

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**G-X 10 CrNiMoNb 18-10 OSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİĞİN
ASİDİK ÇÖZELTİLERDEKİ KOROZYON ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS

Makine Müh. Mümin SONCU

Anabilim Dalı: Makine Mühendisliği

Danışman: Prof.Dr. Levon ÇAPAN

KOCAELİ, 2008

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**G-X 10 CrNiMoNb 18-10 OSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİĞİN
ASİDİK ÇÖZELTİLERDEKİ KOROZYON ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

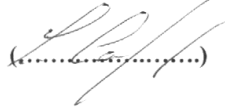
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mümin SONCU

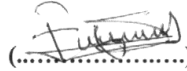
Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 21 Mayıs 2008

Tezin Savunulduğu Tarih: 17 Haziran 2008

Tez Danışmanı
Prof.Dr. Levon ÇAPAN


(.....)

Üye
Yrd.Doç.Dr. Erdal KARADENİZ


(.....)

Üye
Doç.Dr. Sibel ZOR


(.....)

KOCAELİ, 2008

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Paslanmaz çelikler, korozyon çevre koşullarına dayanımları, yüksek sıcaklıklarda kullanılabilirlikleri ve üstün mekanik özellikleri nedeniyle gerek günlük yaşamımızda, gerekse endüstrinin her alanında tercih edilme özelliği olan çeliklerdir. Paslanmaz çeliklerin bu avantajlarına karşın, yüksek fiyat ve hammadde bulma zorluğu gibi dezavantajları da söz konusudur.

Bu çalışmada G-X 10 CrNiMoNb 18-10 ostenitik paslanmaz çeliğin farklı derişimlerde (0.1M, 1M, 2M, 3M) HCl, H₂SO₄ ve %50 H₂SO₄ + %50 HCl olmak üzere asit içeren çözeltilerdeki korozyon davranışları, potansiyodinamik polarizasyon eğrileri ve kütle kaybı yöntemiyle incelenmiştir. Ayrıca, asidik çözeltilerde belli sürelerde bırakılan G-X 10 CrNiMoNb 18-10 ostenitik paslanmaz çeliğin elemental analiz ve sertlik ölçümleri yapılmış ve aynı zamanda yüzey analizi SEM resimleri ve fotoğraf çekimleri ile incelenmiştir.

Beni bu konuya yönlendiren ve çalışmam esnasında karşılaştığım problemlerin çözümünde bana yardımcı olan, bilimsel çalışma yöntemini öğreten değerli hocalarım Sayın Prof.Dr.Levon ÇAPAN' a ve Sayın Doç.Dr.Sibel ZOR' a teşekkür ederim. Deneysel çalışmalarda bana yardımcı olan Ar. Gör. Hatice ÖZKAZANÇ' a, Makine Yüksek Müh. Mehmet TÜRKER' e, Makine Yüksek Müh. Zafer YÜCEL' e ve bana her türlü laboratuvar imkanını sunan Kimya ve Makina Mühendisliği Bölüm' lerine teşekkür ederim. Ayrıca maddi ve manevi yardımlarından dolayı başta ailem olmak üzere yakınlarıma, Bayram SONCU' ya, Çiğdem SAÇAR' a ve Ar. Gör. Onur ÇOBAN' a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
TABLolar DİZİNİ	vii
SEMBOLLER	viii
Özet	viii
Abstract	x
BÖLÜM 1. GİRİŞ	1
BÖLÜM 2. PASLANMAZ ÇELİKLER HAKKINDA BİLGİ	7
2.1. Genel	7
2.2. Alaşım Elementlerinin Etkisi	10
2.2.1. Krom (Cr)	10
2.2.2. Karbon (C)	12
2.2.3. Nikel (Ni)	13
2.2.4. Manganez (Mn)	16
2.2.5. Molibden (Mo)	17
2.2.6. Bakır (Cu)	17
2.2.7. Azot (N)	18
2.2.8. Silisyum (Si)	19
2.2.9. Alüminyum (Al)	19
2.2.10. Bor	19
2.2.11. Titanyum (Ti)	20
2.2.12. Niyobyum (Nb)	20
2.3. Paslanmaz Çeliklerin Fiziksel Özellikleri	20
2.4. Paslanmaz Çeliklerin Sınıflandırılması	21
2.4.1. Martenzitik paslanmaz çelikler	22
2.4.2. Ferritik paslanmaz çelikler	25
2.4.3. Ostenitik paslanmaz çelikler	28
2.4.4. Çift fazlı (dubleks) paslanmaz çelikler	37
2.4.5. Çökelme sertleşmeli paslanmaz çelikler	40
BÖLÜM 3. KOROZYONUN TANIMI	43
3.1. Giriş	43
3.2. Korozyonun Ülke Ekonomisi Açısından Önemi	44
3.3. Korozyonun Tanımı ve Elektrokimyası	46
3.3.1. Korozyonun tanımı ve genel ilkeleri	46
3.3.2. Korozyonun termodinamiği	48
3.3.3. Korozyonun elektrokimyası	48
3.3.4. Pasiflik	51
3.4. Korozyonun Önlenmesi	54
3.5. Korozyon Hızını Belirleme Yöntemleri	54
BÖLÜM 4. PASLANMAZ ÇELİKLERDE MEYDANA GELEN KOROZYON TURLERİ	57

4.1. Giriş.....	57
4.2. Genel Korozyon.....	58
4.3. Tanelerarası Korozyon.....	59
4.4. Galvanik Korozyon.....	63
4.5. Oyuklaşma(pitting) Korozyonu.....	64
4.6. Aralık (crevice) Korozyonu.....	67
4.7. Gerilmeli Korozyon Çatlaması (SCC).....	68
4.8. Eroziv Korozyon.....	70
BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	72
5.1. Deney Yöntemi.....	72
5.2. Yöntem.....	74
5.2.1. Kütle kaybı yöntemi ile korozyon hızının belirlenmesi.....	74
5.2.2. Elektrokimyasal yöntem ile korozyon hızının belirlenmesi.....	75
5.2.3. Yüzey analizi.....	76
5.2.4. Sertliğin belirlenmesi.....	76
5.2.5. Çentik darbe deneyi.....	77
BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	79
6.1. Kütle Kaybı Yöntemi ile Elde Edilen Korozyon Hızları.....	79
6.2. Elektrokimyasal Yöntemle Elde Edilen Sonuçlar.....	82
6.3. Yüzey Analizi Yöntemi ile Elde Edilen Sonuçlar.....	100
6.3.1. SEM analizi ile elde edilen sonuçlar.....	100
6.3.2. Fotoğraf çekimi ile elde edilen sonuçlar.....	104
6.4. Sertlik Değerlerinin Değişimi.....	111
6.5. Çentik Darbe Deneyi Sonuçları.....	112
6.6. Elemental Analiz Sonuçları.....	114
SONUÇLAR.....	115
KAYNAKLAR.....	117
ÖZGEÇMİŞ.....	120

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1: İkili Fe–Cr faz diyagramı	9
Şekil 2.2: Çeliğin atmosferik korozyonu üzerine kromun etkisi	11
Şekil 2.3: 1000°C’ de 48 saat sonra çeşitli çeliklerin oksidasyon kayıpları	11
Şekil 2.4: Çeliğin sürünme sınırının sıcaklıkla değişimi	12
Şekil 2.5: Fe-Cr ikili faz diyagramında çeşitli karbon içerikleri	13
için bölgelerin durumu	13
Şekil 2.6: Nikel miktarının %8 olması halinde kromun yapıya etkisi	14
Şekil 2.7: Fe + %18 Cr + %4 Ni içeren alaşımın ikili gibi diyagramı.....	15
Şekil 2.8: Fe + %18 Cr + %4 Ni içeren alaşımın ikili gibi diyagramı	15
Şekil 2.9: Belirli paslanmaz çeliklerde soğuk şekil vermenin çekme dayanımı üzerine etkisi.....	33
Şekil 3.1: Metalik korozyonun şematik gösterimi	51
Şekil 3.2: Pasifleşmeyen bir metalde korozyon hızının çözeltinin elektrot potansiyeline bağlı olarak yarı logaritmik değişimi	52
Şekil 3.3: Pasifleşebilen bir metalde korozyon hızının çözeltinin elektrot potansiyeline bağlı olarak yarı logaritmik değişimi	53
Şekil 3.4: Potansiyel-Akım yoğunluğu değişimi	56
Şekil 4.1: Ostenitik krom - nikelli paslanmaz çeliklerde tane sınırlarında kromkarbür çökmesine bağlı olarak krom azalması	61
Şekil 5.1: Deney malzemesine uygulanan yağda su verme ısıl çevrimi.	73
Şekil 5.2: Darbe deneyi numunesi boyutları(TS EN 10045-1).	77
Şekil 5.3: Charpy çentik darbe deney cihazının şematik resmi.....	78
Şekil 6.1: 3M HCl çözeltisi içerisindeki G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin korozyon hızının zamanla değişimi	79
Şekil 6.2: 3M H ₂ SO ₄ çözeltisi içerisindeki G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin korozyon hızının zamanla değişimi	80
Şekil 6.3: %50 3M H ₂ SO ₄ + % 50 3M HCl karışım çözeltisi içerisindeki G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin korozyon hızının zamanla değişimi	81
Şekil 6.4: Farklı asidik çözeltiler içerisindeki G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin korozyon hızının zamanla değişimi	82
Şekil 6.5: G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin 0.1 M HCl çözeltisi içerisindeki potansiyodinamik polarizasyon eğrisi.....	83
Şekil 6.6: G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin 1M HCl çözeltisi içerisindeki potansiyodinamik polarizasyon eğrisi.....	84
Şekil 6.7: G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin 2M HCl çözeltisi içerisindeki potansiyodinamik polarizasyon eğrisi.....	85
Şekil 6.8: G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin 3M HCl çözeltisi içerisindeki potansiyodinamik polarizasyon eğrisi.....	86
Şekil 6.9: G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin 0.1M H ₂ SO ₄ çözeltisi içerisindeki potansiyodinamik polarizasyon eğrisi.....	87

Şekil 6.10: G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin 1M H ₂ SO ₄ çözeltisi içerisindeki potansiyodinamik polarizasyon eğrisi	88
Şekil 6.11: G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin 2M H ₂ SO ₄ çözeltisi içerisindeki potansiyodinamik polarizasyon eğrisi	89
Şekil 6.12: G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin 3M H ₂ SO ₄ çözeltisi içerisindeki potansiyodinamik polarizasyon eğrisi	90
Şekil 6.13: G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin %50 0.1M H ₂ SO ₄ + %50 0.1M HCl karışım çözeltisi içerisindeki potansiyodinamik polarizasyon eğrisi	91
Şekil 6.14: G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin %50 1M H ₂ SO ₄ + %50 1M HCl karışım çözeltisi içerisindeki potansiyodinamik polarizasyon eğrisi...	92
Şekil 6.15: G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin %50 2M H ₂ SO ₄ + %50 2M HCl karışım çözeltisi içerisindeki potansiyodinamik polarizasyon eğrisi...	93
Şekil 6.16: G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin %50 3M H ₂ SO ₄ + %50 3M HCl karışım çözeltisi içerisindeki potansiyodinamik polarizasyon eğrisi...	94
Şekil 6.17: G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin farklı derişimlerdeki (0.1M, 1M, 2M, 3M) HCl çözeltileri içerisindeki potansiyodinamik polarizasyon eğrileri	95
Şekil 6.18: G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin farklı derişimlerdeki (0.1M, 1M, 2M, 3M) H ₂ SO ₄ çözeltileri içerisindeki potansiyodinamik polarizasyon eğrileri	96
Şekil 6.19: G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin farklı derişimlerdeki (0.1M, 1M, 2M, 3M) %50 HCl ve %50 H ₂ SO ₄ karışım çözeltileri içerisinde elde edilen potansiyodinamik polarizasyon eğrileri	97
Şekil 6.20: Korozyona maruz kalmayan G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin SEM filmi.	101
Şekil 6.21: 3M HCl çözeltisine 120 gün süreyle maruz kalan G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin SEM filmi.	102
Şekil 6.22: 3M H ₂ SO ₄ çözeltisine 120 gün süreyle maruz kalan G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin SEM filmi.	103
Şekil 6.23: %50 3M H ₂ SO ₄ + %50 3M HCl karışımı çözeltisine 120 gün süreyle maruz kalan G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin SEM filmi	104
Şekil 6.24: G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin 3M HCl çözeltisi içinde günlere göre genel fotoğrafı.....	105
Şekil 6.24 (devamı): G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin 3M HCl çözeltisi içinde günlere göre genel fotoğrafı.....	106
Şekil 6.25: G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin 3M H ₂ SO ₄ çözeltisi içinde günlere göre genel fotoğrafı	107
Şekil 6.25 (devamı): G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin 3M H ₂ SO ₄ çözeltisi içinde günlere göre genel fotoğrafı	108
Şekil 6.26: G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin %50 3M HCl + %50 3M H ₂ SO ₄ karışım çözeltisi içinde günlere göre genel fotoğrafı.	109
Şekil 6.26 (devamı): G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin %50 3M HCl + %50 3M H ₂ SO ₄ karışım çözeltisi içinde günlere göre genel fotoğrafı.....	110
Şekil 6.27: G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğinin farklı çözeltiler içinde sertlik değerlerinin (R _B) zamana göre değişim grafiği	112
Şekil 6.28: 50 gün süreyle 3M HCl ve 3M H ₂ SO ₄ asit çözeltisine maruz kalan çentik darbe deneyi örneklerine ait fotoğraflar.....	114

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1.1: Paslanmaz çelik gruplarının avantaj ve dezavantajlar açısından karşılaştırılması.....	4
Tablo 2.1: Paslanmaz çelik ürünlerinin kullanım oranlarına göre uygulama alanları..	8
Tablo 2.2: Martenzitik paslanmaz çeliklerin bileşimleri .	23
Tablo 2.3: Martenzitik paslanmaz çeliklerin nominal mekanik özellikleri	25
Tablo 2.4: Ferritik paslanmaz çeliklerin bileşimleri	26
Tablo 2.5: Ferritik paslanmaz çeliklerin nominal mekanik özellikleri	27
Tablo 2.6: Ostenitik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri .	30
Tablo 2.7: Ostenitik paslanmaz çeliklere katılan alaşım elementlerinin yapıya ve çeliğin özelliklerine etkisi .	31
Tablo 2.8: Ostenitik paslanmaz çeliklerin nominal mekanik özellikleri .	32
Tablo 2.9. Süper-ostenitik paslanmaz çelikler ve kimyasal bileşimleri	35
Tablo 2.10: Dupleks paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri	38
Tablo 2.11: Dupleks paslanmaz çelikler için hesaplanan PRE değerleri	39
Tablo 2.12: Çökelme sertleşmeli paslanmaz çelikler ve kimyasal bileşimleri	42
Tablo 4.1: Değişen karbon içeriğine bağlı olarak kuluçka süreleri ve kritik sıcaklık değerleri.....	62
Tablo 4.2: Sık rastlanan galvanik çiftler ve bu çiftlerdeki korozyona uğrayan metaller.....	64
Tablo 4.3: Paslanmaz çeliğe katılan alaşım elementlerinin oyuklaşma korozyonuna direnç üzerine etkileri	65
Tablo 5.1: Deneysel malzemesinin standartlardaki bileşimi.....	72
Tablo 5.2: Deneysel malzemesinin kimyasal analiz sonuçları.....	72
Tablo 6.1: G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin farklı derişimlerdeki (0.1M, 1M, 2M, 3M) asidik çözeltiler (HCl, H ₂ SO ₄ , %50 HCl + %50 H ₂ SO ₄) içindeki polarizasyon ölçümleri sonucunda elde edilen elektrokimyasal parametreler	99
Tablo 6.2: G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin çentik darbe tokluğunun farklı asidik çözeltiler içinde günlere göre değişimi	113

SEMBOLLER

α	: Alfa ferrit
δ	: Delta ferrit
γ	: Ostenit fazı
σ	: Sigma fazı
E	: Potansiyel
i	: Akım yoğunluğu
V	: Volt
M	: Moleküler kütle, (kg/mol)
Fe	: Demir
Cr	: Krom
C	: Karbon
Ni	: Nikel
Mo	: Molibden
Mn	: Manganez
Cu	: Bakır
Ti	: Titanyum
Pd	: Paladyum
Al	: Alüminyum
V	: Vanadyum
W	: Volfram (Tungsten)
Nb	: Niyobyum
N	: Azot
P	: Fosfor
S	: Kükürt
Se	: Selenyum
NH ₃	: Amonyak
HCl	: Hidroklorik asit
H ₂ SO ₄	: Sülfürik asit
HNO ₃	: Nitrik asit
MgCl ₂	: Magnezyum klorür
ClO ₂	: Klor dioksit
μ A	: Mikro amper
MPa	: Mega Pascal
mdd	: Korozyon hızı
HB	: Brinel Sertliği
HRC	: Rockwell C
HRB	: Rockwell B

Kısaltmalar

AOD	: Argon-oksijen dekarbürizasyonu
HMK	: Hacim Merkezli Kübik
YMK	: Yüzey Merkezli Kübik
PRE	: Malzemenin oyuklaşma korozyonuna karşı gösterdiği direnç (Pitting Resistance Equivalent)
EU	: Avrupa Birliği (European Union)
TEM	: Transmisyon Elektron Mikroskopu (Transmission Electron Microscope)
SCE	: Doymun Kalomel Elektrot (Saturated Calomel Electrot)
AISI	: Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü (American Iron and Steel Institute)
UNS	: Birleştirilmiş numaralama sistemi (Unified Number System)
ASTM	: Amerikan Malzeme Muayene Kurumu (American Society for Testing and Materials)
TS	: Türk Standardı
DIN	: Alman Endüstri Normu (Deutsche Industry Norm)
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskopu (Scanning Electron Microscope)

G-X 10 CrNiMoNb 18-10 OSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİĞİN ASİDİK ÇÖZELTİLERDEKİ KOROZYON ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Mümin SONCU

Anahtar Kelimeler: Ostenitik Paslanmaz Çelikler, Korozyon, Asidik Çözeltiler.

Özet: G-X 10 CrNiMoNb 18-10 ostenitik paslanmaz çeliğin farklı derişimlerde (0.1M, 1M, 2M, 3M) HCl, H₂SO₄ ve %50 H₂SO₄ + %50 HCl olmak üzere asit içeren çözeltilerdeki korozyon davranışları, potansiyodinamik polarizasyon eğrileri ve kütle kaybı yöntemiyle incelenmiştir. Ayrıca, asidik çözeltilerde belli sürelerde bırakılan G-X 10 CrNiMoNb 18-10 ostenitik paslanmaz çeliğin elementel analiz ve sertlik ölçümleri yapılmış ve aynı zamanda yüzey analizi SEM resimleri ve dijital fotoğraf çekimleri ile incelenmiştir.

Polarizasyon eğrilerinden, G-X 10 CrNiMoNb 18-10 ostenitik paslanmaz çeliğin HCl çözeltilerindeki eğrilerinde pasifleşme gözlenmemiştir. Metalin korozyon hızı HCl derişimi arttıkça artmıştır. H₂SO₄ ve %50 H₂SO₄ + %50 HCl asit karışımı çözeltilerinde pasifleşme gözlenmiştir. Pasifleşmenin gözlendiği çözeltilerde asit derişimi arttıkça tam pasifleşme akım yoğunluğu artmıştır. Buna göre G-X 10 CrNiMoNb 18-10 ostenitik paslanmaz çeliğin korozyon hızındaki en fazla artış HCl çözeltisinde olup, bunu H₂SO₄ ve H₂SO₄ + HCl karışım çözeltileri takip etmektedir.

Kütle kaybı sonuçları potansiyodinamik polarizasyon sonuçlarını desteklemektedir. SEM analizinde ve fotoğraf çekimlerinde çelik yüzeyinde çukur korozyonu olduğu belirlenmiştir.

Elementel analiz sonuçlarına göre, Cr miktarında azalma kaydedilmiştir. Bu da çukur korozyonunun tane sınırlarında tercihli olarak meydana geldiğini göstermektedir.

Sertlik deneyi sonuçlarına göre asit karışımındaki çeliğin diğerlerine göre daha sert yani daha az korozyona uğradığı belirlenmiştir.

INVESTIGATION OF CORROSION BEHAVIOR OF G-X 10CrNiMoNb 18-10 AUSTENITIC STAINLESS STEEL IN ACIDIC SOLUTIONS

Mümin SONCU

Keywords: Austenitic stainless steels, Corrosion, Acidic Solutions.

Abstract: Corrosion behavior of G-X 10 CrNiMoNb 18-10 austenitic stainless steel in the different acidic solutions (HCl, H₂SO₄ and %50 H₂SO₄ and %50 HCl) which has different concentration (0.1M, 1M, 2M, 3M) has been investigated by potentiodynamic polarization curves and weight loss test. Furthermore, austenitic stainless steels which exposed to acidic solutions hardness test and elemental analyse is done and also surface analyse was investigated by SEM analyse and digital photos.

Polarization curves of G-X 10 CrNiMoNb 18-10 austenitic stainless steel in 0.1M HCl solutions wasn't observed passivation. Corrosion rate of metal increases while HCl concentration increases. Polarization curves of austenitic stainless steel in H₂SO₄ and mixed acidic solutions was observed passivation. The Solutions in which passivity was observed full passivation current density increases while acid concentration increases. So this result show that, increase at the corrosion rate of G-X 10 CrNiMoNb 18-10 austenitic stainless steel is much greater in the HCl solutions. H₂SO₄ and mixed acidic solutions follow HCl respectively.

The results of weight loss tests support the results of potentiodynamic polarization. The exist of pitting corrosion on the surface of steel was determined through SEM analys and digital photos.

As the results of elemental analys, decrease of amount of Cr was recorded. So this shows that pitting corrosion occur as preferential on the grain boundry.

As the results of hardness tests, G-X 10 CrNiMoNb 18-10 austenitic stainless steel is much harder in the mixed acidic solutions, so this means that, in the mixed acidic solutions is exposed to corrosion less than the other solutions.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Mekanik özellikler bakımından diğer çeliklerden pek farklılık göstermeyen paslanmaz çeliklerin yüksek maliyetlerine karşın uygulamada çok yaygın olarak kullanılmalarının ana nedeni yüksek korozyon dayanımlarına sahip olmalarıdır. Bütün paslanmaz çelikler demir esaslı alaşımlardır ve pasifleşme özelliği gösterirler. Bunu ifade etmek için İngilizce’de lekesiz anlamına gelen “stainless” kelimesi kullanılmıştır. Bu etkiyi sağlayan esas alaşım elementi kromdur. Paslanmaz çeliğin paslanmazlık özelliğine sahip olabilmesi için en az % 10.5 krom içermesi gerekmektedir. Elektrokimyasal gerilim serisine bakıldığında krom, demirden daha az asal bir metaldir. Çeliğin içerisindeki kromun koruyucu etkisi, krom ile oksijen arasındaki afiniteden ileri gelmektedir. Krom içeren çelikler bir krom oksit tabakası ile örtülü olmadıkları sürece korozyona ve özellikle oksidasyona karşı çok hassastırlar. Bu takdirde bunlara aktif denir; buna karşılık bu tabaka oluşma imkânı bulunduğu alt tabaka metalini korozif ortamlara karşı korur, dolayısıyla da çelikler pasif olurlar [1-3].

Yeraltı zenginliklerinin önemli bölümünü oluşturan metaller elde edilişleri sırasında pek çok işlemde geçirirler. Metaller çevreleriyle etkileşim içerisinde girerek eski hallerine dönme eğilimi gösterirler. Bu bozunma sürecine korozyon denir. Korozyon sonucu metalin mekanik direncini yitirmesi özellikle işletmelerde büyük sorunlara yol açmakta ve ekonomik bakımdan büyük zararlara sebep olmaktadır [4].

1900’ lü yıllardan günümüze kadar araştırma konusu olan paslanmaz çeliklerin 200’ e yakın türü çeşitli amaçlar için endüstride yaygın kullanım alanı bulmuştur. Günümüz endüstrisinde yüksek sıcaklıkta servis koşullarında korozyona direnç ve uygun mekanik özellikler bakımından, kimya, gıda, gemi ve denizaltılarda, otomotiv, mutfak ve ev eşyalarında, uzay, hava taşıtlarında, tıp ve mimari dekorasyon işlerinde sıklıkla kullanılır. Bu durumda paslanmaz çelik kullanımında seçimin büyük önemi

vardır. Paslanmaz çelik seçimi için verilen önerilere dikkat edilmelidir. Kullanıcıların belirlemesi gereken şey, çalışma şartlarının neler olduğunun tam olarak bilinmesidir. Hem maliyet hem de en doğru kullanım için bu şarttır. Ancak şartların belirlenmesi ve uygun malzemenin seçilmesi çok kolay değildir [3,5]. Optimum seçimi yapmak, uygulamada istenen performansı gösterecek minimum fiyatlı çeliği seçmektir. Paslanmaz çelik seçiminde özel uygulamalar için dikkat edilecek karakteristikler aşağıda verilmiştir [5]:

1. Korozyon direnci
2. Oksitlenme direnci
3. İşletme sıcaklıklarında süneklik ve dayanım
4. İşleme tekniğine uygunluk
5. Çalışma koşullarındaki özelliklere uygunluk
6. Yüzey temizleme tekniklerine uygunluk
7. Tokluk
8. Aşınma direnci
9. Yüzey parlaklığı
10. Magnetik özellikler
11. Isı iletkenliği
12. Elektrik direnci
13. Rijitlik
14. Boyutsal uygunluk

Paslanmaz çeliklerin gerek günlük yaşantımızda gerekse sanayinin her alanında tercih edilmelerine sebep olan başlıca avantajları şunlardır [6].

- Mükemmel genel korozyon ve oksitlenme direnci,
- Geniş mekanik özellikler aralığı,
- Ostenitik olanların düşük sıcaklıklarda dahi mükemmel süneklik ve tokluğa sahip olmaları,
- Yüksek sıcaklık uygulamaları için, yüksek sürünme dayanımları,
- Estetik açıdan göz alıcı görünüme sahip olmaları,

- Çeşitli çalışma ortamlarına ve üretim yöntemlerine uygun özellikler göstermeleri.

Paslanmaz çeliklerin başlıca dezavantajları ise şunlardır [6]:

- Bazı ortamlarda, uygun tipte paslanmaz çelik seçilmemesi nedeniyle yerel korozyon eğilimleri,
- Ostenitik paslanmaz çeliklerin akma sınırının düşük olması, tasarım ve çelik seçimini güçleştirir,
- Ostenitik paslanmaz çeliklerin ısı genleşme katsayısının büyük olması ve düşük ısı iletkenlik çarpılma problemlerini büyütür,
- Yüksek dayanımları, yüksek dövme basınçları gerektirir,
- Kaynak işlemlerinde, yerel kusurlar, gevrekleşme ve korozyondan sakınmak için çelik bileşimine, kaynak prosedürüne ve ısı işleme dikkat edilmelidir,
- Yüksek malzeme maliyeti,
- Hammadde bulma zorluğu

Tablo 1.1' de paslanmaz çelik gruplarının avantaj ve dezavantajlar açısından karşılaştırılması toplu olarak verilmiştir [6].

Çelik Tipi	Bileşim	Mekanik Özellikler	Fiziksel Özellikler	Avantajlar	Dezavantajlar	Uygulamalar
Ostenitik	15-27 % Cr 8-35% Ni 0-6 Mo, Cu, N (Mn ve/veya N,Ni yerini alabilir)	Çekme dayanımı: 490-860 MPa Akma Sınırı: 205-575 Mpa 50mm'de Uzama: 30-60 %	- Isıl işlem uygulanamaz - Manyetik değil	- Düşük sıcaklıkta iyi süneklik - İyi genel korozyon direnci - Yüksek sürtünme dayanımı - İyi kaynak kabiliyeti - Yüksek tokluk	- Yüksek maliyet - Sınırlı dayanım - Yerel korozyon eğilimi	- Genel uygulamalarda geniş kullanım alanı bulur
Ferritik	11-30 % Cr 0-4 % Ni 0-4 % Mo	Çekme dayanımı: 415-650 MPa Akma Sınırı: 275-550 Mpa 50mm'de Uzama: 10-25 %	- Isıl işlem uygulanamaz - Manyetik	- Çok yüksek olmayan maliyet - Gerilmeli korozyon çatlamaına karşı direnç	- Sınırlı dayanım - Tane büyümesi eğilimi	- Gerilmeli korozyon ve genel korozyona iyi direnç gerektiren parçalar - Deniz uygulaması
Martenzitik	11-18 %Cr 0-6 %Ni 0-2 %Mo	Çekme dayanımı: 480-1000 MPa Akma Sınırı: 272-860 Mpa 50mm'de Uzama: 14-30 %	- Isıl işlem ile sertleştirilebilir	- Makul maliyet - Yüksek sertlik ve dayanım	- Sınırlı korozyon direnci - Sınırlı kaynak kabiliyeti	- Yüksek dayanımlı parçalar - Pompalar, valfler ve kâğıt makinaları
Dubleks	18-27% Cr 4-7 % Ni 2-4 % Mo, Cu, N	Çekme dayanımı: 680-900 MPa Akma Sınırı: 410-900 Mpa 50mm'de Uzama: 10-48 %	- Isıl işlem uygulanamaz	- Ostenitik çeliklerden daha iyi mekanik özellikler - Korozyon direnci	- σ fazı oluşması nedeniyle 475°C sıcaklığa hassasiyet	- Doğalgaz tesislerinde - Kimya endüstrisinde - Isı değiştirgeçleri
Çökelme Sertleşmesi Uygulanabilir	12-28 % Cr 4-7 % Ni 1-5 % Mo, Al, Ti, Co	Çekme dayanımı: 895-1100 MPa Akma Sınırı: 276-1100 Mpa 50mm'de Uzama: 10-35 %	- Isıl işlem ile sertleştirilebilir	Çok yüksek dayanım ve korozyon direnci	- Karmaşık ısıl işlem gerektirir.	- Çok yüksek dayanım ve korozyon direnci gerektiren parçalar

Tablo 1.1 : Paslanmaz çelik gruplarının avantajı ve dezavantajlar açısından karşılaştırılması[6].

Paslanmaz çeliklerin doğuşu demir ile başlayan demir esaslı alaşımların gelişimine dayanır. Haddeme teknolojisinin geliştirilmesiyle çeliğin kitle halinde üretimine başlanmıştır. Daha önceleri başarılı araştırmalar yapılmasına rağmen ancak 19.yy ortalarında kromlu çeliklerin paslanmaz özellikte oldukları anlaşılmıştır. Metalurjik özellikleri incelemek için 1920 yıllarında X ışınları difraksiyon metotları kullanılmaya başlanarak, çeliklerde krom ve karbon miktarının mekanik özelliklere olan etkileri incelenmiştir [7].

Hadfield, 1892 yılında %17 Cr ve %1 karbonlu çelikleri üretmiştir. Hadfield bu çelikleri sülfürik asitle incelediği için hata yapmıştır. Çünkü ferritik çeliklerin sülfürik aside dirençleri iyi değildir. Bu nedenle Hadfield kromun korozyon dayanımını düşürdüğü fikrine vardı. 1900–1915 yılları arası, metalurjik keşifler bakımından çok hareketlidir. Karbonun demirin özelliklerine olan etkisi sistemli bir şekilde incelenerek belirlenen prensipler endüstride uygulandı [7].

Paslanmaz çelik teknolojisinin özgün buluşları ve gelişmeleri yaklaşık 1910 yıllarında İngiltere ve Almanya’ da başlamıştır. A.B.D. de paslanmaz çeliklerin ticari üretim ve kullanımı, ilk üreticiler olan Allegheny, Armco, Carpenter, Crucible, U.S. Steel ve Jessop gibi isimlerle 1920’ lerde başlamıştır [7].

A.B.D.’ de, 1920’ lerin ortalarına kadar, yalnızca mütevazı tonajlarda paslanmaz çelik üretimi yapıldı. O zamandan beri yıllık üretimin durmadan yükselmesine karşın, bu tonaj çelik endüstrisi için toplam üretimin yaklaşık %1.5’ ini asla geçmemiştir. Fransa, İtalya, Japonya, İsveç ve Kuzey Almanya da önemli paslanmaz çelik üreticileridir [5].

1945’ te U.S. Steel tarafından çökeltme sertleştirmeli paslanmaz çeliklerin gelişimi gerçekleştirilmiştir. Bundan sonra Armco, Allegheny-Ludlum ve Carpenter Technology çökeltme sertleştirmeli alaşımların serilerini geliştirmişlerdir [5].

Paslanmaz çeliklerin ana tipleri Fransa ve İngiltere’ de geliştirildi. Monartz Almanya’ da paslanmaz çeliklerin korozyon mukavemetlerinin, kritik krom miktarı, karbonun rolü, pasiflik, molibdenin etkisi ile arttırılabileceğini buldu [7].

Ostenitik gruptaki Cr-Ni paslanmaz çeliklerinde, nikel yerine manganez kullanılmıştır. İkinci Dünya Savaşı sıralarında nikel darlığı sebebiyle Avrupa’ da geliştirilen manganezli ostenitik çelikler hala standart olarak kullanılmaktadır. Etki bakımından manganez ile ostenitik paslanmaz çelikler oluşmaz. Bu nedenle bileşimde %5 kadar nikel de mevcuttur. Azot ostenitleştirme bakımından etkili bir element olduğundan dolayı manganez kullanılan paslanmaz çeliklerde, nikelin bir miktarı yerine aynı zamanda bir miktar azot görülebilir [5,7].

1970’ lerin başında yeni saflaştırma tekniklerinin geliştirilmesiyle paslanmaz çelik ergitilmesinde devrim yapılmıştır. Bunlardan en önemlileri Argon-Oksijen Dekarbürizasyonudur (AOD). Bu yöntemle önemli ölçüde krom curufla kaybedilmeden karbon giderilebilir. Ayrıca, %18 Cr alaşımlarında, fırın şarjlarında yüksek karbonlu ferrokromun yerine daha pahalı ve düşük karbonlu ferrokrom kullanıldığı zaman düşük C içerikleri kolayca elde edildiği gibi, ana alaşım elementleri de daha kesin bir şekilde kontrol edilebilmektedir. Azot oluşumunu maksatlı olarak katılan alaşım elementleri kolayca kontrol eder ve istendiğinde sülfür düşük seviyelere düşürülebilir. Aynı zamanda oksijen düşük seviyelere düşürülebilir ve bu seviyelerde oksijen az miktarda kükürtle de birleştiğinde, çelik temizliğinde belirgin iyileşmeler sağlar [5].

BÖLÜM 2. PASLANMAZ ÇELİKLER HAKKINDA BİLGİ

2.1. Genel

Paslanmaz çelikler, yapılarındaki kromun ve çevredeki oksijenin varlığı sayesinde, gözle görünmeyen kromca zengin ince bir oksit tabakası oluşturarak paslanmazlık karakteri kazanabilen demir esaslı alaşımlardır. Bu ince oksit tabakası, oksijen varlığında kendiliğinden oluşur ve korozyon direncini iyileştirir. Paslanmaz çelikler, nispeten yumuşak atmosferik koşullarda, korozyona direnç sağlamak için en az %10.5 Cr içerirler. Yapıda bulunan krom miktarı arttıkça pasif filmin kararlılığı ve çeliğin korozyon direnci de artar. Bazı paslanmaz çelikler %30' dan fazla Cr ya da %50' den az Fe içerirler. Belirli özellikleri geliştirmek için yapıya katılan diğer elementler Nikel (Ni), Molibden (Mo), Bakır (Cu), Titanyum (Ti), Alüminyum (Al), Silisyum (Si), Niyobyum (Nb), Azot (N), Kükürt (S) ve Selenyum (Se) içerir. Paslanmaz çeliklerin bünyesinde paslanmazlık özelliği veren ana alaşım elementlerinin yanı sıra diğer bazı gereksinimleri karşılamak üzere özellikle katılan veya kaçınılmaz olarak bulunan katışkılar ve karbon bulunmaktadır. Karbon (C) içeriği, normal olarak %0.03' den daha azdır fakat martenzitik paslanmaz çelikler için bu oran %1' in üzerindeki miktar aralıklarına kadar yükselir [5,8,9].

Paslanmaz çeliklerin geniş uygulama alanları vardır. Üretilen paslanmaz çeliklerin üçte birinden daha fazlası kimya ve güç mühendisliği endüstrilerinde kullanım alanı bulur. Bu uygulamalar, nükleer reaktör kanalları, ısı değiştirgeçleri, yağ endüstrisinde kullanılan boruları, kimyasal uygulama ve kâğıt endüstrisi bileşenleri, nükleer santrallerde kullanılan fırın ve kazan parçaları gibi çok değişik kullanım alanlarını içerir. Paslanmaz çelik ürünleri için ana uygulama alanları önem sırasına göre Tablo 2.1' de verilmiştir [8].

Tablo 2.1: Paslanmaz çelik ürünlerinin kullanım oranlarına göre uygulama alanları [8].

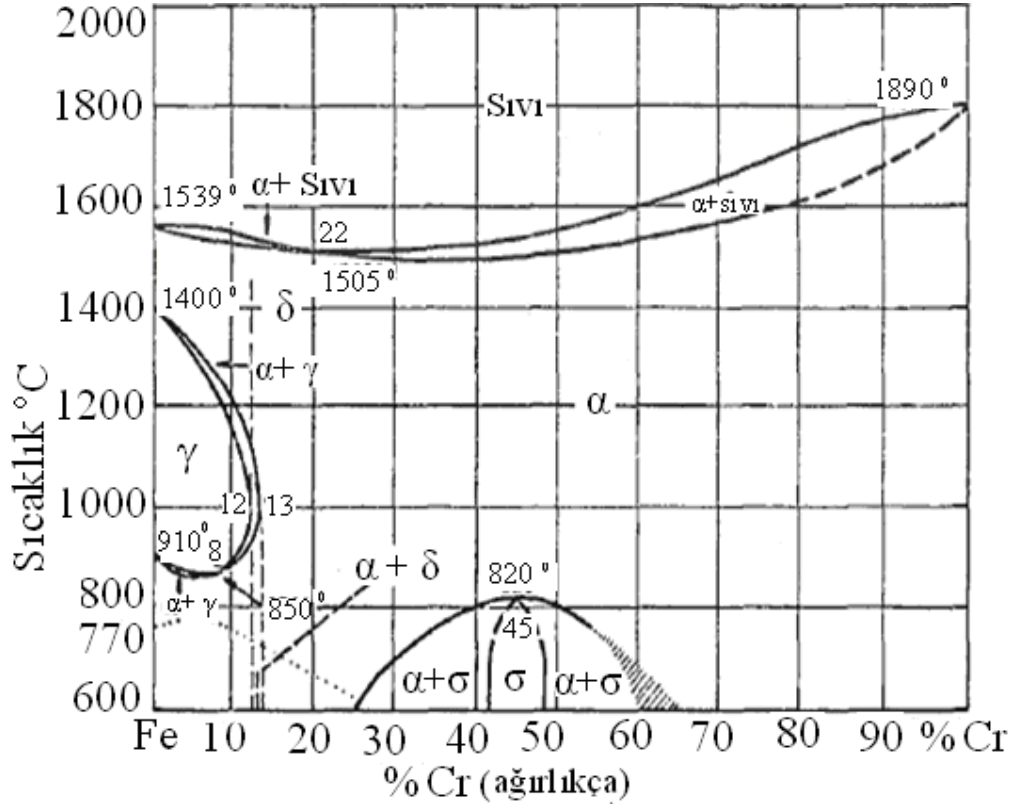
Uygulamalar		Yüzdeleri
Endüstriyel ekipmanlar	Kimya ve güç endüstrileri	34
	Yiyecek ve meşrubat endüstrisi	18
	Nakliye	9
	Mimari uygulamalar	5
Tüketici Malları	Ev aletleri	28
	Küçük elektronik cihazlar	6

Bu uygulama alanlarının bazıları ya yüksek sıcaklıklara ya da düşük sıcaklıklara maruz kalmayı içerir. Ostenitik paslanmaz çelikler her iki uygulama tipine de uygun sonuçlar verir [8].

Paslanmaz çeliklerde gözlenen fazları incelemek için Fe-Cr faz diyagramı Şekil 2.1' de verilmiştir. Saf demir 1400–1539°C arasında hacim merkezli kübik (HMK) sisteme sahip ferritten oluşan bir yapıya sahiptir. Yüksek sıcaklıklarda bu ferrit, genellikle delta ferrit olarak nitelendirilmektedir. 910–1400°C sıcaklıkları arasında ise yüzey merkezli kübik (YMK) yapıda ostenit mevcuttur. Ancak sıcaklığın 910°C' nin altına düşmesi ile yapı yine ferritiktir. Bu yapı α -ferrit olarak nitelendirilmektedir. α -ferrit fazı ile δ -ferrit fazını fiziksel olarak ayırmak mümkün değildir [10].

%16' dan daha fazla krom içeren ikili alaşımlarda ostenit fazı (γ) yoktur. Bu yüzden, bu alaşımlar demir olmayan metallerin oluşturdukları katı eriyiklere benzerler; örneğin, soğuma ile sertleşme, ısıtma işlemi ile tane küçülmesi göstermezler. Dolayısıyla, karbonsuz ikili Fe-Cr alaşımları tam çelik olarak değil ancak paslanmaz demir olarak adlandırılırlar. Paslanmaz çeliklerde önemli bir özellik olan sigma (σ) fazı, yüksek krom içeren ikili Fe-Cr alaşımlarının yapısında demir ve krom atomlarının birleşmesiyle oluşur. Bu faz metallerarası bileşik olup sert ve gevrek karakterdedir. Bu faz, paslanmaz çeliklerin korozyon dirençleri üzerinde zararlı etkilere sahip olduğu için paslanmaz çeliklerde krom oranı %35' in altında tutulur. Ayrıca sigma (σ) fazının oluşması için en uygun ortamı sağlayan sıcaklık aralığı olan 750–820°C aralığındaki sıcaklıklar sorun çıkarabilir. Paslanmaz çeliğin yapısında

bulunan karbon, nikel, silisyum, manganez, azot, molibden, titanyum ve niyobyum gibi diğer elementler de faz diyagramını çeşitli şekillerde etkilerler [3,11] (Şekil 2.1).



Şekil 2.1: İkili Fe–Cr faz diyagramı [11].

Şekil 2.1’ deki kesikli çizgi üçüncü bir transformasyon (Curie) noktasıdır. Bu sıcaklıkta kristal kafesinde herhangi bir değişim olmaz. Demir bu sıcaklıkta manyetikliğini kaybeder. YMK yapıdaki ostenitik yapının oda sıcaklığına kadar varlığını koruması halinde alaşım manyetik olmayacaktır. Ostenitik paslanmaz çeliklerde de durum bu şekildedir [10] (Şekil 2.1).

