

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**SIVI NİTRÜLENMİŞ AISI 4140 ÇELİĞİNİN ELEKTROKİMYASAL KOROZYON**  
**DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Metalurji ve Malz. Müh. Doğan Can DEMİR**

**OCAK 2019**  
**TRABZON**



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce**

**Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /**

**Tezin Savunma Tarihi : / /**

**Tez Danışmanı :**

**Trabzon**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında  
Doğan Can DEMİR Tarafından Hazırlanan**

**SIVI NİTRÜLENMİŞ AISI 4140 ÇELİĞİNİN ELEKTROKİMYASAL KOROZYON  
DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

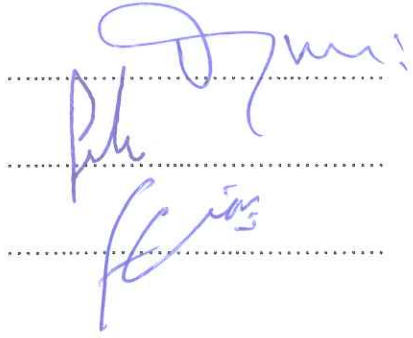
**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 25/ 12/ 2018 gün ve 1784 sayılı  
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
olarak kabul edilmiştir.**

**Jüri Üyeleri**

**Başkan : Prof. Dr. Ümit ALVER**

**Üye : Doç. Dr. Ayhan KARA**

**Üye : Dr. Öğr. Üyesi Fatih ERDEMİR**



**Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ**

**Enstitü Müdürü**

## ÖNSÖZ

Sıvı nitrülenmiş AISI 4140 çeliğinin elektrokimyasal korozyon davranışının incelenmesi adlı tez konusu kapsamında yürütülen ve tamamlanan bu çalışmada bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, bu çalışmaların bütün aşamasında yardımlarını esirgemeyen danışman hocam sayın Prof. Dr. Ümit ALVER' e teşekkürü bir borç bilirim. Korozyon konusunda bilgi ve birikimlerini bana aktaran Dr. Öğretim Üyesi Fatih ERDEMİR'e ve korozyon test aşamasında yol gösteren Araştırma Görevlisi Onur GÜLER' e teşekkür ederim. Teknik destek ve yardımlarını esirgemeyen ev arkadaşım metalurji ve malzeme mühendisi Kürşat Alp ARPACI' ya, metalurji ve malzeme mühendisi Özgür Yasin KESKİN' e ve metalurji ve malzeme mühendisliği bölümünde bulunan hocalarıma ve teknisyenlere teşekkür ederim. Çalışma süresi boyunca desteklerini esirgemeyen Gök-Tem Kimya ve Metalurji Tic. Ltd. Şti. firma yetkilisi Aziz GÖKNİL beye ve numune desteği sağlayan TİSAŞ Trabzon Silah Sanayi A. Ş. çalışanlarına ve özellikle Murat ALEMDAROĞLU beye teşekkür ederim.

Son olarak gösterdikleri maddi ve manevi desteklerinden ötürü aileme ve nişanlıma teşekkür ederim.

Doğan Can DEMİR  
Trabzon 2019

## TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Sıvı Nitrülenmiş AISI 4140 Çeliğinin Elektrokimyasal Korozyon Davranışının İncelenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona danışmanım Prof. Dr. Ümit ALVER’ in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 11 /01/2019

Doğan Can DEMİR

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET .....	VIII
SUMMARY .....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	X
TABLolar DİZİNİ.....	XII
SEMBOLLER DİZİNİ .....	XIII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Çelikler .....	1
1.1.1. Alaşimsız Çelikler (Sade Karbonlu Çelikler).....	1
1.1.2. Alaşımli Çelikler .....	2
1.1.2.1. Islah Çelikleri .....	5
1.1.2.1.1. AISI 4140 Çelikleri .....	5
1.2. Yüzey ve Termokimyasal Yöntemler.....	9
1.2.1. Yüzey.....	9
1.2.2. Termokimyasal Yöntemler .....	11
1.2.2.1. Nitrürleme.....	12
1.2.2.1.1. Gaz Nitrürleme .....	13
1.2.2.1.2. Sıvı (Tuz Banyosunda) Nitrürleme .....	13
1.2.2.1.3. Plazma Nitrürleme.....	14
1.2.2.1.4. Nitrürleme ile Oluşan Yüzeyin Genel Yapısı.....	15
1.2.2.2. Karbürleme (Sementasyon) .....	16
1.2.2.2.1. Katı Ortamda Karbürleme .....	17

1.2.2.2.2.	Sıvı Ortamda Karbürleme.....	17
1.2.2.2.3.	Gaz Ortamında Karbürleme.....	18
1.2.2.3.	Borlama .....	18
1.2.2.3.1.	Kutu Borlama .....	19
1.2.2.3.2.	Sıvı Borlama .....	20
1.2.2.3.3.	Gaz Borlama .....	20
1.2.2.3.4.	Plazma Borlama.....	20
1.2.2.4.	Nitrokarbürleme.....	21
1.3.	Korozyon .....	22
1.3.1.	Korozyon Mekanizmalarına Göre Korozyon Türleri .....	24
1.3.1.1.	Fiziksel Korozyon.....	24
1.3.1.2.	Kimyasal Korozyon.....	24
1.3.1.3.	Elektrokimyasal Korozyon .....	24
1.4.	Literatür Özeti ve Çalışmanın Amacı .....	26
2.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....	29
2.1.	Giriş .....	29
2.2.	Çözelti Tuzları .....	30
2.3.	Çözeltinin Oluşturulması .....	31
2.4.	Nitrüleme ve Oksidasyon İşleminin Yapılması .....	32
2.5.	Mikrosertlik Ölçümü .....	33
2.6.	SEM ve XRD Ölçümleri .....	34
2.7.	Korozyon Testi .....	36
3.	BULGULAR .....	37
3.1.	SEM Analizleri .....	37
3.2.	XRD Analizleri.....	38
3.3.	EDS Analizleri.....	39
3.4.	Kalınlık Analizleri .....	43

3.5.	Mikrosertlik Bulguları .....	47
3.6.	Korozyon Ölçümleri .....	47
4.	İRDELEME .....	52
4.1.	Nitrürlemenin AISI 4140 Çelik Morfolojisine Etkisi.....	52
4.2.	Nitrürlemenin AISI 4140 Çeliğinin Sertlik Davranışına Etkisi .....	52
4.3.	Nitrürlemenin AISI 4140 Çeliğinin Korozyon Davranışına Etkisi .....	53
5.	SONUÇLAR.....	55
6.	ÖNERİLER .....	57
7.	KAYNAKLAR.....	58
	ÖZGEÇMİŞ	



Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

SIVI NİTRÜLENMİŞ AISI 4140 ÇELİĞİNİN ELEKTROKİMYASAL  
KOROZYON DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Doğan Can DEMİR

Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Metalurji ve Malzeme Anabilim Dalı  
Danışman: Prof. Dr. Ümit ALVER  
2019, 61 sayfa

Bu çalışmada siyanür tuz banyosu kullanarak AISI 4140 çeliği, 1, 2 ve 3 saatlik nitrasyon işlemine tabii tutulmuştur. Numunelerin korozyon direncini arttırmak için nitrüleme işleminden sonra numunelere 380-400 °C arasında 20 dakika oksidasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Nitrüleme işleminden sonra, nitrülenmiş ve nitrülenmemiş AISI 4140 çeliklerin taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile morfolojik yapıları incelenmiştir. XRD cihazı kullanılarak kaplama yüzeyinin yapısal özellikleri analiz edilmiştir. Mikrosertlik ölçüm cihazı ile sertlik değerleri tespit edilmiştir. Ayrıca nitrülenmiş malzemelerin sertlik değerinin nitrülenmiş malzemeye göre iki ile üç katı arasında arttığı belirlenmiştir. Nitrüleme işlemine tabii tutulmamış ve nitrülenmiş AISI 4140 çelik numuneler 3 farklı pH değerlerinde (2, 7, 12) korozyon deneyine tabii tutulmuş ve deneyler sonucunda kullanılan tuz çözeltisinin pH değerine bağlı olarak korozyon davranışlarında değişkenliğin olduğu tespit edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda nitrülenmiş malzemelerin, nitrülenmemiş malzemelerden daha üstün korozyon özellikleri sergilediği belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** AISI 4140 çeliği, Nitrüleme, Korozyon, SEM, XRD

Master Thesis

SUMMARY

INVESTIGATION OF ELECTROCHEMICAL CORROSION BEHAVIOUR OF  
LIQUID NITRIDED AISI 4140 STEEL

Doğan Can DEMİR

Karadeniz Technical University  
The Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Metallurgy and Materials Engineering Graduate Program  
Supervisor: Prof. Dr. Ümit ALVER  
2019, 61 pages

In this study, AISI 4140 steel was carried out a nitration process in a cyanide salt bath for 1, 2 and 3 hour. After the nitration process to increase the corrosion resistance of samples the samples were oxidized at 380-400 °C for 20 minutes. After the nitration process, the morphological properties of the nitrided and unnitrided AISI 4140 steels were characterised by scanning electron microscopy (SEM). The XRD was used to analyze of structural properties of the nitrided surfaces. The hardness values of the nitrided and unnitrided AISI 4140 steels were determined by the microhardness tester in the laboratory. It was also found that the hardness value of nitrided materials increased between twice and three times that of nonnitrided material. Nitrided and unnitrided AISI 4140 steel specimens were tested for corrosion at 3 different pH values (2, 7, 12) and it was determined that the corrosion behavior varied depending on the pH value of the salt solution used at the end of the test. As a result of the experiments, it was determined that the nitrided materials are superier corrosion properties than unnitrided materials.

**Key Words:** AISI 4140, Steel, Nitriding, Corrosion, SEM, XRD

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Karbon dışında çeliğe ilave edilen alaşım elementleri ve miktarlarının ötektoid sıcaklık üzerindeki etkileri [6].....	4
Şekil 1.2. Zaman – Sıcaklık- Dönüşüm (TTT) diyagramı [11].....	8
Şekil 1.3. Sürekli - Soğuma - Dönüşüm (CCT) diyagramı [11].....	9
Şekil 1.4. Plazma nitrürleme ekipmanının şematik gösterimi [17] .....	15
Şekil 1.5. a)-b) Çelik yüzeyinde meydana gelen çukurcuk korozyonu [37-38].....	23
Şekil 1.6. Mikroskobik korozyon hücresi [39].....	25
Şekil 2.1. a) Kaplama işleminde kullanılan düzenek, b) Ergimenin gerçekleştiği fırın .....	30
Şekil 2.2. a) Tuz banyosunun üretildiği pota, b) Oksidasyon fırını.....	32
Şekil 2.3. a) İşlenmemiş numune, b) 2 saatlik nitrürleme işlemi sonrası elde edilen numune.....	33
Şekil 2.4. Mikrosertlik ölçüm cihazı. ....	34
Şekil 2.5. Sertlik ölçüm noktaları. ....	34
Şekil 2.6. Taramalı elektron mikroskobu (SEM). ....	35
Şekil 2.7. X Işınları Kırınım (XRD) cihazı .....	35
Şekil 2.8. Korozyon test cihazı.....	36
Şekil 3.1. 1 saatlik nitrürleme işlemi sonucu meydana gelen bağlantı tabakasının ve difüzyon tabakasının SEM görüntüsü a) Büyük büyütme (2.50KX) b) küçük büyütme (1.00KX).. ....	37
Şekil 3.2. 2 saatlik nitrürleme işlemi sonucu meydana gelen bağlantı tabakasının ve difüzyon tabakasının SEM görüntüsü a) Büyük büyütme (2.50KX) b) küçük büyütme (1.00KX).. ....	37
Şekil 3.3. 3 saatlik nitrürleme işlemi sonucu meydana gelen bağlantı tabakasının ve difüzyon tabakasının SEM görüntüsü a) Büyük büyütme (2.50KX) b) küçük büyütme (1.00KX). ....	38
Şekil 3.4. Farklı zamanlarla nitrürlenmiş ve nitrürlenmemiş AISI 4140 çeliklerinin XRD spektrumu.....	39
Şekil 3.5. Nitrürlenmemiş numunenin çizgisel analizi a) faz görüntüsü ve noktasal analizi b) Fe, Co, C ve Cr atomlarının dağılımını gösteren harita.....	39
Şekil 3.6. 1 saatlik nitrasyon neticesinde meydana gelen çizgisel analiz a) faz görüntüsü ve noktasal analizi, b) yeşil çizgi boyunca O, C ve N atomlarının dağılımını gösteren çizgi analiz.....	40

Şekil 3.7. 2 saatlik nitrasyon neticesinde meydana gelen çizgisel analiz a) faz görüntüsü ve noktasal analizi, b) yeşil çizgi boyunca O, C ve N atomlarının dağılımını gösteren çizgi analizi.....	41
Şekil 3. 8. 3 saatlik nitrasyon neticesinde meydana gelen çizgisel analiz a) faz görüntüsü ve noktasal analizi, b) yeşil çizgi boyunca O, C ve N atomlarının dağılımını gösteren çizgi analizi.....	42
Şekil 3.9. SEM cihazıyla yapılan 1 saatlik kaplama kalınlığının analizi a) faz gösterimi ve noktasal analizi, b) Kaplama tabakasında ki C, Fe ve N atomlarının miktarını gösteren çizgi analizi.....	44
Şekil 3.10. SEM cihazıyla yapılan 2 saatlik kaplama kalınlığının analizi a) faz gösterimi ve noktasal analizi, b) Kaplama tabakasında ki C, Fe ve N atomlarının miktarını gösteren çizgi analizi.....	45
Şekil 3. 11. SEM cihazıyla yapılan 3 saatlik kaplama kalınlığının analizi a) faz gösterimi ve noktasal analizi, b) Kaplama tabakasında ki C, Fe ve N atomlarının miktarını gösteren çizgi analizi.....	46
Şekil 3.12. Kaplama süresinin sertliğe olan etkisinin çubuk gösterimi.....	47
Şekil 3.13. AISI 4140 çelik numunelerin a) pH-2, b) pH-7, c) pH-12 değerlerinde ki potansiyodinamik polarizasyon eğrileri.....	48
Şekil 3.14. İşlem görmemiş ve nitrürlenmiş numunelerin farklı pH değerlerinde ki korozyon hızlarını gösteren çubuk grafik.....	50
Şekil 3.15. İşlem görmemiş ve nitrürlenmiş AISI 4140 çeliklerin yüzeylerinin potansiyodinamik polarizasyon testi sonucu taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri .....	51

## TABLULAR DİZİNİ

	<b><u>Sayfa No</u></b>
Tablo 1.1. Alaşimsız çeliklerin kimyasal kompozisyonu.....	2
Tablo 1.2. Çeliklerin alaşımlı sayılması için içerebilecekleri minimum element miktarları [5].....	3
Tablo 1.3. AISI 4140 çeliğinin farklı standartlardaki karşılıkları [1].....	6
Tablo 1.4. AISI 4140 çeliğinin kimyasal bileşimi [1] .....	6
Tablo 1.5. AISI 4140 çeliğinin mekanik, ısıl işlem ve ısıl özellikleri [1] .....	7
Tablo 1.6. AISI 4140 çeliğine ait kritik sıcaklık değerleri [1] .....	7
Tablo 2.1. Oksidasyon ve kaplama çözültisi hazırlanırken kullanılan tuzların özellikleri..	30
Tablo 2.2. Tuzların fiziksel özellikleri .....	31
Tablo 2.3. Paslanmaz çelik potanın kimyasal bileşimi [50].....	32
Tablo 3.1. İşlem görmemiş ve nitrürlenmiş numunelerin korozyon parametreleri .....	50

## SEMBOLLER DİZİNİ

SEM : Taramalı elektron mikroskobu

XRD : X-ışınları difraktometresi

AISI : Amerikan demir ve çelik enstitüsü

Ti : Titanyum

Nb : Niobyum

C : Karbon

V : Vanadyum

N : Azot

Fe : Demir

Mg : Magnezyum

P : Fosfor

S : Kükürt

Mo : Molibden

Cr : Krom

Si : Silisyum

NH<sub>3</sub> : Amonyak

NaCN : Sodyum siyanür

BaCO<sub>3</sub>: Baryum karbonat

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : Alümina

SiO<sub>2</sub> : Silisyum dioksit veya slika

CaO : Kalsiyum oksit

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : Demir oksit

$\text{Fe}_3\text{C}$  : Demir karbür

$\text{CO}_2$  : Karbondioksit

$\text{Na}_2\text{CO}_3$ : Sodyum karbonat

MPa : Megapascal

TTT : Zaman-Sıcaklık-Dönüşüm

CCT : Sürekli Soğuma-Dönüşüm

$\mu\text{m}$  : Mikrometre

mm : Milimetre

HV : Vickers sertlik

Mbar : Milibar

$\text{Fe}_2\text{N}_3$  : Demir (III) Nitrür

$\text{Fe}_4\text{N}$  : Demir nitrat

HRC : Rockwell sertlik

$\text{C}_3\text{H}_8$  : Propan

kV : Kilovolt

Hz : Hertz

$\mu\text{s}$  : Mikrosaniye

gr : Gram

$\text{cm}^3$  : Santimetreküp

mA : Miliamper

dk : Dakika

## 1.GENEL BİLGİLER

### 1.1.Çelikler

Demir karbon alaşımları içerdikleri karbon oranına göre, “Çelikler” ve “Dökme Demirler” olmak üzere 2’ ye ayrılırlar. Bu tanımlamaya göre; %2’ den daha az karbon miktarına sahip olan alaşımlar çelik ve %2’ den fazla karbon miktarına sahip alaşımlar ise dökme demir olarak adlandırılmaktadır.

Çeliklerin sınıflandırılmasında çeşitli kriterler söz konusudur; kullanım alanları, kimyasal bileşimi, mikroyapısı, şekillendirme yöntemleri, uygulanan ısıl işlem ve üretim yöntemleri bunlara birer örnektir. Nihai ürün haline gelene kadar uğramış oldukları mekanik ve ısıl işleme bağlı olarak çok farklı mikroyapı ve özellik kazanabildiklerinden dolayı çeliklerin sınıflandırılmasında, alaşım elementleri en önemli rolü oynamaktadır. Kimyasal bileşimlerine göre çelikler “Alaşımsız Çelikler” ve “Alaşımlı Çelikler” olmak üzere iki gruba ayrılırlar [1].

#### 1.1.1.Alaşımsız Çelikler (Sade Karbonlu Çelikler)

İçeriklerinde karbondan başka, çelik imalat yöntemleri sonucu çok az miktarda Si, Mn, P, S, gibi elementler bulunan çeliklerdir.

Alaşımsız çeliklerin mekanik özellikleri karbon miktarına ve üretim esnasında gösterilen dikkate ve öneme göre değişir ve sınırlıdır. Ayrıca bu çelikler maliyet bakımından ucuzdurlar ve kolayca şekillendirilebilirler, bunun yanında sertleşebilirlikleri azdır. Sertleştirme işlemi uygulandıktan sonra parçalarda çatlama, çarpılma veya iç gerilmelere rastlanabilir. Kalın kesitli parçaların hem korozyona karşı dayanımı azdır hem de istenilen düzeyde sertleştirilemezler. Tablo 1.1’ de alaşımsız çeliklerin kimyasal kompozisyon aralığı verilmiştir. Alaşımsız çeliklerde en önemli bileşen karbon olduğu için bu çelikleri karbon miktarına göre “Düşük Karbonlu Çelikler”, “Orta Karbonlu Çelikler” ve “Yüksek Karbonlu Çelikler” olmak üzere sınıflandırabiliriz [2]:



Tablo 1. 1. Alaşımsız çeliklerin kimyasal kompozisyonu

Element	Düşük Karbonlu Çelik	Orta Karbonlu Çelik	Yüksek Karbonlu Çelik
Karbon (%)	0,0 – 0,20	0,20 – 0,50	> 0,50
Fosfor (%)	0,30 – 0,60	0,60 – 0,90	0,70 – 1,00
Mangan (%)	0,10 – 0,20	0,15 – 0,30	0,15 – 0,30
Silisyum (%)	0,040 maksimum	0,040 maksimum	0,040 maksimum
Kükürt (%)	0,050 maksimum	0,050 maksimum	0,050 maksimum

Tüm çelik türleri arasında, en geniş kullanım alanına sahip ve en çok üretilen çelikler, düşük karbonlu çeliklerdir. Düşük karbonlu çelikler, genellikle martenzitik dönüşümü hedefleyen ısıtma işlemlere duyarlıdır. Bu sebepten dolayı, daha çok soğuk şekillendirme yöntemiyle dayanımları artırılabilir. Bu çeliklerin mikro yapıları ferrit ve perlitten oluşur. Bunun sonucunda, hemen hemen yumuşak ve düşük dayanımın yanı sıra, yüksek süneklik ve tokluk özelliklerine sahiptir. Ayrıca düşük karbonlu çelikler talaşlı üretime, kaynakla birleştirmeye uygun özellikler sergilemekte olup diğer tüm çeliklerle kıyaslandığında daha düşük maliyetlerle üretilebilirler.

Orta karbonlu çeliklerin mekanik özellikleri, östenitleme, su verme ve ardından temperleme ısıtma işlemlerinin uygulanmasıyla iyileştirilebilir. Isıtma işlem uygulanabilir ve dayanım dirençleri düşük karbonlu çeliklere göre daha yüksektir. Bu çelikler genelde temperlenmiş olarak, yani içyapısı martenzit olacak şekilde kullanılır.

Yüksek karbonlu çelikler, karbon çelikleri arasında en sert, en dayanıklı bunun yanında da en düşük süneklik özelliğine sahip olanlarıdır. Bu çelikler, çoğunlukla temperlenmiş halde kullanılır ve özellikle sert ve aşınma direnci gösteren, buna ilaveten keskin kenarlara sahip olması istenen uygulamalarda tercih edilir [3].

### 1.1.2. Alaşımli Çelikler

Bu sınıftaki çelikler, alaşımli çeliklere göre yapısında çok daha fazla oranda alaşım elementi barındıran çeliklerdir (Tablo 1.2). Alaşım elementi, çelikte mevcut bulunan bir özelliği iyileştirmek ya da yeni bir özellik kazandırmak için çelik yapısına ilave edilen elementtir. Takviye elementlerinin avantajları şu şekilde sıralanabilir:

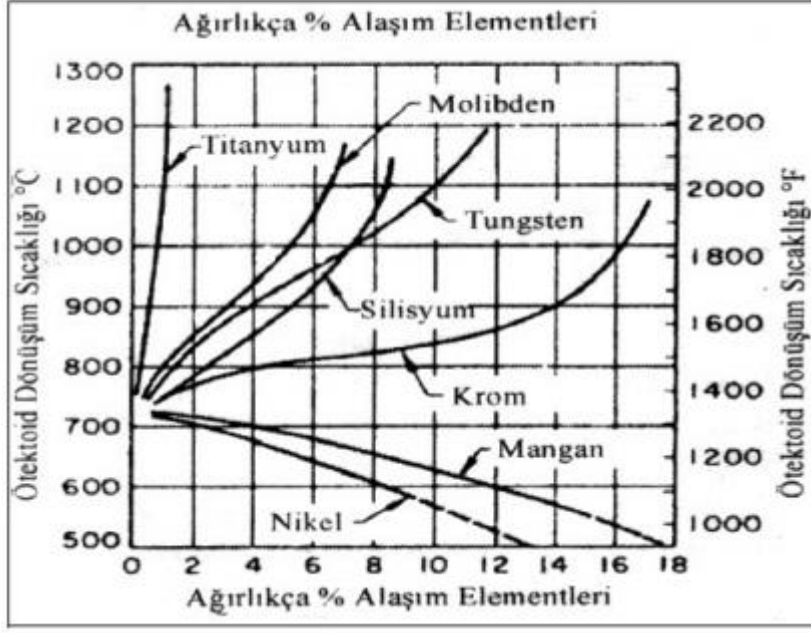
- Kalın kesitli parçalara derinlemesine sertleştirilme olanağı sağlar.

