.2. Zırh çeliklerinde sertlik

Mekanik Dayanım	Protac 500	Protac 600	Mars 300
Sertlik (HB)/ (HRC)	480-530/ 49.8-53	570-650/ 55.2-60	605-630/ 58.6-60.2

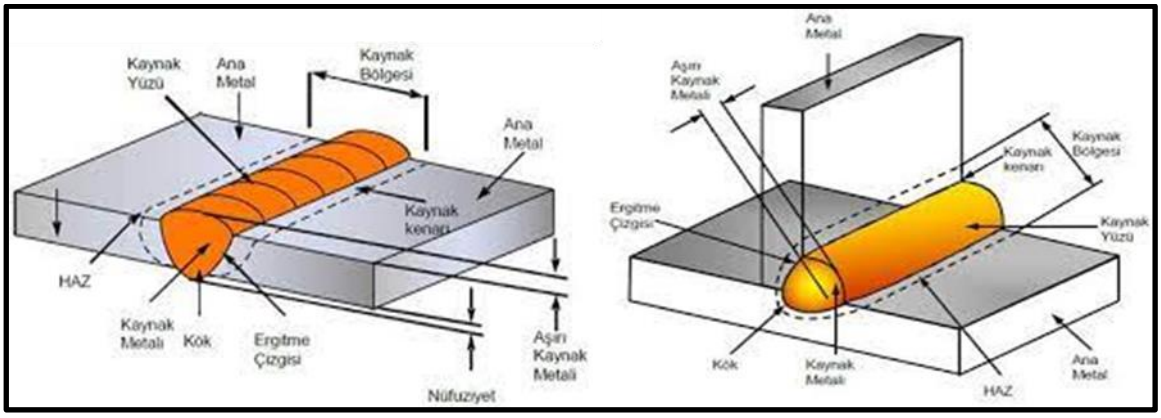
4. KAYNAK YÖNTEMLERİ VE ZIRH ÇELİKLERİNİN KAYNAK KABİLİYETLERİ

4.1. Kaynak ve Yöntemleri

Kaynak, iki aynı veya farklı türdeki malzemelerin farklı imalat yöntemleri ile birleştirme yöntemdir. Malzemelerin ısı enerjisi veya atomlar arası iyonlaşma etkisi ile sürekli ve homojen bir yapıda olacak şekilde birleştirilmesi işlemidir. Dolgu malzemesi ile ana malzemenin ergime sıcaklığı, ana malzeme ile eş değer seviyede olan bir dolgu malzemesi ilave edilebilir. Kaynak, farklı kaynak yöntemleri ile farklı malzemelerin değişken erime sıcaklıkları, mukavemet alanlarını bozmadan yapılan ve üretim tekniği kullanılarak yapılan birleştirme yöntemleri kaynak çeşitlerini ortaya çıkarmıştır. Kaynak yapılacak malzemelere ana malzeme denilir. Birleşmeyi oluşturmak için eklenen malzemeler ise dolgu, sarf veya ara malzeme olarak adlandırılır. Kaynakta kullanılacak dolgu malzemeleri ana malzemenin mikroyapısına, mukavemetine, hangi çelik türüne ait olduğu ve aynı özellikte olması dikkate alınarak seçilir. Böylece kaynak sonrasında homojen bir yapı sağlanmış olur [18].

Kaynak işlemleri her zaman her alanda her şartlara uygun şekilde imalat yapmayı sağlar fakat dış etkenlerden korunması gereken bir birleştirme yöntemidir. Bununla birlikte, kullanım yerleri çeşitli üretim tekniklerinin ve yöntemlerinin gelişmesine sebep olmuştur. Kaynak işlemleri hangi yöntem, üretim şekli uygulanmada, imalatta kendini geliştirmiş, eğitim almış kişilerle ve koruyucu elbiseler kullanılarak gerçekleştirilmelidir. Kaynak sırasında ortaya çıkan yüksek ısı, elektrik gibi risklerin yanı sıra ultraviyole ışınlar ve çeşitli zehirli dumanların açığa çıkması da söz konusudur [18].

Kolay gözüken bir kaynak işlemi yanlış malzeme seçimi, yanlış dolgu malzemesi seçimi, yanlış yöntem ve yanlış parametreler ile çok başarısız şekilde sonuçlanabilir. Bundan ötürü ilk olarak malzeme bilgisi bilinmeli malzemenin kimyasal kompozisyonu ve istenilen mukavemet değerlerine uygun dolgu malzemesi seçilmelidir. Dolgu malzemesinin belirlenmesi tek başına yeterli değildir. Doğru yöntem ve parametrelere göre kaynaklı birleştirme gerçekleştirilmelidir. Yanlış yöntem ve teknik kullanmak çeşitli sağlıklı sonuçlar vermeyip, hatalı kaynaklı imalat ortaya çıkmasına neden olabilir. Doğru malzemelerin en doğru yöntem ve teknikle birleştirilmesi gerektiği bilinmelidir.



Şekil 4.1. Alın ve köşe kaynakları kaynak bölgesi görseli

4.2. Kaynak Yöntemleri ve Çeşitleri

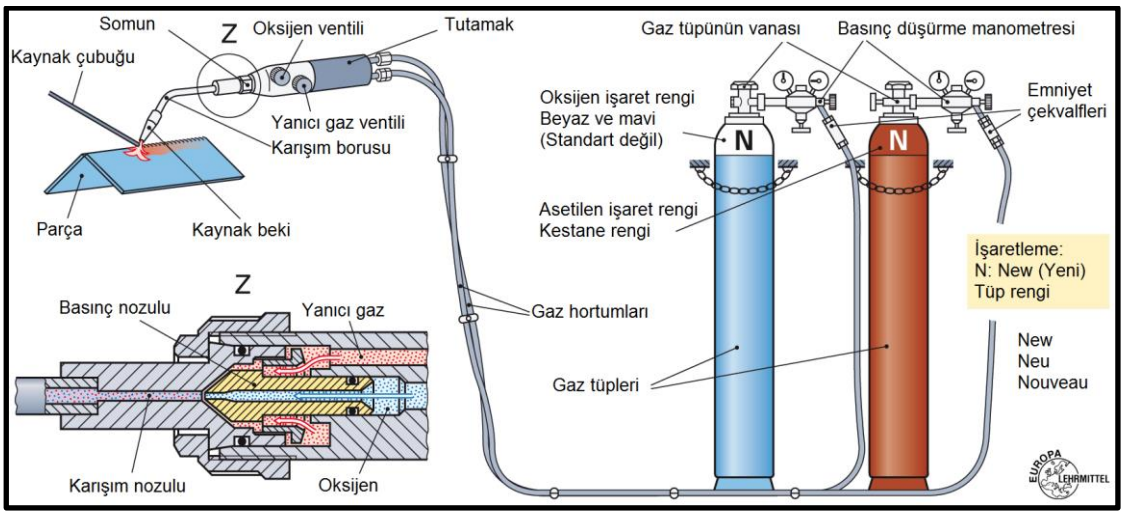
Tarihten bugüne kaynak teknikleri artmakta ve gelişmektedir, bu nedenle birçok birleştirme yöntemleri vardır. Gelişmekte olan bu yöntemlere yenileri de eklenmektedir. Yöntemlerin en temel amacı doğru malzeme ile doğru dolgu malzemesini belirleyip en uygun yöntem ve teknik ile hem zaman tasarrufu hem ekonomik hem de uzun ömürlü olmasıdır. Doğru bir kaynaklı birleştirmeler için yöntem önemli bir rol oynamaktadır.

Çizelge 4.1. Kaynak yöntemlerinin sınıflandırılması [18]

Enerji taşıyıcısı cinsine göre	Ana malzemenin cinsine göre	Kaynak işlemi amacına göre	Kaynak işlemi işleyişine göre	İmalat türüne göre
-Gaz -Elektrik akımı -Ark -Işın -Sıvı -Hareket	-Metaller -Plastikler -Kompozit malzemeler	-Birleştirme kaynağı -Kaplama kaynağı	-Eritme kaynağı -Basınç kaynağı	-Elle kaynak -Yarı mekanik kaynak -Tam mekanik kaynak -Otomatik kaynak

4.2.1. Asetilen-oksijen aleviyle gaz kaynağı

Asetilen ve oksijen, çelik tüplerden alınarak basınç düşürücü ve alev engelleyici üzerinden hortumlar vasıtasıyla kaynak üflecine iletilir. Asetilen ve oksijen kaynağında kaynak için gerekli ısı, asetilenin yanması ve oksijenin yanıcılığı ile ısıyı arttırması ile olur. Yanıcı gaz olaraktan günümüzde en çok asetilen kullanıldığı için yöntemin adı olarak asetilen-oksijen kaynağı kullanılmaktadır. Diğer yanıcı gazlar: propan, metan, doğalgaz ve hidrojendir.



Şekil 4.2. Asetilen ve oksijen gaz kaynağı makine görseli

Alaşımsız çelikler, ince saçlar (1-2 mm), maksimum 5 mm kalınlığına veya maksimum 150 mm çapa sahip borular, nadiren alüminyum malzeme birleştirme metodunda kullanılır.

Asetilen ve Oksijen Avantajları;

- Alev sıcaklığının ayarlanabilir olması
- İmalat sürecinin izlenebilirliğinin kolay olması
- Kaynak banyosunun alev tarafından havadaki gazlara perdelenerek korunması
- Aralık kapatabilme kabiliyetinin iyi olması
- Gerekli enerjinin çok kolay sunulabilmesi
- Yatırım maliyetinin düşük olması
- Ulaşması zor olan pozisyonlarda kaynak yerine ulaşılabilirliğinin iyi olması

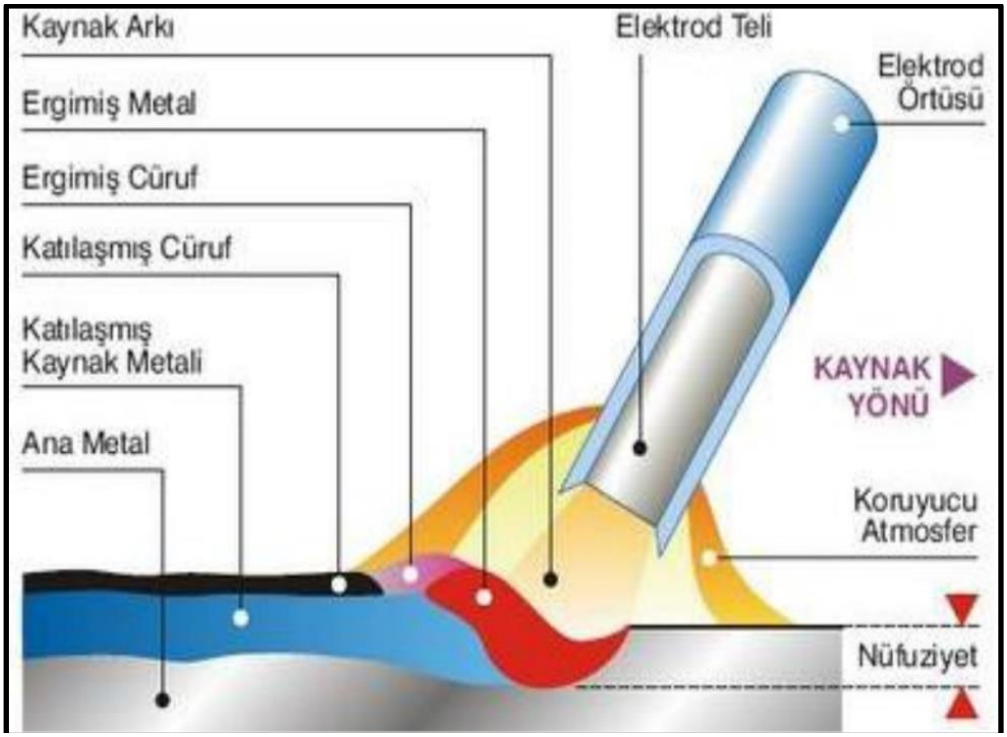
Asetilen ve Oksijen Dezavantajları;

- Ergitme gücü düşük
- Isı tesiri altında kalan bölge geniş
- İnce yapı elemanlarında aşırı çarpılma

Asetilen ve oksijen gaz kaynağı gerekli durumlarda oksijenin yanıcı gaz olma özelliğinden faydalanarak yüksek oksijen ayarı ile kesim işlemlerinde kullanılabilmektedir.

4.2.2. Elle ark kaynağı

Elektrotlar yardımı ile devrenin tamamlanması sağlanıp elektrik enerjisinin ısı enerjisine dönüştürülmesi ile metal parçalarının ergitilerek birleştirilmesine elektrik ark kaynağı denir. Elektrik ark kaynağında 3 mm ve daha fazla et kalınlığı olan parçaların kaynağı yapılabilmektedir. Günümüzde elektrik ark kaynağı; otomobil imalatında, makine, gemi, konstrüksiyon vb. imalat ve onarım alanlarında kullanılmaktadır [19-21].



Şekil 4.3. Elle ark kaynağı kaynak gösterimi

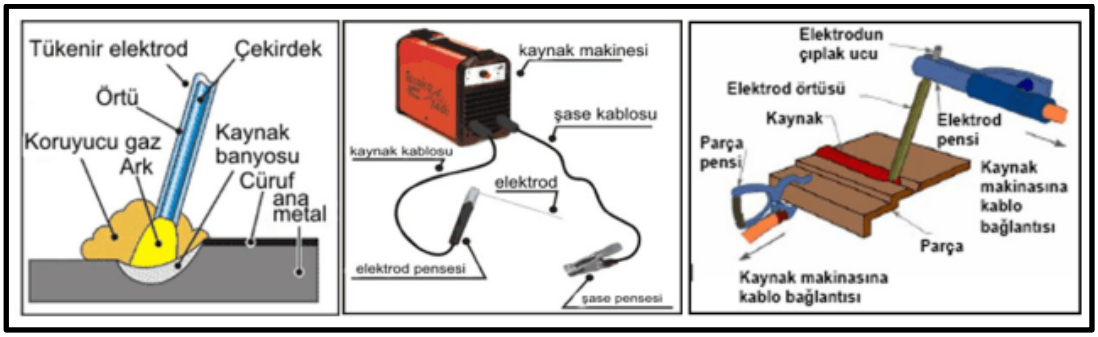
Avantajları;

- Elektrik ark kaynağı en kötü hava ve ortam şartlarında yapılabilmektedir.
- Diğer kaynak yöntemleri ile ulaşılamayan zor ve sınırlı alanlarda kaynak yapmak mümkündür.
- Ulaşılması zor ve bölgesel olarak uzak bağlantılarda kaynak yapılabilir.
- Kaynak donanımları hafif ve taşınabilir.
- Çoğu malzemelerin kimyasal ve mekanik özelliklerini karşılayacak elektrot türü bulunduğundan kaynaklı birleştirmeler de ana malzemenin sahip olduğu özelliklere sahip olabilir.

Dezavantajları

- Bu kaynak yönteminde metal yığma hızı ve verimliliği, diğer ark kaynaklı imalat yöntemlerine göre düşüktür.
- Elektrotlar standart boylarda çubuklar şeklinde üretildiğinden her elektrot bittiğinde kaynaklı imalat durmaktadır.
- Her kaynak pasosu sonrasında kaynak metali üzerinde oluşan cürufu temizlemek gerekir.

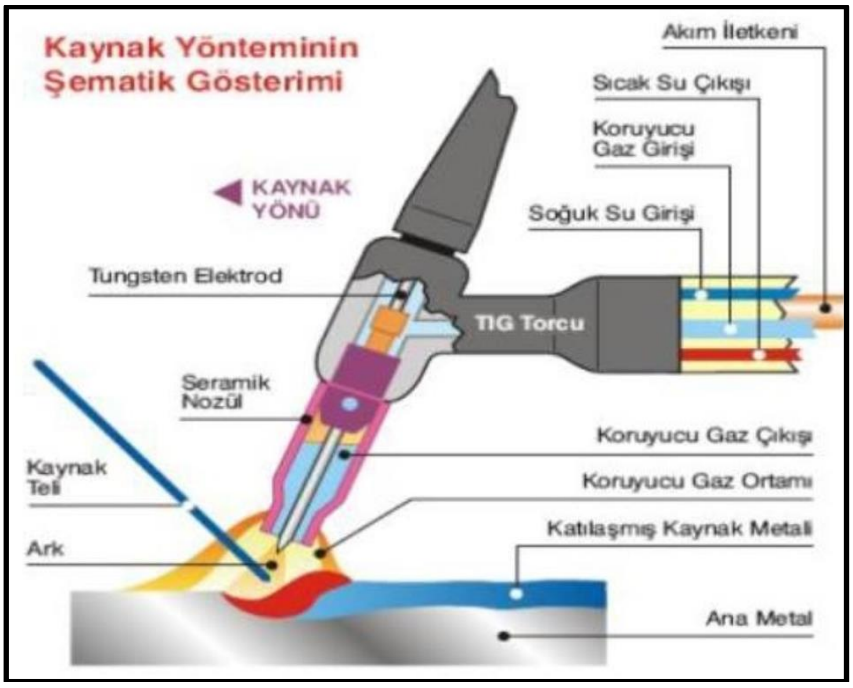
Kaynağın etkisi ile malzemede meydana fiziksel ve kimyasal değişmeler, elektrotların örtülerinin yanma ısısının fazla olmasından dolayı malzemede kimyasal ve fiziksel değişmeler meydana getirmektedir. Elektrik ark kaynağında meydana gelen yaklaşık 4500 ºC sıcaklık kaynak banyosundan iş parçasına yayılmaktadır. Yüksek sıcaklıklara ulaşan iş parçasında mikroyapı bozuklukları, çarpılma ve çatlaklar meydana gelmektedir. Elektrotların örtülü yapılmasının bir sebebi de oluşan cüruf ile kaynak bölgesinin yavaş soğumasını sağlamaktır. Özellikle kaynaktan sonra sıcak olan iş parçasının su ile soğutulmaması gerekmektedir [21].



Şekil 4.4. Örtülü elektrot ve kaynak makinesi

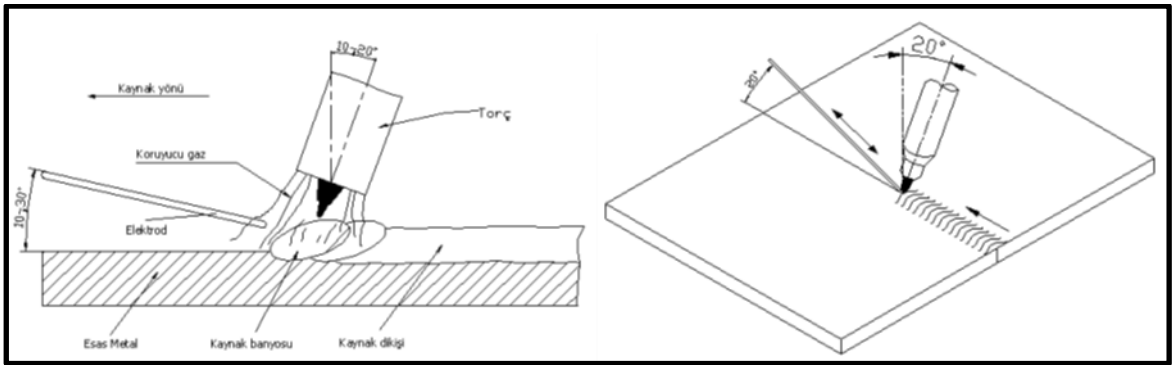
4.2.3. Tungsten-ınert gaz kaynağı

Kaynak yöntemine TIG denmesinin sebebi Tungsten Inert Gaz kelimesidir. Kaynak, bu kelimelerin baş harfleri ile anılır. TIG kaynak yönteminde yüksek sıcaklıklara dayanıklı tungsten elektrot ile kaynak yapılan parça arasında elektrik arkı oluşur. Kaynak banyosu, gönderilen argon, helyum veya karışım gazları tarafından korunur. TIG kaynak yönteminde kullanılan tungsten ile ana metal arasında oluşan ark ile ana metalde kaynak banyosu oluşur ve oluşan bu arka dışardan dolgu malzemesi araya sokularak ergiyip dolgu yapması ile birleştirme sağlanır. Gerekli görüldüğü hâllerde ana metal ile benzer yapıya sahip çubuk şeklinde ilave metalin kullanılması ile kaynak gerçekleştirilir [18].



Şekil 4.5. Tıg kaynak yöntemi torç ve kaynak görseli [1]

TIG kaynak makinelerinin yapısı, diğer örtülü elektrotla kaynak yapan makinelerden farklı değildir. Çoğu zaman doğru akımlı veya sinerjik bir kaynak makinesi, bu tür kaynakların yapılabilmesi için yeterlidir. Kaynak işlemi yapılacak metalin özelliğine göre makinenin + ve – kutuptalar da çalışmaya uygun olması yeterli sayılabilir. Kaynak arkının başlatılabilmesi için yüksek frekansa ihtiyaç duyulur. Bütün TIG kaynak makinelerinde yüksek frekans özelliği kullanılma gereği duyulur. TIG kaynak yönteminde torç, ana metal için gerekli olan elektrik akımının akım kablosu ile tungsten elektroda iletmek, koruyucu gazın kaynak banyosunun üzerini örtecek biçimde dengeli ve homojen şekilde kaynak banyosuna dağılması görevini yerine getirmek için geliştirilmiş bir elemandır. Torç ile kaynak makinesi ve gaz tüpü, soğutma suyu ile bağlantıları değişik kalınlıktaki kablolar ve hortumlar ile sağlanır. Torçta her çaptaki tungsten elektrot için tutucu kovanı bulunur. Torç ucuna koruyucu gaz nozülu takılır.



Şekil 4.6. Tıg torç yön ve dikiş şekli

- Tungsten elektrot ergimiş kaynak banyosu ile ergiyen dolgu metalinin ergimesi dış etkenlere karşı nozülden homojen şekilde eş zamanlı olarak gelen bir koruyucu gaz ile korunarak kaynatma işlemi gerçekleştirilir.
- Negatif iyonlaşmada en az ısınacak kutuptur; bu nedenle kaynak sırasında tungsten elektrotun akım yüklenebilirliği ve dayanıklılığı pozitif kutuplanmasına göre negatif kutuplanması hâlinde çok daha yüksektir. Alternatif akımda kullanım hâlinde tungsten elektrodun akım yüklenebilirliği, doğru akımda negatif kutuplanmadaki değere erişmez ancak pozitif kutuplanmaya göre biraz daha yüksektir.
- Ark altında bitiş noktasında katılaşan sıvı hâldeki kaynak banyosu, dikişin diğer kısımları gibi dolgu malzemesi ile yeterince dolmayabilir. Dikiş bitiminde kaynak banyosunda yeterince ergiyip kaynak banyosuna karışmayan dolgu malzemesinden dolayı çukur meydana gelir. Bunu yanında sıvı metalin soğuması sırasında hacminin

küçülmesi nedeniyle bitiş noktasında büzülme sonucunda bir derinlik meydana gelir. Krater derinliği fazlaysa çatlamalara da dikkat etmek gerekir. Kaynak bitiminde derinlik (krater boşluğu) doldurulmalıdır.