Paslanmaz çeliklerin bazılarında yegâne alaşım elementi kromdur fakat paslanmaz çeliklerin çoğu aynı zamanda belirli miktarda diğer alaşım elementlerinden de içerir. Bu ilavelerin amacı genel olarak çeliğin ve/veya yapının korozyon direncini geliştirmektir. Fakat bu alaşım elementleri aynı zamanda çeliğin dayanımını da arttırlar. Aşağıda paslanmaz çeliklere katılan alaşım elementlerinin yapıya ve özelliklere etkileri tek tek ele alınmıştır [12].

2.2. Alaşım Elementlerinin Etkisi

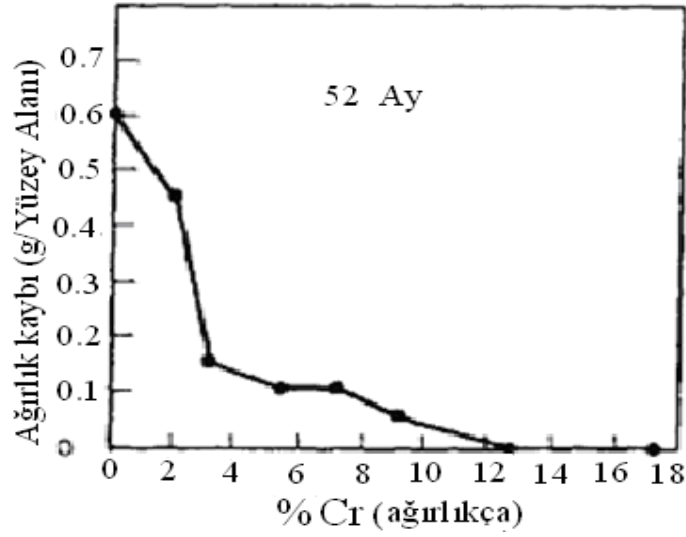
Alaşım elementlerinin ostenit alanına etkisi iki değişik grupta toplanabilir:

- Mn, Ni, C, Cu, N ostenit alanını genişleten elementlerdir. Bu eliklerin soğuk Şekil değiştirme özellikleri iyi olup snektirler. Isıl işlemlerle sertleştirilemezler ve manyetik değildirler.
- Cr, Si, Mo, V, Ti, W ve Al ostenit alanını daraltan elementlerdir. Bu elementlerin çoğu hacim merkezli kübik (HMK) kafes yapısına sahip olduklarından, bünyeye girdiklerinde de yapıyı hacim merkezli kübik (HMK) olmaya zorlayacaklardır. Őekillendirilmeyi zorlaştırır ve yapıyı gevrekleştirirler [10].

Paslanmaz elik yapısına katılan alaşım elementlerinin yapıya ve özelliklere etkileri aşağıda kısaca açıklanmıştır:

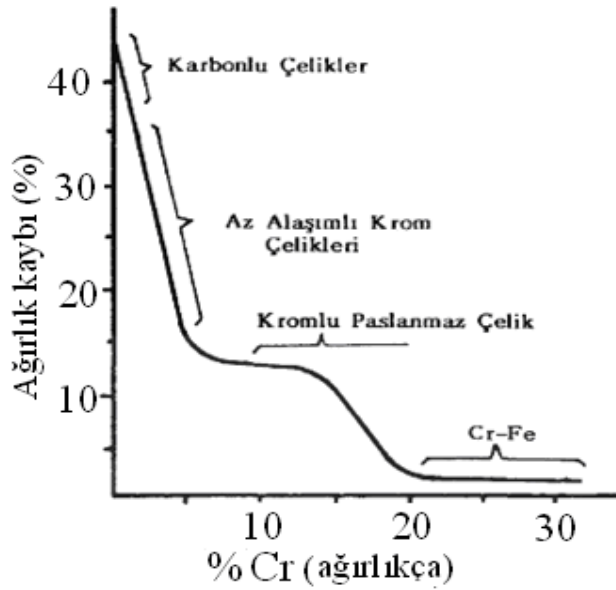
2.2.1. Krom (Cr)

Krom paslanmaz çeliklere paslanmazlık özelliği kazandıran pasif filmin oluşmasındaki ana elementtir. Diğer elementler pasif filmin korunmasında ya da oluşmasında kromun etkinliğine katkıda bulunabilir, fakat bu elementlerin hiçbiri paslanmazlık özelliğini tek başlarına kazandıramazlar. Krom eliği kuk taneli yapar, çeliğin kritik soğuma hızını azaltır ve bu nedenle çeliğe sertleştirici etkide bulunur [3,7,8] (Şekil 2.2).



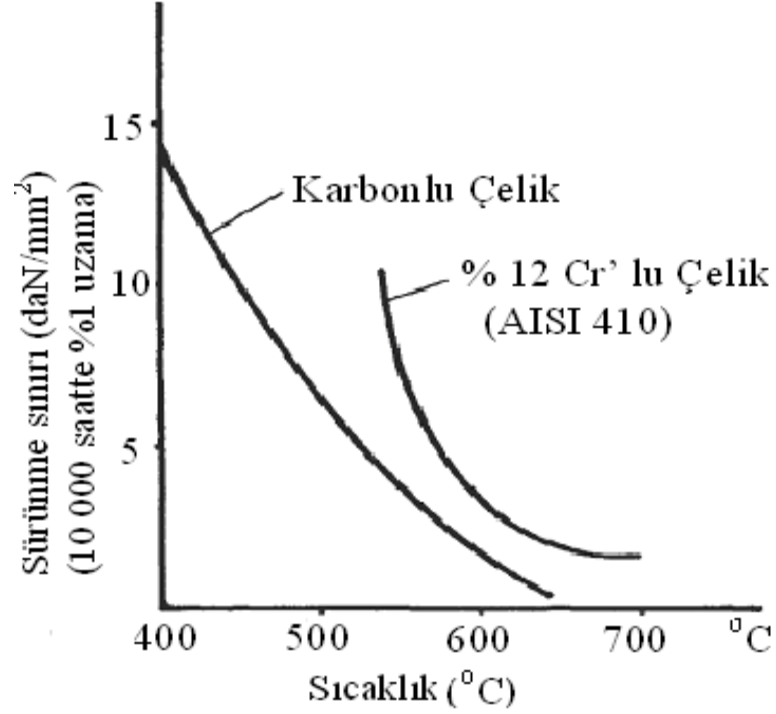
Şekil 2.2: Çeliğin atmosferik korozyonu üzerine kromun etkisi [3].

Paslanmaz çelikler, paslanmazlık özelliklerine sahip olabilmeleri için en az %10.5 Cr içermek zorundadırlar fakat bu bileşimde pasif film zayıftır ve ancak yumuşak atmosferlere karşı dayanım sağlar. Her atmosfer koşulunda güçlü bir pasif filmin oluşabilmesi için bu çeliklere en az %12 Cr katılmalıdır. Paslanmaz çeliklerin pasif film kararlılıkları ve korozyon dirençleri artan krom miktarına bağlı olarak artmaktadır [3,8].



Şekil 2.3: 1000°C' de 48 saat sonra çeşitli çeliklerin oksidasyon kayıpları [3].

Yapıda bulunan kromun, paslanmaz çeliğin mekanik özelliklerini yüksek sıcaklıklarda korumasına katkıda bulunması nedeniyle, bu tür çelikler, yüksek sıcaklıklarda oksidasyona ve sürünmeye dayanıklı malzemeler olarak da kullanılmaktadırlar [13,14] (Şekil 2.3, Şekil 2.4).

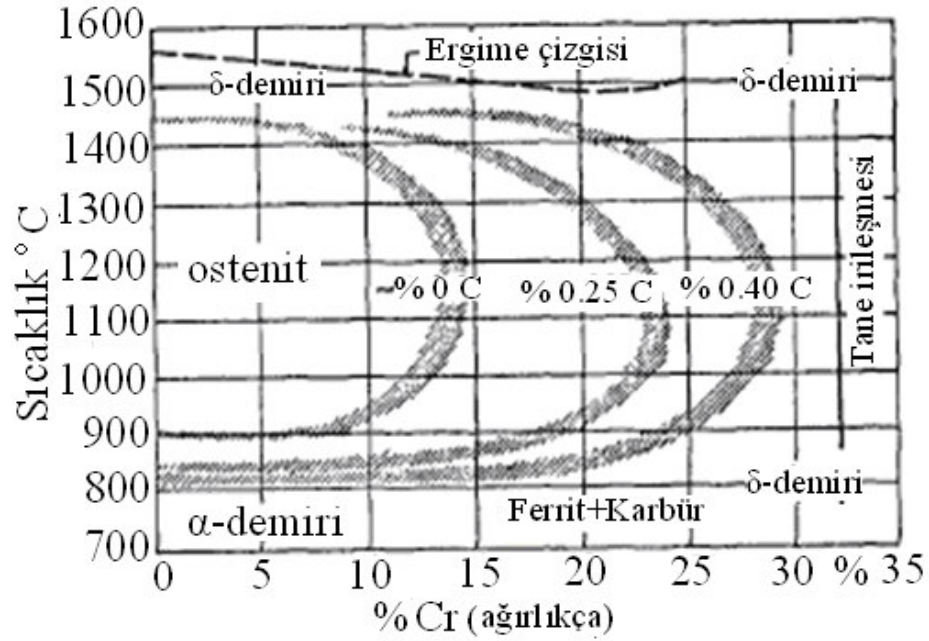


Şekil 2.4: Çeliğin sürünme sınırının sıcaklıkla değişimi [13].

Çelikte krom, ostenit alanını daraltmaktadır. Krom çekme dayanımını artırır. Yaklaşık olarak her %1' lik Cr artışı, dayanımı 8–10 kg/mm² artırır. Buna karşılık kopma uzamasında ve çentik darbe tokluğunda düşme meydana gelir [10].

2.2.2. Karbon (C)

Paslanmaz çeliğe katılan alaşım elementleri arasında Fe-Cr ikili faz diyagramına en önemli etkiyi kuvvetli bir ostenit yapıcı element olan karbon sağlar. Bileşimde bulunan karbon miktarına göre ostenit alanı sağa doğru daha yüksek krom değerlerine kayar ve %0.4 karbon miktarında %30 krom değerlerine kadar ulaşır. Karbonun bu etkisi Şekil 2.5' de açıkça görülmektedir [11].



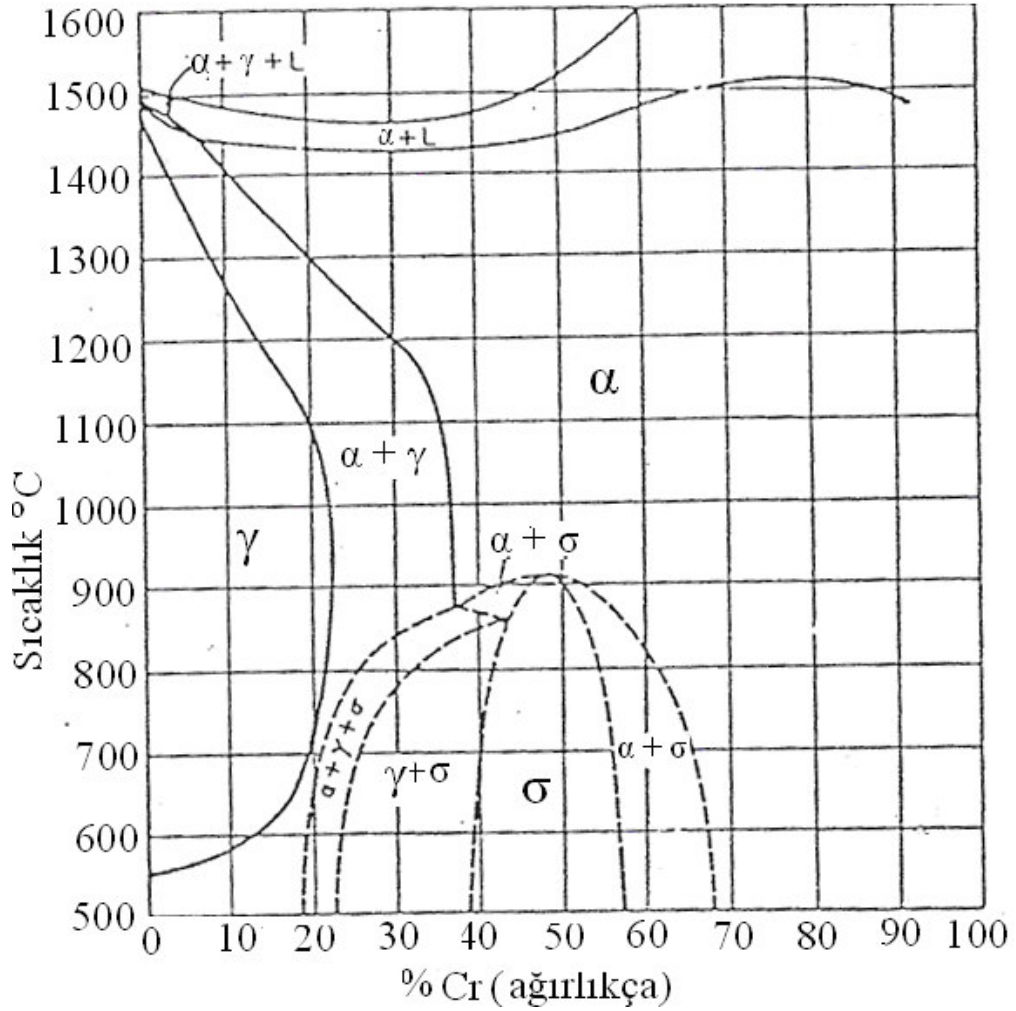
Şekil 2.5: Fe-Cr ikili faz diyagramında çeşitli karbon içerikleri için bölgelerin durumu [11].

Bu element, martenzitik paslanmaz çeliklerin temelini oluşturan ısıl işlem sonucu sertleşmeye izin vermesinden ve paslanmaz çeliklere yüksek sıcaklıklarda dayanım sağlamasından dolayı paslanmaz çeliklerde yaygın olarak kullanılır. Fakat karbon diğer uygulamaların hepsinde krom ile reaksiyona girmesinden dolayı korozyon direncini azaltır. Bu element aynı zamanda ferritik çeliklerde tokluğu önemli miktarda düşürür [8].

2.2.3. Nikel (Ni)

Nikel kromun tersine ostenit alanını genişletir. Yeterli miktarlarda nikel, ostenitik yapıyı dengeler. Bu sayede mekanik ve üretim özellikleri oldukça gelişir. Yapıda bulunduğu, çekme dayanımını artırır ve buna karşın özgül uzamayı biraz düşürür. Kromlu paslanmaz çelikler ile kıyaslandığında, bu etki mekanik özelliklerde önemli değişikliklere, daha iyi işlenebilirliğe ve sertliğe, daha iyi yüksek sıcaklık dayanımına, gelişmiş kaynak kabiliyetine ve aynı zamanda da fiziksel özelliklerin değişmesine neden olur. Örneğin, çelik manyetikliğini kaybeder. Fakat nikelin çeliğe katılmasının esas amacı korozyon dayanımını arttırmak içindir [8,10,12,15].

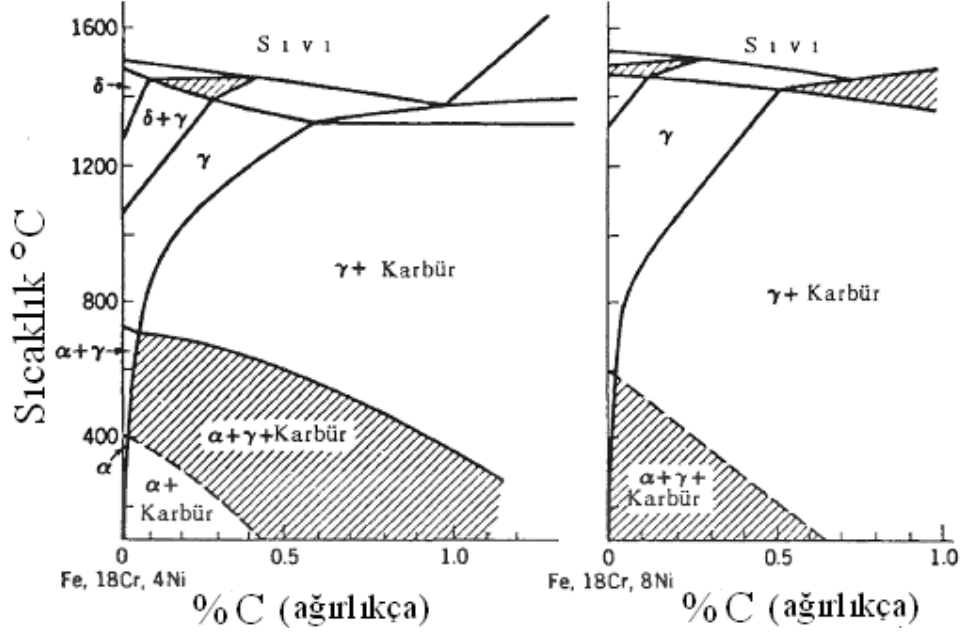
Bileşimdeki nikel miktarının %8 olması halinde kromun yapıya etkisi Şekil 2.6' da verilmiştir. Bu durumda ostenit alanı yaklaşık olarak %22 krom noktasına kadar uzanırken bu alanı sınırlayan sıcaklık 550°C civarına düşmektedir. Nikel miktarının arttırılması veya diğer ostenit yapıcı elementlerin ilave edilmesi halinde ostenit alanı daha yüksek Cr miktarı ve daha düşük sıcaklıkların belirlediği noktalara doğru genişlemektedir [10].



Şekil 2.6: Nikel miktarının %8 olması halinde kromun yapıya etkisi [10].

YMK yapıya sahip nikelin paslanmaz çeliklere ilave edilmesi A_3 sıcaklığını düşürür ve YMK yapıya sahip ostenit oluşturur. %30 ve daha fazla miktarlarda nikel içeren Fe-Ni alaşımları bütün sıcaklıklarda ostenitiktirler. Şekil 2.7 ve Şekil 2.8' deki diyagramlarda Fe-Cr ikili alaşımlarında artan nikelin etkisi görülmektedir. Bu

diyagramlar (Fe+ %18 Cr + %4 Ni)-C ve (Fe+ %18 Cr + %8 Ni)-C alaşımlarının ikili gibi diyagramlarıdır [3] (Şekil 2.7, Şekil 2.8).



Şekil 2.7: Fe + %18 Cr + %4 Ni içeren alaşımın ikili gibi diyagramı [3].

Şekil 2.8: Fe + %18 Cr + %8 Ni içeren alaşımın ikili gibi diyagramı [3].

Sıfırın altındaki sıcaklıklarda tokluk özelliklerini iyileştirmek için en iyi alaşım elementi niktir. Ostenitik çelikler mutlak sıfıra yakın sıcaklıklarda bile tokurlar. Tokluk özelliği ferritik çeliklerde sıcaklığın düşmesi ile düşer. Fakat ostenitik çeliklerde bu görülmez. Ostenitik paslanmaz çelikler düşük sıcaklıklarda dahi tokluk özelliklerini korurlar [10].

Nikel özellikle indirgeyici ortamlarda yeniden pasifleşmenin gelişmesinde etkilidir. Ayrıca, mineral asitler içinde korozyona direnç sağlar. Nikel içeriğinin %8-10' a kadar artması ile gerilmeli korozyon çatlama karşı direnç azalır, fakat daha da artması ile gerilmeli korozyon çatlama karşı olan direnç artmaya başlar. Uygulama ortamlarının çoğunda gerilmeli korozyon çatlama karşı direnç yaklaşık %30 nikel içeriğinde sağlanmıştır. Yeni geliştirilen ferritik çeliklerde nikel miktarı ferrit fazının kararlılığını bozmayacak kadar az olup bu çeliklerde nikel akma sınırını, tokluğu ve indirgeyici asitlere dayanımı artırır fakat derişik magnezyum klorür ($MgCl_2$)

çözeltisi içindeki ferritik paslanmaz çelikleri gerilmeli korozyon çatlağına (SCC) karşı hassaslaştırır [8,5,15].

2.2.4. Manganez (Mn)

Bu element nikelin sağladığı dayanım fonksiyonlarının çoğunu gerçekleştirilebilirse de tamamen nikelin yerini alamaz. Bazı ender uygulamalardaki çelikler çok yüksek oranda manganez içerir ve aşınmaya direnç gibi faydalı mekanik özelliklere sahiptir. Manganez, paslanmaz çeliklerde mangan sülfürleri oluşturmak için sülfür ile etkileşir. Bu sülfürlerin bileşimi ve morfolojisi özellikle oyuklaşmaya direnç olmak üzere korozyon direncini olumlu şekilde etkiler [8-15].

Ostenit yapıcı bir element olarak bilinmesine rağmen manganezin etkisi daha ziyade su verme sonucundaki ostenit faz kararlılığını artırma yönündedir. Martenzitik paslanmaz çeliklerde %1–2 manganez ilavesinin hiçbir etkisi yoktur. Manganez miktarı arttırıldığında, su verme sonucu oluşan kalıntı ostenit fazı miktarı artar. %10 manganez, maksimum ostenit fazı demektir. Fakat yapı tamamen ostenitik değildir. Manganez kritik su verme sıcaklığını düşürür. Normal olarak martenzitik bir yapıya sahip olan %13–14 kromlu çeliklere yeterince manganez ilavesi yapıldığında su verme sonucunda yapı tamamen ostenitiktir [10].

%0.30 karbon, %17 krom bileşimindeki çelik 1200°C’ de ostenitiktir. Su verme işlemi sonucunda yapı martenzite dönüşür. %10 Mn ilavesi ile 1200°C’ deki ostenit fazı oda sıcaklığına kadar kararlılığını korur. %14–15 kromun üzerindeki bileşimlerde karbon %0.20’ nin altında olursa Mn ilavesi ne olursa olsun tamamen ostenitik bir yapı elde etmek imkânsızdır [10].

Manganezli ostenitik paslanmaz çelikler 500–800°C’ deki kısa süreli ısı işlemlerde tanelerarası korozyona karşı oldukça duyarlı hale gelir. Bu tip ostenitik paslanmaz çeliklerde, bileşimdeki krom miktarının %15’ i aşmaması şartı tehlikeyi daha da arttırır [10].

Nikelin aksine manganez, sigma fazı (σ) oluşumu için gerekli krom miktarını arttırmaz. %16' dan fazla krom içeren çelikler 600–800°C' de birkaç saat tutulduklarında istenmeyen bir faz olan sigma fazı (σ) çökmesi görülür. Manganezin diğer bir etkisi de paslanmaz çelikte azotun çözünürlüğünü arttırmasıdır [10].

2.2.5. Molibden (Mo)

Molibdenin ferrit dönüşümünü kolaylaştırması, ostenit dönüşümünü zorlaştırması nedeniyle ferrit yapıcı bir etkisi vardır ve genelde hem ferritik hem de ostenitik çeliklerin korozyon direncini artırır. Krom ile molibdenin bileşimi klorürlü ortamlarda pasif filmin kararlılığı açısından çok etkilidir [8,12].

Molibdenin Cr-Ni ostenitik paslanmaz çeliklere ilavesinin amacı, deniz suyunda ve klorlu ortamlarda oyuklaşma (pitting) ve aralık korozyonunun başlama direnci ile sülfürik asit, fosforik asit çözeltilerinde genel korozyon direncini arttırmasıdır. Bu nedenle molibden alaşımlı paslanmaz çelikler genelde “aside dayanıklı” çelikler olarak da anılır. Cr-Ni ostenitik paslanmaz çeliklerde molibdenin varlığı, çift fazlı (dubleks) bir yapı oluşumunu teşvik ettiğinden sıcak işlem sırasındaki deformasyon sonucu görülen çatlamaya karşı dayanım sağlar. Çekme dayanımını artırır ve kaynak edilebilirliğe de olumlu etkisi vardır [10,15].

2.2.6. Bakır (Cu)

Bakır, ostenit kararlılığını ve nikelin ostenitleştirici etkisini arttıran bir elementtir. Ayrıca paslanmaz çeliklerin bazı asidik ortamlara karşı direncini arttırmak için de bileşime bakır ilavesi yapılır. Paslanmaz çeliklerin bazılarında sülfürik aside (H_2SO_4) karşı direnç sağlar [8,10,12].

Paslanmaz çeliklere ilave edilen bakır, solidüs sıcaklığının düşmesine neden olur. Bu nedenle dövme veya kaynak işlemleri sırasında aşırı ısıtmalardan kaçınılmalıdır.

Malzemenin sünekliğini arttırmak için bileşimdeki bakır miktarının azaltılması gerekir [10].

2.2.7. Azot (N)

Karbon gibi ostenit kararlılığını arttıran bir element olması nedeniyle azotun son yıllarda kullanımı artmıştır. Azot, yapıda nikelle aynı etkiyi gösterir ve böylece ostenitik paslanmaz çeliklerde bir yere kadar nikelin yerini alabilir. Azotun ostenitik paslanmaz çeliklerde tane küçültme etkisi vardır. Böylece bu çeliklerin dayanımını artırır. Ostenitik paslanmaz çeliklerde tanelerarası korozyona karşı direnci arttırmak için karbon içeriğinin %0.03' ün altında tutulması gerekir. Bu bileşimde ise akma sınırı oldukça küçüktür. Akma sınırını yükseltmek için azot ilavesi yapılabilir. Azot aynı zamanda paslanmaz çeliklerin oyuklaşma (pitting) korozyon direncini iyileştirerek ve krom-molibdenli σ fazının oluşumunu yavaşlatarak da fayda sağlar. Azotun kullanımını attıran diğer bir faktör de darbe dayanımını arttırmasıdır. Ostenitik paslanmaz çeliklere oyuklaşmaya karşı olan direnci geliştirerek yeni çift fazlı (dubleks) paslanmaz çeliklerde ostenit içeriğini arttıran ana element olan azot, molibden ve krom segregasyonunu azaltır ve ostenit fazının korozyon direncini artırır [8,6,10,12,15].

Azotun sağladığı bu avantajlarının yanında kullanımını sınırlayan unsurlar da söz konusudur. Azotun katı fazdaki çözünürlüğünün sınırlı olması, gözenek oluşumuna yol açmaktadır. Azotun kontrollü olarak kullanılması gerekir. Manganez gibi azotun çözünürlüğünü arttıran elementler kullanarak %0.50' ye kadar azot içeren bileşimler yapılabilir. Ayrıca azotun dönüşüm sıcaklığını yükseltmesi ise kullanımını sınırlayan bir başka etkidir. Çünkü dönüşüm sıcaklığının yükseltilmesi, ostenitik paslanmaz çeliğin en belirgin özelliği olan düşük sıcaklıktaki yüksek darbe dayanımının kaybolmasına neden olur. Ayrıca azot ferritik paslanmaz çeliklerin mekanik özelliklerini ise oldukça olumsuz etkiler [8,10].

2.2.8. Silisyum (Si)

Paslanmaz çeliklerde silisyum, krom gibi davranarak ostenit alanını daraltır. Silisyum, bazı alaşımlara yüksek sıcaklıklardaki oksidasyon direncini iyileştirmek için ilave edilir. Aynı zamanda silisyum oksitleyici asitlere ve gerilmeli korozyon çatlama karşı direnç sağlanması için de yapıya katılabilir [8,10].

Çeliğin silisyumlu sayılabilmesi için en az %0.4 silisyum içermesi gerekir. Silisyumun artması ile çeliğin çekme dayanımı, akma sınırı ve sertliği yükselirken soğuk şekil değiştirme özelliğinde düşme görülür. Silisyumun artması elektriksel kayıplarla kaynak kabiliyetini azaltır [10].

2.2.9. Alüminyum (Al)

Alüminyum da silisyum gibi ferritleştirici bir elementtir. Alüminyum, ostenit alanını daraltır. Ancak manganezle birlikte kullanılması halinde ostenit fazını kuvvetlendirerek yüksek sıcaklığa dayanımı artırır [8,10]

Nikel ve alüminyum birlikte bulunurlarsa metaller arası bileşik oluşturarak yapıyı sertleştirirler. Fe-Al alaşımlarının oksidasyon direnci yüksektir. Ancak ferritik mikro yapı nedeniyle bu alaşımlar kırılgan bir yapıya sahiptirler [10].

2.2.10. Bor

Bor, nükleer enerji santrallerinde kullanılan ve yüksek korozyon direnci istenilen ostenitik paslanmaz çeliklere alaşım elementi olarak ilave edilir. Borlu ostenitik paslanmaz çeliklerin özelliklerini daha da geliştirmek için bileşimdeki krom miktarının artırılması gerekir. Bu amaçla %22 kromlu çelikler kullanılmaktadır. Malzemenin çekme dayanımı bor ile çok az değişmektedir. Tokluk ise hissedebilir derecede artış gösterir. Bununla birlikte darbe dayanımı, bileşimdeki bor miktarı arttıkça azalmaktadır [10].

2.2.11. Titanyum (Ti)

Titanyum korozyona karşı yeterli direnci olmayan paslanmaz çelikler için kullanılabilir. Saf titanyumun klor çözeltileri, klor dioksit (ClO₂) gibi klor bileşikleri, nemli klor gazı ve klorürler içinde korozyona karşı direnci pek çok metalden daha iyidir. Buna rağmen, % 0.4' ten az su içeren klor gazı içinde titanyum ciddi olarak etki altındadır. Paslanmaz çelikler gibi titanyum da nitrik aside karşı iyi korozyon direncine sahiptir. Çünkü yüzey pasifliği kuvvetli oksitleyici asitler tarafından korunur. Çok yüksek sıcaklıklar ve basınçlardaki ya da yüksek derişime sahip sulu asit çözeltileri gibi bazı ortamlarda, saf titanyum paslanmaz çeliklerden daha iyi sonuçlar verir [12].

%0.2' lik paladyumlu (Pd) titanyum alaşımları, saf titanyumun uygun olmadığı (hidroklorik asit, sülfürik asit gibi) oksitleyici olmayan sulandırılmış asitlere karşı iyi dirence sahiptirler. 120°C' nin üzerinde derişik klorür çözeltileri içinde %0.2 palladyumlu alaşımlanmış titanyumun tamamı aşınmaya dayanıklı iken, saf titanyum ise aralık korozyonuna maruz kalabilir [12].

2.2.12. Niyobyum (Nb)

Niyobyum karbon ile birleşerek yapıya zararlı etkileri olan krom karbürlerin oluşmasını azalttığı için paslanmaz çeliklerde kullanılan bir alaşım elementidir. Böylece, kaynaklı ya da ısıl etkilere maruz kalan paslanmaz çeliklerde oluşabilecek tanelerarası korozyon azaltılmış olur [8].

2.3. Paslanmaz Çeliklerin Fiziksel Özellikleri

Paslanmaz çeliklerin korozyon direncini, işlenebilme özelliklerini, kaynak kabiliyetlerini ve mekanik özelliklerini iyileştirmek amacıyla yapılarına katılan alaşım elementleri bu çeliklerin fiziksel özelliklerini de önemli ölçüde etkiler. Bu özellikler kaynak kabiliyeti açısından büyük bir önem taşır [3].

Ferritik paslanmaz çeliklerin ısı iletim katsayıları alaşımsız çeliklerin yarısı, ostenitik paslanmaz çeliklerinki ise alaşımsız çeliklerin yaklaşık üçte biri kadardır. Bu durum ostenitik paslanmaz çeliklerde kaynak bölgesinde ısının daha uzun süre kalacağını gösterir ki bu da bazı problemlerin ortaya çıkmasına neden olur. Bu problemlere örnek olarak, yüksek kendini çekme, soğuma sırasındaki büzülme sonucu şiddetli iç gerilmelerin neden olduğu çatlama tehlikesi ve çarpılmalar verilebilir. Ferritik paslanmaz çelikler genellikle alaşımsız çelikler ile aynı ısıl uzama katsayısına sahiptir. Ostenitik çeliklerin ısıl uzama katsayıları ise karbonlu ve ferritik çeliklerin ısıl uzama katsayısından yaklaşık %50 daha fazladır. Fiziksel özelliklerden bir diğeri olan elektrik iletme direnci en düşük alaşımsız çeliklerdir. Bu değer ferritik paslanmaz çeliklerde yaklaşık 4 ve ostenitik paslanmaz çeliklerde ise 7 kat daha fazladır [3].

2.4. Paslanmaz Çeliklerin Sınıflandırılması

Paslanmaz çelik ailesi beş ana grupta tanımlanabilir. Bu gruplardan dördü, alaşımların kristalografik yapı/mikro yapı özelliklerine göre isimlendirilmiştir (martenzitik, ferritik, ostenitik ya da çift fazlı). Beşinci grup ise mikro yapıdan ziyade uygulanan ısıl işlemin türüne göre isimlendirilmiştir (çökelme sertleşmesi). Ayrıca her bir grup, belirli korozyon şekillerine karşı hassasiyeti/direnç açısından farklılık gösterir. Ancak, her bir grup belirli sınırlar içinde tatmin edici bir bileşim aralığına sahiptir. Bu yüzden, her bir grup geniş bir aralıktaki korozyon ortamlarına uygulanabilir. Bunlar [8]:

1. Martenzitik paslanmaz çelikler
2. Ferritik paslanmaz çelikler
3. Ostenitik paslanmaz çelikler
4. Çift fazlı (dubleks) paslanmaz çelikler
5. Çökelme sertleşmesi uygulanabilir paslanmaz çelikler [8].

2.4.1. Martenzitik paslanmaz çelikler

Martenzitik paslanmaz çelikler, esasen sertleştirme koşullarında (martenzitik) hacim merkezli tetragonal kristal yapısına sahip Fe-Cr-C alaşımlarıdır. Bu çelikler ısı işlem yoluyla sertleştirilebilir ve ferromanyetik özelliktedirler. Bu alaşımlar genellikle sadece nispeten yumuşak ortamlardaki korozyon etkilerine karşı direnç gösterirler. Bileşimlerinde genelde %10.5 ve %18 aralığında değişen krom (Cr) ve %1.2' lere ulaşabilen oranlarda da karbon (C) içerirler. Kuvvetli ostenit yapıcı olan karbon, belirli bir miktara ulaştıkça kromun ferrit yapıcı etkisi ortadan kalkar ve yüksek sıcaklıkta oluşan ostenitin soğuma hızına bağlı olan dönüşüm ürününe göre genellikle havada su alan martenzitik paslanmaz çelik elde edilir. Bu çelik grubunun içyapıları, yüksek sıcaklıklarda ostenitiktir ve uygun bir soğutma işlemi sonucu oda sıcaklığında martenzitik yapıya dönüşür. Bu nedenle bu tür paslanmaz çeliklerin krom içeriği sınırlıdır zira bu dönüşümün gerçekleşebilmesi için çeliğin iç yapısının yüksek sıcaklıklarda γ (ostenit) alanı içine düşmesi gerekmektedir. Daha önce de belirtildiği gibi ostenit alanını genişletici etki yapan karbonun yapıda bulunmasıyla %18' e kadar krom içeren çeliklerin iç yapısının yüksek sıcaklıklarda ostenit alanı içine düşmesi sağlanır. Bu yüzden bu tür paslanmaz çeliklerde krom miktarı alt sınırı %10.5, üst sınırı ise %18 ile sınırlanmıştır. Burada alt sınırı korozyon direnci, üst sınırı ise yüksek sıcaklıkta çeliğin tamamen ostenitik yapıya dönüşebilme özelliği belirlemektedir [7,8,13].

Krom ve karbon içerikleri, sertleştirmeden sonra martenzit yapıyı temin etmek için dengelenmiştir. Fazla miktarda karbür, aşınma direncini arttırmak veya kesici kenarları korumak için (bıçaklarda olduğu gibi) gerekebilmektedir. Nb, Si, W ve V gibi elementler, sertleştirmeden sonra temperleme davranışını iyileştirmek için ilave edilebilir. Az miktarda Ni, bazı ortamlarda korozyon direncini ve tokluk özelliğini iyileştirmek için eklenebilir. Kükürt ve Selenyum işlenebilirliği iyileştirmek için bazı türlere katılabilir. Martenzitik paslanmaz çeliklerin bileşimleri Tablo 2.2' de verilmiştir [8] (Tablo 2.2).

Tablo 2.2: Martenzitik paslanmaz çeliklerin bileşimleri [5].

AISI No	%C	%Mn	%Cr	%Ni	%Si	%P	%S	Diğer
403	0.15	1.00	11.5-13.0	-	0.5	0.04	0.03	-
410	0.15	1.00	11.5-13.0	-	1.0	0.04	0.03	-
414	0.15	1.00	11.5-13.5	1.25-2.5	1.0	0.04	0.03	-
416	0.15	1.25	12.0-14.0	-	1.0	0.04	0.03	0.6Mo(c)
416Se	0.15	1.25	12.0-14.0	-	1.0	0.06	0.06	min0.15Se.
420	0.15 min.	1.00	12.0-14.0	-	1.0	0.04	0.03	-
422	0.2-0.25	1.00	11.0-13.0	0.5-1.0	0.75	0.025	0.025	0.75-1.2Mo 0.75-1.2W; 0.15-0.3V
431	0.2	1.00	15.0-17.0	1.25-2.5	1.00	0.04	0.03	-
440A	0.60-0.75	1.00	16.0-18.0	-	1.00	0.04	0.03	0.75Mo
440B	0.75-0.95	1.00	16.0-18.0	-	1.00	0.04	0.03	0.75Mo
440C	0.95-1.20	1.00	16.0-18.0	-	1.00	0.04	0.03	0.75Mo
501	0.10 min.	1.00	4.0-6.0	-	1.00	0.04	0.03	0.4-0.65Mo
501A	0.15	0.3-0.6	6.0-8.0	-	0.5-1.0	0.03	0.03	0.4-0.65Mo
501B	0.15	0.3-0.6	8.0-10.0	-	0.5-1.0	0.03	0.03	0.9-1.1Mo
502	0.10	1.00	4.0-6.0	-	1.00	0.04	0.03	0.4-0.65Mo
503	0.15	1.00	6.0-8.0	-	1.00	0.04	0.04	0.4-0.65Mo
504	0.15	1.00	8.0-10.0	-	1.00	0.04	0.04	0.9-1.1Mo

Martenzitik paslanmaz çelik ailesinde en yaygın kullanım alanı bulan alaşım, mekanik dayanım sağlamak için yapısında yaklaşık %0.1 C ve %12 Cr içeren 410 tipi alaşımdır. Bu yüzden 420, 440A, 440B ve 440C alaşım serilerinde karbon seviyesi ve dayanım artar. Bu bahsedilen alaşımlarda özellikle korozyon direncini geliştirmek için krom seviyeleri artırılmıştır. 422 tipi çelikte olduğu gibi mekanik özellikler ya da korozyon direncini geliştirmek için molibden ilave edilebilir. 431 ve 414 tipi çeliklerinde de aynı iki özelliği geliştirmek için yapıya nikel ilavesi yapılabilir. Daha yüksek seviyelerdeki krom, korozyon direncini geliştirmek için kullanılırken, aynı zamanda nikel de istenilen mikro yapıyı sağlamak ve aşırı serbest ferritten korumak için yapıya katılır. Alaşım içerikleri korozyon direnci elde edilebilen tamamı martenzitik yapıyı elde edebilmek için yeterli seviyelerde sınırlanmıştır [8].

Korozyon dirençleri ferritik ve ostenitik çelikler kadar iyi olmayan bu tür çelikler genel çevre koşullarına karşı korozyon direnci sağlarlar. Bunun yanında, oldukça üstün mukavemet özelliklerine sahiptirler. Bu tür çeliklerin sertleşmiş durumda toklukları düşüktür ve genellikle uygun tokluk için temperleme ısıl işlemine gerek

duyulur. Temperleme sıcaklığı, değişik mukavemet seviyeleri sağlamak için ayarlanabilir. Tavlanmış şartlardaki martenzitik paslanmaz çeliklerin akma sınırı yaklaşık 275 MPa' dır ve soğuk şekil vermeyle yeterli dereceye kadar sertleştirilebilirler. Bununla birlikte, hem sertleşme hem de temperleme ısıl işlemleri uygulanmış tipik martenzitik alaşımlar öncelikle karbon seviyesine bağlı olarak 1900 MPa' a kadar akma sınırı gösterebilir. Bu alaşımlar iyi süneklik ve tokluk özelliklerine sahiptirler. Fakat bu özellikleri dayanım artışı ile birlikte azalır. Sertlik değerleri ısıl işleme bağlı olarak tavlanmış şartlardaki malzemeler için yaklaşık 150HB (80 HRB)' den, tamamı sertleştirilmiş malzemeler için 600HB (58 HRC)' den daha yüksek seviyelere kadar değişir. Martenzitik paslanmaz çeliklerin nominal mekanik özellikleri Tablo 2.3' de verilmiştir [8,9,13] (Tablo 2.3).

AISI normuna göre 4XX şeklinde gruplandırılan bu tür çeliklerin martenzitik sertleşmiş halde korozyon dirençleri iyidir. 815°C' ye kadar paslanmazlık özelliklerini yitirmezler yalnız uzun süre yüksek sıcaklığa maruz kalırlarsa hafif korozyon başlangıcı olur. Bu nedenle, endüstride sürekli olarak 700°C' nin üzerindeki sıcaklıklarda kullanılmazlar [9].

Ferritik ya da martenzitik paslanmaz çeliklerin seçim kararı sertlik, mekanik dayanım ve aşınma direnci gereksinimlerine karşı korozyona direnç özelliğinin dengelenmesi esasına dayanır [9].

Tablo 2.3: Martenzitik paslanmaz çeliklerin nominal mekanik özellikleri [16].

Çelik türü	Isıl İşlem Şartı	Çekme Dayanımı daN/mm ²	0.2 Akma Sınırı (daN/mm ²)	Uzama (%)	Kesit Daralması (%)	Sertlik (Rockwell)
403	Tavlı	517	276	30	65	B82
403	Temperlenmiş (427°C)*	1344	1034	17	55	C41
410	Tavlı	517	276	30	65	B82
410	Temperlenmiş (427°C)*	1344	1034	17	55	C41
410S	Tavlı	414	207	22		B95M
410Nb	Tavlı	483	276	13	45	
410Nb	Temperlenmiş (Ara Tav)**	862	689	13	45	
414	Tavlı	827	655	17	55	C22
414	Temperlenmiş (427°C)*	1379	1034	16	58	C43
414L	Tavlı	793	552	20	60	
420	Tavlı	655	345	25	55	B92
420	Temperlenmiş (315°C)*	1586	1344	8	25	C50
422	Temperlenmiş (Ara Tav)**	965	758	13	30	
431	Tavlı	862	655	20	60	C24
431	Temperlenmiş (427°C)*	1413	1069	15	60	C43
440A	Tavlı	724	414	20	45	B95
440A	Temperlenmiş (315°C)*	1793	1655	5	20	C51
440B	Tavlı	738	427	18	35	B96
440B	Temperlenmiş (315°C)*	1931	1862	3	15	C55
440C	Tavlı	758	448	13	25	B97
440C	Temperlenmiş (315°C)*	1965	1896	2	10	C57
<p>*) Ostenitleştirme ısıl işleminden sonra temperlenmiş (ıslah edilmiş) ve oda sıcaklığına soğutulmuştur. **) Ara tavlı sıcak bitirilmiştir. (M-Maksimum)</p>						

2.4.2. Ferritik paslanmaz çelikler

Ferritik kromlu paslanmaz çelikler hacim merkezli kübik (HMK) kristal yapıya sahip Fe-Cr alaşımlarıdır. Bu tip çelikler bileşimlerinde %16–30 krom (Cr) ve %0.05–0.25 karbon (C) içerirler. Bazı yüksek Cr içeriğine sahip türlerde %4 nikel (Ni), çoğunlukla molibdenle (Mo) birlikte bulunur. Bazı paslanmaz çelik tiplerine özel karakteristikler kazandırmak amacıyla, molibden (Mo), alüminyum (Al), silikon,

titanyum (Ti), niyobyum (Nb), sülfür (S) ve selenyum (Se) gibi elementler ilave edilebilir. Bu tip alaşımlar ferromanyetik olup iyi sünekliğe ve şekillendirilebilirliğe sahiptirler; fakat yüksek sıcaklık dayanımları ostenitik paslanmaz çeliklerle kıyaslandığında daha zayıftırlar. Düşük sıcaklıklarda ve kalın kesitler için de tokluk değerleri düşük kalabilir. Ferritik paslanmaz çeliklerin bileşimleri Tablo 2.4 ile verilmiştir [6,8,15].