- Bazı çeliklerin yapısına alaşım elementi ilave edilerek çeliğin darbe direnci iyileştirilebilir.
- Alaşım elementinin türüne ve miktarına bağlı olarak çeliğin korozyon direnci, sertleşme kabiliyeti ve aşınma direnci arttırılabilir.
- Çeliklerin tokluğu ve yüksek sıcaklığa dayanımı, alaşımla yöntemi ile geliştirilebilir [4].

Tablo 1. 2. Çeliklerin alaşımlı sayılması için içerebilecekleri minimum element miktarları [5].

Alaşım Elementleri	Alt Sınır (ağırlık yüzdesi)	Alaşım Elementleri	Alt Sınır (ağırlık yüzdesi)
Bakır	0,40	Mangan	1,60
Krom	0,30	Volfram	0,10
Alüminyum	0,10	Niyobyum	0,05
Bor	0,0008	Bizmut	0,10
Kobalt	0,10	Titanyum	0,05
Kurşun	0,40	Silisyum	0,50
Nikel	0,30	Molibden	0,08

Karbonun yanı sıra krom, nikel, titanyum ve buna benzer diğer alaşım elementlerinin çeliğin kimyasal bileşimine ilave edilmesi durumunda demir sementit faz diyagramında büyük ölçüde değişiklikler meydana gelir. Bu değişikliklere örnek olarak; faz bölgelerine ait alanların değişmesi, reaksiyon sıcaklıklarının değişmesi ve buna bağlı olarak faz sınırlarını ayıran çizgilerin değişmesi örnek olarak gösterilebilir. Bu değişimlerin boyutu, ilave edilen alaşım elementinin cinsine, bileşimine ve hangi oranda ilave edildiğine bağlıdır. Bu değişikliklerin en önemlilerinden bir tanesi, ötektoid noktanın yer değiştirmesidir. Ötektoid sıcaklığın, takviye edilen alaşım elementlerine ve bu alaşım elementlerinin ağırlıkça oranlarına bağlı olarak değişimi Şekil 1.1' de gösterilmiştir [3].



Şekil 1.1. Karbon dışında çeliğe ilave edilen alaşım elementleri ve miktarlarının ötektoid sıcaklık üzerindeki etkileri [6].

Çoğunlukla su da hızlı soğutma işlemine tâbi tutulan çelikler, martenzitik bir yapıya sahip oldukları için çok gevrektiler ve bu sebepten dolayı temperleme ısıl işlemine maruz bırakılırlar. Temperleme işleminden sonra malzemenin tokluğunda bir artış görülürken, sertliğinde azalma söz konusudur. Buradan da anlaşılacağı gibi, çeliğin sertliği temperleme sıcaklığına bağlı olarak ters orantılı olarak azalır. Bu süre içerisinde, alaşım elementleri ise çeliğin yumuşama hızını azaltırlar. Böylece hedeflenen sertlik değerinin elde edilebilmesi için temperleme sıcaklığının artırılması mecburidir. Alaşım elementlerinden örneğin nikel, mangan, silisyum temperle ısıl işlemi uygulanmış çeliğin sertlik değerini önemli ölçüde değiştirmezler. Volfram, krom, vanadyum, molibden gibi karbür yapıcı elementler ise çeliğe, ısıl işlem uygulandığı zaman çeliğin yumuşama hızında büyük oranda azalma meydana getirirler. Ayrıca karbür yapıcı bu elementler özellikle temperleme ısıl işlemi esnasında çeliğin temperleme sıcaklığını arttırmakla beraber sertlik değerinin de artmasına olanak sağlarlar. Çeliğin sertliğinde meydana gelen bu artış ikincil sertleşme olarak adlandırılır [7].

### 1.1.2.1. Islah Çelikleri

Islah çelikleri, özellikle içerdikleri karbon miktarına bağlı olarak sertleştirilmeye elverişli olan ve ısıtılma işlem sonucunda çekme dayanımında artış gösteren alaşımsız ve alaşımlı makine imalat çelikleridir. Genellikle ıslah çeliklerinden yüksek dayanım ve süneklik birlikte istenmektedir. Alaşımlı çeliklerin bileşim aralıklarında ki farklılıklar, malzemenin kimyasal ve fiziksel özelliklerine yansımaktadır. Islah çelikleri, AISI standartlarında 41XX simgesi ile gösterilen çeliklerdir [8].

Ergime derecesi 1920 °C olan krom, östenit sahasını daraltan ve mikroyapıda ferrit fazlarının oluşmasını sağlayan alaşım elementidir. Islah çeliklerinin aşınma direncini, korozyona karşı dayanımını ve özellikle kritik soğuma hızının azalmasıyla sertleşebilirliğini arttırmaktadır. Bunlara ilaveten, sertliği arttırıcı ve tane küçültücü etkileri de söz konusudur. Düşük karbon içerikli çeliklere, paslanmaya ve asitlere karşı korozyon direnci kazandırmak için krom katkı değerleri %12' nin üzerinde olmalıdır. Kromla birlikte molibden, mangan, vanadyum ve nikel ile birlikte ısı ve aşınma direnci daha da arttırılabilir. Artan krom miktarıyla birlikte çentik darbe dayanımı ve kaynak edilebilirliği azalmaktadır. Her %1' lik krom artışında malzemenin çekme dayanımında 80-100 (N/mm<sup>2</sup>)' lik bir artma meydana gelir [7].

Ergime derecesi 2622 °C olan molibden, karbür yapıcı ve östenit sahasını daraltan bir elementtir. Islah çeliklerinde % 0,15-0,30 arasında buldukları zaman kritik soğuma hızını düşürerek sertleşme derinliğine, çekme dayanımına, akma dayanımına önemli ölçüde etkiye sahiptir. Bu özelliklere ilaveten, temper gevrekliğini azaltmakta ve aşınma direncini arttırmaktadır. Krom elementine benzer şekilde yüksek sıcaklık sertliğini ve çeliklerin gerilmesini arttırır. Alaşım elementi olarak molibdenin kullanım alanları; otomobil millerinde, uçak parçalarında ve basınç altında çalışan kaplarda kullanılırlar [5,9].

#### 1.1.2.1.1. AISI 4140 Çelikleri

TS 2525' e ( Ocak 1977) atıfta bulunarak standartlaştırılmış ıslah çelikleri kimyasal bileşimlerine göre; alaşımsız ıslah çelikleri, mangan alaşımlı ıslah çelikleri, krom alaşımlı ıslah çelikleri ve krom molibden alaşımlı ıslah çelikleri olarak 4 farklı gruba ayrılmaktadırlar. Dövme kalite çelikler, düşük alaşımlı yapı çelikleri, orta karbonlu çelik

ve alaşımlı elik olarak da adlandırılan ve krom-molibden alaşımlı ıslah çeliklerinden olan AISI 4140 eliğinin, oldukça fazla kullanım alanı vardır.

AISI 4140 eliğinin karbon içeriği göz önüne alındığında sertleştirilebilme kabiliyetine ve ısıl işlem sonunda iyi bir tokluk değerine ve yüksek indüksiyon edilebilirliği sahip olan alaşımlı yapı elikleridir.

AISI 4140 eliğinin kullanım alanları; i) uçak imalatında, ii) otomobil yedek parçalarda, iii) yüksek süneklik gerektiren işlerde çalışan parçalarda, iv) gemi imalatında kullanılan parçalarda şeklinde sıralanabilir [10].

Tablo 1.3, 1.4, 1.5, 1.6, 1.7 ve 1.8’de AISI 4140 eliğine ait kimyasal bileşenler, mekanik özellikler, ısıl işlem özellikleri ve ısı ve elektrik özellikleri ile kritik sıcaklıklar verilmiştir.

Tablo 1. 3. AISI 4140 eliğinin farklı standartlardaki karşılıkları [1].

<b>MALZEMENİN FARKLI STANDARTLARDAKİ KARŞILIKLARI</b>	AISI-SAE	4140
	DIN	17,225
	EN	42CrMo4
	AFNOR	42 CD 4
	JIS	SCM 440 (H)

Tablo 1. 4. AISI 4140 eliğinin kimyasal bileşimi [1].

<b>Element</b>		<b>% AğIRLIK</b>
	C	0,38-0,45
	Mn	0,75-1,00
	P	0,035 (maks)
	Si	0,15-0,30
	S	0,04 (maks)
	Cr	0,80-1,10
	Mo	0,15-0,20

Tablo 1. 5. AISI 4140 çeliğinin mekanik, ısıt işleme ve ısıt özellikleri [1].

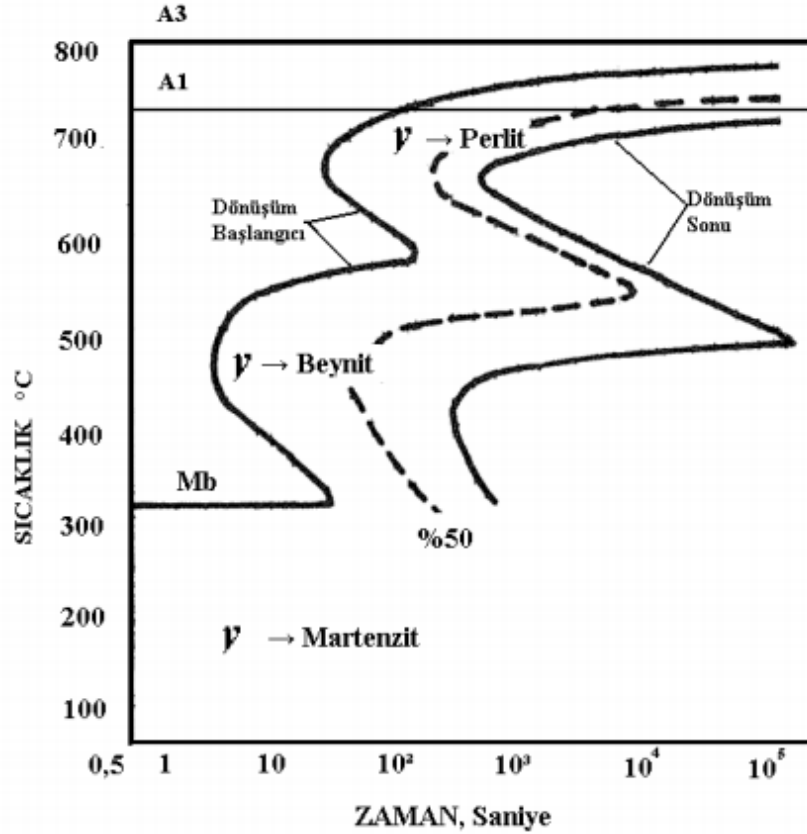
	<b>ÖZELLİKLER</b>	<b>DEĞERLER</b>	<b>SICAKLIK (°C)</b>
<b>Mekanik Özellikler</b>	Yoğunluk ( $\times 1000 \text{kg/m}^3$ )	7,70-8,03	25
	Poison Oranı	0,27-0,30	25
	Elastisite Modülü (GPa)	190-210	25
	Çekme Direnci (MPa)	655,00	25
	Akma Direnci (MPa)	417,10	25
	% Uzama	25,70	25
	% Kesit Sıkışması	56,90	25
	Sertlik (HB)	197	25
	Darbe Direnci (J)	54,50	25
	Elektrik Direnci ( $10^{-9} \Omega\text{-m}$ )	12,30	20
<b>Isıt İşleme Özellikleri</b>	Sıcak Şekil Verme		850-1050
	Normalizasyon		840-880
	Yumuşak Tavlama		680-720
	Sertleştirme		820-860
<b>Isıt Özellikleri</b>	Isıt Genleşme ( $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ )	12,3	19-100
	Isıt İletkenlik (W/m-K)	42,7	100
	Özgül Isıt (J/kg-K)	474	149-200

Tablo 1. 6. AISI 4140 çeliğine ait kritik sıcaklık değerleri [1].

<b>Element</b>	<b>SICAKLIK (°C)</b>	
		Mf
	Ms	343
	Ar1	680
	Ac1	732
	Ar3	743
	Ac3	804

Isıt işleme; çeliklerin dayanımlarını arttırıp azaltmak, talaşlı işlenebilme özelliğini iyileştirmek, şekil verme işlemlerinin etkisini yok edebilmek, mikrosegregasyonu ortadan kaldırmak, tane büyüklüğü istenildiği şekilde değiştirebilmek, iç gerilimleri azaltmak ve amaçlanan içyapıları elde etmek için uygulanmaktadır. AISI 4140 çeliği, temperleme ve sertleştirme ısıt işlemine oldukça elverişlidir ve sertleşebilme kabiliyeti orta seviyede olmasına rağmen tokluğu ve dayanımı gayet iyidir. Sertleştirme işlemleri uygulandığında karbon oranının yüksek olmasından dolayı iyi bir sertleşme davranışı sergiler ve buna bağlı olarak mukavemetin de artış görülür. Plastik şekil verme safhasında çekme dirençleri 1650 MPa' a kadar artabilir. Ayrıca çalışma şartlarında gösterdiği maksimum dayanım sıcaklığı 480 °C'dir.

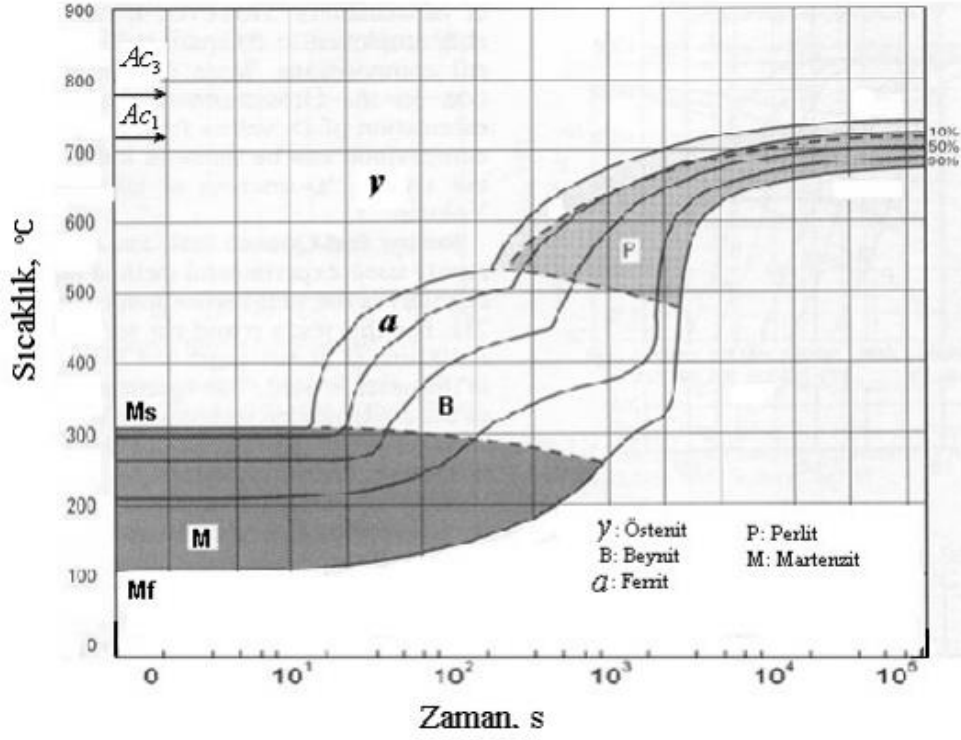
TTT (Time- Temperature- Transformation) ve CCT (Continuously- Cooling- Transformation) diyagramları, çeliğe istenilen özellikleri kazandırmak için gerekli olan ısıtma işleminin belirlenmesinde ve bunun neticesinde meydana gelebilecek yapının tahmin edilmesinde önemli rol oynamaktadır.



Şekil 1. 2. Zaman – Sıcaklık- Dönüşüm (TTT) diyagramı [11].

Bütün çeliklerin ısıtma işleminde esas olan, çelikleri belirli bir sıcaklığa çıkarıp bu sıcaklık değerinde belli bir süre tutulup önceden belirlenmiş soğutma hızı ile soğutmaktır. Arzu edilen iç yapının elde edilmesi için Şekil 1.2’ de gösterilen TTT diyagramı kullanılmaktadır [12].

Soğutma hızlarına bağlı olarak malzemede oluşan fazları görmek için ve su verme ortamının çelik mikroyapısındaki etkilerini teorik olarak görebilmek için Şekil 1.3’ de gösterilen AISI 4140 çeliğine ait CCT diyagramı kullanılır. CCT diyagramına bakıldığı zaman fazların, östenit → martenzit ya da beyrit → perlit dönüşümünü gerçekleştirdiğini görebilmekteyiz [13].



Şekil 1. 3. Sürekli - Soğuma - Dönüşüm (CCT) diyagramı [11].

Yukarıda ki şekil yorumlandığı zaman, çelikte bütün bir yapının martenzite dönüşebilmesi için çok hızlı bir soğuma gerektiği görülmektedir. Bu işlem için en güzel soğutma ortamı sudur. Aynı şekilde eğer beynitik bir yapı elde etmek istersek, soğutma aracı olarak bu sefer de yağ kullanmak gerekir. Malzeme, yavaş soğutma ortamlarına bırakıldığı zaman mikro yapının ferrit ve perlit fazlarına dönüştüğü görülmektedir.

## 1.2.Yüzey ve Termokimyasal Yöntemler

### 1.2.1.Yüzey

Yüzey, malzemenin dış çeperi olarak adlandırılan, dış platformla temas eden, maddeyi çevreleyen ve madde ile aynı morfolojiyi gösteren bir katman olarak tanımlanabilir. Maddenin dış ortamla girdiği alışveriş doğrudan yüzey üzerinden gerçekleşmektedir. Bu alışveriş sonucunda bazen, malzeme özelliklerinin tamamına mâl olabilecek etkiler söz konusudur. Kısaca bu etkileşimde en önemli rol yüzeye aittir.

Yüzey tarafından belirlenen bazı özellikler aşağıda verilmiştir:



- Sürtünme ve aşınma dirençleri
- Korozyon dirençleri
- Dış görünüşü ve renkleri
- Fotoelektrik özellikler
- Optik özellikleri
- Komşu maddeye difüzyon özellikleri
- Yüzeğe bağlı mekanik özellikleri (Yorulma)
- Yapışma davranışları

Yukarıda maddelenen özelliklerin arzulandığı malzemeler için yapılması gereken, malzemenin bütün morfolojisini değiştirmek yerine sadece yüzey kısmına dokunmak yeterli olabilir. Bunun için en ideal örnek, köprü ayaklarını deniz suyu korozyonuna karşı korumak için yüzeyinin çinko esaslı bir boya ile boyanarak koruyucu bir katman elde etmek gösterilebilir.

Kimi zaman çalışma şartlarına bağlı olarak malzeme, gereken özellikleri gösteremeyebilir, bu durumda gereken ihtiyaçları karşılayabilecek başka bir malzeme ihtiyacı doğar, böyle bir durumda bütün malzemeyi değiştirmek yerine sadece yüzeydeki malzemeyi iyileştirmek yeterli olacaktır ve ekonomik açıdan kaynak tasarrufu sağlanmış olacaktır. Altın kaplamalı eşyalar bu duruma iyi bir örnektir.

Bazı durumlarda, yüksek özellikli parçayı bütün bir şekilde imal etmek, ekonomik güç ve ileri derece teknoloji kullanma zorunluluğu doğurmaktadır. Fakat mühendislik anlamının da içinde barındırdığı “ekonomik tasarruf ve mevcut teknolojiyi en iyi şekilde kullanmak” cümlesinden yola çıkarak aynı özellikleri karşılayacak malzemeyi yüzeye yapıştırmak ya da kaplama malzemesi olarak kullanmak daha uygun olacaktır. Bunun için verilebilecek en güzel örnek, yalnızca toz metalürjisi yöntemiyle üretilebilen küçük sert karbürlerin geniş yüzeye sahip malzemelerin üzerine yapışması gösterilebilir [14].

Günümüzde artan teknolojiye bağlı olarak ağır çalışma şartları altında kullanılan iş parçaları ve malzemeleri: korozyon, aşınma, erozyon, oksidasyon, yorulma konularındaki istekleri tamamıyla karşılayamamaktadır.

Metalik malzemelerin zamanla, çalışma şartlarında maruz kaldığı etkiye bağlı olarak kimyasal yapılarında ve dış yüzeyinde değişimler meydana gelmektedir. Bu değişimlerin etkisini ortadan kaldırmak için, malzemenin kullanım ömrünü arttırmak, parçadan istenen kaliteyi sağlamak, iş parçasının çalışma esnasında maruz kaldığı olumsuz etkileri minimize

etmek ve gerekli mekanik özellikleri kazandırmak ya da iyileştirmek için birçok yüzey kaplama yöntemleri geliştirilmiştir.

Yukarıda verilen örnekler bakıldığında kaplama sonucu yüzeyde oluşabilecek tabakanın, malzemenin bütün kesitine oranı oldukça küçüktür. Buna karşılık kaplama tabakasının malzeme ömrüne etkisi 10-100 kat arasındadır. Buradan da anlaşılacağı üzere kaplama yöntemleri sonucu malzeme yüzeyini iyileştirmek teknolojik ve ekonomik açıdan oldukça önemli olduğunu göstermektedir [14].

### 1.2.2. Termokimyasal Yöntemler

Yüzey işlemleri; malzemenin sertlik, aşınma, yorulma, korozyon, süneklik gibi mekanik ve fiziksel özelliklerinin geliştirilmesi ve ekonomik açıdan üretim maliyetini düşürmek için uygulanmaktadır. Bu özellikler arasından özellikle korozyon ve aşınma çok daha fazla önem arz etmektedir. Bu sebepten ötürü son yıllarda gelişen teknolojiyle birlikte iş parçalarının çalışma şartları altında aşınmaya veya korozyona maruz kalmasını önleyecek kaplamalar geliştirilmiştir. Oksit, borür, karbür, nitrür kaplamaların geliştirilmesi bu konudaki çalışmaların bazılarıdır [15].

Çeliklerin yüzeylerinin sertleşebilirliği; ucuz olan düşük karbonlu ve orta karbonlu çeliklerin kalın kesitleri de dahil olmak üzere ve herhangi bir çarpılma ve çatlama olmadan gerçekleştirilmesi nedeniyle bir avantaj doğurmaktadır. İş parçasının yüzey ve yüzey altı bölgesine sertleştirme elementlerinin difüzyonunu sağlamak için bir miktar ısıya ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yüzden yüzey sertleştirmede kullanılan temel işlem termokimyasaldır.

Termokimyasal ısı işlemler malzemenin yüzeyini, belirli metalik (V, Ti, Nb) veya metalik olmayan (B, N,C) element atomlarını malzeme yüzeyine difüze ederek değiştirmektedir. Bu amaçla üretilen tabakalarla, malzemeler kullanıldığı ortam şartlarına uygun özellikler kazanır. Bu olay daha çok yüzeyin sertliğini ve aşınma direncini yükseltirken ana malzemenin de dış ortamın olumsuz koşullarından etkilenmesini de önler. Termokimyasal yöntemler; nitrürleme, karbürleme (sementasyon), borlama, karbonitrürleme prosesleridir.