- Akım şiddeti, her şeyden önce nüfuziyet derinliğini etkiler. Ayarlanabilen akım şiddeti kaynak edilen parça kalınlığına uygun olmalıdır. Parça kalınlığının her mm'si için gerekli akım şiddeti aşağıdaki gibi hesaplanır.
- İnsan tarafından manuel yapılan kaynaklarda ark boyu el hassasiyetine göre ayarlanır; otomasyon kaynak hâlinde tungstenin ucu ile iş parçası arasındaki mesafe değiştirilerek ark gerilimi ayarlanır. Otomasyon TİG kaynağında çalışma açısı 0 derece olarak belirlenir. El ile yapılan kaynakta açı 15-25 derece civarındadır. Tel verme derecesi azaldıkça nüfuziyet azalır, derecenin artması ise kaynak dikişinin yüksekliğinin artmasına neden olur. Ark tutuşturulduktan sonra çapraz hareketlerle başlangıç noktası sıvı hâle getirilir. Sola kaynak tekniği kullanılarak kaynak işlemine devam edilir. Torç, kaynak yönüyle yaklaşık 20 derece açı yapmalıdır. İlerleme hızı el ile yapılan kaynakta ilerleme hızı, kaynakçı tarafından işin gereğine göre ayarlanır. Otomatik makinelerde ilerleme hızı önemlidir. Aşırı hız, kaynak dikişinin nüfuziyetini ve boyutlarının azalmasına, şeklinin bozulmasına, çok yavaş hız da kaynak dikişinin ebatlarının aşırı artmasına ve dikişin şişmesine neden olur.

TIG kaynağının avantajları

- Hızlı bir kaynak yöntemi olması
- Isıdan etkilenen bölgenin sınırlarının belli olması
- Isı distorsyonlarının azlığı
- Mekanik özelliklerin iyi korunması
- Temiz kaynak dikişlerinin elde edilmesi
- Kaynak işlemi bitiminde temizliğe ihtiyaç duyulmaması
- Kolay bir şekilde mekanize edilmesi

TIG kaynağının dezavantajları

- Tungsten elektrotun kaynak dikişine karışması
- Oksit kalıntıları
- Gözenek oluşumu

- Yetersiz erime
- Uç krater çatlaklarının oluşması

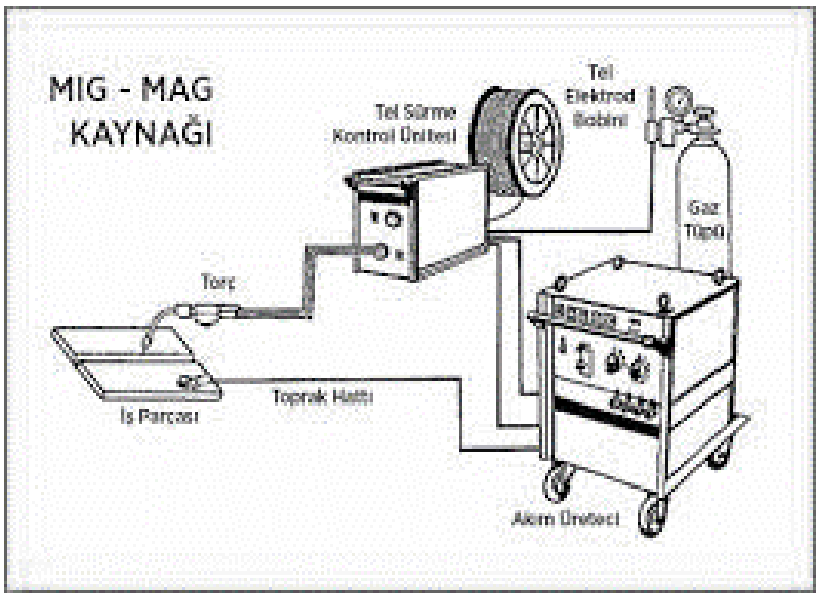
4.2.4. Metal koruyucu gaz kaynağı

Metal koruyucu gaz yani MIG-MAG kaynağı torç içinden gelen sonsuz dolgu malzemesi ve etrafını saran gaz ile yapılan kaynaktır. Dolgu telinde oluşan ark ile tutuşma başlayıp kaynak boyunca devam eden kaynak yöntemidir. Dolgu malzemesi, kaynak esnasında üzerinden akım geçerek ergiyen, otomatik olarak beslenen ark kaynağı yöntemlerinde ilave kaynak metali olarak kullanılan bir makaraya sarılı halde bulunan tellerdir. Ergiyen elektrot ile ark kaynağında en önemli problemlerden bir tanesi de tel elektrotun seçimidir.

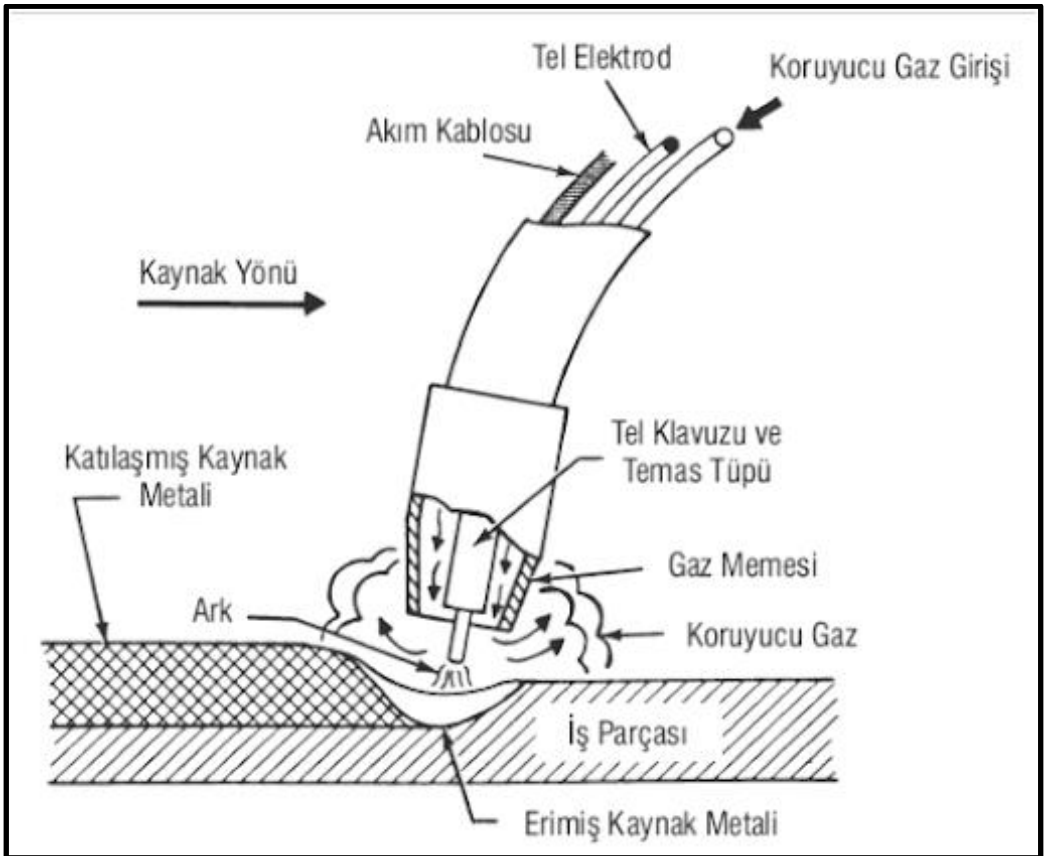
Bu kaynak yönteminde tel ve gaz kombinasyonu sonucunda ortaya çıkan kaynak metalinin bileşimi, gereken mekanik ve fiziksel özellikleri karşılamak zorundadır.

Kaynak donanımı dört temel gruptan oluşmuştur;

- Kaynak torcu ve kablo grubu
- Elektrot besleme ünitesi
- Güç ünitesi
- Koruyucu gaz ünitesi



Şekil 4.7. Metal koruyucu gaz kaynağı görseli



Şekil 4.8. Metal koruyucu gaz kaynağı torç ile kaynak metali arasındaki ilişki

Torç ve kablo grubu şu görevi yerine getirir,

- Torçun temel görevi dolgu metalini, koruyucu gazı ve soğutma sistemini eş zamanlı çalıştırması ve kaynak bölgesine ulaştırmasıdır.
- Dolgu metalini temas tüpüne iletir ve güç ünitesinden gelen akımı temas tüpüne iletir.
- Kaynak torçunun tetiğine basıldığı zaman, önceden ayarlanmış debide koruyucu gaz akımı başlar.
- Metal koruyucu gaz kaynağı genel olarak doğru akımda torç + , kaynak metali – kutuplanarak yapılır. Bu sayede daha çok iyonlaşma dolgu metalinde olup doldurma kabiliyeti yükselir. Tam tersi kutuplama ile daha derin nüfuziyet elde edilir.
- Yatay karakteristik: Bir güç kaynağının yatay karakteristiğe sahip olup olmadığına şu şekilde karar verilir; akım üretecinin karakteristiğinin eğimi her 100 amperde 1-5 volt arasında bir değişim gösteriyorsa bu makine yatay karakteristiğe sahiptir [19].
- Metal koruyucu gaz kaynağı akım üreteçlerinde içten ayar diye adlandırılan ark boyu ayarı vardır. Bu makinelerde ark gerilimi, tel ilerleme hızı ve buna bağlı olarak da akım şiddeti ayarlanır. Tel ilerleme motorunun hızı, seçilen bir devirde döneceğinden tel

ilerleme hızı sabittir. Kaynak işlemi esnasında herhangi bir sebeple ark boyu uzadığı zaman akım şiddeti büyük miktarda azalır.

Tel sürme tertibatı, makarada sarılı olan dolgu metalini iki bobin arasından ezmeden torç içine iten sistemdir ve makara bitene kadar kaynak işlemi sonlana kadar devam edebilir. Herhangi sıkışma olmadığı sürece, ayrıyeten tel itme-çekme sistemli kaynak donanımları da mevcuttur.

Metal koruyucu gaz yöntemi kaynak parametreleri i kaynak işleminin ve daha sonra oluşan kaynaklı bağlantının kalitesini belirleyen önemli unsurlardan birisidir. Kaynak parametreleri; kaynaklanan metal veya alaşımı ile kaynak metalinin türü, kalınlığı, kaynak ağzı türü ve geometrisi, kaynak pozisyonu ve kaynaklı bağlantıdan beklenen mekanik özellikler göz önünde bulundurularak belirlenir. Kaynak işlemi için seçilen parametreler, birbirlerine uyum gösterdikleri zaman yumuşak, kararlı ve oldukça rahat bir ark meydana getirirler. Kaynak parametreleri,

Değiştirilen kaynak parametresi	İstenen değişiklik							
	Nüfuziyet		Yığma hızı		Banyo hacmi		Banyo genişliği	
	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓
Akım & tel besleme hızı	↑	↓	↑	↓	↑	↓	•	•
Ark gerilimi	+	+	•	•	•	•	↑	↓
Kaynak hızı	+	+	•	•	↓	↑	↑	↓
Serbest tel boyu	↓	↑	↑	↓	↑	↓	↓	↑
Tel çapı	↓	↑	↓	↑	+	+	↓	↑
Koruyucu gaz	↑	↓	•	•	•	•	↑	↓
Torç açısı	Sağa kaynak (25°')	Sola kaynak	•	•	•	•	Sağa kaynak	Sola kaynak

www.KAYNAKOKULUM.com

• Etkisiz + Küçük etkili ↑ Arttırır ↓ Azaltır

Şekil 4.9. Kaynak parametrelerinin dikişe etkisi [33]

- Kaynak öncesi belirlenen ve kaynak süresince değiştirilmesi mümkün olmayan parametreler; ilk gruba giren parametreler koruyucu gaz türü elektrot çapı ve türü gibi etmenlerdir.

- Birinci derecede ayarlanabilen kaynak parametreleri, kaynak dikişini kontrol altında tutan akım şiddeti (tel hızı), ark gerilimi ve kaynak hızı gibi etkenlerdir. Ark gerilimi arkın uzunluğunu ve dikişin genişliğini belirler. Ark gerilimi yüksekse dikiş yassı ve geniş olur. Bu durumda yanma olukları oluşabilir. Çok düşük gerilim ise dar, fazla dışbükey dikişlere sebep olur ve kısa devre tehlikesi oluşturur. Tel hızı arttıkça akım şiddeti ve nüfuziyet artar.
- İkinci derecede ayarlanabilir kaynak parametreleri, kaynak işlemi süresince sürekli değişen ve kaynak dikişinin biçimini oldukça etkili bir şekilde değiştiren parametrelerdir. Kaynak dikişinin biçimini etkileyen bu parametreler torç eğimi, serbest tel uzunluğu, nozul mesafesi, kaynak yönü, koruyucu gaz miktarı ve kaynak pozisyonu olarak sıralanabilir.

Metal koruyucu gaz kaynağında, gaz altı kaynak yöntemlerinde olduğu gibi MIG-MAG yönteminde de koruyucu gazın ark bölgesini tamamen örtmesi ve kaynak metalini atmosferik şartlardan koruması gerekmektedir. Koruyucu gazın içindeki oksijen veya karbondioksit oranı arttıkça dikişin görünüşü kötüleşir.

- Asal gazlar demir dışı metallerde (asal gazlar: argon helyum)
- Aktif veya aktif-asal karışım gazlar çeşitli tür çeliklerde kullanılabilir. (CO_2-N-O-H)

Karbondioksit renksiz, kokusuz ve havadan 1,5 kat daha ağırdır. Genellikle alaşımsız ve düşük alaşımlı çelik malzemelerin kaynağında ucuzluk, derin nüfuziyet, yüksek kaynak hızı ve iyi mekanik özellikler vermesi nedeniyle geniş bir kullanım alanına sahiptir. Karbondioksit tüpten sürekli çekilmez, soğuk yerlerde çıkış yerine bir elektrikli ısıtıcı ilave edilebilir. Paslanmaz çeliklerde bu gaz kullanılmaz, krom karbür yapar. Helyum, atmosferde çok az bulunan helyumu endüstriyel olarak ayrıştırmak olanaksızdır. Günümüzde doğalgazdan ayrıştırılarak elde edilmektedir. Havadan hafif olmasından dolayı kaynak bölgesini çabuk terk eder. Kalın kesitli malzemelerde kullanılır, derin nüfuziyet sağlar. Kaynak arkı yüksek enerjiye sahip, ısı etkisi bölgesi düşüktür. Argon, çeliklerin kaynağında kullanılmaz, sessiz ve düzgün ark sağlar, ince metallerin kaynağında üstündür. Ark kolay tutuşur, maliyeti düşüktür. Oksijen, kokusuz, renksiz ve yakıcı bir gazdır. Oksijen arkın korunmasında hiçbir zaman doğrudan yalnız başına kullanılacak bir gaz değildir. Diğer gazlarla karışım halinde kullanılır. Arkın düzenli olmasını sağlar ve yanmayı arttırır. Hidrojen, kokusuz renksiz ve çok hafif bir gazdır. Özellikle argon gazına

kayılması ile paslanmaz çelikler, nikel ve nikel alaşımlarının kanyağında kullanılır. Hidrojen gazı da oksijen gibi koruyucu gazlara katılarak kaynatılacak malzeme yüzeyinde oksit tabakasının oluşumunu önler ve aynı zamanda da kaynak banyosunun akışkanlığını nüfuziyeti ve mekanik özelliklerini olumlu yönde iyileştirir.



Şekil 4.10. Koruyucu gazların etkisi

5. MATERYAL METOT

Deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere belirlenen zırh çelikleri, dolgu malzemeleri mekanik özellikleri ve kimyasal kompozisyonları öğrenilmiştir. Uygulanacak olan kaynaklı imalat için parametreler oluşturulmuş ve uygulanacak deneylere göre numune hazırlıklar yapılmıştır.

5.1. Kullanılan Malzemeler

Günümüzde savunma sanayi alanında sıkça kullanılan zırh çelikleri olan Protac 500, Protac 600 ve Mars 300 zırh çelikleri incelenmiştir. Farklı dolgu malzemeleri ile kaynaklı imalatı yapılan zırh çeliklerinin mikro yapı değişiklikleri, sertlikleri, balistik mukavemetleri incelenmek istenmiştir. Abrasive aşınmaya karşı gösterdikleri performansa da incelenmiştir.

Protac 500 zırh çeliği diğer zırh çeliklerine nazaran yüksek mukavemetli zırh çelikleri sınıfındadır. Düşük karbon değerine sahip ve alaşımlar ile kimyasal kompozisyonu;

Çizelge 5.1. Protac 500 zırh çeliği kimyasal kompozisyonu [12]

Protac 500 Kimyasal Kompozisyonu										
Protac	Kalınlık [mm]	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	B
500	2-60	0,30	1,0	1,2	0,02	0,003	0,8	0,6	0,5	0,004
Tüm değerler maksimum %										

Protac 600 zırh çeliği diğer zırh çeliklerine nazaran yüksek mukavemetli zırh çelikleri sınıfındadır. Düşük karbon değerine sahip ve yüksek alaşım malzemeleri ile kimyasal kompozisyonu;

Çizelge 5.2. Protac 600 zırh çeliği kimyasal kompozisyonu [12]

Protac 600 Kimyasal Kompozisyonu													
Protac	Kalınlık [mm]	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	B	V	Nb	N
600	2-60	0,30	0,90	0,45	0,005	0,0001	0,65	3,1	0,38	0,0025	0,05	0,022	0,004
Tüm değerler maksimum %													

Mars 300 diğer zırh çeliklerine nazaran çok yüksek mukavemetli zırh çelikleri sınıfındadır. Diğer zırh çeliklerine nazaran yüksek karbon değerine sahip ve alaşımlar ile kimyasal kompozisyonu;

Çizelge 5.3. Mars 300 zırh çeliği kimyasal kompozisyonu [13]

Mars 300 Kimyasal Kompozisyonu																
Mars	C	Ti	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	B	V	Nb	N	Cu	Al	Zr
300	0,55	0,0005	0,8	0,4	0,02	0,01	0,14	1,85	0,32	0,003	0,005	0,006	0,0045	0,04	0,045	0,032
Tüm değerler maksimum %																

İncelemesi yapılan zırh çeliklerinin kimyasal kompozisyonu ne kadar önemli ise mekanik davranışları da kaynaklı imalat sonrası nasıl bir davranış vereceği karşılaştırmak için önemlidir. Mekanik özelliklerinde büyük değişim olacaktır. Kimyasal kompozisyonları ile dolgu malzemelerinin kimyasal kompozisyonları kaynak sırasında yeni bir alaşımlı bölge oluşturacaktır. Kaybolan kimyasal kompozisyonun yerini yeni alaşımlar alacak ve ısının etkisi ile mikro yapıda değişim meydana gelecektir. Mikro yapıdaki değişimler mekanik özelliklerini etkileyecek ve sertlik değişimleri olacaktır. Zırh çeliklerinin kaynaklı imalat altında mekanik davranışlarını incelemek için ilk mekanik özellikleri verilmiştir.

Çalışmada kullanılan Protac 500, Protac 600 ve Mars 300 zırh çeliklerinin ortalama baz alınarak alaşımlandırma ve kalınlık farkı ile oluşan mekanik özellikleri Çizelge 5.4, Çizelge 5.5, Çizelge 5.6’ de ayrıntılı şekilde verilmektedir.

Çizelge 5.4. Protac 500 zırh çeliği mekanik özellikleri

Mekanik Özellikler							
	Çekme Özellikleri				Etki Özellikleri		Sertlik
PROTAC	Kalınlık [mm] 6,5 mm	Akma dayanımı Rp 0,2[MPA]	Çekme dayanımı Rp 0,2 [MPA]	Uzama A5 [%]	Test sıcaklığı [^{0}C]	Çarpma enerjisi Charpy V enine [j]	HB
500	2-60	1200	1700	10	-40	35	480-530

Çizelge 5.4 de verilen Protac 500 zırh çeliği 6,5 mm kalınlıkta olup BR6 seviyesinde balistik koruma sağlamaktadır. Sertlik durumu 480-530 HB aralığındadır.

Çizelge 5.5. Protac 600 zırh çeliği mekanik özellikleri

Mekanik Özellikler							
	Çekme Özellikleri				Etki Özellikleri		Sertlik
PROTAC	Kalınlık [mm] 9,5 mm	Akma dayanımı Rp 0,2[MPA]	Çekme dayanımı Rp 0,2 [MPA]	Uzama A5 [%]	Test sıcaklığı [^{0}C]	Çarpma enerjisi Charpy V enine [j]	HB
600	2-60	1400	1800	10	-40	35	570-650

Çizelge 5.5’ de verilen Protac 600 zırh çeliği 9,5 mm kalınlıkta olup BR7 seviyesinde balistik koruma sağlamaktadır. Sertlik durumu 570-650 HB aralığındadır. Kalınlık farkı, alaşım oranlarındaki fark ve farklı alaşımlar ile bu balistik koruma ve sertlik farkı olmuştur.

Çizelge 5.6. Mars 300 zırh çeliği mekanik özellikleri

Mekanik Özellikler							
	Çekme Özellikleri				Etki Özellikleri		Sertlik
MARS	Kalınlık (mm) 10,5 mm	Akma dayanımı Rp 0,2(MPA)	Çekme dayanımı Rp 0,2 (MPA)	Uzama A5 (%)	Test sıcaklığı (^{0}C)	Çarpma enerjisi Charpy V enine (j)	HB
300	2-60	1500	2200	> 6	-40	35	600-630

Çizelge 5.6' de verilen Mars 300 zırh çeliği 10,5 mm kalınlıkta olup BR7 seviyesinde balistik koruma sağlamaktadır. Sertlik durumu 600-630 HB aralığındadır. Kalınlık farkı, alaşım oranlarındaki fark ve farklı alaşımlar ile bu balistik koruma ve sertlik farkı olmuştur.

5.2. Dolgu Malzemeleri

Kaynak işlemi iki farklı dolgu malzemesi (ER 120 ve Elox SG 307 Paslanmaz) ile yapılacaktır. Farklı sertliklere ve kimyasal kompozisyona sahip bu dolgu malzemeleri ile yapılacak kaynaklar, alaşım malzemelerinin farklılığı, üretim şekliyle oluşan mikro yapı farklılığı olan dolgu malzemelerinin zırh çeliklerinde oluşturacağı etkiler yakından görülebilecektir. Ark iletkenliği ve erime sıcaklıkları farkı ile ısı girdisi farkının mikro yapıda değişime etkisi takip edilebilecektir.

Çizelge 5.7. Böhler X 90-IG dolgu malzemesi kimyasal kompozisyonu [25]

Böhler	Kalınlık (mm)	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo
X 90-IG	1 / 1.2	0,1	0,8	1,8	0,35	2,25	0,6

Çizelge 5.8. Elox SG 307 dolgu malzemesi kimyasal kompozisyonu [26]

Geka	Kalınlık (mm)	C	Si	Mn	Cr	Ni
Elox SG 307	1 / 1.2	0,08	0,9	7,0	19,2	9,0

Kimyasal kompozisyon farkları olan dolgu malzemelerinde mukavemetleri farklıdır. Elox SG 307 dolgu malzemesi yüksek Cr ile paslanmaz dolgu malzemesi sınıfındadır. X 90-IG dolgu malzemesi ise alaşımı ve üretim şekli ile çok yüksek mukavemetlerdedir.