Tablo 2.4: Ferritik paslanmaz çeliklerin bileşimleri [5].

AISI No	%C	%Mn	%Cr	%Ni	%Si	%P	%S	Diğer
405	0.08	1.00	11.5-11.45	-	1.00	0.04	0.03	0.1-0.3Al
409	0.08	1.00	10.5-11.75	-	1.00	0.045	0.045	6x%CminTi(e)
429	0.12	1.00	14.0-16.0	-	1.00	0.04	0.03	-
430	0.12	1.00	16.0-18.0	-	1.00	0.04	0.03	-
430F	0.12	1.25	16.0-18.0	-	1.00	0.06	0.15 min	0.6Mo(c)
430FSe	0.12	1.25	16.0-18.0	-	1.00	0.06	0.06	min0.15Se.
434	0.12	1.00	16.0-18.0	-	1.00	0.04	0.03	0.75-1.25Mo
436	0.12	1.00	16.0-18.0	-	1.00	0.04	0.03	0.75-1.25Mo 5x%Cmin Nb+Ta(f)
442	0.20	1.00	18.0-23.0	-	1.00	0.04	0.03	-
446	0.20	1.50	23.0-27.0	-	1.00	0.04	0.03	0.25N

Ferritik çelikler martenzitik paslanmaz çeliklerden farklı olarak fazla miktarda krom ve az miktarda karbon içerdiklerinden, yüksek sıcaklıklarda veya sıvı halden soğutulmaları esnasında hiç veya çok az ostenit meydana gelir, dolayısıyla $\gamma \rightarrow \alpha$ dönüşmesi yoktur. Bu nedenle, katı halde bir faz dönüşmesi meydana gelmediğinden su verme yolu ile sertleştirilemezler. Bu çeliklerin sertleştirilebilmeleri ancak soğuk şekillendirme ile mümkündür; az miktarda soğuk şekil değiştirmenin dahi meydana getirdiği sertlik çeliğin şekil almasını zorlaştırdığından kullanım alanları azalır. Soğuk şekil değiştirme sertleştirilmesini ortadan kaldırmak için bu tür çeliklere 750°C ila 800°C sıcaklık aralıklarında yumuşatma tavlama uygulanır [3,8].

Tavllanmış haldeki tipik paslanmaz çeliklerin akma sınırları ve çekme dayanımları sırasıyla 240–380 MPa ve 415–585 MPa aralıklarında değişir. Süneklik ise %20–35 aralığındadır. Daha yüksek miktarlarda alaşımlanmış süper ferritik paslanmaz çeliklerde ise 515 MPa' a kadar akma sınırı ve 655 MPa' a kadar da çekme dayanımı

elde edilebilir. Ferritik paslanmaz çeliklerin nominal mekanik özellikleri Tablo 2.5'te verilmiştir [8] (Tablo 2.5).

Tablo 2.5: Ferritik paslanmaz çeliklerin nominal mekanik özellikleri [16].

Çelik türü	Isıl İşlem Şartı	Çekme Dayanımı daN/mm ²	0.2 Akma Sınırı (daN/mm ²)	Uzama (%)	Kesit Daralması (%)	Sertlik (Rockwell)
405	Tavlı	480	275	30	60	B80
409	Tavlı	450	240	25		B75M
429	Tavlı	490	310	30	65	B88M
430	Tavlı	515	310	30	60	B82
430F	Tavlı	550	380	25	60	B86
430Ti	Tavlı	515	310	30	65	
434	Tavlı	530	365	23		B83M
436	Tavlı	530	365	23		B83M
442	Tavlı	550	310	25	50	B85
444	Tavlı	415	275	20		B95M
446	Tavlı	550	345	23	50	B86
(M- Maksimum)						

Ferrit, karbon ve azot gibi ara elementler için çok düşük çözünürlük gösterir. Ferritik çelikler oldukça dar bir sıcaklık aralığının üzerinde süneklikten kırılmalıya geçiş sergilerler. Özellikle daha yüksek krom seviyelerinde iken karbon ve azot içerikleri daha yüksek olduğunda, bu süneklikten kırılmalıya geçiş ortam sıcaklığının üzerinde meydana gelebilir. Bu etkiden dolayı AOD tekniğinin kullanımından önce ferritik çelikler çok sınırlı uygulama alanına sahiptir. AOD tekniği ile karbon ve azotun seviyelerinde önemli oranda azalma sağlanmıştır. Karbon ve azotun etkisi titanyum ve niyobyum gibi dengeleyici etkisi olan güçlü reaktif elementlerin kullanılmasıyla azaltılmıştır. Böylece AISI 444 tipi gibi daha yüksek alaşımli yeni nesil ferritik çelikler geliştirilmiştir. Ara elementlerin kontrolü ile alışılmısın aksine yüksek krom ve molibden içerikli çeliklerin üretilmesi mümkün olmuştur. Düşük karbonlu bu çelikler, ilk nesil ferritik paslanmaz çeliklerden daha dayanıklı ve daha iyi kaynak edilebilir özelliktedirler. Bu çeliklerin kullanımını sınırlayan bir diğer unsur da kaynak ya da ısı etkisindeki uygulamalar sonucu tanelerarası korozyona kolaylıkla hassaslaşmasıdır. Bu alaşımlarda, 1850°F (1008°C)' ın üzerindeki sıcaklıklarda uzun süre tutulduğunda tane büyümesi sorunu ile karşılaşılır. Krom oranı %20' den fazla olan ferritik paslanmaz çelikler 430–760°C sıcaklık aralığında uzun süre tavlama sonra sigma (σ) fazı oluşur. Yüksek sıcaklıktaki uygulama sırasında ortaya çıkan bu

durum, çeliğin sertliğini arttırdığı için bazen yararlı olabilir, ancak gevrekleşmeye neden olduğu ve korozyon direncini azalttığı için genellikle istenmez. Çeliğin bileşiminde Si ve Mo gibi ferrit yapıcı elementlerin varlığı sigma (σ) fazının oluşumunu hızlandırdığı gibi bulunduğu sıcaklık aralığını da genişletir. Tavlama için 760–820°C sıcaklık aralığı önerilir ve σ fazının oluşumunu önlemek için de hızlı soğutma yapılır [9,15,17].

Ferritik paslanmaz çelikler diğer tür paslanmaz çeliklerle kıyaslandığında korozyon dirençleri martenzitiklerden daha iyi fakat ostenitiklerden azdır. Ferritik kromlu paslanmaz çelikler, pahalı ve stratejik bir element olan nikel içermemeleri nedeniyle ostenitik krom-nikelli çeliklerden daha ucuzdurlar ve bu maliyetin ön planda olduğu uygulamalarda onlara avantaj sağlar. Ayrıca oldukça parlak ve dekoratif bir görünüşe de sahiptirler. Bu tür paslanmaz çelikler, dünya paslanmaz çelik tüketiminde ostenitik tip çeliklerin ardından %30' luk bir pay ile ikinci sırayı almaktadırlar. Kolaylıkla soğuk şekillendirilebilmeleri nedeniyle levha ve sac haline getirildikten sonra atmosferik korozyona iyi dayanım göstermelerinden ötürü, mimari de iç ve dış dekorasyonda, temizlik ve sterilizasyon maddelerinin korozif etkisine dayanımları sayesinde toplu yaşam yerlerinde, mutfak tezgâh ve donanımlarının, yemek kaplarının, çamaşır ve kurutma makinelerinin kazanlarının, gıda endüstrisinde depolama kaplarının, süt ve bira tanklarının imalinde kullanılır. Ferritik kromlu paslanmaz çelikler, klorlu ortamlardan kaynaklanan gerilmeli korozyon çatlamaına karşı yüksek bir dayanıma da sahiptirler. Bu nedenle otomotiv endüstrisinde çeşitli egzost boruları ile petro-kimya ve kimya endüstrilerinde kazanlar vb. yerlerde de kullanılırlar [13,20].

2.4.3. Ostenitik paslanmaz çelikler

Ostenitik paslanmaz çelikler içerdikleri alaşım sayısı ve kullanım alanları açısından paslanmaz çelik ailesinin en geniş ve en çok kullanılan grubudur. Ostenitik paslanmaz çelikler Ni, Mn ve N gibi ostenit yapıcı elementlerin katılması sayesinde oda sıcaklığında bile ostenitik yapıya sahip alaşım gruplarıdır. Ostenit, Fe-Cr denge diyagramına bakıldığında yüksek sıcaklıklarda (910°C–1400°C) dengede olan bir

fazdır. Bu tür alaşımlar YMK kafes yapısındadır. Manyetik olmayan bu tür paslanmaz çelikler AISI 3XX,2XX serisi içinde gruplandırılmalarının yanısıra DIN 17440, EU 88, EU95 ve TS 2535' e göre yüksek alaşımlı çelikler gibi simgelendirilirler. TS 2535 ostenitik paslanmaz çelikleri "bileşiminde korozyona karşı krom ve ostenitik yapı sağlamak amacı ile de nikel bulunan, oda sıcaklığında manyetik olmayan, ısıl işleme sertleştirilemeyen soğuk biçimlendirmeye elverişli paslanmaz çeliktir." diye tanımlanır. Ferritik çelikler gibi $\gamma \rightarrow \alpha$ dönüşümü göstermediklerinden bu çelikler de su verme yoluyla sertleşmezler ancak, malzemenin sertliği soğuk işleme (pekleşme) ile alaşım oranına bağlı olarak arttırılabilse de sıcak çalışma sonucu sertlik tekrar eski değerine döner [7,8,17].

Ostenitik paslanmaz çelikler, bileşimlerinde %16–26 krom (Cr), %35' e kadar nikel (Ni), %0.4' e kadar karbon (C) ve %18' e kadar mangan (Mn) içerirler. 200 serisi ostenitik paslanmaz çelikler bileşimlerinde azot, %4–15 mangan ve 300 serisi çeliklere göre daha düşük miktarlarda nikel (%7' e kadar) içerirler. 300 serisi çelikler ise yapılarında daha yüksek oranlarda nikel (%37' e kadar) ve %2' ye kadar mangan içerirler. 200 serisi paslanmaz çelikler, korozyon dirençleri bakımından 300 serisi paslanmaz çeliklere çok benzerler ve mekanik özellikleri daha üstündür. Oyuklaşma (pitting) direnci ya da oksidasyon direnci gibi belirli özellikleri geliştirmek için molibden (Mo), bakır (Cu), silikon, alüminyum (Al), titanyum (Ti), ve niyobyum (Nb) eklenebilir. AISI standartları ile gösterilen ostenitik paslanmaz çeliklere ait kimyasal bileşimleri Tablo 2.6 ile verilmiştir [8,20].

Tablo 2.6: Ostenitik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri [8].

AISI No	%C	%Mn	%Cr	%Ni	%Si	%P	%S
201	0.15	5.5-7.5	16.0-18.0	3.5-5.5	1.00	0.06	0.03
202	0.15	7.5-10.0	17.0-19.0	4.0-6.0	1.00	0.06	0.03
205	0.12-0.25	14.0-15.5	16.5-18.0	1.0-1.75	1.00	0.06	0.03
301	0.15	2.0	16.0-18.0	6.0-8.0	1.00	0.045	0.03
302	0.15	2.0	17.0-19.0	8.0-10.0	1.00	0.045	0.03
302B	0.15	2.0	17.0-19.0	8.0-10.0	2.0-3.0	0.045	0.03
303	0.15	2.0	17.0-19.0	8.0-10.0	1.00	0.20	0.15 min
303Se	0.15	2.0	17.0-19.0	8.0-10.0	1.00	0.20	0.06
304	0.08	2.0	18.0-20.0	8.0-10.5	1.00	0.045	0.03
304H	0.04-0.10	2.0	18.0-20.0	8.0-10.5	1.00	0.045	0.03
304L	0.03	2.0	18.0-20.0	8.0-12.0	1.00	0.045	0.03
304LN	0.03	2.0	18.0-20.0	8.0-12.0	1.00	0.045	0.03
302Cu	0.08	2.0	17.0-19.0	8.0-10.0	1.00	0.045	0.03
304N	0.08	2.0	18.0-20.0	8.0-10.5	1.00	0.045	0.03
305	0.12	2.0	17.0-19.0	10.5-13.0	1.00	0.045	0.03
308	0.08	2.0	19.0-21.0	10.0-12.0	1.00	0.045	0.03
309	0.20	2.0	22.0-24.0	12.0-15.0	1.00	0.045	0.03
309S	0.08	2.0	22.0-24.0	12.0-15.0	1.00	0.045	0.03
310	0.25	2.0	24.0-26.0	19.0-22.0	1.50	0.045	0.03
310S	0.08	2.0	24.0-26.0	19.0-22.0	1.50	0.045	0.03
314	0.25	2.0	23.0-26.0	19.0-22.0	1.5-3.0	0.045	0.03
316	0.08	2.0	16.0-18.0	10.0-14.0	1.00	0.045	0.03
316F	0.08	2.0	16.0-18.0	10.0-14.0	1.00	0.20	0.10 min
316H	0.04-0.10	2.0	16.0-18.0	10.0-14.0	1.00	0.045	0.03
316L	0.03	2.0	16.0-18.0	10.0-14.0	1.00	0.045	0.03
316LN	0.03	2.0	16.0-18.0	10.0-14.0	1.00	0.045	0.03
316N	0.08	2.0	16.0-18.0	10.0-14.0	1.00	0.045	0.03
317	0.08	2.0	18.0-20.0	11.0-15.0	1.00	0.045	0.03
317L	0.03	2.0	18.0-20.0	11.0-15.0	1.00	0.045	0.03
321	0.08	2.0	17.0-19.0	9.0-12.0	1.00	0.045	0.03
321H	0.04-0.10	2.0	17.0-19.0	9.0-12.0	1.00	0.045	0.03
330	0.08	2.0	17.0-20.0	34.0-37.0	0.75-1.5	0.04	0.03
347	0.08	2.0	17.0-19.0	9.0-13.0	1.00	0.045	0.03
347H	0.04-0.10	2.0	17.0-19.0	9.0-13.0	1.00	0.045	0.03
348	0.08	2.0	17.0-19.0	9.0-13.0	1.00	0.045	0.03
348H	0.04-0.10	2.0	17.0-19.0	9.0-13.0	1.00	0.045	0.03
384	0.08	2.0	15.0-17.0	17.0-19.0	1.00	0.045	0.03

Ostenitik paslanmaz çeliklerin yapısına katılan alaşım elementleri mekanik ve korozyon özelliklerine çeşitli şekillerde etki ederler. Bu tür çeliklerde karbon içeriği, ostenitik paslanmaz çeliklerin korozyon davranışını olumsuz yönde etkilediğinden %0.003 gibi düşük değerlere kadar düşürülebilir. Ostenitik paslanmaz çeliklere katılan alaşım elementlerinin yapıya ve çeliğin özelliklerine etkisi Tablo 2.7’ de verilmiştir [7,10,13].

Tablo 2.7: Ostenitik paslanmaz çeliklere katılan alaşım elementlerinin yapıya ve çeliğin özelliklerine etkisi [13].

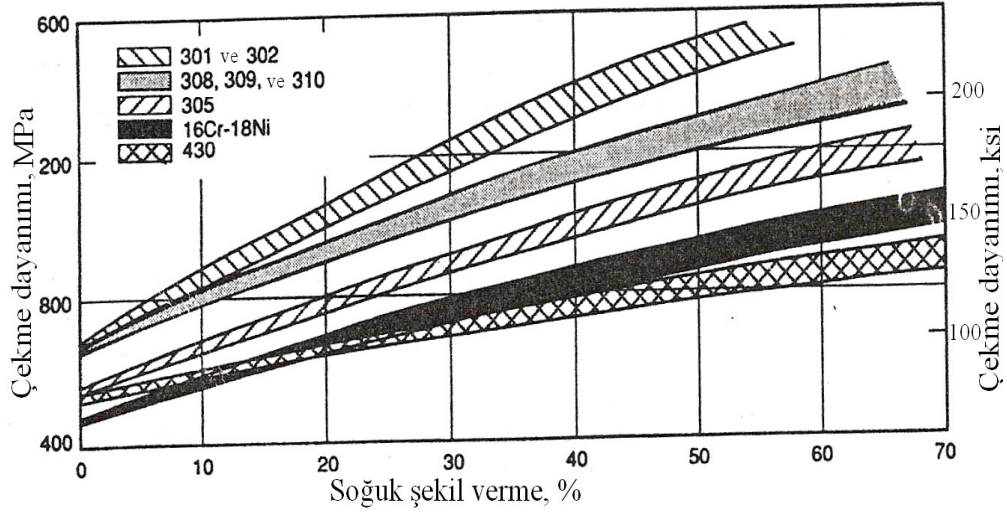
Element	Etki
Karbon	Çekme dayanımını artırır, ostenit yapıcıdır, krom-karbür çökmesinden dolayı tanelerarası korozyona direnci azaltır
Krom	Ferrit oluşturuucu etki yapar, korozyon mukavemetini artırır.
Nikel	Ostenit yapıcı etki yapar, sıcak dayanımı ve korozyon dayanımını artırır. Yüksek sıcaklıklarda korozyon ve gerilmeli korozyon direncini yükseltir.
Azot	Kuvvetli ostenit yapıcı etki yapar, süneklik ve toklukta kayıp meydana gelmeksizin akma ve çekme dayanımını artırır, oyuklaşma (pitting) korozyonuna direnci artırır.
Niyobyum	Tanelerarası korozyon eğilimini azaltmak üzere karbonu çözer, tane inceltici ve ferrit oluşturuucu etki yapar.
Manganez	Oda sıcaklığına yakın sıcaklıklarda ostenit yapıcı, yüksek sıcaklıklarda ise ferrit yapıcı etki yapar, manganez sülfürü oluşturarak sıcak çatlama eğilimine engel olur.
Molibden	Yüksek sıcaklıklarda çekme mukavemetini ve indirgeyici (redükleyici) ortamlarda korozyon dayanımını artırır. Oyuklaşma ve aralık korozyonuna karşı direnci artırır.
Fosfor,Selenyum veya Kükürt	Talaşlı işlenebilirliği iyileştirir, kaynak kabiliyetini olumsuz etkiler, korozyona dayanımı az miktarda azaltır.
Titanyum	Niyobyum gibi tanelerarası korozyon eğilimini azaltmak üzere karbonu çözer, tane inceltici ve ferrit oluşturuucu etki yapar
Alüminyum	Kuvvetli ferrit oluşturuucu etki yapar,
Bakır	Korozyona dayanımı artırır, gerilmeli korozyon çatlağı eğilimini azaltır ve sertleşmeye yardımcı olur.

Krom nikelli ostenitik paslanmaz çeliklerin akma sınırları oldukça düşüktür ve yumuşak çeliklerle karşılaştırılabilir. Tavlanmış 300 serisi çeliklerinin minimum mekanik özellikleri; 205–275 MPa arasında değişen akma sınırı, 520–760 MPa arasında değişen çekme dayanımı ve %40-60 uzama özelliklerine sahiptirler. Tavlanmış 200 serisi alaşımlarda akma sınırı 345–480 MPa arasında değişen değerlere kadar yükselirken, soğuk şekil verme sonucu çekme dayanımı 1200 MPa' a kadar yükselir. Tablo 2.8' de ostenitik paslanmaz çeliklere ait mekanik özellikler verilmiştir [8].

Tablo 2.8: Ostenitik paslanmaz çeliklerin nominal mekanik özellikleri [16].

Çelik türü	Isıl İşlem Şartı	Çekme Dayanımı daN/mm ²	0.2 Akma Sınırı (daN/mm ²)	Kopma Uzaması (%)	Kesit Daralması (%)	Sertlik (Rockwell)
201	Tavlı	793	379	55	-	B90
201	Tam Sertleştirilmiş	1275	965	4	-	C41
202	Tavlı	724	379	55	-	B90
301	Tavlı	758	276	60	-	B85
301	Tam Sertleştirilmiş	1275	965	8	-	C41
302	Tavlı	620	255	55	65	B82
302B	Tavlı	655	276	50	65	B85
303	Tavlı	620	241	50	55	B84
304	Tavlı	586	241	55	65	B80
304L	Tavlı	552	207	55	65	B76
304N	Tavlı	586	241	30		
304LN	Tavlı	552	207			
305	Tavlı	586	255	55	70	B82
308	Tavlı	586	241	55	65	B80
308L	Tavlı	551	207	55	65	B76
309	Tavlı	620	276	45	65	B85
310	Tavlı	655	276	45	65	B87
312	Tavlı	655		20		
314	Tavlı	689	345	45	60	B87
316	Tavlı	586	241	55	70	B80
316L	Tavlı	538	207	55	65	B76
317	Tavlı	620	276	50	55	B85
317L	Tavlı	586	241	50	55	B80
321	Tavlı	559	241	55	65	B80
329	Tavlı	724	552	25	50	B98
330	Tavlı	550	241	30		B80
330HC	Tavlı	586	290	45	65	
332	Tavlı	552	241	45	70	

Şekil 2.9' da 300 serisi çeliklerin ve 430 tipi ferritik çeliğin soğuk şekil verme karakteristikleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. 200 serisi çeliklerin soğuk şekil verme karakteristikleri 301 ve 302 tipi çeliklerinkine benzerdir [8].



Şekil 2.9: Belirli paslanmaz çeliklerde soğuk şekil vermenin çekme dayanımı üzerine etkisi[8].

Paslanmaz çelik üretiminin yaklaşık %75' ini oluşturan ostenitik paslanmaz çeliklerin korozyon direnci ferritik ve ostenitik paslanmaz çeliklere kıyasla daha yüksektir. Bu tür çeliklerde içyapının ostenit olması nedeniyle, ferritik paslanmaz çeliklerde karşılaşılan geçiş sıcaklığı altındaki sıcaklıklarda gevrekleşme sorunu ile karşılaşmaz. Gerek sıfır altı (-270°C ' e kadar) ve gerekse yüksek sıcaklıklardaki korozyon dirençleri, mekanik özelliklerinin üstünlüğü bu çelik grubunun birçok alanda tercih edilmesine olanak sağlamıştır. Üstün süneklik ve şekil değiştirme kabiliyetine de sahip olan ostenitik paslanmaz çelikler yüksek oranda nikel içermelerinden dolayı, diğer türlere kıyasla daha pahalıdırlar [17].

Ostenitik paslanmaz çelikler yüksek tokluğa sahip olduklarından ve ısıdan etkilenen bölgede sertleşme olmadığından kaynaklanabilirlik özellikleri iyidir. Fakat ısı iletim katsayıları küçük ve ısıl genleşme katsayıları büyük olduğundan çarpılma tehlikesine karşı kaynak sırasındaki ısı girdisinin düşük tutulması gerekir [17].

Ostenitik paslanmaz çelikler genellikle nemli ortamlarda kullanılırlar. Yüksek krom ve molibden içerikleri agresif çözeltilere karşı korozyon dirençlerini artırıcı rol oynar. Yüksek nikel içeriği gerilmeli korozyon çatlamasına karşı riski azaltır. Ostenitik paslanmaz çeliklerin genel korozyona, çukurcuk ve aralık korozyonuna dirençleri, katılan alaşım elementlerinin miktarına bağlı olarak yükselir. Bu olay

çeliğin klor içeren ortamlarda kullanılması durumunda daha da önem kazanır. Oyuklaşma (pitting) ve aralık korozyonuna dirençlerini arttırmak için krom ve molibden içerikleri artırılmalıdır. Ostenitik paslanmaz çelikler istenilen özelliklerin güzel bir bileşimine sahiptir. Bu özellikler, yukarıda da verildiği gibi, iyi korozyon direnci, yüksek sıcaklıklarda mekanik dayanım, oksidasyon dayanımı, işleme kolaylığı, çok düşük sıcaklıklardaki mekanik özellikleri ve genel mekanik ve fiziksel özellikleri olarak sayılabilir [17,20].

Ostenitik paslanmaz çeliklerde en büyük sorun krom karbür çökmesidir. Ostenitik paslanmaz çeliklerde 450–850°C arası sıcaklıklarda uzun süre kalınması halinde, sıcaklığın da ısı aktivasyonu için yeterli olması sebebiyle tane içinden tane sınırına doğru hareket eden karbonlar tane sınırlarında krom karbür çökmesi oluştururlar. Bu krom karbür ağırlıkça sadece %10 oranında karbon içerir. Dolayısıyla az miktarda karbonun tane sınırına yayılması bile osteniti çevreleyen krom miktarında çok önemli azalmalara neden olacaktır. Böylece korozif ortamda bulunan parçalarda kromca fakir durumda bulunan tane sınırları korozyona uğrar [18].

Bu tür paslanmaz çeliklerde sıvı halden itibaren katılaşma başladığında ostenitik yapıdaki tanelere ek olarak delta ferrit taneleri de oluşmaya başlar. Bu taneler, çatlak oluşumunu teşvik edici etkisi ve sıcak şekillendirme üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle istenmez. Ayrıca delta ferritin 550–925°C sıcaklık aralığında uzun süre kalması durumunda sigma (σ) fazı olarak adlandırılan bir metallerarası bileşik oluşur. Çok sert ve gevrek özellikte olan bu faz istenmeyen bir başka oluşumdur [18].

Ostenitik paslanmaz çeliklerin en zayıfları bile atmosferde, pek çok sulu ortamda, gıda uygulamalarında ve nitrik asit gibi oksitleyici asitler içinde iyi bir genel korozyon direnci sunar. 321 ve 347 tipi çelikler aslında hassaslaşan karbürleri dengede tutmak için Ti ya da Nb ilaveli 304 tipi çelikleridir. Molibden ilaveli 316/316L tipleri fosforik asitlerde, asetik asitlerde ve seyreltik klorür çözeltilerinde oyuklaşma (pitting) korozyonuna karşı direnç gösterir. Daha yüksek molibden içeriği (%3 Mo) ve daha fazla alaşımlama ile 316L tipinde olduğu gibi oyuklaşmaya (pitting) karşı olan direnç gelişir. Oda sıcaklığındaki ve özellikle de düşük sıcaklıklardaki dayanımı geliştirmek için azot ilave edilir. Azot aynı zamanda krom

karbür çökelme oranını ve tanelerarası korozyona karşı hassasiyeti azalttığı içinde yapıya katılır. Aynı zamanda bu element klorür içeren ortamlarda oyuklaşma (pitting) ve aralık korozyonuna karşı direnci arttırmak için de molibden içeren alaşımlara katılabilir. Daha yüksek oranlardaki krom ve/veya nikel (309, 310, 330 tipi çeliklerdeki gibi) yüksek sıcaklıklardaki oksidasyon direncini geliştirir. Sülfürik asit gibi indirgeyici asitlere karşı direnci geliştirmek içinse yapıya bakır ve nikel katılabilir. Korozyona daha dirençli alaşımlar yüksek nikel içeriğine sahiptir. Nikel, molibden ($\approx 6\%$ Mo) ve azot ($0.15-0.25\%$ N) içeren alaşımlara süper-ostenitik alaşımlar da denir. Bu alaşımlar klorür korozyonuna karşı direnci iyileştirmek için geliştirilmiştir [8].

Süper-ostenitik paslanmaz çeliklerde ostenitik yapı sürekli ve kararlı olup her koşul altında tamamen osteniktir. Süper-ostenitik kararlı yapı, yüksek nikel miktarı veya azot içeriği sayesinde gerçekleştirilmiştir. Kaynaktan sonra kaynak metalinde AISI 300 serisi çeliklerinin aksine hiç ferrit oluşmaz. Süper-ostenitik paslanmaz çeliklerin bileşimleri Tablo 2.9' da verilmiştir [17].

Tablo 2.9. Süper-ostenitik paslanmaz çelikler ve kimyasal bileşimleri [8]

Kısa Gösterim	% Cmax	% Cr	% Mo	% Ni	Diğer
18Cr/16Ni/3.5Mo/L	0.03	17.0-19.0	3.0-4.0	14.0-17.0	-
17Cr/13Ni/4.5Mo/NL	0.03	16.5-18.5	4.0-5.0	12.5-14.5	N=0.12-0.22
24Cr/20Ni/Nb/L	0.03	23.0-25.0	-	19.0-21.0	Nb \geq 10X%C
25Cr/22Ni/2Mo/NL	0.03	24.0-26.0	2.0-2.5	21.0-24.0	N=0.10-0.16
23Cr/27Ni/3Mo/3Cu/NbL	0.03	22.0-24.0	2.5-3.0	26.0-28.0	Cu=2.5-3.5 Nb=0.6-0.8
20Cr/25Ni/Mo/2Cu/NL	0.03	19.0-21.0	5.5-7.0	24.0-26.0	Cu=1.0-2.0 Nb=0.13-0.17

Bu süper ostenitik paslanmaz çelikler aşırı agresif ortamlarda çalışan malzemelerde korozyon problemini önlemek ve kimya endüstrisinde kullanılmak üzere geliştirilmişlerdir. Sülfürik asit, fosforik asit, asetik asit içeren ortamlar ve kimyasal gübre üretimi gibi durumlar için özel süper-ostenitik paslanmaz türler üretilmiştir. Bu çeliklerin özellikle oyuklaşma (pitting) dirençleri ve geliştirilmiş kritik oyuklaşma

sıcaklık değerleri yükseltilmiştir. Bu türler deniz suyu ortamlarında çok çeşitli amaçlar için yaygın olarak kullanılırlar. Yüksek sıcaklıklarda aralık korozyonu dirençleri de çok iyidir [17]. Aşağıda sık kullanılan ostenitik paslanmaz çelik alaşımlarının özelliklerinden ve kullanım alanlarından kısaca bahsedilmiştir.

Diğer ostenitik alaşımlara kıyasla daha düşük Ni ve daha yüksek Mn içeren 200 serisi ostenitik paslanmaz çeliklerden 201 tipi çelikler, otomobil tekerlekleri ve cam kenarlıkları, çatal, kaşık, tava ve tencere yapımında kullanılırken, 202 tipi çelikler hastane ekipmanları, süt ekipmanları, kimyada kullanılan el aletleri ve mimari uygulamalarda daha yaygın bir şekilde kullanılır [7,17].

301 tipi çelikler tavlama sonucunda yüksek mekanik özelliklere sahip olmalarından ötürü yüksek gerilme ve çekme dayanımı gerektiren yapılarda sıklıkla kullanılır. Bu tip çeliklerin en çok kullanıldığı yerlere örnek olarak demiryolu vagonları, römork kasası, uçak iskeleti, otomobil jantları ve taşıyıcı kayışlar verilebilir [7].

302 çelikleri yüksek karbonlu olup soğuk şekil değiştirme sertleşmesi ile yüksek dayanıma ulaşılabilir. Bu tip çeliklerin kullanım alanları arasında mutfak el aletleri, antenler, yaylar, uçak motor kapakları ve kaportaları, tıbbi cihazlar, nitrik asit tankları ve yağ rafine ekipmanları yer alır. 302B tipi ostenitik paslanmaz çelikler 302 tipinin yüksek sıcaklık uygulamaları için geliştirilmiş türüdür [7].

303 tipi ostenitik paslanmaz çeliklerde yapıya kükürt ilavesi ile kolay işleme özelliği kazandırılmıştır. Bu nedenle somunlar, cıvatalar, perçinler, saplamalar gibi parçalarda sıklıkla kullanılır [7].

304 tipi paslanmaz çelikler, korozyon direnci ve şekillendirilebilme özellikleri iyi olduğundan dolayı çok yaygın olarak kullanılırlar. Soğuk perçinlemede, gıda endüstrisinde, bira, şarap ve süt gibi içeceklerin taşınmasında ve depolanmasında, kapı ve pencere çerçevelerinde, çatı olukları ve soğutma kapları gibi pek çok uygulamada kullanılırlar. Bu tip çelikler 820°C' ye kadar korozyon, oksidasyon direnci ve sürünme dayanımına sahiptirler. Daha yüksek sıcaklıklar için 304H tipi

Çelikler kullanılır. Tanelerarası korozyona karşı direnci arttırmak için karbon içeriği azaltılmış 304L tipi çelikler geliştirilmiştir [3,7].

Yüksek nikel içerikli 310 ve 314 türleri, endüstriyel fırınlar gibi yüksek sıcaklıklara maruz ekipmanlarda, kimyasal uygulamalarda, pompa parçalarında kullanım alanı bulurlar. 310 tipi yüksek sıcaklık dayanımı istenen yerlerde daha sık tercih edilirken, 314 tipi ise soğuk şekillendirmeye yatkınlığından dolayı dayanım istenen yerlerde daha fazla tercih edilir [7,17].

Molibden içeren 316 tipi ostenitik paslanmaz çelikler ve tanelerarası korozyona karşı direnci arttırmak için karbon içeriği azaltılmış 316L tipi ostenitik paslanmaz çelikler, denizcilik ve kimya endüstrisinde, yiyecek ve içeceklerin taşınması, depolanması ve üretiminde, düşük ve yüksek sıcaklık uygulamalarında ve mimari uygulamalarda yaygın bir şekilde kullanılır. İşlenebilirlik özelliğini arttırmak için 316F, yüksek sıcaklıklara direnç özelliğini arttırmak için 316H ve mekanik dayanımlarını arttırmak için de azot ilaveli 316N tipleri geliştirilmiştir [7].

316 tipine göre daya yüksek korozyon ve sürünme (creep) direncine sahip 317 tipi çelikler genellikle kağıt hamuru taşıma ve tekstil ekipmanlarında, yüksek sıcaklıkta üretilen lastik, mürekkep ve kumaş boyası ekipmanlarında kullanım alanı bulurlar.

Yüksek sıcaklıklarda kaynak gibi ısıl etkilere maruz uygulamalarda tanelerarası korozyonu önlemek için titanyum ve niyobyum ile stabilize edilmiş 321 ve 347 tipi paslanmaz çelikler, uçak egzoz parçalarında, jet motoru parçalarında, ateş duvarlarında ve basınçlı kaplarda geniş uygulama alanı bulurlar [7].

2.4.4. Çift fazlı (dubleks) paslanmaz elikler

Dubleks paslanmaz elikler Fe-Cr-Ni sistemine dayanan çift fazlı alaşımlardır. Çift fazlı mikroyapı eliğin 1000–1050°C sıcaklıkta tavlınması ve ardından hızlı bir şekilde soğutulması ile elde edilir. Bu eliklerin özelliği, hemen hemen eşit miktarlarda ostenit ve ferrit yapılarını aynı anda bünyelerinde bulundurmalarıdır.

Dolayısıyla ferritik-ostenitik paslanmaz çeliklerin en iyi ortak özelliklerini taşırlar. Çift fazlı paslanmaz çelikler bileşimlerinde %20–30 Cr, %5–8 Ni bulundurlar. Bu tip alaşımlar düşük karbon içerikleri ve molibden, azot, tungsten ve bakır ilaveleri ile karakterize edilir. Tablo 2.10’ da bu tip alaşımların bileşimleri verilmiştir [2,8].

Tablo 2.10: Dupleks paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri [8].

UNS No	%C	%Cr	%Ni	%Mo	%Mn	%N	%Si
S31200	0.03	24.0-26.0	5.5-6.5	1.2-2.0	2.00	0.14-0.20	1.00
S31260	0.03	24.0-26.0	5.5-7.5	2.5-3.5	1.00	0.10-0.30	0.75
S31500	0.03	18.0-19.0	4.25-5.25	2.5-3.0	1.2-2	0.05-0.10	1.4-2
S31803	0.03	21.0-23.0	4.5-6.5	2.5-3.5	2.00	0.08-0.20	1.00
S32304	0.03	21.5-24.5	3.0-5.5	0.05-0.6	2.5	0.05-0.20	1.0
S32550	0.03	24.0-27.0	4.5-6.5	2.9-3.9	1.5	0.10-0.25	1.0
S32750	0.03	24.0-26.0	6.0-8.0	3.0-5.0	1.2	0.24-0.32	1.0
S32760	0.03	24.0-26.0	6.0-8.0	3.0-4.0	1.0	0.30	1.0
S32900	0.06	23.0-28.0	2.5-5.0	1.0-2.0	1.00	-	0.75
S32950	0.03	26.0-29.0	3.5-5.2	1.0-2.5	2.00	0.15-0.35	0.60

Kromun sağladığı yüksek korozyon dayanımı ve nikelin artırdığı mekanik dayanım sayesinde iyi çalışma şartları elde edilmiş olur. Dupleks alaşımların hepsinde molibden bulunması korozyon ve bölgesel oyuklaşma (pitting) direncini artırır. Tane sınırlarında α ve γ fazlarında krom karbür çökmesini en aza indirmek için karbon yüzdesi düşük olup %0.03–0.08 C arasındadır [7].

1970’ lerden bugüne kullanımlarında hızlı bir artış görünen çift fazlı (dupleks) paslanmaz çelikler kullanıcıya pek çok avantaj sağlamaktadır. Bu tip alaşımların sağladığı belirli avantajlara örnek olarak daha yüksek mekanik dayanım (ostenitik alaşımların yaklaşık iki katı), ferritik çeliklere kıyasla daha gelişmiş tokluk ve süneklik ve klorürlü ortamlarda oyuklaşma (pitting) ve gerilmeli korozyona karşı daha iyi direnç gösterilebilir. Böylece iki fazlı ince taneli, yüksek dayanımlı ve iyi korozyon dirençli bir çelik ortaya çıkmaktadır [7,8,13].

Dupleks paslanmaz çeliklerin akma sınırları 550–690 MPa aralığındadır. Yüksek alaşımlı ve ferritik matrise sahip dupleks paslanmaz çelikler uzun süre yüksek sıcaklık etkisinde kaldıklarında kırılma ve mekanik dayanım, özellikle de tokluk

gibi mekanik özellikler azalır. Bu nedenle bu çelikler genelde 300°C' den düşük sıcaklıklar için uygundur [8].

Bütün paslanmaz çelikler için olduğu gibi dubleks paslanmaz çeliklerde de korozyon direnci üzerine esas rolü çeliğin bileşimi oynar. Bu tip çelikler en çok oyuklaşma (pitting) korozyonundan etkilenir. Malzemenin oyuklaşma korozyonuna karşı gösterdiği direnci belirlemek için genelde aşağıdaki eşitlik (PRE) kullanılır. Bu eşitlik oyuklaşma korozyon direncine etki eden krom, molibden ve azot elementlerinin miktarlarına bağlı olarak denklem 2.1' deki gibi hesaplanır [8]:

$$PRE = \%Cr + 3.3(\% Mo) + 16(\%N) \quad (2.1)$$

Dubleks paslanmaz alaşımların bileşimlerine göre hesaplanan PRE değerlerinin değişimi Tablo 2.11' de verilmiştir [8].

Tablo 2.11: Dubleks paslanmaz çelikler için hesaplanan PRE değerleri [8].

UNS gösterimi	PRE değeri
S31200	30.2 – 35.8
S31260	33.9 – 42.4
S31500	27.1 – 30.5
S31803	30.5 – 37.8
S32304	22.5 – 29.7
S32550	35.2 – 43.9
S32750	37.7 – 47.6
S32760	40(min)
S32900	26.3 – 34.6

Bu tip paslanmaz çelikler üstün özelliklerinden dolayı değişik biçim ve boyutlarda geniş kullanım alanı bulurlar. Isı eşanjörü, petrol, gaz ve deniz suyu boruları ile bağlantı elemanlarında, deniz petrol platformlarında, gaz kuyularında, taşıyıcı kaplarda, döküm pompa ve vana gövdelerinde, gemi pervanesi ve parçaları yapımında, jeotermal uygulamalarda büyük ölçüde kullanılmaktadırlar. Bu tür paslanmaz çelikler sıvı ve klorlu ortamlarda gerilmeli korozyon çatlağı ve oyuklaşma

(pitting) korozyonu gibi sorunlardan dolayı ostenitik paslanmaz çeliklerin yerine de kullanılırlar [8,17].

2.4.5. Çökeltme sertleşmeli paslanmaz çelikler

Çökeltme sertleşmeli paslanmaz çelikler bakır, molibden, niyobyum, titanyum ve alüminyum gibi alaşım elementleri içeren ve bu elementlerin bir veya birkaçının etkisiyle çökeltme sertleşmesi gösteren Fe-Cr-Ni' li paslanmaz çelikler ailesinin bir türüdür. Böylece kristal kafesi gerilerek malzemenin dayanımı artar. Bu olay çökeltme sertleşmesinin temelini oluşturur. Sertliğin artış nedeni, çökeltme fazın taneciklerinin, dislokasyon hareketlerini engelleyici bir etki göstermesidir. Çökeltmeyle sertleşebilen paslanmaz çelik alaşımları tavllanmış halde martenzitik ya da ostenitik çeliklerden herhangi biri olabilir. Çökeltme sertleşmesi uygulanan paslanmaz çelikler kendi aralarında martenzitik, yarı-ostenitik ve ostenitik olarak üçe ayrılabilirler [7,15,17].

Çökeltme sertleşmesi, prensip olarak üç aşamadan oluşur. İlk aşamada 760–955°C' de çözültüye alma tavlama uygulanır ve ardından çökeltmeyi engellemek için ikinci aşamada hızlı soğutma işlemi gerçekleştirilir. Son aşama olarak da 500–600°C' de yaşlandırma işlemi uygulanır. Yaşlandırma işlemi, malzemede istenilen özellikler sağlanıncaya kadar uygun sıcaklıkta tutmayla gerçekleştirilir. Solidüsün altındaki bir sıcaklıkta belirli bir süre bekletilerek önemli dayanım artışları elde edilir. Buradaki amaç, alaşım içinde ince, dağınık çökeltmelerin oluşması sonucu malzemenin sertlik ve dayanım değerlerinin artırılmasıdır. Bu işlem daha yüksek sıcaklıklarda yapılırsa, çökeltmelerin birleşip büyümesi sonucu dislokasyon hareketini engelleyen etkisi azalır. Dolayısıyla dayanım artışı da azalır [7,17,19].