### 1.2.2.1. Nitrürleme

Azot içeren atmosfer ortamında 500-580 °C sıcaklık değerleri arasında çelik yüzeyinde azotun difüzyonu esasına dayanan bir prosestir. Bu difüzyon sonucunda malzeme yüzeyinde aşınma ve korozyon direncinin yüksek olduğu kuvvetli bir tabaka meydana gelir. Nitrürleme, işlemi Cr, Al, Ti, Mo ve V gibi nitrür oluşturan elementleri içeren çeliklere uygulanmaktadır [15].

Nitrürleme işleminin gayesi; aşınma dayanımının geliştirilmesi, korozyon direncinin artırılması, yorulma davranışının yükseltilmesi ve iş parçasının kullanım ömrünün uzatılmasıdır.

Nitrürlemenin kullanım alanları olarak ise otomobillerde dişli kutuları, basınçlı döküm parçaları, pres elemanları, kamera ve projektör elemanları örnek olarak verilebilir.

Nitrürleme ısıl işleminin özelliklerini aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:

- Bu işlemi uygulayabilmek için, çeliğin nitrürasyon çeliği olması gerekir.
- Nitrürleme işlemi esnasında nitrür bileşikleri oluşurlar, çok sert ve gevrektiler.
- Nitrürleme işleminde, çelik yüzeyindeki atomik azot iç kısımlara doğru yayılır ve genellikle 5-15 nm boyutunda çok ince nitrür çökeltileri oluşturmak için reaksiyona girer.
- İşlem süresi oldukça uzun olabilir (örneğin 40-90 saat).
- İşlem sonrası su vermek gerekli değildir.

Nitrürleme işleminin avantajları:

- Alaşımsız, az alaşımlı, yüksek alaşımlı, ferritik, perlitik, östenitik her türlü çeliğe nitrürleme işlemi uygulanabilir.
- Sertlik direnci (1300 HV' ye kadar) çıkabilir.
- Ani soğutma ortamlarına ihtiyaç yoktur.
- Yüksek aşınma dayanımı gösterir.
- Proses çarpılmaya sebebiyet vermeyecek kadar düşük sıcaklıklarda uygulanabilen bir ısıl işlemdir.
- Korozif ortamlara karşı iş parçasının korozyon direncini artırır.

Nitrürleme işleminin dezavantajları ise şunlardır:

- Uygulama süresi uzundur.

- Sıcaklık ve sertlik arasında ters bir orantı vardır.
- Yayınım derinlikleri oldukça azdır (<0.7mm).

#### **1.2.2.1.1. Gaz Nitrürleme**

Gaz nitrürleme prosesinde iş parçası, azot içeren bir gaz dolu ortamda genellikle amonyak gazına maruz bırakılır ve uygun bir sıcaklıkta tutularak yüzeye azotun yayındırıldığı bir yüzey sertleştirme yöntemidir. Amonyak gazı içerisinde bulunan azot, parçalanarak atom halinde ayrılır ve çelik yüzeyine difüze ederek yüzeyde nitrürleri oluşturur. Gaz nitrürleme süresi arttıkça malzemenin sertlik direncinde azalma görülmektedir [16].

Gaz nitrürleme sırasında açığa çıkan azot, sıcaklık ve konsantrasyon parametrelerine bağlı olarak iş parçası yüzeyine emilir ve kaplama tabakasının altında çok sayıda değişik demir nitrürler meydana gelir. Başarılı bir gaz nitrürleme işlemi için sürekli azot akışını sağlayan taze amonyak kaynağına ihtiyaç vardır. Çok fazla azot, iş parçasına yayılım yaparsa bu sefer de malzemenin yüzeyinde oldukça kalın demir nitrürler oluşabilir. Bu durumda taşlama yapılması gereklidir.

#### **1.2.2.1.2. Sıvı (Tuz Banyosunda) Nitrürleme**

Proses 570 °C ± 10 °C sıcaklığındaki siyanür banyosunda yapılır. Sıvı nitrürleme işlemi, ergimiş halde bulunan siyanür yada siyanat içeren yüzey sertleştirme ortamlarında gerçekleşmektedir. Sıvı nitrürlemede ortamdan yayılan azot ile birlikte siyanürün kimyasal kompozisyonunda mevcut bulunan karbon atomunun bir kısmı az da olsa malzeme yüzeyine yayılır. Çözelti olarak tuz banyosunun oluşturulma hızı yüksek olduğundan dolayı difüzyon işlem süresi kısadır (1-10 saat). Tuz banyosunda gerçekleşen nitrürleme sonrasında parçalar boyutsal hassasiyetini korumaktadır ve aşırı temperleme riski yoktur.

Tuz banyosunda nitrürleme tekrarlı gerilmelere ve sürtünmeye maruz kalan taşıt ve motor yapımında kullanılır. Örnek olarak; krank ve kam milleri, vites kutuları, su ve yağ pompaları için dişli çarklar, silindir yuvaları, direksiyon takımları, silindir başları verilebilir. Bu iş parçaları için tuz banyosunda gerçekleşen nitrürleme işlemi karbürleme

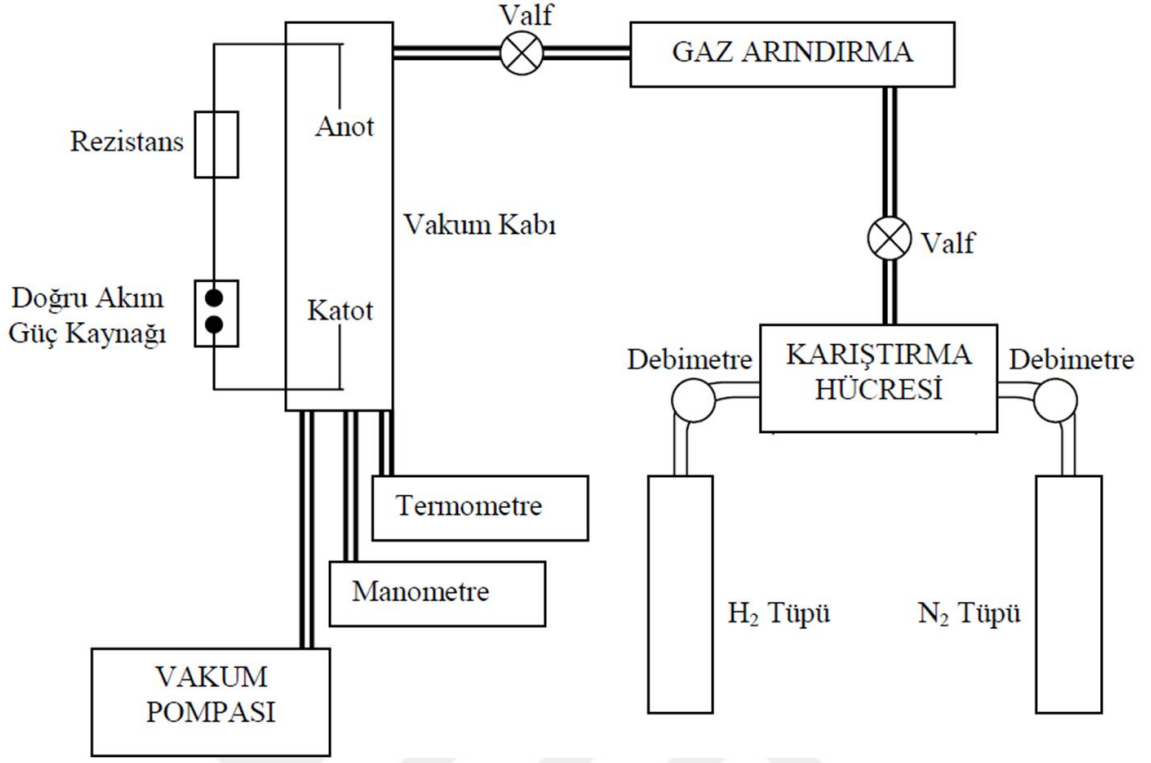
işlemine göre ekonomik açıdan daha uygundur. Bunun sebebi, çekme dayanımının düşük olmasından dolayı plastik şekil verme işlemlerine gerek duyulmamasıdır [17].

### 1.2.2.1.3. Plazma Nitrürleme

Plazma nitrürleme yöntemi 1932 yılında Almanya da geliştirilmiştir. Yöntemin karmaşıklığından ve sürekli geliştirilmesinden dolayı endüstriyel kullanımı oldukça yenidir. Bu yüzden modern bir işlem olan plazma nitrürleme, malzemelerin metalurjik, mekanik ve tribolojik özelliklerinin iyileştirilmesinde kullanılmaktadır.

Plazma nitrürleme işlemi vakum altında gerçekleşir. Nitrürleme prosesleri içinde çevreye karşı duyarlı olan ve gerek metalurjik gerekse tribolojik açıdan en iyi saha performansını sunan bir prosestir. İşlem sıcaklığı düşük olduğu için, malzemede boyutsal hataların azaltılmasını ve tane yapısı özelliklerinin olumsuz yönde etkilenmemesini sağlar.

Plazma nitrürleme işlemi adını işlem esnasında kullandığı azot yada gaz karışımının oluşturduğu plazmadan alan proste temel işleyiş, vakum içerisinde elektrik akımına maruz bırakılan azot gazının iyonlaştırılarak ve kurban anot olarak konulan iş parçasına çarptırılmasıdır. İşlem parametreleri; 1-10 mbar basınçlı vakum, 400-1000 V gerilimdir. Bu gerilim sonucu azot,  $N \rightarrow N^+ + e^-$  iyonlarına ayrılır ve iyon haline gelen azot atomları iş parçası yüzeyine çarparak difüze olmalarıyla meydana gelir [17].



Şekil 1. 4. Plazma nitrüleme ekipmanının şematik gösterimi [17].

#### 1.2.2.1.4. Nitrüleme ile Oluşan Yüzeyin Genel Yapısı

Nitrüleme sonrasında nitrüleme şartlarına bağlı olarak malzeme yüzeyinde birbirinden farklı özellikte iki tabaka meydana gelir. Nitrülenmiş yüzeyler katmanlı bir yapıda olup en dış yüzey beyaz tabaka, daha sonraki bölge  $Fe_3N$  kristal yapılı  $\epsilon$  fazının oluşumu ile sertleşmiş olan difüzyon (yayınım) tabakası ve en altta da çekirdek bölgesi olarak isimlendirilen ana malzeme olmak üzere 3 kısımda incelenebilir.

Beyaz tabaka, azotun çeliğe nüfuz ettiği en üst yüzey katmanı azotun en yüksek oranda bulunduğu bölgedir. Bu katman oldukça sert ve kırılgan bir yapıya sahiptir. Beyaz tabakanın oluşması için çeliğin nital ile dağlanması gerekir. Böyle bir yüzey tabakası, çok sert ve gevrek olduğu için kullanım sırasında pullanma şeklinde dökülerek aşınmaya sebep olmaktadır. Tabaka kalınlığı; zaman, nitrüleme sıcaklığı, azot konsantrasyonu ve malzemenin kimyasal kompozisyonuna bağlı olarak değişkenlik göstermektedir [17].

Malzeme yüzeyinden çekirdeğe doğru gidildikçe difüzyon tabakası karşımıza çıkar. Bu tabaka da azot atomu, demir kafesinde arayer atomu olarak bulunur veya çeliğin yapısında bulunan nitrür yapıcı bileşenlerle oluşturduğu ince dağılmış alaşım nitrürleri

bulunur. Yayınım tabakası, malzeme bünyesinde bulunan alaşım elementleriyle azotun birleşerek meydana getirdiği nitrür çökeltilerinden ve azot ile  $\alpha$ -Fe fazının doymasından meydana gelir. Yayınım tabakasının kalınlığı, nitrürleme sıcaklığı ve süresiyle artarken çözelti içerisindeki azot miktarının artmasıyla azalmaktadır. Azotun malzeme yüzeyine difüzyonu sırasında, difüzyon bölgesinde eş zamanlı olarak birkaç reaksiyon meydana gelir. Bunlar; metal nitrürlerin çökeltisi,  $\alpha$ -Fe kafesinin azota doyması ve metal nitrürlerin çökmesidir. Yayınım bölgesine nüfuz eden azot ve artık basma gerilmesi, karbonun yeniden yapılanmasına neden olur. Karbon atomları başlangıçta gerilmenin olmadığı yüzeye yakın bölgelere ve nitrürlerin önüne nüfuz ederek, nitrürlerin önünde karbonca zengin bölgelerin ve yüzeye paralel tane sınırı fazının oluşumuna neden olurlar. Daha da iç bölgelere ilerledikçe, yayınım azot miktarı ve buna bağlı olarak sertlik değeri azalır, son olarak azotun yayınım yapamadığı çekirdek bölgesi karşımıza çıkar. Beyaz tabaka ve difüzyon tabakasının yapısal özellikleri nitrürleme ısıl işlemine maruz kalmış çeliklerin özelliklerini belirleyen en önemli parametrelerdir. Beyaz tabaka, nitrürlenmiş çeliklerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin iyileştirilmesine imkan verirken, difüzyon tabakası çeliklerin fiziksel özelliklerinin ve yorulma direncinin artmasında rol oynar [18,19].

### 1.2.2.2. Karbürleme (Sementasyon)

Karbon miktarları %0,2' nin altında olan çeliklere sementasyon çelikleri denir. Sementasyon işleminden sonra çeliğe su verilip ardından temperleme işlemi uygulanarak çelik sertleştirilir, yüzeyi sert ve iç kısım yumuşak olup, dişli çarklar, makaralar, kesici takımlar gibi uygulama alanlarına sahiptir.

Malzeme kafesinde bulunan atomlar, çok yoğun ortamdan az yoğun ortama doğru bir yayılma eğilimindedirler. Genellikle 850-950 °C sıcaklık aralığında verimli karbon yayınım oranları elde edilebilmektedir. Karbürleme ısıl işlemi, çeliklerin yüzeyinde %0,8 karbon oranına kadar karbon yayınımının sağlandığı ve ihtiyaç duyulan karbonun ortamdan sağlandığı bir prosestir [20].



Karbürleme ısıl işleminden sonra kabuk sertliği 61-64 HRC ve çekirdek sertliği 11-41 HRC değerlerine ulaşmaktadır. Bu sertlikleri elde edebilmek için bazı parametreler vardır; iş parçasının et kalınlığı, çeliğin kimyasal yapısı ve uygulanan termokimyasal yöntemdir. Katı ortamda karbürleme (kutu sementasyon), sıvı ortamda karbürleme ve gaz

ortamında karbürleme işlemi olmak üzere 3 farklı ortamda sementasyon işlemi gerçekleştirilmektedir [21].

#### 1.2.2.2.1. Katı Ortamda Karbürleme

Katı ortamda gerçekleşen bir ısıl işlemdir. Kutu sementasyon işleminde kullanılan en temel bileşen odun kömürüdür. Buna ilaveten meşe ve kok kömürü de karbürleme işlemi için uygundur. Ortamdaki karbon oranını arttırmak için enerji sağlayacak bir aktivatöre ihtiyaç vardır. Bu aktivatörler; baryumkarbonat ( $BaCO_3$ ) veya sodyumkarbonattır ( $Na_2CO_3$ ) [22].

Semente edilecek malzeme, yapıya karbon kaynağı olacak bir sementasyon malzemesiyle (odun kömürü, kok kömürü) ve enerji ihtiyacını karşılayacak aktivatörle beraber bir kutu içerisine konulur. Karbonun parça yüzeyine yayınması için ortam 850-900 °C arasında bir sıcaklığı ısıtılır. Bu işlemin fonksiyonel bağlantısı aşağıda verilmiştir.

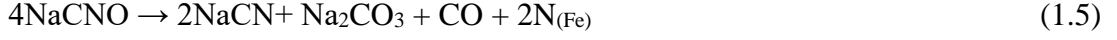


Bu reaksiyonlar göz önüne alındığında, sıcaklığın yükselmesine bağlı olarak açığa çıkan CO gazının miktarı artar. Daha sonra, CO gazı iş parçasının yüzeyine çarparak parçalanır ve açığa  $CO_2$  ve atom boyutunda karbon çıkar. Bu karbon, östenit fazda bulunan çelik tarafından sindirilerek bünyede çözünür. Bunun neticesinde çelik yüzeyi karbon bakımından zenginleşmiş olur.  $CO_2$ , yeniden sementasyon malzemesi ile tepkimeye girer ve CO gazı açığa çıkar. Bu şekilde sementasyon işlemi devam eder [23].

#### 1.2.2.2.2. Sıvı Ortamda Karbürleme

Semente edilecek parçalar; sodyum siyanür ( $NaCN$ ) veya potasyum siyanür ( $KCN$ ), tuz banyoları içerisine daldırılırlar, işlem süresi kutu sementasyona göre daha kısadır, ancak katı ortam sementasyonunda olduğu gibi yüksek sıcaklık gerekmektedir. Siyanür, çelik yüzeyinde CO formuna ayrılmış siyanatlara oksitlenir ve reaksiyon sonucu karbon ve azot malzeme yüzeyine yayılır. Sıvı ortamda karbürleme reaksiyonları aşağıda gösterilmiştir [14]:





Yukarıdaki tepkimelere bakıldığında, tepkimelerin tuz banyosu ile çelik arasında meydana geldiği görülmektedir. Sıvı ortamda karbürlemenin avantajları olarak şunlar söylenebilir; çözeltilerin ısı iletimi iyi olduğundan dolayı işlem süresi kısadır (5-60 dk), büzüşme ve tane irileşmesi olasılığı azdır. Bunun yanı sıra her yöntem gibi kutu sementasyon ısıl işleminin de olumsuz yönleri mevcuttur; ekonomik açıdan maliyeti yüksek, risk açısından siyanür tuzları çok zehirlidir ve su ile tepkimeye girdiği zaman patlama riski söz konusudur [14].

### 1.2.2.3. Gaz Ortamında Karbürleme

Büyük endüstriyel uygulamalarda gaz ortamında yapılan karbürleme işleminin tercih edilmesinin sebebi, yüzey özelliklerinin değişmemesi ve kirliliğin olmamasıdır. İlave olarak, kontrol altına alınabilirliği ve tekrarlanabilirliği gaz ortamında karbürlemenin tercih edilme sebeplerindendir. İşlem sırasında ortama karbon akışını sağlamak amacıyla hidrokarbonlar kullanılabilir. Yüzeyde istenen karbon konsantrasyonunun elde edilebilmesi için gazın kimyasal kompozisyonuna göre karbürleme etkisinin değişmesi gerekir ve 4 değişik gaz üretme tekniği mevcuttur:

- Fırın içerisine karbürleme sıvısının akıtılması
- Gaz ve havanın doğrudan girişi
- Fırına gaz akışını sağlayacak bir cihaz kullanmak
- Bir vakum fırınında karbürleme

### 1.2.2.3. Borlama

Borlama işlemi; sadece çelik gibi Fe-C alaşımlarının dışında sermet, demir dışı ve seramik malzemelere uygulanabilmektedir. Verimli bir borlama yöntemi için iş parçası yüzeyinin çok iyi temizlenmiş olması gerekir, sıcaklık 700-1000 °C aralığında, tercihen 1-11 saat sürede, katı toz, plazma, sıvı veya gaz gibi çeşitli ortamlarda uygulanabilmektedir [24].

Termokimyasal bir işlem olan borlama, yüksek sıcaklıkta metallerin yüzeyinde bor atomlarının yayınmasıyla borür tabakası oluşturma işlemidir. Diğer sertleştirme yöntemlerine kıyasla borlama yöntemi, oluşan bor tabakasının bor atomunun kendine has özelliklerinden dolayı birçok avantaja sahiptir. Borlama sonucu oluşan borür fazlarının en önemli artışı çok yüksek sertlik değerine (1450-5000 HV) ve yüksek ergime sıcaklığına sahip olmasıdır. Mevcut olan bu yüzey sertliği, korozyon, oksidasyon, adezyon ve abrazyon aşınması hasarına karşı büyük ölçüde dayanıklılık sağlar. Borlanmış yüzey oksidasyona karşı 850 °C'ye kadar direnç gösterir. Korozyona maruz kalabilecek iş parçalarının korozyon direncini ve kullanım ömrünü artırır.

Bor tabakasının bazı dezavantajlarını ise şu şekilde sıralayabiliriz; maliyetlidir ve uygulanmaları kolay değildir. Karbürleşmiş ve ya nitrürleme işlemine tâbi tutulmuş çeliklere oranla, borlanmış alaşımlı çeliklerin yorulma direnci zayıftır ve parçanın boyutunda değişimler meydana gelir. Borlama yöntemi, yüksek sertleştirme sıcaklıkları gerektiği ortamlarda tercih edilmez. Yapıldığı ortama göre, kutu, sıvı, gaz ve plazma olmak üzere 4 şekilde uygulanmaktadır [25].

#### **1.2.2.3.1. Kutu Borlama**

Kutu borlama işlemi, elle kolayca uygulanabilmesi, emniyetli olması, faz bileşenlerinin değişiminin çok az olması ve bu yöntemde çok az ekipmana gerek duyulması sebebiyle en çok kullanılan tekniktir.

Prosesi 3 önemli adımda özetleyebiliriz; kutulama, ısıtma ve temizleme. Hazırlanan toz karışımı kutu içerisine, borlanacak malzemenin etrafını en az 10-20 mm kaplayacak bir şekilde yerleştirilir. SiC ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> reaksiyona girmeyerek sadece akışkanlığı sağlamak amacıyla dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadırlar. Oksitlenmeye karşı iş parçasını korumak için kutu, kapak ile kapatılır. Kutu borlama işleminin en önemli parametresi, kutu hacminin, fırın hacmine oranı %60' ı geçmemelidir. Yaygın olarak kullanılan bor sağlayıcılar; bor karbür (B<sub>4</sub>C), ferrobor ve amorf bordur [24,26].

### 1.2.2.3.2. Sıvı Borlama

Borlama işleminde kullanılan çözelti sıvı haldedir. Borlama işlemi 680-1000°C aralığında gerçekleştirilmektedir. Sıvı ortamda borlama, iki ana gruba ayrılır; elektrolitik sıvı borlama ve elektrolizle sıvı borlama.

Bu yöntemin bazı dezavantajları vardır; reaksiyona girmeyen borların ve işlemde arta kalan tuzların malzeme yüzeyinde kalması ve bu artıkların temizlenmesi için zaman ve para gereklidir. Başarılı bir borlama için banyo viskozitesinin artmasına izin verilmez. Bu nedenle maliyeti arttıran tuz ilavesi gerekliliği doğmaktadır. İşlem sırasında oluşabilecek korozif dumanlara karşı önlemlerin alınması gerekmektedir [26].

### 1.2.2.3.3. Gaz Borlama

Yüksek sıcaklıklarda gaz fazında gerçekleşen termokimyasal kaplama yöntemidir. Borlama işlemi, bor kaynağının evapotartörde H<sub>2</sub> ve N<sub>2</sub> gaz karışımı haline getirilmesi, vakum içine alınmış paslanmaz çelikten yapılmış kutu içerisinde bulunan numune üzerine püskürtülmesiyle gerçekleştirilir.