Çizelge 5.9. Böhler X 90-IG mekanik özellikleri [25]

Akma Dayanımı (N/mm^2)	Çekme Dayanımı ($N/mm^{2)}$	Çentik Dayanımı (ISO-V/+20^0C)	Uzama ($L_0=5d_0$)(%)
Min. 915	960-940	Min. 130 J	Min. 20

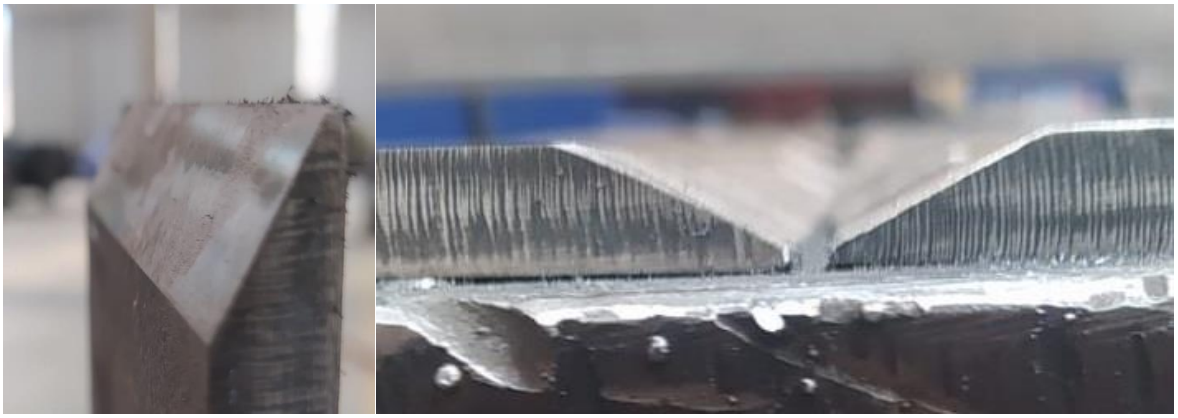
Çizelge 5.10. Geka Elox SG 307 mekanik özellikleri [26]

Akma Dayanımı ($N/mm^{2)}$	Çekme Dayanımı ($N/mm^{2)}$	Çentik Dayanımı (ISO-V/+20^0C)	Uzama ($L_0=5d_0$)(%)
Min. 370	580-750	Min. 63 J	Min. 30

Farklı mekanik özelliklere ve kimyasal kompozisyona sahip dolgu malzemelerinin özellikleri tablolarda gösterilmiştir. İki farklı dolgu malzemesinin de kaynaklı imalata yaratacağı farklılığı araştırma konusunun da temelini oluşturmaktadır.

5.3. Zırh Çeliklerinde Kaynak

Kullanılan zırh çelikleri (Protac 500, Protac 600, Mars 300) kaynak işlemi yapılmadan önce literatür araştırmalarında elde edilen bilgiler ile kaynak ağzı açma işlemi gerçekleştirilmiştir. En minimum ısı girdisinde en iyi nüfuziyet sağlamak için 52 ^{0} açı ile kaynak ağzı açma işlemi yapılmıştır [6].



Resim 5.1. Toplamda 52 derece açılan kaynak ağzı görüntüleri

Resim 5.1. ‘de plaka halindeki zırh çeliklerinin bir köşesi 26 derece diğer kaynak için denk gelen tarafında 26 derece kaynak ağzı açılarak toplamda 52 derece olan kaynak ağızları, kök kaynağı iyi nüfuziyet etmesi ve düzgün kaynak dişi elde etmek için 2mm aralık bırakılarak puntalanıp kaynağa hazır hale getirilmiştir.



Resim 5.2. Tezgâha kaynak işlemi için sabitleme yapılması

Tezgâha sabitlenen ve puntalama işlemi yapılan zırh çelikleri kaynaklı imalata hazırlanmıştır. Kaynak işlemi için kaynak şartnamesinden parametreler kaynak makinasına girilmiş, deneme zırh çeliğinde makine verimliliği test edilerek doğrulama yapılmıştır.

Çizelge 5.11. Kaynak parametreleri

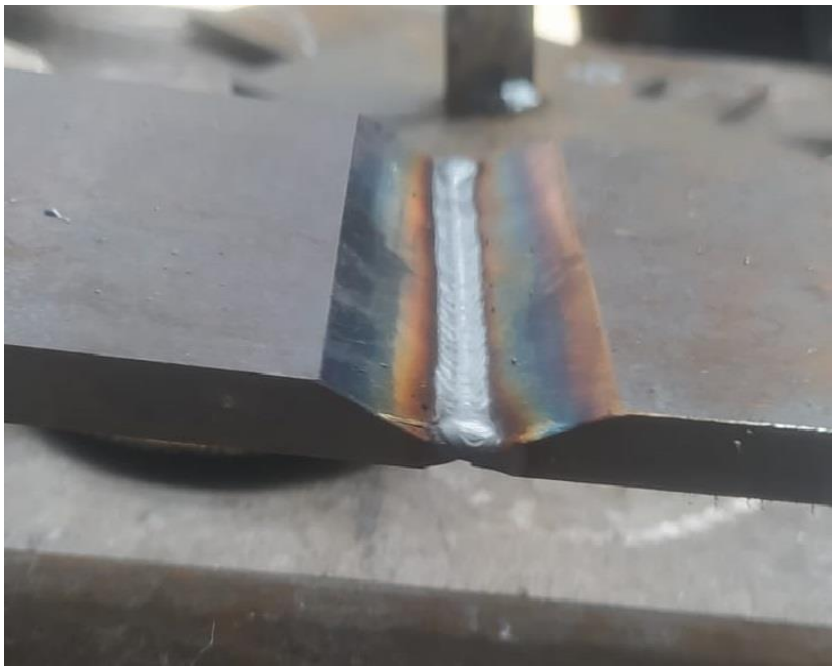
Paso Run	**Yöntem** Process	**Dolgu Teli/** Filler Metal			**Akım** Current (A)	**Voltaj** Voltage (V)	**Akım Tipi/ Kutup** T. of Current /polarity	**Kaynak Hızı** Travel Speed mm/min	**Tel Hızı** Wire Speed m/min	**Transfer Modu** Transfer Mode
		Çap Size	**Sınıf** Class	**Marka** Trade Name						
1	135	1,0	Er 120 S-G / Elox SG 307	Böhler / Geka	205-215	23-24	DC(+)	600	1.95	Globullar Arc
2	135	1,0	Er 120 S-G / Elox SG 307	Böhler / Geka	205-215	23-24	DC(+)	600	1,95	Globullar Arc
3	135	1,0	Er 120 S-G / Elox SG 307	Böhler / Geka	205-215	23-24	DC(+)	600	1,95	Globullar Arc

Parametrelerin doğrulaması yapıldıktan sonra zırh çeliklerine ön ısıtma işlemi uygulanmıştır. Ön ısıtma sıcaklığı 150 ^{0}C olarak belirlenmiştir. Ön sıcaklığın 150 ^{0}C olarak belirlenmesinin amacı ani gelen ark ile oluşacak ısı girdisi ile zırh çeliklerinin mikro yapısının en az şekilde etkilenmesi, soğuma ile ani düşüşlerde oluşacak farklı mikro yapıların önüne geçilmektir. Ön ısıtma ile zırh çeliğinin nemi alınıp hidrojen çatlağının önüne geçilmektedir. Kullandığımız dolgu malzemeleri de (ER 120 ve Elox SG 307 Paslanmaz) mukavemetleri yüksek sertliğe sahip oldukları için kolay ark oluşumuna da yardımcı olmaktadır.



Resim 5.3. Ön sıcaklık parametreleri

Ön sıcaklıklarına dikkat edilerek kaynaklı imalata işlemine geçilmiştir. Isı girdisine dikkat edilerek, pasolar arası sıcaklık kontrolünde zırh çeliklerimize kaynaklı imalat gerçekleştirilmiştir.



Resim 5.4. Kök paso işlemi sonrası pasolar arası kontrollü soğuma

Kök paso kaynaklı imalatı gerçekleştirilmiştir, sonra tekrardan sıcaklığın 150 ^{0}C'ye düşülmesi ile ikinci paso kaynaklı imalatı gerçekleştirilip tekrardan paso arası sıcaklık 150 ^{0}C'ye düşmesi beklenip, kapak paso kaynak işlemi ile kaynaklı imalat süreci tamamlanmıştır.



Resim 5.5. Zırh çelikleri kaynaklı imalatın son hali

5.4. Kullanılan Cihazlar

Deneysel çalışmalar için gerekli numuneler hazırlanmaya başlanmıştır. Kaynaklı imalat sonrası çekme numunesi haline getirilmiştir.



Resim 5.6. Çekme testi numunelerine hazırlık

Çekme numunesi haline getirilen zırh çelikleri Universal çekme makinası ile çekme testi yapılmıştır. Çekme testi uygulanan numunelerden kaynak bölgesi, ıtab ve ana metali içine alacak şekilde mikro yapı ölçümleri yapılabilecek numuneler Ata Brillant 220 marka hassas kesme cihazı kullanılarak kesilmiştir. Deney numuneleri Ata Opal 460 sıcak bakalit makinesinde bakalitlendirilip yüzey hazırlığı yapılmaya uygun hale getirilmiştir.



Resim 5.7. Atm Opal 460 numuneleri sıcak bakalite alma cihazı

Bakalite alma işlemlerinden sonra numuneler sırasıyla 120, 400, 600, 800, 1200 mesh zımparalarla zımparalama işlemi gerçekleştirilmiştir. Zımparalama sırasında yüzeydeki

çiziklerin tamamen yok edilmesi için numuneler her zımpara değişiminde 90 derece döndürülmüştür. Zımpara sonrası parlatma işleminde ise 3 ve 9 mikronluk parlatma keçeleri ile elmas parlatıcı sıvı kullanılmıştır. Parlatma işleminden sonra numuneler %3'lük nital ile dağlanmıştır. Paslanmaz telin dağlanması ise kral suyu ile yapılmıştır.



Resim 5.8. Leica mikroyapı ışık mikroskobu

Mikro yapı analizi için resim 5.3.'de Leica marka ışık mikroskobu kullanılmıştır. Numunelerden faz özellikleri incelenerek 200, 100, 50, 25 mikronluk mikro yapı görüntüleri alınmıştır.



Resim 5.9. Brinel sertlik cihazı

Mikroyapı görüntüleri alınan zırh çeliklerine Brinel sertlik testi uygulanmıştır.

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmada, kaynak sonrası zırh çeliğinde kaynaklı veya ısıya maruz kalan bölgelerdeki mikro yapı, sertlik, tokluk vb. değişikliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Farklı zırh çelikleri ve farklı dolgu malzemelerinin kombinasyonu ile yapılan kaynaklı imalatlar ile hem farklı zırh çeliklerinin ısıya karşı verdikleri tepki, hem de dolgu malzemelerinin alaşımlamada, ısı girdisi ve sertliklerdeki farklılıkları da incelenmiştir. Abrasive aşınma yöntemi ile de zırh çeliklerinin yük altındaki davranışı incelenmiştir. Zırh çelikleri (Mars 300, Protac 600, Protac 500) en uygun parametrelerde kaynak işlemi yapılmış, kaynaklı zırh çelikleri çekme numuneleri haline getirilmiştir. Çekme testi uygulanan numuneler kaynak bölgesi, ıtab ve ana malzemeyi içine alacak şekilde kesilmiş ve bakalitlenerek mikro yapı incelenmesi uygulanmış ve bu numunelerden kaynak bölgesi, ıtab ve ana malzemeyi içine alacak şekilde sertlik testi (HB) uygulanmıştır.

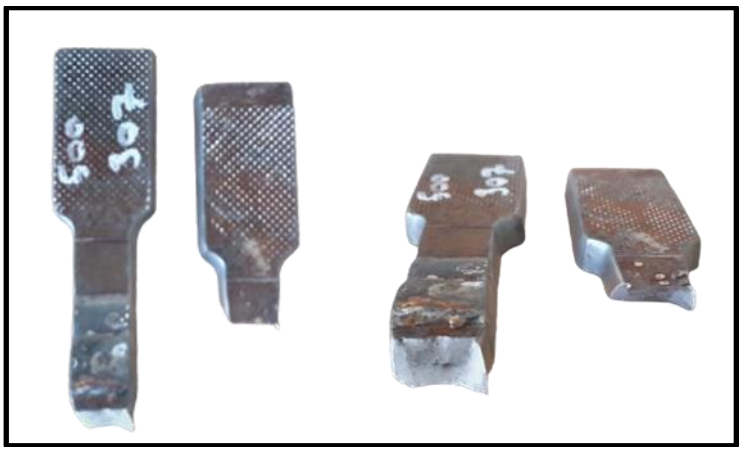
6.1. Deneylerin Yapılışı

Deneylerde elde etmek istenilen sonuç farklı yapı ve özellikte olan zırh çeliklerinin en uygun parametrelerde kaynaklı imalatını gerçekleştirmek. 52° kaynak ağzı açılan zırh çelikleri, 150° ön ısıtma uygulanarak kaynaklı imalatına başlanmıştır. 205-215 amper, 23-24 volt, kaynak hızı 600 mm/dk ve tel hızı 1,95 m/dk parametrelerinde DC (doğrusal akım) ile kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir. Pasolar arası sıcaklık takip edilmiş ve kontrollü kaynak yapılmıştır. Kaynak sırasında nasıl mikro yapı değişikliklerine uğradığı, sertlik kayıpları hangi bölgelerde (kaynak, ıtab) olduğunun belirlenmesi amaçlanmıştır. Farklı dolgu malzemeleri kullanılarak kaynak sırasında oluşan ısı girdisi farkı, farklı kimyasal kompozisyondan dolayı oluşan alaşımlama, mekanik özellik farklılığının etkileri de karşılaştırılarak zırh çeliklerinin verdikleri balistik etki, kalınlıkların oluşturduğu mekanik farklılıklara etki, ısı girdisinin mikro yapıya etkisi ile en doğru kaynaklanabilirlik hedeflenmiştir. Zor şartlar ve noktasal mukavemetlere (mermi, şarapnel gibi küçük temas yüzeylerinin oluşturduğu kuvvetlere noktasal mukavemet olarak adlandırılır) karşı kullanılan bu çeliklerin aşınmaya karşı dirençleri abrasive aşınma ile incelenmiştir. Abrasive aşınma ile incelenmesinin en temel sebebi zırh çeliklerinin sertlik farklarının karşılaştırmadaki etkisidir. Çekme numunesi haline getirilen zırh çeliklerimiz ilk olarak çekme testi uygulanmıştır. Çekme testi sonrası farklı zırh çeliği ve dolgu malzemesi

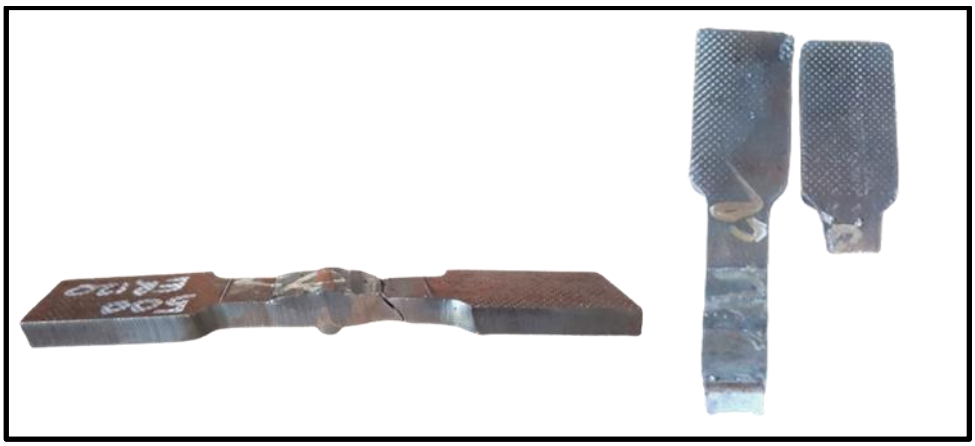
kombinasyonları kaynak bölgesi, ıtab ve ana malzeme içinde olacak şekilde kesilmiştir. Bakalitlenen numuneler zımpara ve parlatıcı ile yüzeyi temizlenip mikro yapıları incelenmiştir. Numunelere Brinel sertlik testi uygulanmıştır. En son yeni numuneler ile abrasive aşınma testi uygulanmıştır.

6.1.1. Çekme testi

Çekme testi uygulamasında ısı girdisinin, farklı dolgu malzemelerinin mekanik özelliklere etkisi belirlenmiştir. Farklı parametrelerin yarattığı farklılıklar kırılma şekli, boyca uzama ve çekme dayanımı sonuçlarına yansımıştır.

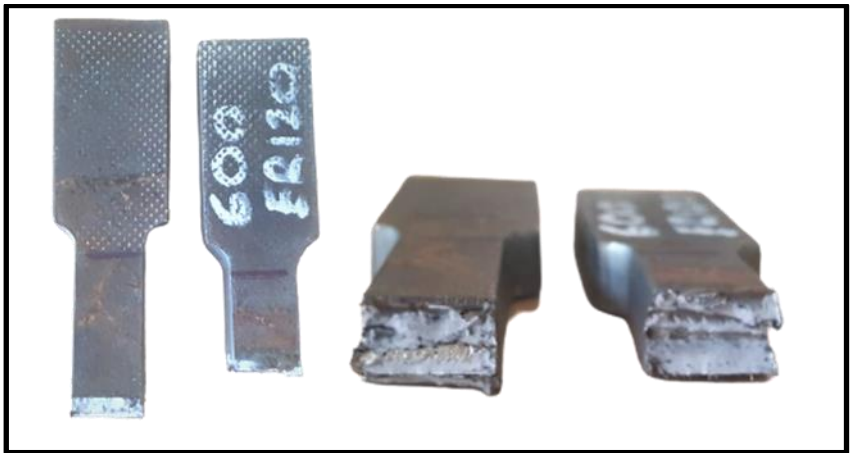


Resim 6.1. Protac 500 zırh çeliğinin Elox 307 dolgu malzemesi kaynaklı imalatının çekme testi görüntüsü

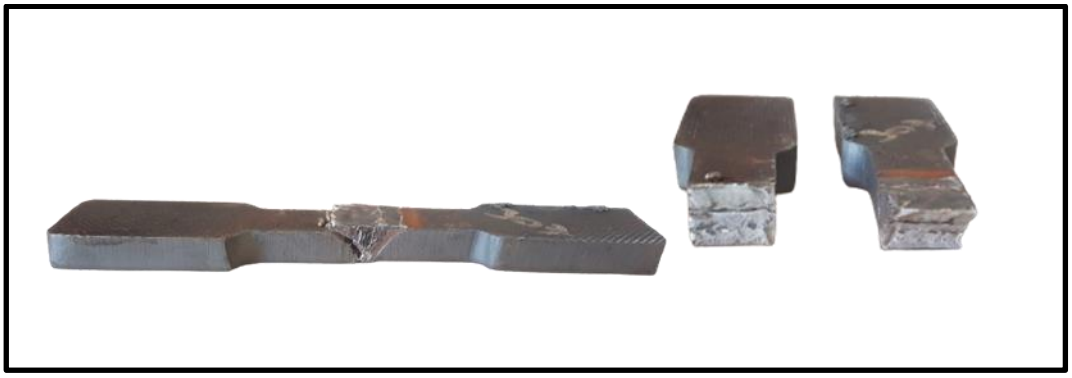


Resim 6.2. Protac 500 zırh çeliğinin X 90-IG dolgu malzemesi kaynaklı imalatının çekme testi görüntüsü

Protac 500 zırh çeliğine kaynaklı birleştirmelerine uygulanan çekme testi sonucunda kopan numunelerin Resim 5.5., 5.6. ‘da görselleri ve ölçüm değerleri incelendiğinde X 90-IG dolgu malzemesi ile yapılan kaynaklı imalatın boyun vermeden kırılma meydana geldiği gözlemlenmiştir. Elox 307 paslanmaz dolgu malzemesi kullanılmış zırh çeliklerinde ise diğer birleştirmeye göre çok az da olsa boyun verme olmuştur.



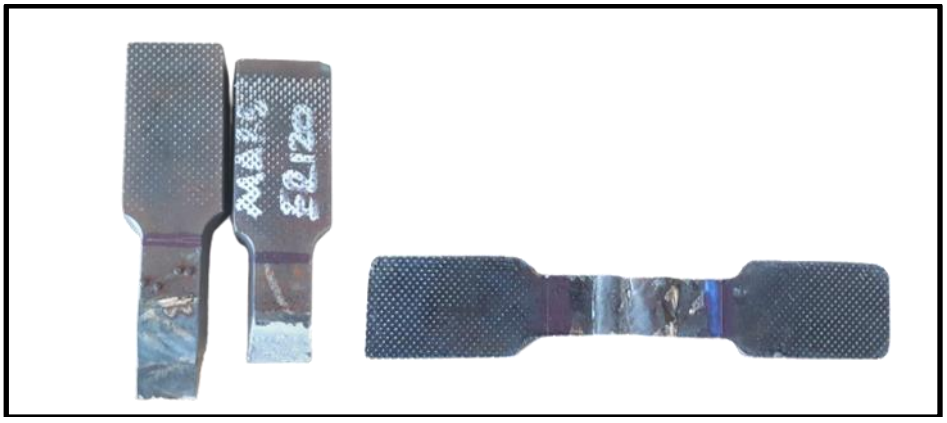
Resim 6.3. Protac 600 zırh çeliğinin X 90-IG dolgu malzemesi kaynaklı imalatının çekme testi görüntüsü



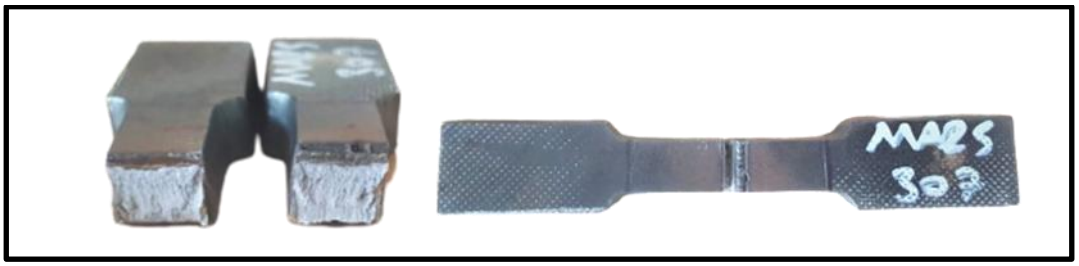
Resim 6.4. Protac 500 zırh çeliğinin Elox 307 dolgu malzemesi kaynaklı imalatının çekme testi görüntüsü

Protac 600 zırh çeliğinin kaynaklı birleştirmelere uygulanan çekme testi sonucunda kopan numunelerin Resim 5.7, 5.8’de görselleri ve ölçüm değerleri incelendiğinde X 90-IG dolgu malzemesi ile yapılan kaynaklı imalatın boyun vermeden daha gevrek kırılma meydana geldiği gözlemlenmiştir. Elox 307 paslanmaz dolgu malzemesi kullanılmış zırh çeliklerinde ise diğer birleştirmeye göre çok az da olsa boyun vererek kırılma olmuştur.