Paslanmaz çeliklerin çökeltme sertleşmesi prensipleri 1930' lu yıllarda bilinmesine karşın, bu tür paslanmaz çelikler ile ilgili araştırmalar 2. Dünya Savaşı yıllarında süregelen ve Stainless W olarak adlandırılan ilk ticari çökeltme sertleşmeli paslanmaz çeliğin üretimi 1946 yılından sonra başlamıştır [13].

Bu grup paslanmaz çeliklerden düşük karbon içerdiklerinde bile üstün mekanik özellikler elde edilebilir. Bu tip çeliklerde sertleştirilebilir 400 serisi martenzitik paslanmaz çelikler gibi 1700 MPa' a kadar akma sınırı değerlerine ulaşılabilir. Yaşlanmadan önce yapılan soğuk şekil verme ile daha yüksek mekanik dayanımlara da ulaşılabilir. Bu grup çeliklerin hem korozyon dayanımı hem de dayanım/ağırlık oranı yüksektir. Bu tip çelikler genelde orta seviye korozyon direnci ile tokluğa sahiptirler. Dayanım ve korozyon özelliklerinin bileşimi martenzitik alaşımlardan daha iyidir. Bu çeliklerin söz konusu özellikleri göstermesi daha yüksek Cr, Ni ve Mo içerikleri ile sınırlandırılmış C (%0.4 max) seviyesi ile ilgilidir. Martenzitik çökeltme sertleşmeli paslanmaz çeliklerdeki düşük karbon içeriği, özellikle tokluk ve süneklik özellikleri sağlar [2, 8, 15, 17].

Bu tip çelikler 425°C üzerindeki sıcaklıklardaki iyi mekanik özellikler ve korozyon direncinden dolayı endüstriyel ve askeri uygulamalarda kullanılırlar. Tipik kullanım yerleri, dişli kutuları, yakıt tankları, uçak motorları, uçakların dış yüzeyleri, uçak iniş takımları, füze gövdeleri, pompalar, miller ve kesici takımlardır [7,17].

AISI standartlarında 6XX serisi içine alınan ancak teknik literatürde bu seri yaygın kullanım alanı bulamadığı için uygulamada standart olmayan kaliteler arasında ticari simgeleri ile tanınan çökeltme sertleşmeli paslanmaz çelikler ve kimyasal bileşimleri Tablo 2.12' de verilmiştir [17].

Tablo 2.12: Çökeltme sertleşmeli paslanmaz çelikler ve kimyasal bileşimleri [17].

	Kimyasal bileşim ^a (%)									
	Cr	Ni	C	Mn	Si	Cu	Mo	Ti	Al	Diğer
Martenzitik Çökeltme Sertleşmeli Türler										
StainlessW ^b	16.7	6.7	0.07	0.5	0.5	-	-	0.8	0.2	-
17-4 PH	16.5	4.2	0.04	0.4	0.5	3.6	-	-	-	Nb+Ta 0.25
15-5PH (XM-12)	15.0	4.6	0.04	0.25	0.4	3.5	-	-	-	Nb+Ta 0.35
CROLOY16-6PH	15.7	7.5	0.03	0.8	0.45	-	-	0.6	0.4	-
CUSTOM 450 (XM-25)	14.9	6.5	0.03	0.3	0.25	1.5	0.8	-	-	Nb+Ta 0.75
CUSTOM 455 (XM-16)	11.7	8.5	0.03	0.2	0.2	2.25	-	1.2	-	Nb+Ta 0.30
PH13-8Mo (XM-13)	13.0	8.0	0.04	0.05	0.05	-	2.25	-	1.0	-
ALMAR362 (XM-9)	14.5	6.5	0.03	0.3	0.2	-	-	0.8	-	-
IN-736	10.0	10	0.02	0.1	0.1	-	2.0	0.2	0.3	-
Yarı – Ostenitik Çökeltme Sertleşmeli Türler										
17-7PH	17.0	7.0	0.07	0.70	0.40	-	-	-	1.15	-
PH15-7Mo	15.0	7.0	0.07	0.70	0.40	-	2.25	-	1.15	-
AM-350	16.5	4.25	0.1	0.75	0.35	-	2.75	-	-	N 0.10
AM-355	15.5	4.25	0.13	0.85	0.35	-	2.75	-	-	N 0.12
PH14-8Mo ^c (XM-24)	15.5	8.75	0.05	0.1	0.10	-	2.5	-	1.35	-
Ostenitik Çökeltme Sertleşmeli Türler										
17-10 P	17.0	10.5	0.12	0.75	0.5	-	-	-	-	P0.28
HNM	16.5	9.5	0.3	3.5	0.5	-	-	-	-	P 0.25
A - 236	15.0	25.0	0.06	1.2	0.5	-	1.2	2.0	0.25	V 0.30
^a Geri kalanı demir ^b Ferritik yapıca üstün ^c Vakum endüksiyon fırınında üretilmiş, Parantez içindeki simgeler ASTM'e göredir.										

BÖLÜM 3. KOROZYONUN TANIMI

3.1. Giriş

Yeraltı zenginliklerinin önemli bölümünü oluşturulan metaller elde edilişleri sırasında pek çok işlemde geçirilirler. Metaller ise çevreleriyle etkileşim içerisine girerek eski hallerine dönme eğilimi gösterirler. Bu bozunma sürecine korozyon denir. Korozyon sonucu metalin mekanik direncini yitirmesi özellikle işletmelerde büyük sorunlara yol açmakta ve ekonomik bakımdan büyük zararlara sebep olmaktadır [4].

Metalik korozyon biliminin temel ilkelerinin anlaşılması korozyonu denetleme için zorunludur. Söz konusu bilgiler arttıkça deneye dayalı yaklaşımdan çok bilimsel ilkelerin uygulanması, korozyon inhibitörlerinin seçimi, korozyona dayanıklılık gösteren alaşımların formüle edilmesi, katodik koruma ve anodik koruma gibi amaçlar için kullanılabilir [21].

Metal korozyonları sulu ortamlarda (sulu korozyon, nemli korozyon ve bunun gibi) ya da susuz ortamlarda (kuru korozyon veya yüksek sıcaklık korozyonu) yürüyebilir. Korozyon tepkimeleri metalin ve ortamın yapısına, sıcaklığa, zamana ve oluşan türlere bağlıdır. Korozyon metaller için kaçınılmazdır. Ancak korozyonun önlenmesi için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemleri, malzeme yapısını seçmek, ortamın değiştirilmesi, boya ve kaplamalar, metalin şekil tasarımı, anodik ve katodik koruma ile inhibitör kullanımı olarak sıralayabiliriz. Son zamanlarda inhibitör kullanımı bu yöntemler içerisinde en çok tercih edilenidir [4].

Korozyonu önlemede çok çeşitli tip ve bileşimde inhibitörler bulunmuştur. İnhibitörler anot veya katot tepkimelerini ya da her ikisinin hızlarını azaltarak korozyon hızını yavaşlatırlar [22].

Korozyondan korunma konusu yıllardan beri dile getirilen ancak bir türlü gereken önemin verilmediği bir konudur. Bu konu, son yıllarda Avrupa Birliği sürecine girilmesiyle, ayrıca yabancı standartların ve yabancı yatırımcıların dayatması ve ülkemizdeki bilinçli yetişmiş eleman sayısının artması neticesinde yavaş yavaş hak ettiği konuma ulaşmaktadır [23].

Korozyondan dolayı uğranan ekonomik kayıp gelişmiş ülkelerde GSMH'nin %1' i iken az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde bu oran %5' lere ulaşmaktadır. Bu oran ülkemizin tahammül edemeyeceği kadar yüksek rakamlarda kaynak kaybı anlamına gelmektedir. Sanayide kullanım bulan metallerin büyük çoğunluğu çok farklı ortamlarda kararlılıklarını kaybederler. Altın ve platin dışındaki metallerin tamamı doğada oksitlenmiş halde bulunurlar. Metalleri oksitlerinden ayırmak zorlu bir süreçtir ve büyük miktarlarda hammadde, enerji ve insan gücü kullanımı ile gerçekleşir. Termodinamik anlamda, bu süreç sonunda metaller daha yüksek bir enerji düzeyine taşınırken, entropileri düşer. Metallerin doğadaki durumlarına dönme eğilimi korozyon olayının gerisindeki itici güçtür [23].

Korozyon yavaş seyreden bir olaydır. Bu nedenle, zararlı sonuçlarının ortaya çıkması uzun zaman alır. Bu olgu, metalik yapıların tasarımında korozyonun göz ardı edilmesinin başlıca nedenidir. Gerçekte, korozyon sanayide yatırım ve üretim maliyetlerini belirleyen başlıca etmenlerdendir. Bazı tahminlere göre, korozyonun bir ulusa maliyeti gayri safi milli hâsılının %3.5–5.0' ine ulaşmaktadır. Türkiye için bu değer %4.5' den daha az olmadığına ilişkin tahminler vardır. Çevre kirliliği ve emniyet ile ilgili endişelerin giderek arttığı günümüzde, bilim adamları ve mühendislere düşen görev korozyonun etkin kontrolünü sağlayacak teknikleri geliştirip uygulamaktır [23].

3.2. Korozyonun Ülke Ekonomisi Açısından Önemi

Korozyon metalik malzemelerin uğradığı bir hasar, bir zarardır. Ekonomik açıdan her ülkenin büyük kayıplara uğramasına neden olur. Korozyon her şeyden önce insan hayatını ve sağlığını zarara sokan bir olaydır. Bunun dışında korozyon nedeni ile

uğranılan zararları kısaca Şu Şekilde özetleyebiliriz [23]:

1. Bakırın korozyon ürünlerinin insan sağlığı için çok zararlı olması nedeniyle bakır kaplar yüzyıllarca kalayla kaplanarak kullanılmışlardır. Uçaklarda bazı önemli parçaların korozyon nedeniyle kırılması (korozyonlu yorulma, gerilmeli korozyon çatlaması gibi nedenlerle) uçağın düşmesine ve can kaybına neden olabilir.
2. Korozyon dünyadaki sınırlı metal kaynaklarının en önemli israf nedenidir. Her yıl üretilen metalik malzemelerin yaklaşık 1/3' ü korozyon nedeni ile kullanılmaz hale gelir. Devre dışı kalan metalik malzemeler hurda olarak kısmen değerlendirilebilirse de 1/3' ü bir daha geri kazanılamamak üzere kaybedilir, yani doğaya geri döner. Bu ise yıllık metalik malzeme üretiminin 1/10' unun, korozyon nedeniyle bir daha geri kazanılamamak koşulu ile kaybı demektir.
3. Korozyon nedeniyle malzeme kaybı yanında sermaye-emek-enerji ve bilgi kaybolur. Metalik malzemelerin üretimi sermaye-emek-enerji ve bilgi gerektirir. Korozyon nedeniyle kullanılamaz hale gelmeleri ilave kayıplara neden olur.
4. Korozyon ortamı kirletir ve ayrıca kirli ortam metal korozyonunu hızlandırır. Metalik malzemelerin doğaya geri dönen kısmı ortamı kirletir. Kirli ortam ise korozyonu hızlandırır. Örneğin, metalik safsızlıklarla iletkenlik ve dolayısı ile korozyon artar. Bakır iyonu içeren sular dökme demir veya alüminyum yüzeyle temas edince bakır metalik hale döner ve metali (dökme demir veya alüminyum) çözer; ayrıca açığa çıktığı bölgelerde korozyonu hızlandırır, delikler, oyuklar oluşumuna neden olur. Metal kaybı yeni metal üretimini ve dolayısı ile ilave çevre kirlenmesine neden olarak atmosferin ve suyun kirliliğini artırır. Kirli ortamda ise metaller daha hızla korozyona uğrarlar.
5. Korozyon olarak nitelendirilebilecek çözünmeler teknolojinin gelişimi ile daha aşaağı sınırlara çekilmektedir [23].

Korozyon kayıpları ciddi bir ekonomik kayıp demektir. Korozyon, metalik malzeme kullanılan her alanda meydana gelen doğal bir olaydır. Korozyon maddi kayıplardan başka, çevre kirliliğine de yol açar. Bu nedenle, korozyon ve korozyonu önleme ilkelerinin metal malzeme kullanan her kesim ve özellikle teknik elemanlar tarafından bilinerek uygulanmasında büyük yararlar vardır. Korozyonu önleme yöntemlerini doğru uygulamak suretiyle korozyon kayıpları %20 ile 40 arasında azaltılabilir.

3.3. Korozyonun Tanımı ve Elektrokimyası

3.3.1. Korozyonun tanımı ve genel ilkeleri

Latince, çevresi tarafından aşındırma anlamına gelen “corrosus” dan türetilmiş olan korozyon kelimesi DIN 50900’ de şu şekilde tanımlanmaktadır: “Hammaddenin ölçülebilir bir değişme göstermesine neden olan ve metal bir yapı parçasının veya bir bütün sistemin fonksiyonuna zarar veren, metal malzemenin çevresiyle reaksiyonudur” [24].

Yine aynı normda açıklanan “korozyon zararı” basit olarak şöyle tanımlanabilir: “Korozyon nedeniyle metal bir yapı parçasının veya bir bütün sistemin fonksiyonuna verilen zarardır” [24].

Genel olarak maddelerin, özel olarak metal ve alaşımların çevrenin çeşitli etkileriyle kimyasal ve elektrokimyasal değişme ya da fiziksel çözünme sonucu aşınmasına korozyon denir [21].

Bütün metaller doğada mineral olarak buldukları hale dönüşme eğilimindedirler. Doğada mineraller, söz konusu metalin en düşük enerji taşıyan bileşiği yani en karalı halinde bulunurlar. Bu mineraller özel metalurjik yöntemlerle ve enerji harcanarak metal haline getirilirler. Ancak metallerin çoğu, element halinde termodinamik olarak kararlı değildir. Metaller uygun bir ortamın bulunması halinde üzerinde taşınmış oldukları kimyasal enerjiyi geri vererek yeniden minimum enerji taşıyan

kararlı bileşikler haline dönüşmek isterler. Bu sebeple korozyon olayı enerji açığa çıkararak kendiliğinden yürür. Bazı soy metaller hariç teknolojik öneme sahip bütün metaller ve alaşımlar korozyona uğrayabilir [22].

Metallerin çevresiyle etkileşerek oluşturdukları bileşiklere korozyon ürünleri adı verilir. Bunlar ortam şartlarına bağlı olarak metal yüzeyinden hemen uzaklaşabilir (birçok sulu hareketli ortamda olduğu gibi) ya da yüzeyde kalabilirler. Korozyon ürünlerinin yüzeyden hemen uzaklaşması korozyonun sürmesi demektir. Ancak, ürünlerin yüzeyde kalması halinde, korozyonun zamanla azalması veya tamamen durması söz konusudur. Metal yüzeyinde kalan ve sıkı film oluşturan ürünler, çoğunlukla oksitler korozyonun belirli bir aşamasından sonra korozyonu önlerler. Bu tür oksitler “koruyucu metal oksitler” olarak bilinirler [22].

Malzemelerin zaman içerisinde buldukları ortamın etkisiyle tahribata uğraması korozyon olarak tanımlanır. Korozyonun en fazla görüldüğü malzeme türü ise elektrokimyasal reaksiyonlara eğilimlerinin yüksek olmasından dolayı metallerdir. Metallerin korozyona uğrama miktarları oksijene olan ilgileriyle ilgilidir. Serbest halde kararlı olan(titanyum vb.) metallerin korozyon dayanımları daha yüksek iken, oksijen ilgisi nispeten daha fazla olan(demir vb.) metaller daha kolay oksitlenme eğilimindedirler. Metallerin korozyona uğramaları için ana kıstas oksijen ilgileriyle bunun yanı sıra birçok yan etken de mevcuttur. Örneğin alüminyum, oksijen ilgisinin iyi olmasından dolayı korozyon direnci yüksek bir malzeme halini alır. Şöyle ki, alüminyumun dış yüzeyi çok hızlı oksitlenir ve yüzey tamamen oksitlendikten sonra oksitlenme durur, böylece daha alt yüzeylerin oksitlenmesi engellenir. Yani yüzey oksitlenmeye karşı alüminyum oksitle kaplanmış olur. Halk arasında demirin korozyonuna paslanma adı verilir. Pas; $Fe(OH)_2$ formüllü bir korozyon ürünüdür. Metallerin korozyonları içerisinde en önemli ve tehlikeli boyutta olanı demirin korozyonudur. Üretim kolaylıkları ve düşük maliyet birçok yerde çelik ve demir kullanımını yaygınlaştırmıştır. Özellikle boru hatlarında ve tanklarda metal üzeri korozyona karşı korunma amaçlı kaplanmaktadır. Ancak bu kaplamanın herhangi bir noktasında oluşabilecek muhtemel tahribat neticesinde belli noktadan başlayarak çok hızlı şekilde korozyon mekanizması çalışmaya başlar [23].

3.3.2. Korozyonun termodinamiği

Tüm olaylar gibi korozyon olayı da termodinamik yasalarına uyar, yani metaller doğada buldukları kararlı bileşiklerine dönüşme eğilimi gösterirler. Altın ve platin gibi soy metaller doğada metal olarak bulunurlar. Bunlar dışında kalan metaller, su, hava, çeşitli gazlar, buharlar ve atmosferik etkenlerin etkisiyle giderek aşınırlar. Diğer bir deyişle, metaller korozyona uğrarlar ve başlangıçta doğada buldukları en kararlı oksit, karbonat, sülfat gibi minerallere dönüşürler [22].

Korozyon reaksiyonunun yürütücü kuvveti, reaksiyon sırasında açığa çıkan enerji, yani serbest entalpi azalışıdır. Termodinamik olarak, bir reaksiyonun kendiliğinden yürüyebilmesi için reaksiyonunun serbest entalpi değişiminin mutlaka negatif olması gerekir. Eğer serbest entalpi değişiminin işareti pozitif ise, metalin söz konusu ortamda korozyona uğramayacağı kesin olarak söylenebilir. Serbest entalpi değişiminin negatif olması durumunda ise, korozyon olayının gerçekleşebileceği açıktır. Ancak bazı hallerde metalin termodinamik açıdan korozyona uğraması beklendiği halde, pratikte reaksiyonun yürümediği veya önemsiz derecede yavaş yürümekte olduğu görülür. Bu durum kabuk oluşumu ve pasifleşme gibi sebeplerle reaksiyon hızının azalmasından kaynaklanır [4].

3.3.3. Korozyonun elektrokimyası

Korozyon elektrokimyasal bir reaksiyondur. Bir korozyon olayının yürüyebilmesi için aşağıdaki koşulların sağlanması gerekir [4]:

- Anot ve Katot bölgeleri olmalıdır.
- Anot ve Katot arasında potansiyel farkı olmalıdır.
- Anot ve Katodu birleştiren elektronik iletken (ya da metalik iletken) bir yol bulunmalıdır.
- Anot ve Katot elektriksel iletken olan yani, iyonlarına ayrılmış olan bir elektrolit içine daldırılmış olmalıdır.

Koşullar göz önüne alınırsa en korozif ortamın, çeşitli maddeler içeren sulu ortamlar olduğu görülür. Metalin bulunduğu ortamda su, yoğunlaşmış kalın ya da ince nem tabakası bulunuyorsa bu ortamdaki korozyona “sulu ortam korozyonu” denir. Saf su fazla korozif değildir. Ancak ortam

- Oksijen
- Karbondioksit
- H₂S
- Amonyak
- Asitler, bazlar ve asit tuzları
- Oksitleyici maddeler

içerdiği zaman korozif etki artar.

Bütün korozyon hücreleri bir pile benzetilebilir. Bir korozyon hücresi ya da bir pilin çalışması esnasında temel olay, hücrelerin metal/elektrolit ara yüzeylerinde elektron aktarım (transfer) olayıdır. Sistemde toplam elektron sayısı sabit kalır. Bu elektron aktarımını yürüten kuvvet yarım hücrenin elektromotor kuvveti (emk) farkıdır [22].

Bir yükseltgenme tepkimesi ya da anodik tepkime değerliğin artması veya elektron verilmesiyle belirtilir. Değerliğin düşmesi ya da elektron harcanması, bir indirgeme veya katodik tepkimeyi gösterir. Yükseltgenme ve indirgenme tepkimelerinin her ikisi de metal yüzeyinde aynı zamanda ve aynı hızda yürümelidir. Eğer bu olmazsa, metalin elektrikle yüklenmesi gerekir. Bu ise olanaksızdır çünkü elektrik yükü birikmez. Bundan dolayı, metalik korozyon sırasında yükseltgenme hızı indirgenme hızına eşittir [22].

Elektron verme (oksidasyon) ve elektron alma (redüksiyon) şeklinde meydana gelen reaksiyonlara “elektrokimyasal reaksiyonlar” denilir. Su içinde, atmosferde ve toprak altında meydana gelen bütün korozyon reaksiyonları elektrokimyasal reaksiyonlardır. Korozyonun meydana gelebilmesi için, korozyon hücresi çevriminin kesintisiz çalışması gerekir. Yani anottaki kimyasal değişim sonucunda meydana gelen metal iyonlarının çözültüye geçmesi sırasında açığa çıkan elektronlar, elektronik iletken vasıtasıyla katoda taşınırlar. Metallerde elektron hareketi ile elektrik akımının yönü birbirine terstir. Akım, birim zamanda hareket eden elektronların bir ölçüsü olduğu

için aynı zamanda anotta meydana gelen kimyasal değişimin de miktarını gösterir. Katot yüzeyinde harcanan elektronlar, oksijenin (O₂) hidroksil (OH⁻) iyonu haline dönüşmesine neden olur. İyonların sulu çözelti içerisindeki hareketi sayesinde anot ile katot arasında elektrik akımı meydana gelir. Pozitif yüklü iyonlar katoda, negatif yüklü iyonlar da anota giderler. Böylece, hücre çevrimi tamamlanmış olur [23].

Korozyona neden olan en önemli katodik etken, sulu ortamda çözülmüş oksijen gazının redüksiyonudur. Bunu hidrojen iyonunun redüksiyonu izler. Asit ortamlarındaki hidrojen iyonu oranı, çözülmüş oksijen iyonu oranından çok daha fazladır. Bu nedenle asidik çözeltilerdeki hidrojen iyonu redüksiyonu önemli bir katodik olaydır. Ayrıca, sulu çözeltilerde indirgenen (redüklenebilen) diğer iyonlar da katodik reaksiyona neden olabilirler [23].

Korozyon tepkimeleri de elektrokimyasal yarı tepkimeler şeklindedir. Metalin, ortam içindeki yükseltgeyiciler ile tepkimeye girerek yükseltgenmesi, yani korozyona uğraması elektrokimyasal reaksiyonlar sonucudur [4].



Metalin çözünerek M²⁺ iyonlarına dönüşmesini ve hidrojen çıkışını yarı pil tepkimeleri şeklinde yazacak olursak [4];

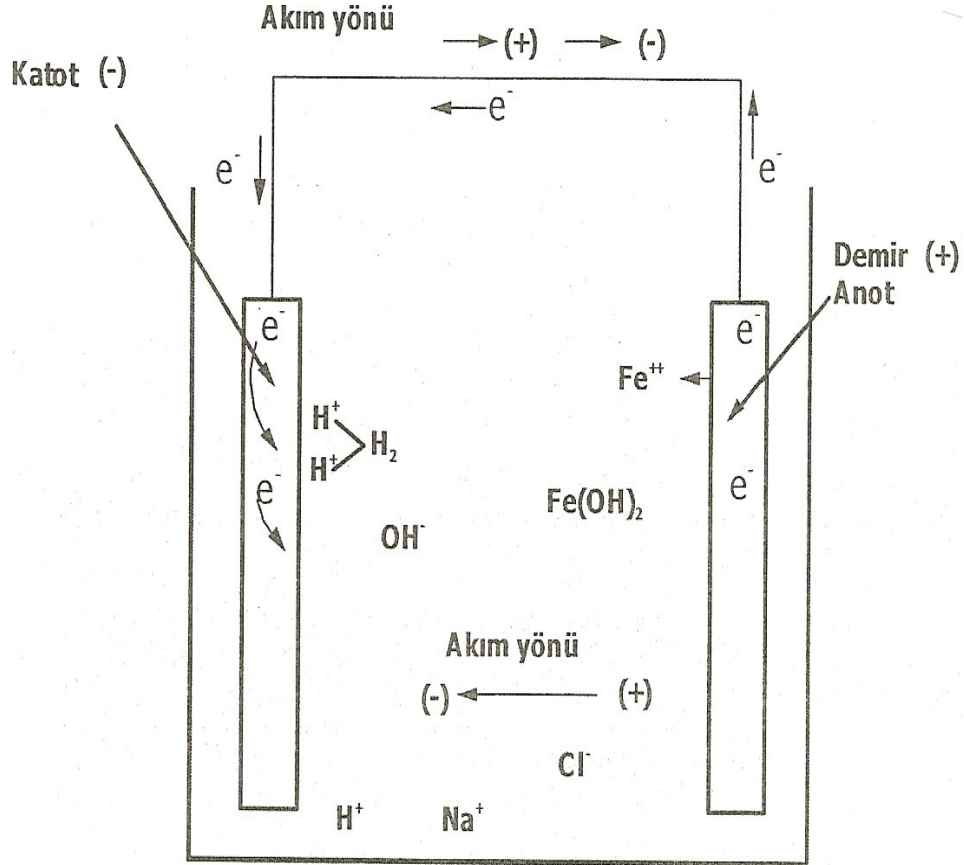


Korozyon hücresinin katodunda daima indirgenme olacağından korozyon gerçekleşmez. Metalik korozyonda yürüyen çeşitli katodik tepkimeler vardır [4]:



Farklı iki metal ya da safsızlık içeren metallerde, daha soy olan metal katot, diğeri ise anot görevi görerek elektrokimyasal tepkimeleri gerçekleştirir. Sulu ortamda bulunan metal ise elektrolit/metal ara yüzeyinde oluşan etkileşimler sonucu korozyon

tepkimleri meydana getirebilir. Elektrolit içine daldırılmış iki farklı metal arasında doğal potansiyel fark sebebiyle elektronlar, anottan katoda doğru akarlar [4].



Şekil 3.1: Metalik korozyonun şematik gösterimi [4].

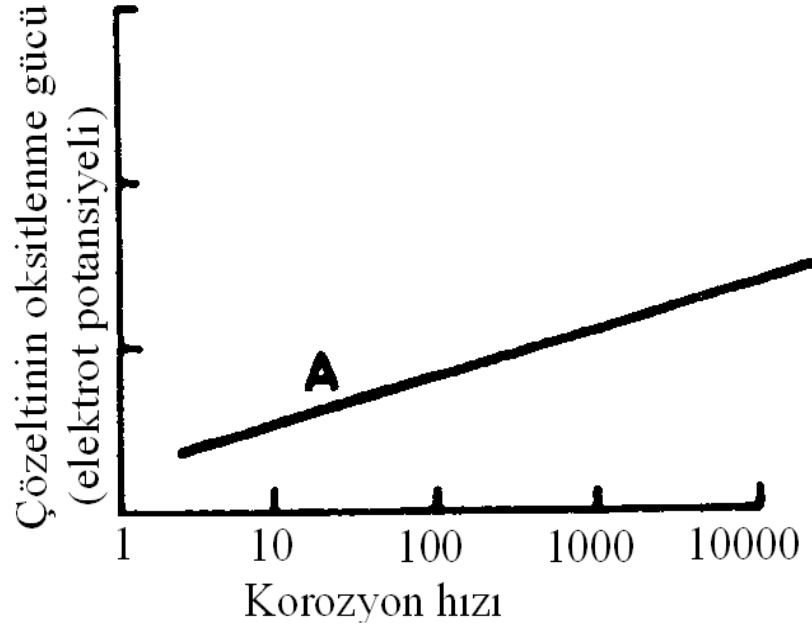
Şekil 3.1' de görüldüğü gibi M^{2+} iyonları anotta oluşur ve çıkan e^- katoda doğru akar. Katotta ise, H^+ indirgenerek H_2 gazı oluşur. Bu sırada anottaki metalin çözünerek korozyona uğradığı görülür. Katottaki metal ise çözünmez [4].

Korozyon hücresindeki elektrokimyasal tepkimeler, korozyon hızının belirlenmesinde kullanılır [4].

3.3.4. Pasiflik

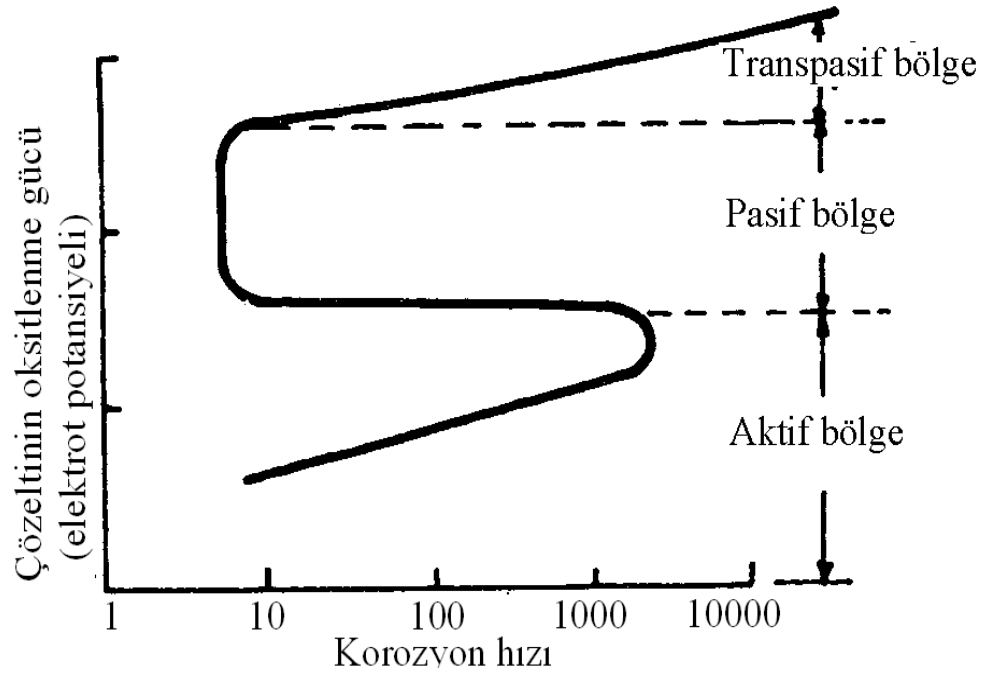
Pasiflik, özel çevre koşullarında bazı metal ve alaşımların kimyasal etkinliklerini yitirmesi ve sanki platin, altın gibi, soy metalmiş gibi davranması olarak tanımlanır.

Genel olarak mühendislikte yapı malzemesi olarak kullanılan demir, nikel, silisyum, krom, titanyum ve bunların alaşımları gibi pek çok malzeme pasifleşme özelliği gösterdiğinden pasifleşme mühendislik açısından önemlidir. Pasifleşme gösteren metallere aktif-pasif metaller de denir [21].



Şekil 3.2: Pasifleşmeyen bir metalde korozyon hızının çözeltinin elektrot potansiyeline bağlı olarak yarı logaritmik değişimi [21].

Pasifleşmeyi iyi anlayabilmek için önce pasifleşme göstermeyen bir metali inceleyelim. Böyle bir metalin korozyon hızının metalin içinde bulunduğu çözeltinin oksitlenme gücü arttıkça üstel bir şekilde arttığı görülmüştür. Çözeltinin oksitlenme gücüne bağlı olarak korozyon hızındaki artışın yarı logaritmik gösterimi Şekil 3.2' te verilmiştir [21] (Şekil 3.2).



Şekil 3.3: Pasifleşebilen bir metalde korozyon hızının çözeltinin elektrot potansiyeline bağlı olarak yarı logaritmik değişimi [21].

Pasifleşebilen bir metalin elektrot potansiyeline bağlı olarak değişimi ise Şekil 3.3' te verilmiştir. Pasifleşebilen bir alaşımda bu durum aktif bölge, pasif bölge ve transpasif bölge olmak üzere üç bölgeye ayrılarak incelenebilir. Aktif bölgede bu metalin durumu pasifleşmeyen metalin durumu ile aynıdır. Çözeltinin potansiyelindeki biraz artış ile korozyon hızı önemli ölçüde artar. Pasifleşebilen bir metalde korozyon hızı genellikle aktif bölgeden pasif bölgeye geçerken yaklaşık 10^3-10^6 kat kadar azalır. Pasifleşebilen bir metalde, elektrot potansiyeli daha da artış gösterip aktif bölgeden sonra pasif bölgeye geçilirse korozyon hızında birden azalma gözlenir. Korozyon hızında azalmanın başladığı nokta, pasif bölgenin başlangıç noktasıdır. Ardından, elektrot potansiyelinin daha da artmasıyla metalin korozyon hızı ya çok az değişir ya da hiç değişmez (pasiflik bölgesi). Pasiflik bölgesinde metal yüzeyinde koruyucu bir oksit tabakası oluşmaktadır. Son olarak elektrot potansiyelinin artmasıyla oksit tabakasının bozunması sonucu pasif bölgeden transpasif bölgeye geçilerek korozyon hızı tekrar artmaya başlar [21] (Şekil 3.3).

3.4. Korozyonun Önlenmesi

Korozyonu önlemek veya korozyondan korunmak için birçok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden bazıları şunlardır [23]:

- Saf metal kullanımı
- Alaşım elementi katma
- Isıl işlem
- Uygun tasarım
- Katodik koruma
- Korozyon önleyicisi (inhibitör) kullanımı
- Yüzey kaplama

şeklinde sıralanabilir.

3.5. Korozyon Hızını Belirleme Yöntemleri

Korozyon olayı, metal ve etkileştiği ortamın türüne göre şekillenir. Ancak, korozyonun türünü ve hızını etkileyen pek çok faktör vardır. Korozyon hızını kontrol altına almak veya hızı belirlemek, korozyon tepkimelerinin önlenmesi ve hatta durdurulması için çok faydalıdır. Korozyon hızını belirlemede kullanılan yöntemler; kütle azalması yöntemi, galvanostatik yöntem, potansiyostatik yöntem olarak sıralayabiliriz [4].

Kütle azalması yönteminde, metal yüzeyinin her tarafında hızla çözünmenin olduğu koşullarda korozyon hızı kütle azalması olarak verilebilir [4].

$$\text{korozyon hızı} = \frac{\text{kütle azalması}}{\text{metalin yüzey alanı} \times \text{zaman}} \quad (3.6)$$

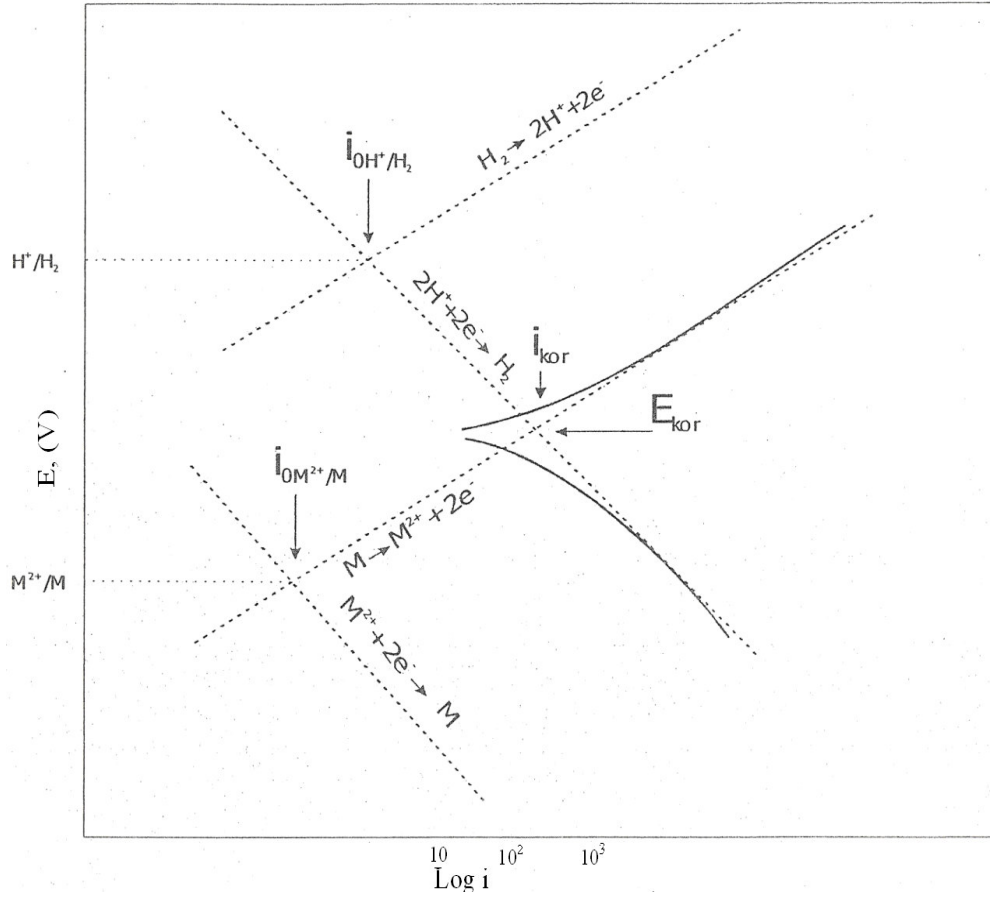
Kütle azalması yönteminde, korozyon ortamına bırakılmış bir malzemenin kütledeki azalma, gram (gr) ya da miligram (mg) ve % kütle değişimi olarak

belirlenerek malzemenin korozyona karşı direnci ölçülür. Bu yöntem çok uygulanan bir yöntem değildir. Çünkü kütle azalması, malzemenin korozyon ortamında kalmasına bağlıdır. Ayrıca, korozyona uğrayan malzemenin biçimi de korozyon hızını etkiler [22].

Galvanostatik yöntemde anodik ya da katodik polarizasyon eğrisi elde etmek üzere incelenen metal anot olarak bağlanıp, belirli bir akım direnci (R) değiştirilerek bu elektrotlara uygulanır ve onları karşılayan potansiyeller yüksek dirençli bir voltmetre ile ölçülür [4].

Potansiyostatik yöntemde ise, incelenecek metalin potansiyeli ayarlandıktan sonra akımın yönü ve miktarı ölçülerek polarizasyon eğrileri elde edilir. Bu yöntemde, Tafel-ekstrapolasyonu yöntemi, katodik polarizasyon eğrisinin korozyon potansiyeline ekstrapolasyonu yöntemi ve çizgisel polarizasyon yöntemi ya da polarizasyon direnci yöntemi olarak sınıflandırılır [22].

Korozyona uğrayan metal için elde edilen akım-potansiyel değerlerinden anodik ve katodik akım potansiyel eğrileri çizilir. Bu eğrileri çizebilmek için çalışılacak potansiyel aralığı korozyon hızının belirleneceği yöntemle göre seçilir. Şekil 3.4' de görüldüğü gibi, korozyon potansiyelinden başlayarak, katodik ya da anodik yönde çizilen yarı-logaritmik akım-potansiyel eğrileri Tafel eğimleri olarak bilinir. Bu eğrilerin ekstrapolasyonu alındığında, kesişen noktadaki potansiyel, korozyon potansiyeli ve buna karşılık gelen akım ise, korozyon akımıdır. Korozyon akımından korozyon hızına geçiş yapılır [4].



Şekil 3.4: Potansiyel-Akım yoğunluğu değişimi [4].

BÖLÜM 4. PASLANMAZ ÇELİKLERDE MEYDANA GELEN KOROZYON TÜRLERİ

4.1. Giriş

Korozyonu türlerine göre sınıflandırmak mümkündür. Her birinin biçimi çoğu kez çıplak gözle görülebilir, ama bazen büyütme de gerekebilir. Korozyona uğramış örneklerin ya da artık işe yaramaz hale gelmiş parçaların dikkatlice incelenmesi çoğu kez korozyon sorunlarının çözümünde değerli bilgiler sağlar. Özellikle temizlemeden önce bu gibi incelemeler yapılmalıdır [21].

Paslanmaz çeliklerde karşılaşılan başlıca korozyon çeşitleri aşağıda belirtilmiştir:

- 1- Genel korozyon
- 2- Tanelerarası korozyon
- 3- Galvanik korozyon
- 4- Oyuklaşma (pitting) korozyonu
- 5- Aralık korozyonu (crevice)
- 6- Gerilmeli korozyon çatlama (SCC)
- 7- Eroziv korozyon

Bu korozyon çeşitleri bazen aynı parçada birlikte de görülebilirler. Aşağıda bu korozyon türlerinin kendine özgü özellikleri, mekanizmaları, paslanmaz çelik türlerine göre kıyaslamaları ve korunma yolları tartışılacaktır [21].

4.2. Genel Korozyon

Korozyonun en genel türüdür. Bir paslanmaz çelik, yüzeyden pasif filmi soyabilen ve yeniden pasifleşmeye engel olabilen bir ortamda genel korozyona uğrar. Geniş bir yüzey ya da bütün yüzeyin her yanında kimyasal ya da elektrokimyasal tepkimenin aynı biçimde yürümesi ile metal yüzeyi her yanda aynı biçimde aşınır. Metal giderek incelir ve zamanla işe yaramaz hale gelir. Diğer korozyon çeşitlerine göre daha az tehlikeli olan bu tip korozyonda korozyon hızı, geçen zaman başına birim yüzey alandan olan kütle kaybı (normal olarak gr/m^2h) ya da geçen zaman başına metal yüksekliğindeki kayıp (mm/yıl) olarak belirtilebilir. Genel korozyona “homojen dağılımlı korozyon” da denir [8, 12, 21].

Bu tip korozyonun meydana gelme nedeni yanlış çelik seçimi olabilir. Örneğin, düşük kromlu ferritik bir paslanmaz çelik seyreltik sülfürik asit içine daldırılırsa çeliğin yüzeyi her yanda aynı hızla çözünür. Paslanmaz çeliklerin genel korozyonu genellikle kuvvetli asitler ya da alkali ortamlarda meydana gelir. Paslanmaz çelikler nitrik asit gibi oksitleyici asitlere karşı iyi direnç gösterirler. Bu nedenle, oksitleyici olmayan (ana olarak HCl ve hidroflorik asit) belirli ortamlardaki kullanılmaları nispeten düşük derişimler ve sıcaklıklar ile sınırlandırılmıştır. Aynı zamanda, paslanmaz çeliklerin kuvvetli asit çözeltileri içindeki korozyon direnci, doğal indirgeyici ve oksitleyici ilavelerin ya da safsızlıkların varlığından olumsuz yönde etkilenir. Üç değerlikli demir ve iki değerlikli bakırın tuzları gibi oksitleyici bileşikler nitrik asit ve çözünmüş oksijen içeren ortamlarda pasifleşirken, hidrojen sülfür ve sülfat dioksit gibi indirgeyici bileşenler içeren asit çözeltilerinde pasifleşemezler. Bununla birlikte, bazı durumlarda asit içinde oksitleyici bir etkinin varlığı daha yüksek genel korozyona sebep olabilir. Bu gibi durumlar oksitleyici etkinin varlığına rağmen, kararlı bir pasifizasyonun korunamadığı zamanlarda oluşur. Yüksek yoğunluklu nitrik asit ve kromik asit gibi aşırı derecede oksitleyici asitler içinde, transpasif şartların oluşmasından dolayı paslanmaz çelikte genel korozyon meydana gelir. Aynı zamanda ne oksitleyici ne de indirgeyici olan belirli maddeler asit çözeltilerinin korozyonunu etkiler. Bu gibi maddelerin çoğuna örnek olarak hem organik hem de inorganik asitlerin korozyonunu arttıran kloridler ve floridler verilebilir [8, 12, 21].

