



**T.C.
YALOVA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI**

**ELEKTRİK NOKTA DİRENÇ KAYNAKLI DP 980 ÇELİK SACLAR İLE
PASLANMAZ ÇELİK SACLARIN KOROZYON DİRENCİNİN MEKANİK
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

JUNAID ATA ZAINEL ZAINEL

DANIŞMAN: PROF.DR. İBRAHİM SEVİM

**YALOVA
TEMMUZ 2025**



T.C.
YALOVA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

MAKİNA MÜHENDİLİĞİ ANABİLİM DALI
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI

ELEKTRİK NOKTA DİRENÇ KAYNAKLI DP 980 ÇELİK SACLAR İLE PASLANMAZ
ÇELİK SACLARIN KOROZYON DİRENCİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE
ETKİSİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

JUNAID ATA ZAINEL ZAINEL

248113003

DANIŞMAN: PROF.DR. İBRAHİM SEVİM

YALOVA
TEMMUZ 2025

ETİK BEYAN

Yalova Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez/Proje Yazım Kuralları'na uygun olarak hazırladığım “ELEKTRİK NOKTA DİRENÇ KAYNAKLI DP 980 ÇELİK SACLAR İLE PASLANMAZ ÇELİK SACLARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu tez çalışmada; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir, aksinin tespiti halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi taahhüt ve beyan ederim.

İmza

JUNAID ATA ZAINEL ZAINEL



ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim boyunca benden yardımlarını esirgemeyen, akademik anlamda bana her zaman destek olan ve doğru yolu gösteren sayın danışman hocam Prof. Dr. İbrahim Sevim beyefendiye teşekkür ederim.

Her zaman yanımda oldukları ve benden desteklerini hiçbir zaman esirgemedikleri için anneme ve babama; kıymetli eşim hanımefendiye ve sevgili oğluma teşekkür ederim.

Temmuz – 2025

JUNAID ATA ZAINEL ZAINEL



İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN	i
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	x
ÖZET	xiii
ABSTRACT	xiv
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	2
3. PASLANMAZ ÇELİKLER	5
3.1. Paslanmaz Çelik Çeşitleri	5
3.1.1. Ferritik paslanmaz çelikler.....	7
3.1.2. Östenitik paslanmaz çelikler	8
3.1.3. Martenzitik paslanmaz çelikler	9
3.1.4. Dupleks paslanmaz çelikler	10
3.1.5. Çökelme sertleşmesi uygulanabilir paslanmaz çelikler	11
4. OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN ÇELİKLER.....	12
4.1. Yüksek Dayanımlı Çift Fazlı Çelikler (DP)	14
4.1.1. Dp çeliklerin üretim yöntemi	14
4.2 Otomotiv Endüstrisinde Galvanizli Çelikler	15
5. KOROZYON	16
5.1. Korozyon Türleri	16
5.1.1. Genel korozyon.....	17
5.1.2. Çukur korozyon	17
5.1.3. Galvaniz korozyon	17
5.1.4. Aralık korozyon	18
5.1.5. Kabuk altı korozyon.....	18
5.1.6. Filiform korozyon	19
5.1.7. Seçici korozyon.....	19
5.1.8. Taneler arası korozyon.....	19
5.1.9. Erozyonlu korozyon.....	19
5.1.10. Aşınmalı korozyon.....	20
5.1.11. Gerilmeli korozyon	20
5.1.12. Yorulmalı korozyon.....	20

5.1.13. Kaçak akım korozyon	20
5.1.14. Mikrobiyolojik korozyon	20
5.1.15. Alüminyum esaslı metal matrisli kompozitlerin korozyonu.....	20
6. ELEKTRİK DİRENÇ KAYNAĞI.....	21
6.1. Elektrik Direnç Kaynak Prensibi.....	21
6.2. Elektrik Direnç Kaynak Çeşitleri	22
6.2.1. Dikiş kaynak	23
6.2.2. Kabartılı kaynak.....	23
6.3. Elektrik Nokta Direnç Kaynak	24
6.3.1. Elektrik direnç nokta kaynağı adımları.....	25
6.3.2. Direnç nokta kaynağında sürece etki eden değişkenlerin incelenmesi.....	26
7. MALZEME VE METOD.....	32
7.1. Malzeme	32
7.2. Deney Malzemelerinin Kaynak İşlemi İçin Hazırlanışı	32
7.3. Kaynak Makinası.....	33
7.4. EDNK kullanılan elektrod.....	34
7.5. Parçaların EDNK Yöntemiyle Birleştirilmesi	34
7.6. Kaynaklı Numunelerin Korozyon Testleri	35
7.6.1. Korozyon deneyleri için çözeltinin hazırlanması	36
7.7. Korozyona Maruz Kalma Numunelerin Çekme-Makaslama Testleri.....	38
7.8. Korozyona Maruz Kalmış Kaynaklı Parçalarının Sertlik Ölçümleri	39
7.9. Korozyona Uğramış Kaynaklı Parçaların Mikroyapı İncelemesi.....	40
8. DENEY SONUÇLARI	41
8.1. Korozyona Uğramış Kaynaklı Numunelerin Çekme-Makaslama Test Sonuçları	41
8.1.1. AISI 304 – DP980 kaynaklı numunelerinin, %2, %3 ve %4 tuzlu çözelti ortamında 24 saat bekletildikten sonra çekme-makaslama kuvveti ile kaynak çapının belirlenmesi.....	41
8.1.1.1. AISI 304 – DP980 kaynaklı numunelerin çekme-makaslama kuvveti ile kaynak akımı değişimi (%2, %3 ile %4 tuzlu çözelti)	43
8.1.2. AISI 304 – Galvanizli çelik kaynaklı numunelerinin, %2, %3 ve %4 tuzlu çözelti ortamında 360 saat bekletildikten sonra çekme-makaslama kuvveti ile kaynak çapının belirlenmesi.....	43
8.1.2.1. AISI 304 –Galvanizli çelik kaynaklı numunelerde çekme-makaslama kuvveti ile kaynak akımının değişimi (%2, %3 ve %4 tuzlu çözelti).....	45
8.1.3 Korozyona Maruz Kalmış Kaynaklı Numunelerin Çekme-Makaslama Gerilmeleri ile Kaynak Akımının Değişiminin Hesaplanması	46

8.1.3.1. 24 Saat korozyona maruz kalmış AISI 304–DP980 kaynaklı numunelerin çekme-makaslama gerilmesinin kaynak akımıyla değişimi (%2, %3 ve %4 tuzlu çözelti)	46
8.1.3.2. AISI 304 – DP980 kaynaklı numunelerin ortalama çekme-makaslama gerilmesi ile kaynak akımının değişimi (%2, %3 ve %4 tuzlu çözelti).....	47
8.1.3.4. 360 Saat korozyona maruz kalmış kaynaklı AISI 304–Galvanizli çelik sac numunelerin çekme-makaslama gerilmesinin kaynak akımıyla değişimi (%2, %3 ve %4 tuzlu çözelti)	48
8.1.3.5. AISI 304 – Galvanizli çelik kaynaklı numunelerin ortalama çekme-makaslama gerilmesi ile kaynak akımının değişimi (%2, %3 ve %4 tuzlu çözelti).....	49
8.2. Korozyona Maruz Kalan Kaynaklı Numunelerde Çekme-Makaslama Testi Sonrası Kopma Tipi ve Kaynak Arayüzü Gözlemleri.....	49
8.2.1. 24 Saat korozyona maruz kalan kaynaklı numunelerde (AISI304-DP980) çekme-makaslama testi sonrası kopma tipi ve kaynak arayüzü gözlemleri	49
8.2.2. 360 Saat korozyona maruz kalan kaynaklı numunelerde (AISI304-galvanizli çelik sac) çekme-makaslama testi sonrası kopma tipi ve kaynak arayüzü gözlemleri	50
8.3. Korozyona Uğramış Kaynaklı Numunelerin Mikro Sertlik Ölçüm Sonuçları	51
8.3.1. 24 Saat korozyona uğramış paslanmaz AISI 304 – DP980 çelik sac kaynak çiftinin 12 kA – 10 cycle parametrelerinde kaynak bölgesine ait sertlik incelemesi (%2 tuzlu çözelti)	51
8.3.2. 24 Saat korozyona uğramış paslanmaz AISI 304 – DP980 çelik sac kaynak çiftinin 10 kA – 10 cycle'daki kaynak bölgesine ait sertlik incelemesi (%4 tuzlu çözelti)	52
8.3.3. 360 Saat korozyona uğramış paslanmaz AISI 304 – Galvanizli çelik sac kaynak çiftinin 10 kA – 10 cycle'daki kaynak bölgesine ait sertlik incelemesi (%4 tuzlu çözelti)	53
8.3.4. 360 Saat korozyona uğramış paslanmaz AISI 304 – Galvanizli çelik sac kaynak çiftinin 12 kA – 10 cycle'daki kaynak bölgesine ait sertlik incelemesi (%3 tuzlu çözelti)	54
8.3.5. 24 Saat korozyona uğramış paslanmaz AISI 304 – DP980 çelik sac kaynak çiftinin 8 kA – 15 cycle'daki kaynak bölgesine ait sertlik incelemesi (%3 tuzlu çözelti)	55
8.3.6. 360 Saat korozyona uğramış paslanmaz AISI 304 – galvanizli çelik sac kaynak çiftinin 8 kA – 15 cycle'daki kaynak bölgesine ait sertlik incelemesi (%2 tuzlu çözelti)	56
8.3.5. Korozyona maruz kalmış numunelerin mikro sertlik ölçümü sonuçları.....	57
8.4. Korozyona Uğramış Kaynaklı Parçaların Mikroyapı İncelemesi.....	58
8.4.1. 24 Saat korozyona uğramış AISI 304 – DP980 çelik sac kaynak çiftinin mikroyapı incelenmesi (%4 tuzlu çözelti, 10 kA – 10 cycle).....	58
8.4.2. 24 Saat %2 Tuzlu çözelti ortamında korozyona uğramış AISI 304 – DP980 çelik sac kaynak numunelerinin mikroyapı incelenmesi (12 kA – 10 cycle).....	58

8.4.3. 360 Saat %4 Tuzlu çözelti ortamında korozyona uğramış görüntüsü (SI 304 – galvanizli çelik sac kaynak numunelerinin mikroyapı incelenmesi (10 kA – 10 cycle)	59
8.4.4. 360 Saat %2 tuzlu çözelti ortamında korozyona uğramış AISI 304 – galvanizli çelik sac kaynak numunelerinin mikroyapı incelenmesi (8 kA – 10cycle)	59
8.4.5. 24 Saat %3 tuzlu çözelti ortamında korozyona uğramış AISI 304 – DP 980 kaynak numunelerinin mikroyapı incelenmesi (8 kA – 10cycle)	60
8.4.6. 360 Saat %2 tuzlu çözelti ortamında korozyona uğramış AISI 304 – galvanizli çelik sac kaynak numunelerinin mikroyapı incelenmesi (8 kA – 10cycle)	60
8.4.7. Korozyona uğramış kaynaklı parçaların mikro sonuçların incelenmesi	61
9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	62
9.1. Sonuçlar	62
9.2. Öneriler	63
KAYNAKLAR	64
ÖZGEÇMİŞ	68

SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ

SİMGELER

Al	: Alüminyum
C	: Karbon
D	: Demir
B	: Bor
C	: Karbon
I	: Kaynak Akımı
kA	: Kiloamper
Mn	: Mangan
Nb	: Niobyum
kN	: Kilonewton
kVA	: Kilovoltamper
Cr	: Krom
O	: Oksijen
Si	: Silisyum
SiC	: Silisyum Karbür
Ti	: Titanyum
P	: Fosfor
A	: Alan
R	: Direnç
F	: Kuvvet
MPa	: Mega Pascal
Cu	: Bakır
S	: Kükrüt
T	: Zaman
CuCrZr	: Bakır Krom Zirkonyum
Fe	: Demir
Na	: Sodyum
ml	: mili litre

KISALTMALAR

AHSS	: Geliştirilmiş Yüksek Dayanımlı Çelik
AISI	: Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü
AWS	: Amerikan Kaynak Topluluğu
DP	: Dual Phase (Çift fazlı)
EDNK	: Elektrik Direnç Nokta Kaynağı
NaCl	: Sodyum Klorür
TÇ	: Tuzlu Çözelti

TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1. Farklı paslanmaz çelik gruplarının fiziksel özellikleri (Osmanoğlu, 2012)	6
Tablo 5.1. Bölgesel korozyon türlerinin sınıflandırılması (Bilhan, 2003)	17
Tablo 7.1. Deneyde kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimi	32
Tablo 7.2. Deneyde kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri.....	32
Tablo 7.3. (EDNK)'da kullanılan elektrotun kimyasal bileşim ve sertliği	34
Tablo 7.4. Deney numunelerinin EDNK ile birleştirilmesi kaynak akımı (kA) kaynak zamanı (cycle) ve kaynak birleştirilen malzeme adetleri (1 cycle =0,02sn)	35
Tablo 7.5. %2 tuzlu çözelti.....	36
Tablo 7.6. %3 tuzlu çözelti,.....	36
Tablo 7.7. %4 tuzlu çözelti.....	36
Tablo 7.8. 24 saat korozyona maruz kalan numuneler çözeltisi bekleme süresi ve adetleri	37
Tablo 7.9. 360 saat korozyona maruz kalan numuneler çözeltisi bekleme süresi ve adetleri	37
Tablo 8.1. %2 Tuzlu çözelti sonrası AISI 304–DP980 kaynaklı numunelerin çekme-makaslama kuvveti ve ölçülen kaynak çapı	41
Tablo 8.2. %3 Tuzlu çözelti sonrası AISI 304–DP980 kaynaklı numunelerin çekme-makaslama kuvveti ve ölçülen kaynak çapı	42
Tablo 8.3. %4 Tuzlu çözelti sonrası AISI 304–DP980 kaynaklı numunelerin çekme-makaslama kuvveti ve ölçülen kaynak çapı	42
Tablo 8.4. %2 Tuzlu çözelti sonrası AISI 304 – Galvanizli çelik kaynaklı numunelerin çekme-makaslama kuvveti ve ölçülen kaynak çapı	44
Tablo 8.5. %3 Tuzlu çözelti sonrası AISI 304 – Galvanizli çelik kaynaklı numunelerin çekme-makaslama kuvveti ve ölçülen kaynak çapı	44
Tablo 8.6. %4 Tuzlu çözelti sonrası AISI 304 – Galvanizli çelik kaynaklı numunelerin çekme-makaslama kuvveti ve ölçülen kaynak çapı	45
Tablo 8.7. %2 Tuzlu çözeltide korozyona maruz kalmış AISI 304–DP980 numunelerinin, kaynak akımına göre ortalama çekme-makaslama kuvveti, ortalama kaynak alanı ve ortalama çekme-makaslama gerilmesi değerleri	46
Tablo 8.8. %3 Tuzlu çözeltide korozyona maruz kalmış AISI 304–DP980 numunelerinin, kaynak akımına göre ortalama çekme-makaslama kuvveti, ortalama kaynak alanı ve ortalama çekme-makaslama gerilmesi değerleri	47
Tablo 8.9. %4 Tuzlu çözeltide korozyona maruz kalmış AISI 304–DP980 numunelerinin, kaynak akımına göre ortalama çekme-makaslama kuvveti, ortalama kaynak alanı ve ortalama çekme-makaslama gerilmesi değerleri	47
Tablo 8.10. %2 Tuzlu çözeltide korozyona maruz kalmış AISI 304–Galvanizli çelik sac numunelerinin, kaynak akımına göre ortalama çekme-makaslama kuvveti, ortalama kaynak alanı ve ortalama çekme-makaslama gerilmesi değerleri	48

Tablo 8.11. %3 Tuzlu çözeltide korozyona maruz kalmış AISI 304–Galvanizli çelik sac numunelerinin, kaynak akımına göre ortalama çekme-makaslama kuvveti, ortalama kaynak alanı ve ortalama çekme-makaslama gerilmesi değerleri	48
Tablo 8.12. %4 Tuzlu çözeltide korozyona maruz kalmış AISI 304–Galvanizli çelik sac numunelerinin, kaynak akımına göre ortalama çekme-makaslama kuvveti, ortalama kaynak alanı ve ortalama çekme-makaslama gerilmesi değerleri	48
Tablo 8.13. 24 Saat korozyona uğramış paslanmaz AISI 304 – DP980 çelik sac kaynak çiftinin 12 kA – 10 cycle’deki kaynak bölgesine ait sertlik değerleri (%2 tuzlu çözelti)	51
Tablo 8.14. 24 Saat korozyona uğramış paslanmaz AISI 304 – DP980 çelik sac kaynak çiftinin 10 kA – 10 cycle’deki kaynak bölgesine ait sertlik değerleri (%4 tuzlu çözelti)	52
Tablo 8.15. 360 Saat korozyona uğramış paslanmaz AISI 304 – Galvanizli çelik sac kaynak çiftinin 10 kA – 10 cycle’deki kaynak bölgesine ait sertlik değerleri (%4 tuzlu çözelti)	53
Tablo 8.16. 360 Saat korozyona uğramış paslanmaz AISI 304 – Galvanizli çelik sac kaynak çiftinin 12 kA – 10 cycle’deki kaynak bölgesine ait sertlik değerleri (%3 tuzlu çözelti)	54
Tablo 8.17. 24 Saat korozyona uğramış paslanmaz AISI 304 – DP980 çelik sac kaynak çiftinin 8 kA – 15 cycle’deki kaynak bölgesine ait sertlik değerleri (%3 tuzlu çözelti)	55
Tablo 8.18. 360 Saat korozyona uğramış paslanmaz AISI 304 – galvanizli çelik sac kaynak çiftinin 8 kA – 15 cycle’deki kaynak bölgesine ait sertlik değerleri (%2 tuzlu çözelti)	56

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Paslanmaz çelik türlerine göre krom ve nikel içerikleri (Türkyılmazoğlu, 2006).....	6
Şekil 3.2. Ferritik paslanmaz çeliğin mikroyapı görüntüsü (Şenyüz, 2008)	7
Şekil 3.3. Östenitik paslanmaz çeliğin mikroyapı görüntüsü (Şenyüz, 2008)	8
Şekil 3.4. Martenzitik paslanmaz çeliğin mikroyapı yapısı (Şenyüz, 2008).....	9
Şekil 3.5. Dupleks paslanmaz çeliğe ait mikroyapı görüntüsü (Şenyüz, 2008)	10
Şekil 4.1. Malzeme tiplerine göre koruma oranları (Öztürk, 2009).....	12
Şekil 4.2. Malzeme türlerine göre oluşan emisyon miktarları (Stuart Keeler, 2014)	13
Şekil 4.3. (a) sıcak haddeleme süreci, (b) ise kritik tavlama işlemi olarak gösterilmiştir.....	14
Şekil 4.4 Otomobil alt kısmında galvanizli çelik kullanım.....	15
Şekil 5.1. Galvanik korozyon sürecinin şematik gösterimi (Küçükkara, 2008)	18
Şekil 5.2. Aralık korozyonunun şematik gösterimi.....	18
Şekil 5.3. Filiform korozyonun görseli	19
Şekil 6.1. Nokta direnç kaynak makinası.	22
Şekil 6.2. Elektrikli direnç dikiş kaynak makinesi.....	23
Şekil 6.3. Kabartılı kaynak yöntemine ait uygulama örneği.	24
Şekil 6.4. Nokta direnç kaynağında kullanılan makinenin elektrikselsistem şeması (Baydemir, 2011).....	25
Şekil 6.5. Elektrikli direnç nokta kaynak işlem adımları	26
Şekil.6.6. İmalat sektöründe en yaygın tercih edilen nokta kaynak elektrot uç tipleri gösterilmiştir.....	31
Şekil 7.1. Elektrik direnç nokta kaynak için hazırlanan numunelerin boyutları	33
Şekil 7.2. PP060 projeksiyon punta kaynak makinesi	33
Şekil 7.3. Kullanılan elektrodların fotoğrafı: (a)kaynak öncesi ve (b)kaynak sonrası.....	34
Şekil 7.5. NaCl tuzlu çözelti ve ölçü kabı	36
Şekil 7.6. AISI304/DP980 korozyon deneylerinden önce numuneler b)de AISI304/DP980 korozyon deneyinden sonra (%2%3ve %4çözeltide)	37
Şekil 7.8. DARTEC 250kN kapasiteli çekme test cihazı	39
Şekil 7.9. Qness marka vickers mikrosertlik cihazı	39
Şekil 7.10. (a) Numune kesme cihazı, (b) Zımparalama cihazı, (c) Parlatma cihazı, (d) Bakalite alınmış numuneler.....	40
Şekil 7.11. Olympus BX4M-LED marka optik mikroskop cihazı.....	40
Şekil 8.1. Çekme-Makaslama kuvveti ile kaynak akımının değişmesi (%2, %3ve %4 tuzlu çözelti ortamı).....	43
Şekil 8.2. Çekme-makaslama kuvveti ile kaynak akımının değişmesi (%2, %3ve %4 tuzlu çözelti ortamı).....	45

Şekil 8.3. Ortalama çekme-makaslama gerilmesinin kaynak akımı ile değişimi (%2, %3 ve %4 tuzlu çözelti).....	47
Şekil 8.4. Ortalama çekme-makaslama gerilmesinin kaynak akımı ile değişimi (%2, %3 ve %4 tuzlu çözelti)	49
Şekil 8.5. 24 saat korozyona uğramış AISI 304 – DP980 kaynaklı numunelerin çekme-makaslama testi sonrası kopma tipi ve kaynak bölgesi arayüzü fotoğrafları: a) %4 tuzlu çözelti, b) %3 tuzlu çözelti, c) %2 tuzlu çözelti	49
Şekil 8.6. 360 saat korozyona uğramış AISI 304 – Galvanizli çelik kaynaklı numunelerde kopma tipi ve kaynak bölgesi arayüzü fotoğrafları: a) %4 tuzlu çözelti, b) %3 tuzlu çözelti, c) %2 tuzlu çözelti	50
Şekil 8.7. 24 saat korozyona uğramış AISI 304 – DP980 kaynaklı numune (12 kA, 10 cycle, %2 tuzlu çözelti); a) sertlik ölçüm bölgesi, b) mikro sertlik grafiği.	52
Şekil 8.8. 24 saat korozyona uğramış AISI 304 – DP980 kaynaklı numune (10 kA, 10 cycle, %4 tuzlu çözelti); a) sertlik ölçüm bölgesi, b) mikro sertlik grafiği.	53
Şekil 8.9. 360 saat korozyona uğramış AISI 304 – galvanizli çelik sac kaynaklı numune (10 kA, 10 cycle, %4 tuzlu çözelti); a) sertlik ölçüm bölgesi, b) mikro sertlik grafiği.....	54
Şekil 8.10. 360 saat korozyona uğramış AISI 304 – galvanizli çelik sac kaynaklı numune (12 kA, 10 cycle, %3 tuzlu çözelti); a) sertlik ölçüm bölgesi, b) mikro sertli	55
Şekil 8.11. 24 saat korozyona uğramış AISI 304 – DP980 kaynaklı numune (12 kA, 10 cycle, %3 tuzlu çözelti); a) sertlik ölçüm bölgesi, b) mikro sertlik grafiği.	56
Şekil 8.12. 360 saat korozyona uğramış AISI 304 – galvanizli çelik sac kaynaklı numune (8 kA, 15 cycle, %4 tuzlu çözelti); a) sertlik ölçüm bölgesi, b) mikro sertlik grafiği.....	57
Şekil 8.13. %4 tuzlu çözelti ortamında, 10 kA – 10 cycle kaynak parametreleriyle birleştirilen AISI 304 – DP980 çelik sac çiftine ait korozyona uğramış numunenin kaynak bölgesi mikroyapı görüntüsü. (a) AISI 304 ana metal, (b, j) DP980 ana metal, (c, d, e) (ITAB), (f, h) Kaynak çekirdek bölgesi.	58
Şekil 8.14. 24 saat %2 tuzlu çözelti ortamında korozyona uğramış AISI 304 – DP980 kaynaklı numunenin, 12 kA – 10 cycle parametresine ait mikroyapı görüntüsü. (a) DP980 ana metal, (b) AISI 304 ana metal, (c, e, f) ITAB, (d) kaynak çekirdek bölgesi.	58
Şekil 8.15. 360 saat %4 tuzlu çözelti ortamında korozyona uğramış AISI 304 – Galvanizli çelik kaynaklı numunenin, 10 kA – 10 cycle parametresine ait mikroyapı görüntüsü. (a) Galvanizli çelik ana metal, (b) AISI 304 ana metal, (c, d) kaynak çekirdek bölgesi, (e) ITAB.	59
Şekil 8.16. 360 saat %2 tuzlu çözelti ortamında korozyona uğramış AISI 304 – galvanizli çelik kaynaklı numunenin, 8 kA – 10 cycle parametresine ait mikroyapı görüntüsü. (a) AISI 304 ana metal, (b, c, e) ITAB, (d) kaynak çekirdek bölgesi.....	59
Şekil 8.17. 360 saat %4 tuzlu çözelti ortamında korozyona uğramış AISI 304 – galvanizli çelik kaynaklı numunenin, 10 kA – 10 cycle parametresine ait	

mikroyapı görüntüsü. (a) Galvanizli çelik ana metal, (b) AISI 304 ana metal,
(c, e, f) ITAB, (d) kaynak çekirdek bölgesi..... 60

Şekil 8.18. 360 saat %4 tuzlu çözelti ortamında korozyona uğramış AISI 304 –
galvanizli çelik kaynaklı numunenin, 10 kA – 10 cycle parametresine ait
mikroyapı görüntüsü. (a) Galvanizli çelik ana metal, (b) AISI 304 ana metal,
(c, e, f) ITAB, (d) kaynak çekirdek bölgesi..... 60



ELEKTRİK NOKTA DİRENÇ KAYNAKLI DP 980 ÇELİK SAÇLAR İLE PASLANMAZ ÇELİK SAÇLARIN KOROZYON DİRENCİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Bu çalışmada, AISI 304–DP980 ve AISI 304–galvanizli çelik saçlar, elektrik direnç nokta kaynağı yöntemi ile sabit 0,5 MPa elektrot basıncında; 8 kA, 10 kA ve 12 kA kaynak akımları ile 10, 15, 20 ve 25 cycle (1 cycle = 0,02 sn) sürelerinde birleştirilmiştir. Kaynaklı numuneler %2, %3 ve %4 tuzlu çözelti ortamlarında korozyon testine tabi tutulmuştur. Korozyon testlerinin ardından, korozyona uğramış kaynaklı numunelerin çekme-makaslama kuvveti ve ortalama çekme-makaslama gerilmesi ile mikro sertlik ölçümleri ve mikroyapı incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Mikroyapı incelemelerinde, kaynak bölgesindeki fazların ana metalden farklı olduğu ve artan kaynak parametreleriyle birlikte kaynak çapının genişlediği gözlemlenmiştir. Maksimum mikro sertlik değeri, artan kaynak parametrelerinde kaynak bölgesinde oluşmuştur. Ayrıca, artan kaynak parametreleriyle çekme-makaslama kuvvetinde artış, ortalama çekme-makaslama gerilmesinde ise azalma gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, korozyonun yüzeyde oluşması nedeniyle ve kaynak çekirdek bölgesinde korozyon oluşmadığı için kaynak bölgesinin mekanik özellikleri üzerindeki etkisi sınırlı kalmış, kaynak parametrelerinin mekanik dayanım üzerindeki etkileri daha belirgin olmuştur. Bu çalışma, farklı tuzlu çözelti ortamlarında elektrik direnç nokta kaynağıyla birleştirilmiş AISI 304–DP980 ve galvanizli çelik saçların mekanik dayanım ve mikroyapı özelliklerinin değerlendirilmesini amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Nokta direnç kaynağı, Çekme-Makaslama, Kaynak çapı, DP 980, Korozyon direnci

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF CORROSION RESISTANCE ON MECHANICAL PROPERTIES OF ELECTRIC SPOT RESISTANCE WELDED DP 980 STEEL SHEETS AND STAINLESS STEEL SHEETS

ABSTRACT

In this study, AISI 304–DP980 and AISI 304–galvanized steel sheets were joined by the electrical resistance spot welding method under a constant electrode pressure of 0.5 MPa; with welding currents of 8 kA, 10 kA, and 12 kA and welding times of 10, 15, 20, and 25 cycles (1 cycle = 0.02 s). The welded specimens were subjected to corrosion tests in 2%, 3%, and 4% saline solution environments. After the corrosion tests, mechanical properties of the corroded welded specimens were evaluated by tensile-shear force and average tensile-shear stress measurements, as well as microhardness measurements and microstructure examinations. Microstructure examinations revealed that the phases in the weld zone were different from the base metal, and the weld diameter increased with increasing welding parameters. The maximum microhardness value was observed in the weld zone with increasing welding parameters. Additionally, an increase in tensile-shear force and a decrease in average tensile-shear stress were observed with increasing welding parameters. As a result, since corrosion occurred on the surface and no corrosion formed in the weld core zone, the effect of corrosion on the mechanical properties of the weld zone remained limited, whereas the effects of welding parameters on mechanical strength were more pronounced. This study aims to evaluate the mechanical strength and microstructural properties of AISI 304–DP980 and galvanized steel sheets joined by electrical resistance spot welding in different saline solution environments

Keywords: Spot resistance welding, Tensile-Shear, Plungedepth, DP 980, Corrosion resistance

1. GİRİŞ

Çift fazlı (DP980) çelikler, martenzit ve ferritten oluşan karma bir mikro yapıya sahiptir. Bu yapı sayesinde, bu çelikler yüksek çekme dayanımı, mükemmel uzama kabiliyeti ve iyi şekillendirilebilirlik gibi üstün mekanik özelliklere sahiptir. Bu avantajlarıyla otomotiv sektöründe, aracın ağırlığını azaltmak, güvenlik performansını artırmak ve maliyetleri düşürmek amacıyla yaygın olarak tercih edilmektedir. Özellikle, çift fazlı çelikler gelişmiş yüksek dayanımlı çelik (AHSS) sınıfının en çok kullanılan türlerinden biridir. Bu nedenle, DP çeliği ile kaliteli paslanmaz çeliğin birleşimi, yakıt tasarrufu sağlamak ve aracın hafifliğini artırmak için, şekillendirilebilirlik gerektiren otomobil parçalarının üretiminde ideal bir malzeme olarak kabul edilmektedir.