Elox 307 paslanmaz dolgu malzemesinde tane sınırından kaynak bölgesinin yakınından sünek kırılma olduğu gözlenmiştir.

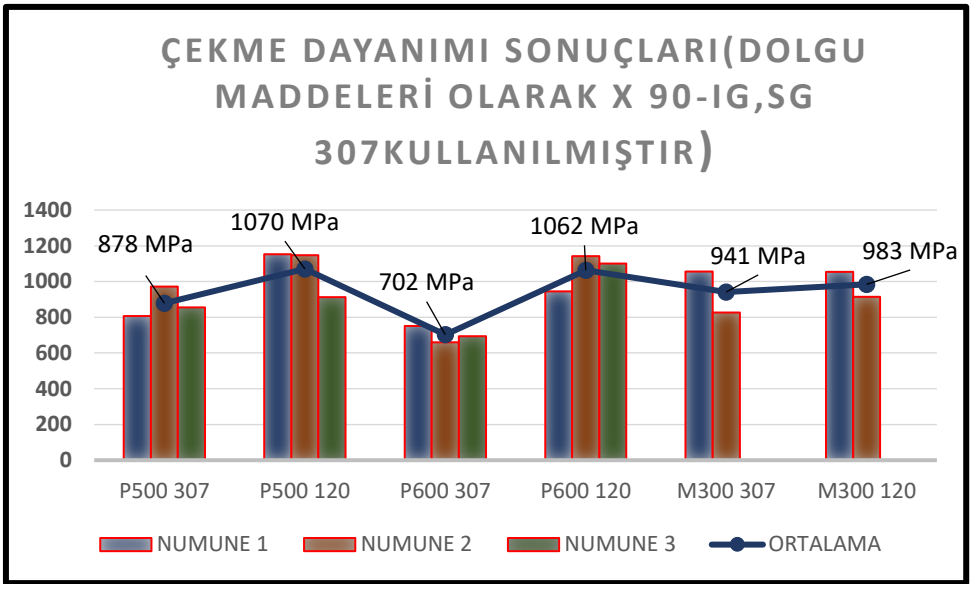


Resim 6.5. Mars 300 zırh çeliğinin X 90-IG dolgu malzemesi kaynaklı imalatının çekme testi görüntüsü



Resim 6.6. Mars 300 zırh çeliğinin Elox 307 dolgu malzemesi kaynaklı imalatının çekme testi görüntüsü

Mars 300 zırh çeliğinin kaynaklı birleştirmelere uygulanan çekme testi sonucunda kopan numunelerin Resim 5.9., 5.10.'de görselleri ve ölçüm değerleri incelendiğinde X 90-IG dolgu malzemesi ile yapılan kaynaklı imalatın boyun vermeden, Itap bölgesinden gevrek kırılma meydana gelmiştir. Elox 307 paslanmaz dolgu malzemesi kullanılmış zırh çeliklerinde ise diğer birleştirmeye göre boyun vererek kırılma olmuştur. Elox 307 paslanmaz dolgu malzemesinde tane sınırından kaynak bölgesinin yakınından sünek kırılma olduğu gözlenmiştir.



Şekil 6.1. Protac 500, 600 ve Mars 300 numunelerin çekme dayanımı sonuçları

Dolayısıyla bu haliyle incelenen çelik malzemenin boyun vermemiş olması gevrek malzeme olduğunu göstermektedir. Ayrıca kopma yüzeyleri tam düz değil oldukça pürüzlü bir şekilde kopmuştur. Yani mevcut haliyle de dolgu malzemesi Geka Elox SG 307 kaynaklanan zırh çelikleri sünek kırılma mekanizmasıyla koptuklarını söyleyebiliriz [9]. Bunun nedeni kaynak dikişinin eriştiği mukavemet değerinin östenitik esaslı paslanmaz çelik telin mukavemet değerinden yüksek oluşundan kaynaklanmaktadır. Çünkü sünek kırılma yüksek orandaki plastik deformasyon sonrasında meydana gelir ve malzeme kırık yüzeyinde koni çanak şeklinde bir kırık yüzey oluşumu kendini gösterir.

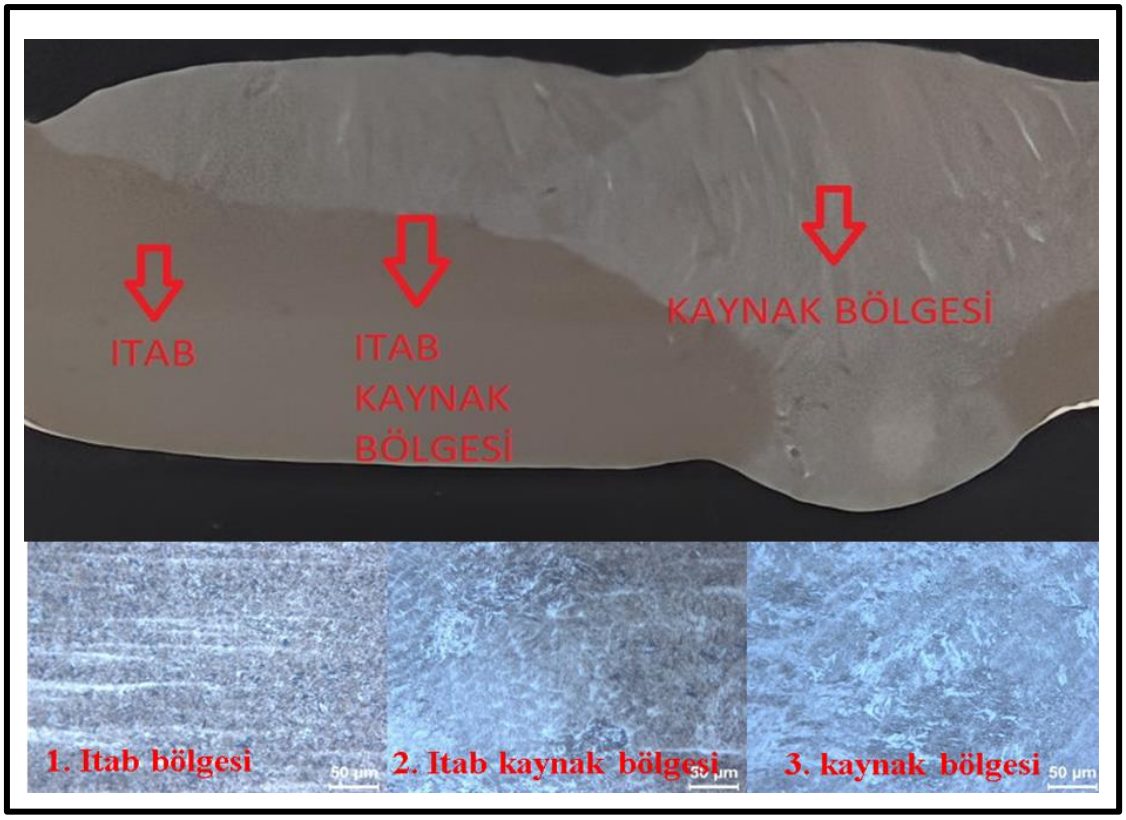
Dolgu malzemesi X 90-IG ile yapılan kaynaklı imalatın boyun vermemiş olması gevrek bir yapı oluştuğunu göstermektedir. Kopmalarda Geka Elox SG 307 dolgu malzemesine göre daha sert bir yapıya sahip olan X 90-IG' de plastik deformasyon düşük olduğundan gevrek kırılma görülmüştür. Çekme dayanımı verilerinde Protac 500, Protac 600 ve Mars 300 zırh çeliklerinde X 90-IG dolgu malzemesi ile kaynaklı imalatlarında daha yüksek dayanım görülürken, Geka Elox 307 de mekanik verilerin daha düşük olduğu görülmüştür [12,13].

6.1.2. Mikroyapı incelemeleri

Kaynaklı imalat sonrası zırh çeliklerinde sıcaklığın etkisi ile mikroyapı değişimleri meydana gelmektedir. Oluşan bu mikroyapı değişimleri üretim esnasında ısıl işlemler sayesinde kazandığı yüksek mukavemeti kaybetmesine neden olmaktadır. Isı tesiri altında

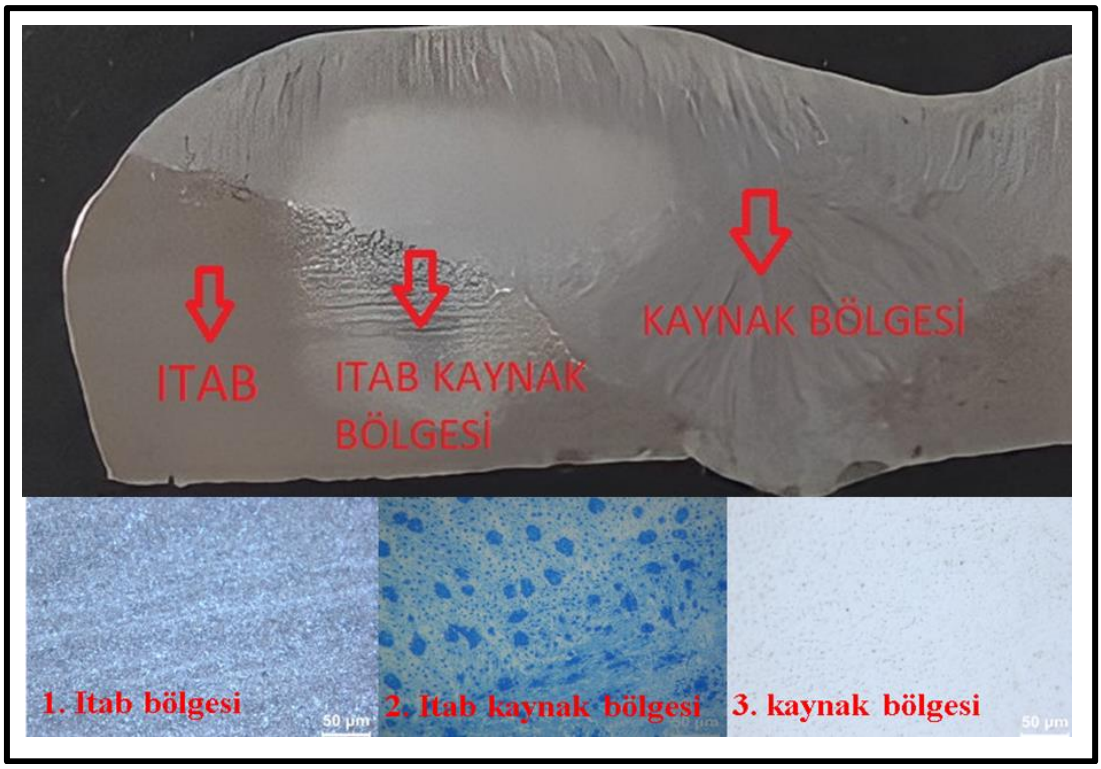
kalan alanlarda martenzit yapının yerini daha yumuşak yapılara bıraktığı ve balistik özellikleri etkilediği belirlenmiştir. En fazla mikroyapı değişimi ıtab bölgesinde meydana gelip, kullanılan farklı dolgu malzemelerin alaşım özelliklerinin farklılık göstermesi ile kaynak bölgesinde yeni oluşan yapısal farklılık net şekilde görülmüştür.

Protac 500 X 90-IG kaynaklı birletilmesinde mikro yapı incelemelerinde Itab ince taneli perlit, alfa ferrit gözlenmiştir. Itab kaynak geçişinde alfa ferrit, ince taneli perlit yapısı görülürken, kaynak bölgesinde iri taneli alfa ferrit tane sınırında sementit ve ince taneli perlit gözlenmiştir [27].



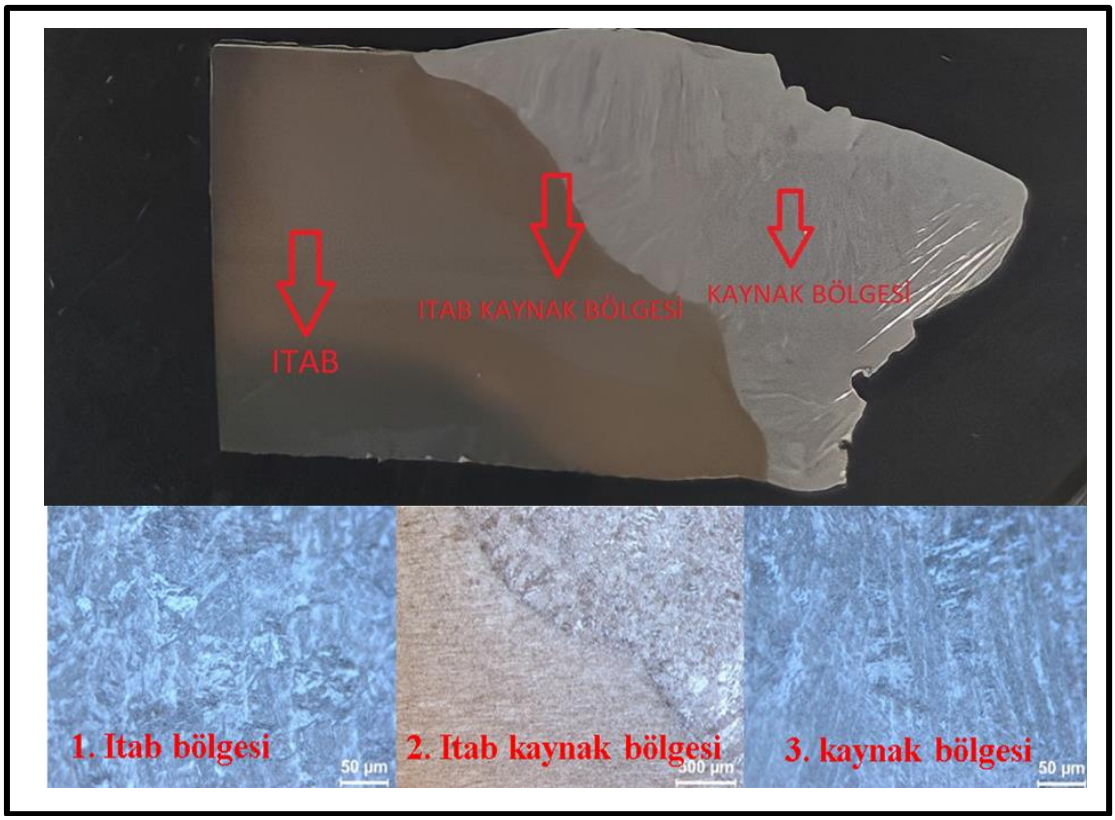
Resim 6.7. Protac 500 X 90-IG kaynaklı birleştirilmesinde mikroyapı görüntüsü

Protac 500 Geka Elox SG 307 kaynaklı birleştirilmesinde mikroyapı incelemelerinde Itab bölgesinde alfa ferrit ve ince taneli yapı gözlenmiştir. Itab kaynak geçişinde ince perlit yapı oluşurken karbür çökeltileri oluşmuştur. Krom oranı yüksek paslanmaz dolgu malzemesi kullanılmış olması krom karbür çökelmesine sebebiyet vermiştir. Kaynak bölgesinde östenit yapı mevcutken karbür çökelmesi gözlenmiştir [27].



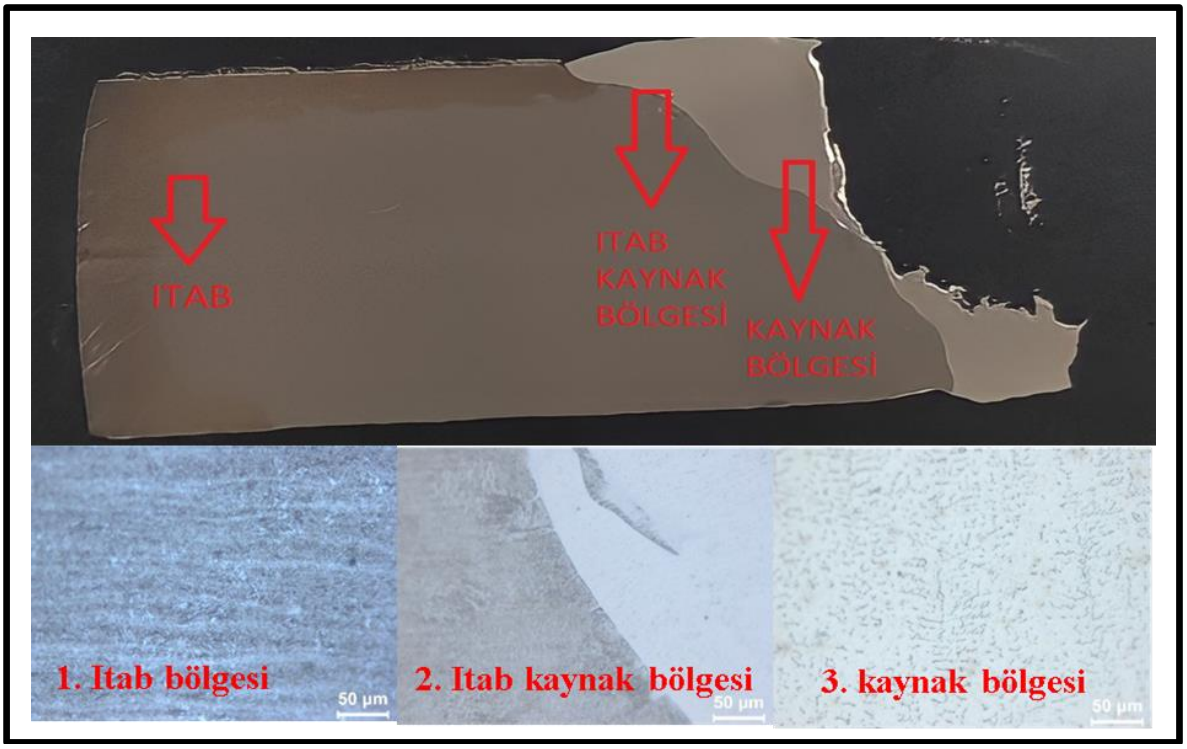
Resim 6.8. Protac 500 Geka Elox SG 307 kaynaklı birleştirilmesinde mikroyapı görüntüsü

Protac 600 X 90-IG mikroyapı incelemelerinde Itab bölgesinde alfa ferrit ve pertlit yapısı gözlenmiştir. Itab ve kaynak sınırında sementit yapı gözlenmiş. Kaynak bölgesinde ince taneli perlit, alfa ferrit ve eser miktarda karbür çökelmesi mevcuttur [27].



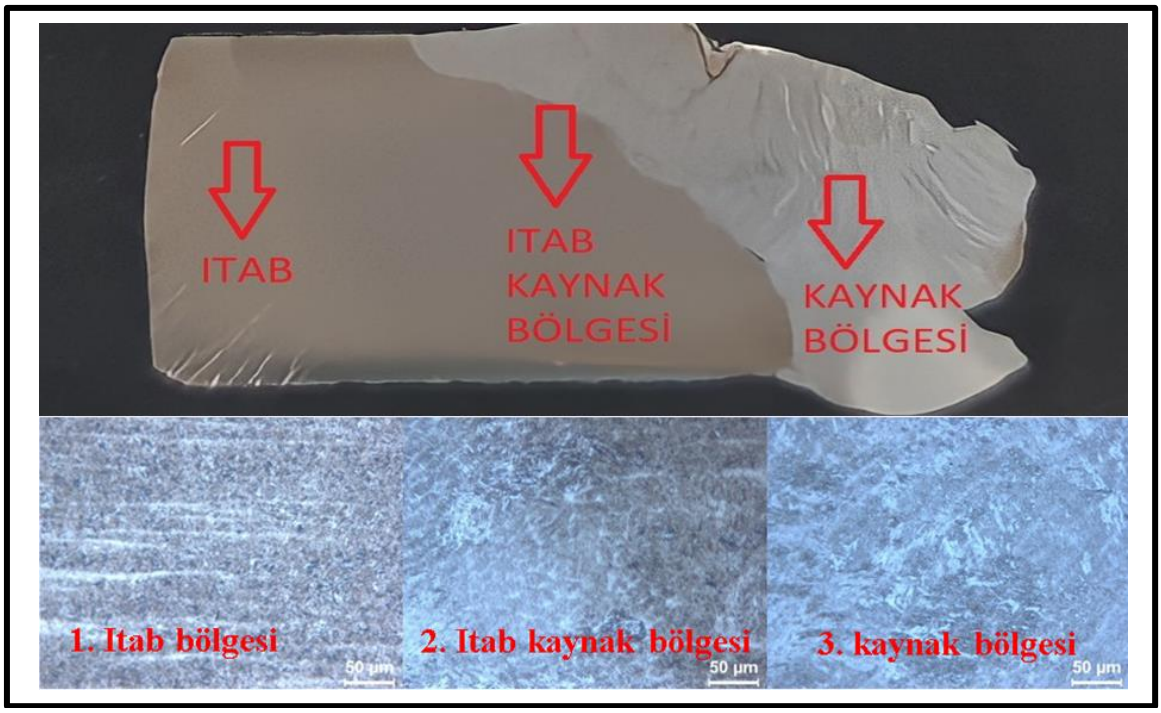
Resim 6.9. Protac 600 X 90-IG kaynaklı birleştirilmesinde mikroyapı görüntüsü

Protac 600 Geka Elox SG 307 mikroyapı incelemelerinde Itab'da alfa ferrit ve ince perlit yapısı gözlenirken, ıtab kaynak sınırında ince perlit yapı devam ederken krom oranı yüksek paslanmaz dolgu malzemesi kullanılmış olması krom karbür çökelmesine sebebiyet vermiştir. Kaynak bölgesinde östenit yapıya geçiş ve karbür çökelmesinin devam ettiği gözlenmiştir [27].