Ostenitik paslanmaz alaşımların asit içeren ortamlar ve endüstriyel atmosferler için en dirençli tür olduğu söylenebilir. Őartlar daha Şiddetli olduğunda ise (daha yüksek sıcaklıklar ve kuvvetli asitler gibi) daha fazla alaşım elementi gerekir [9].

Ferritik paslanmaz çeliklerde genel korozyona karşı direnç artan krom miktarı ile birlikte artar. Genel olarak, en iyi korozyon direnci, en yüksek krom içeriği ve aynı zamanda iyi bir çözelti tavlamaşı uygulamasıyla elde edilir [9].

Diğerlerine göre daha yüksek krom içeren çökeltme sertleşmeli alaşımların genel korozyon dirençleri iyidir. Fakat ısıl işlem ve yapı da genel korozyon direnci üzerinde önemli bir rol oynamaktadır. Çökeltme ya da yaşlanma reaksiyonları korozyon direncini azaltır. Bu yüzden, korozyon direnci esas alındığında tercihen yüksek oranda çökeltmeden kaçınılır. Korozyon direnci üzerine ısıl işlemin etkisi hakkında yayınlanmış çok az bilgi vardır. Bu nedenle, eğer verilerin hiçbiri uygun değilse potansiyel kullanıcıların tedarikçilere verileri belirtmesi tavsiye edilir [9].

Martenzitik paslanmaz çeliklerin korozyon dirençleri, daha önce de bahsedildiği üzere krom ve nikel içeriğinin sınırlanması sonucu zayıftır. Bazı yazarlar, martenzitik çeliklerin genel korozyon direncini iyileştirmek için ostenitlemeden hemen sonra su verilmesini önerirler. Ancak alaşımlar çok kırılğan olduklarından pratik amaçların çoğu için gerilme giderme tavlamaşı yapılmalıdır [9].

Genel korozyona karşı koruma sağlamak ya da korozyon hızını azaltmak için uygun elik seçimi, boyama, uygun inhibitör kullanımı ve katodik koruma gibi yollara başvurulur [21].

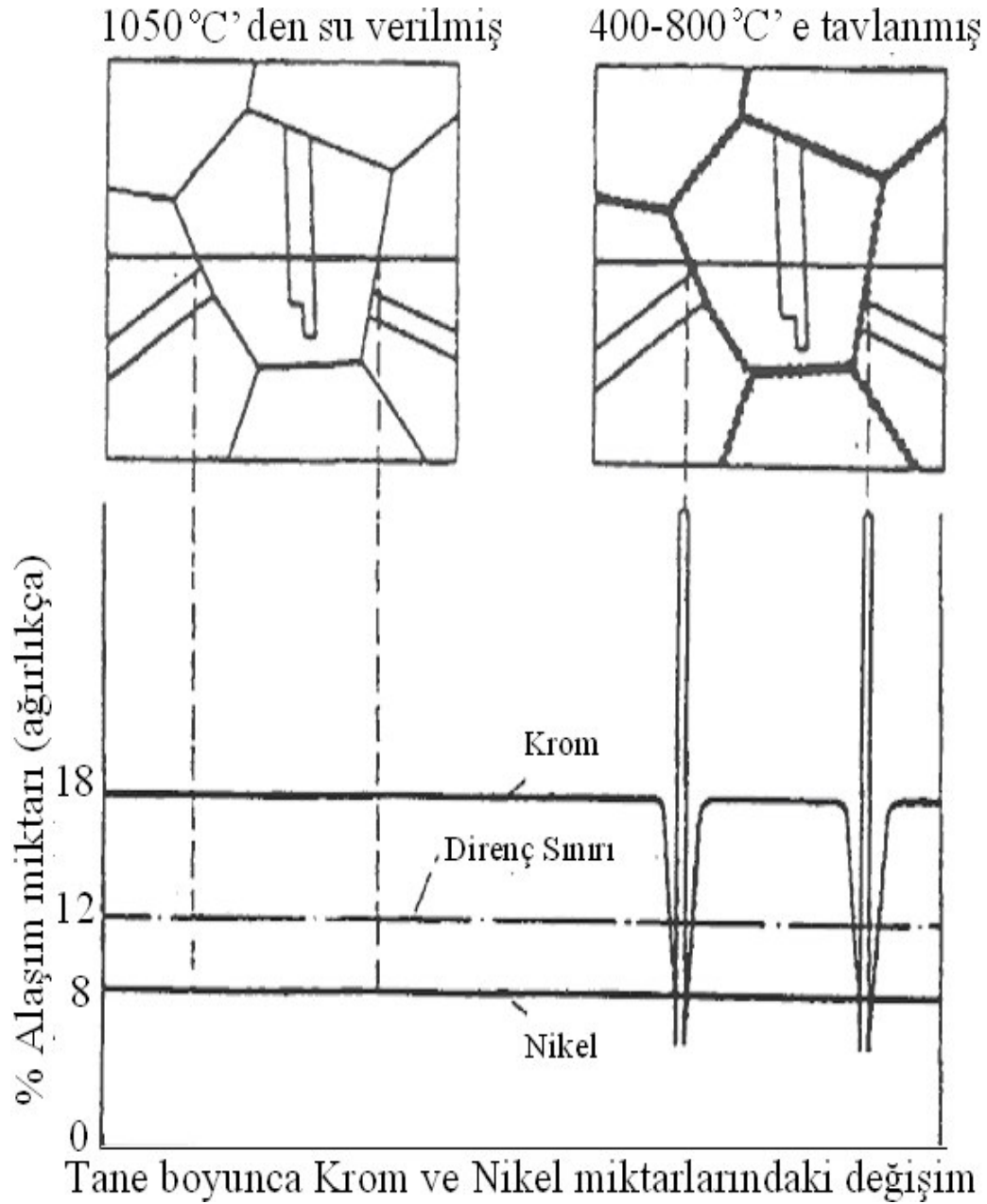
4.3. Tanelerarası Korozyon

Tanelerarası korozyon, paslanmaz çeliğin tane sınırlarına yakın bölgelerinde kromun krom karbürler oluşturarak azalması esasına dayanır. Tanelerarası korozyonun en belirgin özelliği, korozyon etkisi sonucu kütle azalmasının çok küçük olmasına

karşın korozyon hızının tane sınırlarında ve tane sınırlarına yakın bölgelerinde çok yüksek olmasıdır. Tane sınırlarında meydana gelen bu korozyon alaşımın tüm kesiti boyunca ilerler. Yapının dış görünümü ve ölçülerinde herhangi bir değişim olmaksızın, alaşım tane sınırları boyunca korozyona uğradığı bölgede mekanik dayanımını önemli ölçüde yitirir. Örneğin, tane sınırları boyunca tanelerarası korozyona uğramış bir ostenitik paslanmaz çelik bir parçayı parmaklarla dahi ezmek mümkündür [8,21].

Ostenitik çeliklerde en büyük sorun kromkarbür çökmesidir. Bu tip çeliklerin 450–850°C sıcaklık aralığında uzunca bir süre kalmaları kromkarbür çökmesine olanak sağlar. Bu çelikler, üretimleri sırasında krom-karbürün ostenit içinde çözüldüğü 1095°C' den itibaren hızla soğuturlar. Böylece, bu elementlerin yapı içinde çökme tehlikesi azaltılmış olur. Oda sıcaklığında karbonun difüzyon hızı da çok düşük olduğundan, kullanım esnasında çökme olmaz. Ancak, uzun süre ısı etkilerine maruz kalan paslanmaz çeliklerde sıcaklığın 450°C üzerine çıkmasıyla karbonun difüzyon hızı, karbonu tane sınırlarından dışarı çıkartacak derecede artar. Tane sınırlarında biriken karbon, kroma karşı yüksek ilgisinden dolayı bu bölgede birleşerek kromkarbür($\text{Fe, Cr}_{23}\text{C}_6$) oluşturur [10].

Oluşan kromkarbürün ağırlık olarak %90' ını krom oluşturduğundan, tane sınırlarında çok az miktarda bulunan karbon bile ostenit tanelerinin çevresindeki krom miktarını aşırı derecede azaltır. Krom miktarındaki bu azalma Şekil 4.1' de gösterilmiştir. Bunun sonucu olarak malzeme korozyon bir ortamda bulunduğundan, kromca zayıflamış olan tane sınırlarında korozyon oluşur. Çeliğin karbon içeriği arttıkça bu olay şiddetlenir [6,10] (Şekil 4.1).



Şekil 4.1: Ostenitik krom - nikelli paslanmaz çeliklerde tane sınırlarında kromkarbür çökelmesine bağlı olarak krom azalması [6].

Belirli bir karbon içeriği için, karbür çökmesi olayının şiddeti sıcaklık ve zamana bağlıdır. Çökme başlamadan önce sıcaklıkla değişen bir kuluçka periyodu vardır. Bu süre uygulama sıcaklığının ve çeliğin karbon içeriğinin artmasıyla kısalmır. Her karbon içeriği için, kromkarbür çökmesi olayının en kısa süre zarfında başladığı bir sıcaklık vardır ve buna kritik sıcaklık denir. Tablo 4.1' de değişen karbon içeriğine bağlı olarak kuluçka süreleri ve kritik sıcaklık değerleri verilmiştir [10].

Tablo 4.1: Değişen karbon içeriğine bağlı olarak kuluçka süreleri ve kritik sıcaklık değerleri[10].

Karbon İçeriği(%)	Kuluçka Periyodu(dakika)	Kritik Sıcaklık(°C)
0.03	11	650
0.05	7	650
0.06	2.5	670
0.08	0.3	750

Isıl etkiler nedeniyle kaynak uygulamalarında bu sorunla karşılaşılabilir. Paslanmaz çeliklerde, tek paso ile yapılan ark kaynağında, ısının tesiri altındaki bölge 650–750°C arasındaki sıcaklığa bir dakikadan az bir süre maruz kalır. Buna karşın çok pasolu kaynak halinde bu süre üç dakikanın üzerine çıkar ve dolayısıyla karbür çökme tehlikesi kendini gösterir. Karbür çökmesinin oluşabilmesi için çeliğin karbon içeriğinin belirli bir miktarının üzerinde olması gerekir. Tablo 4.1’ den de görülebileceği gibi karbon içeriğinin azalması, kuluçka periyodunu uzatacağından bu tehlike ortadan kalkar [10].

%0.03’ den fazla karbon içeren ve kararlı olmayan ostenitik çeliklere yapılan uygunsuz ısıl işlemler veya kaynak gibi yüksek sıcaklık (450–850°C) gerektiren uygulamalar sonucu oluşan tanelerarası korozyonu önlemek için aşağıdaki önlemler alınabilir [10,21]:

- En son üretim kademesinden sonra, çeliği karbürleri çözebilecek yeterli yüksek sıcaklıklara (1040–1150°C) ısıtıp, çökmeyi önleyecek uygun hızlarda soğutmak.
- Güçlü karbür yapıcı ve dengeleyici elementlerden olan niyobyum (ya da niyobyum ile birlikte tantalyum) kullanılarak oluşturulan 347 tipi ve titanyum kullanılarak oluşturulan 321 tipi çelikleri kullanmak (yapıya katılan bu elementlerin(Nb, Ti, Ta) karbona karşı ilgisi kromunkinden daha fazladır. Bu nedenle bileşimde bütün karbonu bağlayacak miktarlarda bulunmaları gerekir).

- Karbon miktarının %0.03' ün altına düşürülmesi için karbon miktarı düşük alaşımlar seçmek (304L, 316L gibi L serisi alaşımlar tanelerarası korozyonun oluşmasını önler) [10,21].

Yukarıda da değinildiği gibi ostenitik paslanmaz çeliklerde tanelerarası korozyona dikkat edilmeli ve gerekli önlemler uygulama öncesi alınmalıdır. Ferritik paslanmaz çeliklerde ise yakın geçmişe kadar bu sorunun alabileceği dikkate alınmamıştı. Fakat aynı sorun ferritik alaşımlarda da görülebilir. Bu nedenle, koruyucu önlemlerin bu çelikler için de alınmasında yarar vardır [9].

Çökelme sertleşmeli paslanmaz alaşımlar normalde çökelme fazlarından biri olan krom karbürleri içerir. Bunun sonucu olarak, kaynar durumdaki nitrik asit gibi kuvvetli oksitleyici asitlerin bulunduğu ortamlar, çelik içindeki kromca azalan bölgeleri aşındırır. Çift fazlı(dubleks) paslanmaz alaşımlar ise diğer paslanmaz çelik türlerine göre nispeten daha iyi sonuçlar verir. Bu yüzden çeşitli Avrupalı paslanmaz çelik tedarikçileri tanelerarası korozyona direnç için daha düşük maliyetli olan çift fazlı(dubleks) paslanmaz çeliklerin kullanımını önerir [9].

4.4. Galvanik Korozyon

Farklı potansiyel farkta iki malzemenin bir arada kullanılmasından ya da zemin yapısının farklılığından kaynaklanan korozyon cinsidir. Bu etki durgun koşullarda sıfır olabilir, fakat hareket olduğu zaman büyük ölçüde artabilir [8,10].

Farklı potansiyelde iki metal birbiriyle temas halinde iken aralarında bir galvanik pil oluştururlar ve aktif olan metal anot, soy metal ise katot görevi görerek aktif metalde korozyona sebep olur. Örneğin bakır ile çeliğin temas etmesi durumunda bakırdan dolayı çelik korozyona uğrayacaktır. Çok rastlanan galvanik çiftler ve bu çiftlerdeki korozyona uğrayan metaller Tablo 4.2 ile verilmiştir [23].

Tablo 4.2: Sık rastlanan galvanik çiftler ve bu çiftlerdeki korozyona uğrayan metaller [23].

GALVANİK ÇİFT	KOROZYONA UĞRAYAN METAL
ÇELİK – BAKIR YÜZEY	ÇELİK
ÇIPLAK ÇELİK- BİTÜM KAPLI ÇELİK	ÇIPLAK ÇELİK
ÇELİK- ALÜMİNYUM	ALÜMİNYUM
ÇELİK – KURŞUN	ÇELİK
ÇIPLAK ÇELİK - GALVANİZLİ ÇELİK	GALVANİZLİ ÇELİK
YENİ BORU – ESKİ BORU	YENİ BORU

4.5. Oyuklaşma(pitting) Korozyonu

Paslanmaz çeliklerin korozyon dirençleri yüzeyde oluşan pasif filme bağlıdır. Malzemenin korozyona uğraması sonucu pasif film yüzeyinde delikçikler, çukurcuklar, oyuklaşmalar oluşursa bu tip korozyona oyuklaşma (pitting) korozyonu denir. Bu korozyon aynı zamanda çukurcuk korozyonu olarak da anılır. Meydana gelen bu oyukların çapları küçük ya da büyük olabilirler, ama genellikle küçüktürler. Bu oyuklaşmalar bazen birbirinden uzak, bazen de birbirlerine çok yakın bir şekilde meydana gelebilirler. Oyuklaşmalar birbirlerine çok yakın olurlarsa yüzeyde pürüzlü bir görüntü verirler. Genel olarak oyukların çapları, derinlikleri kadar ya da daha küçüktür [10,21].

Oyuklaşma(pitting) korozyonu gizlice oluşan ve en tehlikeli korozyon türlerinden biridir. Oyuklaşma korozyonuna uğramış bir parçanın tüm yüzeyinde meydana gelen kütle azalması az olsa da, parça bir ya da birçok noktadan delinmesi sonucu iş göremez hale gelebilir. Oyuklaşmaların küçüklükleri ve üzerlerinin korozyon ürünleri ile kaplı olmasından dolayı oyuklaşmaları bulmak genellikle çok güçtür. Ayrıca bu oyukların nicel olarak ölçümü ve oyuklaşma korozyonu yayılma derecesini karşılaştırmak da güçtür. Bunun nedeni, aynı koşullar altında oyukların sayısı ve derinliğinin değişebilmesidir. Bu tip korozyon bazen uzun zaman sonunda başladığı için oyuklaşma korozyonunun laboratuvar testleri ile tahmin edilmesi de kolay değildir [21].

Oyuklaşmalar genel olarak yer çekimi doğrultusunda büyür. Oyuklaşmaların çoğu yatay yüzeylerde oluşur ve aşağı doğru büyür. Dikey yüzeylerde bu oyuklara daha az rastlanır. Bu tür korozyonda oyukların oluşması için genellikle uzun bir süre geçer. Bu süre metale ve korozif ortama bağlı olarak aylardan yıllara değin uzanabilir. Fakat bir kez başlayınca artan hızla metal içine doğru ilerler, metal yüzeyini derinliğine oyma eğilimi gösterir [21].

Paslanmaz çelikler oyuklaşma korozyonuna karşı diğer metal ya da alaşım gruplarından daha fazla duyarlıdır. Bu nedenle paslanmaz çelikleri çukurcuk korozyonuna karşı daha dayanıklı duruma getirmek için pek çok araştırma yapılmış ve bu araştırmalar sonucunda paslanmaz çelik yapısında bulunan elementlerin oyuklaşma korozyonuna karşı direnç üzerine katkıları incelenmiştir. Bu araştırmalardan elde edilen sonuçlar Tablo 4.3' te verilmiştir [21].

Tablo 4.3: Paslanmaz çeliğe katılan alaşım elementlerinin oyuklaşma korozyonuna direnç üzerine etkileri [21].

Element	Oyuklaşma korozyonuna direnç üzerine etkisi
Krom	Arttırır
Nikel	Arttırır
Molibden	Arttırır
Silisyum	Azaltır, Molibden de olursa arttırır.
Titanyum Niyobyum	FeCl ₃ içinde direnç azalır, diğer ortamlarda etkisi yoktur.
Kükürt ve Selenyum	Azaltır
Karbon	Azaltır, özellikle duyarlı koşullarda (510–800 °C)
Azot	Arttırır

Oyuklaşma korozyonuna klorlu ortamlarda daha sık rastlanır. Klor iyonlarının (Cl⁻) pasif film tabakasına işlenmesi sonucu pasif film yüzeyinde oyuklaşmalar meydana

gelir. Paslanmaz çeliklerin 510–800°C sıcaklık aralığında oyuklaşma korozyonuna karşı daha duyarlı olduğu söylenebilir. Korozyon oyukları genellikle tane sınırlarında veya çift fazlı (dubleks) paslanmaz çeliklerde gelişme eğilimi gösterir. Oyuklaşma korozyonu hızına ya da oluşmasına parçanın hareketli ya da durgun olması da önemli oranda etki eder. Korozif bir ortam içinde durgun halde bulunan paslanmaz çeliklerde çukurcuk korozyonu oluşma ihtimali ve korozyon hızı daha yüksektir. Durgun hal ortadan kaldırılsa çoğu kez oyuklaşma korozyonu hızı azalır. Örneğin, paslanmaz çelikten yapılmış bir pompa deniz suyu içinde uzun bir süre çalıştırılmazsa oyuklaşma korozyonuna uğrarken, aralıksız çalışırsa oyuklaşma korozyonu gözlenmez [10,21].

Oyuklaşma korozyonunu önlemek ya da korozyon hızını azaltmak için aşağıdaki önlemler alınabilir [10]:

- Karıştırmak veya sık sık yıkamak suretiyle klorür iyonlarının bölgesel artışına fırsat verilmemelidir.
- Asit çözeltilerinde çalışmaktan mümkün olduğunca kaçınılmalıdır.
- Daha yüksek oranda kromlu ve molibdenli alaşımlar kullanılmalıdır.
- Çalışma sıcaklığı yüksek olmalıdır.
- Doğru tasarım yapılmalıdır.

Ostenitik paslanmaz alaşımlarda, %2' nin üzerinde molibden (Mo) ilavesi oyuklaşmaya karşı direnci artırır. Bu tür korozyona karşı direnç gösteren en popüler alaşım, molibden ilaveli AISI 316 alaşımıdır. Yüksek klorür içeriği (1000 ppm' in üzerinde) ya da hava dolaşımı eksikliği olan ortamlarda, AISI 316 nolu alaşımlar kullanılsa da oyuklaşmalar meydana gelebilir. Kuvvetli oyuncu bir ortam için, daha yüksek Ni ve Mo içeriği gerekir. Uygulamada en dirençli alaşımlar krom ve molibden içeriği yüksek olan nikel esaslı alaşımlardır. Oyuklaşma (pitting) korozyonu incelenirken göz önünde bulundurulacak bir diğer değişken de alaşımın mikro temizliğidir. Bunun dışında çeliği daha temiz yapan her unsur (daha az kalıntı, çökeltiler,... vb. gibi) çeliğin oyuklaşmaya karşı olan direncini iyileştirir. Daha temiz çelikler saf kütüğün ergitilmesi ve tekrar ergitme sonucunda oluşturulur [9].

Ferritik alaşımların pitting direnci krom ile oldukça gelişir fakat molibdenli alaşımlar çok daha etkilidir. Ferritik çeliklerde oyuklaşma direnci sağlamak için alaşım en azından %23–24 krom ve %2' nin üzerinde molibden içermelidir. Kaynak ya da ısıtma işlemi sonucunda oluşmuş karmaşık karbür çökelmeleri oyuklaşma direncini azaltır. Bundan kaçınmak için, son zamanlarda karbon ve azot seviyeleri kontrol edilmiş (<0.015 % C+N) bazı yeni alaşımlar kullanılmaya başlanmıştır [9].

Yaşlandırılmış şartlardaki çökeltme sertleşmeli alaşımların çoğunun oyuklaşmaya karşı direnci zayıftır. Diğer yandan %20' nin üzerinde krom içeren çift fazlı (dubleks) alaşımların çoğunun oyuklaşma direnci iyidir. Martenzitik alaşımların ise oyuklaşma korozyonu dirençleri iyi değildir [9].

4.6. Aralık (crevice) Korozyonu

Korozif bir ortamda bulunan metal yüzeyindeki yarıklar ve aralıklar içinde çoğu kez şiddetli bir şekilde yerel korozyon oluşur. Bu korozyonun temel nedeni, çatlak içi ile çevre elektrolit arasında oksijen değişimi veya metal iyonu değişiminin farklı oluşudur. Havalanması zayıf olan dar aralıklardaki sınırlı miktardaki oksijen pasif oksit filmini onaramaz ve bir değişim pili oluşur Bu tip korozyonlar, genel olarak dar bölgelerdeki durgun çözeltiler ile conta yüzeyleri, yüzeydeki birikintiler, cıvata ve perçin başlarının altındaki aralıklarda meydana gelir. Bu nedenle bu tip korozyonlara aralık korozyonu, bazen de çatlak korozyonu ya da conta korozyonu denir [8, 21,23].

Ayrıca aralık korozyonu gözlenen ortamlarda korozyonu hızlandıran kum, kir, deniz suyu içindeki yosunlar ve korozyon ürünleri gibi bir kısım yabancı maddeler birikmiş olabilir. Birikinti yüzeyi kapatır ve altında durgun ortam koşulu yaratır. Bu durum aralık korozyonu oluşmasını hızlandırır. Aralık korozyonu olabilmesi için gerekli üç koşul aşağıda maddeler halinde verilmiştir [10,21]:

- 1- Değişim hücresi oluşturabilecek bir yükselticinin bulunması (genellikle oksijen)
- 2- Aktifleştirici iyonların bulunması(genellikle klorür iyonları)
- 3- Çözeltinin tampon kapasitesinin metalin serbest yüzeyi ve aralık arasında pH farkı doğmasına olanak verecek kadar küçük olması [21].

Bu koşullar sağlandığında paslanmaz çelikte aralık korozyonu meydana gelir. Bu tip korozyonda aralık, açıkta kalan yüzeylere göre daha uzun süre nemli kalır ve zararlı korozif maddeler (tuz gibi) çatlaklarda birikmeye başlar ve korozyon hızını gittikçe arttırır [10].

Paslanmaz çeliklerde krom ve molibden aralık korozyonuna direnci arttıran elemanlardır. Aralık korozyonunda da oyuklaşma korozyonuna benzer şekilde kritik çatlak sıcaklığı mevcuttur. Bu sıcaklık aralığın geometrisi ve ortama göre değişir. Aralık korozyonuna yeterli direnç göstermesi istenen çeliklerin seçiminde belirlenen bu sıcaklık değerleri dikkate alınmalıdır [8].

Aralık korozyonunu oluşumunu önlemek için uygun çelik seçiminin yanında, tasarım aşamasında da dikkat edilmesi gereken bazı hususlar vardır. Bunlar aşağıda belirtilmiştir:

- Perçinli ve cıvatalı birleştirmeler yerine lehim kullanmak,
- Parça tasarımında keskin köşelerden ve durgun sıvı birikebilecek bölgelerden kaçınmak,
- Mümkün olduğunca teflon gibi absorblayıcı olmayan katı contalar kullanmak,
- Tasarımda oluk ve yivleri mümkün olduğunca geniş tutmak [21].

Paslanmaz çelik türlerinin aralık korozyonuna dirençleri oyuklaşma korozyonuna karşı gösterdikleri direnç ile benzerdir. Krom, molibden ve nikel içeriğinin yüksek olması aralık korozyonuna direnci arttırdığı için bu tip korozyona karşı en iyi direnci ostenitik paslanmaz çelikler gösterir [9].

4.7. Gerilmeli Korozyon Çatlama (SCC)

Gerilmeli korozyon çatlağı, sünek bir metalin gevrek bir davranış göstererek hasara uğramasına yol açar. Paslanmaz çeliklerde tanelerarası ya da tane içinde gerilmeli korozyon çatlağının oluşması için aşağıdaki üç şartın aynı anda meydana gelmesi gerekir [25, 26]:

1. Kalıntı gerilme (çekme yönünde) ya da gerilme yoğunluğunun kritik bir değerin üzerinde olması,
2. Gerilmeli korozyon çatlaklarını kolaylaştırıcı bir korozif ortam,
3. Gerilmeli korozyon çatlaklarına hassas bir mikro yapı yüzeyinde oluşmuş bir çatlak başlangıcı, [5, 25, 26].

Gerilmeli korozyon çatlamaının görüldüğü kusur içermeyen bir parça şekil değişiminden sonra aniden veya bir süre sonra çatlayarak kullanılmaz hale gelebilir (Şekil 4.2). Malzemenin akma sınırının altındaki gerilmeler ya da üretim ve ısıl işlem sonucu malzeme içindeki çekme yönünde oluşmuş kalıntı gerilmeler dahi gerilmeli korozyon çatlamaına neden olabilir. Basma gerilmeleri ise bu tür çatlakların oluşmasına karşı direnci artırır. Çatlak başlangıçları yüzeyde ve büyüklükleri mikroskopik ölçeğin altında olabilen süreksizliklerdir. Bunlar, mekanik gerilme ve korozyonun ortak etkimesi sonucu tane içinde veya tanelerarasında oluşabilirler. Yani gerilmeli korozyon çatlakları, dış ya da iç gerilmelerle yerel korozyonların ortak etkisi sonucu oluşur. Metallerin gerilmeli korozyon çatlaklarına karşı duyarlılığı malzemeye, üretim sırasında oluşan plastik şekil değişimindeki homojensizlik derecesine, çekme yönündeki kalıntı gerilmelerin mertebesine ve korozif ortama bağlıdır. Pirinç ve ostenitik paslanmaz çelikler gerilmeli korozyon çatlaklarına hassas metallerdir. Böyle malzemelerden yapılmış parçalarda gerilmeli korozyon çatlakları tehlikesini gidermek için üretim sonrası gerilme giderme tavlamaı uygulanmalıdır [10, 21, 25, 26].

Paslanmaz çelikler özellikle klorür içeren ortamlarda gerilmeli korozyon çatlaklarına karşı hassastırlar. Sıcaklık ve oksijenin varlığı paslanmaz çeliğin gerilmeli korozyon çatlaklarına karşı olan hassasiyetini şiddetlendirme eğilimindedir. Ferritik ve dubleks paslanmaz çeliklerin çoğu gerilmeli korozyon çatlaklarına karşı bağışık ya da yüksek ölçüde dirençlidirler. Ostenitik ve çökeltme, çökeltme sertleşmeli ve martenzitik paslanmaz çelikler ise klorür içeren ortamlarda gerilmeli korozyon çatlaklarına karşı hassastırlar [5,10].

Ostenitik paslanmaz çeliklerin çoğu (özellikle AISI 304 ve 316) klorürlü ortamlarda gerilmeli korozyon çatlaklarına karşı oldukça duyarlıdırlar. Bu ortam özellikle 300°C sıcaklığın üzeri ve 2–10 pH değerinde ise bu etki daha da artar. Ostenitik çeliklerde,

nikel içeriğinin artışı bu tip çatlamların oluşmasına karşı önemli oranda direnç sağlar. Düşük nikelli çeliklerde şiddetli gerilmeli korozyon çatlama görüldükçe, %30' dan fazla nikel içeren paslanmaz çeliklerde ise korozyon direncinde önemli oranda artış olur. 304 tipi gibi bazı ostenitik alaşımlar gerilmeli korozyon çatlama oluşabileceği koşullarda tercih edilebilirler. Yüksek alaşımlı ostenitik paslanmaz çelikler sodyum klorür (NaCl) çözeltisine karşı dirençlidirler. Fakat MgCl₂ çözeltisi içinde çatlak hızlı bir şekilde oluşur. Bununla birlikte, bazı yerel pitting ve çatlak korozyonları gerilmeli korozyon çatlama öncesi oluşur. Bir miktar oyuklaşma ya da çatlak etkisi fark edilmeyecek kadar az olabilir. Gerilmeli korozyon ilerlerken dahi fark etmek zordur ve bu sebeple basınç altındaki ekipmanlarda hızlı ve felaket doğurabilecek hatalara sebebiyet verebilir. Bu nedenle, uygulama öncesinde ortam ve malzeme iyi analiz edilmelidir. Ostenitik paslanmaz çeliklerde gerilmeli korozyon çatlama önlemek ya da azaltmak için, uygun malzeme seçimi, mümkünse ortamın değiştirilmesi ya da çatlama neden olan gerilmenin azaltılması gibi bazı önlemler alınabilir [5, 9, 10].

Ferritik paslanmaz alaşımların pek çoğu, ostenitik paslanmaz çeliklerin kullanılmadığı klorürlü ortamlarda gerilmeli korozyona karşı dirençlidir. Klorürlü ortamlara karşı yeterli derecede genel direnç sağlamak için en azından %20 krom ve ayrıca %1 ya da daha fazla molibden gereklidir. Bu çeliklerde, küçük miktarlarda (%1' den daha az) nikel ve/veya bakır gerilmeli korozyon çatlama direnci geliştirir. Çökeltme sertleşmeli paslanmaz çelikler belirli korozyon ortamlarda gerilme yüklü olduğunda, gerilmeli korozyon çatlama(SCC) karşı hassastırlar. İki fazlı(dubleks) alaşımların ise çatlak tutma yeteneğine sahip olduğu görünür ve ortamların çoğunda gerilmeli korozyona karşı iyi direnç gösterirler [5,9].

4.8. Eroziyon Korozyon

Bir metal ile korozyon ortam arasındaki bağımlı hareket nedeniyle metalin (pasif filmin) aşınma ya da parçalanma hızının artmasına eroziyon korozyon denir. Metal ve ortam arasındaki bu hareket genellikle oldukça hızlıdır ve metalde mekanik yıpranma ya da aşınma etkisi yapar. Bu tip korozyonda, metal yüzeyinden metalik iyonlar halinde

özünen korozyon ürünleri yüzeyden uzaklaşırlar. Erozif korozyonun kendine özgü bir görünüşü vardır. Bu görüntü yönlenmiş haldeki yivler, hendekler, dalgalar, yuvarlak delikler ya da oluklar şeklinde oluşabilir. Bu korozyon türü birçok durumda beklenilmeyen kısa bir süre içinde kendini gösterebilir. Bunun nedeni korozyon testlerinin durgun koşullar altında yapılması ya da testlerde erozyon etkisinin göz ardı edilmiş olmasıdır [21].

Erozif korozyon gazlar, sulu çözeltiler ya da organik sistemler gibi çeşitli ortamlarda ortaya çıkabilir. Özellikle bir akan sıvı içinde bulunan katı parçacıklar erozif korozyon bakımından çok etkilidir. Bu tip korozyonda metalin bulunduğu ortamın hızı çok önemlidir. Erozif korozyon sonucu ortaya çıkan hasarı azaltmak ya da önlemek için malzeme seçimine, tasarıma dikkat edilmelidir. Bunlara ek olarak kaplama ya da katodik koruma gibi önlemler de alınabilir [21].

Ostenitik paslanmaz çelikler, erozif korozyona karşı iyi direnç gösterirler. Genelde daha yüksek kromlu ve daha sert alaşımlar bu tip korozyona karşı en iyi direnci sunarlar. Bu nedenle yüksek krom ve molibden içeren ferritik paslanmaz çelikler özellikle oyuklaşma ve aralık korozyonu etkisinin de söz konusu olabileceği durumlarda ostenitik paslanmaz çeliklerden daha iyi sonuçlar verirler. Erozif korozyona karşı direnç artan sıcaklıkla birlikte zorlaşır. Ferritik paslanmaz çeliklerde soğuk şekil verme ile sertlik artırıldığından erozif korozyon direnci de artar. Diğer paslanmaz çelik türleri de erozif korozyona karşı iyi direnç gösterirler [9].

BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMA

5.1. Deney Yöntemi

Deneylerde, malzeme nosu 1.4580, AISI nosu 316Cb olan ve G-X 10 CrNiMoNb 18-10 sembolü ile gösterilen döküm yöntemiyle üretilmiş ostenitik tip paslanmaz çelik kullanılmıştır. Deney malzemesinin standart bileşimi Tablo 5.1' de verildiği gibidir [27].

Tablo 5.1: Deney malzemesinin standartlardaki bileşimi [27].

C (%)	Cr (%)	Ni (%)	Mo (%)	Mn (%)	Nb (%)	Si (%)	P (%)	S (%)
≤0.08	16.5-18.5	11-14	2-2.5	≤2.0	≥8xC	≤1.0	≤0.045	≤0.03

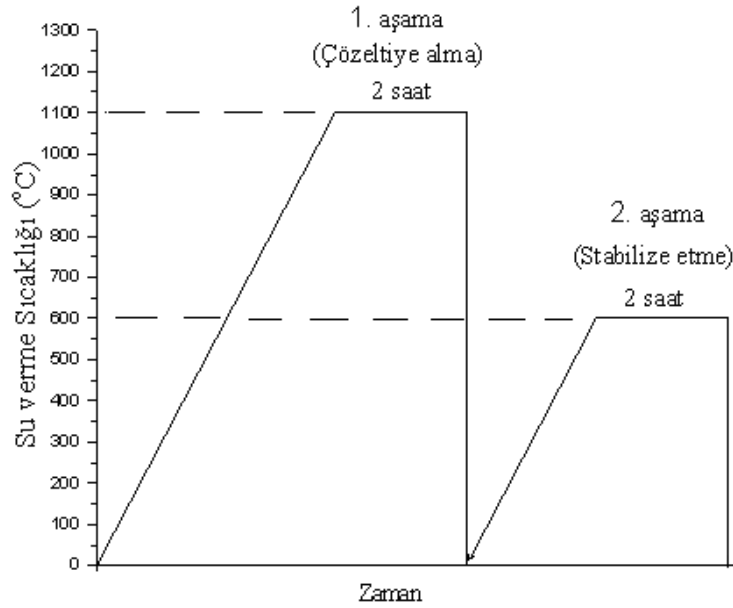
Deney malzemesinin kimyasal analiz sonuçları ise Tablo 5.2 ile verilmiştir. Bu tablodaki sonuçlar, Tablo 5.1 ile verilen standartlardaki değerlere uymaktadır.

Tablo 5.2: Deney malzemesinin kimyasal analiz sonuçları.

C (%)	Cr (%)	Ni (%)	Mo (%)	Mn (%)	Nb (%)	Si (%)	P (%)	S (%)
0.077	16.74	11.52	2.173	1.112	0.855	0.692	0.029	0.013

Deney malzemesine üretim sonrasında iki aşamalı ısıtma işlemi uygulanmıştır. G-X 10 CrNiMoNb 18-10 ostenitik paslanmaz çeliğe, ilk önce çözeltiye alma ve sonra stabilize etme tavı uygulanmıştır. Bu aşamada, yapı içerisinde tane sınırlarında birikerek tanelerarası korozyona neden olan kromkarbürlerin ısıtma ile çözünmesinin

sağlanması ve su verme işlemiyle soğutulurak da tekrar oluşmalarının engellenmesi amaçlanmıştır. G-X 10 CrNiMoNb 18-10 ostenitik paslanmaz çeliği döküm sonrası, 1100°C sıcaklıkta 2 saat tavlınmış ve suda soğutulmuştur. Ardından çeliğe ikinci aşamada, dengeleyici elementleri içeren çeliklere uygulanan, stabilize etme ısıl işlemi uygulanmıştır. Bu işlemde malzeme, niyobyumkarbür oluşumu gerçekleşmesi için 600°C arasında bir sıcaklıkta 2 saat tavlınmış ve suda soğutulmuştur(Şekil 5.1). Deney malzemesine döküm sonrası bu işlemler uygulandıktan sonra, uygun boyutlarda talaş kaldırılarak deney numuneleri elde edilmiştir [28].



Şekil 5.1: Deney malzemesine uygulanan yağda su verme ısıl çevrimi.

Kütle kaybı yöntemi için:

- Plaka temizliği için derişik HNO₃, %98' lik H₂SO₄ ve kloroform kullanılmıştır.
- Plakaların sabit tartıma getirilmesinde etüv kullanılmıştır.
- Plakalarda oluşan pasın giderilmesi için %5' lik sitrik asit çözeltisi kullanılmıştır.
- Çözeltilerin pH ölçümleri için Orion 720A marka pH metre kullanılmıştır.
- Çözeltilerin iletkenlik ölçümleri kondüktometre ile belirlenmiştir.
- Çözeltiler olarak 3M H₂SO₄, 3M HCl ve %50 3M HCl + % 50 3M H₂SO₄ karışım çözeltileri kullanılmıştır.

Potansiyostatik ölçümler için:

- Çalışma elektrodu olarak yukarıda bileşimi verilen G-X 10 CrNiMoNb 18-10 ostenitik paslanmaz çelik kullanılmıştır.
- Referans elektrot olarak Doygun Kalomel Elektrot [SCE(Saturated Calomel Electrot)] ve karşıt elektrot olarak platin elektrot kullanılmıştır.
- Elektrot yüzeylerinin temizlenmesinde zımparalama ve parlatma cihazı (METKON GRIPO 2V) kullanılmıştır.
- Ölçümler için Princeton Applied Research(PAR 263 A model) marka potansiyostat/galvanostat cihazı kullanılmıştır.
- Çözelti olarak farklı derişimlerdeki(0.1M, 1M, 2M, 3M) HCl, H₂SO₄, ve % 50 HCl + %50 H₂SO₄ asit çözeltileri kullanılmıştır.

5.2. Yöntem

5.2.1. Kütle kaybı yöntemi ile korozyon hızının belirlenmesi

Kütle kaybı yöntemiyle korozyon hızının belirlenmesinde G-X 10 CrNiMoNb 18-10 paslanmaz çeliğinden hazırlanmış plakalar kullanılmıştır. Bu amaçla hazırlanan 5x2x0.3 cm boyutlarındaki plakaların yüzeyleri kimyasal işlemlerle temizlenmiştir. Hazırlanan numuneler önce 3HNO₃:1H₂SO₄:1H₂O oranında hazırlanan karışım ile temizlendikten sonra, sırası ile çeşme suyu, saf su ve kloroformdan geçirilip temizlenmiştir. Temizlenmiş numuneler etüvde 110°C' de sabit tartıma getirilinceye kadar bekletilmiştir. Sabit tartıma getirilmiş numunelerin kütleleri belirlenmiş ve kaydedilmiştir. Bu numuneler 3M H₂SO₄, 3M HCl ve %50 3M H₂SO₄ + %50 3M HCl karışımı çözeltilerine daldırılmışlardır. Belirli zamanlarda (10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120 gün) her bir çözeltiden ikişer numune alınmıştır. Çözeltilerden çıkarılan paslanmaz çelik numuneler, pH' ı 4.5' a ayarlı(derişik NH₃) ile %5' lik sitrik asit çözeltisinde 2 saat bekletildikten sonra saf sudan geçirilerek etüvde 110°C' de tekrar kurutulup tartım alınmıştır. Bu şekilde kütle kayıpları belirlenerek korozyon hızları hesaplanmıştır. Korozyon hızını belirlemek için:

$$\text{korozyon hızı} = \frac{\text{kütle azalması}}{\text{metalın yüzey alanı} \times \text{zaman}}$$

formülünden yararlanılmıştır.

Kütle kaybı denemeleri oda koşullarında 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120 gün zaman aralığında belirlenmiştir. Belirlenen bu zaman aralığında çözeltilerin pH değişimleri pH metre, iletkenlik değişimleri kondüktometre ile belirlenmiştir.

5.2.2. Elektrokimyasal yöntem ile korozyon hızının belirlenmesi

Elektrokimyasal ölçümler için üç elektrot sistemi kullanılmıştır. Referans elektrot olarak doygun kalomel elektrot(SCE), karşıt elektrot olarak platin elektrot ve çalışma elektrotu olarak G-X 10 CrNiMoNb 18-10 ostenitik paslanmaz çelikten hazırlanmış elektrot kullanılmıştır. Kullanılan çalışma elektrotlarının çözelti ile temas eden yüzeyi dışındaki yüzeyleri polyester ile kaplanmıştır. Ölçüm öncesinde çalışma elektrotunun yüzeyi 800 ve 1200 mesh' lik zımpara kâğıtlarının kullanıldığı parlatma cihazı (METKON GRIPO 2V) ile ayna parlaklığında parlatılmıştır. Parlatılan bu numunelerden parlatıldıktan sonra farklı derişimlerde hazırlanan ve manyetik olarak karıştırılan çözeltiler içinde potansiyostat ile ölçüm alınmıştır.

Farklı derişimlerdeki (0.1M, 1M, 2M ve 3M) HCl, H₂SO₄, ve %50 HCl + %50 H₂SO₄ karışımı çözeltilerindeki G-X 10 CrNiMoNb 18-10 ostenitik paslanmaz çeliğinin korozyon davranışı Tafel Ekstrapolasyonu yöntemiyle belirlenmiştir.