Metallerin korozyona karşı korunması, endüstride büyük önem taşıyan ve birçok araştırmaya konu olan bir sorundur. Özellikle, araçların gövdesinin altındaki parçalar ve gövde panellerinin iç yüzeyleri, kışın yollarda kullanılan sodyum klorür çözeltilerinin aşındırıcı etkilerine karşı hassastır ve kolayca zarar görebilmektedir. Bu çalışmada kullanılan nokta direnç kaynağı yöntemi, bakır elektrotlar arasına yerleştirilen malzemeler üzerinden elektrik akımı geçirilerek, oluşan ısıyla kaynak yapılan bir tekniktir. Genellikle sac malzemeler için uygulanan bu yöntemde, elektrotlar malzemeye basınç uygulayarak temas yüzeyinde direnç oluşturur. Elektrik akımı verildiğinde, bu bölgede oluşan ısı sayesinde malzemeler ergir ve soğuyarak birleşir. Bu yöntem aynı zamanda “punta kaynağı” olarak da bilinmektedir. Kaynak süresi gibi parametreler, kaynak kalitesini doğrudan etkiler. Nokta direnç kaynağı, sac malzemelerin birleştirilmesinde oldukça etkili ve otomotiv sektörünün vazgeçilmez tekniklerinden biridir. Araçlarda kullanılan nokta direnç kaynaklarının sayısı, marka ve modele göre değişmekle birlikte, büyük bir binek araçta ortalama 4000 ila 6000 arasında uygulandığı bilinmektedir. Kaynaklı üretimde öncelikli olarak incelenen özellikler, kaynağın yapısal karakteristikleri olup, statik ve dinamik yükler altında yeterli mekanik dayanım göstermesi beklenmektedir. Ayrıca korozyon direnci, sızdırmazlık ve estetik özellikler de önemli kriterler arasındadır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Özyürek (2008), 1 mm kalınlığındaki 316L kalitesindeki paslanmaz çelikleri çeşitli kaynak akımları kullanarak birleştirmiş ve bu bağlantıların yük taşıma kapasitesi, mikro sertlik ve mikroyapı özelliklerini incelemiştir. Elde edilen sonuçlara göre, kaynak akımının artmasıyla kaynak çekirdeğinin boyutu büyümüş ve bu durum, bağlantıların çekme-makaslama dayanımının artmasına katkıda bulunmuştur. Ayrıca azot gazı kullanımı incelenmiş ve azot gazıyla gerçekleştirilen kaynakların atmosferik koşullarda yapılanlara kıyasla daha yüksek dayanıklılığa sahip olduğu saptanmıştır. Mikroyapı analizlerinde ise, ısı etkisi altındaki bölgede (ITAB) tane boyutlarının büyüdüğü görülmüştür. Sertlik ölçümleri, ana malzeme, kaynak çekirdeği ve ITAB bölgelerinin sertlik değerlerinin birbirine yakın olduğunu göstermiştir.

Zhang ve arkadaşları (2014), farklı kalınlıklara sahip DP600 ve DP780 çelik malzemeler arasında mekanik özellik ve mikroyapı değişimlerini incelemek için nokta direnç kaynağı yöntemi kullanmıştır. Bu çalışmada, alaşım elementlerinin ısı etkisi altında dağılımı değerlendirilmiş ve kaynak edilen malzemelerin mikro sertlik değerleri ölçülmüştür. Kaynak metali genellikle ferrit ve iri taneli martenzitten oluşmaktadır. Tane boyutları ve martenzit oranları, ana metal, kaynak bölgesi ve ITAB alanlarında artış göstermiştir. Alaşım elementleri kaynak bölgesinde homojen şekilde dağılmıştır. Sertlik açısından kaynak bölgesi, ana metalden belirgin derecede daha sert bulunmuş; ana metal çevresindeki ITAB’da ise martenzitin temperlenmesi nedeniyle yumuşama alanları oluşmuştur. Çekme testlerinde, düğmeleme ve arayüzey kırılması olmak üzere iki farklı kırılma şekli gözlemlenmiş ve kaynak parametrelerinin değişimine bağlı olarak arayüzey kırılmasından düğmeleme kırılmasına geçiş yaşanmıştır. Ayrıca, kaynak çekirdeğinin büyüklüğünün kırılma tipleri üzerinde önemli bir etkisi olduğu ve 6,6 mm’nin bu geçişte kritik bir eşik değeri olduğu belirlenmiştir.

Rajarajan ve arkadaşları (2018), çift fazlı DP800 çeliğinin elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmesini incelemiştir. Farklı kaynak akımları kullanılmış; ancak elektrot kuvveti ve kaynak süresi sabit tutulmuştur. Yapılan deneylerde, kaynak akımı arttıkça çekme-makaslama dayanımının önce yükseldiği, belirli bir noktadan sonra ise azaldığı tespit edilmiştir. Aynı zamanda artan akımın ergime bölgesinde genişlemeye sebep olduğu ve mikro sertlik testlerinde en yüksek sertlik değerinin ergime bölgesinde ortaya çıktığı raporlanmıştır. ITAB’daki düşük sertlik değerlerinin, kaynak sırasında oluşan ısının etkisinden kaynaklandığı ifade edilmiştir.

Aktaş (2008), DP600 çelik sacların elektrik direnç nokta kaynağı yöntemiyle birleştirilmesinde mekanik özelliklerini incelemiştir.

Bir başka çalışmada, düşük karbonlu çeliklerin elektrik direnç nokta kaynağıyla birleştirilmesinde oluşan bağlantıların çekme-makaslama ve çekme-sıyırma testlerinde ortaya çıkan hasar tipleri araştırılmıştır.

Shi ve arkadaşları (2024), 1,2 mm kalınlığında 5182 alüminyum alaşımı ile 1,5 mm kalınlığında DP780 galvanizli çelik sacın elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilen birleşimlerin korozyon davranışını incelemiştir. Numuneler %3,5 NaCl içeren tuzlu çözelti ortamında 72, 240, 480, 720 ve 1080 saat süreyle tuz püskürtme testine tabi tutulmuştur. Sonuçlar, kaynak bölgesinde oluşan bileşik tabakasının yüksek korozyon direnci gösterdiğini ortaya koymuştur. Ancak korozyon, esas olarak alüminyum tarafındaki mikro çatlaklarda başlamıştır. Tuz püskürtme süresi arttıkça korozyon ilerlemiş ve çekme-makaslama kuvvetinde belirgin bir azalma gözlenmiştir.

Russo Spena ve arkadaşları (2017), 1,1 mm kalınlığında galvanizli Q&P ve 1,5 mm kalınlığında TRIP çeliklerinin elektrikli direnç nokta kaynağıyla birleştirilmesi sonrası korozyon direnci ve mekanik özelliklerini %5 NaCl içeren tuz püskürtme testiyle incelemiştir. Numuneler 24, 48, 168 ve 500 saatlerde ara incelemeye tabi tutulmuştur. Yüksek kaynak akımı ve süresi, çekirdek çapını büyütmüş ve çekme-makaslama kuvvetini artırmıştır. Sıkma kuvveti kaynak kalitesini artırmıştır. Korozyon testlerinde, çinko kaplaması zarar gören bölgelerde paslanma, metal kaplamanın buharlaşması sonucu çelik yüzeyin korozyona açık hale geldiği gözlenmiştir.

Safaa M. Hassonia ve arkadaşları (2022), 0,5 mm kalınlığındaki AISI 316L paslanmaz çelik levhaları elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilerek, kaynak parametrelerinin mekanik özellikler ve korozyon direncine etkisini incelemiştir. Kaynak akımı, elektrot basıncı ve sıkma süresi farklı seviyelerde uygulanmıştır. Çekme-makaslama testleri sonucunda en yüksek çekme-makaslama kuvveti, düşük kaynak akımı (4,5 kA), 30 bar basınç ve 0,6 saniye çevrim süresi ile elde edilmiştir. Korozyon testleri %3,5 tuzlu su ortamında yapılmıştır. Kaynak bölgesinin mikro yapısı taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir. Testlerde, yüksek kaynak akımı ve elektrot basıncının çukurlaşma korozyonunu ve korozyon hızını artırdığı tespit edilmiştir. SEM görüntüleri, özellikle kaynak bölgesinde korozyonun arttığını göstermiştir.

Hafez (2017) çalışmasında, 1 mm kalınlığındaki AISI 304L paslanmaz çelik elektrik direnç nokta kaynağıyla birleştirilmiştir. Kaynak bölgesinin mikro yapısı optik mikroskopla incelenmiş, yüzey detayları ve korozyon etkileri ise taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile analiz edilmiştir. %3,5 NaCl içeren tuzlu çözelti ortamında yapılan testlerde, kullanılan

koruyucu gaz (argon veya nitrojen) ve kaynak sırasında uygulanan ısı girdisinin çukurlaşma korozyonu üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Düşük ısı girdisinde argon gazı, yüksek ısı girdisinde ise nitrojen gazı kaynak bölgesinde daha iyi korozyon direnci sağlamıştır. Çalışma, kaynak atmosferi ve parametrelerinin kaynak kalitesi ve korozyon dayanımı açısından kritik olduğunu göstermiştir.

Hadeel A. Abdulghani ve arkadaşları (2022), 1 mm kalınlığındaki SAE1006 karbon çeliğin elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmesinde, farklı kaynak akımı (7, 7.5, 8.2 kA) ve kaynak süresi (15, 25, 35 döngü) parametrelerinin korozyon davranışına etkisini incelemiştir. Kaynak sonrası birleşimler 1 M H₂SO₄ çözeltisinde test edilmiştir. Kaynak akımı ve süresi arttıkça kaynak bölgesindeki ısı etkinin arttığını, bunun mikro yapıyı değiştirdiğini ve korozyon direncini azalttığını göstermiştir. Kaynak parametreleri, kaynak bölgesinin korozyon performansını doğrudan etkilemektedir.

Özkan (2024) gerçekleştirdiği çalışmada, 7, 9 ve 11 kA kaynak akımları ile 10, 15, 20 ve 25 cycle sürelerinde sabit elektrot basıncı altında, direnç nokta kaynağı ile birleştirilen AISI 304 ve DP980 malzemelerinin mekanik özelliklerini incelemiştir. Çalışmada, kaynak çekirdek bölgesinde martenzitik yapı gözlemlenmiş ve artan kaynak parametreleriyle birlikte çekme-makaslama kuvvetinde belirgin bir artış kaydedilmiştir.

Yukarıda görüldüğü gibi, DP çeliklerin, paslanmaz çeliklerin ve galvanizli çeliklerin direnç nokta kaynağı ile birleştirilmeleri ve mekanik özelliklerinin incelenmesi üzerine çok sayıda çalışmalar mevcuttur. Fakat bu birleştirmelerin korozyon davranışı yok denecek kadar azdır. Farklı sürelerde, bizim çalışmamız olan korozyona maruz kalmış direnç nokta kaynaklı AISI 304 - DP980 ve AISI 304 - galvanizli çeliklerin kaynağının mekanik özelliklerine etkisi üzerine çalışma mevcut değildir. Literatürde bu açığı karşılamak için bu çalışma yapılmıştır.

3. PASLANMAZ ÇELİKLER

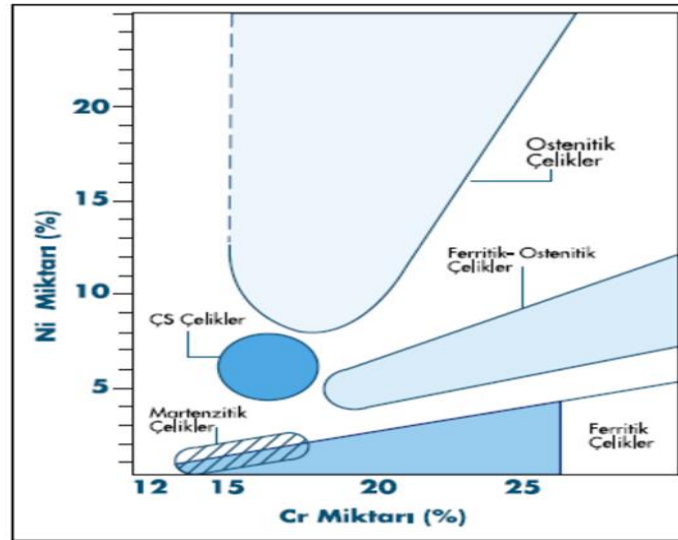
Paslanmaz çelikler, içerdiği alaşım elementleri sayesinde korozyona karşı dirençli hale getirilmiş özel çelik türleridir. Özellikle kimyasal ortamlarda, nemli havalarda ya da yüksek sıcaklıklarda çalışacak yapı ve makine parçaları için tercih edilmektedir (Demirkıran, 2010). Paslanmaz çeliklerin en önemli özelliği, içeriğinde en az %10,5–12 oranında krom elementi bulundurmasıdır. Bu oran, çeliğin yüzeyinde krom oksit (Cr_2O_3) adı verilen ince ve kararlı bir film tabakası oluşmasını sağlar. Bu tabaka, çeliği atmosferik şartlarda dahi korozyona karşı korur (Aydın, 2022).

Paslanmaz çeliklerin iç yapısı ve özellikleri; sadece krom değil, aynı zamanda nikel, molibden, manganez, titanyum, alüminyum, bakır ve azot gibi diğer alaşım elementlerinin miktarlarıyla da doğrudan ilişkilidir. Özellikle nikel, östenitik yapının oluşmasında büyük rol oynar. Bu yapı sayesinde çelik, daha kolay şekil alabilir ve kaynaklanabilir hale gelir (Gözütok, 2009). Ancak krom ve nikel miktarının artması, üretim maliyetlerini yükseltmekte ve kaynak sonrası bazı mekanik özellikleri olumsuz etkileyebilmektedir (Kaya, 2014).

Türkiye’de özellikle gıda, kimya, otomotiv ve inşaat sektörlerinde paslanmaz çelik kullanımı oldukça yaygındır. Hem hijyenik özellikleri hem de estetik görünümü nedeniyle ev eşyalarından tıbbi cihazlara kadar çok geniş bir kullanım alanına sahiptir (Çelik, 2006).

3.1. Paslanmaz Çelik Çeşitleri

Paslanmaz çeliklerde kimyasal bileşimlerin değiştirilmesiyle farklı özellikler gösteren alaşımlar elde edilebilir. Özellikle korozyon direncini artırmak amacıyla krom oranı yükseltilebilirken, nikel ve molibden gibi alaşım elementleri de yapıya eklenebilir. Bunun yanı sıra, bakır, titanyum, alüminyum, silisyum, gibi elementlerin katılması da paslanmaz çeliklere çeşitli avantajlar kazandırır. Ancak, paslanmaz çeliklerin iç yapısını belirleyen başlıca alaşım elementleri sırasıyla krom, nikel, molibden ve mangandır. Özellikle, çeliğin ferritik ya da östenitik yapıda olup olmadığını belirleyen temel elementler krom ve nikeldir. Şekil 3.1’de çeşitli paslanmaz çelik türlerine göre krom ve nikel oranları, Tablo 3.1’de ise bu çelik gruplarına ait bazı fiziksel özellikler gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Paslanmaz çelik türlerine göre krom ve nikel içerikleri (Türkyılmazoğlu, 2006)

Mikro iç yapısına göre paslanmaz çelikler beş ana gruba ayrılmaktadır. Bunlar sırasıyla:

1. Ferritik paslanmaz çelikler
2. Martenzitik paslanmaz çelikler
3. Östenitik-ferritik (çift fazlı) paslanmaz çelikler
4. Çökeltme sertleşmesi ile mukavemeti artırılmış paslanmaz çelikler
5. Östenitik paslanmaz çeliklerdir (Gözütok, 2009)

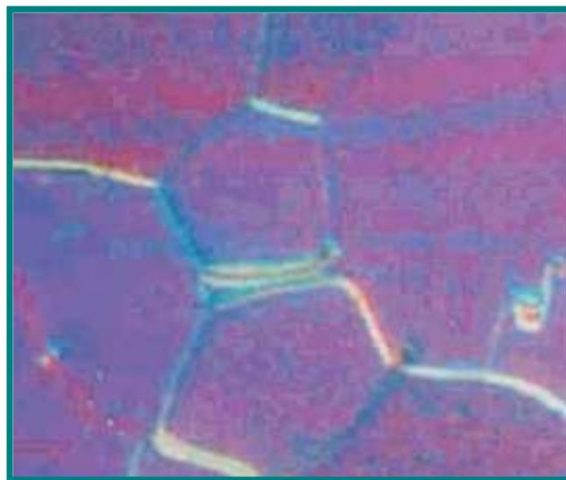
Tablo 3.1. Farklı paslanmaz çelik gruplarının fiziksel özellikleri (Osmanoğlu, 2012)

Paslanmaz Çelik Türleri	Elastisite Modülü (GPa)	Yoğunluk (g/cm ³)	Isıl Genleşme Katsayısı (µm/m°C)	Isıl İletkenlik (W/m·K)	Özgül Isı (J/kg·K)
Östenitik Paslanmaz Çelikler	195	8,0	16,6	15,7	500
Ferritik Paslanmaz Çelikler	200	7,8	10,4	25,1	460
Martenzitik Paslanmaz Çelikler	200	7,8	10,3	24,2	460
Çökelme ile Sertleşebilen Paslanmaz Çelikler	200	7,8	10,8	22,3	460

3.1.1. Ferritik paslanmaz çelikler

Ferritik paslanmaz çelikler, %12–30,5 arasında krom, %0,20'ye kadar nikel ve çok düşük oranlarda Al, Nb, Ti ve Mo gibi ferrit dengeleyici elementler içermektedir. Bu çelik türü, tüm sıcaklık aralıklarında ferritik fazda kalır; dolayısıyla östenit fazı oluşmaz ve ısıtma işlemiyle sertleştirilemez (Türkyılmazoğlu, 2006). Oda sıcaklığında ferrit yapı gösteren bu çelikler, manyetik özellik taşır ve bu özelliklerini yaklaşık 768 °C'ye kadar, yani Curie sıcaklığına kadar, korurlar. Nikel içermemeleri ve karbon oranlarının %0,02–0,12 gibi oldukça düşük seviyelerde tutulması bu grubun tipik özelliklerindendir. %12 krom içeren ferritik paslanmaz çelikler düşük maliyetle üretilebilirken, aynı zamanda iyi bir korozyon direnci sağlar. Ferritik yapının kararlılığı için yeterli miktarda krom ve diğer alaşım elementlerine ihtiyaç duyulur. Gama fazını genişlettiği bilinen karbonun düşük tutulması, östenit dönüşümünü engelleyerek hem yüksek tokluk hem de iyi şekillenebilirlik sağlar. Isıl işlem uygulanmış ferritik paslanmaz çelikler, homojen, çok taneli ve tek fazlı bir mikroyapıya sahiptir.

Tokluk ve şekillendirilebilirlik üzerinde olumsuz etkisi olan zararlı fazların oluşmaması için bu çelikler genellikle yaklaşık 1100 °C'de homojenleştirme ısıtma işlemine tabi tutulur ve ardından hızlı soğutulurlar (Osmanoğlu, 2012). Öte yandan, krom oranı %20'nin üzerinde olan ferritik paslanmaz çeliklerin 550–850 °C aralığında uzun süre tavlama durumu sigma (σ) fazı oluşabilir. Bu faz, bazı uygulamalarda sertliği artırıcı etki gösterebilse de, çoğunlukla gevrekleşmeye ve korozyon dayanımında düşüşe neden olduğu için çok istenmeyen bir yapıdır (Osmanoğlu, 2012). Şekil 3.2'de ferritik paslanmaz çeliğin mikroyapısı gösterilmiştir.



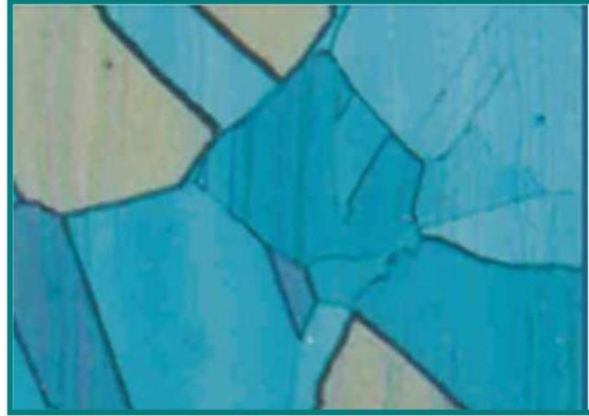
Şekil 3.2. Ferritik paslanmaz çeliğin mikroyapı görüntüsü (Şenyüz, 2008)

Ferritik paslanmaz çelikler orta ile iyi arasında değişen korozyon direncine sahiptir ve krom içeriğinin artmasıyla bu direnç artar. Isıl işlemlerle mekanik dayanımı artırılmaz bu nedenle

genellikle tavlanmış halde kullanılırlar Manyetik özellik gösterirler Kaynaklanabilirlikleri düşüktür ve şekillendirilebilirlikleri östenitik paslanmaz çeliklere kıyasla daha sınırlıdır (Türkyılmazoğlu 2006).

3.1.2. Östenitik paslanmaz çelikler

Östenit paslanmaz çeliğin bileşiminde yeterli oranda nikel bulunduğunda, oda sıcaklığında bile östenitik yapıya sahip olur. %16-25 krom ve %20'ye kadar nikel içeren, yüzey merkezli kübik (YMk) kristal yapısına sahip çelikler östenit paslanmaz çelik olarak adlandırılır. 18 Cr/Ni içeriğine sahip bu çeliklerin ve türevlerinin ergime sıcaklıkları, karbon miktarına bağlı olarak 1400 ile 1430 °C arasında değişmektedir. Bazı ilave elementlerin katılmasıyla bu sıcaklık düşürülebilir. Östenit yapı dönüşüm göstermediği için sertleştirme ısı işlemleri uygulanamaz (Gözütok, 2009). Östenitik paslanmaz çelikler manyetik özellik göstermez; sünek ve yüksek tokluğa sahiptir. Dayanımları genellikle soğuk şekillendirme ile artırılabilir ve alaşımlandırma yoluyla da güçlendirilebilir. Bu malzemelerde en etkili alaşım elementleri karbon ve azottur (Şen yüz, 2008). Şekil 3.3'te östenitik paslanmaz çeliğin mikroyapısı gösterilmiştir.

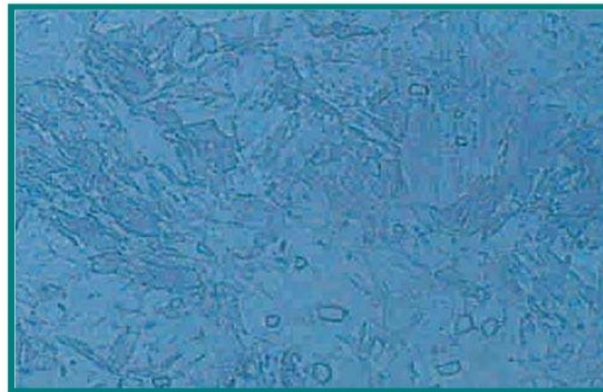


Şekil 3.3. Östenitik paslanmaz çeliğin mikroyapı görüntüsü (Şenyüz, 2008)

Toplam paslanmaz çelik üretiminin yaklaşık %70'i östenitik paslanmaz çeliklerden oluşur ve en çok kullanılanı AISI 304 kalite östenitik paslanmaz çeliklerdir AISI 304 paslanmaz çelik mükemmel korozyon dayanımına sahiptir yüksek kaynaklanabilirlik özelliği gösterir sünek yapısı sayesinde kolay şekillendirilebilir hijyeniktir temizlik ve bakımı kolaydır yüksek sıcaklıklarda iyi mekanik özelliklere sahip olup düşük sıcaklıklarda da mükemmel mekanik performans sunar tavlanmış durumda manyetik özellik göstermez ve dayanımı yalnızca sertleşme ile artırılabilir (Türkyılmazoğlu 2006).

3.1.3. Martenzitik paslanmaz çelikler

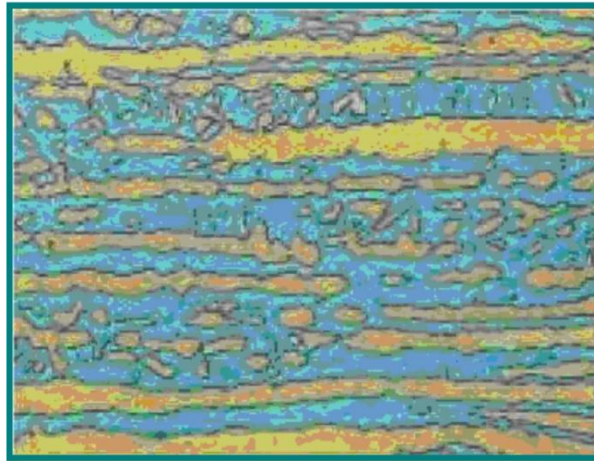
Martenzitik paslanmaz çeliklerde krom oranı %12 ile %17 arasında değişirken, karbon oranı %0,1'den fazladır. Bu elikler yüksek sıcaklıklarda östenitik yapıya sahiptir. Östenitleme sıcaklığı elik çeşidine bağlı olarak 950 ile 1050 °C arasında değişir. Bu sıcaklıklarda östenitleme işlemi uygulanan elik, hızlı soğutulduğunda martenzitik yapı oluşur. Karbon miktarının artmasıyla birlikte sertlik ve mekanik dayanım da yükselir (Türkyılmazoğlu, 2006). Martenzitik paslanmaz çelikler manyetiktir, soğuk haddelenebilir ve yüksek tokluğa sahiptir. Ayrıca, hava ve kimyasal etkilere karşı iyi direnç gösterirler. Gerektiğinde 650 °C'de gerilim giderme ve 925 °C'de yumuşatma tavlaması uygulanabilir. Bu grup çelikler arasında AISI 403, 410, 414, 416, 420, 422, 431 ve 440 gibi alaşımlar yer almaktadır. Martenzitik paslanmaz çeliklerin ergitme kaynağı sırasında hızlı soğuma nedeniyle sert ve kırılgan martenzitik yapı oluştuğundan kaynak dikişinde çatlama riski vardır (elik, 2006). Kaynakta kullanılacak dolgu malzemesinin krom ve karbon içeriğinin ana malzemeye yakın olması önemlidir. 410 tipi dolgu malzemeleri örtülü elektrod, dolu tel ve zl tel olarak üretilir ve 402, 410, 414, 420 türü çeliklerin kaynağında tercih edilir. 420 tipi çeliklerde karbon içeriği yüksek olduğundan, teknik olarak faydalı ise dolu tel veya zl tel biçiminde 420 kalite dolgu malzemeleri kullanılması önerilir. Östenitik dolgu malzemeleri olan 308, 309 ve 310 tipleri, martenzitik paslanmaz çeliklerin birbiriyle veya diğer çeliklerle kaynaklı birleştirmelerinde, yüksek tokluk gerektiren uygulamalarda tercih edilir. Martenzitik paslanmaz çeliklerin çoğunda n tav sıcaklığı ile pasolar arası sıcaklığın 205–315 °C arasında tutulması tavsiye edilir. Karbon oranı %0,2'nin üzerinde olan martenzitik çeliklerde, kaynak dikişinin sünekliği ve tokluğunu artırmak için genellikle kaynak sonrası ısıl işlem yapılır. şekil 3.4'te martenzitik paslanmaz çeliğin mikroyapı görüntüsü yer almaktadır.