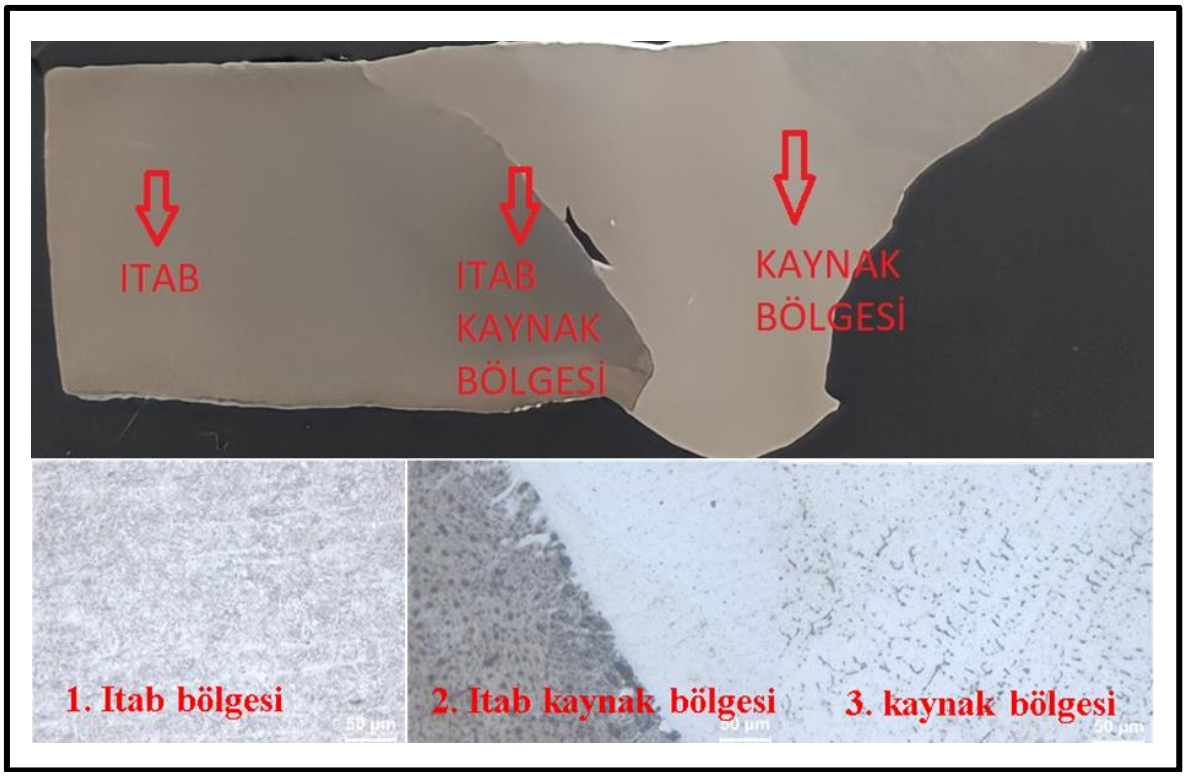
Resim 6.10. Protac 600 Geka Elox SG 307 kaynaklı birleştirilmesinde mikroyapı görüntüsü

Mars 300 X 90-IG mikroyapı incelemelerinde Itab bölgesinde alfa ferrit ve perlit yapısı gözlenmiştir. Itab ve kaynak geçişinde alfa ferritlerin alfa ferrit + sementit'e dönüştüğü gözlenmiştir. Kaynak bölgesinde perlit, alfa ferrit ve bazı bölgelerde sementit yapı gözlenmiştir [27].



Resim 6.11. Mars 300 X 90-IG mikro yapı görüntüsü verilmiştir.

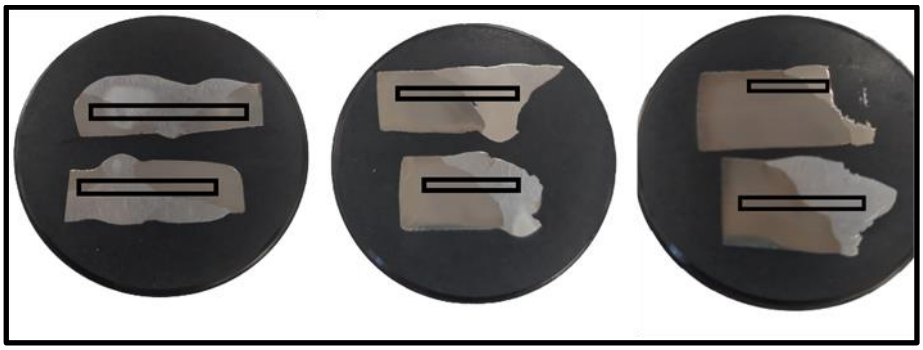
Mars 300 Geka Elox SG 307 Itab bölgesinde ince perlit ve ferritik yapı mevcutken ıtab ve kaynak bölgesinde sementit ve krom oranı yüksek dolgu malzemesi kullanılmış olması krom karbür çökelmesine sebebiyet vermiştir. Kaynak bölgesinde gama östenit ile karbür çökelmelerinin devam ettiği gözlenmiştir [27].



Resim 6.12. Mars 300 Geka Elox SG 307 mikro yapı görüntüsü verilmiştir.

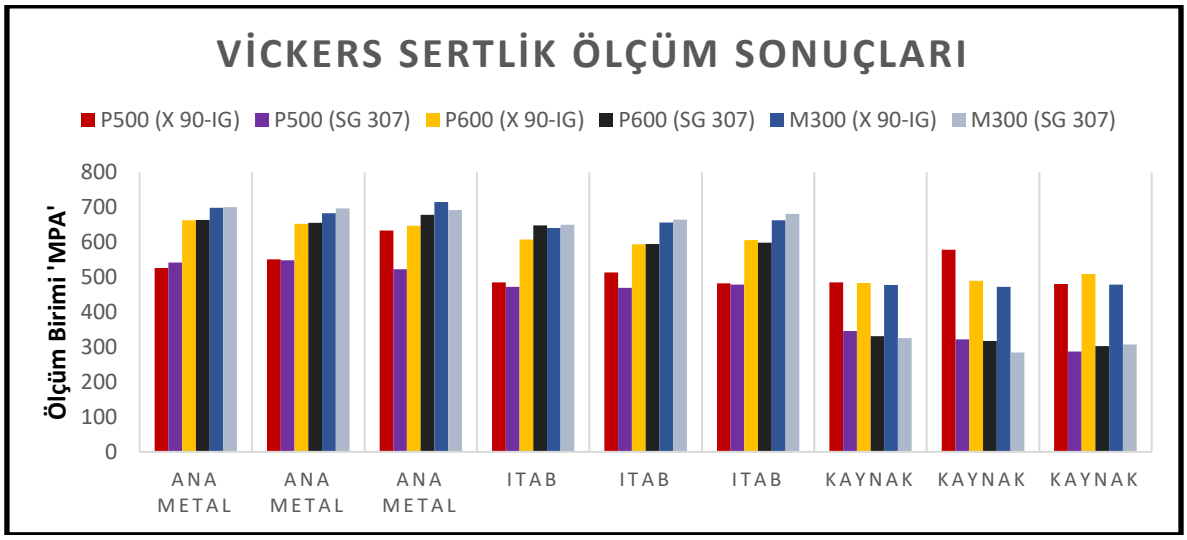
6.1.3. Sertlik ölçümleri

Vickers sertlik ölçümü ana metal, ıtab bölgesi ve kaynak olmak üzere 3 bölge baz alınmış olup mikro yapıları alınan numuneler üzerinde yapılmıştır. Mikro sertlik ölçümleri HV sertlik skalası ile 50 gramlık yük altında gerçekleştirilmiştir. Sertlik ölçümleri bir adet kaynak dikişinden alındıktan sağa ve sola 0,1 mm gidilerek ITAB bölgelerinden, ana malzemeden ve kaynaklı bölgeden olmak üzere numunede ölçüm alınmıştır.



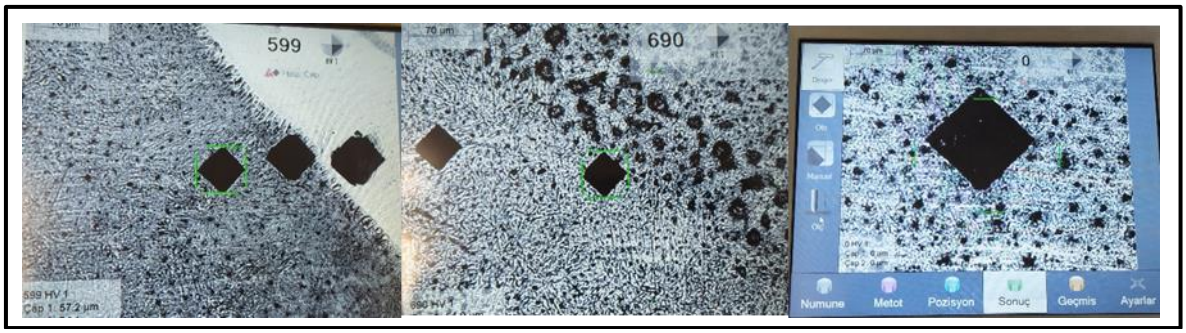
Resim 6.13. Vickers sertlik ölçümünde sertlik kesiti alınan bölgelerin gösterimi

Yapılan ölçüm ve sonuçlarda Elox SG 307 paslanmaz dolgu telinde kaynak bölgesinde ciddi sertlik kayıpları gözlenirken, X 90-IG dolgu malzemesinde yüksek miktarda sertlik kaybı görülmemiştir. X 90-IG dolgu malzemesinde ıtab ve kaynak sırında sertlik kayıplarının düşük olması kopma yüzeyinde gevrek kırılma eğilimi göstermesine sebebiyet vermiştir. Mikro yapısal olarak üretim prosesinde martenzit yapıdan olan zırh çeliklerinin ısı tesiri altında değişen yapısal değişiklerde sertlik kaybı belirgin şekilde gözlenirken, karbür çökelmesinin olduğu kaynak sınırına yakın yerlerde büyük sertlik kayıpları olduğu belirlenmiştir.



Şekil 6.2. Vickers sertlik deneyi sonuçları

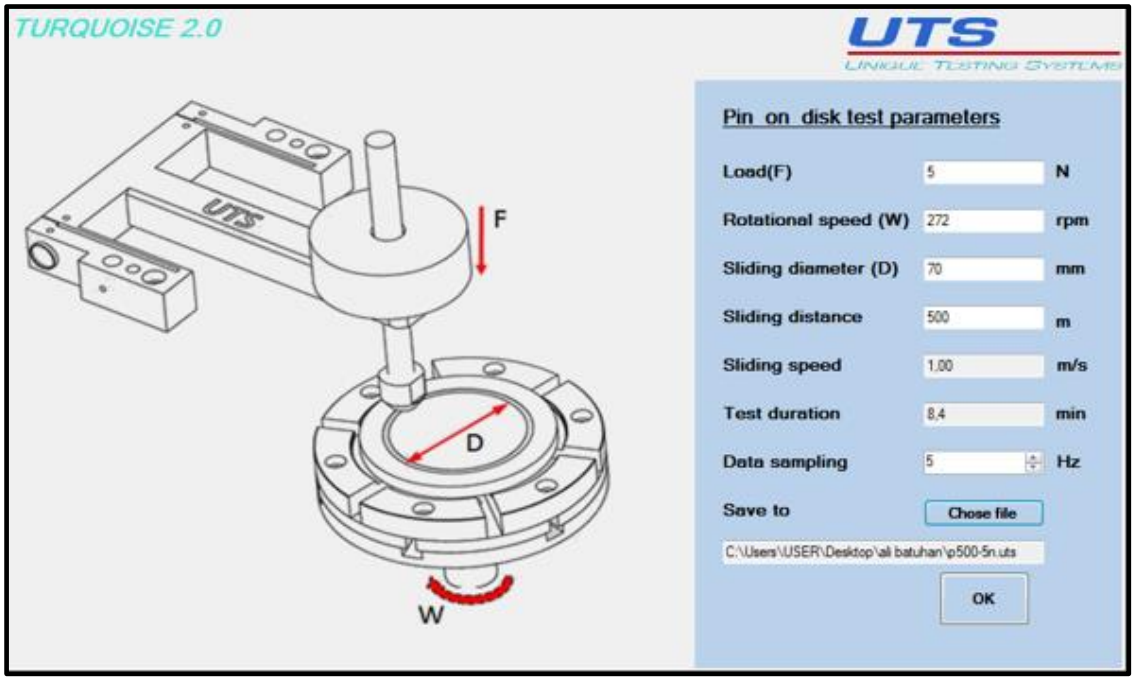
Düşük tokluğa sahip Mars 300 zırh çeliği ana malzemede çok yüksek sertliklere ulaşmışken kaynak bölgesinde Elox SG 307 dolgu malzemesinin kullanımı ve ısı girdisinden etkilenmesiyle en fazla sertlik farkı oluşan numune olmuştur. Protac 600 zırh çeliğinde ise ana metaldeki yüksek sertlik kaynak bölgesinde X 90-IG dolgu malzemesinin alaşım etkisi ile daha yüksekken, Elox 307 paslanmaz dolgu malzemesinin oluşturduğu kaynak bölgesinde daha yüksek sertlik kayıpları olmuştur. Protac 500 zırh çeliği X 90-IG dolgu malzemesi ile kaynak bölgesinde ana metaldeki ölçüm sertliğini korurken Elox 307 paslanmaz dolgu malzemesinde sertlik kayıpları yaşamıştır.



Resim 6.14. Sertlik ölçümlerinin alınmış olduğu bölgelerin görüntülenmesi

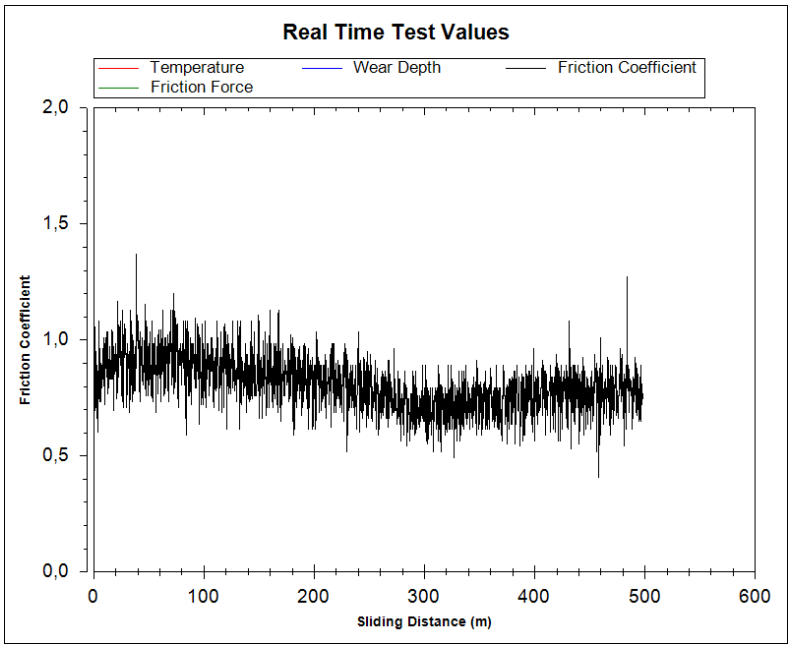
6.1.4. Abrasiv aşınma testi

Abrasiv aşınma, uygulanan yük ve hareketin etkisiyle temas eden iki cisimden daha sert olanının, pürüz tepecikleri ya da taneleri vasıtasıyla diğer cismi çizerek üzerinden mikron mertebesinde talaş kaldırılma olayıdır. Sert plan aşınma yüzeyi talaşı ile çizme kesme ve talaş kaldırarak meydana gelebilir. Temas eden iki cisimden biri diğerinden daha sert ve pürüzlü bir yüzeye sahipse, izafi hareketin ve temas basıncının sonucunda, karşı cismin yüzeyinden talaş kaldırarak hasar oluşturuyorsa, buna "İki-Cisimli (two-body) abrasiv aşınma" denir. Deneyde aşındırıcı yüzeyi sabit tutulup (120 mesh), yük değişimine zırh çeliklerinin göstereceği aşınma dirençleri incelenmiştir. Aşındırıcı yüzey alümina özlü 120 mesh tanecik boyutuna ait zımpara ile 5N, 10N ve 15N yükler altında 500 metre, 1 m/s hızda aşındırarak yapılmıştır. 3 farklı zırh çelikleri aynı parametrelerde işlem uygulanıp farklı yükler altındaki etkileri gözlenmiştir.



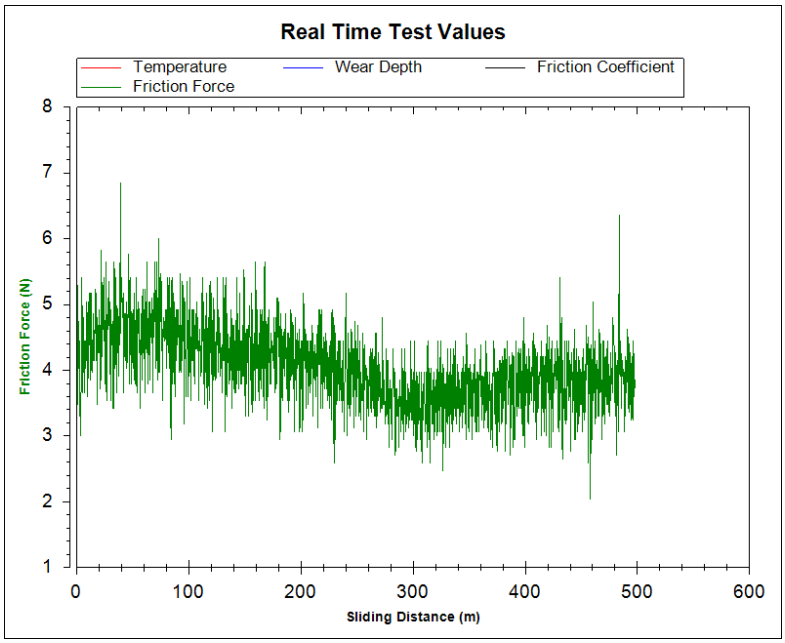
Resim 6.15. Abresiv aşınma parametreleri

Deneydeler de kullanılan ilk numune protac 500 zırh çeliği olmuştur. 120 mesh tanecik boyutuna ait aşındırıcı kağıt ile 5N yük altında 500 m kayma mesafesi ve 1 m/s kayma hızında dönmesi ile yapılmıştır. İlk ağırlık hassas tartıda 4,7020 g ölçülmüştür. Abrasiv aşınma işleminden sonra son ağırlık 4,5833 g ölçülmüştür. Ağırlık kaybı 0,1187 g olduğu gözlenmiştir.



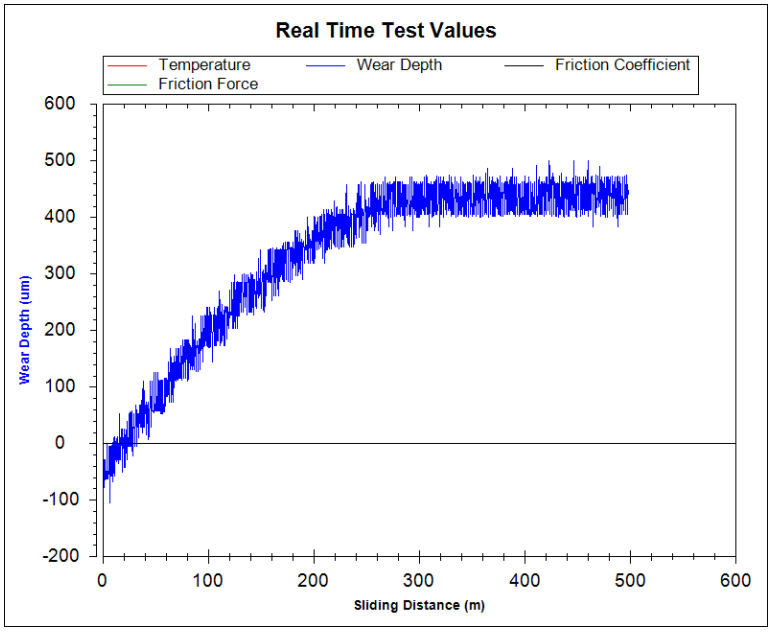
Şekil 6. 3. Protac 500 5N kuvvette sürtünme katsayısının belirlenmesi

Şekil 6.3. ‘de sürtünme katsayısı verilmiş olup sürtünme kuvvetinin yüzeyin tepki kuvvetine bölünmesi ile bulunur. 500 m kayma mesafesinde aldığı yoldaki sürtünme katsayısını göstermektedir.



Şekil 6.4. Protac 500 5N kuvvette sürtünme kuvveti

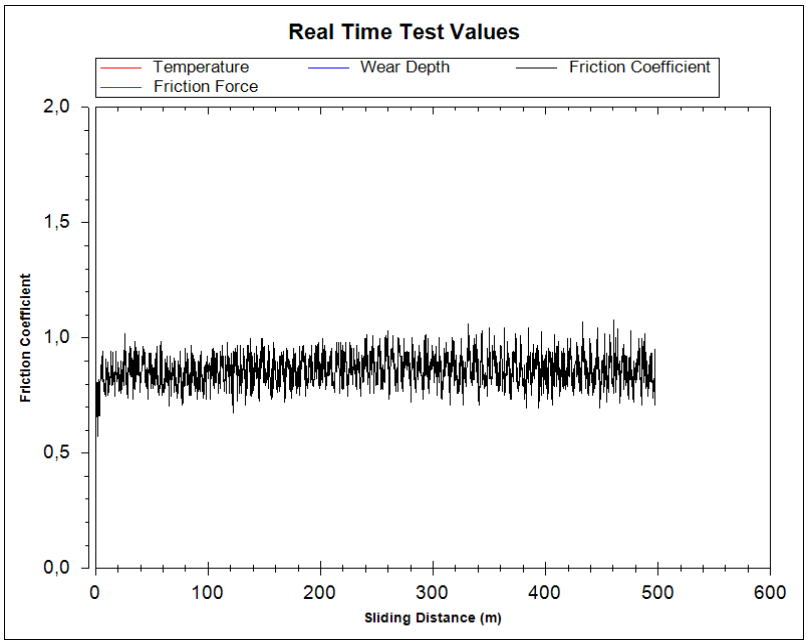
Şekil 6.4. ‘de protac 500 zırh çeliğinin 5 N yüke ulaştığını ve 500 m aşınma yolunda aynı kuvveti izlediğini göstermektedir.



Şekil 6.5. Protac 500 5N kuvvette aşınma derinliği

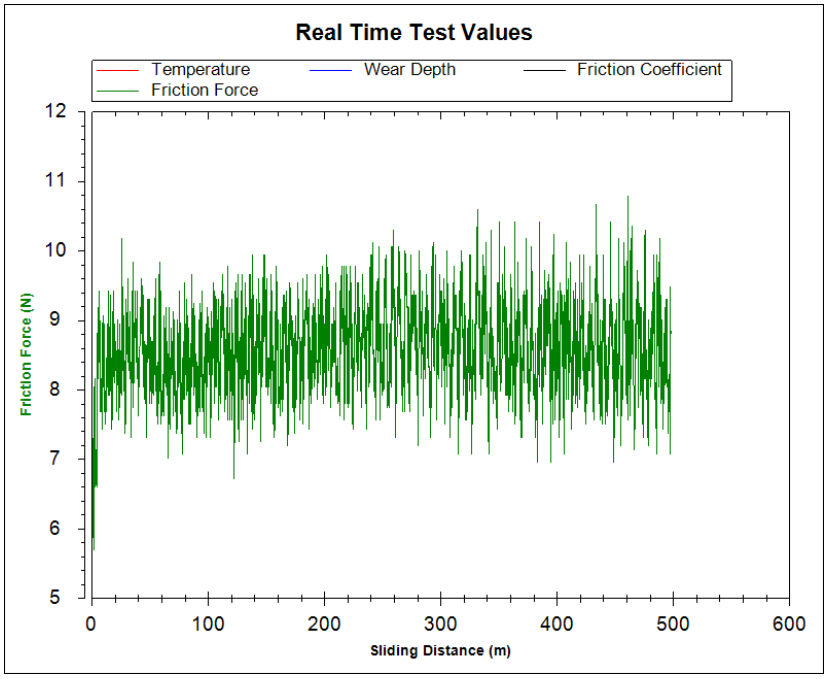
Şekil 6.5. ‘de protac 500 zırh çeliğinin 120 mesh aşındırıcı kağıtta 500 m ilerlemedeki aşınma derinliğini göstermektedir. 5 N kuvvette aşınma derinliği 300 m ‘den sonra belirli bir derinlikte ilerlemiştir. Derinliğin yol boyunda artması beklenmektedir.