Tafel Ekstrapolasyonu yönteminde SCE' nin çözelti ile teması Luggin kapileri ile sağlanmıştır. Böylece hücrenin ohmik direnci azaltılmaya çalışılmıştır. Potansiyostat ile çalışma elektrotunun referans elektrota karşı denge potansiyeli ölçüldükten sonra G-X 10 CrNiMoNb 18-10 ostenitik paslanmaz çeliğinin -1.00V ile +1.00V arasındaki akım potansiyel değerleri 1 mV/sn tarama hızı ile belirlenmiştir. Elde

edilen akım potansiyel değerlerinden potansiyodinamik polarizasyon eğrileri çizilerek I_{corr} değerleri belirlenmiştir.

5.2.3. Yüzey analizi

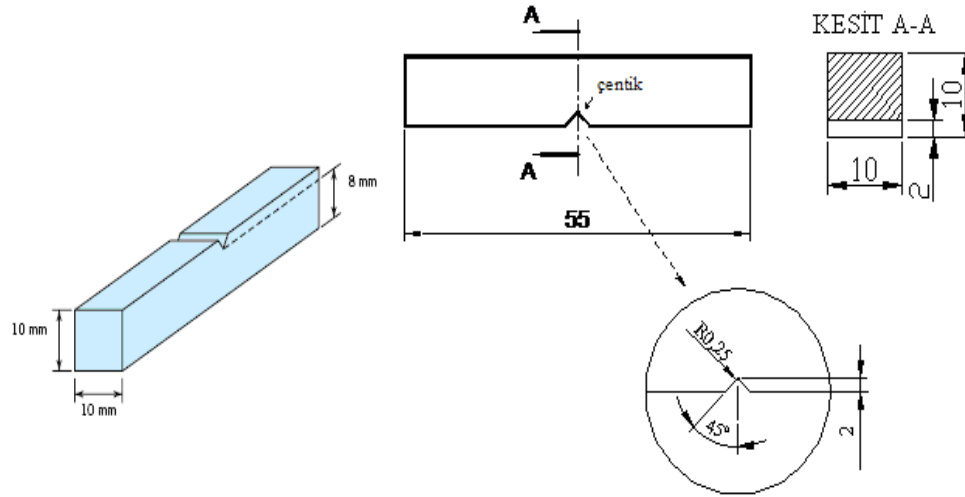
Yüzey analizi yöntemi için incelediğimiz deney malzemesinden dikdörtgen kesitli plakalar (5x2x0.3 cm boyutlarında) hazırlanmıştır. Bu amaçla hazırlanan plakaların yüzeyleri kimyasal işlemlerle temizlenmiştir. Hazırlanan numuneler önce 3HNO₃:1H₂SO₄:1H₂O oranında hazırlanan karışım ile temizlendikten sonra, sırası ile çeşme suyu, saf su ve kloroformdan geçirilip temizlenmiştir. Temizlenen numuneler 3M HCl, 3M H₂SO₄ ve %50 3M HCl + %50 3M H₂SO₄ karışımı çözeltilerine daldırılmıştır. Belirli zamanlarda çözeltiden çıkarılan paslanmaz çelik numunelerin yüzeylerindeki değişim dijital fotoğraf makinesi (CANON-Powershot A60) ve Taramalı Elektron Mikroskopu (Scanning Electron Microscope SEM) (JOEL JSM-6335F TEM) kullanılarak elde edilmiş fotoğraflarla incelenmiştir.

5.2.4. Sertliğin belirlenmesi

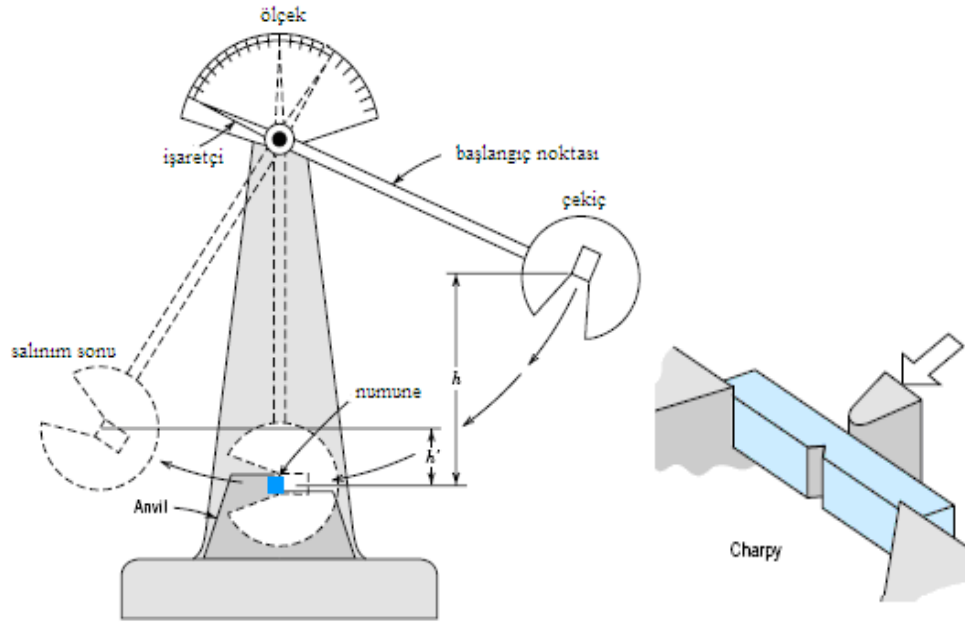
Sertlik ölçümü için, G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğinden dikdörtgen kesitli(5x2x0.3 cm) plakalar hazırlanmıştır. Bu amaçla hazırlanan plakalar kimyasal işlemlerle temizlenmiştir. Hazırlanan numuneler önce 3HNO₃:1H₂SO₄:1H₂O oranında hazırlanan karışım ile temizlendikten sonra, sırası ile çeşme suyu, saf su ve kloroformdan geçirilip temizlenmiştir. Bu numuneler 3M H₂SO₄, 3M HCl ve %50 3M H₂SO₄ + %50 3M HCl karışımı çözeltilerine daldırılmışlardır. Belirli zamanlarda çözeltiden çıkarılan(0, 30, 60, 90, 120 gün) paslanmaz çelik numuneler çeşme suyu ve saf suda temizlendikten sonra yüzey sertliklerini ölçmek için yüzeyleri bir miktar zımparalanmıştır. Ölçüm için hazırlanmış numunelerin sertlikleri, sertlik ölçme cihazı (BROOKS Model MAT 10/250) kullanılarak Rockwell B sertlik ölçme yöntemi ile tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlarla sertlikteki değişim incelenmiştir.

5.2.5. Çentik darbe deneyi

Çentik darbe deneyi için, G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğinden TS EN 10045–1 standardına uygun olarak V-çentikli darbe deneyi numuneleri hazırlanmıştır (Şekil 5.2). Bu amaçla hazırlanan numunelerin yüzeyleri kimyasal işlemlerle temizlenmiştir. Hazırlanan numuneler, önce $3\text{HNO}_3:1\text{H}_2\text{SO}_4:1\text{H}_2\text{O}$ oranında hazırlanan karışım ile temizlendikten sonra, sırası ile çeşme suyu, saf su ve kloroformdan geçirilip temizlenmiştir. Bu numuneler $3\text{M H}_2\text{SO}_4$, 3M HCl ve $\%50$ $3\text{M H}_2\text{SO}_4 + \%50$ 3M HCl karışımı çözeltilerine daldırılmışlardır. Belirli zamanlarda (0., 30., 60., 90., 120. gün) her bir çözeltiden ikişer numune çıkarılmıştır. Çıkarılan numuneler çeşme suyu ve saf suda temizlendikten sonra aşağıdaki şematik resmi verilen cihazda (BUDAPEST/RM-204 tipi) TS EN 10045-1 standardına uygun olarak kırılmış ve kırılıncaya kadar soğurdukları enerjileri ölçülerek değişim incelenmiştir (Şekil 5.3).



Şekil 5.2: Darbe deneyi numunesi boyutları(TS EN 10045-1).

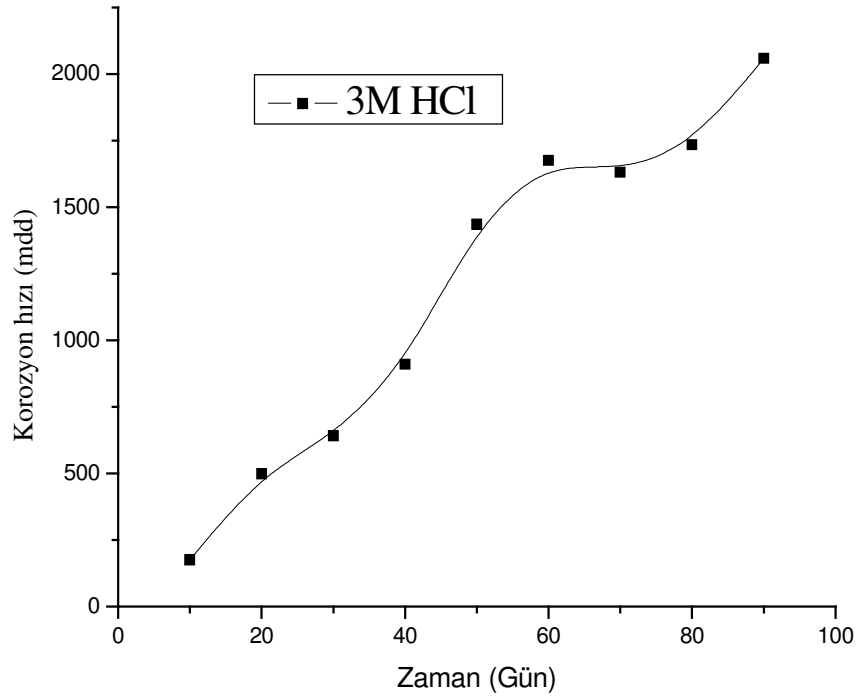


Şekil 5.3: Charpy çentik darbe deney cihazının şematik resmi.

BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

6.1. Kütle Kaybı Yöntemi ile Elde Edilen Korozyon Hızları

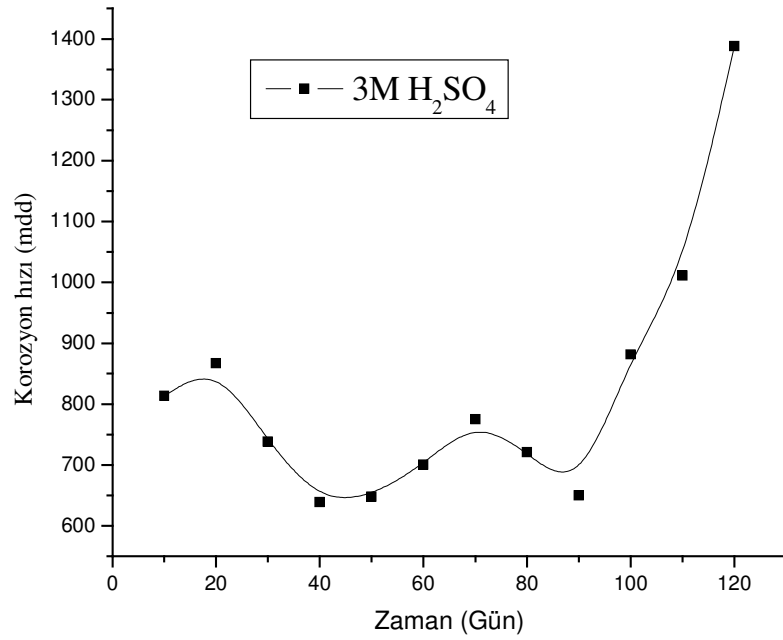
Deney malzemesinden hazırlanmış paslanmaz çelik plakalar için kütle kaybı denemeleri 3M H₂SO₄, 3M HCl ve %50 3M HCl + %50 3M H₂SO₄ karışımı olmak üzere asidik çözeltiler kullanılarak yapılmıştır. Numuneler 120 gün süreyle çözelti içinde bekletilmiş ve 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110,120 gün zaman aralıkları sonunda her çözeltiden ikişer numune çıkarılıp gerekli işlemlerden geçirilerek ölçümleri alınmıştır. Çıkarılan her numune için korozyon hızı (mdd cinsinden) hesaplanmış ve her çözelti için korozyon hızının zamana bağlı değişimi Şekil 6.1, Şekil 6.2 ve Şekil 6.3' de verilmiştir.



Şekil 6.1: 3M HCl çözeltisi içerisindeki G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin korozyon hızının zamanla değişimi

Şekil 6.1’ de 3M HCl içerisindeki G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin korozyon hızının zamanla değişimi verilmiştir. Buna göre, ostenitik çeliğin 10. ve 90. günler arasındaki korozyon hızı sürekli artmıştır. Bu artış 10. günde 175 mdd iken 90. günde 2060 mdd’ dir. Yani 90 günde yaklaşık 11 kat oranında bir artış belirlenmiştir.

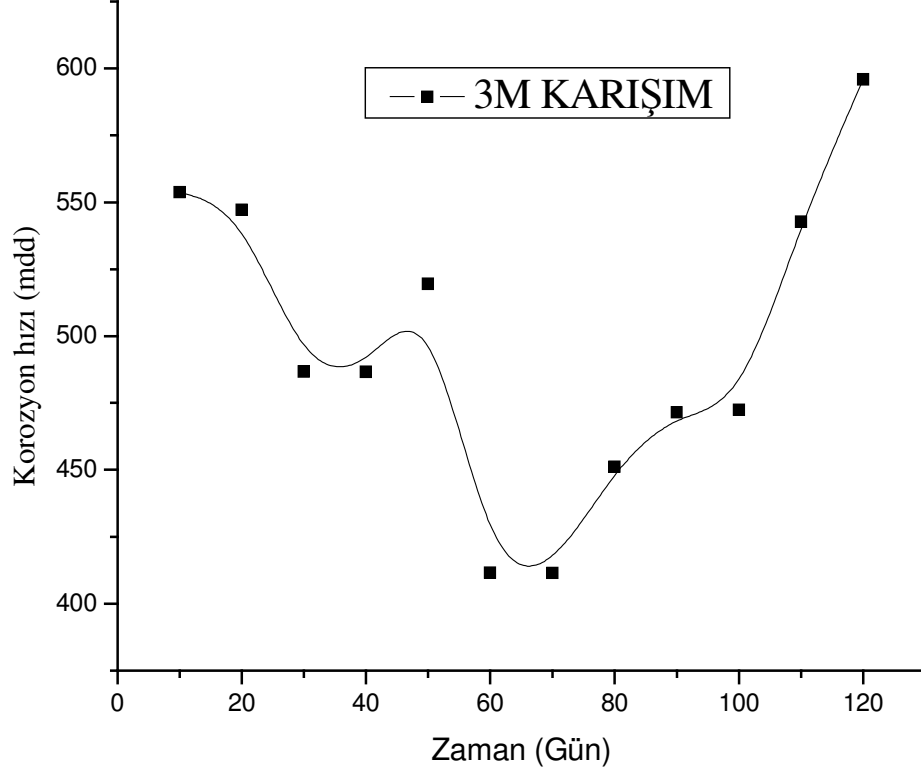
Klorür içeren ortamlarda klorür iyonlarının metal yüzeyine adsorplanarak metalin çözünmesini arttırmaktadır. Zamanla bu çözünme daha da artmaktadır (Şekil 6.1).



Şekil 6.2: 3M H₂SO₄ çözeltisi içerisindeki G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin korozyon hızının zamanla değişimi

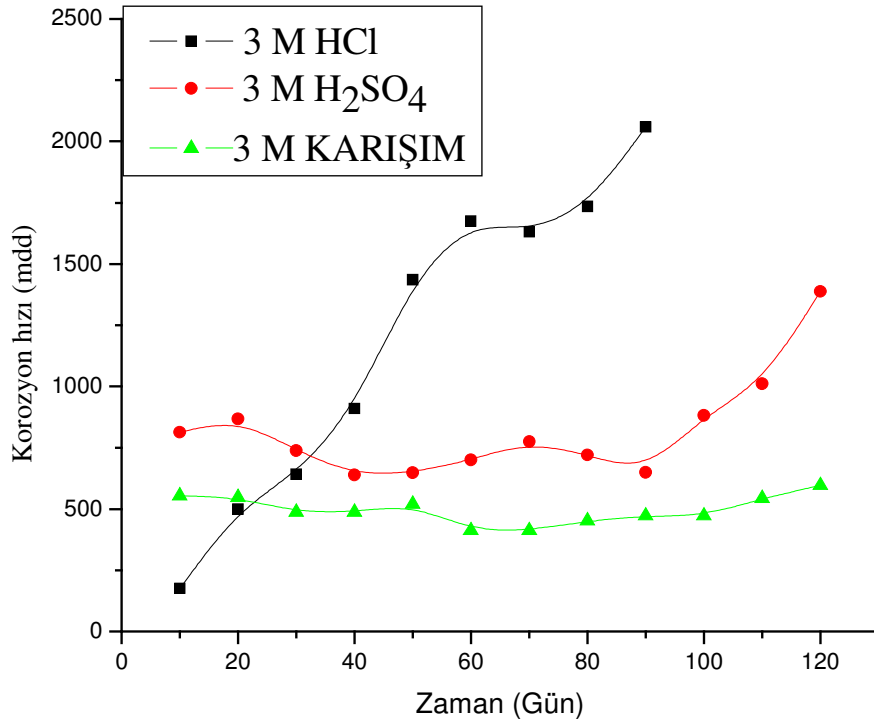
3M H₂SO₄ çözeltisi içerisindeki G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin korozyon hızının zamanla değişimi Şekil 6.2’ de verilmiştir. Buna göre, korozyon hızı 10. günde 800 mdd iken 50. gün sonunda 645 mdd’ e düşmüştür. 70. gün sonunda korozyon hızı 770 mdd değerine yükselirken 90.gün sonunda ise korozyon hızı 650 mdd’ e düşmüştür. 90. güne kadar olan bu düzensiz azalmanın nedeni, pasifleşme etkisinden dolayı metal yüzeyinde koruyucu bir tabakanın oluşmasıdır. 90. günden sonra bu tabakanın bozulması sonucu korozyon hızı sürekli olarak artmakta ve 120 günün sonunda 1379 mdd’ e ulaşmaktadır. Koruyucu

tabakanın etkinliğinin azalması sonucu son 30 gün içinde korozyon hızı yaklaşık iki kat oranında artmıştır (Şekil 6.2).



Şekil 6.3: %50 3M H₂SO₄ + % 50 3M HCl karışım çözeltisi içerisindeki G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin korozyon hızının zamanla değişimi

G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin %50 3M H₂SO₄ + % 50 3M HCl karışım çözeltisi içerisinde korozyon hızının zamanla değişimi Şekil 6.3’ de verilmiştir. Buna göre, korozyon hızı 3M H₂SO₄ çözeltisi için verilen grafikte olduğu gibi 70. güne kadar düzensiz bir şekilde azalmıştır. Korozyon hızı 10. gün sonunda 550 mdd iken 70. gün sonunda 410 mdd değerine kadar düşmüştür. Yüzeide oluşan koruyucu oksit tabakasının yüzeyi pasifleştirerek, metalin korozif ortamla etkileşimini önlemesi nedeniyle korozyon hızı 70. güne kadar azalmıştır. 70. gün sonunda ortamda bulunan Cl⁻ iyonları nedeniyle yüzeyde oluşan koruyucu oksit tabakası parçalanarak korozyon hızı tekrar 120. güne kadar hızla artmıştır. Bu artış 70. günün yaklaşık 1.5 kattır (Şekil 6.3).



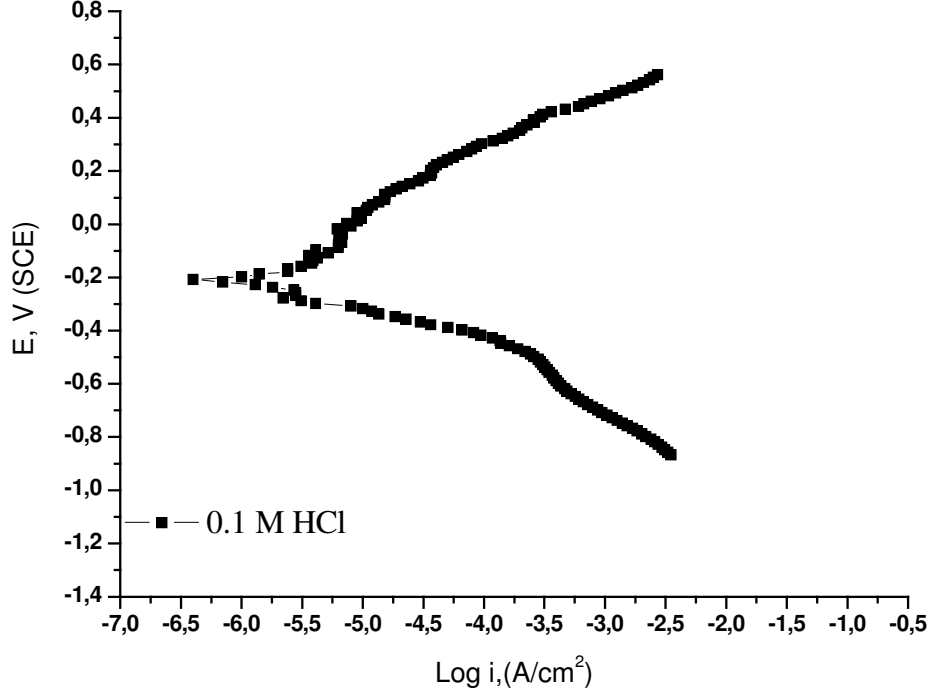
Şekil 6.4: Farklı asidik çözeltiler içerisindeki G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin korozyon hızının zamanla değişimi

Şekil 6.4’ de 3M HCl, 3M H₂SO₄ ve %50 3M H₂SO₄ + %50 3M HCl karışımı olmak üzere 3 farklı çözelti içerisinde G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin korozyon hızının zamanla değişimi bir arada verilmiştir. Bu grafiğe göre, 3M HCl çözeltisi içinde korozyon hızı zamanla artarken diğer iki çözeltide pasifleşmenin neden olduğu koruyucu tabaka nedeniyle bu artış gözlenmemiştir. 3M HCl çözeltisinde klorür iyonlarının etkinliğinden dolayı korozyon hızı daha yüksek değerlere ulaşmıştır. En düşük korozyon hızı değerleri %50 3M H₂SO₄ + %50 3M HCl karışım çözeltisi içinde elde edilmiştir. Asit karışımı çözeltisi diğer iki asit çözeltilerinin tek başlarına yaptığı etkiden daha az etki göstermiştir (Şekil 6.4).

6.2. Elektrokimyasal Yöntemle Elde Edilen Sonuçlar

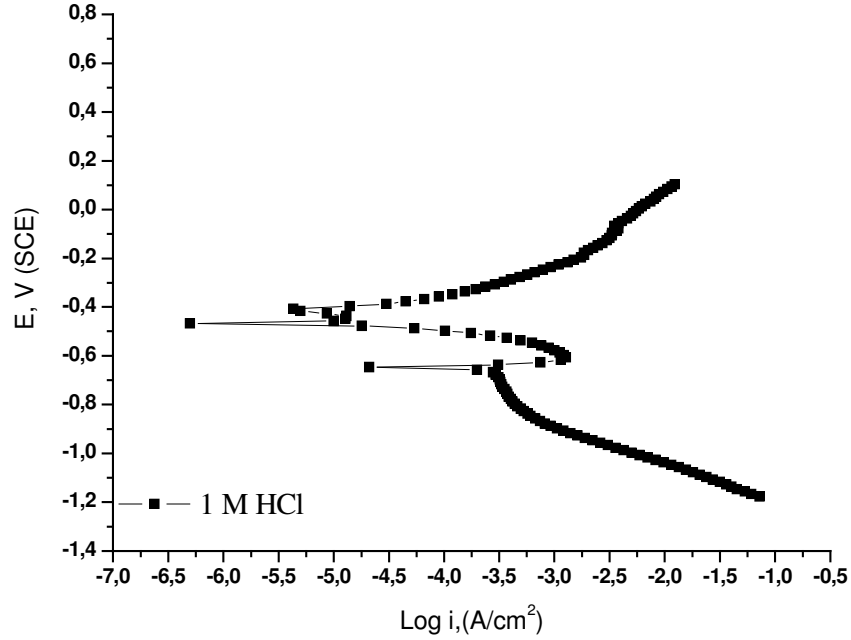
G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin farklı derişimlerdeki(0.1M, 1M, 2M, 3M) HCl, H₂SO₄, ve %50 HCl + %50 H₂SO₄ olmak üzere üç farklı asit

çözeltisi içinde elde edilen potansiyodinamik polarizasyon eğrileri sırasıyla Şekil 6.5–6.17’ de verilmiştir.



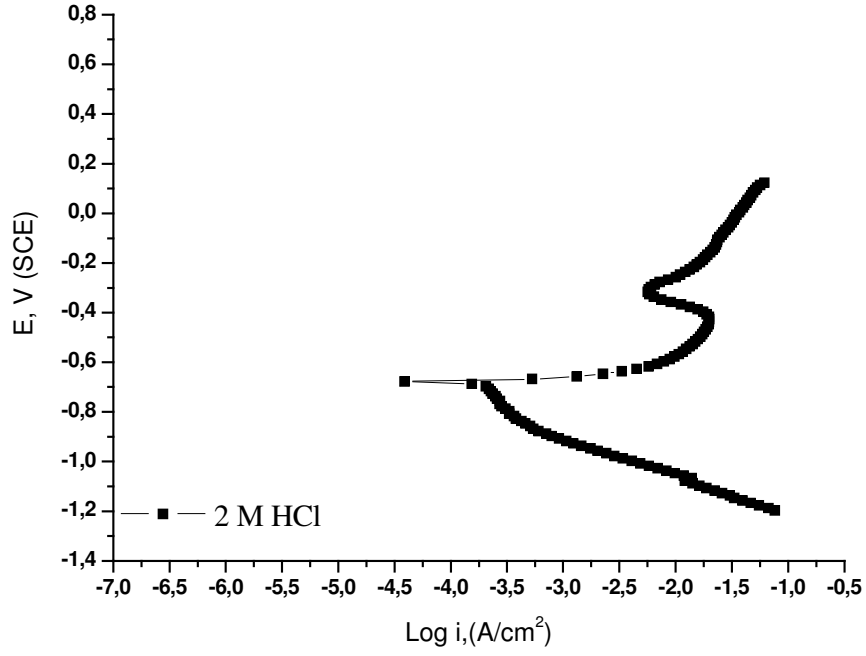
Şekil 6.5: G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin 0.1 M HCl çözeltisi içerisindeki potansiyodinamik polarizasyon eğrisi

Şekil 6.5’ de G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin 0.1M HCl çözeltisi içerisindeki potansiyodinamik polarizasyon eğrisi verilmiştir. Burada, (-0.87V)–(-0.2V) potansiyel aralığında katodik polarizasyon gerçekleşmiştir. Malzeme -0.2V potansiyel değerinden itibaren daha pozitif potansiyellerde anodik polarizasyon sonucu korozyona uğramıştır. Aktif Cl⁻ iyonları nedeniyle anodik bölgede pasifleşme görülmemiştir. Artan potansiyel sonucu malzeme korozyona uğramaya devam etmiştir (Şekil 6.5).



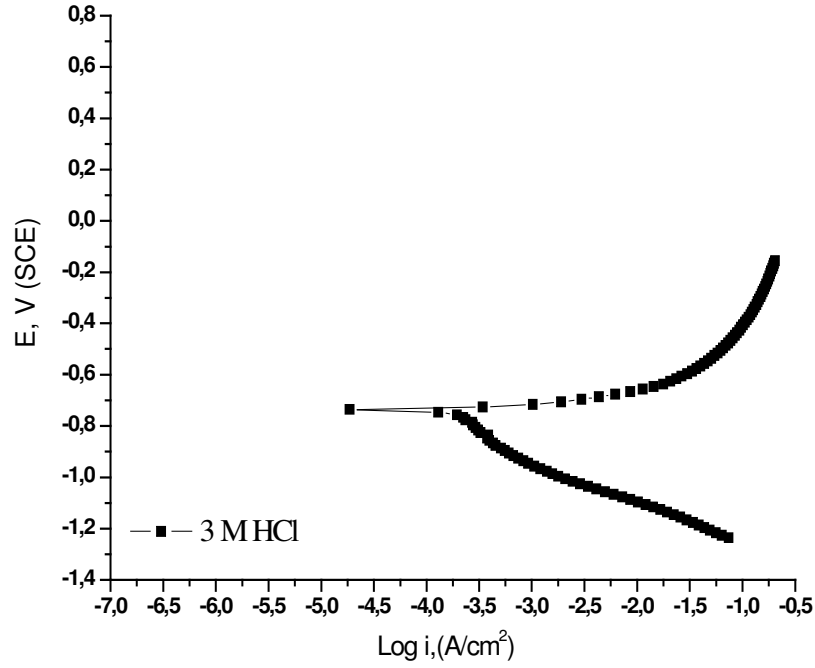
Şekil 6.6: G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin 1M HCl çözeltisi içerisindeki potansiyodinamik polarizasyon eğrisi

1M HCl çözeltisi içerisindeki G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin potansiyodinamik polarizasyon eğrisi Şekil 6.6 ile verilmiştir. Katodik polarizasyon (-1.17V)–(-0.64V) potansiyel aralığındadır. Bu bölgede ortamın asidik olması nedeniyle katodik tepkime hidrojen indirgenmesidir. Hidrojen indirgenmesi aktivasyon denetimlidir. (-0.64V)–(-0.60V) potansiyel aralığında anodik polarizasyon sonucu metal çözünmektedir. -0.60V pasifleşmenin başladığı potansiyel olup, pasifleşme -0.47V' a kadar devam etmiştir. Potansiyelin artmasıyla, -0.47V' dan sonra -0.43V' a kadar metalde tekrar anodik çözünme gerçekleşmiş ve -0.43V' dan sonra -0.4V' a kadar akım yoğunluğunda azalma olmuş, ancak ortamdaki Cl⁻ iyonu derişiminin artması sonucu tam bir pasifleşme gerçekleşmemiştir. Bu eğride birden çok denge akım yoğunluğu görülmektedir. Ancak 1.denge akım yoğunluğu korozyon hızı belirlemelerinde esas alınmaktadır. -0.4V' dan itibaren transpasif bölgeye geçiş olmuştur. Böylece potansiyelin artmasıyla metal çözünmeye devam etmiştir. Transpasif bölgede çözünmeye birlikte aynı zamanda oksijen çıkışı da gözlenmiştir (Şekil 6.6).



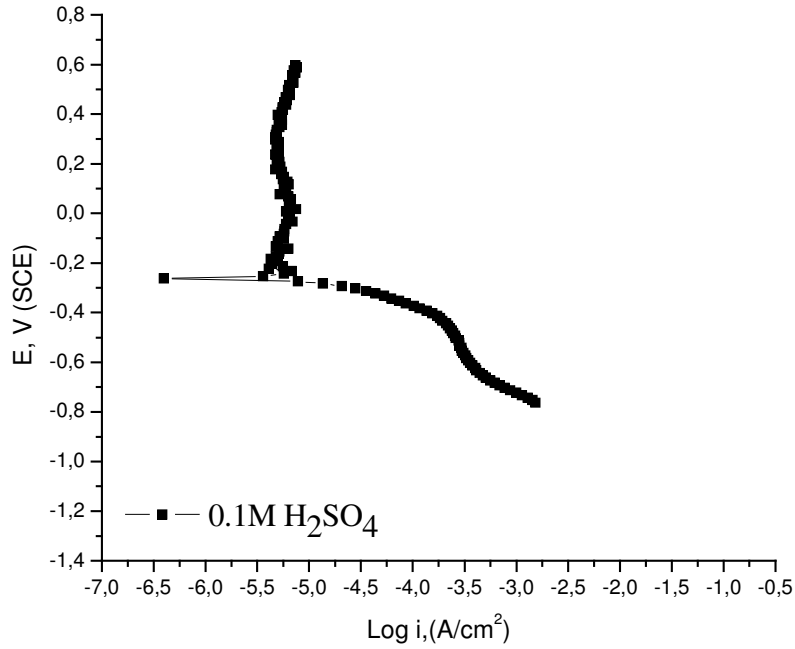
Şekil 6.7: G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin 2M HCl çözeltisi içerisindeki potansiyodinamik polarizasyon eğrisi

Şekil 6.7’ de G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin 2M HCl çözeltisi içerisindeki potansiyodinamik polarizasyon eğrisi verilmiştir. Katodik polarizasyon (-1.2V)–(-0.67V) potansiyel aralığında gerçekleşmiştir. Bu aralıkta gerçekleşen katodik tepkime hidrojen indirgemesidir. (-0.67V)–(-0.40V) potansiyel aralığında anodik polarizasyon sonucu metal çözünmektedir. -0.40V pasifleşmenin başladığı potansiyel olup, bu potansiyelden itibaren oksit oluşumu başlamıştır. -0.30V’ a kadar oksit oluşumu tamamlanmıştır. -0.30V’ da akım yoğunluğu $6309.57\mu\text{A}$ ’ dir. Tam pasifleşme gözlenmemiştir. -0.30V’ dan itibaren potansiyelin artmasıyla birlikte tam pasifleşme bölgesi gözlenmeden transpasif bölgeye geçilmiştir. Yani metal -0.30V potansiyel değerinden itibaren tekrar çözünmeye başlamıştır. Oksit tabakasının bozunmasından dolayı bu bölgede yine oksijen çıkışı gözlenmiştir (Şekil 6.7).



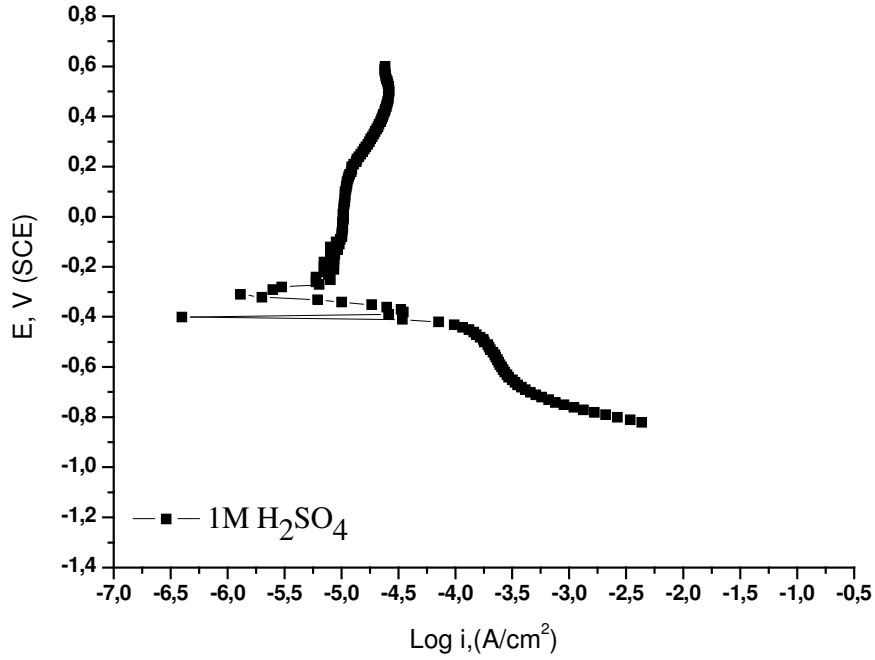
Şekil 6.8: G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin 3M HCl çözeltisi içerisindeki potansiyodinamik polarizasyon eğrisi

3M HCl çözeltisi içerisindeki G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin potansiyodinamik polarizasyon eğrisi Şekil 6.8 ile verilmiştir. Katodik polarizasyon (-1.23V)–(-0.73V) potansiyel aralığında gerçekleşmiştir. Bu bölgede katodik reaksiyon olan hidrojen indirgenmesi görülmüştür. Metal -0.73V’ dan itibaren anodik polarizasyon sonucu çözünmektedir. Metal, bu çözelti içinde klor iyonu derişiminin artması sonucu pasifleşme göstermemiştir. Bu nedenle anodik polarizasyon bölgesinden sonra pasifleşme bölgesi gözlenmeden artan potansiyelle birlikte metal çözünmeye devam etmiştir (Şekil 6.8).



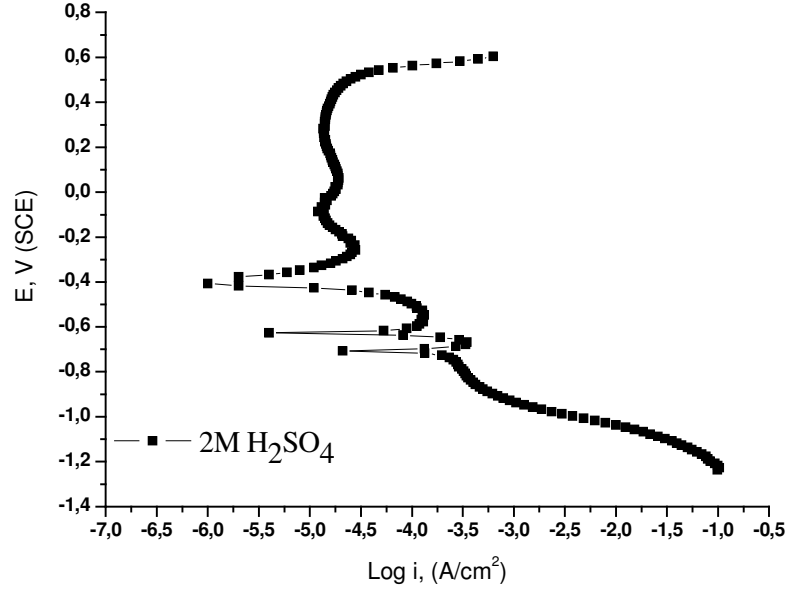
Şekil 6.9: G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin 0.1M H₂SO₄ çözeltisi içerisindeki potansiyodinamik polarizasyon eğrisi

0.1M H₂SO₄ çözeltisi içerisindeki G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin potansiyodinamik polarizasyon eğrisi Şekil 6.9’ da gösterilmiştir. Bu eğriye göre, (-0.76V)–(-0.26V) potansiyel aralığı katodik potansiyel aralığıdır. Katodik potansiyel aralığında, katodik bir tepkime olan hidrojenin indirgenme tepkimesi gerçekleşir. -0.26V’ dan itibaren anodik potansiyele geçilmiştir. (-0.26V)–(-0.22V) potansiyel aralığında metal anodik olarak çözülmüştür. -0.22V’ dan itibaren oksit oluşumu başlamıştır. -0.22V değerinde tam pasifleşme bölgesi başlamış ve 0.55V değerine kadar devam etmiştir. Tam pasifleşme akım yoğunluğu ise 4.89778 μA ’ dir. 0.55V potansiyel değerinde pasiflik tabakası bozularak transpasif bölgeye geçilmiştir (Şekil 6.9).



Şekil 6.10: G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin 1M H₂SO₄ çözeltisi içerisindeki potansiyodinamik polarizasyon eğrisi

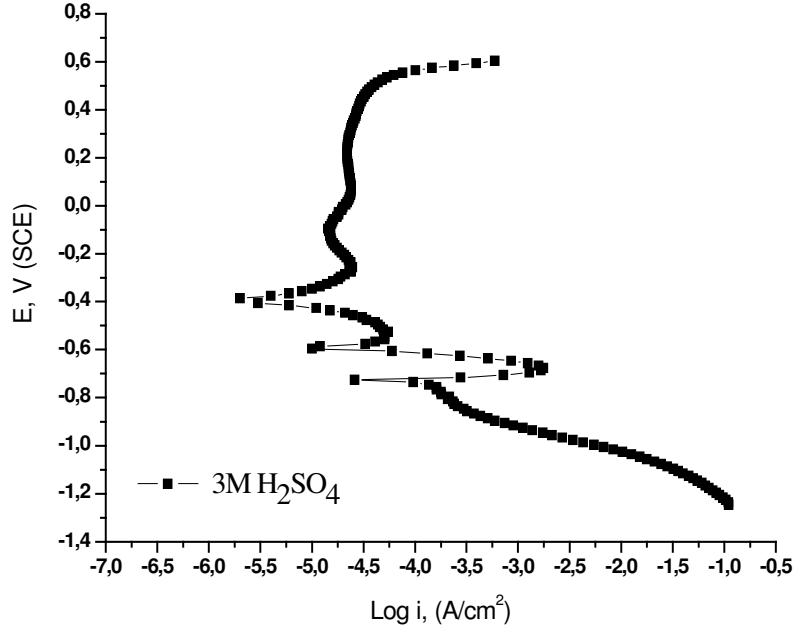
Şekil 6.10 ile 1M H₂SO₄ çözeltisi içerisindeki G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin potansiyodinamik polarizasyon eğrisi verilmiştir. Katodik polarizasyon aralığı (-0.82V)–(-0.39V) potansiyel aralığında olup, bu bölgede katodik tepkime olan hidrojen indirgenmektedir. (-0.39V)–(-0.36V) potansiyel aralığında elektrot anodik olarak çözünmektedir. -0.36V’ dan -0.30V’ a kadar metal yüzeyindeki oksit oluşumu nedeniyle akım yoğunluğu azalmıştır. -0.30V’ dan -0.23V’ a kadar akım yoğunluğu artarak metal tekrar anodik olarak çözünmüştür. -0.23V’ dan itibaren tam pasifleşme gözlenmiştir. Tam pasifleşme potansiyel aralığı (-0.23V)–(+0.56V) potansiyel aralığıdır. Bu bölgedeki tam pasifleşme akım yoğunluğu 11.7489 μ A olarak belirlenmiştir. Bu egride iki tane denge akım yoğunluğu görülmektedir. Ancak 1. denge akım yoğunluğu korozyon hızı belirlemelerinde esas alınmaktadır. +0.56V’ da pasiflik bozulurken aktif bölge başlamaktadır. Potansiyelin artmasıyla birlikte transpasif bölgede metalin çözünmesi devam etmektedir. Bu bölgede aynı zamanda oksit bozulmasından doğan oksijen çıkışı da görülmektedir (Şekil 6.10).