şekil 3.4. Martenzitik paslanmaz çeliğin mikroyapı yapısı (şenyüz, 2008)

3.1.4. Dupleks paslanmaz çelikler

Dupleks paslanmaz çelikler, son yıllarda gelişimi en hızlı olan paslanmaz çelik grubudur. Mikroyapılarında yaklaşık eşit oranlarda ferrit ve östenit fazları bulunur. Bu çift fazlı yapı sayesinde dupleks paslanmaz çelikler, hem östenitik hem de ferritik çeliklerin özelliklerini bir arada sunar. Östenitik çeliklere kıyasla daha yüksek akma dayanımına sahip olmalarının yanı sıra, gerilmeye bağlı korozyon çatlamasına karşı da daha dirençlidirler (Yorulmazel, 2007). Bu çelikler yüksek krom (%18–28) ve orta düzeyde nikel (%4,5–8) içeriğine sahiptir. Nikel oranı genellikle %8'i geçmez. Dupleks yapı, çeliğin 1000–1050 °C aralığında tavlanması ve ardından hızla soğutulmasıyla elde edilir. Mekanik özelliklerin iyileştirilmesi ve korozyon direncinin artırılması için çoğu dupleks çelikte %2,5–4 arasında molibden bulunur. Bu alaşımlar, özellikle klor içeren ortamlarda gösterdikleri yüksek yorulma dayanımıyla dikkat çeker. Ek olarak, dupleks paslanmaz çelikler klasik östenitik çeliklere göre yaklaşık iki kat daha yüksek akma dayanımı sunar. Ayrıca %22 Cr, %5 Ni, %3 Mo içeren ve azotla takviye edilen türleri (örneğin UNS S32205), hem mekanik hem de korozyon dayanımı açısından deniz suyuna dayanıklı uygulamalarda yaygın olarak kullanılır. Kaynak yapılabirlikleri özenli ısıtıl işlem ve uygun dolgu malzemesi seçimi ile oldukça iyidir. Bu nedenle dupleks çelikler, kimya endüstrisi ekipmanları, su arıtma sistemleri, deniz yapıları ve açık deniz (off-shore) uygulamaları gibi zorlu çalışma ortamlarında tercih edilmektedir. Şekil 3.5'te dupleks paslanmaz çeliğe ait mikroyapı görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.5. Dupleks paslanmaz çeliğe ait mikroyapı görüntüsü (Şenyüz, 2008)

Dupleks paslanmaz çelikler gerilmeye bağlı korozyon çatlamasına karşı yüksek direnç gösterir klor içermeyen ortamlarda daha yüksek korozyon dayanımı sağlar östenitik ve ferritik

paslanmaz çeliklere göre daha iyi mekanik özellikler sunar kaynaklanabilirlikleri ve şekillendirme kabiliyetleri yüksektir (Türkyılmazoğlu 2006).

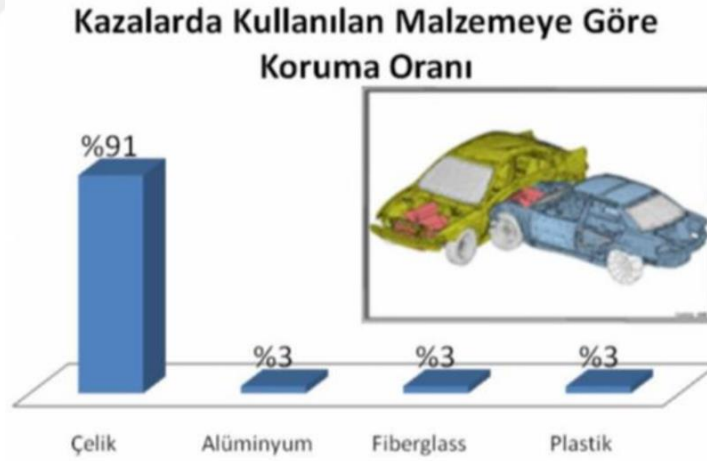
3.1.5. Çökelme sertleşmesi uygulanabilir paslanmaz çelikler

Kimyasal bileşiminde bakır, molibden, nikel, titanyum ve alüminyum gibi alaşım elementlerinden biri ya da birkaçı bulunan ve bu elementlerin etkisiyle çökelme sertleşmesi özelliği kazanan Fe-Cr-Ni esaslı demir tabanlı paslanmaz çeliklerdir. Çökelme sertleşmesi, alaşımın çözeltiye alma tavlamaıyla ısıtılıp hızlıca soğutulmasının ardından uygulanan bir yaşlandırma süreciyle gerçekleştirilir. Bu işlemler sırasında alaşım elementi olarak katkılanan unsurlar önce çözelti fazına geçer, ardından yaşlandırma aşamasında çok ince parçacıklar şeklinde çökerek matris içinde sertlik ve mukavemeti artırır. Çökelme sertleşmesiyle elde edilen paslanmaz çelikler, martenzitik çeliklerin mekanik özellikleri ile östenitik çeliklerin korozyon direncini birlikte sunabilir. Bu çeliklerin en önemli avantajlarından biri, normalize haldeyken kolaylıkla işlenip şekillendirilebilmeleri ve daha sonra 480–600 °C aralığında uygulanacak ısıtıl işlemle mekanik özelliklerinin iyileştirilebilmesidir. Dayanımları 1700 MPa seviyelerine kadar ulaşabilir ve bu yönüyle klasik martenzitik paslanmaz çeliklerin dayanımını da aşabilirler. Çözeltiye alma tavlama sonrasında geçirdikleri yapısal dönüşümler ve gösterdikleri özelliklere göre bu çelikler üç ana gruba ayrılır: martenzitik, yarı-östenitik ve östenitik çökelme sertleşmeli paslanmaz çelikler (Aydın, 2022).

4. OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN ÇELİKLER

Otomotiv endüstrisinde kullanılan malzemeler incelendiğinde, demir esaslı çeliklerin — özellikle yüksek mukavemetli çeliklerin — yanı sıra magnezyum ve alüminyum alaşımları gibi hafif metallerin ve plastik bazlı malzemelerin kullanımında artış olduğu görülmektedir. Günümüzde otomobil kullanıcıları daha ekonomik, güvenli ve çevre dostu araçlar talep etmektedir. Bu doğrultuda otomobil üreticileri, taşıtların hafifliğine daha fazla önem vermeye başlamış ve Ar-Ge çalışmalarını bu yönde yoğunlaştırmıştır. Araç ağırlığının azaltılması sayesinde hem yakıt tüketiminde ciddi oranda tasarruf sağlanmış hem de emisyon gazlarında azalma elde edilmiştir (Varış, 2006).

Taşıtlarda güvenliğin artırılması, yüksek mukavemetli malzemelerin — özellikle çeliklerin — tercih edilmesine neden olmuştur. Kazalardaki ölüm oranları, kullanılan malzeme türüne bağlı olarak farklılık göstermektedir. Yapılan araştırmalara göre, çelikten imal edilen taşıtlarda ölüm riski %91 oranında azaltılabilirken, alüminyum, fiberglas veya plastik esaslı malzemeler kullanılan araçlarda bu oranın sadece %3 civarında olduğu Şekil 4.1’de gösterilmiştir (Öztürk, 2009).



Şekil 4.1. Malzeme tiplerine göre koruma oranları (Öztürk, 2009)

Çevre ve iklim değişikliği konusundaki kaygılar, endüstrinin tüm alanlarında karbondioksit ve benzeri sera gazı emisyonlarının azaltılması yönünde ciddi baskılar yaratmaktadır. Bu durum, otomotiv sektöründe hem güvenlik ve uygun maliyet unsurlarını koruyarak çevresel etkilerin düşürülmesini zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda, araçların hafifletilmesi ve karbonmonoksit emisyonun alüminyum magnezyum gibi hafif yoğunluktaki malzemeler ile sağlanabileceği gibi hatalı bir algı ortaya çıkmıştır (Stuart Keeler, 2014).

Alüminyum, magnezyum ve kompozit malzemeler gibi hafif yapı elemanları, yüksek maliyetleri nedeniyle genellikle lüks araç segmentinde tercih edilmektedir. Bu malzemeler, maliyet faktörü bir kenara bırakıldığında, yakıt tasarrufu sağlamak veya emisyonun dezavantaj oluşturduğu büyük hacimli veya elektrikli araçlarda pahalı batarya maliyetlerini azaltmak için kullanılır. Ancak, düşük yoğunluklu malzemelerin üretim süreçleri yüksek enerji gereksinimi ve yoğun sera gazı salımı nedeniyle çevresel açıdan büyük zorluklar yaratmaktadır. Çelik ile karşılaştırıldığında, bu alternatif malzemelerin üretiminden kaynaklanan emisyonların 5 ila 20 kat daha fazla olduğu Şekil 4.2’de açıkça görülmektedir (Stuart Keeler, 2014)



Şekil 4.2. Malzeme türlerine göre oluşan emisyon miktarları (Stuart Keeler, 2014)

Gelişmiş yüksek dayanımlı çelikler (AHSS), özel alaşım içerikleri ve kontrollü ısıl işlemlerle elde edilen karmaşık mikroyapılara sahiptir. Bu çelikler, mukavemet, süneklik ve tokluk gibi mekanik özellikleri iyileştirmek amacıyla geliştirilmiştir. AHSS grubu; DP, CP, FB, MS/MART, TRIP, TWIP ve sıcak şekillendirilmiş çelikleri kapsar. İlk iki nesil AHSS çelikleri, çarpışma bölgelerinde enerji sönümlleme (DP, TRIP) ve yolcu kabini gibi yapısal alanlarda yüksek dayanım sağlama (MS, PHS) amaçlarıyla kullanılır. Üçüncü nesil AHSS çeliklerde ise daha iyi süneklik-dayanım dengesi, düşük maliyet ve yüksek birleştirilebilirlik hedeflenmektedir (Stuart Keeler, 2014).

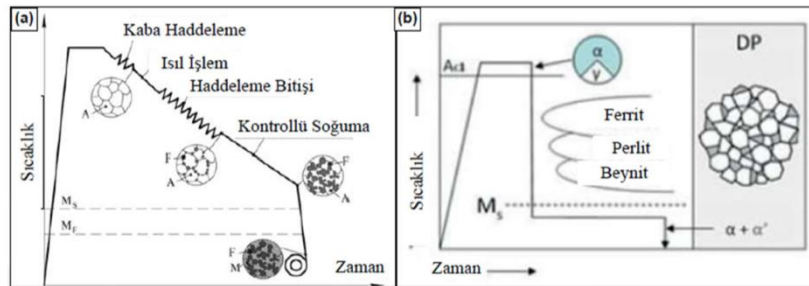
4.1. Yüksek Dayanımlı Çift Fazlı Çelikler (DP)

Çift fazlı (DP) çelikler, ferritik bir matriks içinde ada yapısında dağılmış sert martenzit fazı içeren malzemelerdir. Bu ikinci fazın hacimce oranı arttıkça çeliğin mukavemeti de artar. DP çelikler, ya tam östenit fazından (sıcak haddelenmiş ürünlerde) ya da ferrit ve östenit fazlarının bir arada bulunduğu mikro yapıdan (soğuk haddelenmiş ve sıcak daldırma kaplanmış ürünlerde) kontrollü bir soğutma süreciyle üretilir (Stuart Keeler, 2014).

Kimyasal bileşim olarak sade karbonlu çeliklere oldukça yakın olan DP çeliklerin mikro yapısında, sünek ferrit fazı içerisinde %10–30 oranında martenzit bulunur. Malzemenin yüksek dayanımı, martenzit fazından; sünekliği ise ferrit fazından kaynaklanır. Bu yapıyı elde etmek için, çelikler Fe-Fe₃C faz diyagramındaki A1–A3 sıcaklık aralığında tavllanır ve ardından östenitin martenzite dönüşümünü sağlayacak hızlarda soğutulur (Bilir, 2016). DP çelikler, yüksek dayanımları ve iyi şekillenebilirlik özellikleri nedeniyle özellikle otomobil gövde takviyeleri, kapı ve tavan dikmeleri gibi taşıyıcı parçalarda yaygın olarak kullanılır (Varol, 2013). Ayrıca bu çeliklerin Hyper form versiyonları, TRIP etkisinin eklenmesiyle geliştirilmiştir. Örneğin, DP800 Hyper form çeliği; dayanım ve kaynaklanabilirlik açısından DP800'e, şekillenebilirlik açısından ise TRIP800'e benzer özellikler gösterir.

4.1.1. Dp çeliklerin üretim yöntemi

DP çeliklerinin üretiminde amaç, sünekliği sağlayan ferrit ile mukavemeti artıran martenzit fazlarının bir arada bulunduğu bir mikroyapı elde etmektir. Bu yapı, sıcak haddeleme veya belirli sıcaklıklarda tavlama ve ardından kontrollü soğutma işlemleriyle sağlanır. Kontrollü ısıtma işlemle östenit fazı martenzite dönüştürülürken, yapıda az miktarda kalıntı östenit veya beynit de bulunabilir.



Şekil 4.3. (a) sıcak haddeleme süreci, (b) ise kritik tavlama işlemi olarak gösterilmiştir.

4.2 Otomotiv Endüstrisinde Galvanizli Çelikler

Endüstride korozyona karşı dayanıklı malzeme kullanımı giderek daha önemli hale gelmekte, bu nedenle yeni yöntemler geliştirmek amacıyla çeşitli araştırmalar yapılmaktadır. Özellikle çelik malzemelerde, korozyon direncini artırmak için farklı teknikler uygulanmaktadır. Alaşım elementi eklenerek direnç kazandırılan paslanmaz çeliklerin yanı sıra, karbon çeliklerin yüzeyinin çinko kaplanmasıyla elde edilen galvanizli çelikler de korozyona karşı etkili bir koruma sağlamaktadır (Vural, 1992). Sürekli gelişen otomotiv endüstrisinde ise dayanıklılık, mukavemet, düşük maliyet ve hafiflik ön planda çıkmaktadır. Önceki dönemlerde yalnızca düşük karbonlu çeliklerin kullanıldığı otomotiv sektöründe, artık korozyon direnci artırılmış çinko kaplı karbon çelik sac lar yaygın olarak tercih edilmektedir. Özellikle çamurluk ve araç altı gibi korozyon riskinin yüksek olduğu bölgelerde galvanizli çelik sac lar, uzun ömür ve dayanıklılık sağlaması nedeniyle öne çıkmaktadır (Llewellyn, 1994). Şekil 4.4'te otomobilin alt kısmında galvanizli çelik kullanımı gösterilmektedir.



Şekil 4.4 Otomobil alt kısmında galvanizli çelik kullanım

5. KOROZYON

Korozyon, metal ve alaşımların kimyasal veya elektro kimyasal reaksiyonlar sonucunda, doğada termodinamik olarak kararlı bileşiklere dönüşme eğilimidir. Bu süreç, metal ve alaşımların çevreleriyle etkileşime girerek fazla enerjilerini kaybetmeleri, entropilerini azaltmaları ve sonunda doğal olarak kararlı bileşikler oluşturması şeklinde gerçekleşen doğal bir olaydır (Gerengi, 2008).

Korozyon genel olarak iki ana türde gerçekleşir:

Kimyasal korozyon: Metal veya alaşımların gazlar veya çevredeki ortamla doğrudan reaksiyona girmesiyle meydana gelir; buna kuru korozyon da denir. En yaygın örneği oksitlenmedir. Oksitlenme özellikle yüksek sıcaklıklarda yoğunlaşır. Örneğin, türbin kanatları ve yüksek sıcaklıkta çalışan diğer makine parçaları kimyasal korozyona maruz kalır. Demirin en yaygın kimyasal korozyon ürünleri oksitlerdir (Fe_3O_4 , Fe_2O_3 , FeO).

Elektro kimyasal korozyon: Metal ve alaşımların su bazlı ortamlarda gerçekleşen korozyonudur. Bu tip korozyonun oluşması için elektrik akımını iletebilen bir elektrolit ortamının bulunması zorunludur. Elektrolitler, asit, baz veya tuzların su içindeki çözeltileridir. Örnek olarak, bir metal elektrot kendi tuzunun sulu çözeltisine batırıldığında, atomların dış yörüngelerindeki elektronlar serbest kalır. Bu durumda gerçekleşen olaylar şunlardır:

Metaller elektron kaybederken (oksidasyon), sulu ortamda diğer reaksiyonlar oluşur. Elektron alışverişi ve iyon hareketleri sonucu metaller pasif veya aktif olarak çözünür, bu da metalin yapısal bütünlüğünün bozulmasına yani korozyona yol açar.

Elektrokimyasal korozyonun temel reaksiyonları, anodik (metal oksidasyonu) ve katodik (elektron alımı) yarı reaksiyonlarıdır. Bu reaksiyonlar birlikte metal yüzeyinde korozyon sürecini sürdürür.

5.1. Korozyon Türleri

Mühendislik açısından en kritik korozyon biçimlerinden biri olan bölgesel korozyon, etkilediği yüzey ölçeğine göre üç ana gruba ayrılır:

Makro korozyon: Malzeme yüzeyinde çıplak gözle gözlemlenebilen geniş alanlı korozyon türüdür. Genellikle yüzeyde belirgin renk değişimleri, çatlamlar veya metal kaybı ile kendini gösterir.

Mikro korozyon: Yalnızca mikroskop altında tespit edilebilen, malzemenin mikroyapısında lokal bozulmalara yol açan korozyon şeklidir. Yapısal zayıflamalara neden olabilir.

Karma korozyon: Hem makroskobik hem de mikroskobik düzeyde etkili olan, çoklu ölçeklerde ilerleyerek hem yüzeyde hem iç yapıda hasara yol açan birleşik korozyon türüdür.

Tablo 5.1. Bölgesel korozyon türlerinin sınıflandırılması (Bilhan, 2003)

Korozyon Tipi	Alt Türler
I. Makro Korozyon	a) Galvanik korozyon b) Seçimli korozyon c) Kabuk altı korozyonu d) Aralık korozyonu e) Çukur korozyonu f) Filiform korozyonu
II. Mikro Korozyon	a) Taneler arası korozyon b) Gerilmeli korozyon c) Yorulmalı korozyon
III. Mikro + Makro Korozyon	a) Erozyonlu korozyon b) Titreşimli korozyon c) Hidrojen çatlaması

5.1.1. Genel korozyon

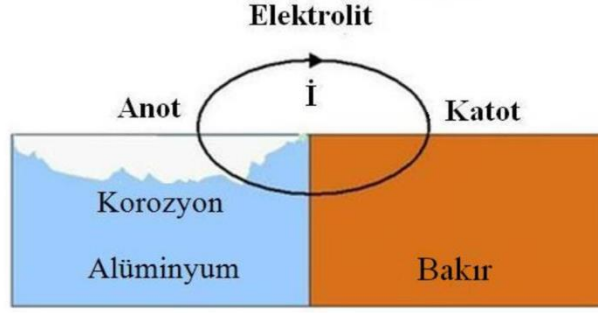
Uniform korozyon, metal yüzeyinin her noktasında yaklaşık olarak aynı hızda gerçekleşen bir korozyon türüdür. Bu tür korozyon, genel olarak en yaygın ve beklenen korozyon şeklidir.

5.1.2. Çukur korozyon

Çukur tipi korozyon, metal yüzeyinde belirli bölgelerde lokalize olarak meydana gelen ve küçük oyuklar oluşturan bir korozyon çeşididir. Bu durumda, anot ve katot bölgeleri net bir şekilde ayrılır; anot, çukurun içinde dar bir alanda yoğunlaşırken, katot ise çukurun çevresindeki geniş yüzey alanıdır. Anot bölgesindeki metal iyonlarının çözünmesiyle çukur büyür ve bu süreç metalin kısa sürede delinmesine yol açabilir. Bu nedenle, çukur korozyonu, özellikle malzeme bütünlüğünü hızlı ve gizli bir şekilde tehdit etmesi sebebiyle oldukça riskli bir korozyon türü olarak değerlendirilir.

5.1.3. Galvaniz korozyon

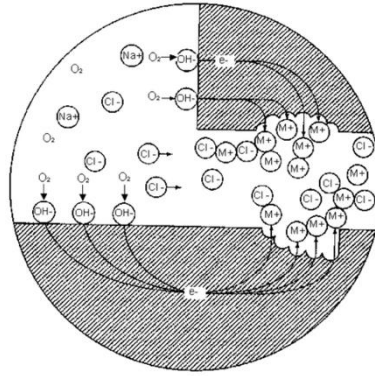
Galvaniz korozyon, farklı iki metalin bir araya gelmesiyle oluşan bir korozyon türüdür. Metaller arasında daha soy olan metal katot, daha aktif olan ise anot görevi görür. Böylelikle bir korozyon devresi oluşur ve bu devrede sadece anot metal korozyona maruz kalır. Galvaniz korozyonun şematik gösterimi Şekil 5.1’de sunulmuştur (Küçükkara, 2008).



Şekil 5.1. Galvanik korozyon sürecinin şematik gösterimi (Küçükkara, 2008)

5.1.4. Aralık korozyon

Metal yüzeylerinde bulunan çatlak, dar aralıklar veya sıvının hareketsiz kaldığı cep benzeri alanlarda oksijenin sınırlı miktarda ulaşması nedeniyle bu bölgeler anot haline gelirken, çevresindeki yüzeyler katot olarak davranır. Bu durum, yerel bir korozyon hücresi oluşturarak çatlak içinde korozyon gelişimine yol açar. Bu tür korozyon yalnızca metal yüzeyindeki çatlaklarda değil, aynı zamanda metal ile başka bir malzeme arasında kalan dar aralıklarda da ortaya çıkabilir.



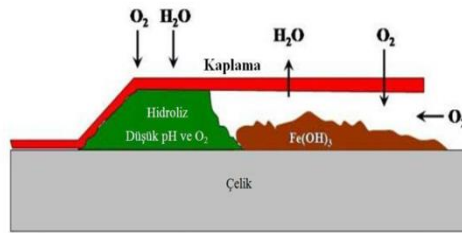
Şekil 5.2. Aralık korozyonunun şematik gösterimi

5.1.5. Kabuk altı korozyon

Metal yüzeyinde oluşan korozyon ürünleri veya başka etkenlerle meydana gelen kabuk (birikinti) altında gelişen korozyona kabuk altı korozyonu denir. Bu korozyon türü, kabuk altındaki nemli ortam ve yetersiz oksijen nedeniyle ortaya çıkar. Çünkü kabuk altında sıvı dolaşımı olmaz ve bu durum çatlak korozyonuna benzer şartlar oluşturur. Kabuk altı bölgesi anot, kabuk çevresi ise katot görevi görür (Küçükkara, 2008).

5.1.6. Filiform korozyon

Filiform korozyon, boyalı veya kaplanmış metal yüzeylerde, kaplama altından ince iplikler halinde ilerleyen bir korozyon türüdür. Nem ve oksijen varlığında kaplama altındaki metal hızlıca aşınır. Genellikle kaplama çatlaklarından başlar ve yüzeyde kabarma veya boya dökülmesi şeklinde görülür. Önlemek için yüzey hazırlığına dikkat edilmeli ve kaplama hasarları hızlıca onarılmalıdır.



Şekil 5.3. Filiform korozyonun görseli

5.1.7. Seçici korozyon

Bir alaşım içindeki belirli elementlerin korozyona uğrayarak metalden ayrılması sonucu oluşan korozyon türüdür. Pirinçteki çinkonun bakıra kıyasla önce aşınması buna örnektir (Bilhan, 2003).

5.1.8. Taneler arası korozyon

Metal kristal yapısında taneler arasındaki sınır çizgileri boyunca meydana gelen korozyondur. Özellikle paslanmaz çeliklerde sıkça görülür ve metalin dayanımını ciddi şekilde etkileyebilir (Bilhan, 2003).

5.1.9. Erozyonlu korozyon

Korozif sıvıların metal yüzeyinde yüksek hızla akması sonucu oluşan aşındırıcı korozyondur. Bu durum, yüzeyde oluşan korozyon ürünlerinin akışkan tarafından uzaklaştırılmasıyla korozyon hızını artırır. Boru, dirsek ve vana gibi hareketli akışkan sistemlerinde yaygındır (Bilhan, 2003).

5.1.10. Aşınmalı korozyon

İki yüzeyin birbirine sürtünmesiyle birlikte korozyonun da etkili olduğu aşınma türüdür. Metal parçaların uzun mesafe taşınması veya gevşek bağlantı elemanlarında sıkça görülür (Bilhan, 2003).

5.1.11. Gerilmeli korozyon

Metal statik bir gerilme altındayken korozif ortamda çatlayarak kırılmasıdır. Normalde koruyucu korozyon tabakası oluşurken, gerilme altında bu tabaka oluşmaz ve korozyon hızla ilerler (Bilhan, 2003).

5.1.12. Yorulmalı korozyon

Periyodik yükleme altında bulunan metallerde oluşan yorulma çatlakları ile birlikte korozyonun etkisiyle meydana gelen hasarlardır. Bu tür korozyon, metalin erken çatlamasına yol açar (Bilhan, 2003).

5.1.13. Kaçak akım korozyon

Yüksek voltajlı elektrik hatları, kaynak makineleri veya raylı sistemlerden zemin içine yayılan kaçak elektrik akımlarının, çevredeki metal yapılarda oluşturduğu korozyondur (Küçükkara, 2008).

5.1.14. Mikrobiyolojik korozyon

Bakteri, mantar ve mikroorganizmaların korozyon reaksiyonlarını hızlandırmasıyla oluşan korozyondur. Korozyon yapısal olarak normal korozyondan farklı olmasa da hızlanmış bir süreçtir (Küçükkara, 2008).

5.1.15. Alüminyum esaslı metal matrisli kompozitlerin korozyonu

Düşük özgül ağırlık, iyi elektrik ve ısı iletimi ile yeterli mekanik dayanımı nedeniyle yaygın kullanılan alüminyum bazlı kompozitler, korozif ortamlarda dikkatli seçilmeli ve alüminyum saflığı %99,5'in altında olmamalıdır (Küçükkara, 2008).

6. ELEKTRİK DİRENÇ KAYNAĞI

Elektrik direnç nokta kaynağı (EDNK), sac metal parçaların belirli noktalardan birleştirilmesinde kullanılan hızlı ve verimli bir kaynak yöntemidir. Bu yöntemde, iki metal yüzey elektrotlar arasında sıkıştırılarak bir araya getirilir ve bu noktalara kısa süreli yüksek akım uygulanır. Akımın geçtiği temas yüzeyinde oluşan direnç, lokal ısı üretir ve bu sayede metaller eriyerek birleşir.

EDNK yöntemi, hızlı uygulanabilirliği, otomasyona uygunluğu ve düşük maliyeti nedeniyle özellikle otomotiv, beyaz eşya ve seri üretim endüstrilerinde yaygın olarak tercih edilmektedir. İlave dolgu malzemesi ya da koruyucu gaz gerektirmemesi de yöntemi ekonomik ve çevreci hale getirir (Coşkun,2009).