Numune deneylerde kullanılan protac 500 zırh çeliği olmuştur. 120 mesh tanecik boyutuna ait aşındırıcı kağıt ile 10N yük altında 500 m kayma mesafesi ve 1 m/s kayma hızında dönmesi ile yapılmıştır. İlk ağırlık hassas tartıda 5,1981 g ölçülmüştür. Abrasiv aşınma işleminden sonra son ağırlık 4,6908 g ölçülmüştür. Ağırlık kaybı 0,5073 g olduğu gözlenmiştir. 10N kuvvet altında daha fazla aşınma gerçekleşmiştir.



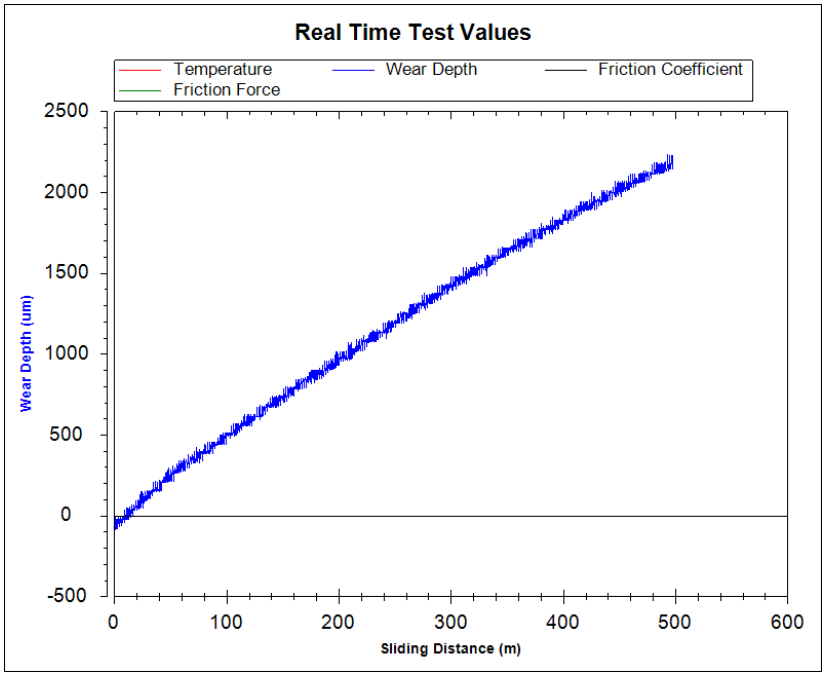
Şekil 6.6. Protac 500 10N kuvvette sürtünme katsayısı

Şekil 6.6. ‘da sürtünme katsayısı verilmiş olup sürtünme kuvvetinin yüzeyin tepki kuvvetine bölünmesi ile bulunur. 500 m kayma mesafesinde aldığı yoldaki sürtünme katsayısını göstermektedir.



Şekil 6.7. Protac 500 10N kuvvette sürtünme kuvveti

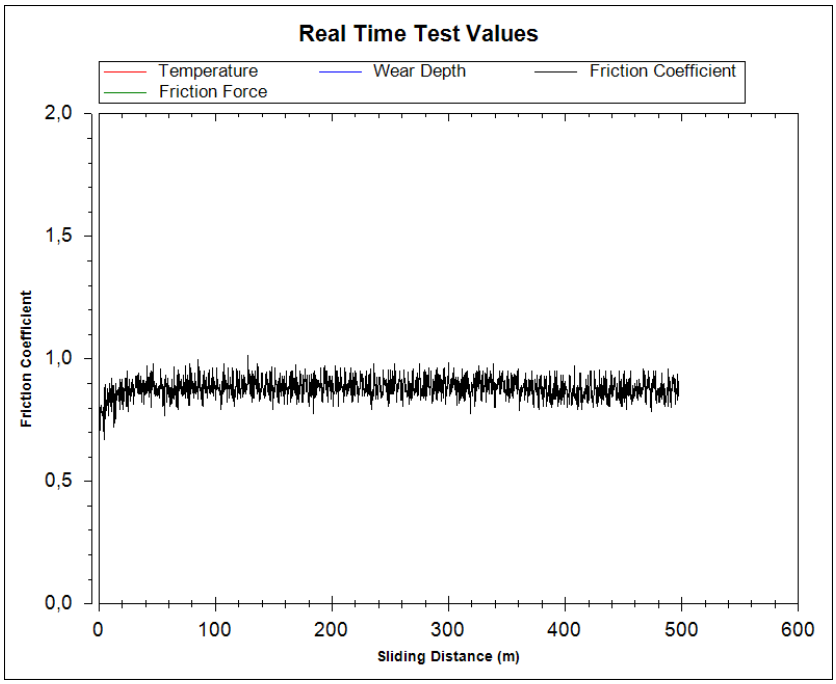
Şekil 6.7. ‘de protac 500 zırh çeliğinin 10 N yüke ulaştığını ve 500 m aşınma yolunda aynı kuvveti izlediğini göstermektedir.



Şekil 6.8. Protac 500 10N kuvvette aşınma derinliği

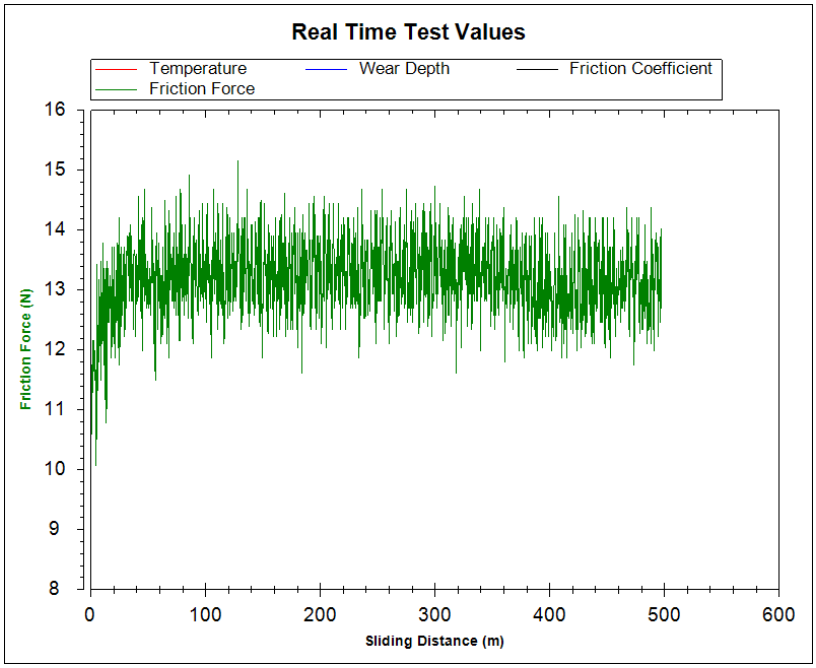
Şekil 6.8. ‘de protac 500 zırh çeliğinin 120 mesh aşındırıcı kağıtta 500 m ilerlemedeki aşınma derinliğini göstermektedir. 10 N kuvvette aşınma derinliği hep artan eğilim göstermiştir.

Numune deneylerde kullanılan protac 500 zırh çeliği olmuştur. 120 mesh tanecik boyutuna ait aşındırıcı kağıt ile 15N yük altında 500 m kayma mesafesi ve 1 m/s kayma hızında dönmesi ile yapılmıştır. İlk ağırlık hassas tartıda 4,1545 g ölçülmüştür. Abrasiv aşınma işleminden sonra son ağırlık 3,2359 g ölçülmüştür. Ağırlık kaybı 0,9186 g olduğu gözlenmiştir. 15N kuvvet altında diğer kuvvetlere göre daha fazla aşınma gerçekleşmiştir.



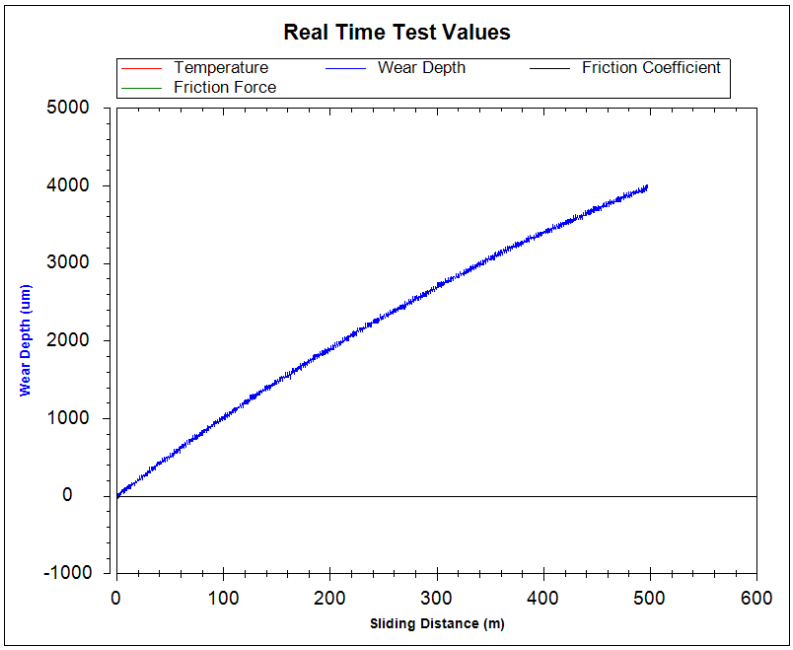
Şekil 6.9. Protac 500 15N kuvvette sürtünme katsayısı

Şekil 6.9. ‘de sürtünme katsayısı verilmiş olup sürtünme kuvvetinin yüzeyin tepki kuvvetine bölünmesi ile bulunur. 500 m kayma mesafesinde aldığı yoldaki sürtünme katsayısını göstermektedir ve sabit ilerlemiştir.



Şekil 6.10. Protac 500 15N kuvvette sürtünme kuvveti

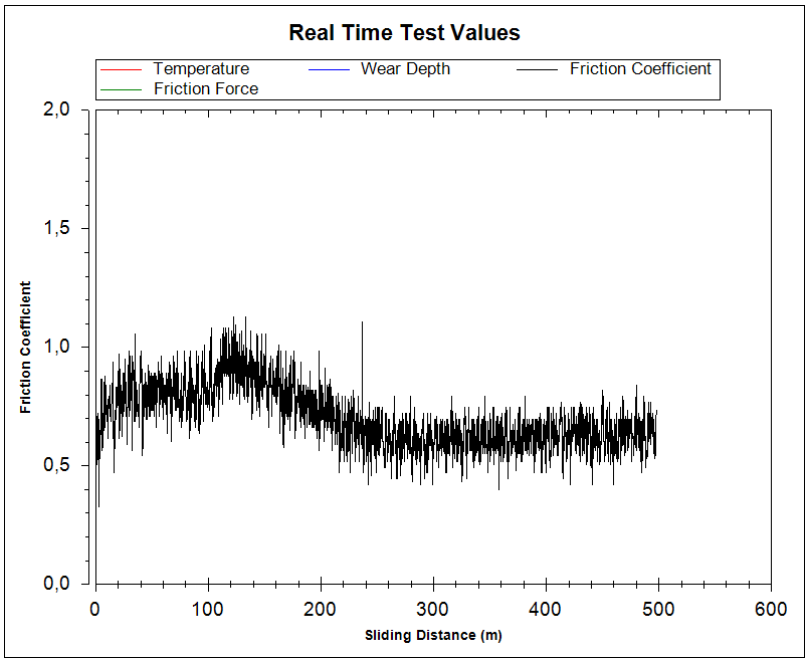
Şekil 6.10. ‘de protac 500 zırh çeliğinin 15 N yüke yakın seviyelere ulaşmaktadır ve 500 m aşınma yolunda aynı kuvveti izlediğini göstermektedir.



Şekil 6.11. Protac 500 15N kuvvette aşınma derinliği

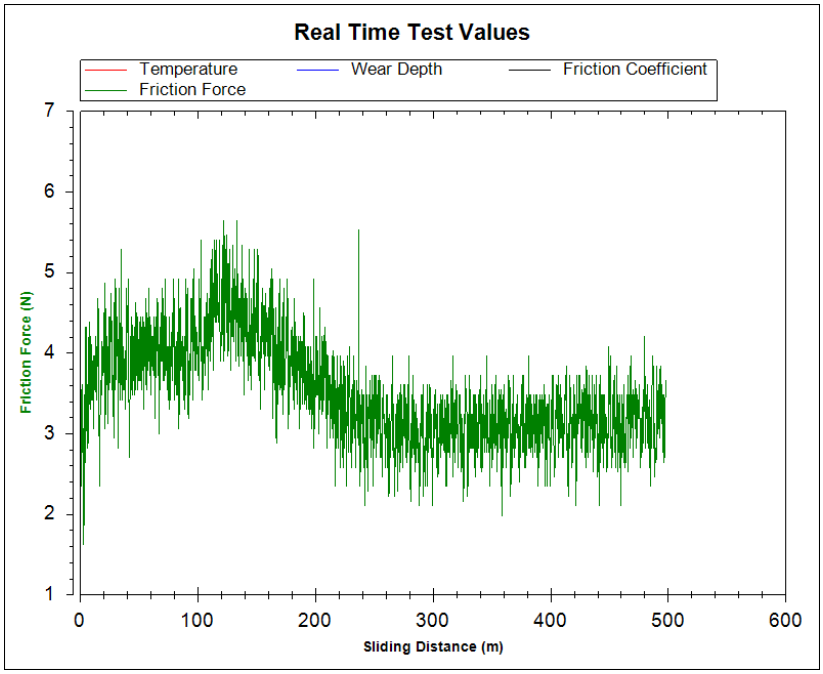
Şekil 6.11. ‘de protac 500 zırh çeliğinin 120 mesh aşındırıcı kağıtta 500 m ilerlemedeki aşınma derinliğini göstermektedir. 15 N kuvvette aşınma derinliği hep artan seviyede ilerlemiştir.

Deneylerde kullanılan numune protac 600 zırh çeliği olmuştur. 120 mesh tanecik boyutuna ait aşındırıcı kağıt ile 5N yük altında 500 m kayma mesafesi ve 1 m/s kayma hızında dönmesi ile yapılmıştır. İlk ağırlık hassas tartıda 5,6461 g ölçülmüştür. Abrasiv aşınma işleminden sonra son ağırlık 5,5381 g ölçülmüştür. Ağırlık kaybı 0,108 g olduğu gözlenmiştir.



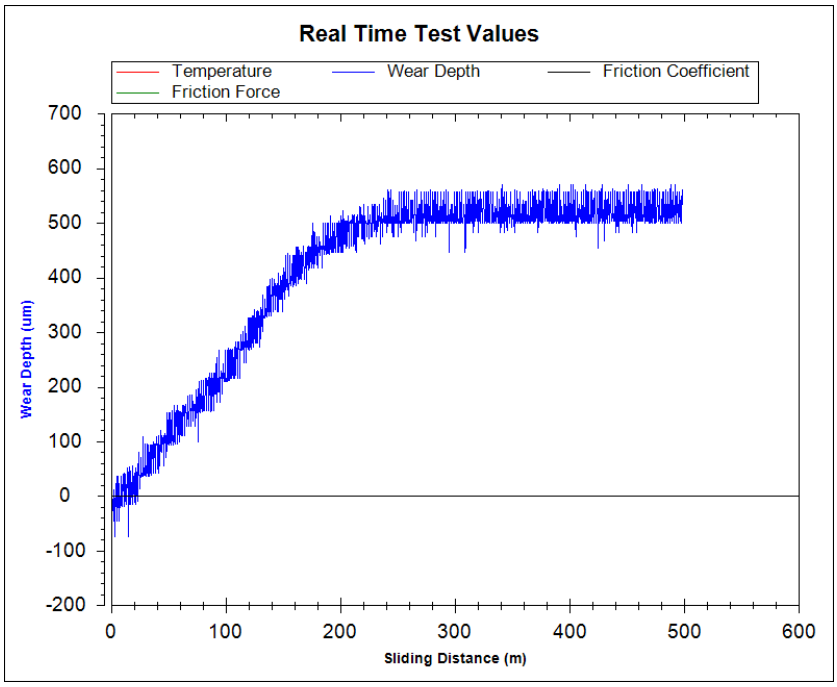
Şekil 6.12. Protac 600 5N kuvvette sürtünme katsayısı

Şekil 6.12. ‘de sürtünme katsayısı verilmiş olup sürtünme kuvvetinin yüzeyin tepki kuvvetine bölünmesi ile bulunur. 500 m kayma mesafesinde aldığı yoldaki sürtünme katsayısını göstermektedir. Başlarda artan sürtünme katsayısı artarken sonra sabit ilerlemiştir.



Şekil 6.13. Protac 600 5N kuvvette sürtünme kuvveti

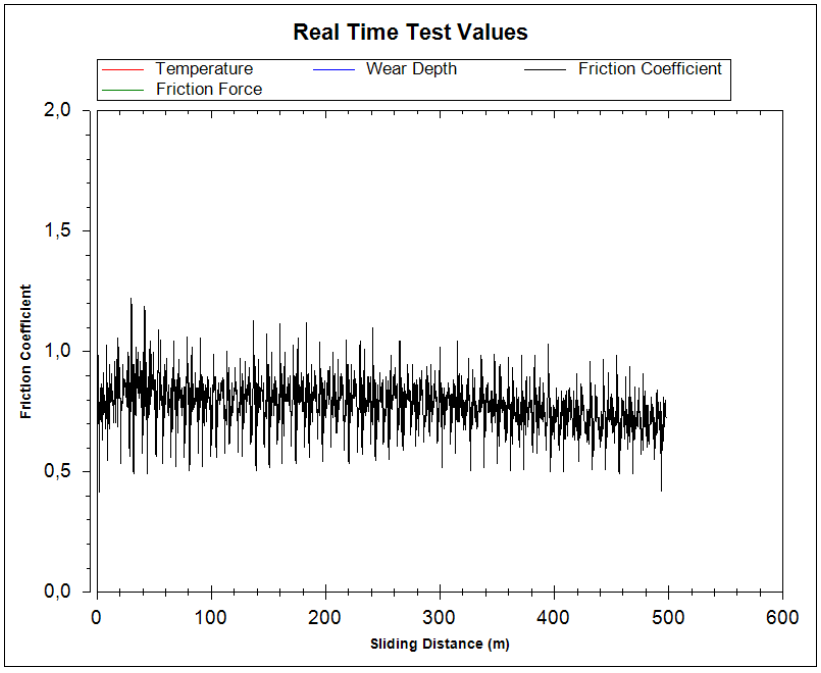
Şekil 6.13. ‘de protac 600 zırh çeliğinin 5 N yüke ulaştığını ve 500 m aşınma yolunda aynı kuvveti izlediğini göstermektedir. Başta 5 N yüke ulaşıp 200 m’den sonra kayıp yaşanmıştır.



Şekil 6.14. Protac 600 5N kuvvette aşınma derinliği

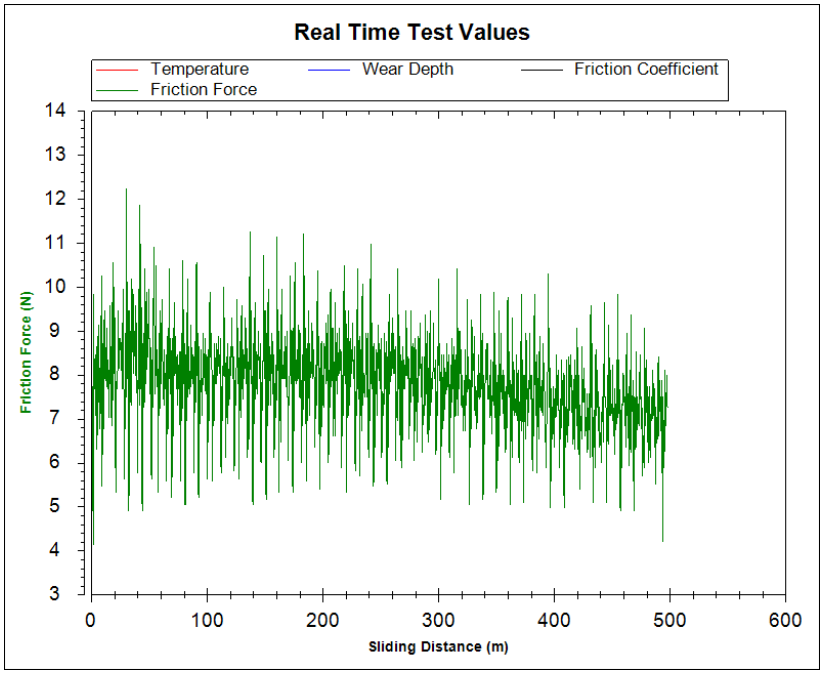
Şekil 6.14. ‘de protac 600 zırh çeliğinin 120 mesh aşındırıcı kağıtta 500 m ilerlemedeki aşınma derinliğini göstermektedir. 5 N kuvvette aşınma derinliği 300 m ‘den sonra belirli bir derinlikte ilerlemiştir.

Deneylerde kullanılan numune protac 600 zırh çeliği olmuştur. 120 mesh tanecik boyutuna ait aşındırıcı kağıt ile 10N yük altında 500 m kayma mesafesi ve 1 m/s kayma hızında dönmesi ile yapılmıştır. İlk ağırlık hassas tartıda 5,6520 g ölçülmüştür. Abrasiv aşınma işleminden sonra son ağırlık 5,2912 g ölçülmüştür. Ağırlık kaybı 0,3608 g olduğu gözlenmiştir. 10N kuvvet altında protac 600 zırh çeliğinde daha yüksek sertliğe sahip olduğu için çok az fark ile aşınma olmuştur.



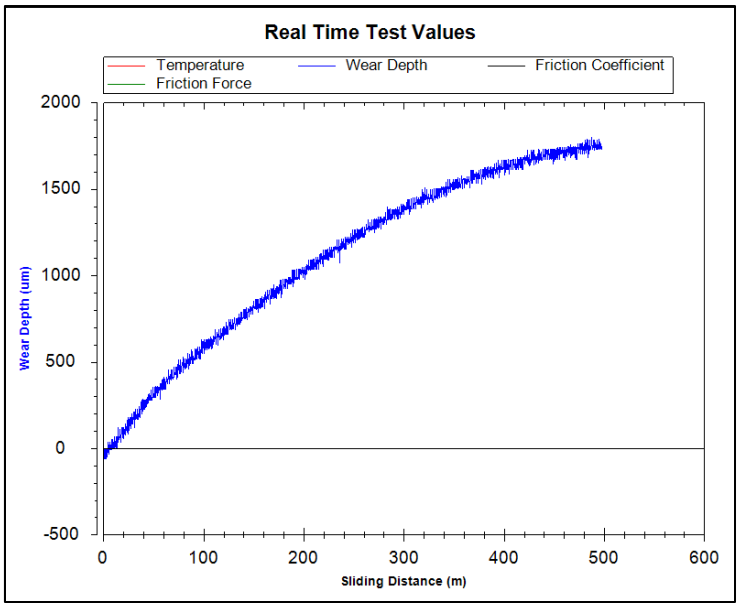
Şekil 6.15. Protac 600 10N kuvvette sürtünme katsayısı

Şekil 6.15. ‘de sürtünme katsayısı verilmiş olup sürtünme kuvvetinin yüzeyin tepki kuvvetine bölünmesi ile bulunur. 500 m kayma mesafesinde aldığı yoldaki sürtünme katsayısını göstermektedir.