Şekil 6.11: G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin 2M H₂SO₄ çözeltisi içerisindeki potansiyodinamik polarizasyon eğrisi

2M H₂SO₄ çözeltisi içerisindeki G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin potansiyodinamik polarizasyon eğrisi Şekil 6.11’ de gösterilmiştir. (-1.25V)–(-0.71V) potansiyel aralığı katodik polarizasyon aralığı olup, bu bölgede katodik tepkime olan hidrojen indirgenmektedir. (-0.71V)–(-0.66V) potansiyel aralığında elektrot anodik olarak çözünmektedir. -0.66V’ dan -0.62V’ a kadar metal yüzeyindeki oksit oluşumu nedeniyle akım yoğunluğu azalmış ve pasifleşme gözlenmiştir. -0.62V’ dan sonra -0.53V’ a kadar akım yoğunluğu artarak, metal tekrar anodik olarak çözünmüştür. -0.53V’ dan -0.39V potansiyel aralığında akım yoğunluğu azalarak tekrar pasifleşme görülmüştür. Metal yüzeyindeki oksidin yeterince koruyucu olmaması nedeniyle potansiyelin artmasıyla birlikte -0.39V değerinden itibaren metal tekrar -0.25V’ a kadar anodik olarak çözünmüştür. -0,25V’ dan itibaren metal yüzeyinde oksit oluşumu tamamlanarak, metal pasifleşmiştir. (-0.25V)–(+0.52V) potansiyel aralığında tam bir pasifleşme gözlenmiştir. Bu bölgedeki pasiflik akım yoğunluğu 15.8489 μ A olarak belirlenmiştir. Bu eğride üç tane denge akım yoğunluğu görülmektedir. Ancak korozyon hızı belirlemelerinde 1.denge akım yoğunluğu esas alınmaktadır. +0.52V’ da pasiflik bozularak transpasif bölge başlamaktadır. Potansiyelin artmasıyla birlikte

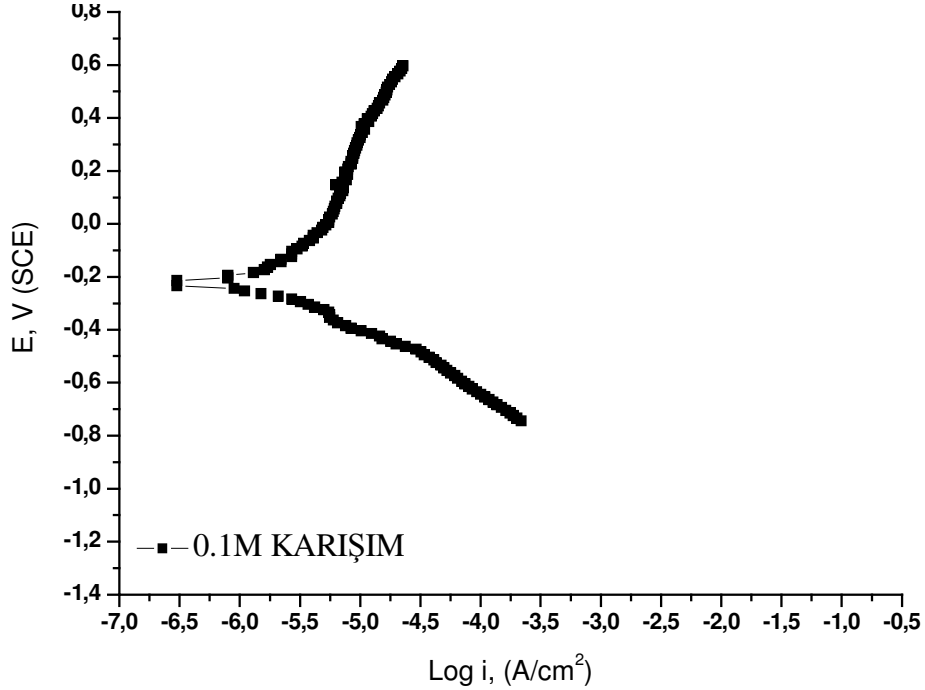
transpasif bölgede metalin çözünmesi devam etmektedir. Bu bölgede aynı zamanda oksit bozulmasından dolayı oksijen çıkışı da görülmektedir (Şekil 6.11).



Şekil 6.12: G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin 3M H₂SO₄ çözeltisi içerisindeki potansiyodinamik polarizasyon eğrisi

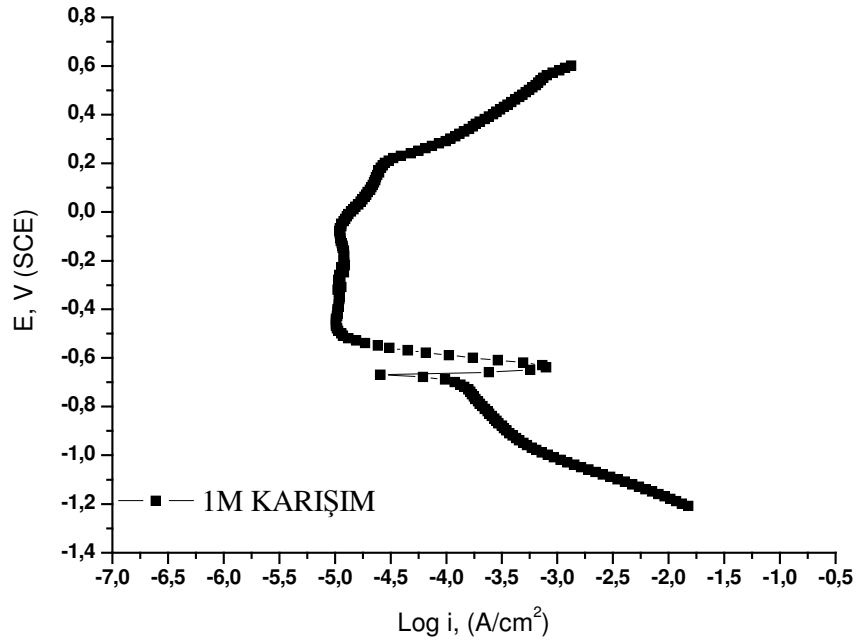
G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin 3M H₂SO₄ çözeltisi içerisinde elde edilen potansiyodinamik polarizasyon eğrisi Şekil 6.12' de gösterilmiştir. Katodik polarizasyon (-1.23V)–(-0.72V) potansiyel aralığında olup, bu bölgede katodik tepkime olan hidrojen indirgenme tepkimesi gerçekleşmiştir. (-0.72V)–(-0.67V) potansiyel aralığında metal anodik olarak çözünmüştür. -0.67V' dan -0.59V potansiyeline kadar metal yüzeyindeki oksit oluşarak pasifleşme sonucu akım yoğunluğu azalmıştır. -0.59V' dan -0.53V' a kadar akım yoğunluğu artarak, bu bölgede metal tekrar anodik olarak çözünmüştür. -0.53V' dan -0.38V potansiyel aralığında oksit oluşarak tekrar pasifleşme gözlenmektedir. Metal yüzeyindeki oksidin yeterince koruyucu olmamasından dolayı metal, -0.38V' dan -0.26V potansiyel değerine kadar metal tekrar çözünmüştür. -0.26V' dan itibaren metal yüzeyinde oksit oluşumu tamamlanarak metal yüzeyinde tam pasifleşme gözlenmiştir. (-0.26V)–(+0.5V) potansiyel aralığı tam pasifleşme potansiyel aralığıdır. Bu bölgedeki pasiflik akım yoğunluğu 23.4422 µA olarak belirlenmiştir.

Bu eğride üç tane denge akım yoğunluğu görülmektedir. Ancak 1.denge akım yoğunluğu korozyon hız belirlemelerinde esas alınmaktadır. 0.5V’ da pasiflik bozularak transpasif bölge başlamaktadır. Potansiyelin artmasıyla birlikte transpasif bölgede metalin çözünmesi devam etmektedir. Bu bölgede aynı zamanda oksit bozulmasından doğan oksijen çıkışı da görülmektedir (Şekil 6.12).



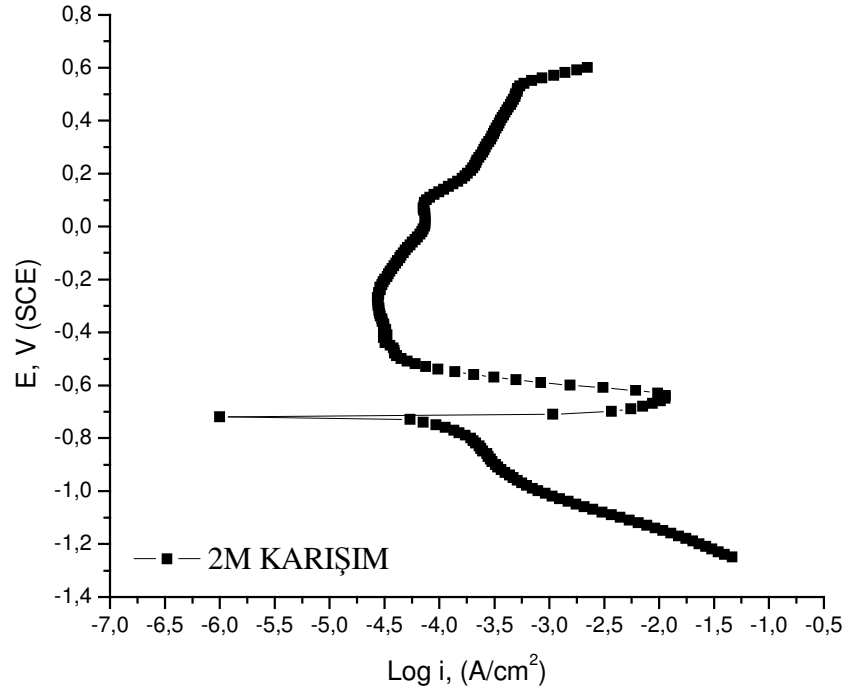
Şekil 6.13: G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin %50 0.1M H₂SO₄ + %50 0.1M HCl karışım çözeltisi içerisindeki potansiyodinamik polarizasyon eğrisi

Şekil 6.13’ de G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin %50 0.1M H₂SO₄ + %50 0.1M HCl karışım çözeltisi içerisindeki potansiyodinamik polarizasyon eğrisi verilmiştir. Katodik polarizasyon (-0.75V)–(-0.22V) potansiyel aralığındadır. Hidrojen bu bölgede indirgenmiştir. Metal -0.22V’ dan itibaren -0.0045V değerine kadar anodik polarizasyon sonucu çözünmektedir. Bu değerden itibaren tam pasifleşme bölgesi görülmektedir, Dolayısıyla metalde koruyucu oksit tabakası meydana gelmiştir. Tam pasifleşme akım yoğunluğu 8.1283 µA’ dir 0.4V değerinde bu tabaka bozularak transpasif bölgeye geçilerek tekrar çözünme başlamış ve artan potansiyelle birlikte artmıştır (Şekil 6.13).



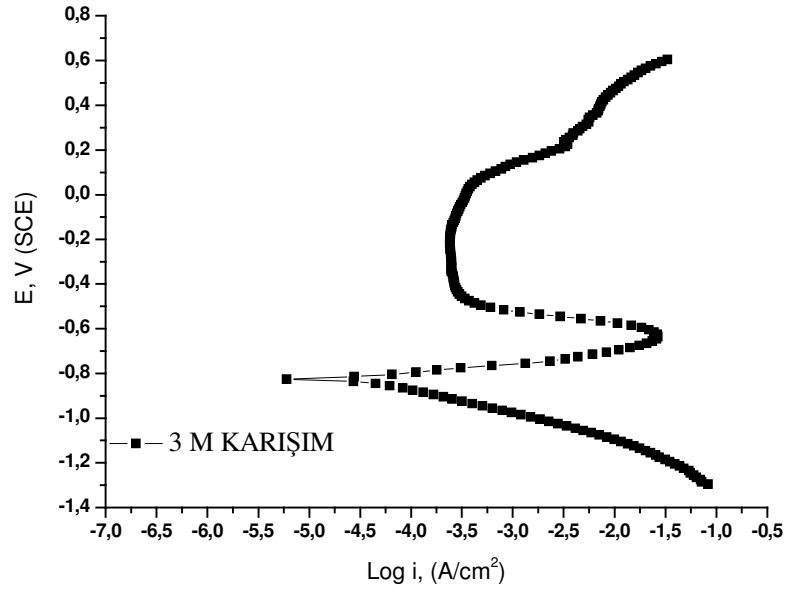
Şekil 6.14: G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin %50 1M H₂SO₄ + %50 1M HCl karışım çözeltisi içerisindeki potansiyodinamik polarizasyon eğrisi

G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin %50 1M H₂SO₄ + % 50 1M HCl karışım çözeltisi içerisindeki potansiyodinamik polarizasyon eğrisi Şekil 6.14 ile verilmiştir. Burada, (-1.2V)–(-0.66V) potansiyel aralığında katodik polarizasyon gerçekleşmiştir. Bu bölgede ortamın asidik olması nedeniyle katodik tepkime hidrojen indirgemesidir. Hidrojen indirgemesi aktivasyon denetimlidir. (-0.66V)–(-0.62V) potansiyel aralığında metal anodik polarizasyon sonucu çözünmektedir. -0.62V pasifleşmenin başladığı potansiyel olup, pasifleşme -0.52V' a kadar devam etmektedir. bu potansiyel aralığında koruyucu oksit tabakası oluşumu gerçekleşir. -0.52V potansiyel değerinde oksit oluşumu tamamlanır ve tam pasifleşme aralığı başlar. Tam pasifleşme akım yoğunluğu 12.8825 μA ' dir. Tam pasifleşme potansiyel aralığı +0.21V potansiyel değerine kadar devam eder ve bu değerden sonra transpasif bölgeye başlar. Transpasif bölgede artan potansiyelle birlikte metal tekrar çözülmeye başlamıştır. Bu bölgede oksit tabakası bozulmaya uğradığında dolayı oksijen çıkışı gözlenmiştir (Şekil 6.14).



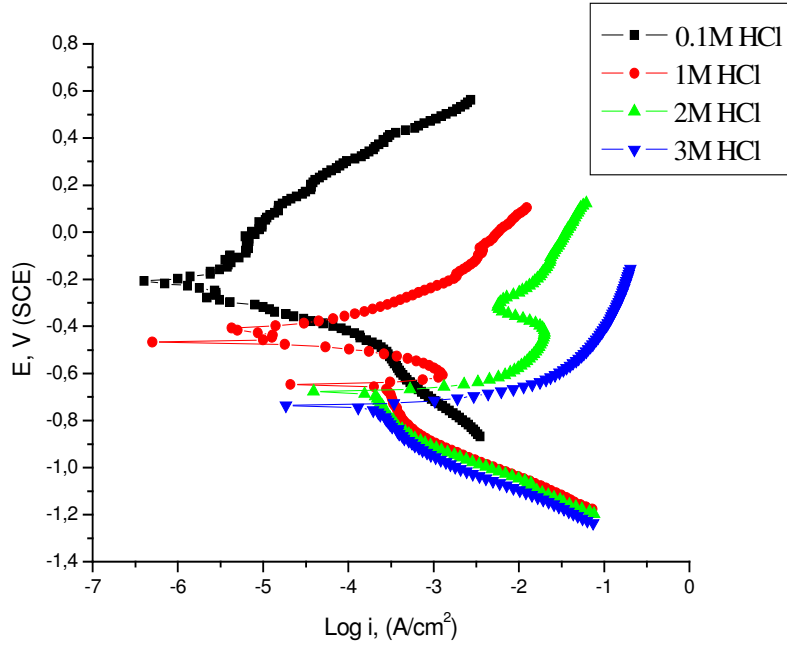
Şekil 6.15: G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin %50 2M H₂SO₄ + %50 2M HCl karışım çözeltisi içerisindeki potansiyodinamik polarizasyon eğrisi

%50 2M H₂SO₄ + % 50 2M HCl karışım çözeltisi içerisindeki G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin potansiyodinamik polarizasyon eğrisi Şekil 6.15’ de gösterilmiştir. Bu eğriye göre, katodik polarizasyon (-1.2V)–(-0.71V) potansiyel aralığında gerçekleşmiştir. Artan potansiyelle birlikte, (-0.71V)–(-0.64V) potansiyel aralığında anodik polarizasyon aralığında metal anodik olarak çözülmüştür. -0.64V pasifleşmenin başladığı potansiyel olup, bu potansiyelden itibaren oksit oluşumu başlamıştır. Oksit oluşumu -0.51V potansiyel değerine kadar tamamlanmıştır ve tam pasifleşme bu potansiyelde gözlenmiştir. (-0.51V)–(+0.11V) potansiyel aralığı tam pasifleşme potansiyel aralığı olup, tam pasifleşme akım yoğunluğu ise 35.481338 μA ’ dır. +0.11V’ dan sonra potansiyel değerinin artmasıyla transpasif bölgeye geçilmiş ve çelik tekrar çözülmeye başlamıştır. Bu bölgede bozunan oksit tabakasının neden olduğu oksijen çıkışı gözlenmiştir (Şekil 6.15).



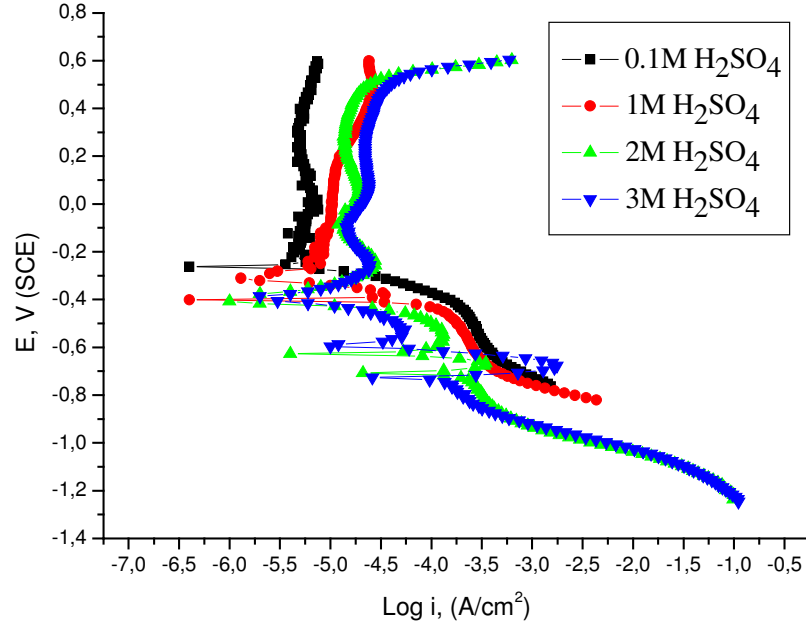
Şekil 6.16: G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin %50 3M H₂SO₄ + %50 3M HCl karışım çözeltisi içerisindeki potansiyodinamik polarizasyon eğrisi

Şekil 6.16’ da G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin %50 3M H₂SO₄ + %50 3M HCl karışım çözeltisi içerisindeki potansiyodinamik polarizasyon eğrisi verilmiştir. Buna göre, katodik polarizasyon (-1.3V)–(-0.83V) potansiyel aralığında gerçekleşmiştir. -0.83V’ dan itibaren çelik anodik polarizasyon sonucu -0.62V’ a kadar çözünmüştür. (-0.83V)–(-0.62V) potansiyel aralığı anodik polarizasyon aralığıdır. Pasifleşmenin başladığı potansiyel -0.62V’ dur. Bu potansiyelden itibaren oksit tabakası oluşumu başlamış ve -0.49V’ a kadar oksit oluşumu tamamlanmıştır. Tam pasifleşme potansiyeli -0.49V olup, tam pasifleşme akım yoğunluğu ise 251.18 µA’ dir. Pasiflik potansiyel aralığı (-0.49V)–(+0.06V) olup, bu potansiyel aralığında elektrot yüzeyinde oluşan koruyucu özellikteki oksit katmanı yüzeyde pasiflik oluşturmuştur. Artan potansiyelle birlikte +0.06V’ dan itibaren transpasif bölgeye geçilmiştir. Bu bölgede çelik tekrar çözünmektedir, metal çözünmesinin yanı sıra oksijen çıkışı da gerçekleşmiştir (Şekil 6.16).



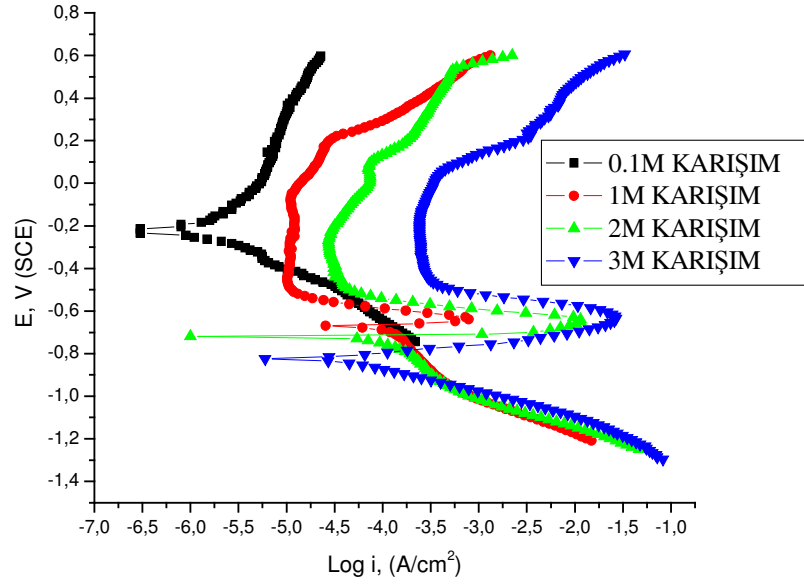
Şekil 6.17: G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin farklı derişimlerdeki (0.1M, 1M, 2M, 3M) HCl çözeltileri içerisindeki potansiyodinamik polarizasyon eğrileri

G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin farklı derişimlerdeki (0.1M, 1M, 2M, 3M) HCl çözeltilerinde elde edilen potansiyodinamik polarizasyon eğrileri Şekil 6.17’ de verilmiştir. Buna göre asit derişimi arttıkça korozyon hızı da artmıştır. H₂SO₄ ve %50 HCl ve %50 H₂SO₄ karışım çözeltilerinde görülen tam pasifleşme HCl çözeltilerinde görülmemiştir. Bu çözeltilerde Cl⁻ iyonları aktif olup, metal yüzeyine kadar girmekte ve metalin çözünürlüğünü arttırmaktadır. Cl⁻ derişiminin artmasıyla bu etki daha da artmıştır. Katodik ve anodik polarizasyon potansiyel aralığı hidroklorik asit (HCl) derişimi arttıkça negatif potansiyel bölgesine doğru kaymıştır (Şekil 6.17).



Şekil 6.18: G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin farklı derişimlerdeki (0.1M, 1M, 2M, 3M) H₂SO₄ çözeltileri içerisindeki potansiyodinamik polarizasyon eğrileri

G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin farklı derişimlerdeki (0.1M, 1M, 2M, 3M) H₂SO₄ çözeltileri içerisinde elde edilmiş potansiyodinamik polarizasyon eğrileri Şekil 6.18’ de verilmiştir. Dört farklı derişimi içeren bu eğrilerin hepsinde metal yüzeyinde oksit oluşumu gerçekleşmiş ve anodik polarizasyon esnasında tam pasifleşme bölgesi gözlenmiştir. Bu eğriler incelendiğinde artan H₂SO₄ derişimiyle tam pasifleşme potansiyel aralığında ve pasiflik bozulma potansiyelinde azalma görülmüştür. Tam pasifleşmenin başladığı akım yoğunluğu(flade potansiyeli genliği) değerleri derişimin artmasıyla birlikte artmıştır. Bu eğrilerde birden çok denge akım yoğunluğu görülmektedir. Hesaplamalarda 1. Denge akım yoğunluğu değerleri esas alınır. Pasifleşebilen metallerde korozyon hızını belirleyen parametre pasifleşme akım yoğunluğu olup, asit derişimi arttıkça pasifleşme akım yoğunluğu da artmıştır. Yani sülfürik asit derişiminin 0.1M’ dan 3M’ a artmasıyla korozyon hızı 4.8 kat artmıştır (Şekil 6.18).



Şekil 6.19: G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin farklı derişimlerdeki (0.1M, 1M, 2M, 3M) %50 HCl ve %50 H₂SO₄ karışım çözeltileri içerisinde elde edilen potansiyodinamik polarizasyon eğrileri

Farklı derişimlerdeki (0.1M, 1M, 2M, 3M) %50 HCl ve %50 H₂SO₄ karışımı çözeltileri içerisindeki G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliği için elde edilmiş potansiyodinamik polarizasyon eğrileri Şekil 6.19’ de verilmiştir. Buna göre, 0.1M’ lık %50 HCl ve %50 H₂SO₄ karışım çözeltileri dışında 1M, 2M ve 3M’ lık derişimlerde tam pasifleşme görülmektedir. Flade potansiyeli tüm derişimlerde benzer değer aralığında değişmektedir. Flade potansiyelinin genliği derişimin artmasıyla birlikte artmıştır. Tam pasifleşme potansiyel aralığı asit derişimi arttıkça azalmıştır. Ayrıca transpasif potansiyel değeri de derişim arttıkça azalmıştır. Örneğin, %50 1M HCl ve %50 1M H₂SO₄ karışım çözeltilerinde transpasif potansiyel değeri 0.21V iken %50 3M HCl ve %50 3M H₂SO₄ karışım çözeltilerinde 0.06V’ a düşmüştür. Tam pasifleşme akım yoğunluğu %50 HCl + %50 H₂SO₄ karışım çözeltilerinin derişimi arttıkça artmıştır. Örneğin, %50 1M HCl ve %50 1M H₂SO₄ karışım çözeltilerinde tam pasifleşme akım yoğunluğu 8,128305 µA iken bu değeri %50 3M HCl ve %50 3M H₂SO₄ asit karışımı çözeltilerinde 251.18 µA değerini almıştır (Şekil 6.19).

G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin farklı derişimlerdeki (0.1M, 1M, 2M, 3M) asidik çözeltiler (HCl, H₂SO₄, %50 HCl + %50 H₂SO₄) içinde yapılan polarizasyon ölçümleri sonucunda elde edilen elektrokimyasal parametreler (korozyon akım yoğunluğu (i_{corr}) ve polarizasyon direnci (R_p)) Tablo 6.1’ de verilmiştir. Bu ölçümler $\beta_A=\beta_B=100$ mV olduğu koşullar dikkate alınarak otomatik olarak belirlenmiştir. Buna göre tüm ortamlarda asit derişimi arttıkça korozyon akım yoğunluğu artmıştır. En fazla korozyon HCl çözeltisi içerisinde olmuştur. Bunu H₂SO₄ çözeltisi ve %50 HCl + %50 H₂SO₄ karışım çözeltisi izlemektedir. Cl⁻ iyonlarının aşındırıcı etkisi nedeniyle HCl deki korozyon hızının diğer ortamlara göre çok fazla olduğu belirlenmiştir. Örneğin 3M HCl çözeltisinde korozyon hızı (i_{corr}) 4505 μ A iken H₂SO₄ çözeltisinde bu değer 445 μ A, %50 HCl + %50 H₂SO₄ karışım çözeltisinde ise 380.6 μ A’ dir. Polarizasyon direnci akım yoğunluğu ile ters orantılı olup, tüm ortamlarda korozyon akım yoğunluğu artarken, polarizasyon direnci azalmıştır. Örneğin 0.1M HCl çözeltisinde 569.226 ohm iken 3M HCl çözeltisinde bu değer 4.822 ohm’ a düşmüştür (Tablo 6.1).

Tablo 6.1: G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin farklı derişimlerdeki (0.1M, 1M, 2M, 3M) asidik çözeltiler (HCl, H₂SO₄, %50 HCl + %50 H₂SO₄) içindeki polarizasyon ölçümleri sonucunda elde edilen elektrokimyasal parametreler

HCl çözeltisinde Deney numunesi için	I_{corr} (µA)	Korozyon Hızı(mpy)	R_p (ohm)
0.1 M HCl	38.19	22.48	569.226
1M HCl	486.3	286.2	44.705
2M HCl	1085	683.5	20.038
3M HCl	4505	2653	4.822
H₂SO₄ çözeltisinde Deney numunesi için	I_{corr} (µA)	Korozyon Hızı(mpy)	R_p (ohm)
0.1M H ₂ SO ₄	10.72	6.310	2027.625
1M H ₂ SO ₄	130.6	76.85	166.479
2M H ₂ SO ₄	407.7	240.0	53.318
3M H ₂ SO ₄	445.5	262.2	48.796
KARIŞIM çözeltisinde Deney numunesi için	I_{corr} (µA)	Korozyon Hızı(mpy)	R_p (ohm)
0.1M KARIŞIM	2.00	1.177	10869.652
1M KARIŞIM	49.56	29.17	438.644
2M KARIŞIM	114.0	67.09	190.709
3M KARIŞIM	380.6	224.0	57.119

Elde edilen pasiflik eğrilerinin gidişleri pasifleşme ortamına ve ortamda bulunan iyonlara bağlı olarak değişmektedir (Şekil 6.5-Şekil 6.19). Özellikle H_2SO_4 ve % 50 H_2SO_4 + %50 HCl asit karışımı çözeltileri içinde elde edilen pasifleşme kritik akım yoğunluğu, pasif potansiyel bölgesi, pasifleşme ve pasiflik bozulma potansiyelleri değişmektedir (Şekil 6.9-Şekil 6.16).

Sülfürik asit(H_2SO_4) içerisine hidroklorik asit(HCl) çözeltisi içindeki Cl^- iyonları eklenince kritik akım yoğunlukları ve pasifleşme potansiyelleri artarken, pasiflik bozulma potansiyelleri küçülmektedir (Şekil 6.9-Şekil 6.12).

Asidik çözeltilerde hidrojen iyon H^+ derişiminin artışı anodik kritik akım yoğunluğunu arttırmıştır. Bu nedenle asit derişimi arttıkça, korozyon hızı da artmaktadır (Şekil 6.5-Şekil 6.19, Tablo6.1).

Cl^- anyonu aktifleştirici bir anyondur. Bu nedenle, hidroklorik asit(HCl) çözeltisi içerisinde, Cl^- iyon derişiminin artmasıyla birlikte pasiflik bölgesi tamamen kaybolmuştur (Şekil 6.5-Şekil 6.19).

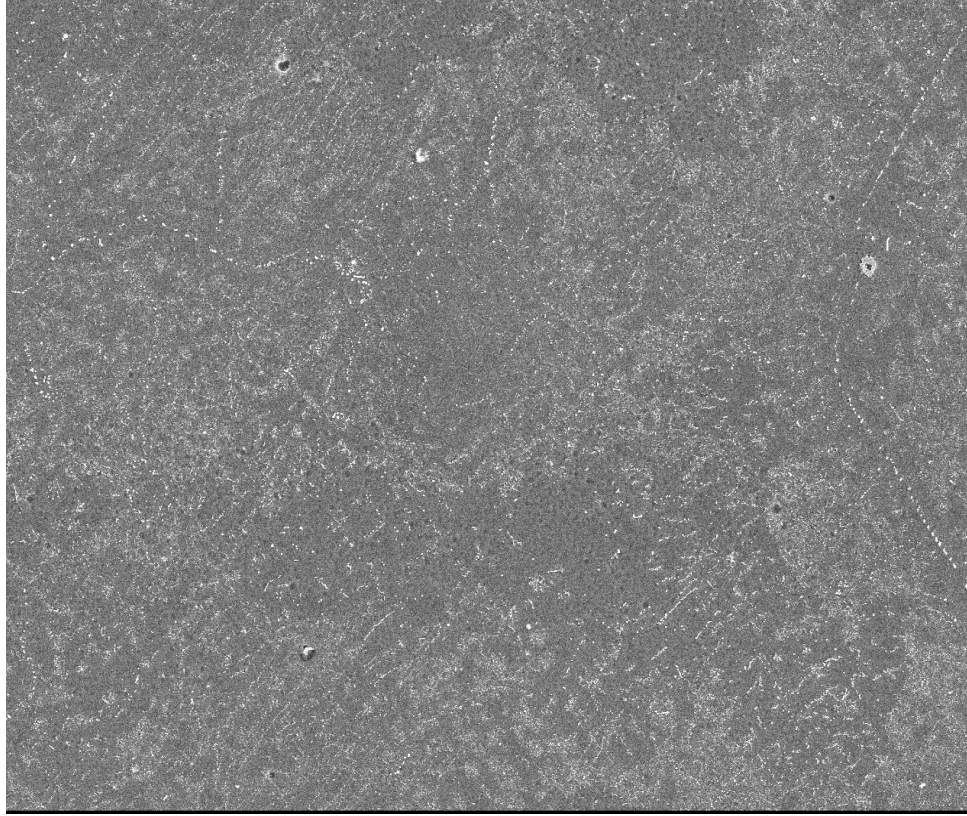
6.3. Yüzey Analizi Yöntemi ile Elde Edilen Sonuçlar

6.3.1. SEM analizi ile elde edilen sonuçlar

G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğinden elde edilmiş plakaların yüzey temizlikleri yapıldıktan sonra yüzey değişimlerinin incelenmesi için 3M H_2SO_4 , 3M HCl ve %50 3M HCl + % 50 3M H_2SO_4 karışımı çözeltilerine daldırılmışlardır. Hazırlanmış numuneler 120 gün süreyle çözeltiler içinde bekletilmiş ve 120.gün sonunda çözeltilerden çıkarılan numuneler çeşme suyu ve saf su ile temizlendikten sonra yüzeylerindeki değişimi incelemek için SEM (Scanning Electron Microscope) resimleri çekilmiştir. Yüzeydeki değişimin kıyaslanabilmesi

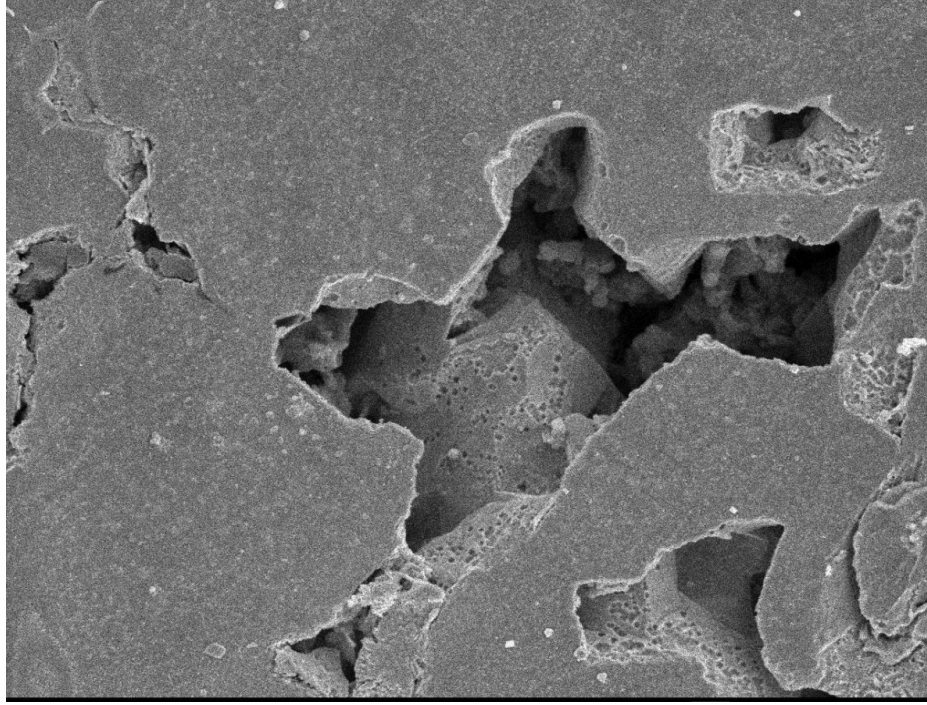
için çeşme suyu ve saf su ile temizlenmiş başlangıç numunesinden de bir adet SEM resmi çekilmiştir.

Böylece farklı asidik çözeltilere maruz kalmış deney numunelerinin yüzeylerinde oluşan korozyon tipi SEM görüntüleri vasıtasıyla incelenmiştir.



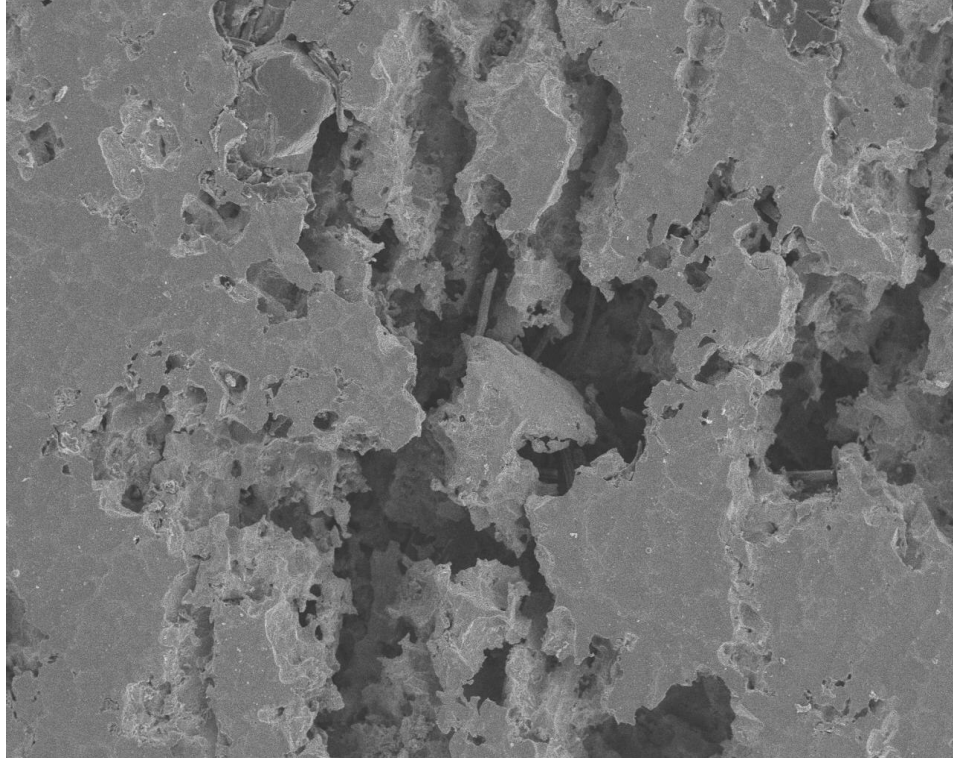
Şekil 6.20: Korozyona maruz kalmayan G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin SEM filmi.

Şekil 6.20’ de çeşme suyu ve saf su ile temizlenmiş G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğinden elde edilmiş plakanın SEM filmi verilmiştir. Buna göre, yapıda herhangi bir pürüzlülük olmadığı görülmektedir.



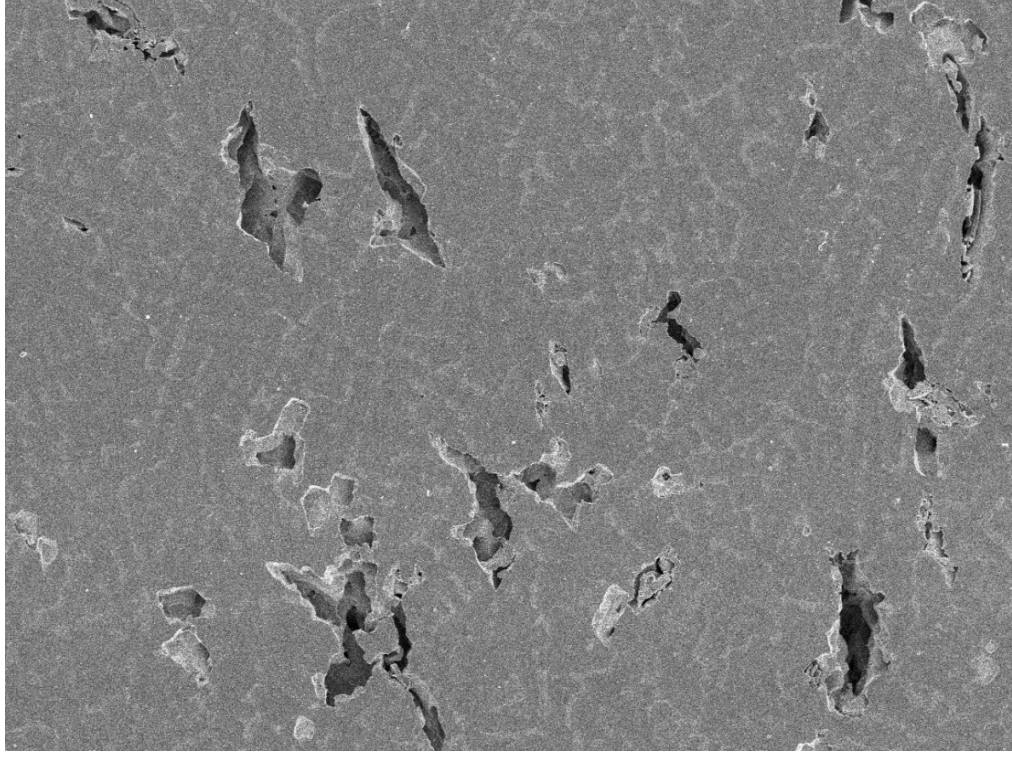
Şekil 6.21: 3M HCl çözeltisine 120 gün süreyle maruz kalan G-X 10 CrNiMoNb 18-10 ostenitik paslanmaz çeliğin SEM filmi.

Şekil 6.21 G-X 10 CrNiMoNb 18-10 ostenitik paslanmaz çeliğin 120 gün süreyle 3M HCl çözeltisine maruz kaldıktan sonraki SEM görüntüsüdür. Bu fotoğraf incelendiğinde, çeliğin yüzeyinde oyuklaşma(pitting) korozyonu meydana geldiği görülmektedir. Aktif Cl⁻ iyonlarının malzeme içine kadar girip malzemeyi korozyona uğrattığını söyleyebiliriz. Yüzeyde oluşan bu derin oyuklar malzeme özelliklerini olumsuz yönde etkilemiştir. Yapılan kütle kaybı ve polarizasyon deneylerinde en yüksek korozyon hızı HCl çözeltilerinde elde edilmiştir. Aynı zamanda yapılan sertlik ölçümlerinin sonucunda asit çözeltilerinin G-X 10 CrNiMoNb 18-10 ostenitik paslanmaz çeliğin sertliğine etkileri incelenmiş ve en fazla sertlik azalması da yine HCl çözeltisinde gözlenmiştir. HCl çözeltisinin diğer deneyler sonucu gözlenen şiddetli korozif etkisi yukarıdaki görüntüden açıkça anlaşılmaktadır.



Şekil 6.22: 3M H₂SO₄ çözeltisine 120 gün süreyle maruz kalan G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin SEM filmi.

120 gün süreyle 3M H₂SO₄ çözeltisine maruz kalan G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çelik yüzeyinin SEM filmi Şekil 6.22' de verilmiştir. Bu fotoğraf incelendiğinde, 3M H₂SO₄ çözeltisine maruz çelikte oyuklaşma(pitting) korozyonu olduğu görülmektedir. Şekilde görülen derin oyuklar malzemenin mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedir. Yapılan kütle kaybı, elektrokimyasal polarizasyon ve sertlik ölçümlerinde de bu olumsuz etki gözlenmiştir. Farklı çözeltiler içinde yapılan bu deneylerde HCl çözeltisinden sonra en korozif etki H₂SO₄ çözeltisinde gözlenmiştir.