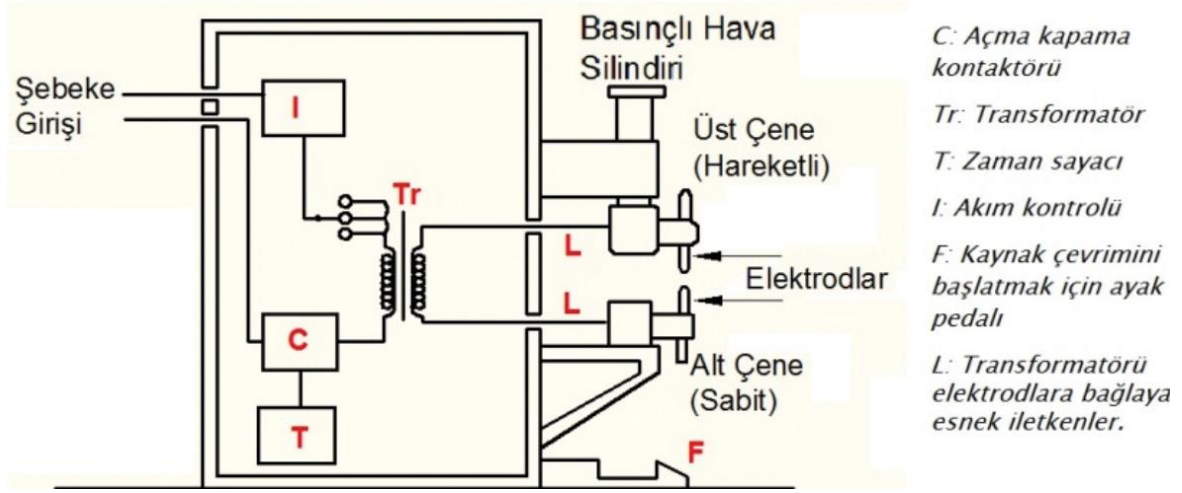
6.1. Elektrik Direnç Kaynak Prensibi

Kaynak akımı, transformatörler aracılığıyla yüksek gerilim ve düşük akımdan, düşük gerilim ve yüksek akıma dönüştürülerek sağlanır. Elektrot baskı kuvveti ise hidrolik, pnömatik veya mekanik sistemlerden elde edilir (Keleş, 2008).

Transformatörler, şebekeden aldığı elektriğin gerilimini düşürüp akımını artırarak nokta direnç kaynağı için gerekli ısıyı oluşturur. İş parçası elektrotlar arasında belirli bir kuvvetle sıkıştırıldığında, elektrik akımına karşı direnç göstererek ısı üretir. Böylece iş parçası, tek veya çoklu noktalarda bölgesel olarak ergiyip basınç altında birleşir. Akım kesildiğinde kaynak metali hızla soğurken elektrot basıncı devam eder (Kaya, 2010).

Uygulama, üst üste konmuş sacların bakır elektrotlar arasında sıkıştırılması ve tam basınç uygulandıktan sonra akımın devreye girmesi şeklindedir. Isı, ek bir kaynak olmadan Joule kanununa göre oluşur (Keleş, 2008). Direnç kaynağı ile 12 mm'ye kadar çelik saclar, 3 mm'ye kadar bakır saclar ve 5 mm'ye kadar alüminyum saclar kaynaklanabilir. Ancak alüminyum ve bakırın düşük elektrik dirençleri ve yüksek ısı iletkenlikleri nedeniyle kalın saclarda kaynak zordur (Coşkun, 2009).

Kaynakta en önemli faktör, malzemenin elektrik direncidir. Demir gibi yüksek dirence sahip metaller kolay kaynaklanırken, alüminyum gibi düşük dirençli metallerin kaynağı daha zordur (Keleş, 2008). Şekil 6.1'de elektrik direnç kaynağı makinasıda verilmiştir.



Şekil 6.1. Nokta direnç kaynak makinası.

Kaynak noktalarının, iş parçasının kenarlarından belirli bir mesafede konumlandırılması gerekmektedir. Bunun temel nedeni, kaynak merkezinde oluşan ergimiş metalin kaynak sırasında ani bir şekilde dışarıya sıçrama (kıvılcım olarak fırlama) riski taşımasıdır. Ayrıca, kaynak merkezine yakın konumlanan kenar bölgelerde paralel bir akım devresinin oluşması ihtimali de söz konusudur. Bu durum, kaynak kalitesini olumsuz etkileyebileceği gibi işlem güvenliğini de tehlikeye atabilir. Bu sebeple, kaynak noktalarının iletim özellikleri dikkate alınarak kenar bölgelerden yeterli uzaklıkta yerleştirilmesi, hem kıvılcım riskini azaltmak hem de akımın kontrollü bir şekilde sadece istenilen kaynak bölgesinde yoğunlaşmasını sağlamak açısından kritik öneme sahiptir.

6.2. Elektrik Direnç Kaynak Çeşitleri

Elektrik direnç kaynağı, birleştirilecek metal parçalar arasında lokal olarak yüksek bir elektriksel direnç oluşturmak ve bu sayede bölgesel ısı üreterek birleştirme sağlamak amacıyla geliştirilen çeşitli tekniklerden oluşur. Bu yöntemlerin tamamında, elektrotlar ile iş parçaları arasında doğrudan fiziksel temas sağlanır.

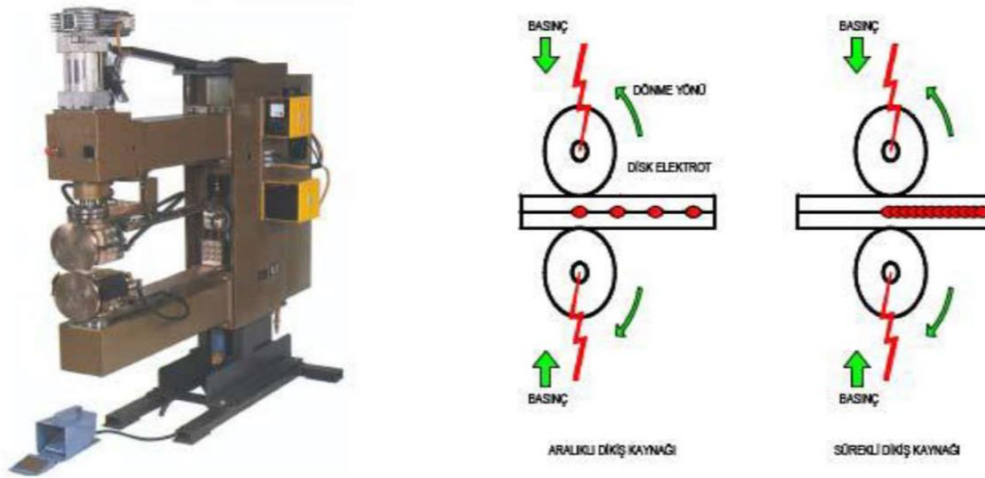
Temas bölgesine uygulanan elektrik akımı, parçaların elektriksel direnci nedeniyle ısıya dönüşür. Bu ısı, metallerin ergimesini ve uygulanan basınçla birleşmesini sağlar. Yöntemler arasında uygulama şekli, kaynak tipi ve elektrot kullanımı açısından farklılıklar bulunsada; hepsinde ortak olan temel prensip, elektrik akımına karşı oluşan direnç ile ısı üretimi ve bu ısıya lokal olarak kullanılmasıdır.

6.2.1. Dikiş kaynak

Elektrikli direnç dikiş kaynağı, sac metal parçaların döner bakır elektrotlar arasında elektrik akımı ve mekanik basınçla sürekli olarak birleştirilmesini sağlayan bir yöntemdir.

Isı, temas yüzeyindeki elektriksel dirençten kaynaklanır ve parçalar erime noktasına ulaşır birleşir. Bu yöntem diğer kaynak tekniklerinden farklı olarak yüksek sızdırmazlık sağlar; bu özellik özellikle otomobil yakıt deposu üretiminde kritik öneme sahiptir. Sızdırmazlık, emniyet açısından büyük bir gerekliliktir.

Yöntem otomotiv, beyaz eşya, boru, tank ve metal mobilya sektörlerinde yaygın olarak kullanılır. Avantajları yüksek üretim hızı, otomasyona uygunluk, düşük ısıl deformasyon, sızdırmaz kaynak hattı ve çevre dostu oluşudur. Dezavantajları ise elektrot aşınması, sınırlı malzeme kalınlığı, parametrelerin hassas kontrol ihtiyacı Şekil 6.2’de kaynak makinesi ve döner elektrotlarla gerçekleştirilen elektrikli direnç dikiş kaynağının temel prensibi gösterilmektedir.

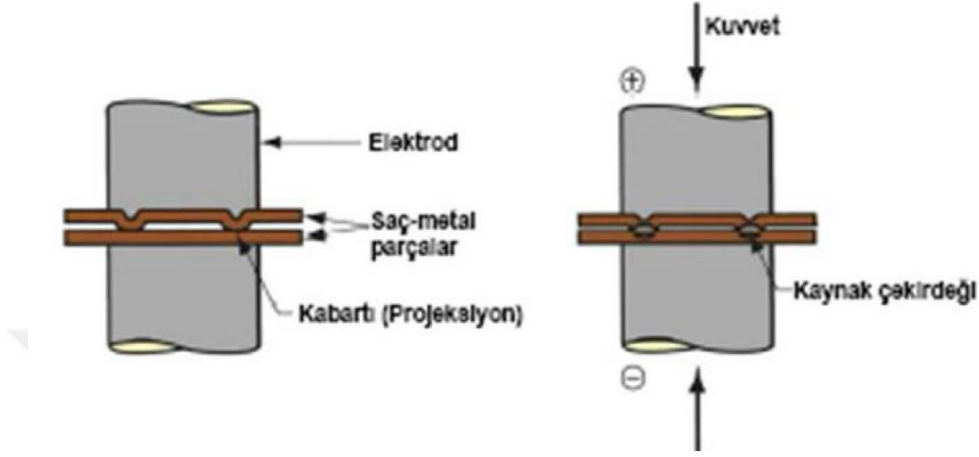


Şekil 6.2. Elektrikli direnç dikiş kaynak makinesi

6.2.2. Kabartılı kaynak

Kabartmalı kaynak yapılacak yüzeylere önceden oluşturulmuş küçük kabartmaların elektrik akımı ve mekanik basınçla birleştirildiği bir direnç kaynağı yöntemidir. Bu kabartmalar sayesinde ısı ve basınç belirli noktalarda yoğunlaşır, böylece kaynak kalitesi artar. Avantajları arasında kaynak noktalarının kesin konumlandırılması, enerji ve basınç tasarrufu, otomasyona kolay uyum ve aynı anda çoklu kaynak yapma imkanı sağlaması yer alır. Dezavantajları ise

kabartma oluşturma işleminden dolayı ek maliyetin oluşması, sınırlı malzeme ve geometrilere uygunluğu ile yüzey hazırlığının kaynak kalitesini doğrudan etkilemesidir. Kabartılı kaynak, otomotiv parçaları, elektrik motorları ve küçük bağlantı elemanlarının üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır.



şekil 6.3. Kabartılı kaynak yöntemine ait uygulama örneği.

6.3. Elektrik Nokta Direnç Kaynak

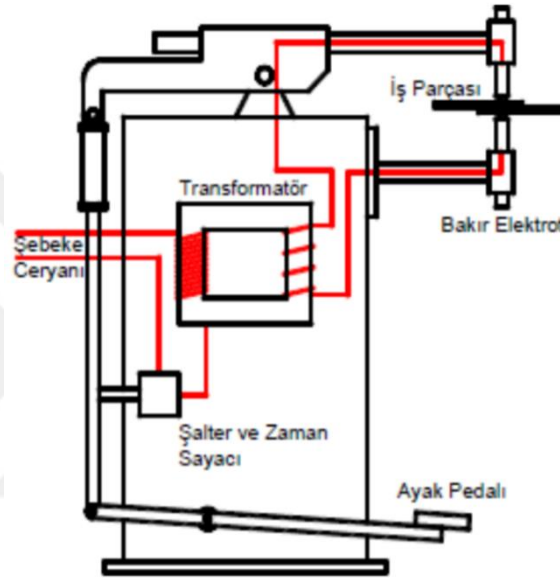
Nokta direnç kaynağı, iki veya daha fazla sac metalin üst üste getirilerek, genellikle bakır alaşımlı elektrotlar arasında elektrik akımı ve mekanik basınç uygulanmasıyla belirli noktalardan birleştirildiği bir elektrikli direnç kaynağı yöntemidir.

Isı, parçaların temas yüzeyinde oluşan elektriksel direnç sonucu ortaya çıkar ve bu lokal ısı, malzemeyi erime sıcaklığına ulaştırarak birleşmelerini sağlar. Kaynak noktası, kısa sürede oluşan erimiş bir çekirdek ve ardından soğuma ile meydana gelir. Her bir kaynak işlemi genellikle birkaç yüz milisaniye sürer. Bu yöntemin en temel avantajı, yüksek üretim hızına olanak tanınması ve tam otomasyon sistemlerine entegre edilebilir olmasıdır.

Nokta kaynak sistemleri, çok düşük çevresel etkiye sahiptir; işlem sırasında gaz salınımı, ark veya ek dolgu malzemesi gereksinimi bulunmaz. Ayrıca kaynak noktalarının yüzeyde görece küçük izler bırakması, estetik açıdan da tercih sebebi olabilir. Bununla birlikte, proses tekrarlanabilirliği yüksektir ve özellikle seri üretimde tutarlı sonuçlar elde edilmesine imkan tanır. Ancak bazı sınırlamaları da bulunmaktadır. En belirgin dezavantaj, yöntemin yalnızca belirli kalınlıktaki malzemelerde etkili olmasıdır; genellikle 0.5 mm ile 3 mm arası sac metallere uygulanabilir. Daha kalın malzemelerde yeterli nüfuziyet sağlanamayabilir. Elektrotlar zamanla aşındığından sık bakım ve değiştirme ihtiyacı doğar. Ayrıca, her kaynak noktası için

ayrı enerji ve basınç uygulanması gerektiğinden, çok sayıda kaynak yapılacaksa işlem süresi uzayabilir. Yöntem, yüzey temizliğine de oldukça duyarlıdır; oksitlenmiş, boyalı veya yağlı yüzeyler kaynak kalitesini olumsuz etkileyebilir.

Nokta direnç kaynağı, özellikle otomotiv sektöründe gövde saclarının birleştirilmesinde en yaygın kullanılan yöntemlerden biridir. Bunun yanında beyaz eşya üretimi, metal mobilyalar, havalandırma kanalları, elektrik panoları ve hafif sac konstrüksiyonlar gibi birçok endüstriyel alanda tercih edilmektedir. Hem karbonlu hem de paslanmaz çelik, galvanizli saclar ve alüminyum gibi iletken metaller üzerinde uygulanabilmektedir.



Şekil 6.4. Nokta direnç kaynağında kullanılan makinenin elektriksel sistem şeması (Baydemir, 2011).

6.3.1. Elektrik direnç nokta kaynağı adımları

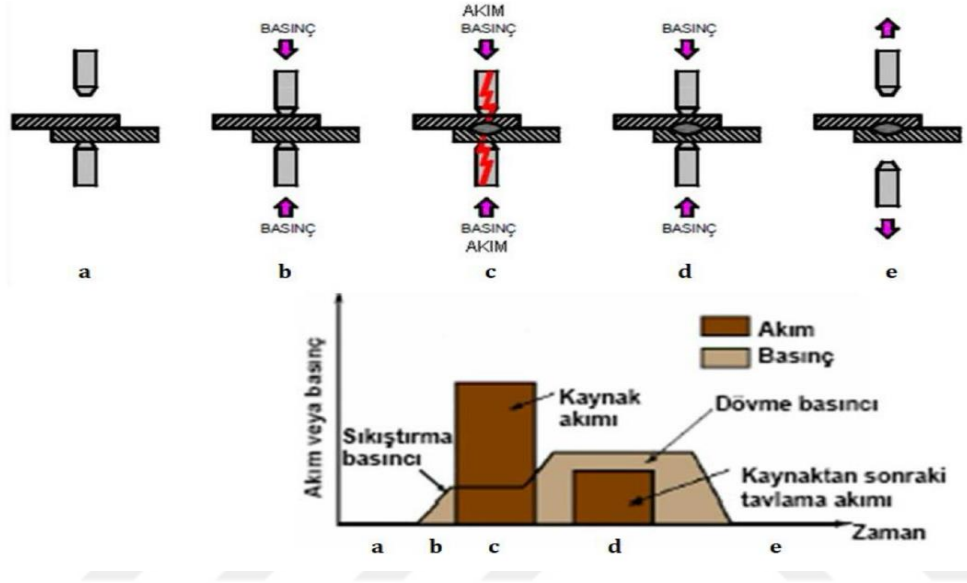
Ağız Açma ve Yüzey Hazırlığı; Kaynak yapılacak parçaların temas yüzeylerinin düzgün ve temiz olması sağlanır. Oksitlenmiş, kirli ya da yağlı yüzeyler temizlenir. Kaynak verimliliğini artırmak ve temas direncini düşürmek için ön hazırlık yapılır.

Yaklaşma (Pozisyonlama); Kaynak elektrotları, parçaları bir araya getirecek şekilde konumlandırılır. Parçalar arasındaki temas düzgün şekilde sağlanır. Elektrot uçlarının hizası ve yerleşimi kontrol edilir.

Baskı Uygulama; Elektrotlar, kaynak yapılacak parçalara belirli bir kuvvetle baskı uygular. Bu basınç, elektriksel temas kalitesini ve birleşmenin mekanik gücünü doğrudan etkiler.

Akım Uygulama (Isıl Enerji Aktarımı); Yüksek akım, kısa süreli olarak temas bölgesinden geçirilir. Elektrik akımı, malzeme iç direnci nedeniyle ısı üretir ve temas yüzeyleri erime noktasına yakın sıcaklığa ulaşır. Bu aşama, kaynak bölgesinin oluştuğu temel adımdır

Soğuma ve Birleşme; Akım kesildikten sonra, basınç bir süre daha uygulanmaya devam edilir. Bu sırada erimiş bölge katılaşarak kaynak bağlantısını oluşturur. Soğuma süresi, kaynak kalitesini doğrudan etkiler. İşlem adımları Şekil 6.5'te belirtilmiştir.



Şekil 6.5. Elektrikli direnç nokta kaynak işlem adımları

6.3.2. Direnç nokta kaynağında sürece etki eden değişkenlerin incelenmesi

Direnç nokta kaynağı işleminde, akım şiddeti ve kaynak süresi temel belirleyici parametreler arasında yer almaktadır. Bu iki değişkenin birbirine uygun şekilde ayarlanması, kaliteli ve sağlam bir kaynak bağlantısı elde edilmesi açısından kritik öneme sahiptir.

Kaynak parametrelerinin yönetimi ve sürecin otomatik olarak kontrolü, kaynak makinesine entegre edilmiş elektronik kontrol ünitesi aracılığıyla sağlanmaktadır. Uygun biçimde belirlenen akım ve zaman değerleri, istenen kaynak çekirdeği çapının oluşmasına olanak tanır.

Eğer kaynak süresi kısa tutulursa, elde edilen kaynak noktası çapı küçük olurken; süre arttırıldığında eriyen metal hacmi genişler ve bu fazla ısı, elektrot çevresinden dışarı taşabilir. Bu parametrelerin farklı kombinasyonları sonucunda “hızlı kaynak” ve “yavaş kaynak” olmak üzere iki temel yaklaşım ortaya çıkmıştır. Direnç kaynak teknolojisinin ilk dönemlerinde, mevcut enerji altyapısının yetersizliği nedeniyle düşük akım ve düşük kuvvetle, ancak uzun süreli kaynak işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bu koşullarda uygulanan düşük kuvvete

rağmen, elektrotların malzeme yüzeyine fazla nüfuz etmesi nedeniyle, ısı etki bölgesi geniş olmuş ve kaynak noktasına düşen enerji miktarı da artmıştır.

Teknolojik gelişmelerle birlikte, daha yüksek kuvvet ve akımları uygulayabilen gelişmiş direnç kaynak sistemleri ortaya çıkmıştır. Bu modern sistemler sayesinde, daha kısa sürede ve daha düşük enerji tüketimiyle, yüksek dayanım sağlayan kaynak noktaları üretilebilmektedir. Direnç nokta kaynağında, kaynak kalitesini doğrudan etkileyen parametreler, genellikle birleştirilecek levhalardan daha ince olan parçaya göre optimize edilmelidir (Kaya, 2010).

Kaynak kalitesini doğrudan etkileyen temel değişkenler açıklamaları ile aşağıda sıralanmıştır:

a. Uygulanan kaynak akımının etkisi

Direnç nokta kaynak yönteminde, kaynak bölgesinde gerekli olan ısıнын oluşumunda elektriksel dirençten sonra en önemli ikinci parametre, uygulanan akımdır. Isı üretimi Joule yasasına göre ifade edilen;

$$Q = I^2 \times R \times t \quad (6.1)$$

formülü ile açıklanır. Bu formülde görüldüğü üzere, akımın karesi doğrudan ısı üretimine etki eder. Bu nedenle, kaynak bölgesinde istenilen çapta ve sağlamlıkta bir çekirdek oluşmasını sağlamak için uygulanacak akım değeri titizlikle seçilmelidir (Koca, 2006).

Kaynak akımı, transformatörün sekonder devresinde bulunan elemanlar aracılığıyla dolaşır. Bu devre; sekonder sargı, sargıyı kollara bağlayan esnek bağlantı elemanları, elektrot kolları, elektrotlar ve son olarak iş parçasını kapsar. Akımın bu devre boyunca iletimi sırasında karşılaşılan toplam direnç, kaynak sırasında oluşacak ısıнын büyüklüğünü etkileyen temel unsurlardan biridir. Ancak ısı yalnızca kaynak bölgesinde toplanmaz; bir bölümü çevreye iletim, taşınım ve ışıınım yoluyla dağılır. Bu enerji kayıpları özellikle kaynak verimliliği açısından dikkate alınmalıdır (Koca, 2006).

Çelik malzemeler ile yapılan kaynak işlemlerinde bu durum daha da önem kazanmaktadır. Çeliğin ısıl iletkenliği, bakırınkinin yalnızca %12'si kadardır. Dolayısıyla çeliğin bakır esaslı elektrotlarla kaynağı sırasında, uygun kaynak akımı uygulandığında, ara yüzeyde oluşan ısıнын kaynak bölgesinden soğutmalı elektrotlara doğru taşınımı yavaş olur. Bu durum, kaynağın iş parçalarının temas yüzeyinde ve kontrol altında gerçekleşmesini sağlar (Hayat, 2005).

Yüksek akım uygulandığında, kaynak işlemi için gereken sıcaklık daha kısa sürede elde edilebilir ve bu sayede kaynak süresi azaltılabilir. Ancak akım şiddeti belirli bir üst sınırı aşarsa,

birtakım istenmeyen durumlar ortaya çıkar. Kaynak bölgesindeki tüm metal, ergime sıcaklığını aşarak plastik şekillenme bölgesine ulaşabilir. Bu durumda elektrotlar malzemeye derinlemesine gömülür, dış yüzeyleri aşırı ısınır ve hatta deformasyona uğrayabilir (Erik, 2010). Bunun yanı sıra, akımın fazla yüksek olması, kaynak bölgesindeki sıvı metalin levhaların dışına doğru fişkırmasına neden olur. Bu olay, kaynak noktasının hem geometrik bütünlüğünü hem de mekanik dayanımını olumsuz etkiler.

Yine yüksek akımın etkisiyle, elektrot ile levha arasındaki temas yüzeylerinde istenmeyen ergime oluşabilir. Bu ergime sonucunda elektrotlar iş parçasına yapışır ve tahrip olur. Bu durum sadece kaynak kalitesini düşürmekle kalmaz, aynı zamanda elektrotların ömrünü de önemli ölçüde kısaltır ve üretim sürekliliğini tehdit eder (Erik, 2010).

Ayrıca kaynak işlemi sonucunda oluşan kaynak çekirdeğinin yüksekliği, birleştirilen iki sacın toplam kalınlığının %40 ile %80'i arasında olmalıdır. Bu aralık, mekanik olarak güvenli ve sağlam bir kaynak noktası elde edilebilmesi için kritik kabul edilir. Bu sınırların altında veya üstünde kalan değerler, kaynak dayanımında düşüşe ve kaynak hatalarına neden olabilir. Özellikle akım şiddetinin üst sınıra yakın seviyelerde olması durumunda, fişkırma riski artar ve kaynak bölgesi kontrol dışı bir şekilde şekillenebilir. Bununla birlikte, elektrot uç çapı, sac kalınlığı ve uygulanan kuvvet sabit tutulduğunda, akım-zaman diyagramı kullanılarak optimum değerlerin belirlenmesi mümkündür (Coşkun, 2009).

b. Kaynak süresinin (zamanın) etkisi

Direnç nokta kaynağında kaynak süresi, kaynak bölgesinde oluşan ısı miktarını doğrudan etkileyen önemli bir parametredir. Enerji formülü;

$$Q = K \times I^2 \times R \times t \quad (6.2)$$

ile ifade edildiği üzere, akımın karesiyle ve kaynak süresiyle doğru orantılı olarak ısı üretilir (Hayat, 2005). Sürenin doğru seçilmesi, hem kaynak çekirdeğinin yeterli boyuta ulaşmasını sağlar hem de kaynak kalitesini doğrudan etkiler.

Kaynak süresi çok kısa tutulduğunda, çekirdek yeterince gelişmez ve zayıf birleşmeler ortaya çıkar. Sürenin fazla uzun olması durumunda ise fazla ergime meydana gelir, bu da metal fişkırmasına ve yüzeyde yanık izlerine yol açar (Yıldırım, 2010). Bu nedenle kaynak süresi; akım ve elektrot kuvvetiyle birlikte dengeli şekilde belirlenmelidir.

Ayrıca, kaynak sonrasında elektrotların hemen kaldırılması, oluşan ısının yüzeye yayılmasına neden olur. Bu durum hem görsel hem de yapısal kaliteyi olumsuz etkiler. Bu nedenle pratikte

tutma süresi uygulanarak elektrotların bir süre daha temas etmesi sağlanır. Böylece ısı, elektrotlar aracılığıyla alınır ve kaynak izi daha düzgün olur (Demirtaş, 2011).

c. Elektrot kuvvetinin kaynak kalitesi üzerindeki rolü

Direnç nokta kaynağında kaynak kalitesini belirleyen önemli değişkenlerden biri de elektrot kuvvetidir. Bu kuvvet, kaynak süresince elektrotların iş parçasına uyguladığı basınçtır ve kaynak noktasının oluşumunu doğrudan etkiler (Erik, 2010).

Elektrot kuvveti, kaynak sırasında oluşan ergimiş metalin dışarı fışkırmasını önleyerek, kaynak çekirdeğinin sabit ve düzgün kalmasını sağlar. Ayrıca dövme aşamasında, kaynak bölgesinde oluşabilecek boşluk ve çatlakların engellenmesinde de önemli rol oynar (Esindir, 2009).

Farklı malzemelere göre önerilen kuvvet değerleri şöyledir:

Alaşımsız çelikler:

$$P = 2 \times s \quad (6.3)$$

Yüksek alaşımlı çelikler:

$$P = 3.5 \times s \quad (6.4)$$

Alüminyum:

$$P = 2 \times s \quad (6.5)$$

Burada P, elektrot kuvvetini (kN), s ise sac kalınlığını (mm) göstermektedir (Erik, 2010). Uygun kuvvetin seçilmemesi, hem kaynak kalitesini hem de elektrot ömrünü olumsuz etkileyebilir.

d. Elektrotların geometrisi ve bileşiminin ısı üretimine etkisi

Elektrotların ısınmasını en aza indirmek için yüksek elektrik iletkenliği ve düşük temas direncine sahip olmaları gerekir. Ayrıca, elektrot ucu ile metalin temas ettiği bölgelerdeki ısının hızlıca dağılabilmesi için iyi ısı iletkenliği önemlidir. Elektrotlar, aynı zamanda tekrarlanan yüksek kuvvetlerin yol açtığı deformasyona karşı dayanıklı olmalıdır.

e. Elektrotun kimyasal içeriğinin kaynak performansına etkisi

Elektrot alaşımında sertlik arttıkça ısı ve elektrik iletkenliği genellikle azalır. Bu nedenle, en uygun alaşım seçimi yapılırken elektriksel, ısısal ve mekanik özelliklerin dengeli bir kombinasyonu göz önünde bulundurulmalıdır.

f. Elektrot uç formunun kaynak üzerindeki etkisi

Aynı malzeme ve kalınlıktaki parçalar kaynaklandığında, elektrot uç çaplarının birbirine eşit olması gerekir. Ancak, kaynak yapılacak parçaların kalınlıkları farklıysa, kalın olan parça ile temas eden elektrotun çapı, ısı dengesini sağlamak için daha büyük olmalıdır.

Farklı metallerin kaynağında da benzer bir durum söz konusudur; metallerden birinin elektriksel direnci diğerinden yüksekse, bu farkı dengelemek için yüksek dirençli parçaya temas eden elektrot ucunun çapı büyütülebilir veya düşük dirençli parçaya temas eden elektrot için daha yüksek dirençli bir malzeme tercih edilebilir.