Şekil 6.16. Protac 600 10N kuvvette sürtünme kuvveti

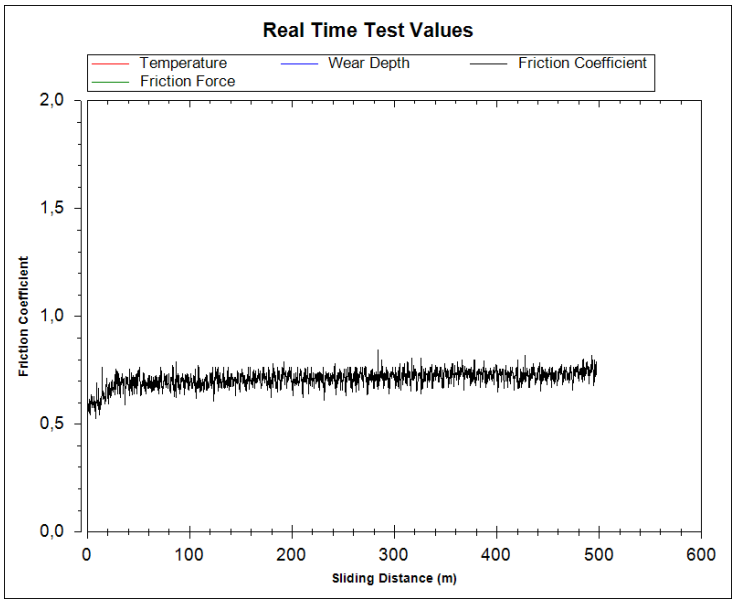
Şekil 6.16. ‘da protac 600 zırh çeliğinin 10 N yüke ulaştığını ve 500 m aşınma yolunda aynı kuvveti izlediğini göstermektedir.



Şekil 6.17. Protac 600 10N kuvvette aşınma derinliği

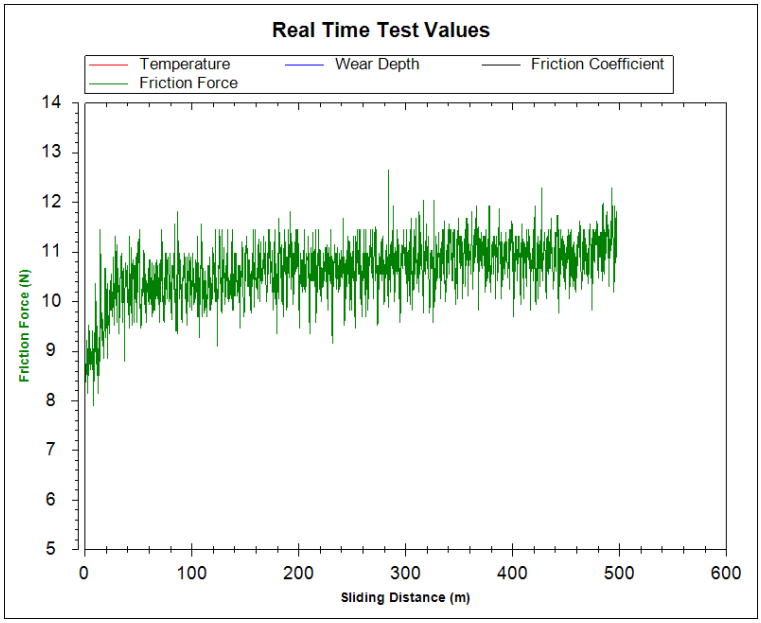
Şekil 6.17. ‘de protac 600 zırh çeliğinin 120 mesh aşındırıcı kağıtta 500 m ilerlemedeki aşınma derinliğini göstermektedir. 10 N kuvvette aşınma derinliği hep artmağı görülürken protac 500 zırh çeliğinin 10 N yük altındaki aşınma derinliği kadar artmamıştır.

Deneylerde kullanılan numune protac 600 zırh çeliği olmuştur. 120 mesh tanecik boyutuna ait aşındırıcı kağıt ile 15N yük altında 500 m kayma mesafesi ve 1 m/s kayma hızında dönmesi ile yapılmıştır. İlk ağırlık hassas tartıda 4,8820 g ölçülmüştür. Abrasiv aşınma işleminden sonra son ağırlık 4,0289 g ölçülmüştür. Ağırlık kaybı 0,8531 g olduğu gözlenmiştir. 15N kuvvet altında protac 600 zırh çeliğinde daha yüksek sertliğe sahip olduğu için protac 500 zırh çeliğine göre çok az aşınma olmuştur.



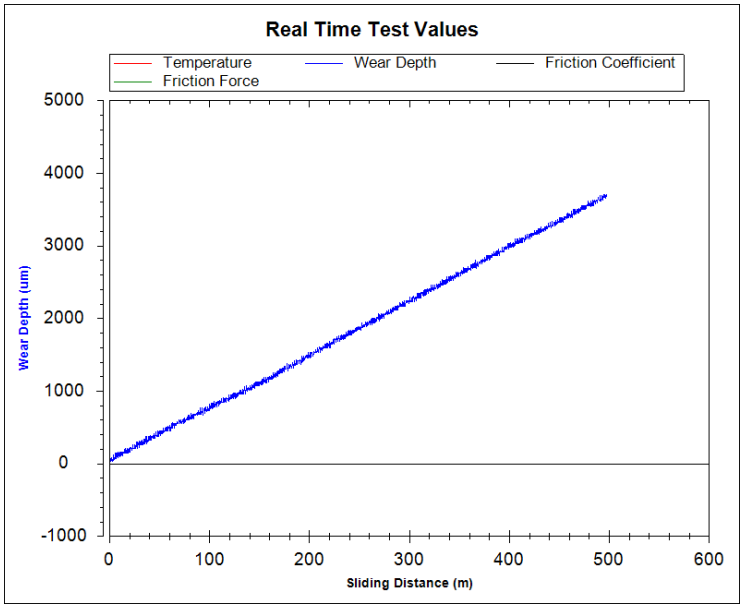
Şekil 6.18. Protac 600 15N kuvvette sürtünme katsayısı

Şekil 6.18. ‘de sürtünme katsayısı verilmiş olup sürtünme kuvvetinin yüzeyin tepki kuvvetine bölünmesi ile bulunur. 500 m kayma mesafesinde aldığı yoldaki sürtünme katsayısını göstermektedir ve daha stabil bir seviyede ilerlemiştir.



Şekil 6.19. Protac 600 15N kuvvette sürtünme kuvveti

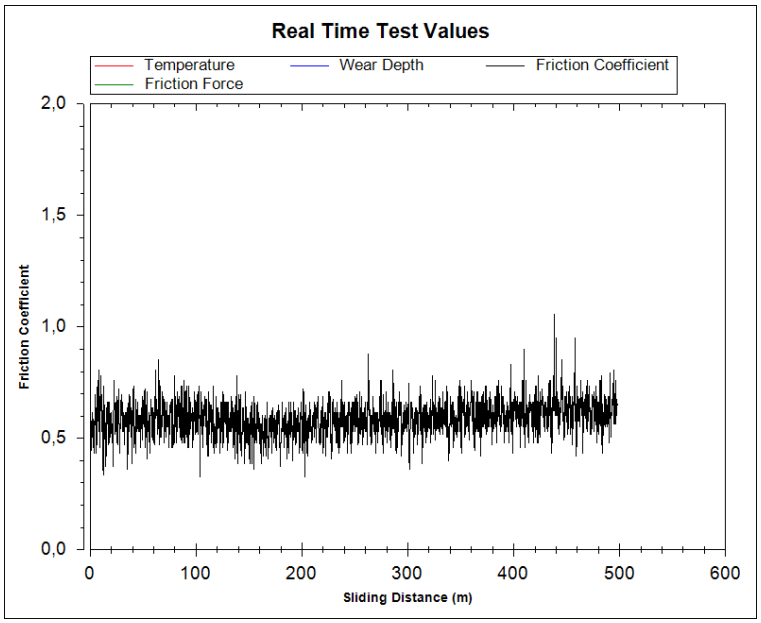
Şekil 6.7. ‘de protac 600 zırh çeliğinin 15 N yüke ulaştığını ve 500 m aşınma yolunda aynı kuvveti izlediğini göstermektedir. 15 N yüke tam ulaşamamıştır.



Şekil 6.20. Protac 600 15N kuvvette aşınma derinliği

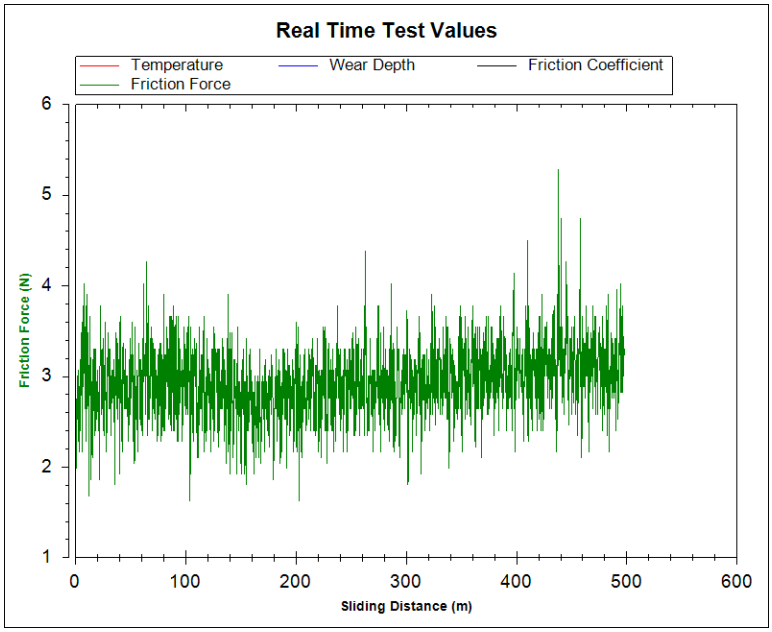
Şekil 6.20. ‘de protac 600 zırh çeliğinin 120 mesh aşındırıcı kağıtta 500 m ilerlemedeki aşınma derinliğini göstermektedir. 15 N kuvvette aşınma derinliği hep yükselen seviyede ilerlemiştir.

Deneylerde kullanılan numune mars 300 zırh çeliği olmuştur. 120 mesh tanecik boyutuna ait aşındırıcı kağıt ile 5N yük altında 500 m kayma mesafesi ve 1 m/s kayma hızında dönmesi ile yapılmıştır. İlk ağırlık hassas tartıda 5,6786 g ölçülmüştür. Abrasiv aşınma işleminden sonra son ağırlık 5,6405 g ölçülmüştür. Ağırlık kaybı 0,0381 g olduğu gözlenmiştir.



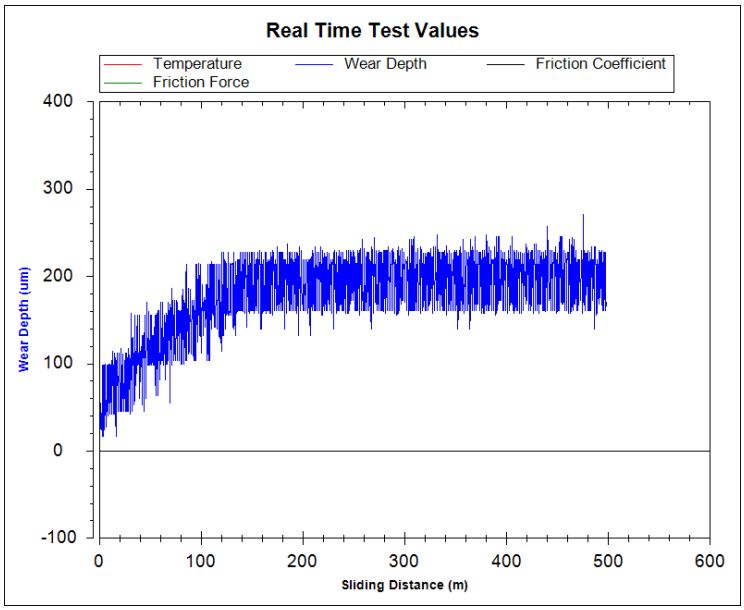
Şekil 6.21. Mars 300 5N kuvvette sürtünme katsayısı

Şekil 6.21. ‘de sürtünme katsayısı verilmiş olup sürtünme kuvvetinin yüzeyin tepki kuvvetine bölünmesi ile bulunur. 500 m kayma mesafesinde aldığı yoldaki sürtünme katsayısını göstermektedir.



Şekil 6.22. Mars 300 5N kuvvette sürtünme kuvveti

Şekil 6.22. ‘de mars 300 zırh çeliğinin 5 N yüke ulaştığını ve 500 m aşınma yolunda aynı kuvveti izlediğini göstermektedir.

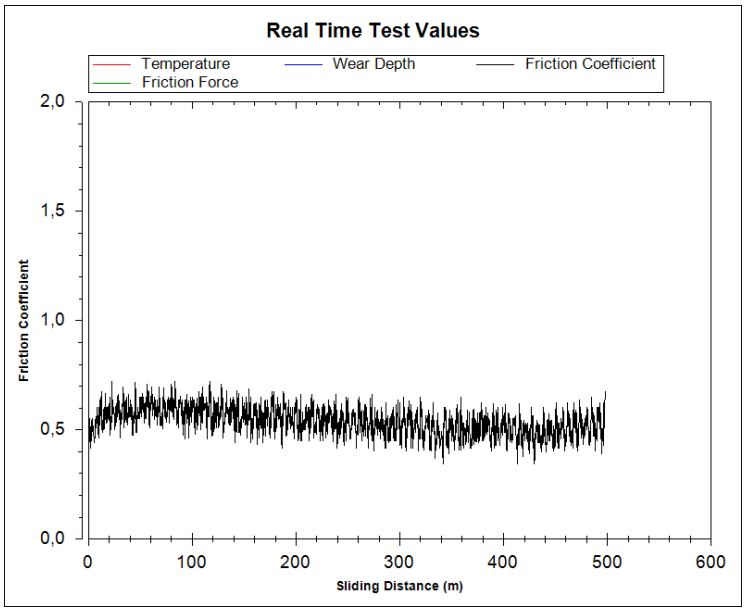


Şekil 6.23. Mars 300 5N kuvvette aşınma derinliği

Şekil 6.23. ‘de mars 300 zırh çeliğinin 120 mesh aşındırıcı kağıtta 500 m ilerlemedeki aşınma derinliğini göstermektedir. 5 N kuvvette aşınma derinliği 150 m ‘den sonra belirli

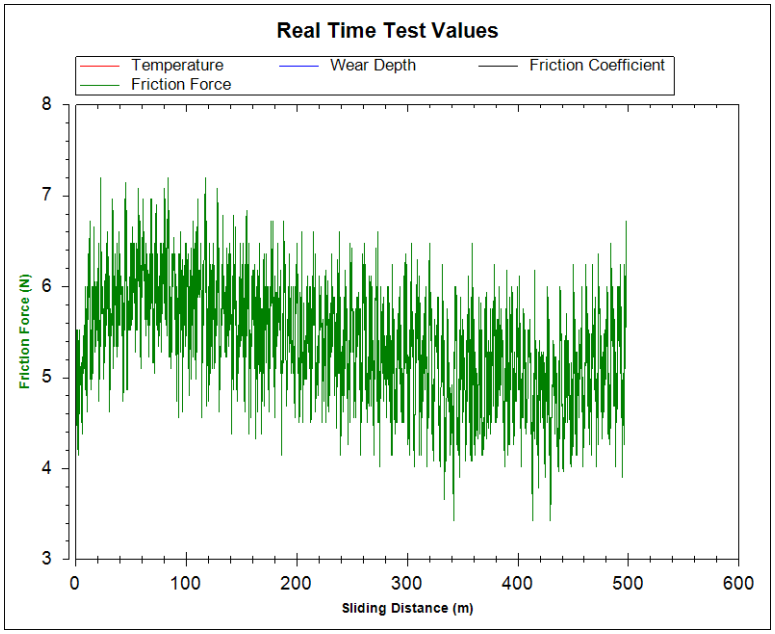
bir derinlikte ilerlemiştir. Sert malzemeye düşük kuvvetler uygulandığında aşınma derinliği belli bir yoldan sonra aynı kalmaktadır.

Deneylerde kullanılan numune mars 300 zırh çeliği olmuştur. 120 mesh tanecik boyutuna ait aşındırıcı kağıt ile 10N yük altında 500 m kayma mesafesi ve 1 m/s kayma hızında dönmesi ile yapılmıştır. İlk ağırlık hassas tartıda 5,4984 g ölçülmüştür. Abrasiv aşınma işleminden sonra son ağırlık 5,2872 g ölçülmüştür. Ağırlık kaybı 0,2112 g olduğu gözlenmiştir. Diğer zırh çeliklerine karşı kuvvet değerinde çok az aşınma gerçekleşmiştir.



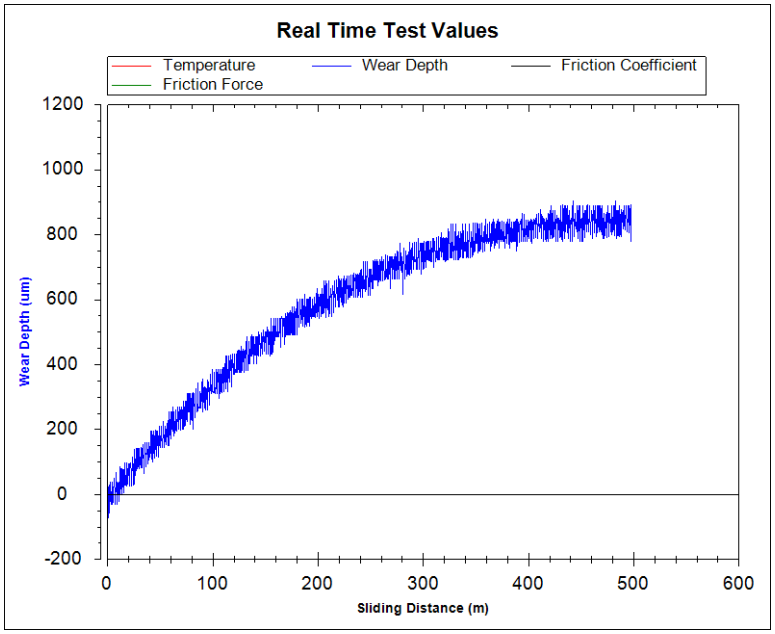
Şekil 6.24. Mars 300 10N kuvvette sürtünme katsayısı

Şekil 6.24. ‘de sürtünme katsayısı verilmiş olup sürtünme kuvvetinin yüzeyin tepki kuvvetine bölünmesi ile bulunur. 500 m kayma mesafesinde aldığı yoldaki sürtünme katsayısı biraz düşük seviyede sabit ilerlemiştir.



Şekil 6.25. Mars 300 10N kuvvette sürtünme kuvveti

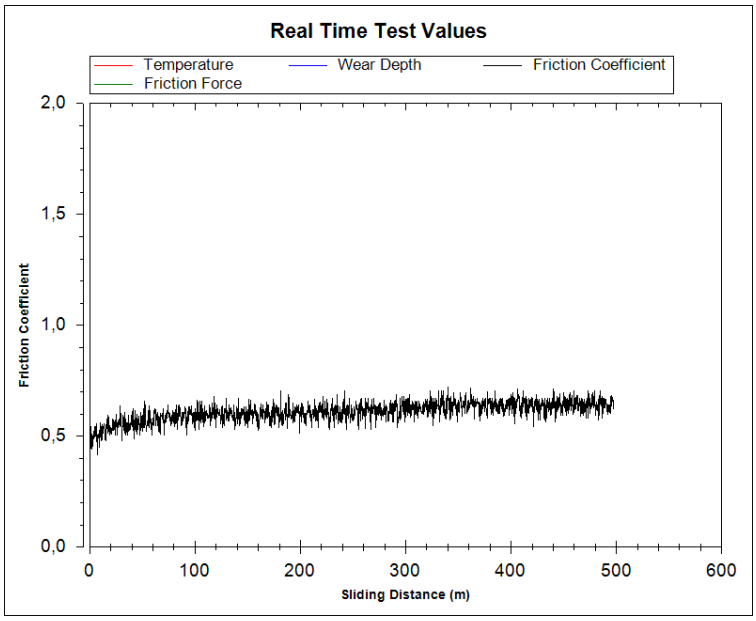
Şekil 6.7. ‘de mars 300 zırh çeliğinin 10 N yüke ulaştığını ve 500 m aşınma yolunda aynı kuvveti izlediğini göstermektedir. 10 N yüke ulaşamamıştır. 500 m aşınma yolu boyunca ulaşmadığı görülmüştür.



Şekil 6.26. Mars 300 10N kuvvette aşınma derinliği

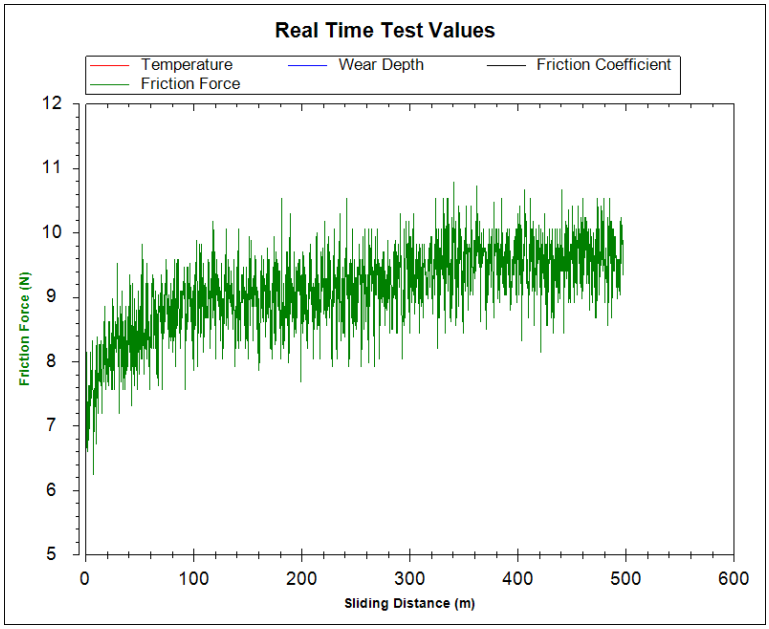
Şekil 6.26. ‘de mars 300 zırh çeliğinin 120 mesh aşındırıcı kağıtta 500 m ilerlemedeki aşınma derinliğini göstermektedir. 10 N kuvvette aşınma derinliği 150 m ‘den sonra belirli bir derinlikte ilerlemiştir.