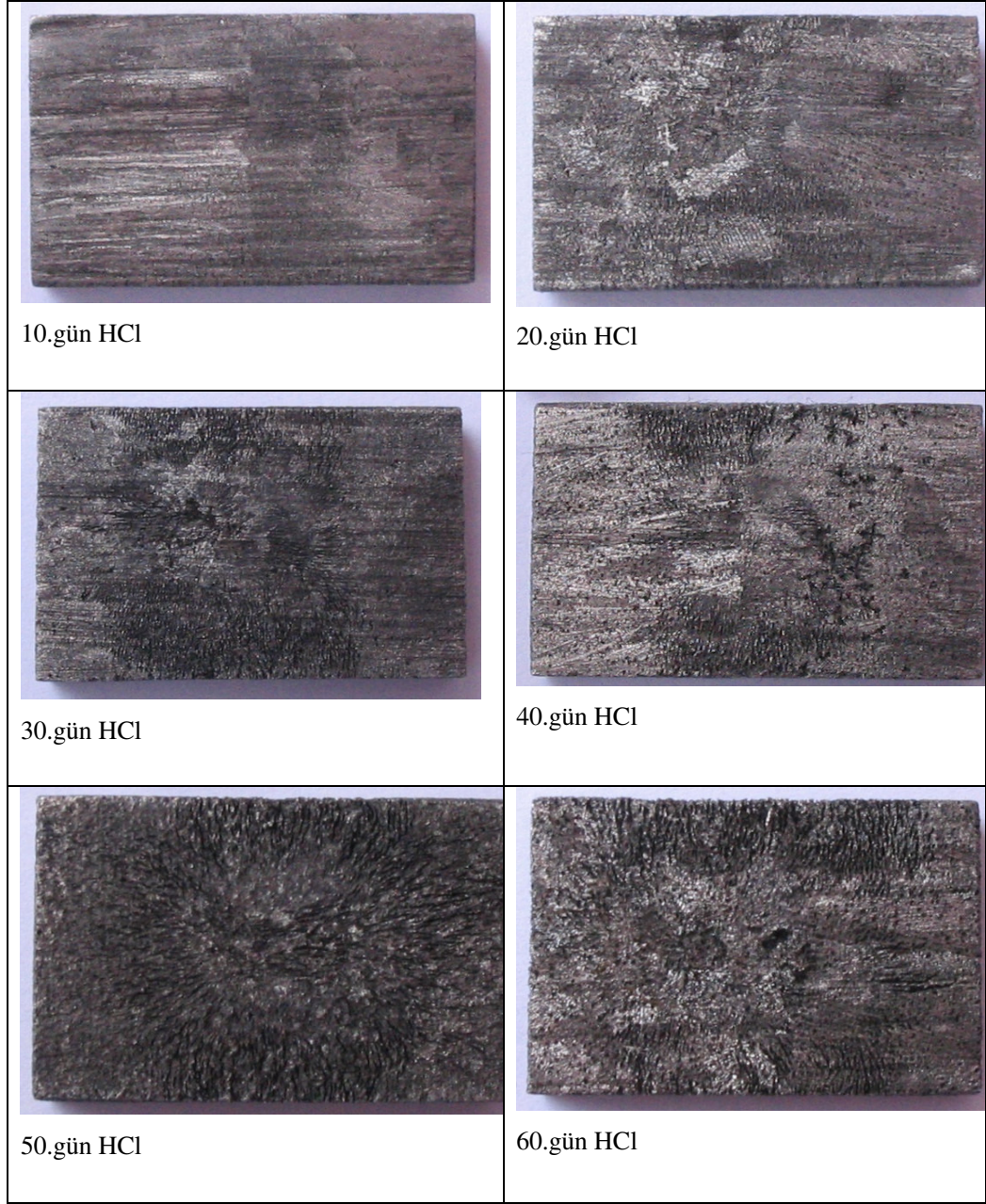


Şekil 6.23: %50 3M H₂SO₄ + %50 3M HCl karışımı çözeltisine 120 gün süreyle maruz kalan G-X 10 CrNiMoNb 18-10 ostenitik paslanmaz çeliğin SEM filmi

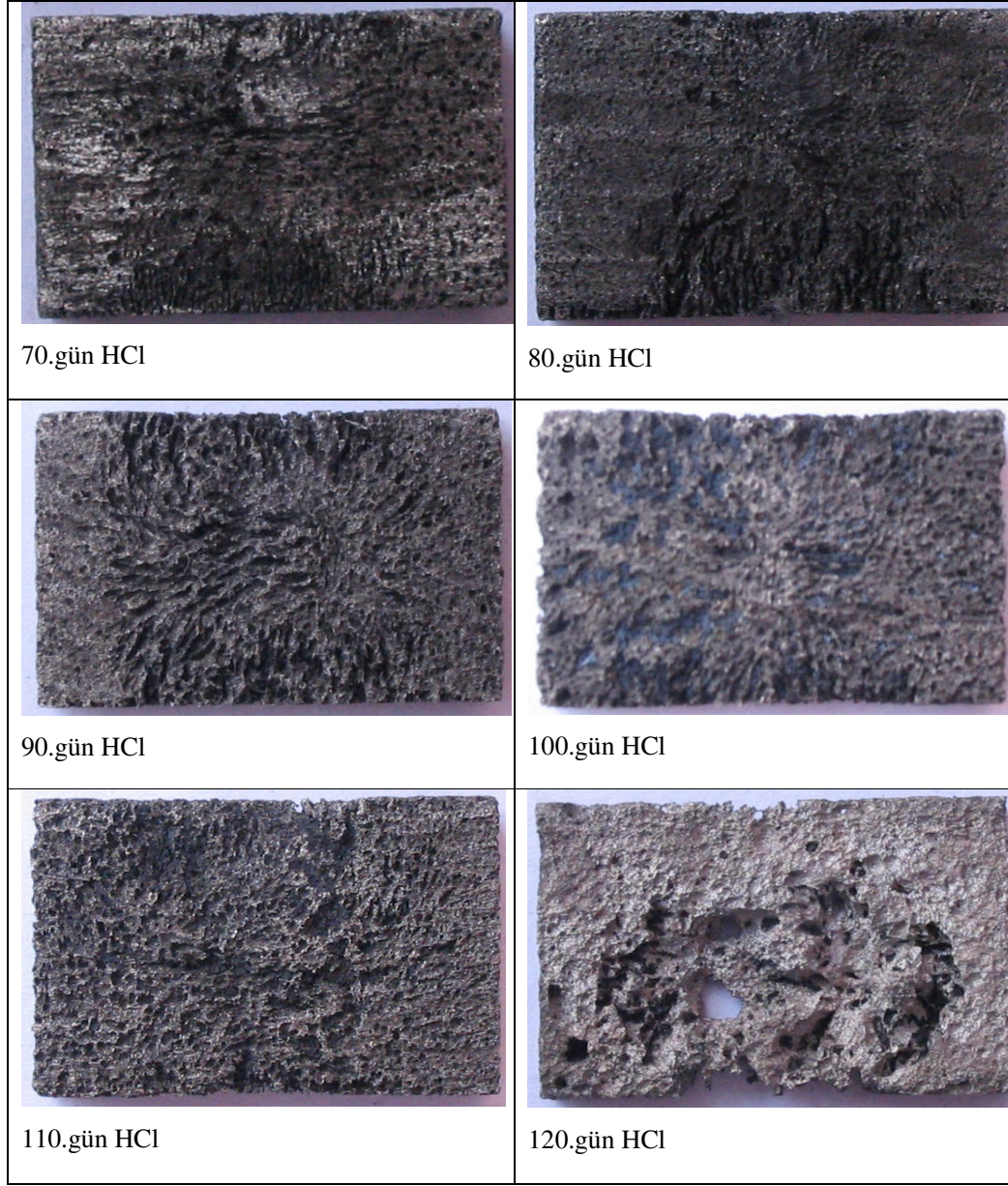
%50 3M H₂SO₄ + %50 3M HCl karışımı çözeltisine 120 gün süreyle maruz kalan G-X 10 CrNiMoNb 18-10 ostenitik paslanmaz çeliğin SEM filmi Şekil 6.23' te verilmiştir. Bu fotoğrafta da malzeme yüzeyinde yine HCl ve H₂SO₄ çözeltilerinde olduğu gibi oyuklaşma (pitting) tipi korozyon gözlenmiştir. Fakat bu asitlerin karışımı etkiğinde ortaya çıkan korozif etki, sadece HCl ya da sadece H₂SO₄ çözeltileri ile kıyaslandığında daha düşüktür. Bu durum diğer deney sonuçlarında da gözlenmiştir. SEM filmlerindeki görünüm de yapılan diğer deneyleri desteklemektedir.

6.3.2 Fotoğraf çekimi ile elde edilen sonuçlar

Bu bölümde, G-X 10 CrNiMoNb 18-10 ostenitik paslanmaz çeliğin farklı asidik çözeltilere maruz kaldıktan sonraki genel görünümü belirli gün aralıklarında çekilen fotoğraflarla incelenmiştir. Bu fotoğraflar incelenerek çözeltilerin korozif etkisi kıyaslanmıştır.



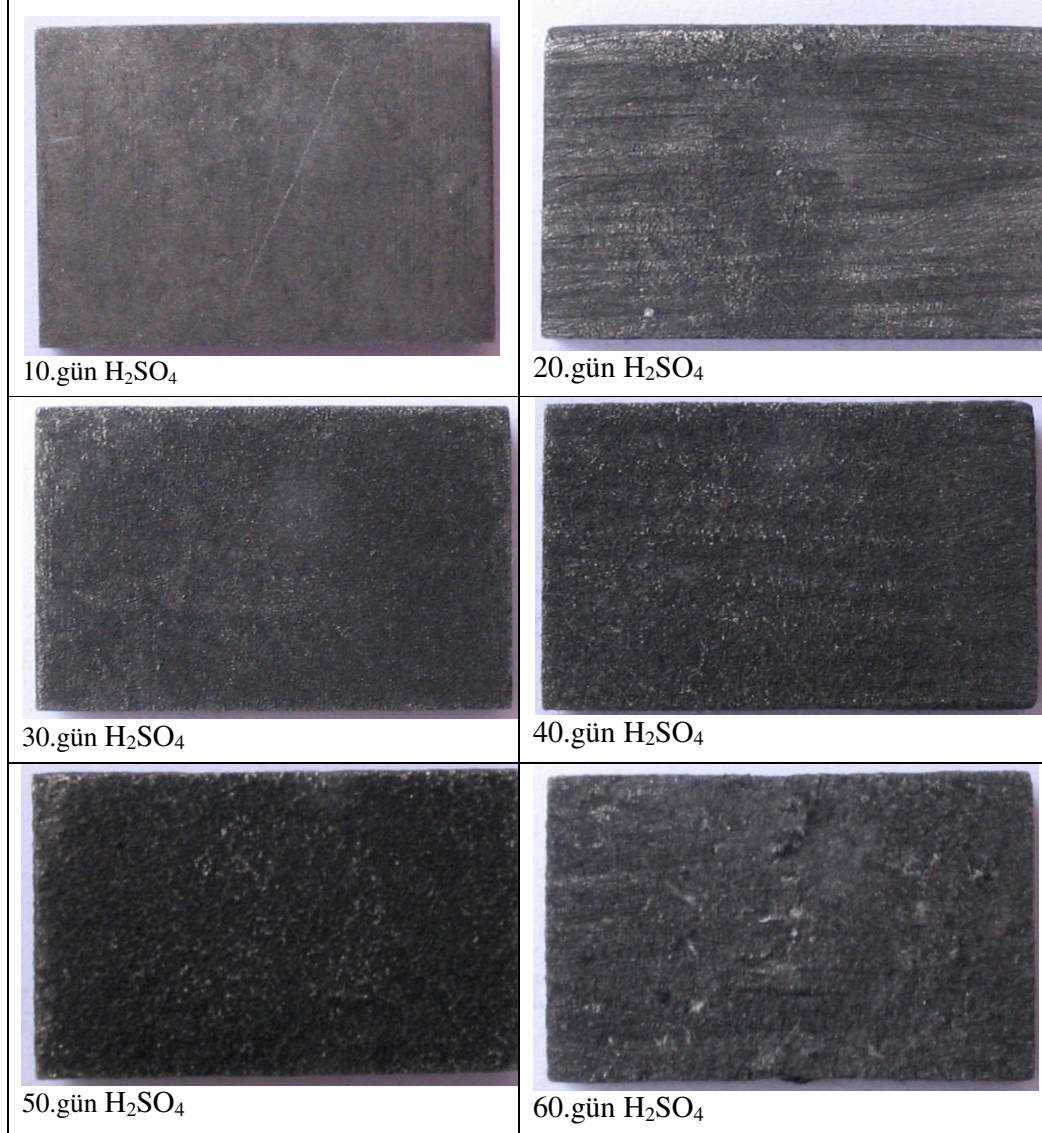
Şekil 6.24: G-X 10 CrNiMoNb 18-10 ostenitik paslanmaz çeliğin 3M HCl çözeltisi içinde günlere göre genel fotoğrafı.



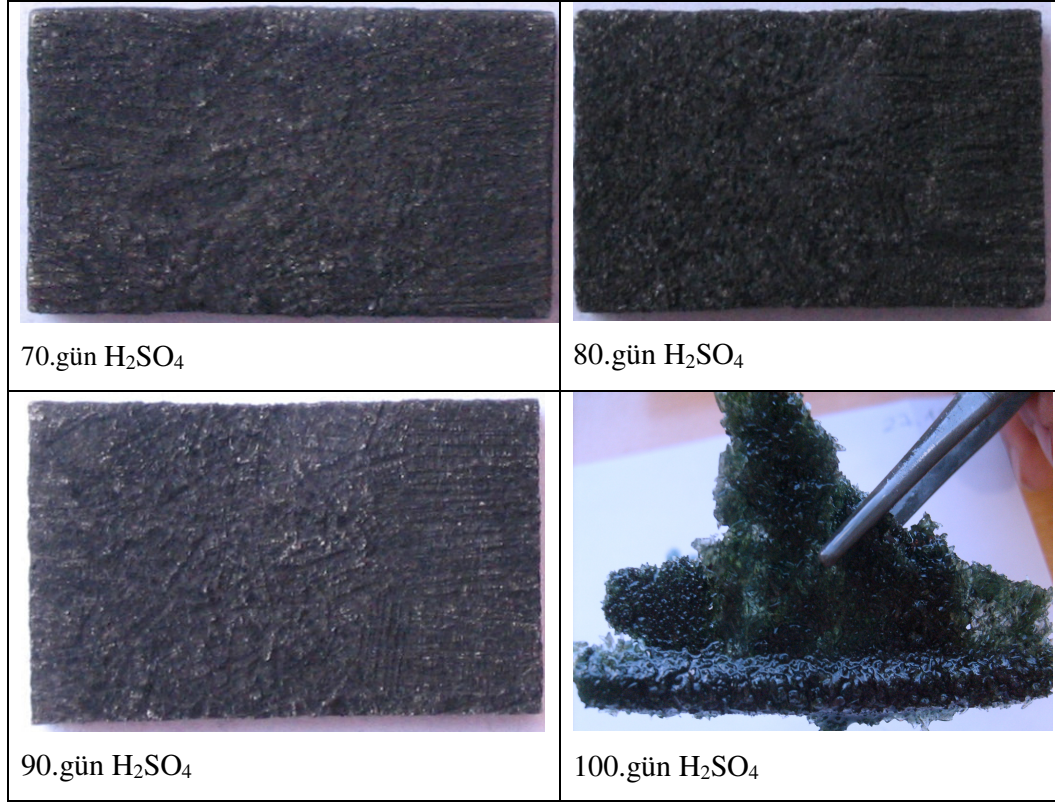
Şekil 6.24 (devamı): G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin 3M HCl çözeltisi içinde günlere göre genel fotoğrafı.

Genel yüzey görünümü incelenmek için G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliği 3M HCl çözeltisine 120 gün süreyle maruz bırakılmıştır. Her 10 günde bir çözeltiden çıkarılan numunelere ait genel yüzey fotoğrafları Şekil 6.24’ te verilmiştir. Bu fotoğraflar incelendiğinde, 10. ve 20. güne ait resimlerde malzeme yüzeyinde belirgin bir korozyon olmadığı görülmektedir. 30. günden itibaren malzeme yüzeyinde bölgesel korozyon sonucu oyuklar oluşmaya başlamıştır. İlerleyen günlerle birlikte oyukların sayısı artarak daha geniş alanda korozif etkiler

gözlenmiştir. 90. günden itibaren malzeme yüzeyinde derin oyuklar gözlenmiş ve 120. günde metal levha, aktif Cl^- iyonlarının etkisiyle delinmiş ve neredeyse paramparça olmuştur.

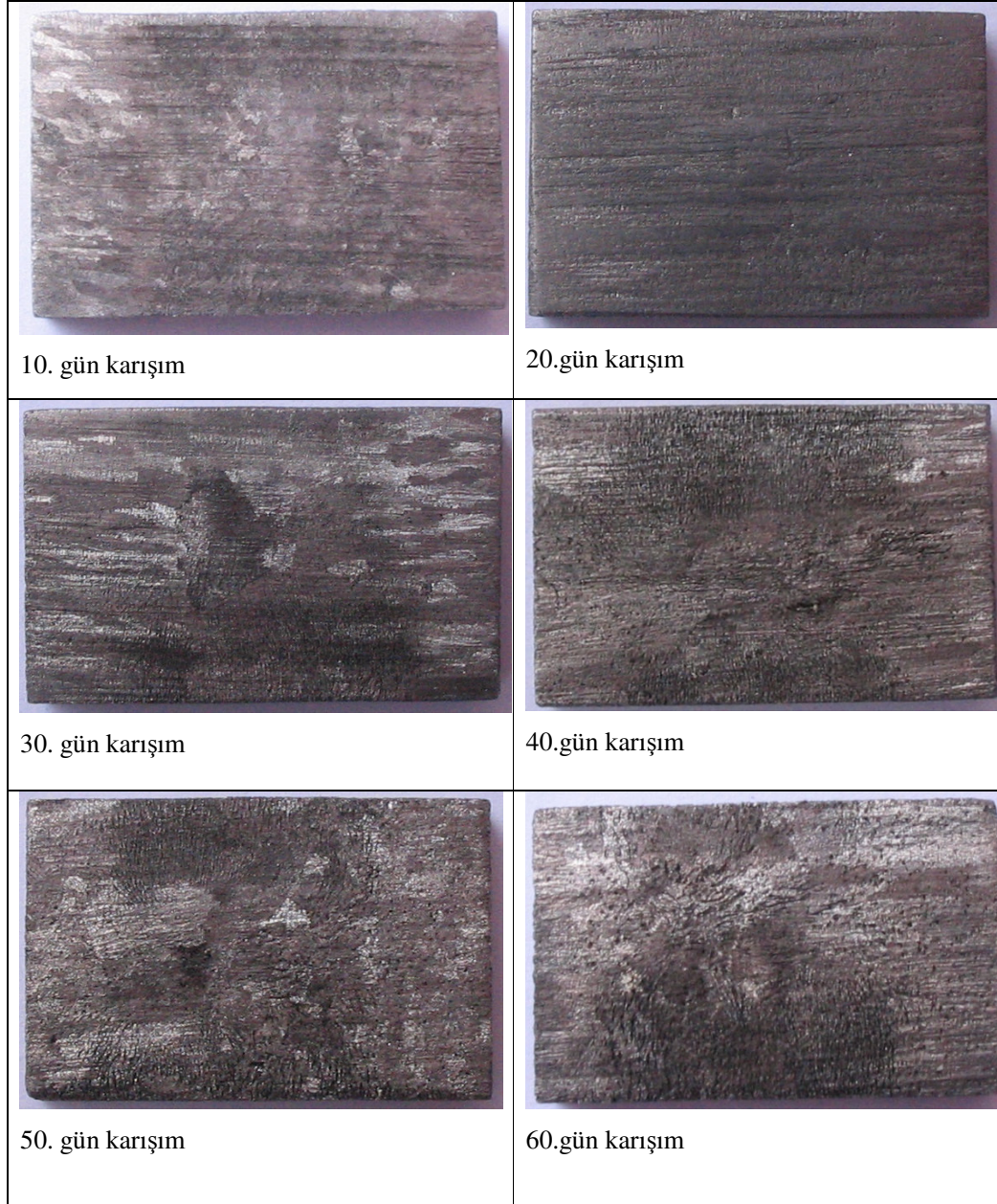


Şekil 6.25: G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin 3M H_2SO_4 çözeltisi içinde günlere göre genel fotoğrafı

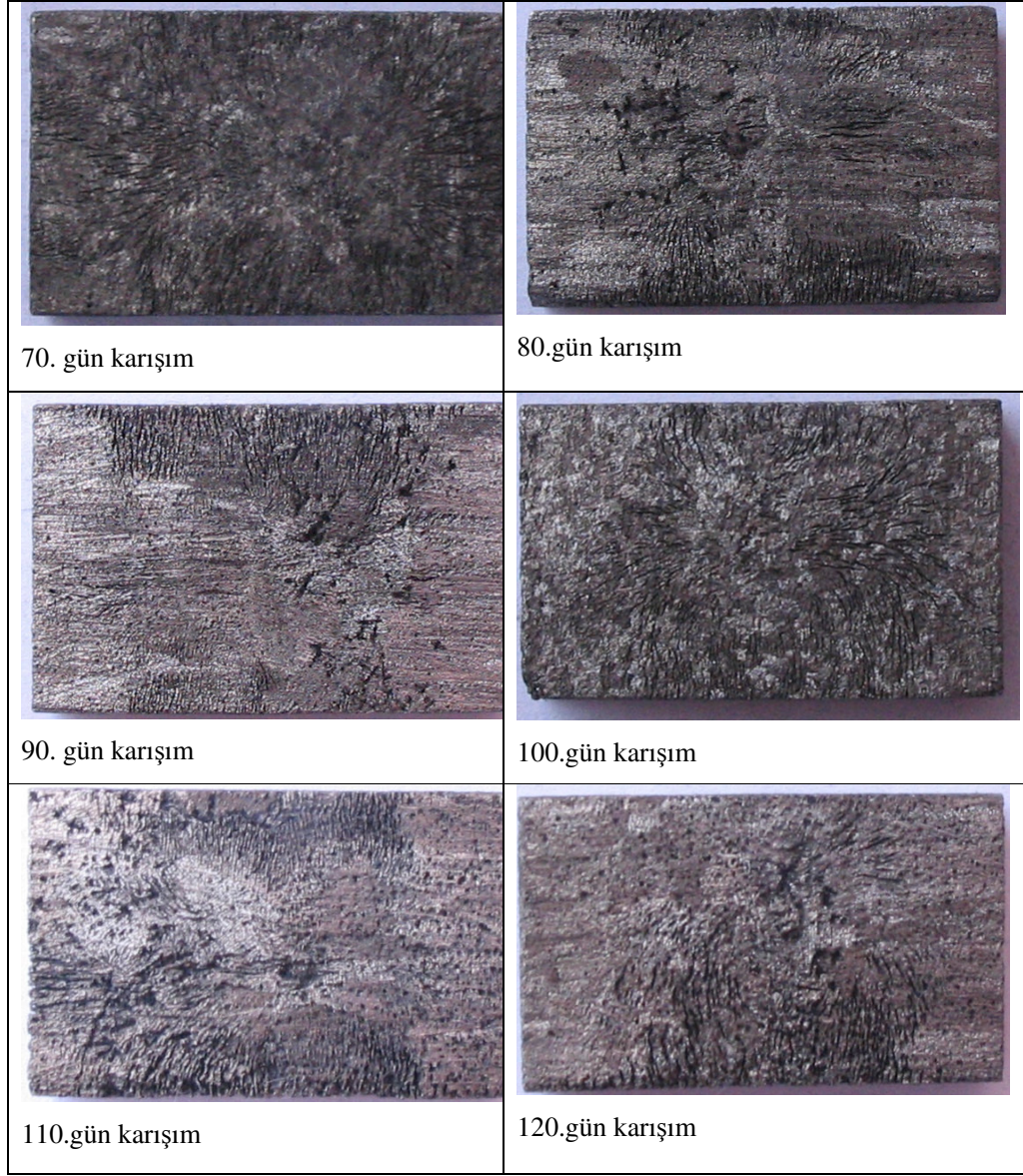


Şekil 6.25 (devamı): G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin 3M H₂SO₄ çözeltisi içinde günlere göre genel fotoğrafı

Şekil 6.25’ de 3M H₂SO₄ çözeltisine 120 gün süreyle maruz bırakılmış G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin günlere göre genel yüzey fotoğrafları verilmiştir. Her 10 günde bir çözülden çıkarılan numunelere ait genel yüzey fotoğrafları incelendiğinde, ilk 10 günde malzeme yüzeyinde pek fazla korozif etki gözlenmemiştir. 20. ve 30. günlerde biraz korozif etki gözlenmekle birlikte 40. günden itibaren bu etkinin daha da arttığı gözlenmektedir. Çözelti etkisinde kalma sürelerinin artmasıyla birlikte malzeme yüzeyinde gözlenen korozyon oranı da artmaktadır. 60. günden itibaren malzeme yüzeyinde belirgin oyuklar gözlenmektedir. H₂SO₄ çözeltisi içinde de HCl çözeltisinde olduğu gibi oyuklaşma tipi korozyon meydana geldiğini bu fotoğraflardan da görmekteyiz. Fakat bu fotoğraflar incelendiğinde H₂SO₄ çözeltisi içindeki oyukların HCl çözeltisindeki kadar derin olmadığı gözlenmiştir. H₂SO₄ çözeltisinde bırakılan numunelerde 90. günden itibaren çelik yüzeyinde demir sülfat kristallerinin çöklediği gözlenmiştir. Örneğin 100. gün sonunda çekilen plaka resmi Şekil 6.25’ de verilmiştir.



Şekil 6.26: G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin %50 3M HCl + %50 3M H₂SO₄ karışım çözeltisi içinde günlere göre genel fotoğrafı.



Şekil 6.26 (devamı): G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin %50 3M HCl + %50 3M H₂SO₄ karışım çözeltisi içinde günlere göre genel fotoğrafı

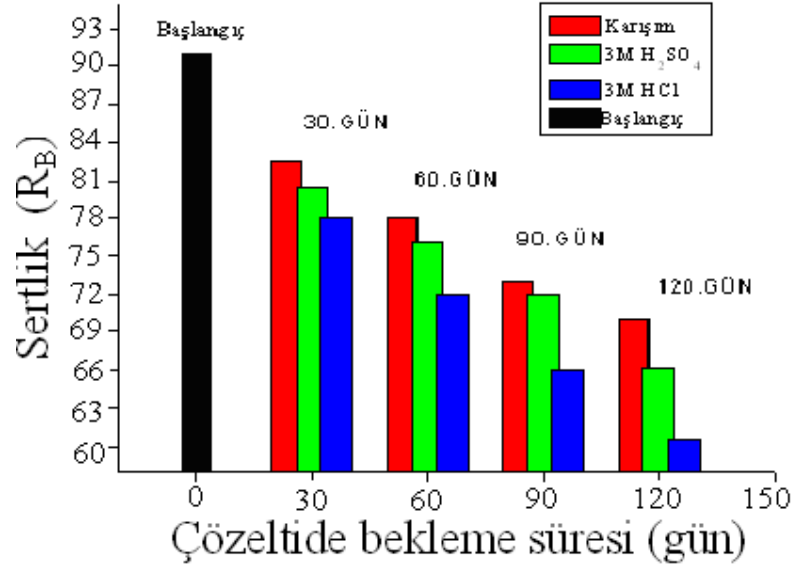
%50 3M HCl + %50 3M H₂SO₄ karışım çözeltisi içinde 120 gün süreyle maruz bırakılmış G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin günlere göre genel yüzey fotoğrafları Şekil 6.26’ da verilmiştir. Bu fotoğraflar incelendiğinde, malzemenin seçilen korozif ortam olan asit karışımı çözeltisi içinde maruz kalma süresi arttıkça yüzeyinde oluşan korozif etkilerin arttığı gözlenmiştir. Bu çözeltiliye maruz kalan deney numunesinin yüzeyinde ilk 50 gün boyunca belirgin oyuklaşmalar gözlenmemiştir. Etki süresinin artmasıyla birlikte 60. günden itibaren

malzeme yüzeyinde yerel oyuklaşmalar gözlenmeye başlamıştır. Bu oyuklaşma(pitting) ilerleyen günlerde daha da artmıştır.

Farklı çözeltilerde aynı süre sonundaki genel görünümü veren makro ölçekteki fotoğraflar incelendiğinde, en çok hasarın HCl çözeltisi içinde ve en az hasarın ise %50 3M HCl + %50 3M H₂SO₄ karışım çözeltisi içinde meydana geldiği gözlenmektedir.

6.4. Sertlik Değerlerinin Değişimi

G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğinden elde edilen plakalar sertlik değişimlerinin incelenmesi için 3M H₂SO₄, 3M HCl ve %50 3M HCl + % 50 3M H₂SO₄ karışımı çözeltilerine daldırılmışlardır. Hazırlanmış numuneler 120 gün süreyle çözeltiler içinde bekletilmiş ve 30, 60, 90, 120 gün zaman aralıkları sonunda her çözeltiden ikişer numune çıkarılmıştır. Bu numuneler, çeşme suyu ve saf suda temizlendikten sonra sertliklerini ölçmek için yüzeyleri bir miktar zımparalanmıştır. Hazırlanan numunelerin sertlikleri Rockwell B sertlik ölçme yöntemi ile ölçülmüştür. Her bir örnek yüzeyinden 5 farklı noktadan sertlik ölçümü alınmış ve Rockwell B cinsinden elde edilen değerlerin ortalamaları kaydedilmiştir. Numune sertliklerindeki değişim, her çözelti içinde kalma sürelerine bağlı olarak Şekil 6.27’ de gösterilmiştir.



Şekil 6.27: G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğinin farklı çözeltiler içinde sertlik değerlerinin (R_B) zamana göre değişim grafiği

Yukarıdaki grafikte G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğinin 3M H₂SO₄, 3M HCl ve %50 3M HCl + % 50 3M H₂SO₄ asit karışımı çözeltilerine maruz bırakılması sonucu sertlik değerlerinin değişimini vermektedir. Hiç korozyona uğramamış numunenin sertliği 91 R_B iken, zaman içinde bu değer korozyon sonucu azalmaktadır. Grafikten de görülebileceği gibi tutarlı bir azalma söz konusudur. Burada en düşük sertlik değerleri 3M HCl çözeltisi içinde ve en yüksek sertlik değerleri ise %50 3M HCl + % 50 3M H₂SO₄ asit karışımı çözeltilerinde elde edilmiştir. Bu sonuç, kütle kaybı ve potansiyodinamik ölçümlerde elde ettiğimiz sonuçları desteklemektedir.

6.5. Çentik Darbe Deneyi Sonuçları

İncelediğimiz deney malzemesinden hazırlanmış paslanmaz çelik plakaların çentik darbe tokluğundaki değişimin incelenmesi için 3M H₂SO₄, 3M HCl ve %50 3M HCl + % 50 3M H₂SO₄ karışımı çözeltilerine daldırılmışlardır. Hazırlanmış numuneler 120 gün süreyle çözeltiler içinde bekletilmiş 30, 60, 90, 120 gün zaman aralıkları sonunda her çözeltiden ikişer numune çıkarılmıştır. Bu numuneler, çeşme suyu ve saf suda temizlendikten sonra darbe deneyi cihazında TS EN 10045–1 standardına

uygun olarak kırılmışlardır. Deneyler sonunda cihazdan okunan kırılıncaya kadar soğurdukları enerjileri değerleri Tablo 6.2’ de verilmiştir.

Tablo 6.2: G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin çentik darbe tokluğunun farklı asidik çözeltiler içinde günlere göre değişimi

Asidik Çözeltiler		3M HCl	3M H ₂ SO ₄	3M HCl + 3M H ₂ SO ₄
30.gün	1.örnek	19.5	16	14.5
	2.örnek	18.8	32.5	14.5
60.gün	1.örnek	21	20	29
	2.örnek	18	24	18
90.gün	1.örnek	15	23.5	17
	2.örnek	26	21	19
120.gün	1.örnek	16	20	14
	2.örnek	14.5	24	35

Tablo 6.2’ deki değerler incelendiğinde malzemenin çentik darbe tokluğu değerlerinin farklı asidik çözeltiler ve zamana bağlı olarak düzenli bir şekilde değişmediği görülmektedir. Bu sonuçlara dayanarak G-X 10 CrNiMoNb 18–10 paslanmaz çeliğin darbe tokluğu üzerine farklı asidik çözeltilerin ve geçen zamanın etkisi hakkında yorum yapabilmek mümkün değildir. Değerlerdeki değişimin düzenli olmamasının nedeni, çözeltilere maruz kalmış çentik darbe deneyi örneklerinin zaman içinde yüzey düzgünlüklerinin ve çentik geometrisinin düzensiz bir şekilde bozulmuş olmasıdır. Bu bozulma etkisi, 50 gün süreyle 3M HCl ve 3M H₂SO₄ çözeltilisine maruz kalan çentik darbe deneyi örneklerine ait birkaç fotoğrafta açıkça görülmektedir (Şekil 6.28).

50.gün çentik darbe HCl



50.gün çentik darbe HCl



50.gün çentik darbe HCl



50.gün çentik darbe H₂SO₄



Şekil 6.28: 50 gün süreyle 3M HCl ve 3M H₂SO₄ asit çözeltilisine maruz kalan çentik darbe deneyi örneklerine ait fotoğraflar.

6.6. Elemental Analiz Sonuçları

Herhangi bir korozif etkiye maruz kalmamış G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çelik parçaya ve farklı asidik çözeltilere (3M HCl, 3M H₂SO₄ ve %50 3M HCl + %50 3M H₂SO₄) 120 gün süreyle maruz kalan G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çelik plakalara elemental analiz ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümler sonucundan çeliğin krom miktarında azalma kaydedilmiştir. Bu da çukur korozyonunun tercihli olarak tane sınırlarında meydana geldiğini göstermektedir.

SONUÇLAR

G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin farklı derişimlerde (0.1M, 1M, 2M, 3M) HCl, H₂SO₄ ve %50 H₂SO₄ + %50 HCl olmak üzere asit içeren çözeltilerdeki korozyon davranışları, potansiyodinamik polarizasyon eğrileri ve kütle kaybı yöntemiyle incelenmiştir. Belli sürelerde asidik çözeltilerde bırakılan G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin 120 gün sonunda elemental ve SEM analizleri yapılmıştır. Ayrıca, aynı ortamlardaki G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çelik numunelerinin her 10 günde bir yüzey fotoğrafları çekilmiş ve belirli günlerde (0., 30., 60., 90., 120. günlerde) sertlik ölçümleri Rockwell B cinsinden elde edilmiştir. Sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir:

- G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin 3M HCl, 3M H₂SO₄ ve %50 3M H₂SO₄ + %50 3M HCl asit çözeltilerinde belirli zaman aralıklarında kütle kaybı deneylerinden, tüm ortamlarda korozyon hızının zaman içerisinde arttığı gözlenmiştir. Korozyon hızındaki en fazla artış 3M HCl çözeltisinde görülmüştür. Bunu 3M H₂SO₄ ve %50 3M H₂SO₄ + %50 3M HCl çözeltisi izlemektedir.
- Yapılan potansiyodinamik polarizasyon ölçümleri sonuçlarına göre HCl çözeltileri içindeki G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin korozyon hızının diğer ortamlara göre daha fazla olduğu belirlenmiştir. Her asidik çözeltide artan derişimle birlikte korozyon artmaktadır. Ayrıca, diğer ortamlarda pasifleşme gözlenirken HCl içinde pasifleşme gözlenmemiştir.
- 120 gün farklı asidik çözeltilerde(3M HCl, 3M H₂SO₄ ve %50 3M HCl + %50 3M H₂SO₄) bırakılan G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çelik plakaların yüzeylerindeki değişim SEM filmleri ile incelenerek tüm ortamlardaki G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çelik plakalarda oyuklaşma(pitting) tipi korozyon gözlenmiştir. Tüm plaka yüzeylerinde belirgin

oyuklaşmalar olmakla birlikte, en derin oyuklaşmalar 3M HCl çözeltisinde oluşmuştur.

- 3M HCl, 3M H₂SO₄ ve %50 3M HCl + %50 3M H₂SO₄ çözeltilerine 120 gün süresince bırakılan G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çelik plakaların her 10 günde bir fotoğrafları çekilerek yüzeylerindeki değişim incelenmiştir. Çekilen fotoğraflara göre plaka yüzeyindeki korozif etkilerin zamana bağlı olarak arttığı gözlenmiştir. Korozif ortamlarda bulunmayan metal yüzeyinin fotoğrafı baz alınarak, ilerleyen günlerdeki fotoğraflarda meydana gelen korozif etkiler kıyaslamalı şekilde incelenmiştir. Bu incelemeden elde edilen sonuçlar yapılan diğer denemeleri destekler niteliktedir.
- G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin sertliğinin farklı asidik çözeltilerdeki (3M HCl, 3M H₂SO₄ ve %50 3M HCl + %50 3M H₂SO₄) sertliği incelenmiştir. Belirli günlerde (0., 30., 60., 90., 120. günlerde) asidik çözeltilerden çıkarılan plakaların yüzey sertlikleri Rockwell B cinsinden ölçülerek, G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğin asidik çözeltilere maruz kalma süresi arttıkça sertliğin düştüğü görülmüştür. Sertlikteki en büyük azalma 3M HCl çözeltisinde ve en küçük azalma ise %50 3M HCl + %50 3M H₂SO₄ asit karışımı çözeltisinde belirlenmiştir.
- G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çeliğinin farklı asidik çözeltilerdeki çentik darbe tokluğunun değişimi de incelenmek istenmişse de korozif etki sonucu, deney örneklerinde çentik geometrisinin bozulması nedeniyle tutarlı ve yorumlanabilir sonuçlar elde edilememiştir.
- Asidik çözeltilere (3M HCl, 3M H₂SO₄ ve %50 3M HCl + %50 3M H₂SO₄) 120 gün süreyle maruz kalan G-X 10 CrNiMoNb 18–10 ostenitik paslanmaz çelik plakalara elemental analiz ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümler sonucundan çeliğin krom miktarında azalma kaydedilmiştir. Bu da çukur korozyonunun tercihli olarak tane sınırlarında meydana geldiğini göstermektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Temeltaş, O., “Ostenitik ve ferritik paslanmaz çeliklerde biçimlendirme haritaları”, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul,1-4,(1998)
- [2] Gürkan, M., “Ostenitik ve martenzitik paslanmaz çeliklerin yüksek sıcaklık aşınma davranışları” , Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*,Afyon ,4-10, (2007)
- [3] Kaluç, E., “Ferritik- ostenitik paslanmaz çelik çiftinin nokta kaynağında kaynak parametrelerinin çekme-makaslama mukavemetine ve tanelerarası korozyona karşı etkisi”, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 4-19 , (1988)
- [4] Doğan, P., “Farklı sıcaklıklarda demir ve alüminyumun asidik korozyonuna sodyumdodesilbensulfonatın (SDBS) etkisinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmit, 1-23, (2004)
- [5] Metals Handbook, Ninth Edition, Vol. 3., “Properties and Selection:Stainless Steels, Tool Materials and Special Purpose Metals”, *ASM*, 3-104, (1980)
- [6] Tüysüz, G., “Yüksek azot içeren çöktürme ile sertleştirilebilir ostenitik paslanmaz çelikler” , Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 3-46 , (1999)
- [7] Aldemir, Ü. , “Paslanmaz çeliklerin, Türkiye’de tercihli uygulama alanlarına göre, optimum kullanım önerilerinin hazırlanması”, Yüksek Lisans Tezi, *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa, 1-21, (2000)
- [8] Metals Handbook, Second Edition, J.R. Davis, Davis& Associates, *ASM*, 362-390, (1998)
- [9] Peckner, D. and Bernstein I.M., “Handbook of Stainless Steels” , *Mc Graw-Hill Book Co,New York*, (1977)
- [10] Atay, E. , “ Malzeme mekanik özelliklerinin parça tasarımı ve analizine etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa, 1-23, (2001)
- [11] Gülbahar, B., “% 17 Kromlu ferritik paslanmaz çeliklerin nokta kaynağında kaynak parametrelerinin tanelerarası korozyon ve çekme makaslama dayanımı üzerindeki etkisinin incelenmesi” , Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 3-20, (1989)

- [12] “Corrosion Tables for Stainless Steels and Titanium”, Jan Wikström, *Jernkontoret- Sweden*, 6-35, (1979)
- [13] Develi, K. , “Ostenitik paslanmaz çeliklerin Mig kaynağında argon hidrojen karışımının mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 6-25, (2003)
- [14] Anık, S., “Kaynak Tekniği”, Cilt 3, *İ.T.Ü. Matbaası, İstanbul*, (1975)
- [15] Metals Handbook, Ninth Edition, Vol. 13. “Corrosion”, *Ohio -ASM*, 79-113, 547-565, (1987)
- [16] Odabaş, C., “ Paslanmaz Çelikler, Temel Özellikler, Kullanım Alanları”, 2. Baskı, *Tavaslı Matbaası-İSTANBUL*, 1-25. (2002)
- [17] Canıgeniş, N., “Ostenitik paslanmaz çeliklerin Mig kaynağında kullanılan değişik gaz bileşimlerinin mekanik özelliklere etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmit, 6-30, (1999)
- [18] Kıyıcı, K. , “Ostenitik paslanmaz çeliklerin örtülü elektrodla ark kaynağında parametrelerin bilgisayarla tesbiti” , Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 35-40, (1994)
- [19] Özdebak, G., “Paslanmaz çeliklerin kuru ve korozyif ortamlardaki tribolojik davranışlarının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-5, (2003)
- [20] Dillon C.P, Şener S. and Atadal A. R., “Korozyonu Önleme ve Kontrol Metotları”, *Mühendisler için fabrika-içi eğitim merkezi yayın no:16.*, 11-17, 155-160, (1977)
- [21] Üneri, S., “Korozyon ve Önlenmesi”, *Korozyon Derneği-ANKARA*, 1-32, 129-164, (1998)
- [22] Özkazanç, H., Bingül, M., “Farklı pH ve konsantrasyonlarda EDTA içeren NaCl çözeltisi içinde alüminyum elektrodun elektrokimyasal davranışlarının incelenmesi”, Bitirme Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi-Kimya*, İzmit, 6-30, (2005)
- [23] Özkazanç, H., “Metallerin korozyonu ve korozyondan korunma yöntemleri”, Yüksek Lisans Semineri, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmit, 1-20, (2006)
- [24] BIDI, A., HÖFFER, U., “ Tesisatta korozyon”, *V. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi*, 355-369, (2001)

[25] Marshall, P., “Austenitic Stainless Steels Microstructure and Mechanical Properties”, *Springer*, 354-368, (1984)

[26] Çapan, L., “Metallere Plastik Şekil Verme”, Dördüncü Baskı, *Çağlayan Kitabevi-İstanbul*, 120-124, (2003)

[27] Wegst, C.W., “Stahlschlüssel”, *Verlag Stahlschlüssel Wegst GMBH*, (1992)

[28] Metals Handbook, Ninth Edition, Vol. 4 “Heat Treatment”, *Ohio -ASM*, 769-795, (1991)

ÖZGEÇMİŞ

Mümin SONCU 1982 yılında Bursa'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Bursa'da tamamlayarak, 1999 yılında Bursa Erkek Lisesinden mezun oldu. 2000 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünden 2005 yılında Makine Mühendisi olarak mezun oldu. Aynı yıl yine Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İmalat programında Yüksek Lisans öğrenimi yapmaya hak kazandı.