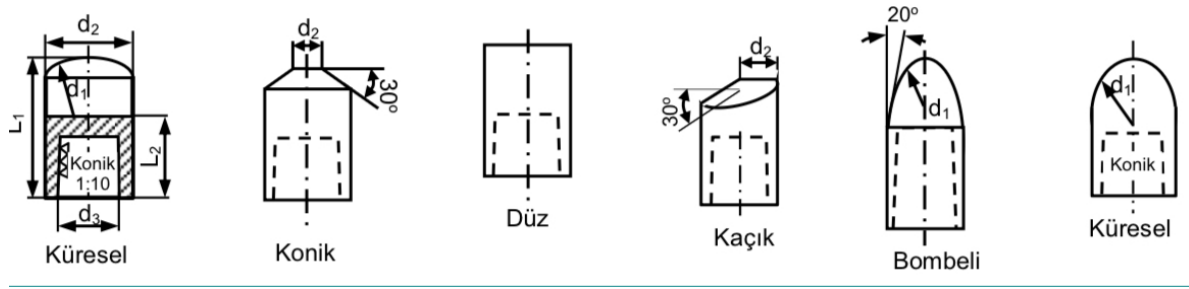
Kaynak çekirdeğinin çapı, elektrot temas yüzeyinden biraz daha küçük olur. Elektrot ucu zamanla aşınır ve mantarlaşırsa, uç çapı büyür ve buna bağlı olarak kaynak çekirdeği çapı da artar. Uç çapındaki bu artış akım yoğunluğunu düşürür, bu da yeterli ısı oluşumunu engelleyerek kaynak kalitesinin düşmesine yol açar.

g. Elektrotların üretildiği malzeme türü ve boyutsal özellikleri

Ticari saflıktaki bakır, yüksek elektrik iletkenliği nedeniyle uzun yıllar direnç kaynağında elektrot malzemesi olarak tercih edilmiştir. Saf bakırın bu avantajına rağmen, artan kaynak akımı, kaynak hızı ve elektrot kuvveti gibi talepler, mekanik dayanım açısından yetersiz kalmasına ve bu nedenle kullanımının sınırlandırılmasına yol açmıştır Soğuk çekilmiş saf bakır, hem statik hem de dinamik yükler altında düşük basma mukavemeti göstermekte ve düşük yumuşama sıcaklığı nedeniyle yüksek sıcaklık altında şekil kararlılığını kaybetmektedir. Bu nedenle, saf bakırın olumsuz yönlerini gidermek ve daha iyi mekanik özellikler sağlamak amacıyla çeşitli bakır alaşımları geliştirilmiştir.

Alaşım sertliği arttıkça, genellikle elektriksel ve ısı iletkenlik azalır. Bu nedenle, uygun bir elektrot malzemesi seçimi yapılırken yalnızca mekanik değil, aynı zamanda elektriksel ve termal iletkenlik özellikleri de dikkate alınmalıdır

İş parçasıyla temas eden elektrot uçları genellikle silindirik veya konik şekildedir. Ayrıca, bu elektrotlar temas düzlemine göre küresel, düz veya halka biçiminde sınıflandırılabilir. Şekil 6.6’da imalat sektöründe en yaygın kullanılan nokta kaynak elektrot uç formları gösterilmiştir. Elektrot temas yüzeyi, iş parçası yüzeyine paralel olacak şekilde hassas ayar gerektirmez. Bu nedenle, üst elektrotun dairesel hareket yaptığı kaynak makinelerinde küresel uçlu elektrot rahatlıkla kullanılabilir. Küresel uç, iş parçasına iyi sıkıştırma uygular ve kaynak sonrası yüzeyde daha düzgün bir görünüm sağlar. Ayrıca, yüksek soğuma hızı nedeniyle alüminyum ve alaşımlarının kaynak işlemlerinde tercih edilir.



Şekil.6.6. İmalat sektöründe en yaygın tercih edilen nokta kaynak elektrot uç tipleri gösterilmiştir.

Elektrotlardaki soğutma delikleri yuvarlak ya da dişli olabilir; dişli delikler daha geniş soğutma yüzeyi sağlar. Soğutma delikleri, elektrot dayanıklılığını etkilemeden mümkün olduğunca elektrot yüzeyine kadar uzatılmalıdır. Elektrot ucunun çapı, kaynak düğmesinin boyutunu belirler. Uç çapı çok küçük olursa, kaynak görünüşte sağlam olsa da mekanik dayanımı zayıf olabilir. Küçük çaplı uçlar ayrıca yüksek ısı yoğunlaşmasına, yüzey işaretlenmelerine ve düzensiz elektrot izine yol açabilir. Öte yandan, büyük çaplı elektrot uçları yüksek kaynak akımında yetersiz elektrot basıncı nedeniyle aşırı ısınabilir; bu da boşluk oluşumu ve yüzey görünümünde bozulmaya sebep olur.

7. MALZEME VE METOD

7.1. Malzeme

Bu çalışmada Galvanizli, DP980 ve 304 kalite paslanmaz çelik saclar kullanılmıştır. Malzemelerin kimyasal analizleri ve mekanik özellikleri sırasıyla Tablo 7.1 ve Tablo 7.2’de verilmiştir.

Tablo 7.1. Deneyde kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimi

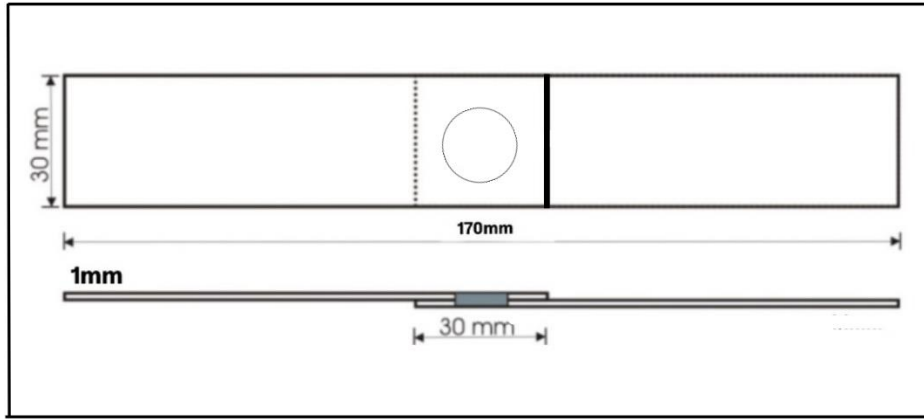
Malzeme	C (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Si (%)	Cr (%)	Ni (%)
AISI 304	0.08	2	0.045	0.03	0.75	18-20	8-10
Dp980	0.13	1.91	0.01	0.005	0.003	0.16	-
Galvaniz Karbon Çelik	0.26	1.60	0.04	0.03	0.4	-	-

Tablo 7.2. Deneyde kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri

Malzeme	Çekme Dayanımı (MPa)	Sertlik (HV)	Uzama Katsayısı (%)
304 Kalite paslanmaz Çelik	515-860	170-200	40-50
Dp980	980	300	10-12
Galvaniz Karbon Çelik	400-550	120-180	20-30

7.2. Deney Malzemelerinin Kaynak İşlemi İçin Hazırlanışı

Deneylerde 1 mm kalınlığında DP980, AISI 304 ve galvanizli çelik saclar, 30 mm × 100 mm boyutunda giyotinde kesildikten sonra, Şekil 7.1’deki gibi elektrik nokta direnç kaynağı (EDNK) yapılmıştır.



Şekil 7.1. Elektrik direnç nokta kaynak için hazırlanan numunelerin boyutları

7.3. Kaynak Makinası

Elektrikli direnç nokta kaynağı, PP060 model su soğutmalı, pnömatik kontrollü projeksiyon punta kaynak makinesinde gerçekleştirilmiştir. PP060 projeksiyon punta kaynak makinesinin fotoğrafı Şekil 7.2’de verilmiştir.



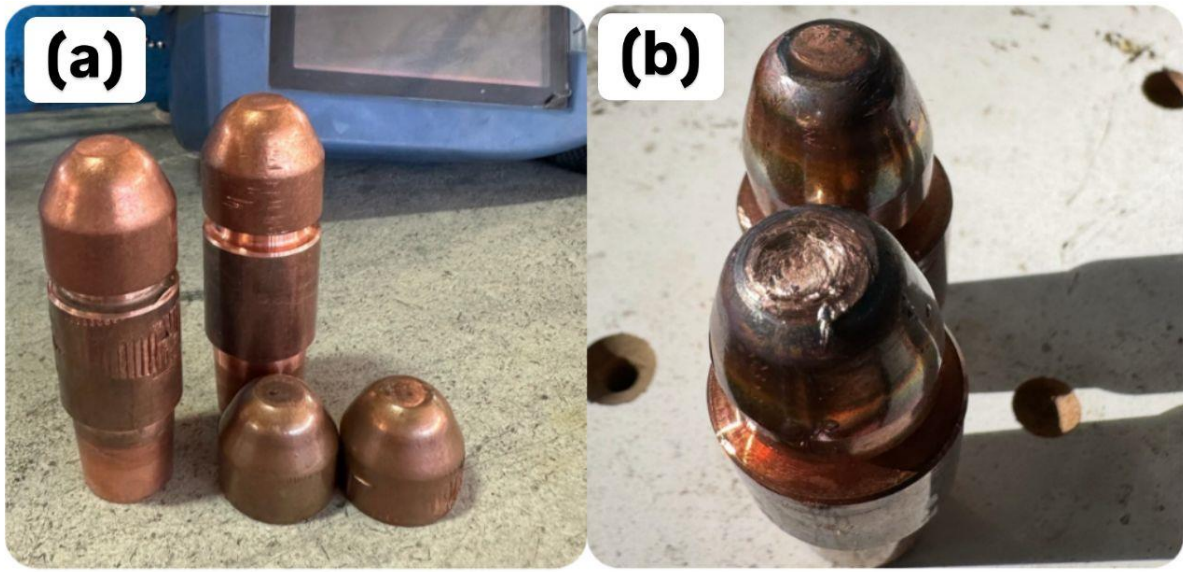
Şekil 7.2. PP060 projeksiyon punta kaynak makinesi

7.4. EDNK kullanılan elektrod

EDNK işlemi sırasında, 16 mm çapında, konik uç kısmı küresel konuma getirilmiş elektrot kullanılmıştır. Kullanılan elektrotların malzemesinin kimyasal bileşimi ve sertliği Tablo 7.3'te, elektrotun kaynak öncesi ve sonrası fotoğrafları ise Şekil 7.3'te (a) ve (b)'de verilmiştir.

Tablo 7.3. (EDNK)'da kullanılan elektrotun kimyasal bileşim ve sertliği

Elektrot Malzemesi	Kimyasal Bileşim (%)	Sertlik (HV)
BICRM 16P	Cu: 99,18, Cr: 0,70, Zr: 0,04	167



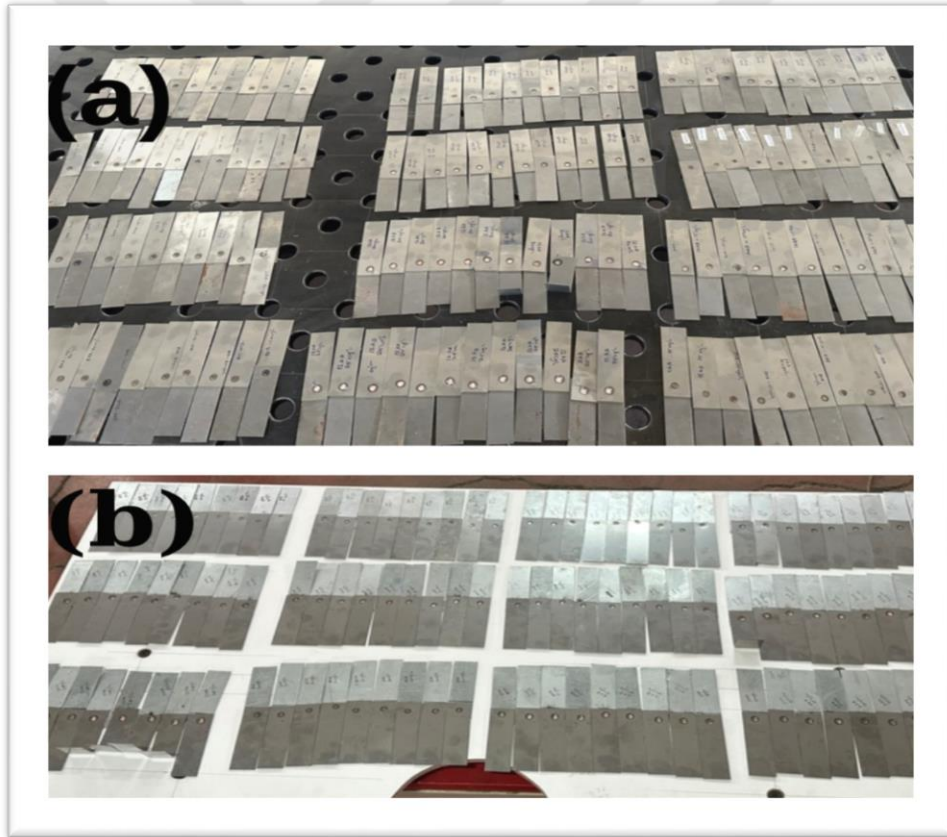
Şekil 7.3. Kullanılan elektrodların fotoğrafı: (a)kaynak öncesi ve (b)kaynak sonrası

7.5. Parçaların EDNK Yöntemiyle Birleştirilmesi

30 mm × 100 mm boyutlarında giyotinde kesilen 1 mm kalınlığındaki DP980, AISI 304 paslanmaz ve galvanizli paslanmaz çelik saclar, kaynak işleminden önce tel fırça ile temizlendikten sonra üzerlerindeki pas ve yağların temizlenmesi işleminde aseton da bekletildi ve daha sonra da kurutma işlemi yapıldıktan sonra Şekil 7.3'teki gibi EDNK işlemi yapıldı. Kaynak işleminde AISI 304-DP980 ve AISI 304- Galvanizli olmak üzere iki farklı malzemenin EDNK yöntemiyle kaynak işlemi yapılmıştır. Kaynak işleminde kullanılan kaynak akımı ve kaynak zamanları ve kaynak yapılan numunelerin adetleri Tablo 7.4'te verilmiştir. Deney numunelerin fotoğrafı ise Şekil 7.4'te verilmiştir: a) AISI 304/DP980 ve b) AISI 304/galvanizli.

Tablo 7.4. Deney numunelerinin EDNK ile birleştirilmesi kaynak akımı (kA) kaynak zamanı (cycle) ve kaynak birleştirilen malzeme adetleri (1 cycle =0,02sn)

Deney No	Kaynak Akımı (kA)	Kaynak Zamanı (Cycle)	AISI304/DP980 (adet)	AISI304/Galvaniz (adet)
1	8	10	12	12
2	8	15	12	12
3	8	20	12	12
4	8	25	12	12
5	10	10	12	12
6	10	15	12	12
7	10	20	12	12
8	10	25	12	12
9	12	10	12	12
10	12	15	12	12
11	12	20	12	12
12	12	25	12	12



Şekil 7.4. Kaynak yapılmış parçaların toplam fotoğrafı. (a) AISI304/DP980 (b) AISI 304 /galvaniz

7.6. Kaynaklı Numunelerin Korozyon Testleri

Kaynak işlemi yapılmış numunelerin korozyon direncini belirlemek için piyasadan temin edilen sodyum klorür (NaCl) kullanılmıştır. Bunlara ait fotoğraf Şekil 7.5'te verilmiştir.



Şekil 7.5. NaCl tuzlu çözelti ve ölçü kabı

7.6.1. Korozyon deneyleri için çözeltinin hazırlanması

Bu çalışmada, kaynaklı parçaların korozyon direncini belirlemek için %2, %3 ve %4'lük üç farklı tuzlu su çözeltisi hazırlanmıştır. Hazırlanan bu tuzlu çözeltiler Tablo 7.5-7.7'de verilmiştir. Bütün korozyon deneylerinde hacim olarak 5 litre saf su kullanılmıştır.

Tablo 7.5. %2 tuzlu çözelti

Deney No	NaCl(g)	Numune kombinasyonu	Numune sayısı
1	100	AISI304/galvaniz	24
2	100	AISI304/Dp980	24

Tablo 7.6. %3 tuzlu çözelti,

Deney No	NaCl(g)	Numune kombinasyonu	Numune sayısı
3	150	AISI304/galvaniz	24
4	150	AISI304/Dp980	24

Tablo 7.7. %4 tuzlu çözeli

Deney No	NaCl(g)	Numune kombinasyonu	Numune sayısı
5	200	AISI304/galvaniz	24
6	200	AISI304/Dp980	24

Korozyon testleri için kaynaklı numuneler 24 saat ve 360 saatlik olmak üzere numuneler 2 gruba ayrıldı. Numunelerin tuzlu çözelti oranı, çözeltide bekleme süreleri ve adetleri Tablo 7.8’de ve 7.9’da verilmiştir. Şekil 7.6’da AISI304/DP980 korozyon deneylerinden önce numuneler, b)’de AISI304/DP980 korozyon deneyinden sonra (%2, %3 ve %4 çözeltide) ve Şekil 7.7 a)’da AISI304/Galvaniz korozyon deneylerinden önce numuneler, b)’de AISI304/Galvaniz korozyon deneyinden sonra (%2, %3 ve %4 çözeltide) görülmektedir.

Tablo 7.8. 24 saat korozyona maruz kalan numuneler çözeltisi bekleme süresi ve adetleri

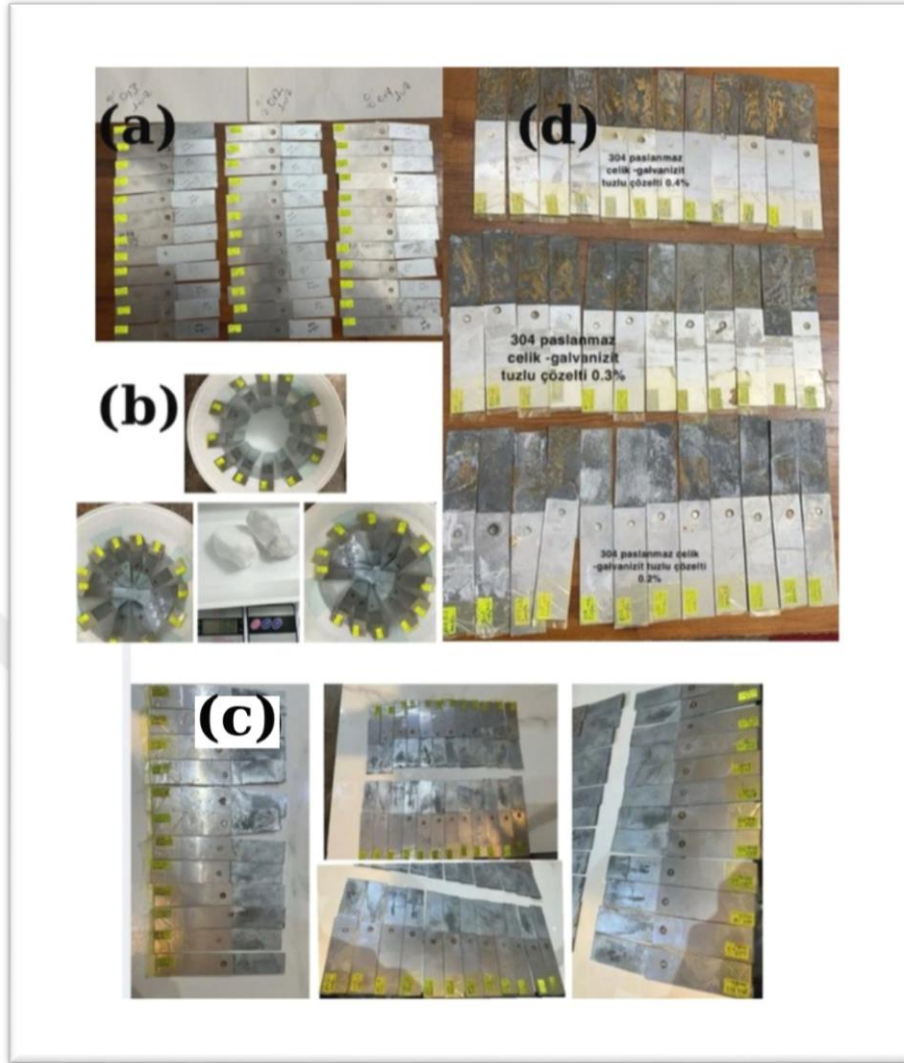
Numune	Çözelti	Bekleme süresi (saat)	Adet
AISI 304-DP980	%2	24	24
AISI 304-DP980	%3	24	24
AISI 304-DP980	%4	24	24

Tablo 7.9. 360 saat korozyona maruz kalan numuneler çözeltisi bekleme süresi ve adetleri

Numune	Çözelti	Bekleme süresi (saat)	Adet
AISI 304-Galvaniz	%2	360	24
AISI 304-Galvaniz	%3	360	24
AISI 304-Galvaniz	%4	360	24



Şekil 7.6. AISI304/DP980 korozyon deneylerinden önce numuneler b)de AISI304/DP980 korozyon deneyinden sonra (%2,%3ve %4çözeltide)



Şekil 7.7. (a) ve (b) AISI304/Galvaniz korozyon deneylerinden önce numuneler, (c) ve (d) AISI304/Galvaniz korozyon deneyinden sonra (%2, %3 ve %4 çözeltide)

7.7. Korozyona Maruz Kalma Numunelerin Çekme-Makaslama Testleri

%2, %3 ve %4'lük tuzlu çözeltilerde korozyon testlerine maruz kalan deney numuneleri, 250 kN kapasiteli DARTEC marka universal çekme cihazında gerçekleştirilmiştir. Çekme-makaslama testleri, 7 mm/dakika sabit hızda gerçekleştirilmiştir. Çekme test cihazının fotoğrafı ve çekme-makaslama testi yapılış şeklinin fotoğrafı, Şekil 7.8'de verilmiştir. Çekme-makaslama deneylerinden sonra kaynak çapı ölçümleri yapılmıştır. Ayrıca kopma kuvvetleri hesaplanmıştır.



Şekil 7.8. DARTEC 250kN kapasiteli çekme test cihazı

7.8. Korozyona Maruz Kalmış Kaynaklı Parçalarının Sertlik Ölçümleri

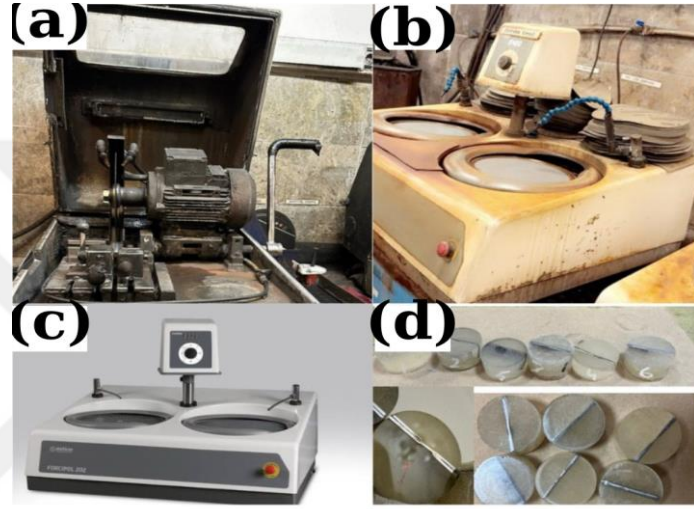
Korozyona maruz kalmış EDNK'li parçaların mikro sertlik ölçümlerinde, DP980/304 paslanmaz ve 304 paslanmaz/galvanizli kaynaklı parçaların toplam 6 adet numunenin mikro sertlik ölçümleri yapılmıştır. Bu 6 adet numune, simetrik eksenlerinden su soğutmalı kesme tezgahında kesildikten sonra bakalite alındı, 80-1200 pp su zımparası ile zımparalandı ve daha sonra yüzeyi çuhayla parlatıldı. Sertlik ölçümü için yüzey, hazırlanan nital çözeltisiyle dağlandı. Bunlara ait değerler ve grafikler deney sonuçlarında verilmiştir. Mikrosertlik ölçümlerinde, Şekil 7.9'da gösterilen Qness marka mikro sertlik cihazı kullanılmıştır. Mikro sertlik ölçümlerinde 200 gram yük uygulanmıştır.



Şekil 7.9. Qness marka vickers mikrosertlik cihazı

7.9. Korozyona Uğramış Kaynaklı Parçaların Mikroyapı İncelemesi

Kesilen, bakalite alınan ve mikro sertlikleri ölçülen parçaların mikro yapılarını incelemek için yüzeyleri, 6 ile 1 mikron boyutlarındaki alümina kullanılarak parlatma cihazında parlatılmıştır. Mikro yapının oluşması için 1/3'lük HCl:HNO₃ çözeltisi ile dağlanmışır. Mikroyapı görüntüleri, Olympus BX4M-LED optik mikroskop cihazında, 50X, 100X ve 200X büyütme oranlarında gerçekleştirilmiştir. Şekil 7.10'daki fotoğrafta; (a) numune kesme cihazı, (b) zımparalama cihazı, (c) parlatma cihazı, (d) bakalite alınmış numuneler ve Şekil 7.11'de optik mikroskop cihazının fotoğrafı verilmiştir.



Şekil 7.10. (a) Numune kesme cihazı, (b) Zımparalama cihazı, (c) Parlatma cihazı, (d) Bakalite alınmış numuneler.



Şekil 7.11. Olympus BX4M-LED marka optik mikroskop cihazı

8. DENEY SONUÇLARI

8.1. Korozyona Uğramış Kaynaklı Numunelerin Çekme-Makaslama Test Sonuçları

Elektrik direnç kaynağı yöntemiyle birleştirilen AISI 304 – DP980 ve AISI 304 – galvanizli sac numuneler, %2, %3 ve %4 oranlarında hazırlanmış tuzlu çözeltilerde korozyon testlerine maruz bırakılmıştır. Daha sonra, korozyon testlerinde bekleme süresi, kaynaklı parçaların paslanmaya başladığı an esas alınmıştır. Buna göre, AISI 304–DP980 kaynaklı parça çiftleri 24 saat sonra paslanmaya başlamıştır. AISI 304–galvanizli kaynak çiftlerinde ise paslanma olayı 360 saatten sonra görülmüştür. Korozyon testine maruz kalan numunelere daha sonra çekme-makaslama testleri uygulanmıştır.

8.1.1. AISI 304 – DP980 kaynaklı numunelerinin, %2, %3 ve %4 tuzlu çözelti ortamında 24 saat bekletildikten sonra çekme-makaslama kuvveti ile kaynak çapının belirlenmesi

Numuneler DARTEC marka çekme cihazında çekme testlerine maruz bırakılmış ve çekme-makaslama kuvvetleri belirlenmiştir. Kopan numunelerin kaynak çapları, kaynak ara yüzeyinde kumpas ile ölçülmüştür. Bunlara ait değerler Tablo 8.1, 8.2 ve 8.3’te verilmiştir.