Gaz borlama da en çok kullanılan ortamlar şöyledir:

- Diborane (B<sub>2</sub>H<sub>6</sub>) ve H<sub>2</sub> karışımı
- Borhalid (iyonize bor)- H<sub>2</sub>
- (CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>B ve (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)<sub>3</sub>B gibi organik bor bileşikleri

BCl<sub>3</sub> en yaygın kullanılan bor kaynağıdır. Gaz ortamında yapılan borlama işlemi proses açısından basit olmasına rağmen gerekli ekipmanlar oldukça maliyetlidir. Ayrıca, ekipman kurulumu oldukça zordur [26].

### 1.2.2.3.4. Plazma Borlama

Plazma ile yüzey sertleştirme işlemleri; güvenilirlik, maddi açıdan uygunluk, çevreye karşı duyarlılık, zaman tasarrufu, minimum çarpılma, yüksek aşınma dayanımı, mikro yapının izlenebilirliği açısından oldukça avantajlıdır.

Plazma, bünyesinde elektriksel yüklü atomları ya da molekülleri barındıran bir karışımdır. Plazma borlama, yaklaşık 10<sup>-2</sup> Pa gibi düşük bir basınçta, 780-1000 °C

sıcaklıkta, bor kaynağı olarak  $\text{BCl}_3$ ,  $\text{B}_2\text{H}_6$  veya  $\text{B}(\text{OCH}_3)_3$  (trimetilborat) ile birlikte  $\text{N}_2$  ve  $\text{H}_2$  gazları kullanarak yapılan bir prosestir. En önemli avantajı, akım yoğunluğuyla mikroyapı kontrolünün ve işlem parametrelerinin kontrolünün mümkün olmasıdır [26].

#### 1.2.2.4. Nitrokarbürleme

Nitrokarbürleme, karbon atomunun azot ile birlikte yüzeyde difüze olarak karbonitrür oluşturduğu, nitrüleme işleminden biraz daha yüksek sıcaklıklarda  $560\text{-}760^\circ\text{C}$  sıcaklıkları arasında uygulanan nitrüleme prosesi tipidir. İşlem sonucunda yüzeyde karbonitrür bazlı demir nitrür ( $\text{Fe}_3\text{N}$ ) tabakası ( $10\text{-}20\ \mu\text{m}$ ) oluşur. Karbonitrür tabakası sert, gözenekli ve adhezif aşınmaya karşı oldukça dirençlidir. Soğutma amacıyla yapılan oksidasyon işlemi sırasında yüzeyde koruyucu bir oksit tabakası meydana gelir ve korozyona karşı malzemeyi korur. Elde edilen tipik sert yüzey oldukça incedir. Dökme demirlere ve çeşitli çeliklere uygulama imkanı verir.

Bir başka deyişle, nitrokarbürleme, karbon difüzyonu ile birlikte yüksek sıcaklıklarda azotun da difüze edilmesi esasına dayanan bir prosestir. Bu proses hem sodyum siyanür ve sodyum siyanatlı tuz banyolarında hem de karbürleyici gaz ve amonyak karışımının bulunduğu gaz ortamlarında uygulanır. Nitrokarbürleme atmosferlerinin ve tuzlarının güvenli bir şekilde stoklanması oldukça zordur.

Genellikle gaz nitrokarbürlemede kullanılan gazlar farklı karışımlarda  $\text{C}_3\text{H}_8$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{NH}_3$  ve  $\text{CO}_2$  gazlarıdır. Yapılan araştırmalara göre  $580^\circ\text{C}$  de %50  $\text{NH}_3$  ve %50  $\text{C}_3\text{H}_8$  içeren gaz atmosferinde yapılan nitrokarbürleme işlemi sonucunda demir yüzeyinde sert bir tabaka meydana geldiği ve bu tabakanın karbonitrür fazı olduğu doğrulanmıştır.  $\epsilon$  fazı oluşumunun, oksijen miktarına bağlı olarak hızlandığı daha sonraki araştırmalar da netlik kazanmıştır.

Karbürleme yöntemi ile çeliğe verilen karbon miktarı, nitrokarbürleme yöntemine göre oldukça fazladır fakat azot miktarı bakımından nitrokarbürleme yöntemi ile çelik yüzeyine çok daha fazla azot atomu yayınır. Azot atomlarının varlığından dolayı nitrokarbürleme yönteminde soğutma işleminden sonra eğer sertliğinde ki kabuk, karbürleme yöntemine oranla daha düşük sıcaklık ve daha kısa sürede elde edilir. Östenit fazda çözünen azot, TTT diyagramı göz önüne alındığında kritik soğuma hızını düşürerek soğutma ortamına bağlı kalmaksızın mikroyapı da martenziti elde etmeye olanak sunar.

Kısaca prosesi şu şekilde anlatabiliriz, taban malzemesi 360 °C' ye kadar ısıtılır ve 1 saat süreyle havada ki oksijen ile reaksiyona girerek oksidasyon tabakası oluşur. Kullanılan altlık malzemesinin türüne göre, çelikler için 560-580 °C' de (6-8 saat) nitrokarbürleme ( $N_2 + NH_3 + CO_2$ ) işlemine tabi tutulur ve son olarak soğumaya bırakılır [27,28,29].

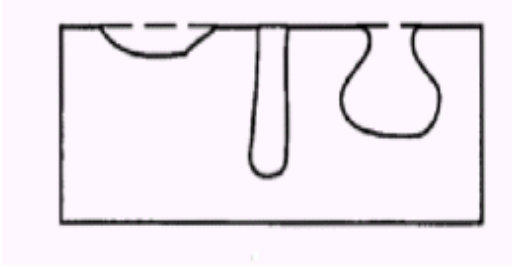
### 1.3.Korozyon

Korozif aşınma, iş parçasının buldukları çalışma koşullarının etkisiyle, dış ortam ile çeşitli tepkimelere girerek malzemede meydana gelen fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerdeki değişimlerdir. Korozyon metalik malzemelerin içinde buldukları ortamlara reaksiyona girmeleri sonucu, dışarıdan enerji vermeye gerek olmadan tabii olarak meydana gelen bir olaydır. Genel anlamda korozif aşınma, metal ve alaşımlarının dış ortam ile kimyasal ve elektrokimyasal reaksiyonları sonucu bozunumlarıdır [30].

Kimyasal korozyon, metal ve alaşımların gaz ortamı içinde oksitlenmesidir. Elektrokimyasal korozyon ise metal ve alaşımların sulu ortamda bozunmasıdır. Bütün metal yapılar doğal çevrede ister istemez belli oranlarda korozyona maruz kalırlar. Gerekli koruyucu önlemler alınmadıkça demirin ve çeliğin yapısal korozyonu hızla artar [31,32,33].

Korozyon türleri arasında; homojen dağılımlı korozyon, en sık rastlayabileceğimiz, malzeme kaybının üst düzeyde olduğu buna karşılık önceden kolaylıkla fark edilebilen bir korozif aşınma türüdür. Bir diğer korozyon türü de çukurcuk korozyonudur. Çukurcuk korozyonuna en güzel örnek, deniz suyuna maruz kalmış yapılar gösterilebilir. Örnekten de anlaşılacağı üzere daha çok pasifleşebilen metallerde ve halojen iyonu içeren ortamlarda reaksiyon sonucu malzemede ki zayıf noktalarda (inklüzyonlar, dislokasyonlar ve tane sınırı gibi) ortaya çıkmaktadır. Malzeme kaybı az fakat tehlikeli bir korozyon türüdür. Çukurcuk, pasifliğin kaybolmasına neden olur. Eğer kaybolan pasif film tekrar meydana gelmezse, korozif aşınma devam eder ve çukurcuk korozyonuyla neticelenir. Şekil 1.5'te bakır boruda meydana gelen çukurcuk korozyonun başlangıç ve ilerleyişi gösterilmiştir [34,35]. Bir başka korozyon türü de seçici korozyondur. Bu korozyon türü, bir alaşım içinde bulunan elementlerden birinin korozyona uğrayarak uzaklaşması sonucu oluşur. Bir diğer korozyon türü olan aralık korozyonu, manşonlu birleşim elemanlarında birleştirmelerden dolayı oluşan veya malzeme yüzeyine kaplama yaparken dar aralıkta kalıp kaplamanın nüfuz etmediği kısımlarda görülen korozyon çeşididir. Taneler arası

korozyonda ise durum şu şekildedir; bu korozif aşınmada temel prensip potansiyel farktır. Amorf yapıda olan tane sınırlarının potansiyel farkı tane içine göre daha yüksek olduğundan, daha soy yapıda olan tane içi korunurken tane sınırı korozyona uğrar. Kazımalı korozyon, yeterli yük ve tekrarlı gerilmeler altında devamlı sürtünmeye maruz kalan metal yüzeylerde ortaya çıkan hasardır. Galvanik korozyon, aynı elektrolitik ortamda elektrot potansiyelleri farklı olan iki metal veya alaşımın tepkimeye girmesi sonucu meydana gelir. Gerilmeli korozyon, saldırgan ortamlarla temas halinde olan makine parçaları ve metal yapıların çoğu mekanik gerilmeler altındadır. Genellikle dinamik yük altında çalışan iş parçalarında görülen yorulmalı korozyon, tane içi korozyon çeşididir. Erozyon, yer kabuğunun özellikle akarsular olmak üzere türlü dış etkenlerle aşındırılıp yerinden koparılmasıdır. Adından da anlaşılacağı gibi erozyon korozyonu, bir metal malzeme ile ortamda mevcut bulunan akışkan arasındaki bağıl hızı bağılı olarak etkileşime girmesi sonucu oluşan korozyon çeşididir. Son olarak kavitasyon korozyonu ise sıvı içerisinde çalışan iş parçalarının sıvı ortam ile temasta olan kısımlarında meydana gelen korozyon çeşididir [36].



a)



b)

Şekil 1. 5. a)-b) Çelik yüzeyinde meydana gelen çukurcuk korozyonu [37-38].

Yukarıda bahsedildiği gibi korozyon insan hayatını riske atan bir hasar türüdür. Bu sebepten dolayı da iş parçasını korozyona karşı korumak gerekir. Bunun için 2 çeşit koruma yöntemi vardır; yüzey kaplamaları ile koruma ve katodik korumadır. Yüzey kaplamaları ile korumayı kendi içinde sınıflandırabiliriz: İnorganik kaplamalar, organik kaplamalar, inhibitörler ve metalik kaplamalar.

### **1.3.1.Korozyon Mekanizmalarına Göre Korozyon Türleri**

#### **1.3.1.1.Fiziksel Korozyon**

Temel oluşum parametresi sıvıdır. Yani sıvılaştırılmış organiklerin ya da eriyik halde ki metallerin sebebiyet verdiği korozyon çeşididir. Korozyon, doğrudan iş parçası yüzeyinde kopmalar meydana getirerek, fiziksel hasarlar oluşturarak veya ortamdan ısı alarak ya da vererek hal değişimi ile meydana gelir. Fiziksel korozyona örnek olarak civa ya da ergimiş alüminyumun metal malzeme yüzeyinde korozyona neden olması verilebilir [30].

#### **1.3.1.2. Kimyasal Korozyon**

Kimyasal korozyonun temel oluşum prensibi kimyasal tepkimelerdir. Örneğin, malzemenin dış ortam ile hiçbir ilave katalitöre ihtiyaç duymadan doğrudan tepkimeye girmesi neticesinde ortaya çıkar. Burada dış ortam olarak genel de atmosfer örnek olarak gösterilir. Çünkü hava da bulunan oksijen, hidrojen sülfid ve halojenler en önemli korozyona sebebiyet verici maddelerdir ve bu maddelere bağlı olarak genelde metal yüzeyinde korozyon ürünü diye adlandırabileceğimiz oksitler ve sülfürler oluşur. Bu korozyon çeşidinin ortaya çıkması için yüksek sıcaklıklara ihtiyaç vardır, bundan dolayı da yüksek sıcaklık korozyonu olarak da bilinir. Örnek olarak, kazanların alevle ya da sıcak gazla temas ettiği bölgelerde meydana gelen korozyon verilebilir [30].

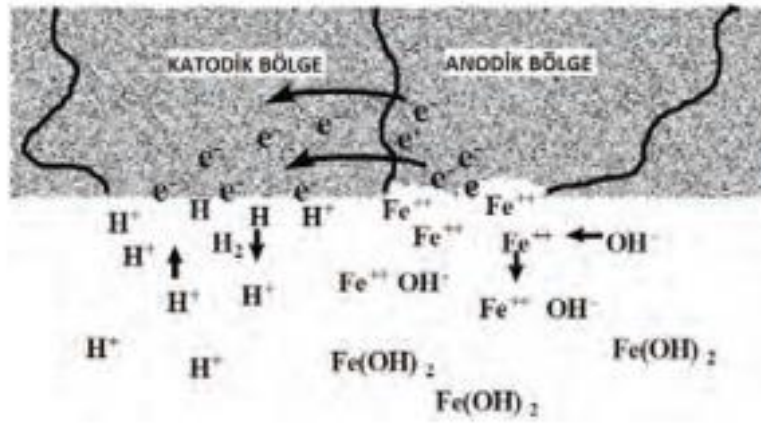
#### **1.3.1.3. Elektrokimyasal Korozyon**

Bir çözelti içerisinde metal ve alaşımlarının çözelti ile etkileşimleri sonucu ortaya çıkan korozyon çeşididir. Korozyon mekanizmasının gerçekleşebilmesi için, aynı ortam içerisinde potansiyel farka sahip malzemelerin ve elektron akışının sağlanabileceği bir elektrolit olması gereklidir. Bu sistem de elektron alışverişi ara yüzeyde gerçekleşir.

Anotta metal kaybı meydana gelirken, katotta metal kaybı gerçekleşmez. Elektrokimyasal korozyon, metal/elektrolit ara yüzeyinde elektron transferini gerektirir. Korozyon hücresinde olması gereken malzemeler aşağıda verilmiştir:

- Anot
- Katot
- Elektrolit
- Metalik bağ

Korozyon hücresinde en önemli rol elektronlarıdır. Anottan kopan elektronlar çözelti içerisinde daldırılmış pozisyonundaki katodik yüzeye gelirler. Bu döngünün tekrar edebilmesi için pozitif yüklü iyonlara ihtiyaç vardır. Elektronlar elektrolitte bulunan pozitif yüklü iyonlarla tepkimeye girerek elektriksel dengeyi tekrar kurarlar.



Şekil 1. 6. Mikroskobik korozyon hücresi [39].

Şekil 1. 6'da gösterildiği gibi korozyon olayını su içinde, aynı metalik yüzeyde bulunan bir anot ve bir katottan oluşan bir korozyon hücresinde inceleyelim. Aynı metal; anot, katot ve metalik bağı içerir. Korozyon hücresinin son bileşenini yani elektroliti ise su sağlar. Elektrolit az miktarda hidrojen (H<sup>+</sup>) ve hidroksil (OH<sup>-</sup>) iyonlarını bulunduracak şekilde iyonize olmuştur. Metal iyonları, elektrolite girmek üzere anodik yüzeyden ayrılırken geride, metalik bağ üzerinden katodik yüzeye gelecek elektronları bırakır. Katodik yüzeyde, anottan gelen elektronlar elektrolitteki hidrojen iyonları ile karşılaşır. Bir hidrojen iyonu bir elektron kabul eder ve hidrojen atomuna dönüşümü gerçekleşir. Hidrojen atomu diğer bir hidrojen atomuyla, ya katodik yüzeye yapışacak ya da daha sonra baloncuk olarak salınacak hidrojen gazı molekülü oluşturmak üzere birleşebilirler. Bu arada, elektrolitte hidroksil iyonlarıyla birleşen metal iyonları, metal hidroksit (pas)



oluşturarak metal yüzeyine çökelir. Bu süreç devam ettikçe, korozyon anotta, hidrojen iyonu indirgenmesi ise katotta meydana gelir [39].

Elektrokimyasal korozyona karşı alınabilecek önlemleri şu şekilde sıralayabiliriz:

- Galvanik dizide birbirlerinden uzak metal veya alaşımların eşlenmesi imkanlar ölçüsünde önlenmeye çalışılmalıdır. Bu tür eşleşmeler kaçınılmaz ise aynı türden olan metaller yalıtkan conta veya ara parçaları kullanılarak izole edilmelidir.
- Tasarım aşamasında gerekli önlemler alınarak sistemden kopan ya da ayrışan metallerin yol açabileceği olumsuz bir eşleşme ihtimali minimize edilebilir. Korozyon hızlarının yavaş olduğu, iş parçasına ulaşımın kolay olduğu, istenilen zaman da onarımın yapılabildiği koşullarda yüzey kaplama yöntemleri kullanılabilir.
- Etkileşime giren metallerden küçük yüzey alanına sahip olan metalin diğer metale ya da metallere oranla soy olmalı gerekmektedir.
- İş parçasının korozyona maruz kalan kısımları diğer kısımlarına oranla daha kalın olmalıdır [40].

#### **1.4.Literatür Özeti ve Çalışmanın Amacı**

Rogerio ve arkadaşları [32], AISI 4140 çeliğine nitrürleme işlemi uygulamışlar ve elektrokimyasal korozyon ünitesi içerisine daldırarak korozyon dayanımını incelemişlerdir. Bu çalışmada, bakır elektrot, iyonsuzlaştırılmış su ve akışkan olarak da üre kullanılmıştır. Kaplanmış iki ayrı numune kullanılarak bir tanesi sadece iyonize su içerisine, bir diğer numune ise iyonize su ve üreden oluşan çözelti içerisine daldırılmıştır. Lazer ışınları, XRD, SEM ve optik mikroskopu kullanılarak bulgular elde edilmiştir. Elde edilen bulgulara göre, AISI 4140 çeliğinin yüzey tabakasının kaplama sonrası sertliğinin arttığını, fakat arayer olarak difüze eden azot miktarının azalmasıyla yüzey sertliğinde azalma meydana geldiğini gözlemlemişlerdir. Ayrıca ürenin varlığı, yüzey morfolojisini değiştirmedeği bulgularla tespit edilmiştir.

Ekinci [41], AISI 4140 çeliğine sıvı tuz banyosunda nitrürleme işlemi uygulayarak çeliğin aşınma dayanımını arttırmayı amaçlamıştır. Bu çalışmada çözelti olarak sulfinuz tuz kullanılmıştır. Tuz banyosunda nitrürlenmiş ve nitrürlenmemiş iki farklı tribolojik yapıya sahip çelik numunelerin davranışları karşılaştırılmıştır. Aşınma dayanımlarını tespit

etmek için farklı parametreler ve aşındırıcı malzeme olarak sert karbür yoğunluğu yüksek olan AISI 52100 çeliği kullanılarak test, blok-silindir içerisinde gerçekleştirilmiştir. Daha sonra numuneler metalografik laboratuarlarda çeşitli mikroskoplar kullanılarak incelenmiştir. İnceleme sonucu elde edilen bulgular; iş parçasının yüzeyinde oluşan nitrür tabakasının aşınmayı önemli ölçüde azalttığı, çözültiden gelen kükürt atomlarının ise sürtünme katsayısını azalttığı bulunmuştur.

Jigiang ve arkadaşları [42], öncelikle AISI 4140 çeliğine plazma nitrüleme yöntemi uygulamışlar ve nitrüleme işleminden hemen sonra oksidasyon işlemine tabi tutmuşlardır. Daha sonra SEM ve XRD kullanılarak kesitsel mikro yapı ve yüzey morfolojisi incelemelerinde bulunmuşlardır. Standart serbest Gibbs enerjisi, Fe-O sisteminde var olan oksidasyon reaksiyonların hesaplanmasında kullanmışlardır. Elde edilen sonuçlar, magnetit ve hematitten oluşan ince demir oksit tabakası plazma nitrüleme boyunca meydana gelen kaplama tabakasının en üst bölgesinde oluştuğunu, magnetit ve hematit miktarının kaplama sıcaklığına ve süresine bağlı olduğunu göstermişlerdir. Magnetit ve hematitin karakteristik özelliklerinden dolayı yüksek oranlarda hematitin ve magnetitin, korozyon direncini arttırdığı sonucunu elde etmişlerdir.

Heydarzadeh ve arkadaşları [43], farklı sıcaklıklar plazma nitrokarbürleme işlemine tabi tutulmuş AISI4140 çeliğinin aşınma direnci üzerine çalışmışlardır. 530 °C, 570 °C ve 630°C sıcaklıklarda 5 saat boyunca plazma nitrokarbürleme işlemi gerçekleştirmişlerdir. XRD, SEM, sertlik cihazları kullanılarak deney numunelerinin incelemelerini yapmışlardır. Elde edilen bulgular, nitrokarbürleme işleminin 570 °C' de en iyi yüzey sertliğine ve en iyi aşınma direncine sahip olduğunu göstermişlerdir.

Yıldız [44], AISI 4140 çeliğini 575°C'de, %50 H<sub>2</sub>-%50 N<sub>2</sub> gaz karışımında 1 saat süre ile nitrüleme işlemine tabii tutmuşlardır. Nitrüleme işlemi sonrası numunelere ani olarak su verilmiş ve daha sonra numuneler 400°C'de, % H<sub>2</sub>- %50 Ar gaz karışımında 0,5, 1, 4, 8, 12 saat süre ile plazma yaşlandırma işlemine tabi tutulmuştur. Elde edilen veriler sonucu plazma ortamında yapılan yaşlandırma işlemi ile fırında yapılan yaşlandırma işlemi karşılaştırılmıştır. En iyi aşınma ve korozyon özellikleri 1 saatlik plazma ortamında yapılan yaşlanma işlemi sonrası elde edilmiştir.

Genel [45], AISI 4140 çeliğinin iyon nitrüleme özelliklerinin saptanması, iyon ve sıvı nitrülemenin çeliğin yorulma davranışına olan etkilerinin belirlenerek farklılıklarının irdelenmesi ve son olarak farklı yüzey ve kabuk şartları için iyon nitrülenmiş AISI 4140 çeliğinin korozyonlu yorulma davranışı incelenmiştir.

Denktaş [46], AISI 4140 çeliği ilk önce 570°C ve 700°C'de 4 saat süreyle %60 N<sub>2</sub> + %37 H<sub>2</sub> + %3 CO<sub>2</sub> gaz karışımında plazma nitrokarbürleme işlemine tabi tutulmuş. Nitrokarbürleme sonrası, 450°C'de 1 saat süreyle %50 H<sub>2</sub> + %50 CO<sub>2</sub> gaz karışımı ve saf oksijen ortamında post-oksidasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Deneysel sonuçlar, beyaz tabakanın üzerinde hematit ve magnetit fazlarından oluşan oksit tabakası meydana geldiğini göstermiştir. Daha iyi tribolojik ve korozyon özelliklerine nitrokarbürleme sonrası yapılan post-oksidasyon işlemi ile ulaşılmıştır. Ayrıca daha iyi korozyon özelliklerine oksidasyon işleminde hidrojen gazı kullanılarak ulaşılmıştır.

Eski [47], 42CrMo4 (AISI 4140) ıslah çeliğine, farklı parametreler kullanılarak plazma daldırma yöntemiyle nitrürleme işlemi uygulanmıştır. Bu parametreler; 8-40 kV, 150-1500 Hz, 10-55 µs, azot gazı ve süre 2 saattir. Parametrelere göre değişkenlik gösteren kaplama tabakaları, metalografik laboratuvarlarda SEM ve XRD analizleri ile incelenmiştir. İnceleme sonucunda, tabaka kalınlığının en iyi elde edildiği parametreler; 40 kV gerilim, 150 hz frekans, 10 µs periyot ve 52°C maksimum sıcaklık değerlerinde meydana geldiği tespit edilmiştir.