Deneylerde kullanılan numune mars 300 zırh çeliği olmuştur. 120 mesh tanecik boyutuna ait aşındırıcı kağıt ile 15N yük altında 500 m kayma mesafesi ve 1 m/s kayma hızında dönmesi ile yapılmıştır. İlk ağırlık hassas tartıda 5,4154 g ölçülmüştür. Abrasiv aşınma işleminden sonra son ağırlık 4,9443 g ölçülmüştür. Ağırlık kaybı 0,4711 g olduğu gözlenmiştir. Diğer zırh çeliklerine karşı kuvvet değerinde çok az aşınma gerçekleşmiştir. Yüksek sertlik ve mukavemetli yapısı ile mars 300 çeliği abrasive aşınma testinde en az kütle kaybı yaşamıştır.

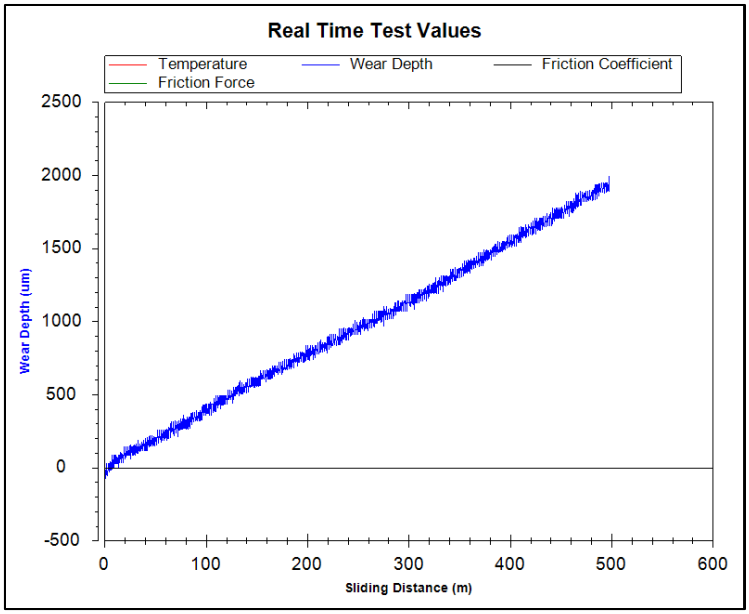


Şekil 6.27. Mars 300 15N kuvvette sürtünme katsayısı

Şekil 6.27. ‘de sürtünme katsayısı verilmiş olup sürtünme kuvvetinin yüzeyin tepki kuvvetine bölünmesi ile bulunur. 500 m kayma mesafesinde aldığı yoldaki sürtünme katsayısını göstermektedir.



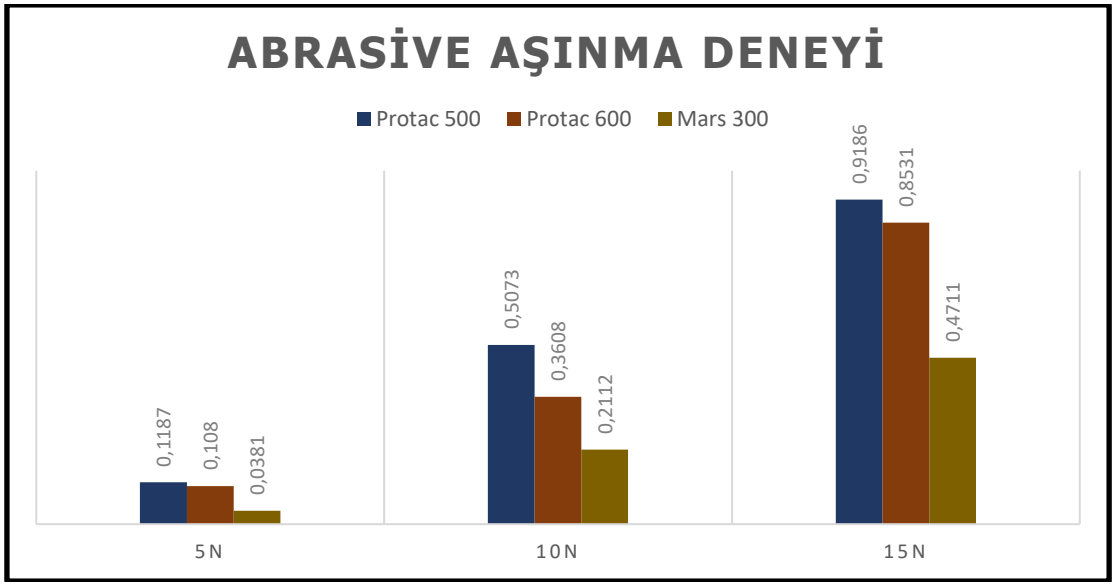
Şekil 6.28. Mars 300 15N kuvvette sürtünme kuvveti



Şekil 6.29. Mars 300 15N kuvvette aşınma derinliği

Şekil 6.29. ‘da mars 300 zırh çeliğinin 120 mesh aşındırıcı kağıtta 500 m ilerlemedeki aşınma derinliğini göstermektedir. 15 N kuvvette aşınma derinliği hep yükselen seviyede ilerlemiştir.

Şekil 6.30. ‘da farklı yükler altında abrasiv aşınma deneyi yapılan numunelerin kaybettikleri yük kayıpları sütün grafik şeklinde verilmiştir.



Şekil 6.30. Değişik yükler altında numunelerin abrasive aşınma davranışı

Abrasive aşınma deneylerin de tek aşındırıcı yüzeyde farklı kuvvetlerde etkileri incelenmiştir. Aşındırıcı alümina yüzey 120 mesh tane boyutunda belirlenip aşındırıcı yüzey sabit tutulup 5N, 10N ve 15N değişken kuvvet yükler altında gösterecekleri davranışlar incelenmiştir. 500 metre mesafe ve 1m/s hızda belirlenen parametrelerde farklı kuvvetler altında deneyler yapılmıştır. Zırh çeliklerinde elde ettiğimiz sonuçlarda yüksek sertliğe sahip zırh çeliklerinde sertlik arttıkça aşınma yüzeyi daha az deforme olduğu ve kayıp yaşadıkları belirlenmiştir. Kuvvetler arttıkça aşınma kayıpları da artarken Mars 300 zırh çeliği en az kütle aşınma kaybı yaşarken en fazla kütle aşınma kaybı Protac 500 zırh çeliği yaşamıştır. Alınan verilerde 5N kuvvet altında yaşanılan kütle aşınma kaybı daha minimum iken daha büyük kuvvetlerde daha fazla kütle aşınma kaybı yaşanmıştır.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada günümüzde savunma sanayi alanında sıkça kullanılan zırh çelikleri Protac 500, Protac 600 ve Mars 300'nin farklı dolgu malzemeleri ile kaynaklı imalatı ile mikro yapı değişiklikleri, sertlikleri, balistik mukavemetleri incelenmiş ve bu değişimlerin balistik özelliklere etkisi yorumlanmıştır. Oluşan değişimlerde ısı tesirinde kalan (Itab) bölgedeki değişim ve kaynak bölgesindeki değişim farkları incelenmiş ve deneylerde kullanılan farklı dolgu malzemelerinin mikroyapıdaki değişimleri ile etkileri belirlenmiştir. Farklı dolgu malzemelerinin alaşımlamada oluşturdukları farklılıklar gözlenmiş ve sertlik farkı belirlenmiştir. Dolgu malzemelerinin mikro yapıda oluşturdukları değişimler ile tane sınırında oluşan çökelmeler mikroskobik incelemeler ile belirlenmiştir.

Bu çalışmada kullanılan Protac 500, Protac 600 ve Mars 300 zırh çeliklerinin mekaniksel özellikleri olan sertlik ve tokluk değerleri firma sertifikasında Protac 500 çeliği için 480-530 HB sertlikte -40 ^{0}C sıcaklıkta 35J tokluk verdiği, Protac 600 çeliği için 570-650 HB sertlikte -40 ^{0}C sıcaklıkta 35J tokluk verdiği, Mars 300 çeliği için 600-630 HB sertlikte -40 ^{0}C sıcaklıkta 35J tokluk olarak verilmiştir. Numunelerin dolgu malzemelerinin sertlik, tokluk değerleri ise X 90-IG dolgu malzemesi için çekme dayanımı 940-960 (N/mm2), çentik darbe dayanımı +20°C 130 J, Elox 307 SG paslanmaz dolgu malzemesi çekme dayanımı 580-750 (N/mm2), çentik darbe dayanımı +20°C 130 J olarak belgelendirilmiştir. İlk kademede ısı girdisi en düşük seviyede tutulup balistik özelliklere, mikro yapı, sertlik, tokluğa en az etki edecek parametreler belirlendi. Belirlenen parametrelerde yöntem mag, paso sayısı 3-4, akım 205-215 amper DC+, kaynak hızı 600 mm/min, tel hızı 1.95 ve karışım gazı belirlenmiştir.

- Kaynaklı imalat sonrası çekme numuneleri hazırlanmış olup uygulanan çekme testi sonuçlarında zırh çeliklerinin yüksek sertlikte olduklarından boyun vermeden koptukları gözlenmiştir. Farklı dolgu malzemelerinin oluşturdukları etki daha net şekilde gözlemlenmiştir, X 90-IG dolgu malzemesi ile yapılan kaynaklı imalatların çekme testi sonuçlarında eser miktarda boyun vererek, kopma yüzeyinde daha keskin düz yüzeylerin olması gevrek kırılma ile koptuğunu göstermektedir. Elox SG 307 paslanmaz dolgu malzemesiyle kaynaklı imalatının çekme testi sonuçlarına göre kopma yüzeyleri tam düz olmayıp pürüzlü şekilde kopmuştur. Sünek kırılma mekanizması ile

koptuğunu söyleyebiliriz. Bunun nedeni kaynak dikişinin eriştiği mukavemet değerinin östenitik esaslı paslanmaz çelik telin mukavemet değerinden yüksek oluşundan kaynaklanmaktadır. Çünkü sünek kırılma yüksek orandaki plastik deformasyon sonrasında meydana gelir ve malzeme kırık yüzeyinde koni çanak şeklinde bir kırık yüzey oluşumu kendini gösterir.

- Çekme testi sonuçlarına göre Protac 500, Protac 600 ve Mars 300 zırh çeliklerinde X 90-IG dolgu malzemesi ile kaynaklı imalatlarında 1000 Mpa'ların üzerinde dayanım görülürken, Geka Elox 307 de mekanik verilerin 700-800 Mpa olduğu görülmüştür.
- Kaynaklı imalat sonucu kaynaklı bölge, ıtab bölgesinde mikro yapı değişimi meydana gelmiştir. Oluşan bu mikro yapı değişimleri özel üretim prosesine sahip zırh çeliklerinin ışıl işlemler sonucu kazandığı mukavemeti yüksek derecede etkilemiş olup, sertlik kayıplarına sebep olmuştur.
- Zırh çelikleri genel üretim proseslerinde gördükleri ışıl işlemler ile dış yüzeyinde martenzit yapıya sahiptirler. Bu yapı sertlik ve mukavemet sağlarken, kaynak ve ısıdan etkilenmiş (ıtab) bölgesinde oluşan mikro yapı değişimlerinde X 90-IG dolgu malzemesi ile yapılan kaynaklarda ıtab bölgesinde sementit yapı ağırlıkta görülürken, kaynak bölgesinde alfa ferrit daha belirgin şekilde meydana gelmiştir. Elox SG 307 dolgu malzemesinin ıtab bölgesinde perlit ve ferritik yapı gözlenirken ıtab kaynak sınırında krom karbür çökelmesi gözlenmiştir. Bu krom karbür çökelmesi tane sınırlarında gerçekleştiği için sertlik ve mukavemette yüksek derecede kayıplara sebebiyet vermiştir. Kaynak bölgesinde çökelme devam ederken östenitik yapıya da geçiş yaptığı belirlenmiştir
- Vickers sertlik ölçümü ana metal, ıtab bölgesi ve kaynak olmak üzere 3 bölge baz alınmış olup mikro yapıları alınan numuneler üzerinde yapılmıştır. Mikro sertlik ölçümleri HV sertlik skalası ile 50 gramlık yük altında gerçekleştirilmiştir. Sertlik ölçümleri bir adet kaynak dikişinden alındıktan sağa ve sola 0,1mm gidilerek ITAB bölgelerinden, ana malzemeden ve kaynaklı bölgeden olmak üzere numunede ölçüm alınmıştır. Yapılan ölçüm ve sonuçlarda Elox SG 307 paslanmaz dolgu telinde kaynak bölgesinde ciddi sertlik kayıpları gözlenirken, X 90-IG dolgu malzemesinde yüksek miktarda sertlik kaybı görülmemiştir. X 90-IG dolgu malzemesinde ıtab ve kaynak sırında sertlik kayıplarının düşük olması kopma yüzeyinde gevrek kırılma eğilimi göstermesine sebebiyet vermiştir. Mikro yapısal olarak üretim prosesinde martenzit yapıdan olan zırh çeliklerinin ısı tesiri altında değişen yapısal değişiklerde sertlik kaybı

belirgin şekilde gözlenirken, karbür çökelmesinin olduğu kaynak sınırına yakın yerlerde büyük sertlik kayıpları olduğu belirlenmiştir.

- Vickers sertlik ölçümlerinden elde edilen veriler doğrultusunda en fazla kaynak bölgesinde sertlik kayıplarının yaşandığı görülüp, en fazla sertlik kaybının ise Elox SG 307 dolgu malzemesinde ortalama 300 HV ölçüm değeri kaynaklı bölgede görülmüştür. Itab bölgesinde daha düşük sertlik kayıpları mevcutken, kendi içlerinde daha yüksek sertliğe sahip olan zırh çelikleri Mars 300 ısı tesiri altındaki bölgede hangi dolgu malzemesi olursa olsun çok etkilenmezken kaynak bölgesinde gözle görülür sertlik kaybı yaşamıştır. Ortalama 600-700 HV sertliğe sahip Mars 300 zırh çeliği kaynak bölgesinde 380 HV'lere kadar düştüğü gözlenmiştir. Kaynak bölgesinde X 90-IG dolgu malzemesi ile kaynaklı imalatı gerçekleştirilen Protac 500 zırh çeliğinin kaynaklı bölgede de çok az sertlik kaybı yaşadığı ortalama 500 HV sertliği koruduğu belirlenmiştir, SG 307 paslanmaz dolgu telinde ise 300 HV sertliğe kadar Protac 500 zırh çeliğinin düştüğü görülmüştür. Protac 600 zırh çeliği ana metal ve ıtab bölgesinde her iki dolgu malzemesinde 600-700 HV sertliğini korurken kaynaklı bölgede X 90-IG dolgu malzemesinde 500 HV sertliğe SG 307 paslanmaz dolgu malzemesinde ise 350-400 HV sertliğe kadar düştüğü gözlenmiştir.
- Abrasive aşınma deneylerinde aşındırıcı malzeme olarak 120 mesh tane boyutunda Alumina kullanılmış olup 5N, 10N ve 15N değişken kuvvet yükler altında gösterdikleri davranışlar incelenmiştir. 500 metre aşınma yolunda ve 1m/s hızla belirlenen parametrelerde farklı kuvvetler altında yapılan deneylerde 5N kuvvet yük altındaki zırh çelikleri Protac grubu çelikler ortalama 0,1 gram kütle aşınma kaybı yaşarken Mars 300 0,03 gram kütle aşınma kaybı oluşmuş, kuvvet yük arttıkça orantılı olarak kütle aşınma kaybı yaşamıştır. Yüksek sertliğe sahip Mars 300 zırh çeliği kuvvet yük arttıkça aşınma ile 15N yük altında 0,47 gram kütle aşınma kaybı yaşarken diğer zırh çeliklerine göre daha azdır. Gevrek ve sert yapısı aşınma direncinin yüksek olmasına sebebiyet vermiştir. Protac grubu ise 0,8-0,9 gram kütle aşınma kaybı yaşayarak daha fazla yük kaybı yaşamıştır.

7.1. Öneriler

- Kaynaklı imalatta ön sıcaklık tavlamamız 150° alınıp pasolar arası sıcaklığa dikkat edilerek, her paso 150°'e kadar kontrollü soğutulup oluşan ısı girdisi ile daha fazla yapısal değişiklik (gevreklik, sertlik kaybı vb.) kontrol altında tutulabilir.

- Yüksek mukavemete sahip, alaşımlaması yüksek dolgu malzemeleri kullanmak iç yapı ve mekaniksel özellikleri korumaktadır.
- En düşük ısı girdisi olacak şekilde kaynak işlemi yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

1. Yakut, Volkan. (2015). *Zırh Çeliklerinin Ferritik Ve Östenitik Dolgu Malzemeleri ile Kaynağının İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 96-153.

2. Kara, Sedat. (2012). *Çelik Esaslı Zırh Malzemesinin 307si Elektrodu İle Kaynak Edilebilirliğinin ve Mikroyapı Üzerindeki Etkisinin Deneysel Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 160-171.

3. Yiğittürk, N. (2016). *Ramor Zırh Çeliği ile Aısı 304 Paslanmaz Çelik Çiftlerinin Plazma Transferli Ark Kaynak Yöntemi İle Birleştirilebilirliğinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 60-100.

4. Deniz, H. (2009). *Çift Fazlı Bir Çeliğin 7,62 Mm'lik Zırh Delici Mermi Karşısında Balistik Davranışının İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 97-98.

5. Atapek, Ş. H. (2006). *Zırh Çeliklerinin Fiziksel Metalurjik Esaslar Doğrultusunda Geliştirilmesi Ve Karakterizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 63-69.

6. İpek, N. E. 2010). *Kaynak Ağzı Açısının Ve Geometrisinin Zırh Malzemesinin Mekanik Özellikleri Üzerindeki Etkisi*, Yüksek Lisan Tezi, Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 28, 193-208.

7. Kurt, S. (2015). *Farklı Kaynak Ağzı Açısı ve Geometrilerinde Gerçekleştirilen Kaynakların Mıl-A 46100 Zırh Çeliği Mikroyapısına ve Mekanik Özelliklerine Etkisinin Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Kara Harp Okulu Savunma Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 72-98.

8. Gençoğlu, S. (2006). *Bor Karbür Esaslı Seramik Zırh ve Adhesiv Aşınma Uygulamaları*, Yüksek Lisans Tezi Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 44-56.

9. Merzalı, C. E. (2013). *Zırh Çeliklerinde Kaynak Sonrası Isı Tesiri Altında Kalan Bölgenin Özelliklerinin Isıl İşlem ile İyileştirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 35-45.

10. Carlucci, D. E., and Jacobson, S. S. (2008). *Ballistics; Theory And Design Of Guns And Ammunition*, Taylor & Francis Group, New York, 3-429.

11. Memiş, İ. (2016). *Impact Response Of Ramor500 Armor Steel Subjected To Hıgh Velocıtıes, Graduate School Of Natural And Applıed Scıence*, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 23-65.

12. İnternet: Sij-Acroni Protac 500 Dataheet, Protac 600 Datasheet. Web: https://www.cemar-international.com/Portfolio/Ballistic-And-Blast-Steel/ Erişim Tarihi: 06.07.2021

13. İnternet: Arcelor-Mittal Mars 300 Ultra High-Hardness Steel Datasheet. Web: https://industeel.arcelormittal.com/Product/Protection-Steels/ Erişim Tarihi: 15.07.2021

14. Maweja, K., Stumpf, W., Van Der Berg, N., Characteristic Of Martensite As A Function Of The Ms Temperature İn Low-Carbon Armour Steel Plates, *Materials Science And Engineering A*, 519, 121-127, 2009.

15. Gıngell, A. D. B., Bhadeshıa, H. K. D. H., Jones, D. G., Mawella, K. J. A., Carbide Precipitation İn Some Secondary Hardened Steels, *J. Mater Sci.* 32, 4815- 4820, 1997

16. Fulford, M., Sım, D., Doıg, A., Paınter, J., In Defence Of Rome: A Metallographic Investigation Of Roman Ferrous Armour From Northern Ritain, *Journal Of Archaeological Science*, 32, 241–250, 2005.

17. Manganello, S. J., Wılson, A. D., Direct Quenching And İts Effects On High-Strength Armor Plate, Int. Symp. Low Carbon Steels For The 90's, Ed. R. Asfahani, G. Tither, The Minerals, *Metals & Materials Society,* 235- 241, 1993.

18. Orta Doğu Teknik Üniversitesi (2016). Kaynak Mühendisliği Eğitim Notları. ODTÜ. Ankara

19. Oğuz B. (1989). *Ark Kaynağı*, Oerlikon, Istanbul, 19-89.

20. Anık, S. (1998). *Kaynak Tekniği El Kitabı, Yöntemler Ve Donanımlar*, Gedik Eğitim Vakfı Yayınları, 23-24.

21. Anık S., Tülbentci K., ve Kalunç E. (1981). *Örtülü Elektrot İle Elektrik Ark Kaynağı*, Gedik Holding Yayınları, İstanbul, 24-28.

22. Geçmen, İ. (2006). *Çeliklere Gazaltı Kaynağının Uygulanması*, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul, 20-26

23. Tülbentçi, K. (1998). Tozaltı Kaynak Yönteminin Üstünlükleri ve Uygulama Alanları, *Kaynak Dünyası Dergisi*, 1998/1, 24-26.

24. Hellıer, C. J. (2003). *Handbook Of Nondestructive Evaluation*, Mcgraw-Hill, ABD

25. İnternet: Böhler X 90-Ig Datasheet Web: www.böhler-welding.com Erişim Tarihi: 12.10.2021.

26. İnternet: Geka Elox Sg307 Datasheet Web: https://gedikkaynak.com.Tr/Tr/Product-Detail/Elox-Sg-307 Erişim Tarihi: 13.10.2021.

27. Asm, Metals Handbook Volume 9 Metallography And Microstructures (Metallography And Microstructures, (4th edition), ABD, Asm International, 1184

28. Honeycombe, R. W. K., 'Steels – Microstructure And Properties', Metallurgy And Materials Science Series, United Kingdom, (1981), 457

29. Mehmet T. ve Mahmut İ. (2008) *Bor karbür Kaplanmış Aısı 8620 ve Hardox 400 Çeliklerinin Abrasiv Aşınma Davranışlarının İncelenmesi*, Doktora tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 192

30. Gür., A., K. Katı, N., ve Taşkaya, S. (2019). *The Evaluatıon Theoretıcal and Experımental of Abrasive Wear Behavıor of Heat Treatment Applıed Ramor 500 Steel*, Yayınlanmış Doktora tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elağzı, (221-226)

31. Kosec, B., Nagode, A. and Kosec L, (2014), *Protac 500 – Armored Steel of New Generatıon, 10th Scientific/Research Symposium With International Participation*. University of Ljubljana, Faculty of Natural Sciences and Engineering Ljubljana Slovenia

32. Bernetič J., Kosec G. and Kosec B. (2013) , Jeklo Nove Generacije Protac 500, Kolej general ed. Slovene

33. Kurt İ. (2006). *Tıg Kaynak Yöntemiyle Birleştirilen Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 24-26.



GAZİ GELECEKTİR..