Tablo 8.1. %2 Tuzlu çözelti sonrası AISI 304–DP980 kaynaklı numunelerin çekme-makaslama kuvveti ve ölçülen kaynak çapı

Numune No	Kaynak Akımı (kA)	Kaynak Süresi (Cycle)	Çekme-Makaslama kopma kuvveti (kN)	Kaynak Çapı (mm)
1	8	10	9.23	4.5
2	8	15	9.5768	4.8
3	8	20	9.912	5.3
4	8	25	9.321	5.5
5	10	10	10.069	5.4
6	10	15	10.8	5.0
7	10	20	9.6	5.3
8	10	25	10.68	5.7
9	12	10	11.68	5.4
10	12	15	10.78	5.6
11	12	20	11.23	6.8
12	12	25	12.33	6.4

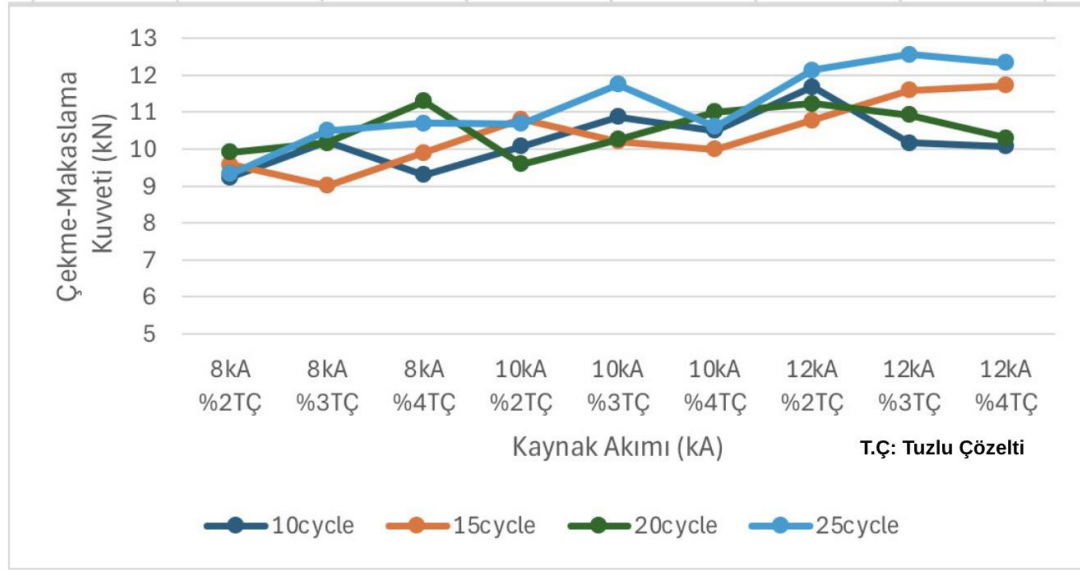
Tablo 8.2. %3 Tuzlu çözelti sonrası AISI 304–DP980 kaynaklı numunelerin çekme-makaslama kuvveti ve ölçülen kaynak çapı

Numune No	Kaynak Akımı (kA)	Kaynak Süresi (Cycle)	Çekme-Makaslama kopma Kuvveti (kN)	Kaynak Çapı (mm)
1	8	10	10.193	4.9
2	8	15	9.009	5.1
3	8	20	10.163	5.3
4	8	25	10.495	4.3
5	10	10	10.878	4.2
6	10	15	10.200	4.9
7	10	20	10.2566	4.2
8	10	25	11.75039	5.3
9	12	10	10.1629	6.1
10	12	15	11.5845	5.9
11	12	20	10.9190	6.2
12	12	25	12.5656	6.4

Tablo 8.3. %4 Tuzlu çözelti sonrası AISI 304–DP980 kaynaklı numunelerin çekme-makaslama kuvveti ve ölçülen kaynak çapı

Numune No	Kaynak Akımı (kA)	Kaynak Süresi (Cycle)	Çekme-Makaslama kopma Kuvveti (kN)	Kaynak Çapı (mm)
1	8	10	9.2720	4.9
2	8	15	9.8793	4.3
3	8	20	11.2736	4.7
4	8	25	10.6978	5.3
5	10	10	10.4481	5.4
6	10	15	10.0147	5.1
7	10	20	10.9098	6.1
8	10	25	10.1496	5.9
9	12	10	10.0775	6.5
10	12	15	11.7241	6.6
11	12	20	10.3018	6.5
12	12	25	12.3363	6.2

8.1.1.1. AISI 304 – DP980 kaynaklı numunelerin çekme-makaslama kuvveti ile kaynak akımı değişimi (%2, %3 ile %4 tuzlu çözelti)



Şekil 8.1. Çekme-Makaslama kuvveti ile kaynak akımının değişmesi (%2, %3ve %4 tuzlu çözelti ortamı)

Şekil 8.1’de grafik üzerinden yapılan değerlendirmede, 25 cycle süresinde ve 12 kA akım ile %3 tuzlu çözelti ortamında 12,56 kN ile en yüksek çekme-makaslama kuvveti elde edilirken; minimum çekme-makaslama kuvveti ise 8 kA akım, 15 cycle süre ve %4 tuzlu çözelti ortamında 9 kN olarak ölçülmüştür. Bu eğriler, artan kaynak akımıyla çekme-makaslama kuvvetinin arttığını açıkça göstermektedir. Tokan’ın (2024) yaptığı çalışmada elde edilen değerler DP980-AISI304 birleşiminde çekme-makaslama kuvvetinde yaklaşıyor ayındır. Bu da göstermiştir ki AISI304-DP980 çeliklerin korozyon ortamında çekme-makaslama kuvvetlerinde bir azalma olmadığını göstermektedir. Artan kaynak parametreleriyle çekme-makaslama kuvveti artmıştır.

8.1.2. AISI 304 – Galvanizli çelik kaynaklı numunelerinin, %2, %3 ve %4 tuzlu çözelti ortamında 360 saat bekletildikten sonra çekme-makaslama kuvveti ile kaynak çapının belirlenmesi

Numuneler DARTEC marka çekme cihazında çekme testlerine maruz bırakılmış ve çekme-makaslama kuvvetleri belirlenmiştir. Kopan numunelerin kaynak çapları, kaynak ara yüzeyinde kumpas ile ölçülmüştür. Bunlara ait değerler Tablo 8.4, 8.5 ve 8.6’da verilmiştir.

Tablo 8.4. %2 Tuzlu çözelti sonrası AISI 304 – Galvanizli çelik kaynaklı numunelerin çekme-makaslama kuvveti ve ölçülen kaynak çapı

Numune No	Kaynak Akımı (kA)	Kaynak Süresi (Cycle)	Çekme-Makaslama kopma Kuvveti (kN)	Kaynak Çapı (mm)
1	8	10	7.1245	4.00
2	8	15	7.9784	4.00
3	8	20	7.7498	4.12
4	8	25	8.6613	4.25
5	10	10	8.6334	4.30
6	10	15	9.2859	4.90
7	10	20	8.2859	5.20
8	10	25	9.9201	5.12
9	12	10	10.1315	5.10
10	12	15	10.0534	5.58
11	12	20	10.1494	5.50
12	12	25	10.4526	5.80

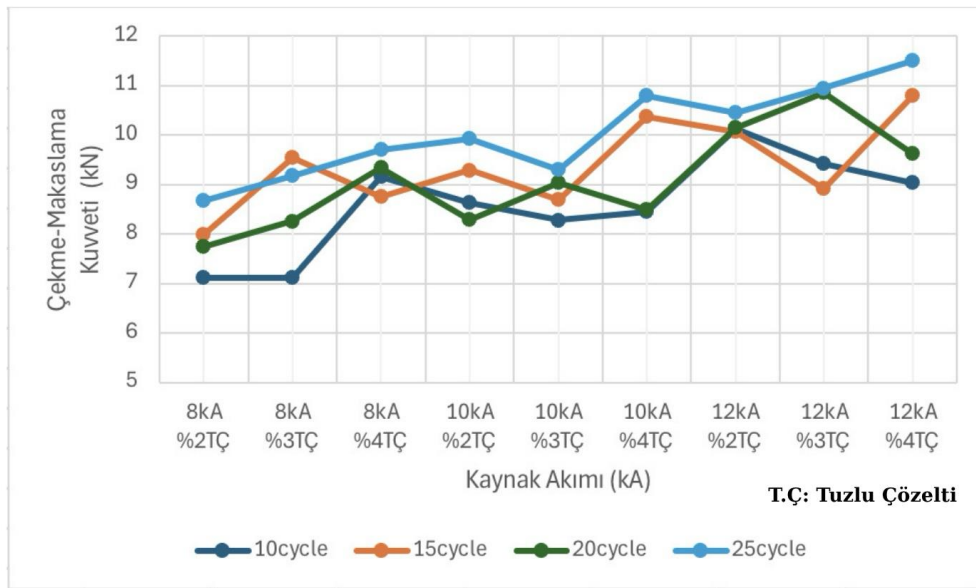
Tablo 8.5. %3 Tuzlu çözelti sonrası AISI 304 – Galvanizli çelik kaynaklı numunelerin çekme-makaslama kuvveti ve ölçülen kaynak çapı

Numune No	Kaynak Akımı (kA)	Kaynak Süresi (Cycle)	Çekme-Makaslama kopma Kuvveti (kN)	Kaynak Çapı (mm)
1	8	10	7.9686	3.7
2	8	15	9.5401	4.1
3	8	20	8.2556	4.1
4	8	25	9.1811	4.3
5	10	10	8.2763	5.2
6	10	15	8.6941	5.5
7	10	20	9.0375	5.0
8	10	25	9.3043	6.2
9	12	10	9.4205	6.15
10	12	15	8.92086	6.3
11	12	20	10.8556	5.5
12	12	25	10.9409	6.0

Tablo 8.6. %4 Tuzlu çözelti sonrası AISI 304 – Galvanizli çelik kaynaklı numunelerin çekme-makaslama kuvveti ve ölçülen kaynak çapı

Numune No	Kaynak Akımı (kA)	Kaynak Süresi (Cycle)	Çekme-Makaslama kopma Kuvveti (kN)	Kaynak Çapı (mm)
1	8	10	9.1494	4.6
2	8	15	8.7505	4.5
3	8	20	9.3305	5.1
4	8	25	9.7076	4.9
5	10	10	8.4470	4.7
6	10	15	10.3650	5.1
7	10	20	8.4804	5.0
8	10	25	10.8870	5.9
9	12	10	9.0334	6.5
10	12	15	10.7844	6.5
11	12	20	9.6150	6.44
12	12	25	11.4973	6.56

8.1.2.1. AISI 304 –Galvanizli çelik kaynaklı numunelerde çekme-makaslama kuvveti ile kaynak akımının değişimi (%2, %3 ve %4 tuzlu çözelti)



Şekil 8.2. Çekme-makaslama kuvveti ile kaynak akımının değişmesi (%2, %3ve %4 tuzlu çözelti ortamı)

Şekil 8.2’de, korozyona uğramış AISI 304 – galvanizli çeliklerde çekme-makaslama kuvveti, kaynak akımı ve süresi arttıkça yükselmektedir. En yüksek çekme-makaslama kuvveti, 12 kA akım, 25 cycle süre ve %4 NaCl tuzlu çözelti ortamında 11,50 kN olarak ölçülmüştür. En düşük kuvvet ise 8 kA, 10 cycle süre ve %2 NaCl ortamında 7,12 kN olarak kaydedilmiştir. Kaynak

akımı ve süresinin etkisi belirgindir; tuzlu çözelti ortamının mekanik dayanım üzerindeki etkisi sınırlıdır. Akkuş (2004) çalışmasında artan kaynak akımı ve süresiyle çekirdek çapı ve damla derinliğinin arttığını belirtmiş, bu da korozyon ortamında çekme-makaslama kuvvetinde azalma olmadığını göstermektedir.

8.1.3 Korozyona Maruz Kalmış Kaynaklı Numunelerin Çekme-Makaslama Gerilmeleri ile Kaynak Akımının Değişiminin Hesaplanması

Şekil 8.1, ve şekil 8.2 görüldüğü gibi kaynak akımında, değişik kaynak sürelerinde kaynaklı bağlantıların çekme-makaslama kuvvetindeki değişimin fazla olmaması arasında olması nedeniyle, kaynak akımı sabit tutulmuş ve diğer değişkenlerin ortalamaları alınarak, ortalama kaynak süresi, ortalama çekme-makaslama kuvveti ve ortalama kaynak çapı değerleri belirlenmiştir. Bu ortalama değerlere dayanarak, kaynaklı numunelerin ortalama çekme-makaslama gerilmeleri hesaplanmıştır. Çekme-makaslama gerilmesinin hesaplanabilmesi için, kaynak çapı (d) esas alınarak kaynak alanı (A) hesaplanmıştır.

$$A = \pi \cdot d^2 / 4. \quad (8.1)$$

Daha sonra, çekme-makaslama kuvvetinin (F) bu alana bölünmesiyle çekme-makaslama gerilmesi (τ) aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır:

$$\tau = F / A = 4F / (\pi \cdot d^2) \quad (8.2)$$

Burada τ , çekme-makaslama gerilmesini (MPa), F çekme-makaslama kuvvetini (N) ve d kaynak çapını (mm) ifade etmektedir.

8.1.3.1. 24 Saat korozyona maruz kalmış AISI 304–DP980 kaynaklı numunelerin çekme-makaslama gerilmesinin kaynak akımıyla değişimi (%2, %3 ve %4 tuzlu çözelti)

Tablo 8.7. %2 Tuzlu çözeltide korozyona maruz kalmış AISI 304–DP980 numunelerinin, kaynak akımına göre ortalama çekme-makaslama kuvveti, ortalama kaynak alanı ve ortalama çekme-makaslama gerilmesi değerleri

Kaynak Akımı (kA)	Ortalama Kaynak Süresi (Cycle)	Ortalama Çekme-Makaslama Kuvveti (kN)	Ortalama Kaynak Çapı (mm)	Ortalama Kaynak Alanı (mm ²)	Ortalama Çekme - Makaslama Gerilmesi (MPa)
8	17.5	9.51	5.03	19.96	487.80
10	17.5	10.29	5.35	22.53	460.84
12	17.5	11.50	6.05	29.00	410.04

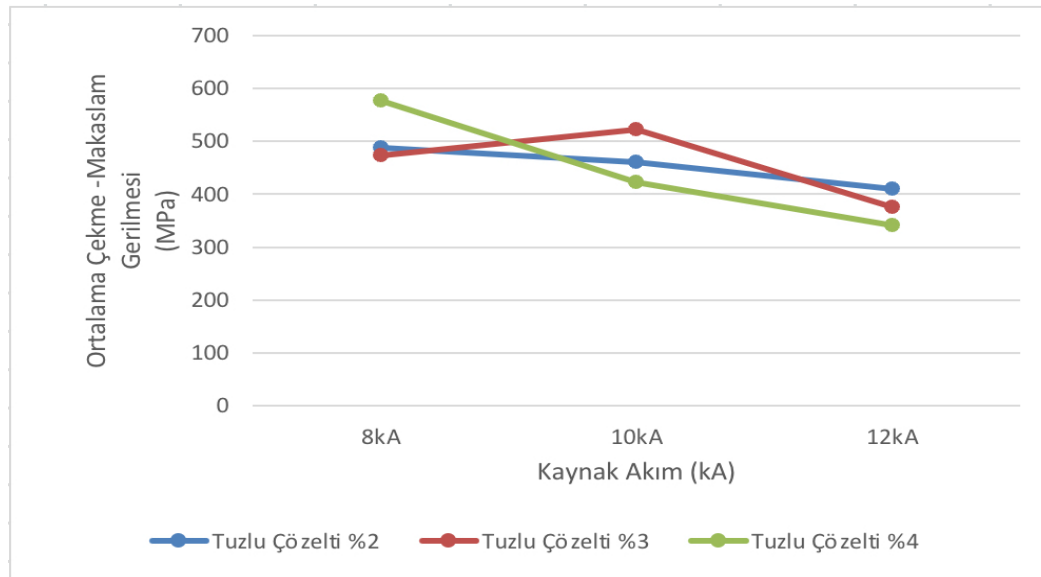
Tablo 8.8. %3 Tuzlu çözeltide korozyona maruz kalmış AISI 304–DP980 numunelerinin, kaynak akımına göre ortalama çekme-makaslama kuvveti, ortalama kaynak alanı ve ortalama çekme-makaslama gerilmesi değerleri

Kaynak Akımı (kA)	Ortalama Kaynak Süresi (Cycle)	Ortalama Çekme-Makaslama Kuvvet (kN)	Ortalama Kaynak Çap (mm)	Ortalama kaynak Alan (mm ²)	Ortalama Çekme - Makaslama Gerilmesi (MPa)
8	17.5	9.965	4.90	21.09	472.6
10	17.5	10.771	4.65	20.65	521.6
12	17.5	11.308	6.15	30.18	375.0

Tablo 8.9. %4 Tuzlu çözeltide korozyona maruz kalmış AISI 304–DP980 numunelerinin, kaynak akımına göre ortalama çekme-makaslama kuvveti, ortalama kaynak alanı ve ortalama çekme-makaslama gerilmesi değerleri

Kaynak Akımı (kA)	Ortalama Kaynak Süresi (Cycle)	Ortalama Çekme-Makaslama Kuvveti (N)	Ortalama Kaynak Çapı (mm)	Ortalama Kaynak Alanı (mm ²)	Ortalama Çekme - Makaslama Gerilmesi (MPa)
8	17.5	10,280	4.80	18.20	576.67
10	17.5	10,380	5.62	24.95	422.75
12	17.5	11,110	6.45	32.67	341.36

8.1.3.2. AISI 304 – DP980 kaynaklı numunelerin ortalama çekme-makaslama gerilmesi ile kaynak akımının değişimi (%2, %3 ve %4 tuzlu çözelti)



Şekil 8.3. Ortalama çekme-makaslama gerilmesinin kaynak akımı ile değişimi (%2, %3 ve %4 tuzlu çözelti)

Şekil 8.3'te, kaynak akımının artmasıyla birlikte her üç tuzlu çözeltide ortalama çekme-makaslama gerilmesinin azaldığı görülmektedir.

8.1.3.4. 360 Saat korozyona maruz kalmış kaynaklı AISI 304–Galvanizli çelik sac numunelerinin çekme-makaslama gerilmesinin kaynak akımıyla değişimi (%2, %3 ve %4 tuzlu çözelti)

Tablo 8.10. %2 Tuzlu çözeltide korozyona maruz kalmış AISI 304–Galvanizli çelik sac numunelerinin, kaynak akımına göre ortalama çekme-makaslama kuvveti, ortalama kaynak alanı ve ortalama çekme-makaslama gerilmesi değerleri

Kaynak Akımı (kA)	Ortalama Kaynak Süresi (Cycle)	Ortalama Çekme-Makaslama Kuvveti (N)	Ortalama Kaynak Çapı (mm)	Ortalama Kaynak Alanı (mm ²)	Ortalama Çekme - Makaslama Gerilmesi (MPa)
8	17.5	7,878.50	4.09	13.16	598.43
10	17.5	9,031.33	4.88	18.80	489.73
12	17.5	10,196.72	5.50	23.77	432.47

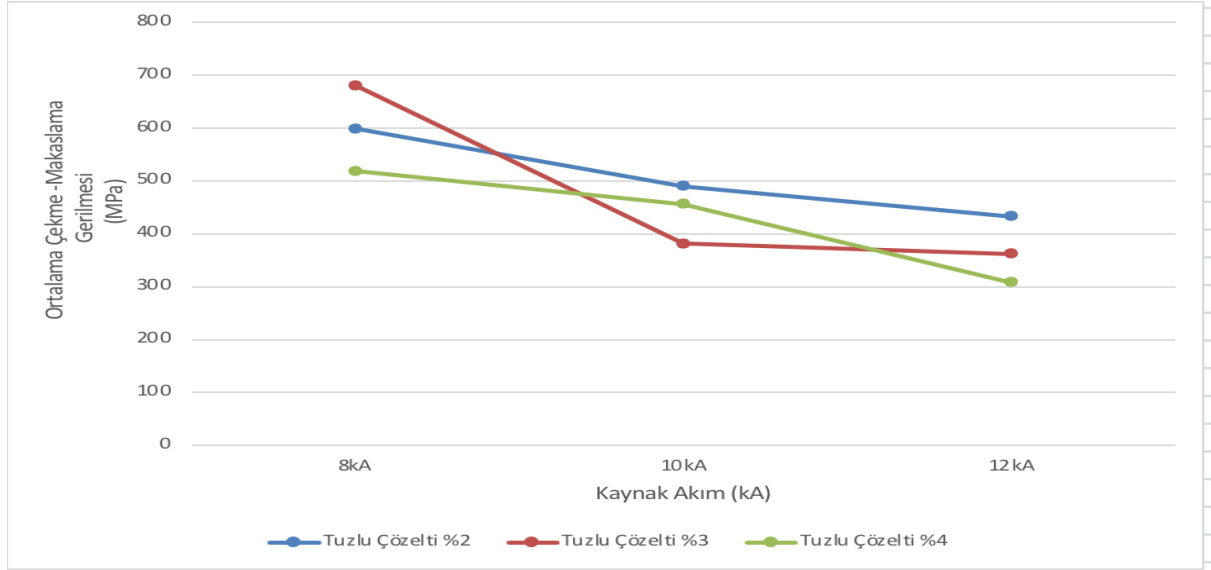
Tablo 8.11. %3 Tuzlu çözeltide korozyona maruz kalmış AISI 304–Galvanizli çelik sac numunelerinin, kaynak akımına göre ortalama çekme-makaslama kuvveti, ortalama kaynak alanı ve ortalama çekme-makaslama gerilmesi değerleri

Kaynak Akımı (kA)	Ortalama Kaynak Süresi (Cycle)	Ortalama Çekme-Makaslama Kuvveti (N)	Ortalama Kaynak Çapı (mm)	Ortalama Kaynak Alanı (mm ²)	Ortalama Çekme - Makaslama Gerilmesi (MPa)
8	17.5	8,736.35	4.05	12.92	680.31
10	17.5	8,828.05	5.48	23.71	381.03
12	17.5	10,034.46	5.99	28.23	361.79

Tablo 8.12. %4 Tuzlu çözeltide korozyona maruz kalmış AISI 304–Galvanizli çelik sac numunelerinin, kaynak akımına göre ortalama çekme-makaslama kuvveti, ortalama kaynak alanı ve ortalama çekme-makaslama gerilmesi değerleri

Kaynak Akımı (kA)	Ortalama Kaynak Süresi (Cycle)	Ortalama Çekme-Makaslama Kuvveti (N)	Ortalama kaynak Çapı (mm)	Ortalama Kaynak Alanı (mm ²)	Ortalama Çekme - Makaslama Gerilmesi (MPa)
8	17.5	9,234.50	4.775	17.9525	518.05
10	17.5	9,544.85	5.175	21.1875	456.14
12	17.5	10,232.53	6.500	33.1800	308.19

8.1.3.5. AISI 304 – Galvanizli çelik kaynaklı numunelerin ortalama çekme-makaslama gerilmesi ile kaynak akımının değişimi (%2, %3 ve %4 tuzlu çözelti)

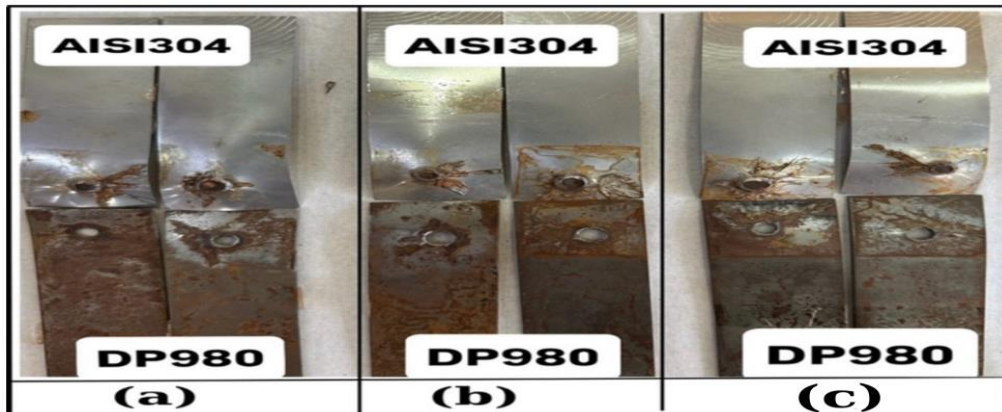


Şekil 8.4. Ortalama çekme-makaslama gerilmesinin kaynak akımı ile değişimi (%2, %3 ve %4 tuzlu çözelti)

Şekil 8.4’te gösterilen ortalama kaynak gerilmesi değerleri, kaynak akımının (8 kA, 10 kA, 12 kA) artmasıyla birlikte tüm tuzlu çözelti oranlarında düzenli bir azalma göstermektedir.

8.2. Korozyona Maruz Kalan Kaynaklı Numunelerde Çekme-Makaslama Testi Sonrası Kopma Tipi ve Kaynak Arayüzü Gözlemleri

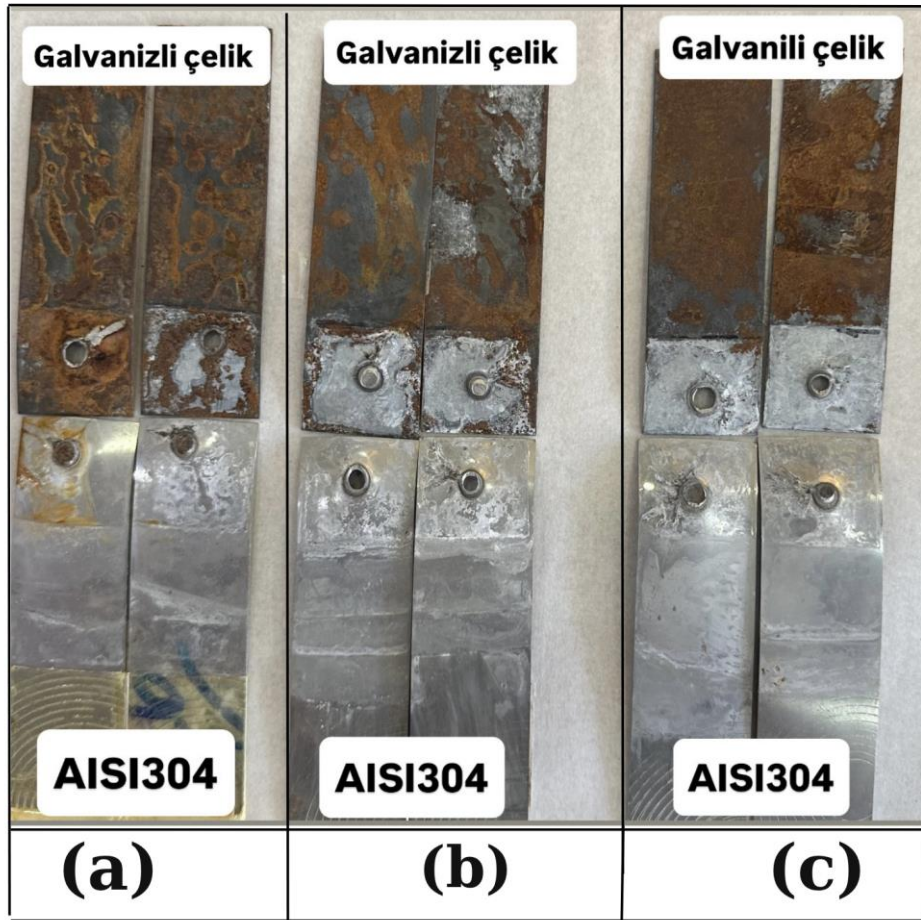
8.2.1. 24 Saat korozyona maruz kalan kaynaklı numunelerde (AISI304-DP980) çekme-makaslama testi sonrası kopma tipi ve kaynak arayüzü gözlemleri



Şekil 8.5. 24 saat korozyona uğramış AISI 304 – DP980 kaynaklı numunelerin çekme-makaslama testi sonrası kopma tipi ve kaynak bölgesi arayüzü fotoğrafları: a) %4 tuzlu çözelti, b) %3 tuzlu çözelti, c) %2 tuzlu çözelti

Şekil 8.5'ten de görüldüğü gibi, DP980'de korozyon oluşumu meydana gelirken, AISI 304 parçalarında herhangi bir korozyon mevcut değildir. Çekme-makaslama deneylerinde elde edilen (Tokan'ın 2024'te yapmış olduğu tez çalışmasında elde etmiş olduğu) değerler ile bizim korozyon ortamında elde ettiğimiz çekme-makaslama kuvvetleri yaklaşıyor. Bu da gösteriyor ki, AISI 304-DP980 çeliklerin korozyon ortamında çekme-makaslama kuvvetlerinde bir azalma olmadığını göstermektedir.

8.2.2. 360 Saat korozyona maruz kalan kaynaklı numunelerde (AISI304-galvanizli çelik sac) çekme-makaslama testi sonrası kopma tipi ve kaynak arayüzü gözlemleri



Şekil 8.6. 360 saat korozyona uğramış AISI 304 – Galvanizli çelik kaynaklı numunelerde kopma tipi ve kaynak bölgesi arayüzü fotoğrafları: a) %4 tuzlu çözelti, b) %3 tuzlu çözelti, c) %2 tuzlu çözelti

Şekil 8.6'dan da görüldüğü gibi, AISI 304 – Galvanizli çeliklerin kaynağında korozyon ortamında çekme-makaslama gerilmesinde kopan parçalar incelenmiştir. Kaynak ana

yüzeyinde bir paslanma olmadığı görülmüştür. Bu da, kaynaklı parçaların kaynak ara yüzlerinde korozyondan etkilenmediğini göstermektedir.