Chonthicha ve arkadaşları [48], AISI 4140 çeliğinin korozyon dayanımını incelemiştir. İlk olarak numunelerin yüzey sertlikleri artırılmıştır. Daha sonra 180, 600 ve 1200 gözenekli SiC çuhası ile numuneler metalografik işlemlere tabi tutulmuştur. Fiziksel buhar biriktirme yöntemi ile numuneler CrN filmi ile kaplanmıştır. Oda sıcaklığında, farklı pH değerlerinde (2,7 ve 10) kaplanmış ve kaplanmamış numunelerin %3,5 NaCl çözeltisi içine daldırılarak korozyon davranışı incelenmiştir. Elde edilen bulgular sonucu kaplanmış numunelerin korozyon davranışının ve yüzey kalitesinin daha iyi olduğu görülmüştür.

Yılmaz [49], AISI 4140 çeliğinin yorulma dayanımını tespit etmek için yüzey sertleştirme işlemlerinden plazma nitrasyon yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde numuneler, 450 °C' de sırasıyla 18 ve 19,5 saat iyon nitrürleme işlemine maruz bırakılmıştır. İyon yüklü numuneler, dönen eğmeli yorulma deneyine tabi tutulmuş ve elde edilen bulgular yorumlanmıştır. Çıkarılan en önemli sonuç, işlem süresi arttıkça yüzey sertliğinin buna bağlı olarak yaklaşık %6 oranında arttırdığı gözlemlenmiştir. Yapılan bu tez çalışmasında ise 2 saatlik süre zarfından sonra sertlik değerinde azalma meydana geldiği tespit edilmiştir.

Tez çalışmasında yukarıda bahsedilen çalışmalardan farklı olarak, AISI 4140 çeliğinin yüzeyine nitrürleme işleminin uygulanması, sertliğinin artması ve korozyon davranışının incelenmesi amaçlanmıştır.

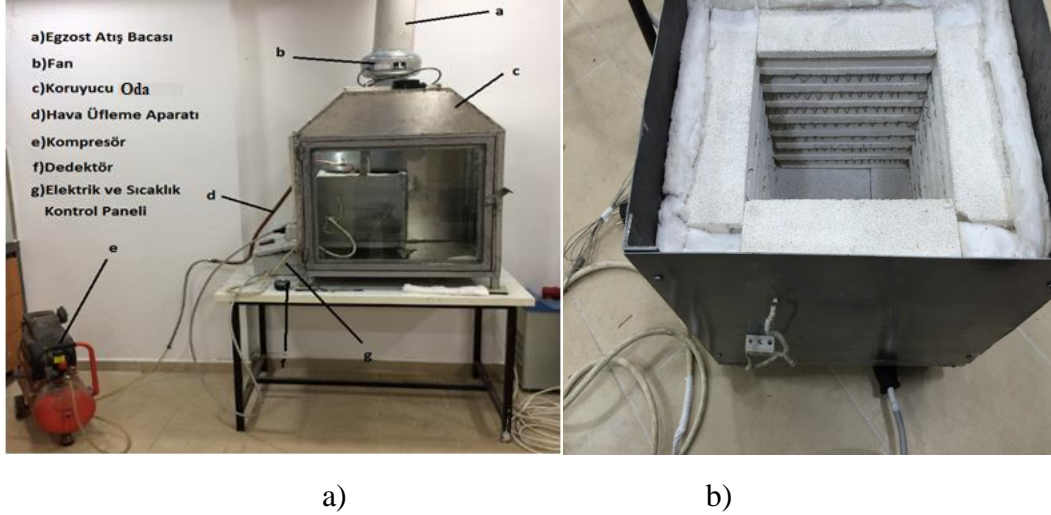
## 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 2.1. Giriş

Bu çalışmada AISI 4140 çelik numuneler 580 °C sıcaklıkta sırasıyla 1, 2 ve 3 saat süreyle nitrüleme işlemine maruz bırakılmıştır. Numunelerin korozyon direncini arttırmak için nitrüleme işleminden sonra paslanmaz çelik bazlı bir pota içerisinde 380-400 °C sıcaklık aralığında 20 dakika boyunca oksidasyon işlemi uygulanmıştır. Bu işlem bittikten sonra numuneler su ile yıkanmıştır.

Nitrüleme işlemi sonrasında meydana gelen kaplama tabakasının mikroyapı özellikleri ZEISS marka LS 10 model taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir. Numunelerin metalografik işlemlerinden sonra SEM analizleri yapılarak, nitrasyon yapılmış ve yapılmamış yüzeylerin incelenmiş, kaplama tabakasının kalınlığı belirlenmiş ve ortaya çıkan yeni fazlar detaylı bir şekilde tespit edilmiştir. VICKERS INNOVA mikrosertlik test cihazı kullanılarak hazırlanan numunede farklı noktalardan sertlik değerleri alınıp ortalaması belirlenmiştir. Nitrüleme işlemi sonucunda ortaya çıkan fazların tespiti için PANALYTICAL'S X-PERT<sup>3</sup> PRO marka X ışınları difraktometre (XRD) cihazı kullanılmıştır. Korozyon davranışlarının belirlenmesi için ise potansiyodinamik polarizasyon testleri uygulanmıştır.

Deney aşamasına geçilmeden önce meydana gelebilecek herhangi bir olumsuzluğu ortadan kaldırmak için Şekil 2.1' de gösterilen düzenek kurulmuş ve nitrüleme kabini içerisinde ekzos sistemi, sızma olmayacak şekilde dizayn edilmiştir. Ayrıca deneylerin tüm aşamalarında maske ve siyanür dedektörü kullanılmıştır. Nitrüleme işlemi için kullanılan düzenek Şekil 2.1' de gösterilmiştir.



Şekil 2. 1. a) Kaplama işleminde kullanılan düzenek, b) Ergimenin gerçekleştiği fırın

## 2.2.Çözelti Tuzları

Nitrüleme işlemi sırasında gerekli olan banyonun hazırlanması için 4 değişik tuz kullanılmıştır. Sırasıyla; NT-Reg, NT-1, NaCN ve NT-Oksi tuzudur. Bu tuzlardan NT-Reg, NT-1 ve NaCN tuzları kaplama çözeltisinde kullanılırken NT-Oksi tuzu ise oksidasyon işlemi için gerekli olan çözeltinin hazırlanmasında kullanılmıştır. Tuzlar, Orion Isı Teknoloji Sanayi ve Tic. Ltd. şirketinden tedarik edilmiştir. Tablo 2.1 ve Tablo 2.2’ de bu tuzlara ait özellikler verilmiştir.

Tablo 2.1. Oksidasyon ve kaplama çözeltisi hazırlanırken kullanılan tuzların özellikleri

		İçindekiler	CAS Numarası	EINEC Numarası	Ağırlık % (gr)
<b>Kullanılan Tuz</b>	NT-Reg	Melon	68649-66-1	272-034-6	≥ 95
	NT-1	Potasyumsiyanat	590-28-3	209-676-3	≥ 25
		Potasyumkarbonat	584-08-7	209-529-3	< 20
		Sodyumkarbonat	497-19-8	207-838-8	≥ 20
	NT- Oksi	Potasyumhidroksit	1310-58-3	215-181-3	> 25
		Sodyumhidroksit	1310-73-2	215-185-5	> 5
	NaCN	Sodyumsiyanür	143-33-9	-	-

Tablo 2.2. Tuzların fiziksel özellikleri

Kullanılan Tuz	Fiziksel Durum	Renk	pH	Erime Noktası (°C)	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Çözünürlük (g/L)
NT-Reg	Katı	Sarı	7,5	580	1.71	-
NT-1	Katı, Toz	Beyaz	11,00	500	1.7	315
NT-Oksi	Katı, Toz	Beyaz	14,00	200	1.8	100
NaCN	Katı, Toz	Beyaz	-	564	1,6	1097

### 2.3. Çözeltinin Oluşturulması

Nitrüleme işleminde öncelikli olarak tuz banyosu hazırlanmıştır. Tuz banyosu kabı için paslanmaz çelik malzemeden yapılmış Şekil 2.2-a' da gösterilen pota kullanılmıştır. Bu tarz da bir pota kullanılmasının sebebi potanın korozyona dayanıklı olması ve pul pul olup tuz banyosuna dökülmesini engellemektir. Potanın kimyasal bileşimi Tablo 2.3' de gösterilmiştir. Fırın 300 °C ön ısıtmaya tâbi tutulmuştur. 768 g NT-1 tuzunun öncelikle %50 si ve NAC tuzunun %100' ü mevcut potaya konulmuştur. Pota daha sonra fırın içerisine konularak ısıtma işlemi gerçekleştirilmiştir. 580°C'ye ulaşıldığı zaman potada ki tuzların tamamı eriyene kadar bu sıcaklıkta bekletilmiştir. Ergime işlemi gerçekleşikten sonra NT-1 tuzunun geriye kalan %50' si potaya ilave edilmiştir. Tuz banyosunun hazır hale gelmesiyle birlikte, çözelti içerisinde bulunan malzemelerin daha iyi bir etkileşime sahip olması için yaklaşık 20-25 dakika boyunca kompresör vasıtasıyla hava üflenmiştir. Kullanılacak NT-Reg tuzunun miktarının belirlenmesi için 10 mm kalınlığında paslanmaz çelik çubuk yardımıyla numune alınmıştır.

Analiz için Gök-Tem Kimya ve Metalurji Tic.Ltd.Şti. (İstanbul) firmasına gönderilen numune sonuçlarına bakarak istenilen çözelti kompozisyonunu sağlamak amacıyla 100 gr NT-Reg tuzu kullanılmıştır. Pota içerisinde ki tuzlar eridikten sonra tuz banyosu hazır hale gelmiştir.

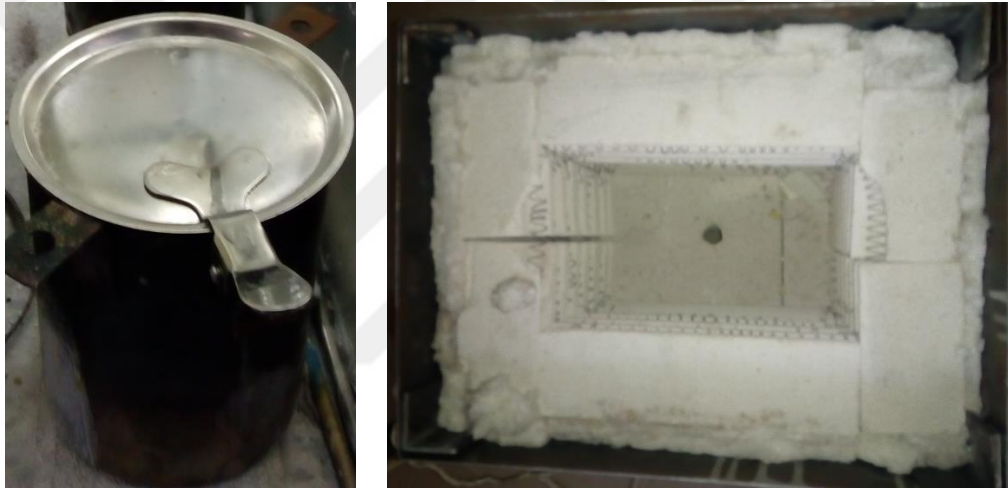
Daha sonraki işlemde kullanılmak üzere ayrı bir potada oksidasyon banyosu hazırlanmıştır. Bunun için NT-Oksi tuzu potanın yarısını dolduracak şekilde potaya ilave edilmiştir. Fırın sıcaklığı 400 °C' ye ayarlanmıştır. Erime işlemi gerçekleşikten sonra oksidasyon tuz banyosu hazır hale gelmiştir. Yukarı da anlatılan işlemlerin hesapları ve tuz banyosunda kullanılan kimyasalların miktarları aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$Hacim = \pi r^2 x h \quad (2.1)$$

Hacim değeri, tedarik edilen firma tarafından önerilen 1,7' lik sabit katsayıyla çarpılmıştır. İstenilen kimyasal kompozisyonu elde etmek için çıkan değerin %85'i alınmıştır. Alınan bu değer kullandığımız NT-1 tuz miktarıdır (gr). Daha sonra NT-1 tuzunun %10' u alınmıştır, bu miktar NaCN tuzunun miktarını (gr) vermiştir.

Tablo 2.3. Paslanmaz çelik potanın kimyasal bileşimi [50].

Kimyasal Bileşimi							
Kalite	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni
1,4016	0,08 max	1,0	0,045 max	0,03 max	1,0 max	16,0-18,0	0,75 max



Şekil 2. 2. a) Tuz banyosunun üretildiği pota, b) Oksidasyon fırını

#### 2.4. Nitrürleme ve Oksidasyon İşleminin Yapılması

AISI 4140 çeliğinden oluşan numuneler talaşlı imalat tezgâhlarında korozyon deneyinde kullanılmak üzere 7,5x15 cm boyutlarında (Şekil 2.3-a), işlendikten sonra tuz banyosuna daldırılmak için 6 mm' lik matkap ucu ile delinmiştir ve 3 ayrı grup halinde nitrürleme işlemine tâbi tutulmuştur. Bu gruplar aşağıda sıralanmıştır:

- 1 saat süreyle nitrürleme
- 2 saat süreyle nitrürleme
- 3 saat süreyle nitrürleme

Hazırlanan numuneler bir bakır tel yardımıyla pota içerisinde ki kaplama banyosuna daldırılmıştır ve 1, 2 ve 3 saat süreyle banyo içerisinde bekletilmiştir. Daha sonra numuneler ayrı bir pota içerisinde hazır bulunan oksidasyon banyosuna daldırılmıştır ve burada 20 dakika bekletilmiştir. Son işlem olarak numuneler su ile temizlenmişlerdir (Şekil 2.3-b).

**a)****b)**

Şekil 2. 3. **a)** İşlenmemiş numune, **b)** 2 saatlik nitrürlenme işlemi sonrası elde edilen numune

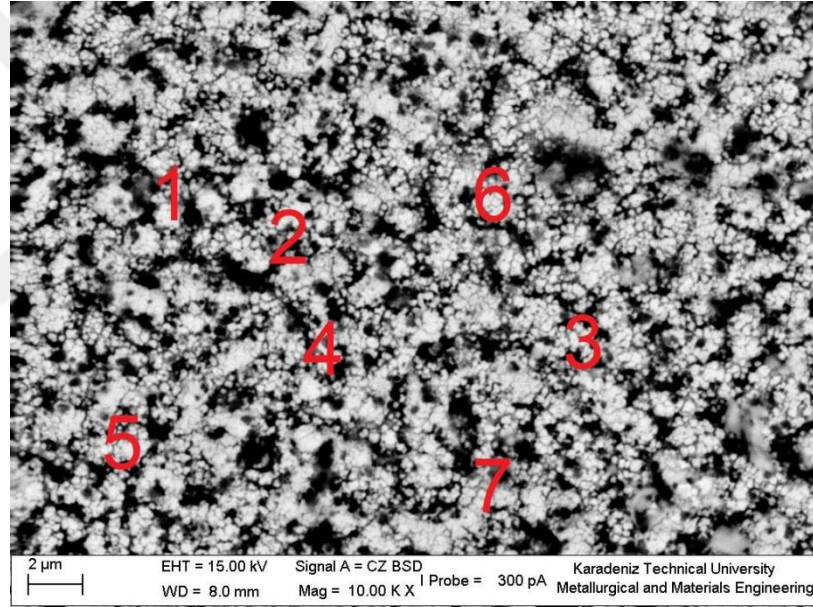
## 2.5. Mikrosertlik Ölçümü

Yüzeyi nitrürlenmiş ve nitrürlenmemiş olan numunelere parlatma işlemi uygulanıp sertlik değerleri Vickers mikrosertlikleri Innova mikrosertlik test cihazında ölçülmüştür (Şekil 2.4). Numuneye 50 gramlık bir yük ve 10 saniye bekleme süresi uygulanmıştır. 7 farklı noktadan alınan sertlik değerlerinin ortalamaları alınmıştır. Numunelerden alınan sertlik ölçüm noktaları Şekil 2.5' te gösterilmiştir.





Şekil 2. 4. Mikrosertlik ölçüm cihazı.



Şekil 2. 5. Sertlik ölçüm noktaları

## 2.6. SEM ve XRD Ölçümleri

Nitrüleme işlemi uygulanmış ve uygulanmamış numunelerin içyapılarının incelenmesi için ZEISS marka LS 10 model taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır (Şekil 2.6). Metalografik işlemlerden sonra nitrülenmiş ve nitrülenmemiş numunelerin yüzey morfolojisinin incelenmesinde, oluşan difüzyon tabakasının

kalınlığının belirlenmesinde ve ortaya çıkan yeni fazların belirlenmesinde detaylı bir şekilde SEM incelemeleri yapılmıştır.



Şekil 2. 6. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

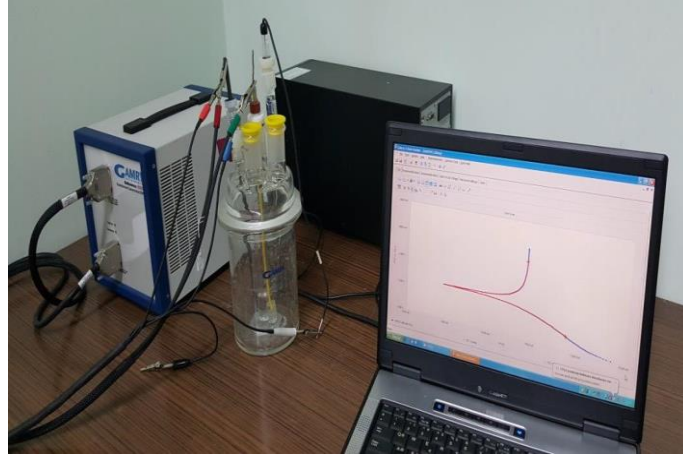
Nitrülenmiş ve nitrülenmemiş parçaların sahip olduğu fazları tespit etmek amacıyla PANALYTICAL'S X-PERT<sup>3</sup> PRO marka X ışınları difraktometre (XRD) cihazı kullanılmıştır (Şekil 2.7). Cihazın işlem parametreleri; 40kV ve 30mA ve Cu-K $\alpha$  (1,54059 Å) radyasyonudur. X ışınları göndererek yapılan çekimler  $2\theta = 20-80^\circ$  arasında yapılmıştır.



Şekil 2. 7. X Işınları Kırınım (XRD) cihazı.

## 2.7. Korozyon Testi

Nitrürlenmiş ve nitrülenmemiş AISI 4140 numunelerin korozyon dayanımının belirlenmesi için potansiyodinamik polarizasyon testleri Şekil 2.8'de gösterilen GAMRY marka korozyon test cihazı kullanılarak uygulanmıştır. Elektrolit çözeltisi olarak 3 farklı pH değeri (2, 7, 12) kullanılmıştır. Çözeltinin asidik olması için %3,5 NaCl çözeltisine sülfirik asit ilave edilmiştir, nötr çözelti için NaCl çözeltisi kullanılmıştır ve bazik çözelti elde etmek için NaCl çözeltisine amonyak ilave edilmiştir. Korozyon öncesi numuneler bakalite alınmıştır. Testler öncesinde potansiyodinamik polarizasyon, referans elektrotu ve işlem elektrotu arasında 45 dk süresince açık devre potansiyel ölçümleri yapılmıştır ve test aşaması başlamıştır. -500 mV katodik potansiyel ile potansiyodinamik polarizasyon ölçümleri başlamıştır, +500 mV anodik potansiyele kadar da devam edilmiştir. Ölçümler 1 mV/s tarama hızı ile yapılmıştır. Çalışmada referans elektrotu olarak kalomel, karşıt elektrot olarak da karbon elektrot kullanılmıştır. Elektrolit korozyon davranışı akım yoğunluğuna ve korozyon potansiyeli göre değerlendirilmiştir.



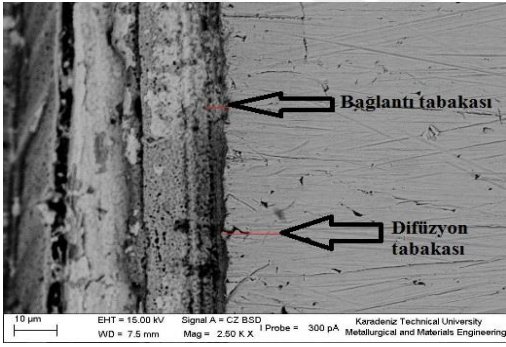
Şekil 2. 8. Korozyon test cihazı

### 3.BULGULAR

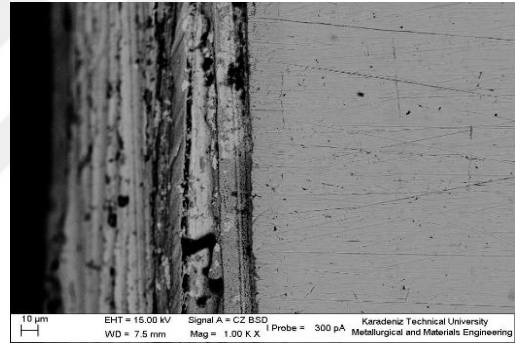
#### 3.1.SEM Analizleri

Kaplama karakterizasyonunda en etkili yöntem genellikle mikroskop görüntülerinden elde edilir. Farklı zamanlarda (1, 2 ve 3 saat) nitrüleme sonucu, numunede meydana gelen bağlantı tabakası ve hemen onun altında bulunan difüzyon tabakasının taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri farklı büyütmelerde Şekil 3.1, 3.2 ve 3.3' de verilmiştir.

Bağlantı tabakasının altındaki difüzyon tabakası, nitrüleme işleminden sonra yapılan metalografik incelemelerde az dağlanabilme özelliğinden dolayı kolaylıkla ayırt edilebilir. Burada en iyi görüntünün 2 saatlik kaplama sonucu elde edildiği görülmektedir.

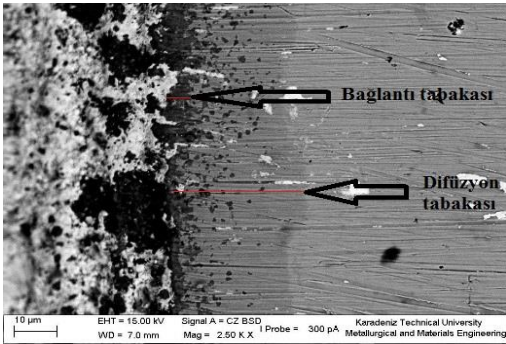


a)

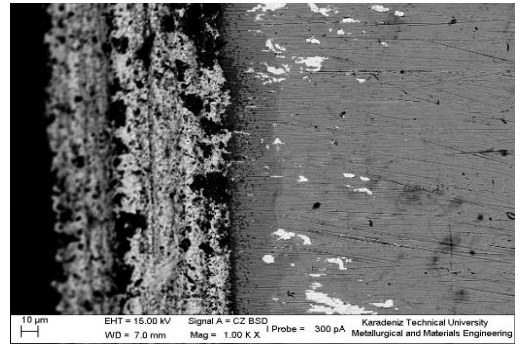


b)

Şekil 3.1. 1 saatlik nitrüleme işlemi sonucu meydana gelen bağlantı tabakasının ve difüzyon tabakasının SEM görüntüsü a) Büyük büyütme (2.50KX) b) küçük büyütme (1.00KX)



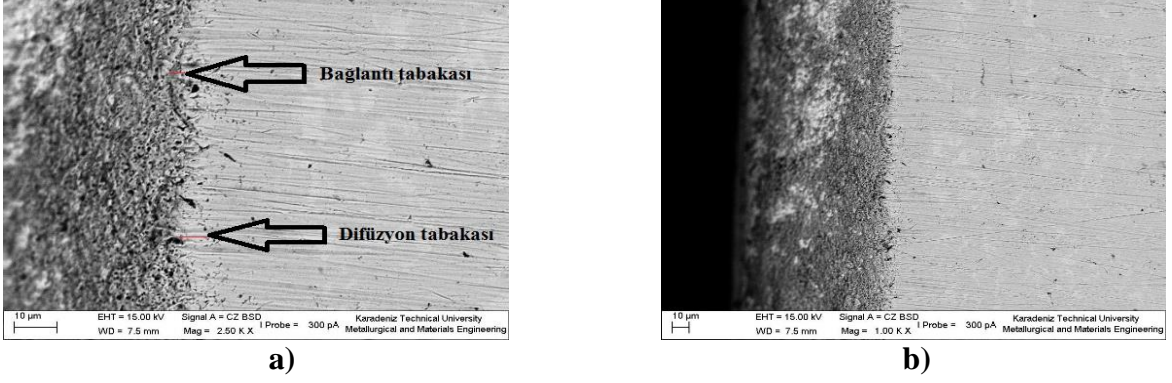
a)



b)

Şekil 3.2. 2 saatlik nitrüleme işlemi sonucu meydana gelen bağlantı tabakasının ve difüzyon tabakasının SEM görüntüsü a) Büyük büyütme (2.50KX) b) küçük büyütme (1.00KX)

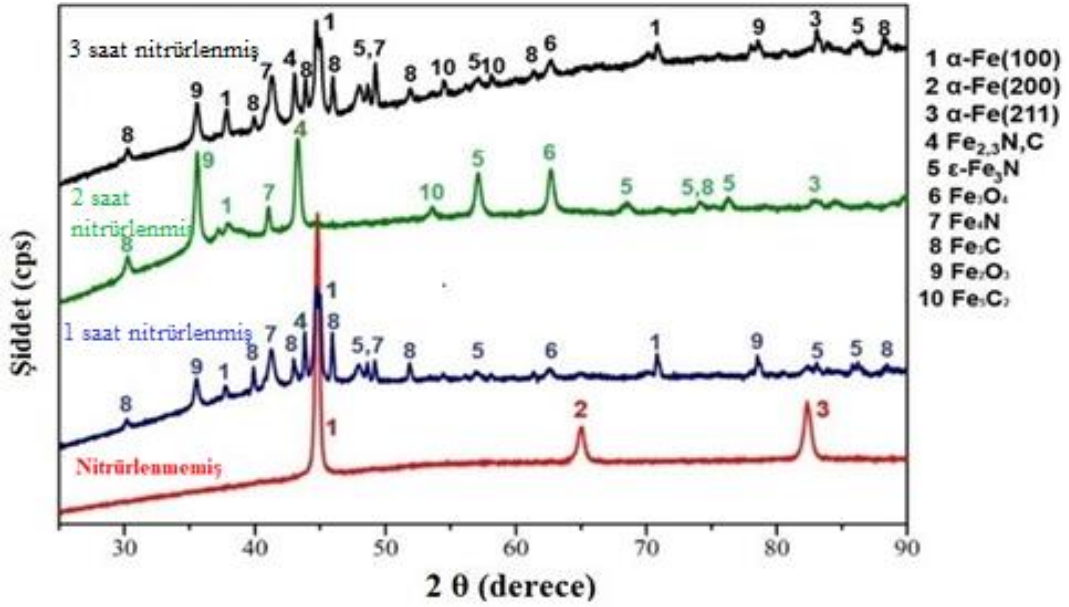




Şekil 3.3. 3 saatlik nitrüleme işlemi sonucu meydana gelen bağlantı tabakasının ve difüzyon tabakasının SEM görüntüsü **a)** Büyük büyütme (2.50KX) **b)** küçük büyütme (1.00KX)

### 3.2. XRD Analizleri

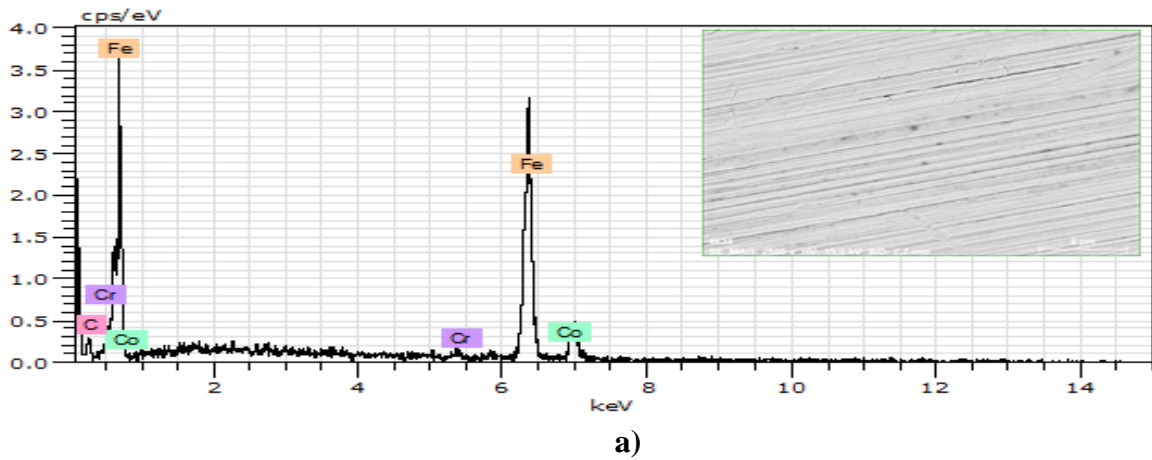
Nitrülenmiş ve nitrülenmemiş numunelere ait XRD spektrumunda tespit edilen fazlar;  $\alpha$ -Fe,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\epsilon$ - $\text{Fe}_3\text{N}$ ,  $\text{Fe}_{2,3}\text{N,C}$ ,  $\text{Fe}_5\text{C}$ ,  $\text{Fe}_3\text{C}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_4\text{N}$  (Şekil 3.4). Nitrülenmemiş numune karakterizasyonunda  $\alpha$ -Fe (100),(200) ve (211) XRD spektrumlarına rastlanılmıştır. 1 saat boyunca nitrüleme işlemine tabii tutulan numunelerin XRD incelemesinde ise  $\alpha$ -Fe(100),  $\text{Fe}_3\text{C}$  ve  $\text{Fe}_{2,3}\text{N,C}$  fazları elde edilmiştir. 2 saatlik nitrüleme işlemi sonucu elde edilen numunelerin analizi sonucu  $\text{Fe}_2\text{O}$ ,  $\text{Fe}_{2,3}\text{N,C}$  ve  $\epsilon$ - $\text{Fe}_3\text{N}$  fazlarına ait bulgular elde edilmiştir. 3 saatlik nitrüleme işlemi sonucunda ise çözültiden yayınan azot ve karbon atomlarının nitrür ve karbür oluşturduğu  $\alpha$   $\text{Fe}_4\text{N}$  ve  $\text{Fe}_3\text{C}$  fazlarına ait XRD piklerine rastlanılmıştır.



Şekil 3. 4. Farklı zamanlarla nitrülenmiş ve nitrülenmemiş AISI 4140 çeliklerinin XRD spektrumu

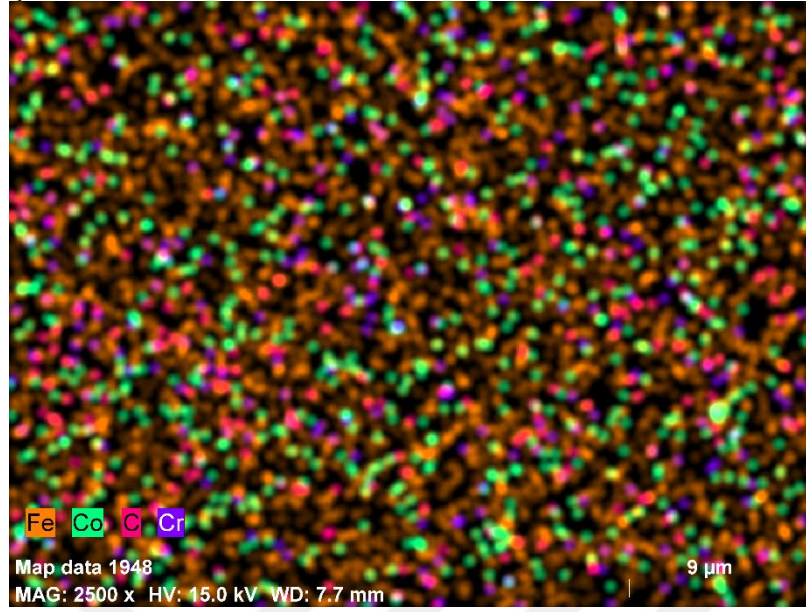
### 3.3. EDS Analizleri

Nitrüleme esnasında iş parçasına difüze olan fazlar hakkında bilgi alabilmek için nitrülenmiş ve nitrülenmemiş numunelere EDS çizgisel analizi yapılmıştır. Elde edilen bulgular Şekil 3.5, 3.6, 3.7 ve 3.8’ de gösterilmiştir. XRD sonuçlarını doğrulamak amacıyla SEM-EDS çizgisel analiz sonuçları kullanılabilir.

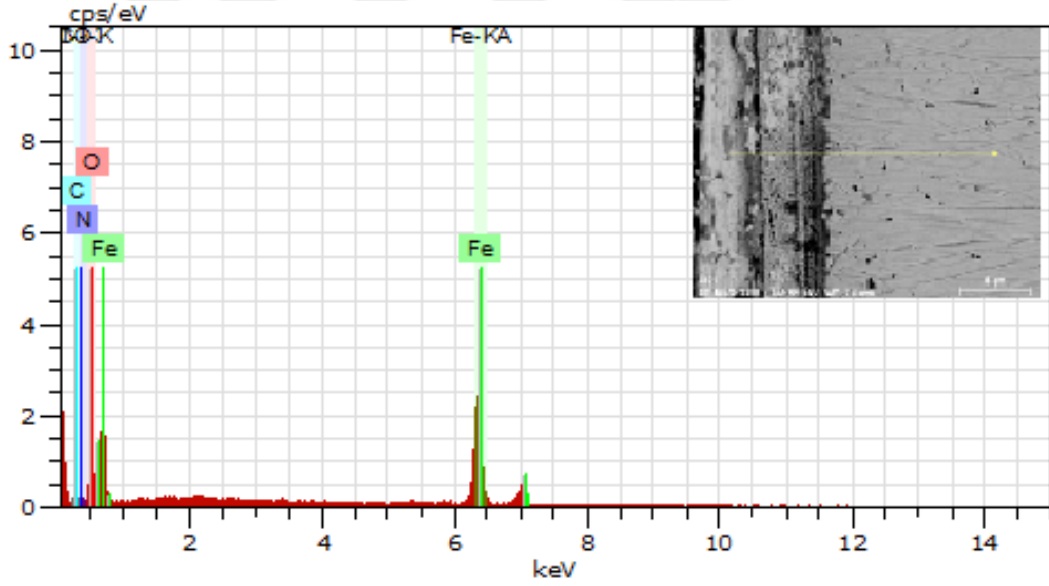


Şekil 3. 5. Nitrülenmemiş numunenin çizgisel analizi **a)** faz görüntüsü ve noktasal analizi, **b)** Fe, Co, C ve Cr atomlarının dağılımını gösteren harita

Şekil 3.5' in devamı



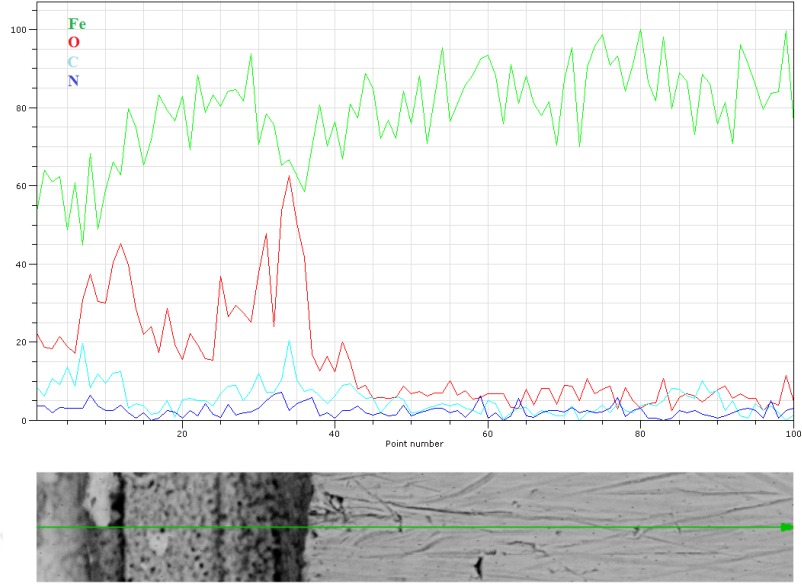
b)



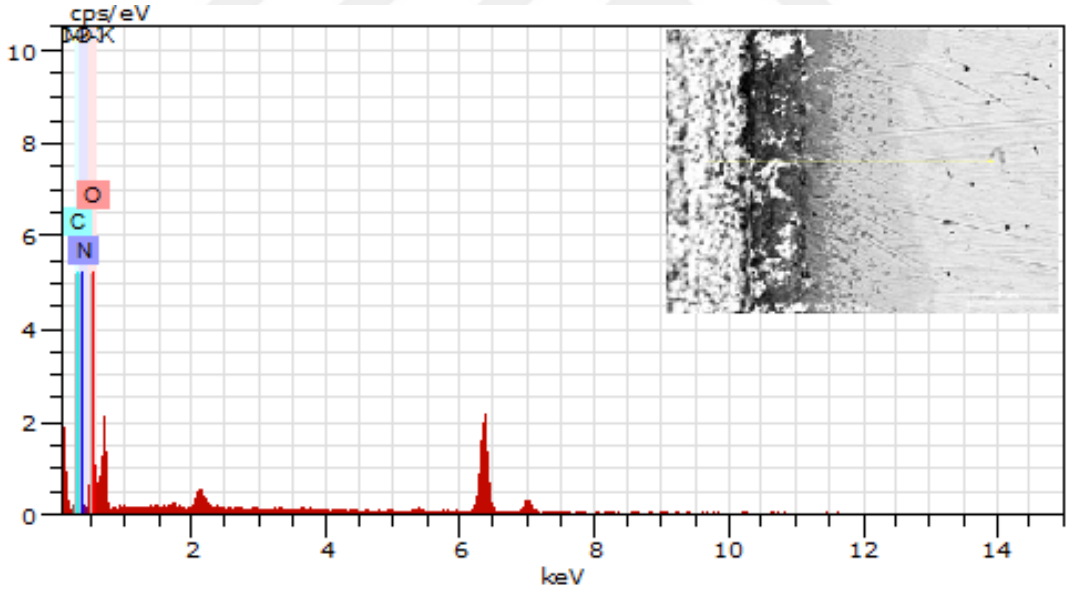
a)

Şekil 3.6. 1 saatlik nitasyon neticesinde meydana gelen çizgisel analiz **a)** faz görüntüsü ve noktasal analizi, **b)** yeşil çizgi boyunca Fe, O, C ve N atomlarının dağılımını gösteren çizgi analizi

Şekil 3.6' nın devamı



b)

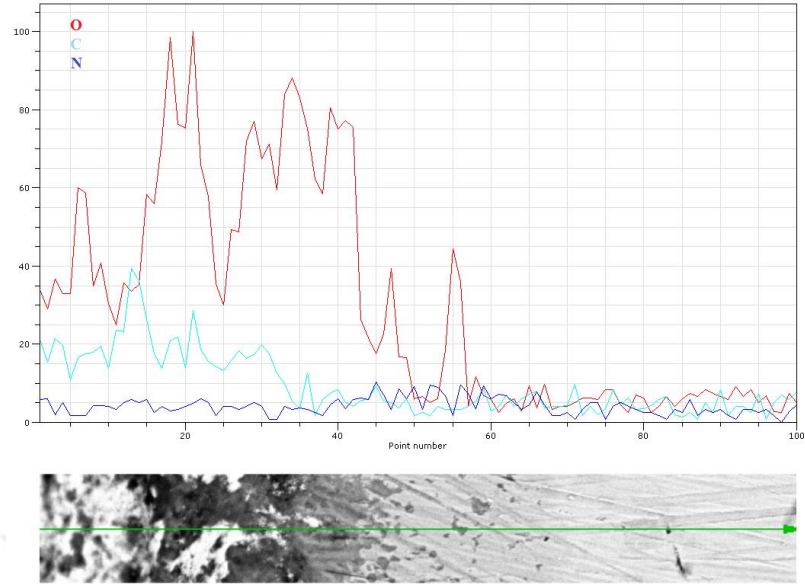


a)

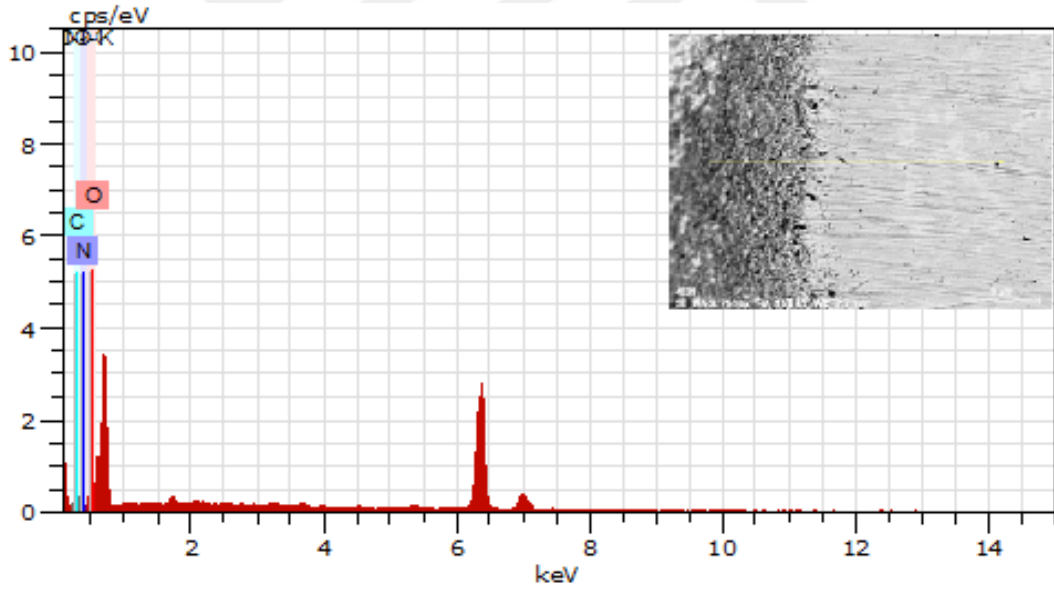
Şekil 3. 7. 2 saatlik nitrasyon neticesinde meydana gelen çizgisel analiz **a)** faz görüntüsü ve noktasal analizi, **b)** yeşil çizgi boyunca O, C ve N atomlarının dağılımını gösteren çizgi analizi



Şekil 3.7' nin devamı



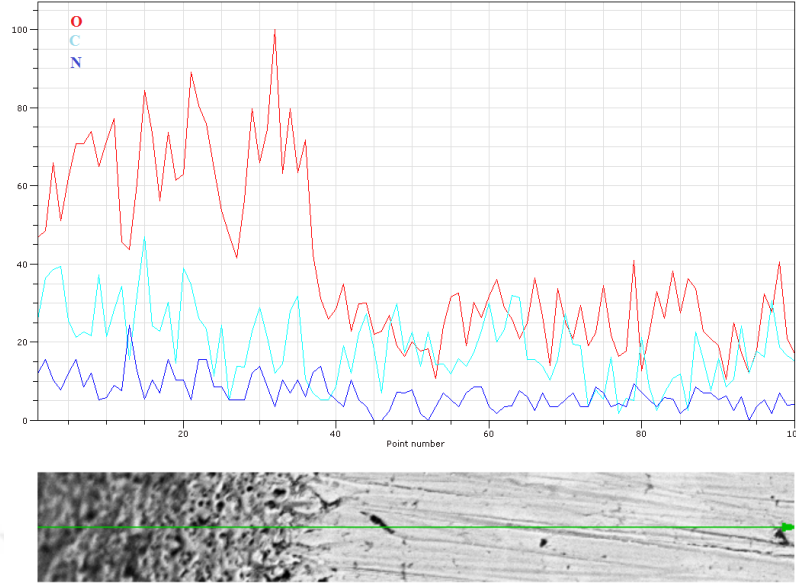
b)



a)

Şekil 3.8. 3 saatlik nitrasyon neticesinde meydana gelen çizgisel analiz **a)** faz görüntüsü ve noktasal analizi, **b)** yeşil çizgi boyunca O, C ve N atomlarının dağılımını gösteren çizgi analizi

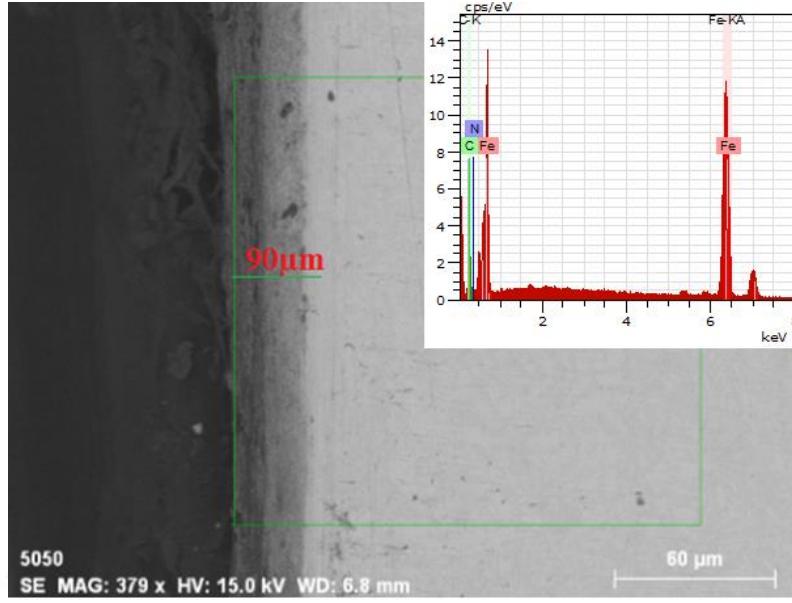
Şekil 3.8' in devamı



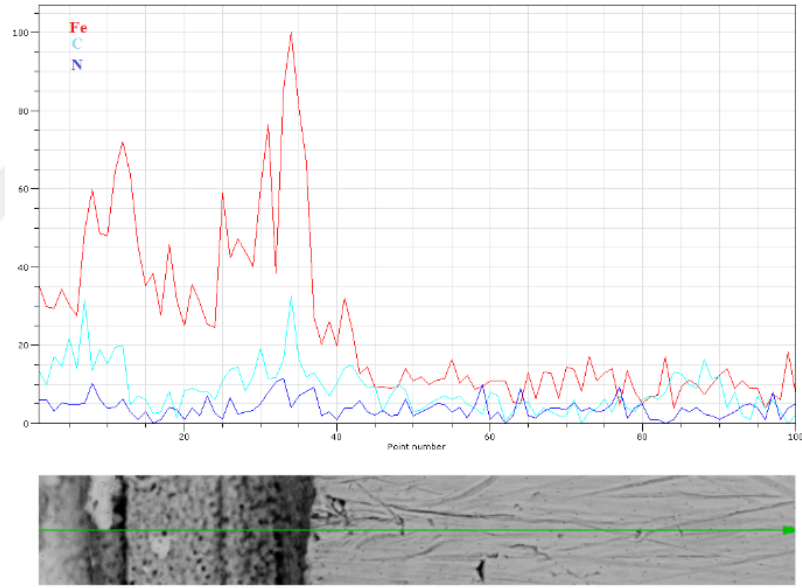
b)

### 3.4. Kalınlık Analizleri

Nitrürleme işlemi neticesinde iki farklı tabaka meydana gelmektedir. Bunlardan biri demir, azot, karbon ve azda olsa oksijen bileşimlerinden meydana gelen dış yüzeydeki bağlantı tabakası (beyaz tabaka), diğer bir tabaka ise bağlantı tabakasının altında bulunan difüzyon tabakasıdır. Bağlantı tabakası mekanik özellikleri bakımından ana malzemedan bağımsızdır. Difüzyon tabakasının kalınlığı ve sertliği kullanılan çeliğin cinsine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Difüzyon tabakasının derinliği, örneğin nitrürleme süresinin sabit, çeliğin yapısındaki alaşım elementleri oranı yüksek olduğunda tabaka derinliği azalır, buna bağlı olarak tabaka sertliği yükselir. Elde edilen kaplama kalınlıklarıyla ilgili bulgular Şekil 3.9, 3.10 ve 3.11' de gösterilmiştir.