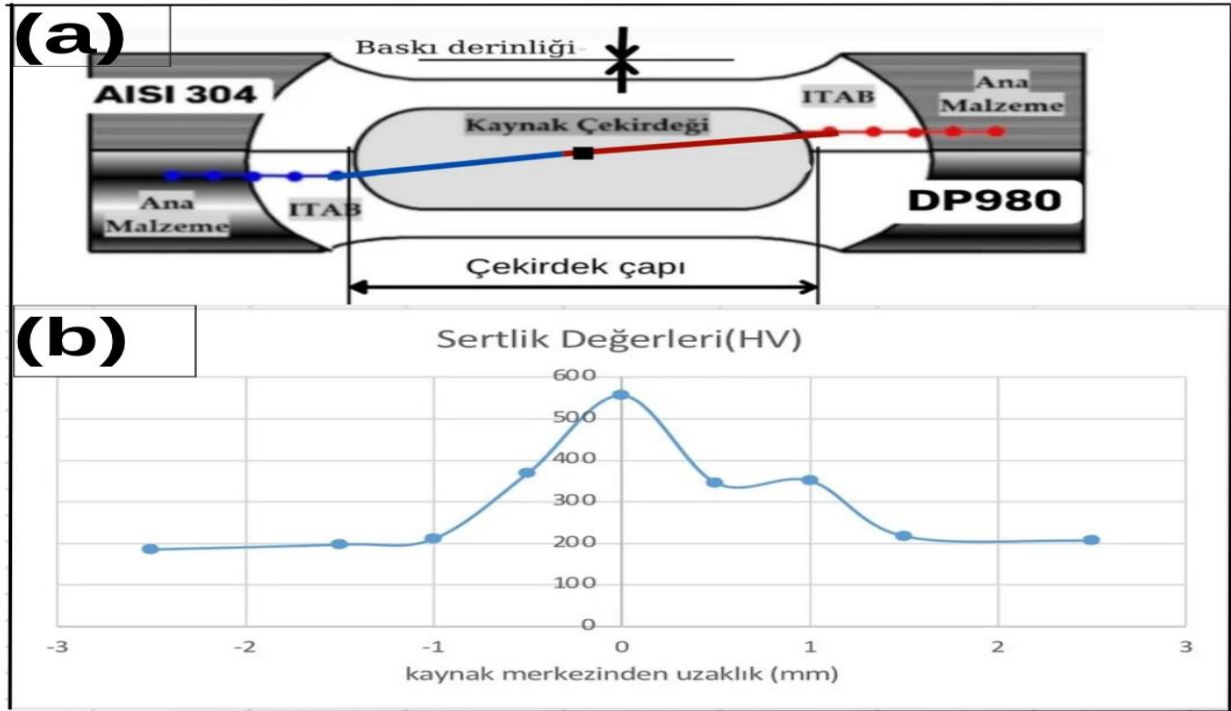
8.3. Korozyona Uğramış Kaynaklı Numunelerin Mikro Sertlik Ölçüm Sonuçları

Elektrik direnç kaynağı yöntemiyle birleştirilen AISI 304 – DP980 ve AISI 304 – galvanizli sac numuneler, %2, %3 ve %4 oranlarında hazırlanmış tuzlu çözelti ortamlarında korozyon testine tabi tutulmuştur. Korozyon testinde bekleme süresi, kaynaklı parçaların paslanmaya başladığı an esas alınarak belirlenmiştir. Bu kapsamda, AISI 304 – DP980 kaynaklı numunelerde paslanma 24 saat içinde gözlenirken, AISI 304 – galvanizli çelik kaynaklı numunelerde paslanma 360 saat sonunda meydana gelmiştir. Korozyona uğrayan bu numunelere mikro sertlik ölçümleri, kaynak çekirdek bölgesi, ısıdan etkilenen bölge (ITAB) ve ana metal üzerinde ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Sertlik ölçümlerinde 200gram yük uygulanarak mikrosertlik değerleri ölçülmüştür.

8.3.1. 24 Saat korozyona uğramış paslanmaz AISI 304 – DP980 çelik sac kaynak çiftinin 12 kA – 10 cycle parametrelerinde kaynak bölgesine ait sertlik incelemesi (%2 tuzlu çözelti)

Tablo 8.13. 24 Saat korozyona uğramış paslanmaz AISI 304 – DP980 çelik sac kaynak çiftinin 12 kA – 10 cycle'deki kaynak bölgesine ait sertlik değerleri (%2 tuzlu çözelti)

Malzeme				Kaynak bölgesi				Malzeme
AISI304				ITAB Bölge				DP980
-2.5mm	-1.5mm	-1mm	-0.5mm	0	0.5mm	1mm	1.5mm	2.5mm
186	198	212	370	557	346	351	218	207
HV	HV	HV	HV	HV	HV	HV	HV	HV

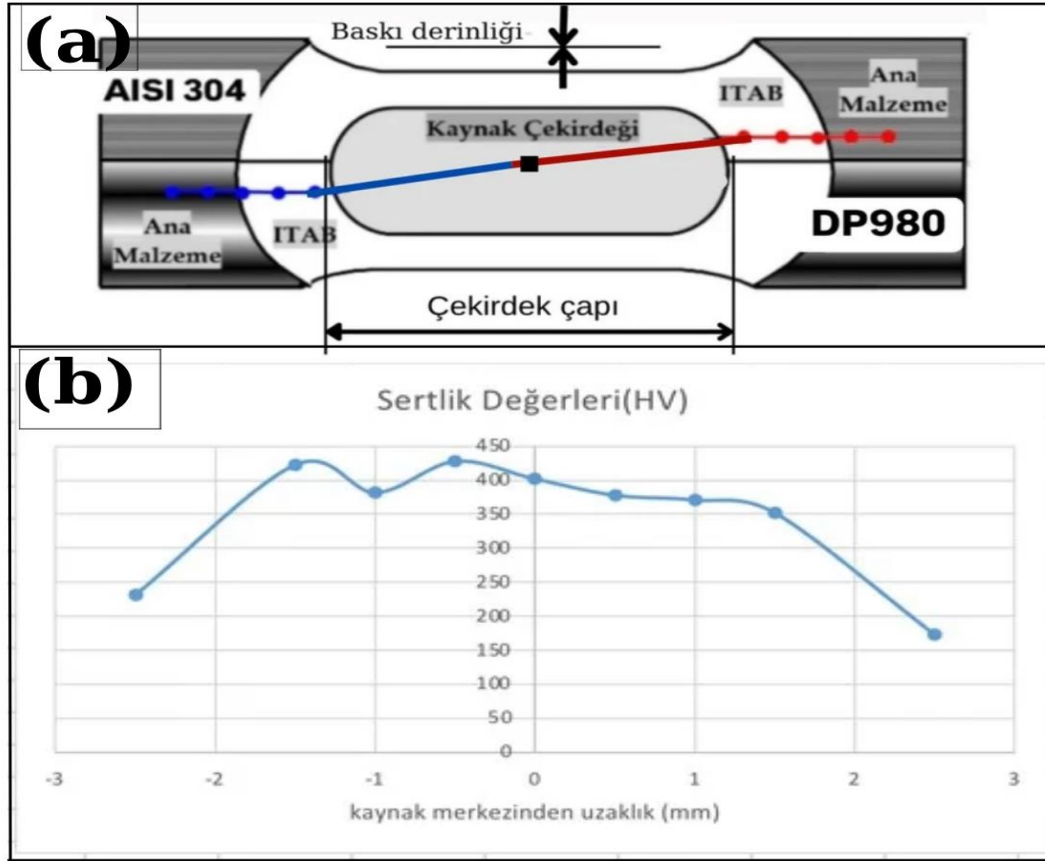


Şekil 8.7. 24 saat korozyona uğramış AISI 304 – DP980 kaynaklı numune (12 kA, 10 cycle, %2 tuzlu çözelti); a) sertlik ölçüm bölgesi, b) mikro sertlik grafiği.

8.3.2. 24 Saat korozyona uğramış paslanmaz AISI 304 – DP980 çelik sac kaynak çiftinin 10 kA – 10 cycle'daki kaynak bölgesine ait sertlik incelemesi (%4 tuzlu çözelti)

Tablo 8.14. 24 Saat korozyona uğramış paslanmaz AISI 304 – DP980 çelik sac kaynak çiftinin 10 kA – 10 cycle'deki kaynak bölgesine ait sertlik değerleri (%4 tuzlu çözelti)

Malzeme		Kaynak bölgesi						Malzeme
AISI304		ITAB Bölge		Çekirdek Bölge	ITAB Bölge		DP980	
-2.5mm	-1.5mm	-1mm	-0.5mm	0	0.5mm	1mm	1.5mm	2.5mm
173	352	371	378	402	428	382	423	232
HV	HV	HV	HV	HV	HV	HV	HV	HV

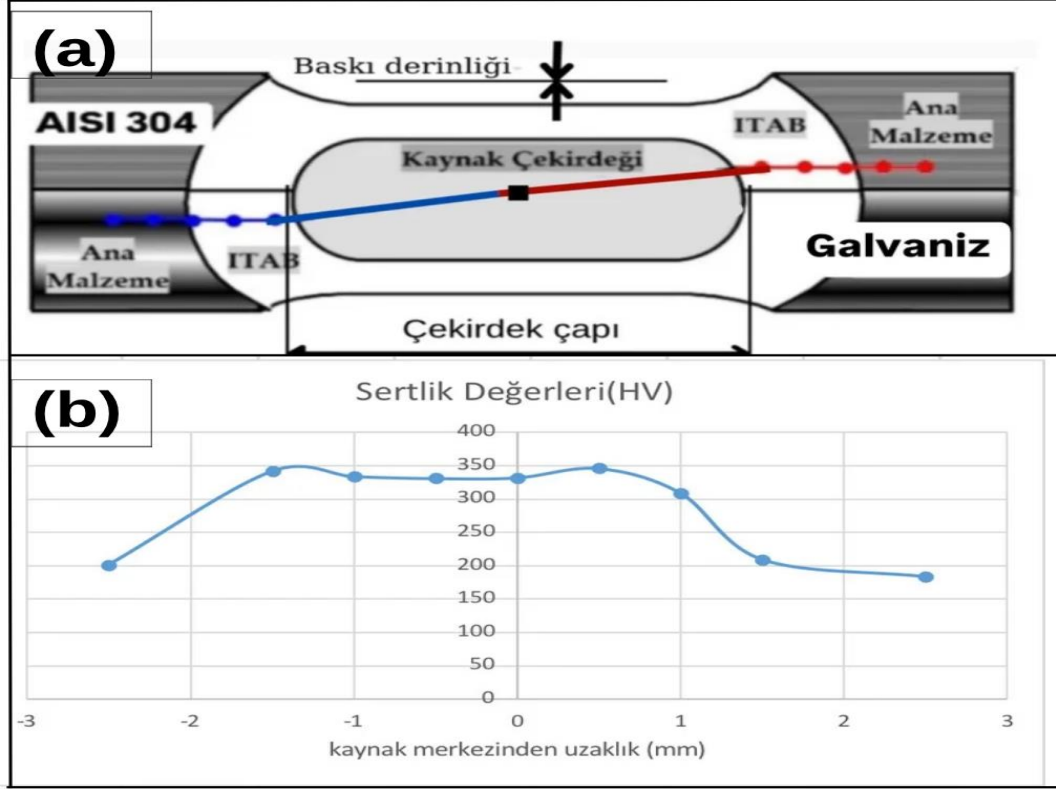


Şekil 8.8. 24 saat korozyona uğramış AISI 304 – DP980 kaynaklı numunede (10 kA, 10 cycle, %4 tuzlu çözelti); a) sertlik ölçüm bölgesi, b) mikro sertlik grafiği.

8.3.3. 360 Saat korozyona uğramış paslanmaz AISI 304 – Galvanizli çelik sac kaynak çiftinin 10 kA – 10 cycle'daki kaynak bölgesine ait sertlik incelemesi (%4 tuzlu çözelti)

Tablo 8.15. 360 Saat korozyona uğramış paslanmaz AISI 304 – Galvanizli çelik sac kaynak çiftinin 10 kA – 10 cycle'daki kaynak bölgesine ait sertlik değerleri (%4 tuzlu çözelti)

Malzeme		Kaynak bölgesi						Malzeme
AISI304		ITAB Bölge		Çekirdek Bölge	ITAB Bölge		Galvaniz	
-2.5mm	-1.5mm	-1mm	-0.5mm	0	0.5mm	1mm	1.5mm	2.5mm
201	342	334	331	332	346	309	209	183
HV	HV	HV	HV	HV	HV	HV	HV	HV

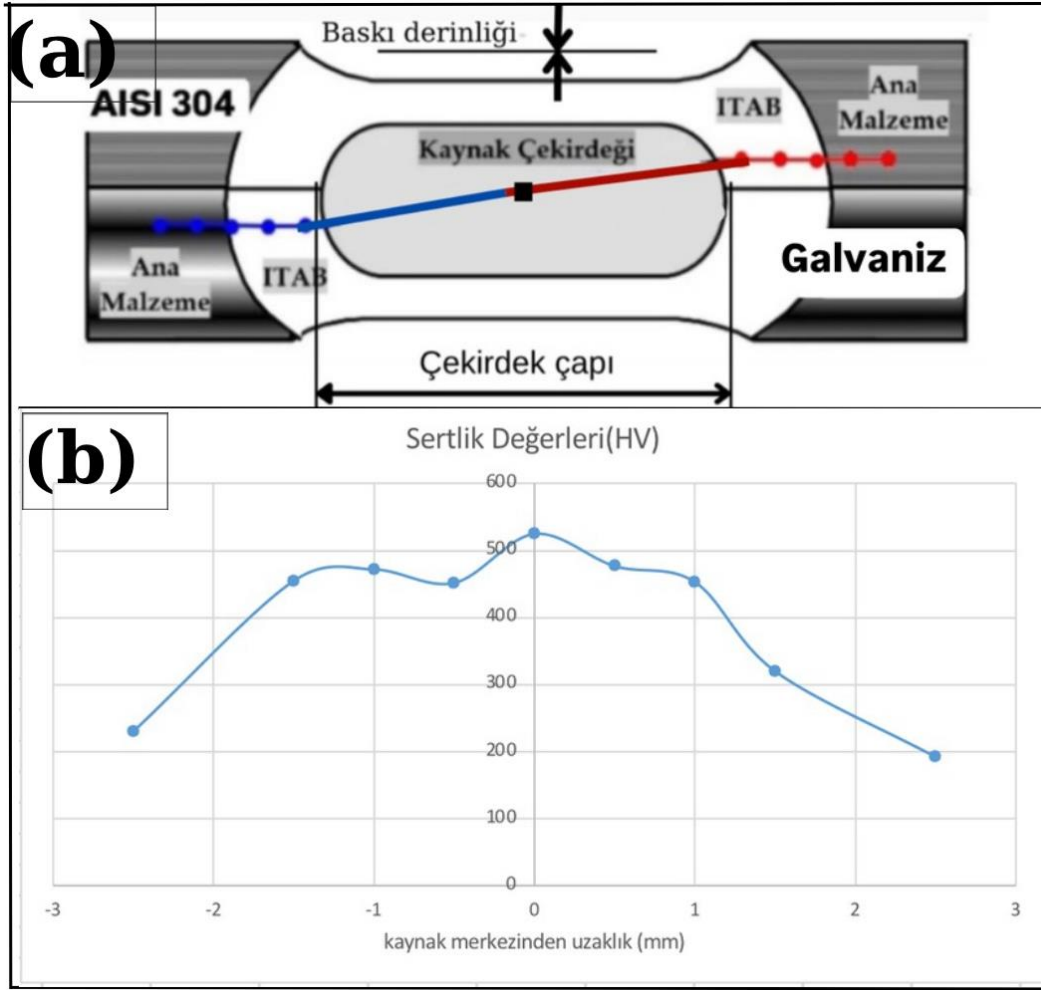


Şekil 8.9. 360 saat korozyona uğramış AISI 304 – galvanizli çelik sac kaynaklı numunede (10 kA, 10 cycle, %4 tuzlu çözelti); a) sertlik ölçüm bölgesi, b) mikro sertlik grafiği

8.3.4. 360 Saat korozyona uğramış paslanmaz AISI 304 – Galvanizli çelik sac kaynak çiftinin 12 kA – 10 cycle'daki kaynak bölgesine ait sertlik incelemesi (%3 tuzlu çözelti)

Tablo 8.16. 360 Saat korozyona uğramış paslanmaz AISI 304 – Galvanizli çelik sac kaynak çiftinin 12 kA – 10 cycle'daki kaynak bölgesine ait sertlik değerleri (%3 tuzlu çözelti)

Malzeme		Kaynak bölgesi						Malzeme
AISI304		ITAB Bölge		Çekirdek Bölge	ITAB Bölge		Galvaniz	
-2.5mm	-1.5mm	-1mm	-0.5mm	0	0.5mm	1mm	1.5mm	2.5mm
192	320	453	477	525	452	472	455	230
HV	HV	HV	HV	HV	HV	HV	HV	HV

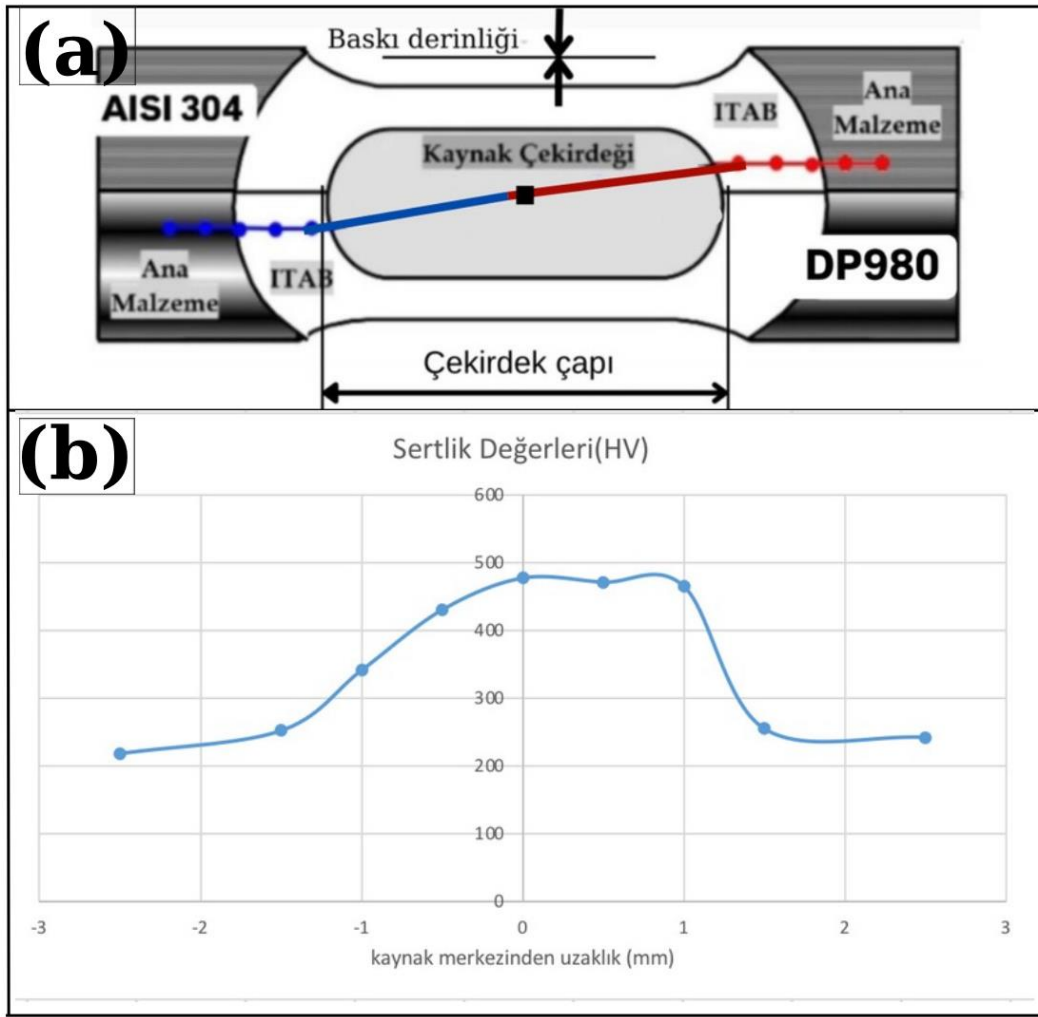


Şekil 8.10. 360 saat korozyona uğramış AISI 304 – galvanizli çelik sac kaynaklı numunede (12 kA, 10 cycle, %3 tuzlu çözelti); a) sertlik ölçüm bölgesi, b) mikro sertli

8.3.5. 24 Saat korozyona uğramış paslanmaz AISI 304 – DP980 çelik sac kaynak çiftinin 8 kA – 15 cycle'daki kaynak bölgesine ait sertlik incelemesi (%3 tuzlu çözelti)

Tablo 8.17. 24 Saat korozyona uğramış paslanmaz AISI 304 – DP980 çelik sac kaynak çiftinin 8 kA – 15 cycle'deki kaynak bölgesine ait sertlik değerleri (%3 tuzlu çözelti)

Malzeme		Kaynak bölgesi						Malzeme
AISI304	ITAB Bölge		Çekirdek Bölge		ITAB Bölge		DP980	
-2.5mm	-1.5mm	-1mm	-0.5mm	0	0.5mm	1mm	1.5mm	2.5mm
218	252	341	430	477	471	465	255	241
HV	HV	HV	HV	HV	HV	HV	HV	HV

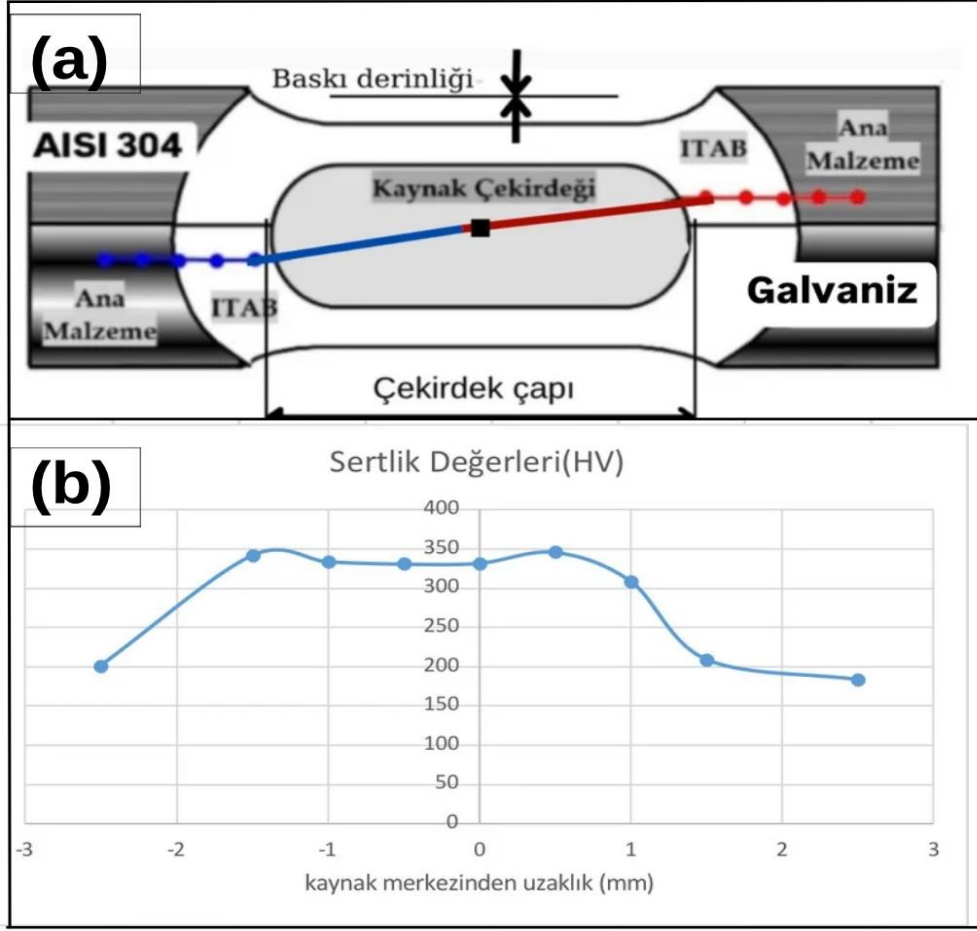


Şekil 8.11. 24 saat korozyona uğramış AISI 304 – DP980 kaynaklı numune (12 kA, 10 cycle, %3 tuzlu çözelti); a) sertlik ölçüm bölgesi, b) mikro sertlik grafiği.

8.3.6. 360 Saat korozyona uğramış paslanmaz AISI 304 – galvanizli çelik sac kaynak çiftinin 8 kA – 15 cycle’daki kaynak bölgesine ait sertlik incelemesi (%2 tuzlu çözelti)

Tablo 8.18. 360 Saat korozyona uğramış paslanmaz AISI 304 – galvanizli çelik sac kaynak çiftinin 8 kA – 15 cycle’daki kaynak bölgesine ait sertlik değerleri (%2 tuzlu çözelti)

Malzeme		Kaynak bölgesi						Malzeme
AISI304	ITAB Bölge	Çekirdek Bölge		ITAB Bölge		Galvaniz		
-2.5mm	-1mm	0	0.5mm	1mm	1.5mm	2.5mm		
	1.5 mm	0.5mm						
218 HV	306 HV	298 HV	309 HV	341 HV	332 HV	317 HV	227 HV	168 HV



Şekil 8.12. 360 saat korozyona uğramış AISI 304 – galvanizli çelik sac kaynaklı numunede (8 kA, 15 cycle, %4 tuzlu çözelti); a) sertlik ölçüm bölgesi, b) mikro sertlik grafiği.

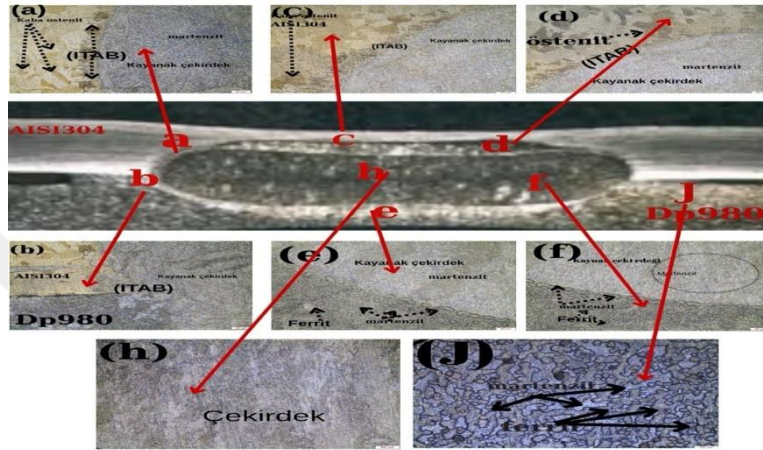
8.3.5. Korozyona maruz kalmış numunelerin mikro sertlik ölçümü sonuçları

Şekil 8.11, 8.8, 8.9, 8.10, 8.11, 8.12’de görüldüğü gibi ve Tablo 8.13, 8.14, 8.15, 8.16, 8.18 ve 7.19’da görüldüğü üzere, korozyona uğramış ana metallerin sertliğinde bir değişim olmazken, kaynak çekirdek bölgesinde maksimum sertlik oluşmuştur. Literatürde, kaynak sırasında meydana gelen yüksek sıcaklık ve hızlı soğuma sonucunda martenzitik faz hacminin arttığı belirtilmektedir (Khan, 2007). Ayrıca, kaynak sırasında kaynak bölgesinde meydana gelen yüksek sıcaklık ve hızlı soğuma sonunda martenzit fazlarının arttığında, yüksek mukavemetli çeliklerin direnç nokta kaynağında martenzit fazının merkeze doğru arttığı ifade edilmektedir (Yıldız ve ark., 2018). Ayrıca; Korozyonsuz kaynaklı AISI 304- DP980 çeliklerin kaynak bölgesindeki sertlik ölçüm sonuçları (Özkan, 2024) ile bizim yaklaşık aynı parametrelerde, korozyonlu ortamda kaynaklı AISI 304- DP980’in sertlik ölçüm sonuçları arasında fazla fark olmadığı görülmektedir.

8.4. Korozyona Uğramış Kaynaklı Parçaların Mikroyapı İncelemesi

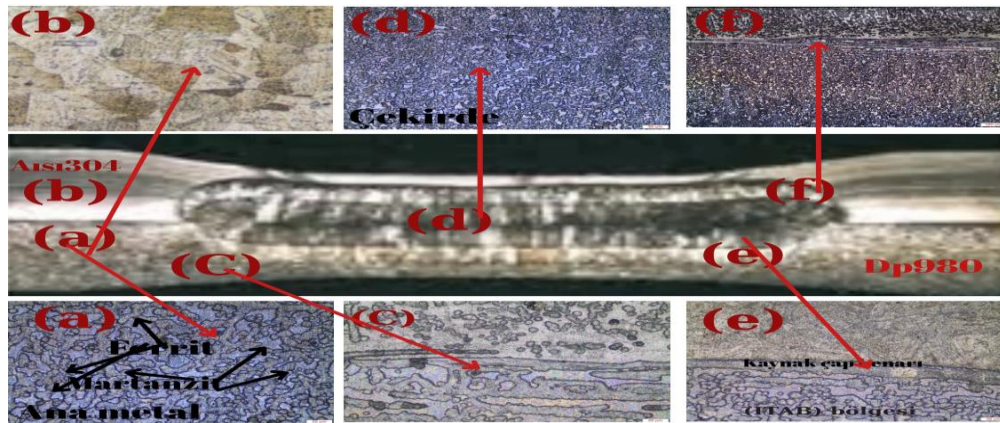
Korozyona maruz kalmış numunelerin iç yapılarındaki değişimi görmek için mikro yapı görüntüleri alınmıştır. Bu mikro yapı görüntüleri, kaynaklı parçaların kaynak bölgesi, ısıdan etkilenen bölge (ITAB) ve ana metal bölgesindeki iç yapılar incelenmiştir. Bu görüntüler X50, X100 ve X200 büyütmede optik mikroskopundan alınan görüntülerdir.