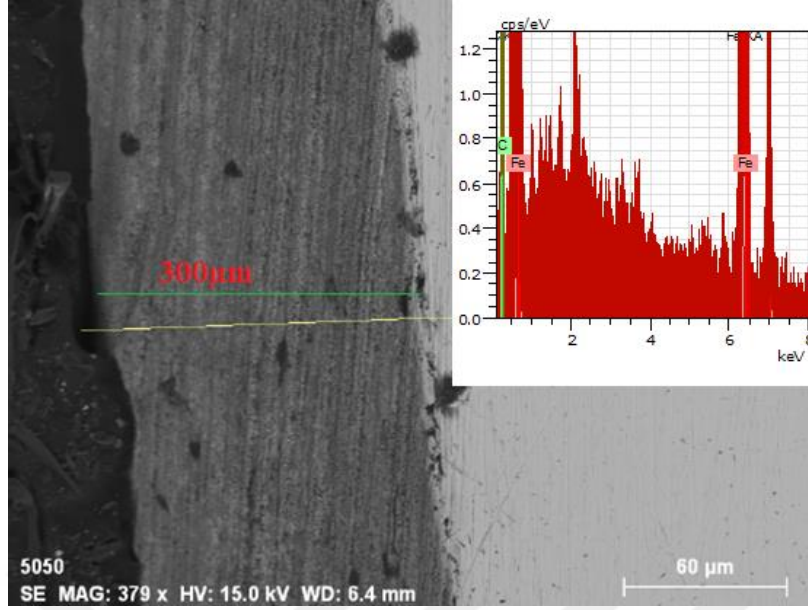


a)

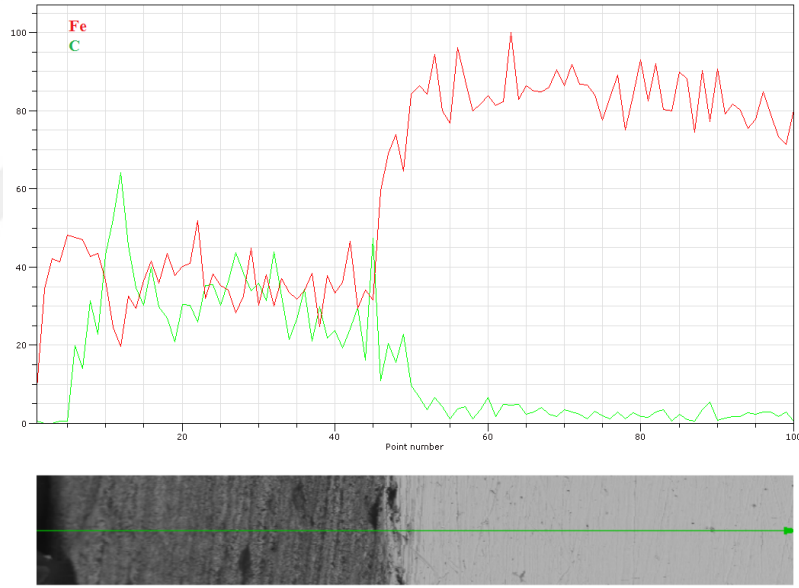


b)

Şekil 3. 9. SEM cihazıyla yapılan 1 saatlik kaplama kalınlığının analizi a) faz gösterimi ve noktasal analizi, b) Kaplama tabakasında ki C, Fe ve N atomlarının miktarını gösteren çizgi analizi

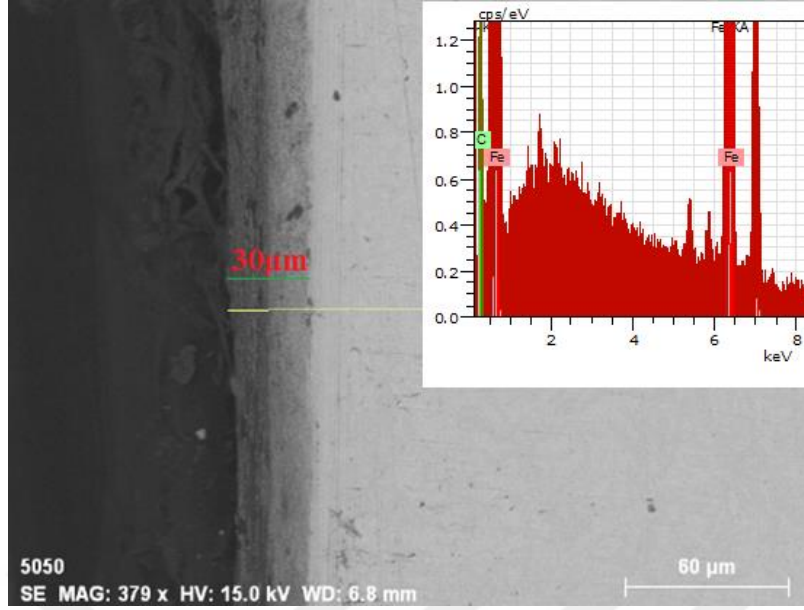


a)

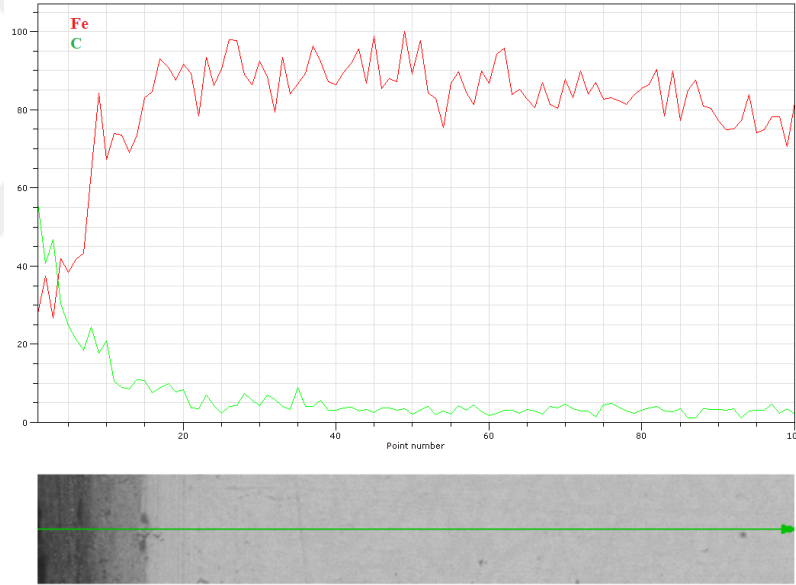


b)

Şekil 3.10. SEM cihazıyla yapılan 2 saatlik kaplama kalınlığının analizi  
 a) faz görüntüsü ve noktasal analizi, b) Kaplama tabakasında  
 ki C ve Fe atomlarının miktarını gösteren çizgi analizi



a)

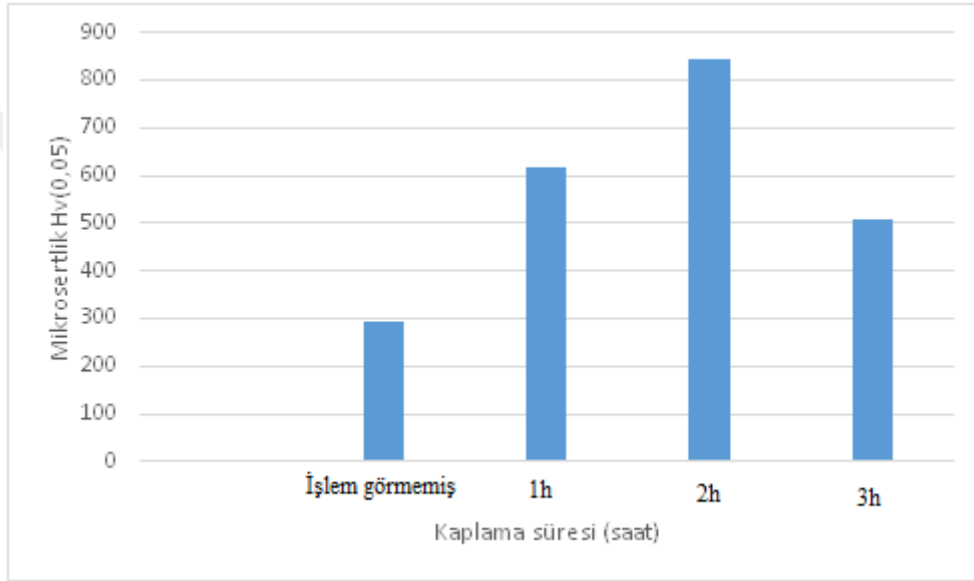


b)

Şekil 3.11. SEM cihazıyla yapılan 3 saatlik kaplama kalınlığının analizi  
 a) faz görüntüsü ve noktasal analizi, b) Kaplama tabakasında ki C ve Fe atomlarının miktarını gösteren çizgi analizi

### 3.5. Mikrosertlik Bulguları

Şekil 3.12' de deney sonucu elde edilen numunelerin mikrosertlik bulguları gösterilmiştir. Nitrürleme işlemi sırasında numunelerin sertlik değerleri 2 saat boyunca artış gösterirken daha uzun sürelerde sertlik değerlerinde azalma meydana geldiği aşağıdaki şekilde açıkça görülmüştür. Sertlik değerlerinde ki bu düşüş, nitrürleme süresinin artmasıyla iş parçasının yüzey pürüzlülüğünün artmasına bağlanmaktadır.



Şekil 3.12. Kaplama süresinin sertliğe olan etkisinin çubuk gösterimi

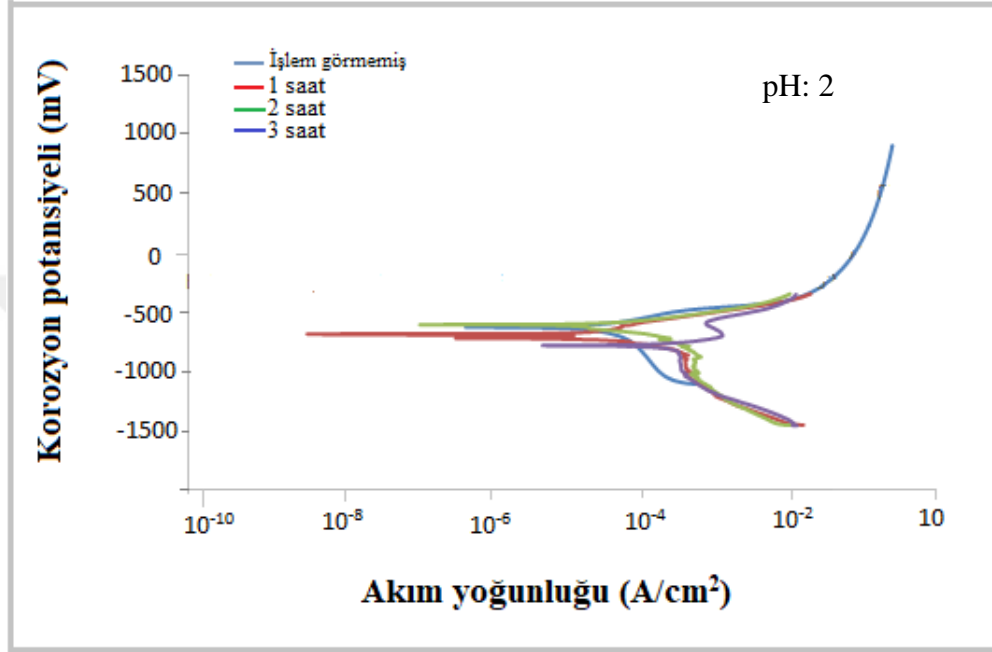
### 3.6. Korozyon Ölçümleri

AISI 4140 çelik numunelerinin korozyon davranışlarını etkileyen en önemli parametreler şöyle sıralanabilir:

- Kullanılan termokimyasal yöntem
- Nitrasyon süresi
- AISI 4140 çeliğinin yüzey morfolojisi

AISI 4140 çeliği üzerine nitrürlemenin korozyon davranışına etkisini belirlemek için pH= 2, 7 ve 12 değerinde yapılan potansiyodinamik polarizasyon testi sonucu elde edilen sonuçlar Şekil 3.13' te gösterilmiştir.

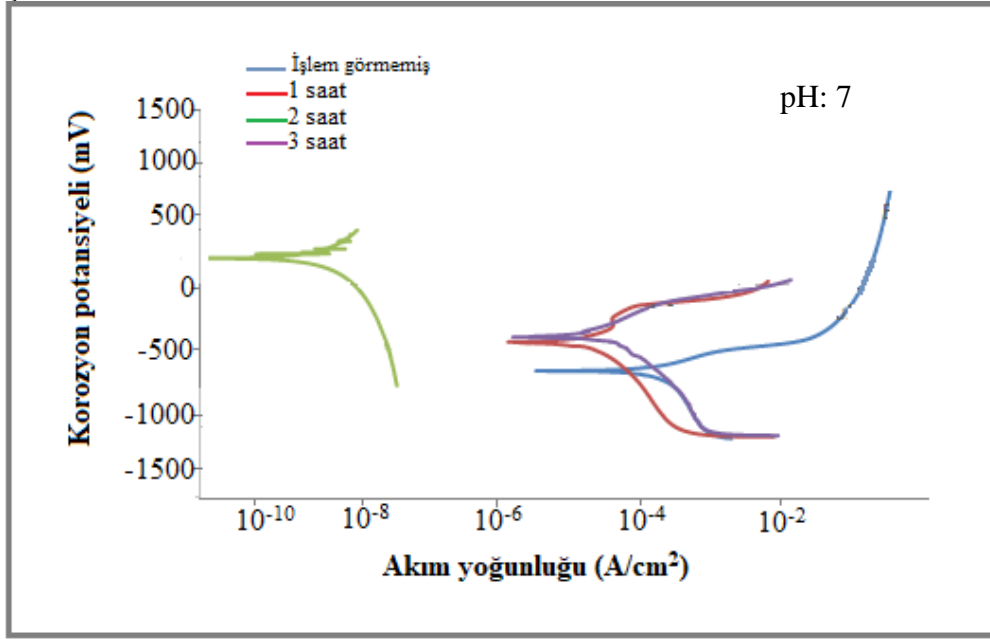
pH 2 ve pH 7 çözeltilerinde işlem görmemiş numunenin korozyon potansiyeli negatif değerlerdeyken nitrüleme işlemi sonucunda korozyon potansiyel değerlerinin pozitif değerlere doğru çıktığı görülmektedir. pH 12 için ise işlem görmemiş numune en iyi sonuçları vermektedir.



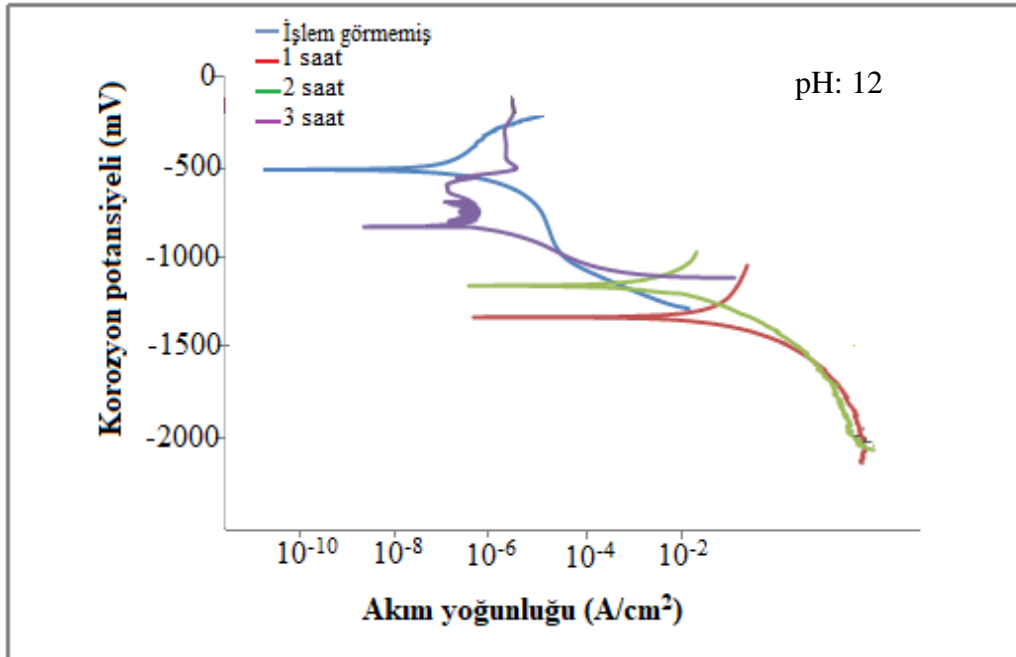
a)

Şekil 3.13. AISI 4140 çelik numunelerin a) pH-2, b) pH-7, c) pH-12 değerlerinde ki potansiyodinamik polarizasyon eğrileri

Şekil 3.13' ün devamı



b)

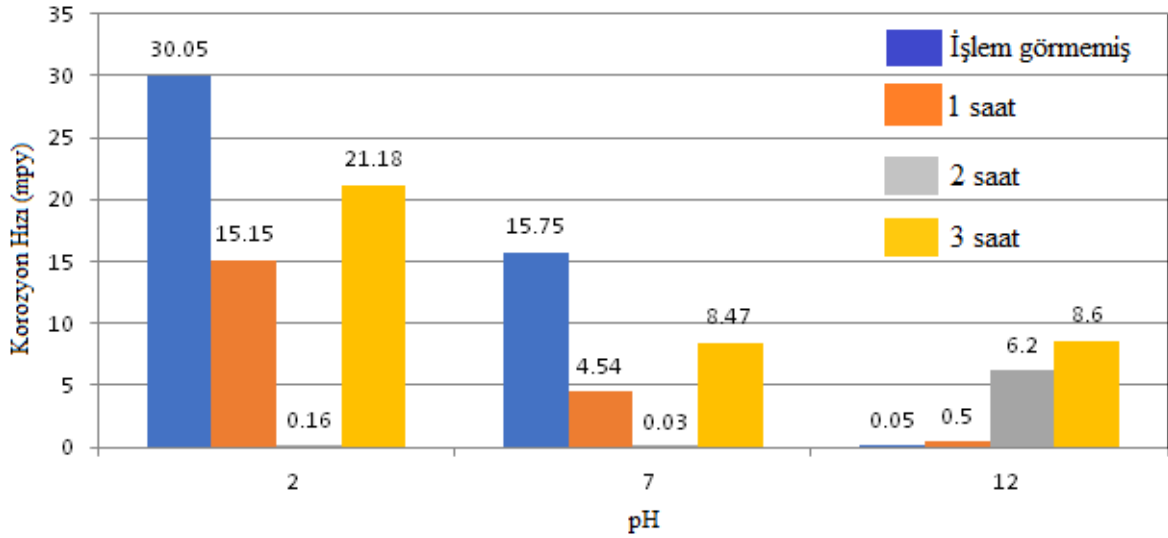


c)

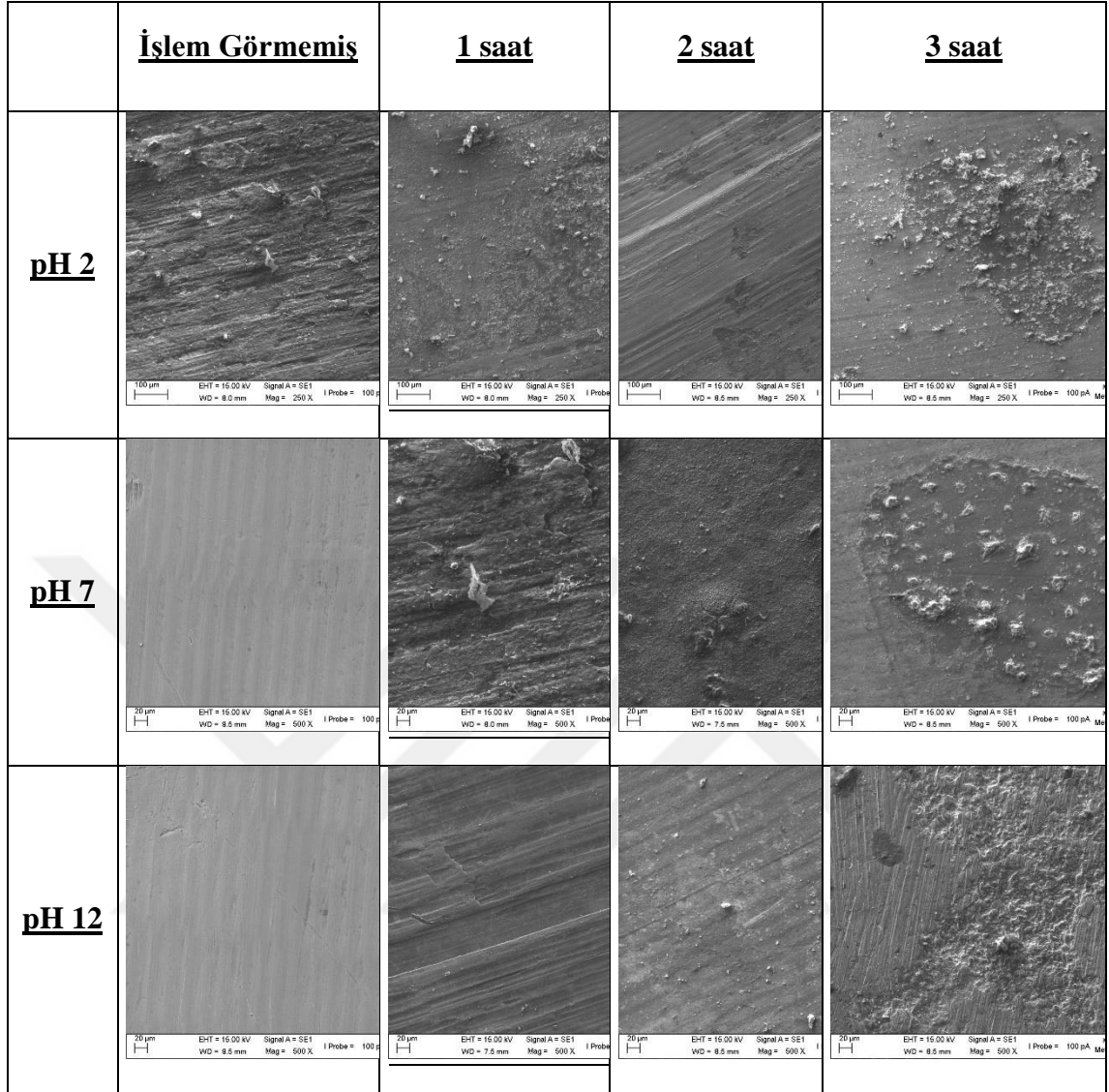


Tablo 3.1. İşlem görmemiş ve nitrürlenmiş numunelerin korozyon parametreleri

pH	Numune	Ekor (mv)	Ikor ( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ )	Korozyon Hızı (mpy)
2	İşlem görmemiş	-980.0	50.80	30.05
	1 saat	-570.0	36.20	15.15
	2 saat	-775.0	10.20	0.16
	3 saat	-610.0	45.40	21.18
7	İşlem görmemiş	-620.0	48.90	15.75
	1 saat	-409.0	43.20	4.54
	2 saat	-185.0	0.11	0.03
	3 saat	-370.0	39.10	8.47
12	İşlem görmemiş	-505.0	0.20	0.05
	1 saat	-970.0	32.50	0.5
	2 saat	-1170.0	15.80	6.2
	3 saat	-1480.0	44.20	8.6