8.4.1. 24 Saat korozyona uğramış AISI 304 – DP980 çelik sac kaynak çiftinin mikroyapı incelenmesi (%4 tuzlu çözelti, 10 kA – 10 cycle)



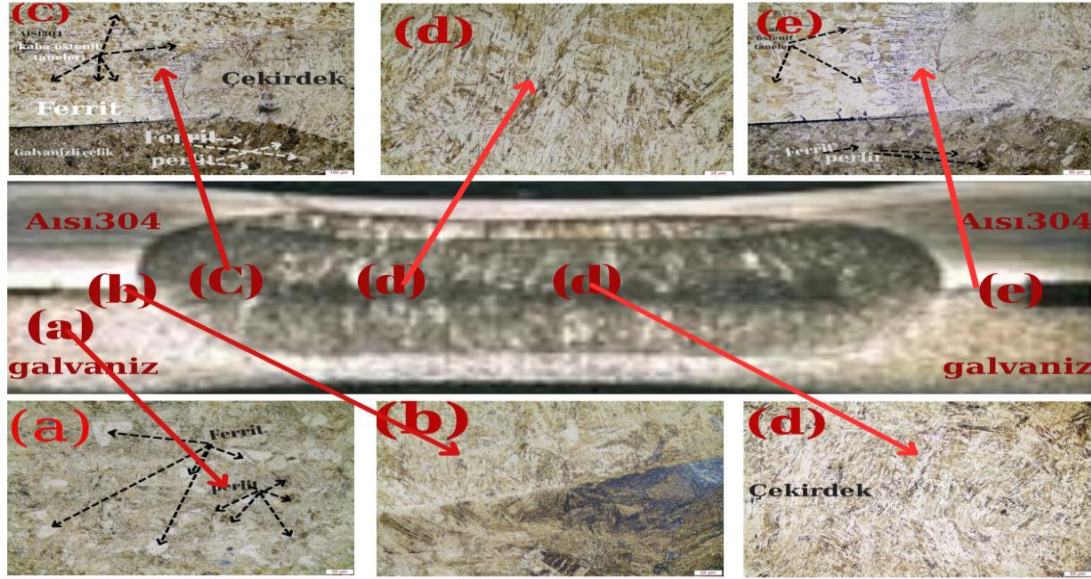
Şekil 8.13. %4 tuzlu çözelti ortamında, 10 kA – 10 cycle kaynak parametreleriyle birleştirilen AISI 304 – DP980 çelik sac çiftine ait korozyona uğramış numunenin kaynak bölgesi mikroyapı görüntüsü. (a) AISI 304 ana metal, (b, j) DP980 ana metal, (c, d, e) (ITAB), (f, h) Kaynak çekirdek bölgesi.

8.4.2. 24 Saat %2 Tuzlu çözelti ortamında korozyona uğramış AISI 304 – DP980 çelik sac kaynak numunelerinin mikroyapı incelenmesi (12 kA – 10 cycle)



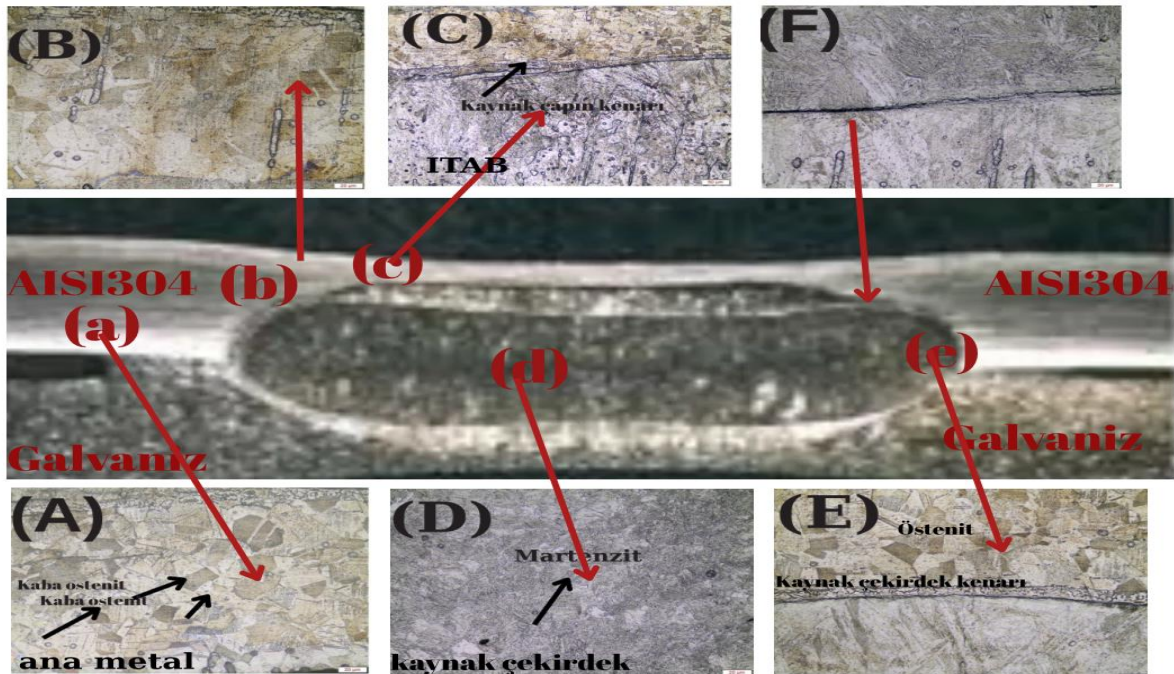
Şekil 8.14. 24 saat %2 tuzlu çözelti ortamında korozyona uğramış AISI 304 – DP980 kaynaklı numunenin, 12 kA – 10 cycle parametresine ait mikroyapı görüntüsü. (a) DP980 ana metal, (b) AISI 304 ana metal, (c, e, f) ITAB, (d) kaynak çekirdek bölgesi.

8.4.3. 360 Saat %4 Tuzlu çözelti ortamında korozyona uğramış görüntüsü (SI 304 – galvanizli çelik sac kaynak numunelerinin mikroyapı incelenmesi (10 kA – 10 cycle)



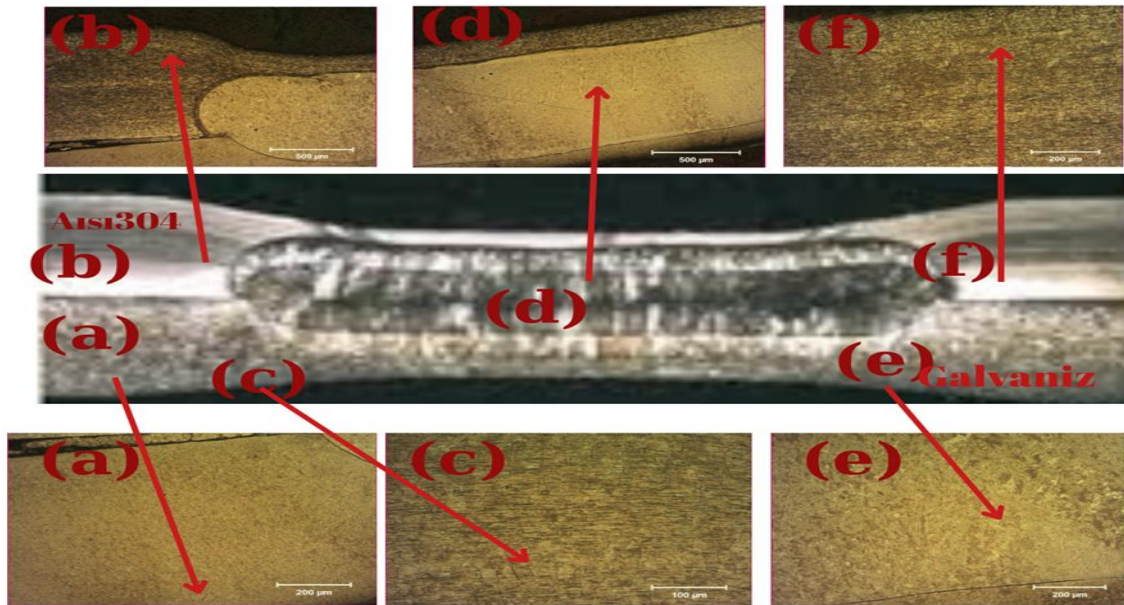
Şekil 8.15. 360 saat %4 tuzlu çözelti ortamında korozyona uğramış AISI 304 – Galvanizli çelik kaynaklı numunenin, 10 kA – 10 cycle parametresine ait mikroyapı görüntüsü. (a) Galvanizli çelik ana metal, (b) AISI 304 ana metal, (c, d) kaynak çekirdek bölgesi, (e) ITAB.

8.4.4. 360 Saat %2 tuzlu çözelti ortamında korozyona uğramış AISI 304 – galvanizli çelik sac kaynak numunelerinin mikroyapı incelenmesi (8 kA – 10cycle)



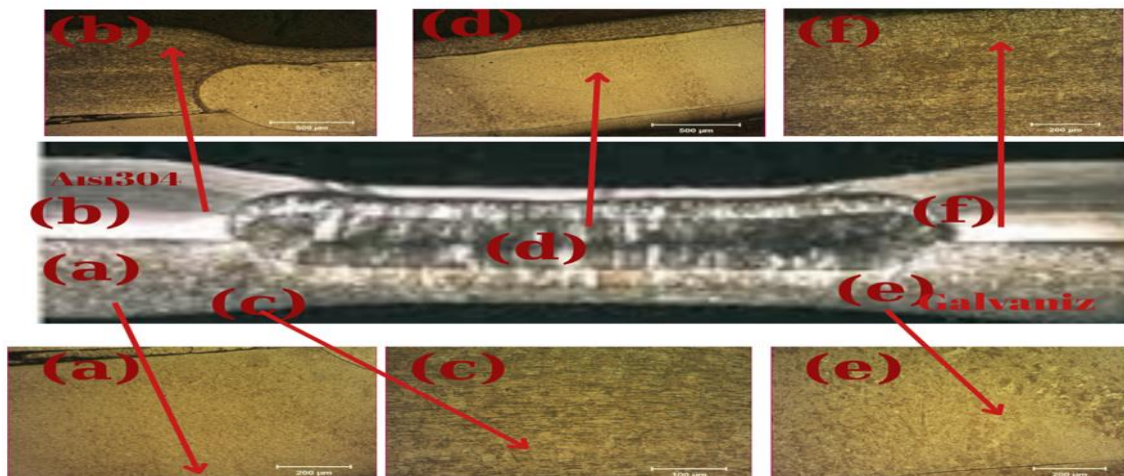
Şekil 8.16. 360 saat %2 tuzlu çözelti ortamında korozyona uğramış AISI 304 – galvanizli çelik kaynaklı numunenin, 8 kA – 10 cycle parametresine ait mikroyapı görüntüsü. (a) AISI 304 ana metal, (b, c, e) ITAB, (d) kaynak çekirdek bölgesi.

8.4.5. 24 Saat %3 tuzlu çözelti ortamında korozyona uğramış AISI 304 – DP 980 kaynak numunelerinin mikroyapı incelenmesi (8 kA – 10cycle)



Şekil 8.17. 360 saat %4 tuzlu çözelti ortamında korozyona uğramış AISI 304 – galvanizli çelik kaynaklı numunenin, 10 kA – 10 cycle parametresine ait mikroyapı görüntüsü. (a) Galvanizli çelik ana metal, (b) AISI 304 ana metal, (c, e, f) ITAB, (d) kaynak çekirdek bölgesi.

8.4.6. 360 Saat %2 tuzlu çözelti ortamında korozyona uğramış AISI 304 – galvanizli çelik sac kaynak numunelerinin mikroyapı incelenmesi (8 kA – 10cycle)



Şekil 8.18. 360 saat %4 tuzlu çözelti ortamında korozyona uğramış AISI 304 – galvanizli çelik kaynaklı numunenin, 10 kA – 10 cycle parametresine ait mikroyapı görüntüsü. (a) Galvanizli çelik ana metal, (b) AISI 304 ana metal, (c, e, f) ITAB, (d) kaynak çekirdek bölgesi.

8.4.7. Korozyona uğramış kaynaklı parçaların mikro sonuçların incelenmesi

Şekil 8.13, 8.14, 8.15, 8.16, 8.17 ve 8.18’de görüldüğü gibi, ITAB ve kaynak bölgesinin sertliği en yüksek değere ulaşmıştır. Bunun nedeni, kaynak çekirdek bölgesinde östenit ve martenzitik gibi fazların oluşmasıdır. Özgüven (2021), DP1000 saclar üzerindeki çalışmada, ergime bölgesindeki iğne yapılı ve çizgisel mikroyapı oluşumunun, füzyon bölgesindeki hızlı ısınma ve soğuma nedeniyle oluşan martenzitik yapıdan kaynaklandığını ifade etmiştir. Ayrıca, Khan (2007), yüksek mukavemetli çeliklerin ENDK birleşimlerinde, ferrit matrisi içerisinde martenzit oluşumunun kaynak merkezine doğru gidildikçe arttığını göstermiştir. Şekillerden de görüldüğü gibi, kaynak bölgesinde korozyonun herhangi bir etkisinin olmadığı gözlemlenmiştir.



9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

9.1. Sonuçlar

Korozyona uğramış bütün numunelerin çekme-makaslama kuvvetiyle, kaynak akımıyla arttığı. Korozyona uğramış AISI 304-DP980 numunelerinde, 25 cycle kaynak süresi ve 12 kA akım ile %3 NaCl ortamında maksimum 12,56 kN çekme-makaslama kuvveti elde edilmiştir. En düşük kuvvet ise 8 kA akım, 15 cycle süre ve %4 tuzlu çözelti ortamında 9 kN olarak ölçülmüştür. Çekme-makaslama kuvvet değerleri Şekil 7.1’de grafik halinde verilmiştir. Korozyona uğramış AISI 304 – galvanizli çelik numunelerinde ise en yüksek çekme-makaslama kuvveti, 12 kA akım, 25 cycle süre ve %4 NaCl ortamında 11,50 kN olarak ölçülmüştür. En düşük kuvvet ise 8 kA akım, 10 cycle süre ve %2 NaCl ortamında 7,12 kN olarak verilmiştir. Çekme-makaslama kuvvet değerleri Şekil 7.2’de grafik halinde verilmiştir.

Ortalama çekme-makaslama gerilmesi, kaynak akımı arttıkça azalmıştır. 24 saat korozyona maruz kalmış AISI 304–DP980 kaynaklı numunelerde maksimum ortalama çekme-makaslama gerilmesi, 8 kA ve %4 tuzlu çözelti ortamında 576 MPa olarak ölçülmüştür. 360 saat korozyona maruz kalmış AISI 304–galvanizli çelik saç numunelerinin çekme-makaslama gerilmesi ise 8 kA ve %3 tuzlu çözelti ortamında 680 MPa olarak belirlenmiştir. Ortalama çekme-makaslama gerilmesinin kaynak akımı ile değişimi (%2, %3 ve %4 tuzlu çözelti) grafiklerle Şekil 7.3 ve 7.4’te verilmiştir.

Çekme-makaslama kuvveti sonunda, kaynak ara yüzeylerin incelenmesinde kaynak bölgesinde herhangi bir korozyon hasarının olmadığı.

Bu numunelerin mikro sertlik incelemelerinde, maksimum sertlik değerinin kaynak çekirdek bölgesinde ölçüldüğü belirlenmiştir. Tüm mikro sertlik değerleri Tablo 8.13, 8.14, 8.15, 8.16, 8.17 ve 8.18’de verilmiştir.

Numunelerin hem ana metal, ITAB hem de çekirdek bölgesinde ferrit, östenit, martenzit gibi fazların görüldüğü tespit edilmiştir. Ayrıca, kaynak bölgesinde korozyondan dolayı herhangi bir çukurcuk hasarının oluşumuna rastlanılmamıştır. Mikro iç yapısı Şekil 8.13, 8.14, 8.15, 8.16, 8.17 ve 8.18’de gösterilmiştir.

Bu numunelerin kaynak çekirdek bölgesinde korozyon hasarına rastlanılmadığı. Değişik orandaki hazırlanan çözeltide bekletilen numunelerin mekanik özelliklerinde herhangi bir etkisinin olmadığı gözlemlenmiştir.

9.2. Öneriler

Daha sonraki çalışmalarda, kaynaklı DP9800- DP9800, AISI304- AISI304 ve Galvanizli-Galvanizli eş çelik sacların değişik oranlardaki tuzlu çözeltilerde daha uzun süre korozyona maruz bırakılarak, kaynak mukavemetlerinde etkisi araştırılabilir.

Bizim çalışmamızda, 8, 10 ve 12 kA kaynak akımları ile 10, 15, 20 ve 25 cycle tutma sürelerinde ve %2, %3 ile %4 tuzlu çözelti ortamlarında kaynak işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bu parametrelerin değiştirilerek yapılacak yeni çalışmalar, 304–DP980 ve AISI 304–Galvanizli çeliklerin korozyon direncinin daha detaylı incelenmesini sağlayacaktır

Çalışmamız, 0,5 N/mm² sabit elektrot basıncında ve 16 mm küresel uçlu elektrot kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Gelecekte, farklı tip ve çaplarda elektrotlar ile çalışmalar yapılması önerilmektedir. Ayrıca, elektrot basıncının etkilerinin daha iyi analiz edilebilmesi için basıncın değişken bir parametre olarak ele alındığı araştırmalar yapılabilir.

Bizim çalışmamızda, AISI 304–DP980 ve AISI 304–Galvanizli çeliklerin elektrik nokta direnç kaynağı ile birleştirilmesinin ardından korozyon testine tabi tutularak yalnızca çekme-makaslama kuvveti, çekme-makaslama gerilmesi, mikro iç yapısı ve mikro sertlik değerleri incelenmiştir. Ancak, mekanik test çeşitlendirmesi kapsamında darbe, yorulma ve aşınma testleriyle de kaynaklı birleşimlerin dayanımının kapsamlı şekilde incelenmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Abdulghani, H. A., Ghalib, L., & Nabhan, B. J. (2022). Spot welding parameters effect on surface corrosion behavior of carbon steel sheet. *Egyptian Journal of Chemistry*, 65(10), 531-535.
- Aktaş, S., (2008). *Otomotiv sektöründe kullanılan dual faz sacların direnç nokta kaynağında mekanik özelliklerinin incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Al-Mukhtar, A. M., Doos, Q., (2013). The Spot Weldability of Carbon Steel Sheet, *Advances in Materials Science and Engineering*, Volume 2013, 6 pages.
- Aydin, K., Hidirolu, M., and Kahraman, N. (2022). Characterization of the Welding Zone of Automotive Sheets of Different Thickness (DP600 and DP800) Joined by Resistance Spot Welding, *Transactions Of The Indian Institute Of Metals*, 75(5).
- Baydemir, M., (2011). *Östenitik AISI 310-ferritik AISI 430 paslanmaz çeliklerin elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmesi ve mekanik özelliklerinin incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1-159 (2011)
- Bilhan, H., (2003). *Çeşitli Organik Tükürük Komponentlerinin Diş Hekimliğinde Kullanılan Farklı Döküm Alaşımları Ve Amalgam'ın Korozyonu Üzerine Etkisi*, Doktora Tezi, İ.Ü. Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 25-29.
- Bilir., Y., (2016). *Çift Fazlı Çeliklerde Mikrpyapının Mekanik Özelliklere Etkisi*, 18th Uluslararası Metalurji&Malzemeler Kongresi Bildiriler Kitabı Cilt 1 İstanbul, 942 – 947.
- Coşkun, M. H., (2009). *Otomotiv endüstrisinde kullanılan IF 7114 ve DP600 çelik sacların nokta kaynağı (RSW) ve sürtünme karıştırma nokta kaynağı (FSSW) yöntemleri ile birleştirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 13-22.
- Çelik, E., (2006). *Martenzitik paslanmaz çelik ve ferritik paslanmaz çeliğin kendileriyle ve birbirleriyle sürtünme karıştırma yöntemi ile kaynak edilebilirliğinin araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elâzığ, 4-18.
- Erik, M., (2010). *Farklı kalınlıklarda galvaniz kaplanmış çelik sacların nokta direnç kaynağı ile kaynaklanabilirliğinin araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 37-70.
- Esindir, E. (2009). *Farklı metallerin nokta direnç kaynağı ile birleştirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 5-9.
- Gerengi, H., (2008). *Tafel Polarizasyon (TP), Lineer Polarizasyon (LP), Harmonik Analiz (HA) ve Dinamik Elektrokimyasal İmpedans Spektroskopisi (DEIS) Yöntemleriyle Düşük Karbon Çeliği (AISI 1026), Pirinç-MM55 ve Nikalium-118 Alaşımlarının Yapay Deniz Suyunda Korozyon Davranışları ve Pirinç Alaşımlarına Benzotriazol'ün İnhibitör Etkisinin Araştırılması*, Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

- Gözütok, E. (2009). *Paslanmaz çeliklerin TIG kaynağında argon-hidrojen gaz karışımının birleştirmelerin mekanik ve mikro yapı özelliklerine etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 4-8.
- Hafez, K. M. (2018). The effect of welding atmosphere on the pitting corrosion of AISI 304L resistance spot welds. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 97(1), 243-251.
- Hassoni, S. M., Barrak, O. S., Ismail, M. I., & Hussein, S. K. (2022). Effect of welding parameters of resistance spot welding on mechanical properties and corrosion resistance of 316L. *Materials Research*, 25, e20210117.
- Hayat, F., (2005). *Çift-fazlı çeliklerin nokta direnç kaynağında mho ile kaynak süresinin mekanik özelliklere etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 28-49 (2005)
- Kaya, Y., (2010). *Titanyum sacların nokta direnç kaynağı ile kaynaklanabilirliğinin araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 1-112.
- Kaya, Y., (2014). *Patlamalı kaynak yöntemi ile üretilen grade a gemi sacı-paslanmaz çelik kompozitlerin mikroyapı, mekanik ve korozyon özelliklerinin incelenmesi*, Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 1-215.
- Kekik, M., (2018). *1200M-DP800HF Saclarının elektrik direnç nokta kaynak yöntemiyle birleştirilmesinde hasar modunun tespiti*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Keleş, S., (2008). *Tasarım ve imalatı yapılan punta kaynak makinasında nesne yönelimli işlem planlama sisteminin uygulanması*, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, 2-5.
- Khan, M. I., (2007). *Spot welding of advanced high strength steels*, University of Waterloo, Degree of Master of Applied Science in Mechanical Engineering.
- Kocabekir, B., (2006). *Isı girdisi ve kaynak atmosferinin 316 L paslanmaz çeliklerin direnç kaynak birleştirmelerine etkileri*, Bilim Uzmanlığı Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, 45-48.
- Küçükara, H., (2008). *Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretilen Al-SiCp Kompozitlerin Difüzyon Kaynak Kabiliyetlerinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 41-44.
- Llewellyn D T, (1994). *Steels Metallurgy and Applications*, Second Edition, Routledge, 320p, Oxford.
- Osmanoğlu, T., (2012). *AISI 304 ve 430 kalite paslanmaz çeliklerin mikro yapılarına, mekanik özelliklerine ve korozyon davranışlarına soğuk deformasyonun etkileri*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 7-27.
- Özgüven, I. C., (2021). *Otomotiv Sektöründe Kullanılan DP 1000 Ve Boron Çeliğinin Farklı Parametreler Altında Nokta Direnç Kaynağı Ve Parametrelerin Kaynak Kalitesine*

Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Sakarya, 59.

- Öztürk, F., Toros, S., Esener, E., Uysal, E., (2009). Otomotiv endüstrisinde yüksek mukavemetli çeliklerin kullanımının incelenmesi, *Mühendis ve Makina*, Cilt:50, Sayı:596.
- Özyürek, D. (2008). An effect of weld current and weld atmosphere on the resistance spot weldability of 316 L austenitic stainless steel, *Materials and Design*, 29: 597–603.
- Rajarajan, C., Sivaraj, P., and Balasubramanian, V. (2018). Microstructural Characteristics and Load Carrying Capability of Resistance Spot Welded Dual Phase (DP800) Steel Joints, *Journal Of Advanced Microscopy Research*, 13 (2): 198–203.
- Russo Spena, P., Rossi, S., & Wurzer, R. (2017). Effects of welding parameters on strength and corrosion behavior of dissimilar galvanized Q&P and TRIP spot welds. *Metals*, 7(12), 534.
- Shi, X.; Zhang, S.; Li, T.; Meng, X.; Cheng, C.; Pei, J.; Cao, T.; Zhao, J. (2024). Corrosion Behavior and Mechanical Property of 5182 Aluminum/DP780 Steel Resistance Spot Welding Joints. *Materials*, 17, 2472. <https://doi.org/10.3390/ma17112472>.
- Stuart Keeler, Menachem Kimchi, (2014). *AHSS Guidelines V5.0* 20140514
- Şenyüz, G., (2008). *304 kalite paslanmaz çelik ve galvanizli sacların şekillendirme kabiliyetlerinin çeşitli yönlerden incelenerek karşılaştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 3-22.
- Toka, Ö., (2024). *Elektrik nokta direnç kaynaklı dp 980 çelik saclar ile paslanmaz çelik sacların mekanik özelliklerinin incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Yalova Üniversitesi Lisansüstü eğitim Enstitüsü, Yalova.
- Türkyılmazoğlu, A., (2006). *Dublesk, marteitik ve ferritik paslanmaz çeliklerin kaynağı*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 16-55. Paslanmaz çelik türleri
- Varis, J.P., (2006). The suitability of clinching as a joining method for high-strength structural steel, *Journal of Materials Processing Technology*, 132, 242-249.
- Varol F., (2013). *MIG lehimleme yöntemi ile dual fazlı çelik sacların birleştirilebilirliğinin ve mekanik özelliklerinin incelenmesi*, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Vural M, (1992). *Galvanizli Çelik Sacların Karbonlu ve Ferritik Paslanmaz Çelikler ile Nokta Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Kaynak Davranışına ve Bağlantının Dayanımına Etkisi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 119s, İstanbul.
- Vural, M., Akkuş, A., (2004). On the resistance spot weldability of galvanized interstitial free steel sheets with austenitic stainless steel sheets, *Journal of Materials Processing Technology* 153(1): 1-6.

- Yıldırım, O., (2010). *Otomotiv endüstrisinde kullanılan nokta direnç kaynağı uygulamalarında işlem parametrelerinin incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 53-55.
- Yorulmazel, S. C., (2007). *Paslanmaz çelik konstrüksiyonlarda oluşan distorsiyonların etüdü*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 8-15.
- Yürük, A., (2015). *Elektrik nokta direnç kaynak yöntemi ile birleştirilen farklı özellikteki paslanmaz çeliklerin kaynak bölgesinin karakterizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 1-109.
- Zhang, H., Wei, A., Qiu, X. and Chen, J. (2014). Microstructure and mechanical properties of resistance spot welded dissimilar thickness DP780/DP600 dual phase steel joints, *Materials and Design*, 54: 443–449.



ÖZGEÇMİŞ

İlk ve orta öğrenimini Kerkük’te tamamladı. 2014 yılında liseden mezun olduktan sonra Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümüne başladı ve 2019 yılında bu bölümden mezun oldu. 2020 yılından itibaren özel sektörde çeşitli görevlerde çalışmaktadır.

TEZDEN TÜRETİLEN YAYIN VE ESERLER

Zainel, J. A., Sevim, İ., (2025). *Elektrik Nokta Direnç Kaynaklı DP 980 Çelik Saclar ile Paslanmaz Çelik Sacların Değişen Kaynak Akımı ve Kaynak Süresini Kaynak Çapına ve Korozyon Direncinin Çekme Makaslama Gerilime, Etkisinin İncelenmesi*. 5th International Conference on Engineering, Natural and Social Sciences ICENSOS. 15-16 April. Konya, Turkey.