Şekil 3.14. İşlem görmemiş ve nitrürlenmiş numunelerin farklı pH değerlerinde ki korozyon hızlarını gösteren grafik



Şekil 3.15. İşlem görmemiş ve nitrürlenmiş AISI 4140 çeliklerin yüzeylerinin potansiyodinamik polarizasyon testi sonucu taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri

## 4.İRDELEME

### 4.1. Nitrürlemenin AISI 4140 Çelik Morfolojisine Etkisi

Deneysel çalışmalarda kullanılan AISI 4140 çeliğinin morfolojik özelliklerini incelemek için SEM görüntülerinden yararlanılmıştır ve korozyon direncini gözlemlemek için korozyon testi düzeneğinden ve SEM görüntülerinden yararlanılmıştır. AISI 4140 çeliğinden elde edilen numunelere farklı sürelerde nitrürleme işlemi uygulanmıştır. Nitrürleme süresi boyunca azot ve karbon atomlarının AISI 4140 çeliğine difüze etmesiyle oluşan bağlantı tabakası ve difüzyon tabakasının görüntüleri Şekil 3.1, 3.2 ve 3.3' de sunulmuştur. Nitrürlenmiş ve işlem görmemiş numunelerin XRD sonuçları Şekil 3.4'te görülmüştür. Buradan yola çıkarak, işlem görmemiş numunenin yüzeyinde  $\alpha$ -Fe(100),  $\alpha$ -Fe(200) ve  $\alpha$ -Fe(211) fazlarını içeren bir tabakanın olduğu görülmektedir. 1 saatlik kaplama sonucu C ve N atomlarının difüze olmasıyla birlikte  $\alpha$ -Fe(100), Fe<sub>3</sub>C ve Fe<sub>2,3</sub>N,C fazlarının ortaya çıktığı görülmektedir. İşlem süresi 2 saate çıkarıldığı zaman atomların difüze olma süresi arttığından dolayı yapıda Fe<sub>2</sub>O, Fe<sub>2,3</sub>N,C ve  $\epsilon$ -Fe<sub>3</sub>N fazlarına rastlanılmıştır. XRD analizi sonucu 3 saatlik nitrürleme işleminde yapıda  $\alpha$ -Fe(100), Fe<sub>4</sub>N ve Fe<sub>3</sub>C fazlarına ait pikler görülmüştür. XRD sonuçlarına bakıldığı zaman, N, O ve C bileşiklerine ait piklerinin yoğunluğu görülmektedir. Şekil 3.5'ten 3.8'e kadar olan SEM EDS görüntüleri XRD sonuçlarını doğrulamıştır. Görülen bu bileşikler malzemenin korozyon direncini iyileştirmektedir. Nitrürleme işlemi sırasında bağlantı ve difüzyon tabakasının oluştuğu (Şekil 3.1, 3.2 ve 3.3) ve bu tabakaların toplamının kaplama kalınlığını verdiği SEM EDS analiz sonuçlarıyla doğrulanmıştır (Şekil 3.9-3.11). Nitrasyon tabakasının kalınlığı C ve Fe fazlarının dağılımı baz alınarak tespit edilmiştir.

### 4.2. Nitrürlemenin AISI 4140 Çeliğinin Sertlik Davranışına Etkisi

AISI 4140 çeliğinin sertliği, gördüğü nitrürleme işleminin süresine bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir. Nitrürlenmemiş AISI 4140 çeliğine ait sertlik değeri 222 Hv ile 281 Hv arasında değişkenlik göstermektedir. Deneysel çalışmada uygulanan

nitürleme işlemine bağlı olarak N ve C atomlarının difüze olması sonucu yüzeyde oluşan  $Fe_{2,3}NC$ ,  $Fe_4N$  ve  $Fe_3C$  gibi yeni fazların oluşumu aynı zamanda azot ve karbon konsantrasyonunun artışı ile malzemenin yüzey sertliğinde artış meydana gelmektedir. Çalışmada sertlik ölçüm tekniği olarak mikrosertlik ölçüm yöntemi kullanılmıştır. Bu tez çalışması ile elde edilen sertlik değerleri literatür ile aynıdır [46,47,51]. Yani nitürleme işlemine tabi tutulan numunelerin nitürleme işlemi görmemiş numunelere oranla yüzey sertliklerinin 2.5-3 katına çıktığı tespit edilmiştir.

Şekil 3.12 incelendiğinde, nitürlenmiş numunelerin sertlik değerlerinin nitürlenmemiş numune sertliğinden yüksek değerlerde olduğu anlaşılmaktadır. 580 °C de yapılan 1 saatlik nitürleme ve sonrasında yapılan oksidasyon işlemi sonucunda meydana gelen difüzyon tabakasının işlem görmemiş numune yüzey sertliğini 2,5-3 katına çıkardığı görülmektedir. İşlem süresi 2 saate çıkarıldığı zaman difüze süresi arttığından dolayı difüzyon tabakasında meydana gelen azot ve karbon miktarının artması sonucu sertlik değerinde artış devam etmektedir. Fakat nitürleme süresi 3 saate çıkarıldığı zaman azot ve karbonun daha fazla yayınması sonucu difüzyon tabakasında meydana gelen gözenekliliğin, sertlik değerinde bir azalmaya neden olduğu ancak bu azalmanın işlem görmemiş AISI 4140 çelik sertliğinden fazla olduğu Şekil 3.12 de görülmektedir.

### 4.3. Nitürlemenin AISI 4140 Çeliğinin Korozyon Davranışına Etkisi

İşlemsiz ve 580 °C de sırasıyla 1, 2 ve 3 saat nitürlenmiş AISI 4140 çelik numunelerin potansiyel yoğunluklarının akım yoğunluğuna bağlı olarak gösterildiği potansiyodinamik polarizasyon eğrileri Şekil 3.13 de verilmiştir.

Korozyon çözültisi olarak hazırlanan ve pH 2 olan NaCl tuz çözültisine, 45 dakika boyunca daldırma yöntemiyle ağırlık kayıplarının belirlenmesine dayalı korozyon test sonuçlarını gösteren grafiğe bakıldığı zaman nitürleme işlemine tabi tutulmuş numunelerin korozyon potansiyeli, işlem görmemiş AISI 4140 çelik numunenin korozyon potansiyeline göre artış göstermektedir (Şekil 3.13.a). İşlem görmemiş AISI 4140 çelik numunenin pasif bölgeye geçtikten belirli bir süre sonra pasif filmin parçalanmasından dolayı akım değerinin hızla arttığı görülmektedir. Ayrıca kritik bir potansiyel değerde çukurcuk korozyonu oluşmaya başladığı da görülmektedir. Nitürlenmiş AISI 4140 çelik numunelerde ise bu durum söz konusu değildir (Şekil 3.15).

Korozyon çözeltilisinin pH değeri 7 iken yapılan çalışmada pH değeri 2 iken yapılan çalışma ile hemen hemen benzer sonuçlar alınmıştır. Fakat bu deney düzeninde 580 °C de 2 saatlik işleme tabi tutulmuş AISI 4140 çelik numunenin korozyon potansiyeli diğer deney numunelerine oranla oldukça iyi bir davranış göstermektedir (Şekil 3.13.b). Burada 1 saatlik nitrürleme işlemine tabi tutulmuş numunede pasif bölgeye geçtikten sonra pasif filmin parçalanmasından dolayı çukurcuk korozyonu görülmektedir (Şekil 3.15).

Son olarak korozyon çözeltilisinin pH değeri 12 iken yapılan çalışmada akım yoğunluklarının diğer çözeltilere oranla daha yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca akım yoğunluğuna bağlı olarak pasif bölgede de bir değişim söz konusudur. Burada işlem görmemiş AISI 4140 çelik numunenin korozyon potansiyeli işlem görmüş numunelere oranla daha yüksektir (Şekil 3.13.c). Bunlara ilaveten, bazik çözeltide gerçekleştirilen deney düzeninde 3 saatlik kaplama işlemine tabi tutulan numunede bir çukurcuk korozyonu görülmektedir (Şekil 3.15) [52,53].

## 5. SONUÇLAR

Deneyle sonuçları, toplanan bulguların değerlendirilmesinden çıkarılan sonuçlar maddeler halinde açıklanmıştır.

1. Nitrürleme sonrası nitrürleme parametrelerine bağlı olarak malzemenin yüzey özellikleri değişmektedir. Değişen bu özellikler yüzey sertliği ve malzeme yüzeyinde oluşan tabakaların kalınlıklarıdır.

2. Yayınım tabakası kalınlığı ile nitrürleme parametrelerinin korelasyonu incelendiğinde, en yüksek korelasyona, 580 °C de yapılan nitrürleme işlemi sonucunda iki saatlik zaman diliminde ulaşıldığı tespit edildi.

3. Beyaz tabakanın morfolojik yapısının yayınım tabakasına benzerlik gösterdiği tespit edildi. Ancak kalınlıkları itibariyle bir karşılaştırma yapacak olursak, beyaz tabakanın yayınım tabakasına oranla çok daha ince olduğu tespit edildi. Beyaz tabaka oluşumunda en önemli parametre çözelti içerisindeki azot miktarıdır.

4. XRD çalışmalarında  $Fe_{2,3}NC$ ,  $Fe_4N$  ve sert nitrürler içeren  $\alpha$ -Fe olmak üzere tüm deney numunelerinde bu fazlar tespit edildi. Parametrelerin değişikliğine bağlı olarak bu fazların piklerinde ufak değişimler gözlemlendi. Nitrür fazlarının iki saatlik nitrürleme işlemi sonucu daha yoğun bir şekilde elde edildiği belirlendi.

5. SEM incelemelerinde numunelere ait içyapı ve tabaka yapılarının fotoğrafları, 1.00KX ve 2.50KX büyütme altında çekilmiş ve daldırma yöntemiyle nitrürleme işlemine tabi tutulmuş AISI 4140 çeliğinin yüzey tabakasında  $Fe_{2,3}NC$  ve  $Fe_4N$  bileşik tabakasının oluşmuş olduğu saptandı. Bu tabakanın altında ise nitrür içeren  $\alpha$ -Fe difüzyon tabakasının oluşmuş olduğu gözlemlendi.

6. Mikrosertlik incelemeleri sonucunda nitrürleme işlemine tabi tutulmuş numuneler de işlem görmemiş AISI 4140 çeliğine oranla belirgin sertlik artışları görülmüştür. Hem bağlantı tabakası hem de difüzyon tabakası açısından en sert tabakaların oluştuğu işlem süresi iki saat olarak belirlendi.

7. İşlemsiz ve nitrürlenmiş AISI 4140 çeliklerin daldırma yöntemi ile çözelti içerisinde 45 dakika boyunca akım yoğunluğuna bağlı olarak korozyon potansiyelindeki

değişim göz önüne alındığında pH 2, 7 ve 12 değerleri için en iyi korozyon potansiyel değerinin iki saatlik kaplama sonucu elde edildiği tafel eğrilerine bakılarak belirlendi.

8. Korozyon deneyleri sonrası taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenen numune yüzeylerinin morfolojisine bakıldığı zaman pH 2 için işlem görmemiş, pH 7 için 1 saat nitrülenmiş ve pH 12 için ise 3 saat nitrülenmiş numunelerin, akımın hızla artmasına bağlı olarak malzeme yüzeylerinde çukurcuk korozyon morfolojisinin görüldüğü tespit edildi.

9. Korozyon potansiyeli değerlerinin daha pozitif potansiyellere kayması sonucu, azot ve karbon atomlarıyla difüze edilmiş Fe, Cr, Mo gibi metallerin daha geç korozyona uğradığı anlaşıldı.

10. Nitrüleme yöntemi sonrasında yapılan deneysel çalışmalar sonucunda tespit edilen sertlik değeri ve korozyon direncinin, günümüzde nitrüleme yöntemini AISI 4140 çeliğine uygulayan firmaların açıklamış olduğu sertlik ve korozyon değerlerinin birbirleriyle uzlaştığı belirlendi.

11. Sıvı nitrüleme şartlarına bağlı olarak malzeme yüzeyinde beyaz ve yayınım tabakası meydana gelmektedir. Yayınım tabakası tüm sıvı nitrüleme şartlarında meydana gelirken, beyaz tabaka sadece belli nitrüleme şartları altında meydana gelmiştir. Yayınım tabakasının kalınlığında ki artış hızının Nitrülemenin başlangıcından oldukça büyük olduğu, artan nitrüleme süresi ile birlikte bu hızda azalma meydana geldiği görülmüştür. Yayınım tabakası kalınlığındaki artış hızının azalma sebebi, yüzeyin nitrüre doyması sebebiyle azot difüzyonunun başlangıca göre daha zor olmasıdır.

## 6. ÖNERİLER

1. Nitrürlenmiş AISI 4140 çelikleri, ülkemizde genellikle savunma sanayisinde kullanılan silahlarda namli malzemesi olarak tercih edilmektedir. Üretilen bu namlulara, yüksek sertlik değeri ve korozyon dayanımı sağlamak amacıyla nitrürleme işlemi yapılabilir.

2. Yapılan çalışmadan da anlaşılacağı üzere en çok rastlanan korozyon türü çukurcuk korozyonudur. Çukurcuk korozyonundan kurtulmak için termokimyasal kaplama yöntemlerinin yanı sıra katodik koruma uygulanabilir ve gerekli tasarım önlemleri alınabilir.

3. Bazik ortamda çalışacak AISI 4140 çelik parçalar için nitrürleme işlemine gerek duyulmayabilir. Çünkü bazik ortamda yapılan korozyon testi sonucuna göre AISI 4140 çeliklerin korozyon potansiyeli, nitrürlenmiş AISI 4140 çelik korozyon potansiyeline göre daha iyi sonuç vermektedir. Böyle bir çalışma şartları altında nitrürleme işlemi maliyet ve zaman açısından dezavantajlıdır.



## 7.KAYNAKLAR

1. Kesti, E, Ç-4140 Çeliğinin Mikro Yapı ve Mekanik Özelliklerine Su Verme Ortamının Etkilerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, S.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2009.
2. <http://malzememuh.cbu.edu.tr/akademik/yayinlar> 14.04.2018.
3. Callister, W. D. and Retwisch, D. G., Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, Nobel Akademik Yayıncılık, 2014.
4. Ulutan, M., AISI 4140 Çeliğinin Yüzey Sertleştirme İşlemleri ve Kaplama Yöntemleri Sonrası Mekanik Davranışların Araştırılması, Doktora Tezi, O. Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 2007.
5. Topbaş, M. A., Çelik ve Isıl İşlem El Kitabı, Prestij Yayıncılık, (1998) 75-96.
6. Erdoğan, M., Mühendislik Alaşımlarının Yapı ve Özellikleri, Nobel Yayın, (2000) 120-153.
7. Yıldırım, M. M., Doğan, Z. S., Çakan, A. ve Pakdil, M., Mühendislik Malzemeleri, MKU Mustafa Kemal Üniversitesi Yayınları, 9 (2001) 110-116.
8. Asil Çelik Teknik Yayınlar Kitabı, Mayıs 2000, 162-183.
9. <http://www.haddemetal.com/tr/bakirlevha> 14.04.2018.
10. <https://www.ayhansteel.com/product-details/nitrasyon-celikleri> 11.05.2018.
11. Berns, H. and Theisen, W., Ferrous Materials: Steels and Cast Iron, Springer Science And Business Media, 2008.
12. Ünal, R., Mühendislik Formülleri, Bilim Teknik Yayınevi, (2010) 48-49.
13. Smith, W. F., Structure and Properties of Engineering Alloys, McGraw-Hill, 2 (1993) 124-132.
14. Keleşoğlu, E., Sert Kaplamalar, İstanbul, (2011) 112-114.
15. <http://www.alper.com.tr/hizmetler/isil/islem/nitrasyon.html> 20.05.2017.
16. Gür, A. K. ve Yıldız, T., The Effect At Wear Behavior of Coating Layer of Proportion Gases N<sub>2</sub>, Technological Applied Sciences, 3 (4) (2008) 627-635.

17. Alsaran, A., Çelik, A., Çelik, C. ve Efeoğlu, I., İyon Nitrürasyon ile Yüzey Sertleştirme İşleminde Optimum Çalışma Şartlarının Belirlenmesi, 9. Uluslararası Makine Tasarım ve İmalat Kongresi, Eylül 2000, Ankara, 417-426.
18. Sun, Y. and Bell, T., A Numerical Model of Plasma Nitriding of Low Alloy Steel, Materials Science and Engineering, 224( 1-2) (1997) 33-47.
19. Özdemir, U. ve Erten, M., Plazma (İyon) Nitrürleme Yöntemi ve Malzeme Özellikleri Üzerindeki Etkisi, Havacılık ve Uzay Teknolojileri, 1 (2003) 41-48.
20. Şirin, Ş. Y., İyon Nitrürleme Yüzey Sertleştirme Isıl İşleminin AISI 4340 Çeliğinin Yorulma Dayanımına Etkisi, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2004.
21. Onaran, K., Malzeme Bilimi Kitabı, Bilim ve Teknik Yayınevi, İstanbul, 2009.
22. Öz Saraç, U. Yılmaz, R., Eker, F. A. ve Uzun, H., Sementasyon İşlemi Yapılan Çeliklerde Mikrosertlik ve Mikroyapı Değişimlerinin İncelenmesi, Metalurji Dergisi, 127 (2012) 34-35.
23. Şahan, H. ve Akbaş, B., Kutuda Karbonlama, Metalurji 60 (1989) 31-37.
24. Özbek, İ., Sen, S., İpek, M., Bindal, C., Zeytin, S., ve Ucisik, A. H., A Mechanical Aspect of Borides Formed on The AISI 440 C Stainless Steel, Vacuum, 73 (3-4) (2004) 643-648.
25. Uluköy, A., Can, A. Ç., Çeliklerin Borlanması, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 12 (2016) 189-198.
26. Sinha, A. K., Boriding (Boronizing), ASM International, ASM Handbook 4 (1991) 437-447.
27. Kaya, B., Nano Kompozit Kaplama, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007.
28. Sarıca, B., Farklı Kalite Çeliklere Uygulanan Yüzey Kaplama İşlemlerinin Aşınma Davranışlarına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2005.
29. Arısoy, F. C., Borlama ve Nitrokarbürleme Yüzey İşlemlerinin Cam Ambalaj Üretiminde Kullanılan Dökme Demir Kalıpların Performansına Etkileri, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2005.
30. Eker, A. A., Korozyon ve Korozyon Mekanizmaları, Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü Ders Notları, İstanbul, 2009.
31. Çelik, Ö., Paslanmaz Çeliklere Uygulanan Düşük Sıcaklık Nitrürleme İşleminin Mekanik ve Korozyon Özelliklerine Etkisi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2010.

32. Santos, R. F., Silva, E. R., Sales, W. F. and Raslan, A. A., Analysis of The Surface Integrity When Nitriding AISI 4140 Steel by The Sink Electrical Discharge Machining (EDM) Process, Procedia Cırp 45 (2016) 303-306.
33. Medina-Flores, A., Arganis, C., Santiago, P. and Oseguera, J., Electrochemicals Corrosion Test Of an AISI – SAE 4140 Steel Nitrided By Post- Discharge Microwave Plasma, Surface and Coating Technology 188 (2004) 140-145.
34. Osmanoğlu, T., AISI 340 ve 430 Kalite Paslanmaz Çeliklerin Mikroyapılarına, Mekanik Özelliklerine ve Korozyon Davranışlarına Soğuk Deformasyonun Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2012.
35. Açma, M. E., Yazan, A., Giray, M., Pirinç El Kitabı, Orijinal Metal A.Ş. Yayını, İstanbul, 2013.
36. Yazan, A., Pirinç Alaşımalarının Çinkosuzlaşma Korozyonuna Alüminyum, Nikel ve Kalay Alaşım Elementlerinin Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2014.
37. [http://www.corrosionclinic.com/types\\_of\\_corrosion/pitting\\_corrosion.html](http://www.corrosionclinic.com/types_of_corrosion/pitting_corrosion.html)  
7.06.2018
38. <http://community.parker.com/technologies/electromechanical-knowledge-base/1916/does-the-mpw-work-in-salt-rich-environments?> 19.06.2018
39. İşdaş, O., Elektrokimyasal Korozyon İlkeleri, Teknik Makale, Metalurji Dergisi, 155 (2016) 44-48.
40. Doruk, M., Korozyon ve Önlenmesi, Odtü Yayınları, Ankara, 1982.
41. Ekinci, Ş., Akdemir, A., Nitrülenmiş AISI 4140 Çeliğine Uygulanan Yükün Aşınma Hızına Etkisi, Selçuk Teknik Online Dergi, 10 (2011) 38-52.
42. Wu, J., Liu, H., Ye, X., Chai, Y., and Hu, J., Enhancement of Corrosion Resistance for Plasma Nitrided AISI 4140 Steel by Plain Air Plasma Post-Oxidizing, Journal of Alloys and Compounds, 632 (2015) 397-401.
43. Sohi, M. H., Ebrahimi, M., Raouf, A. H., and Mahboubi, F., Effect of Plasma Nitrocarburizing Temperature on The Wear Behavior of AISI 4140 Steel, Department of Mining, Metallurgy and Petroleum Engineering, Surface and Coating Technology, 205 (2010) 84-89.
44. Yıldız, F., Nitrülenmiş AISI 4140 Çeliğinin Plazma Ortamında Yaşlanma Davranışı, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 2005.

45. Genel, K., İyon Nitrürlenmiş AISI 4140 Çeliğinin Yorulma ve Korozyonlu Yorulma Davranışı, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2000.
46. Denктаş, Ö., Plazma Nitrokarbürlenen AISI 4140 Çeliğinin Tribolojik ve Korozyon Davranışı Üzerine Post-Oksidasyon İşleminin Etkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 2009.
47. Eski, S., Plazma Daldırma İyon İmplantasyonu Uygulanmış AISI 4140 Çeliğinin Yüzey Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2010.
48. Keawhan, C., Wongpanya, P., Witit-Anun, N. and Songsiritritthigul, P., Corrosion Behavior of AISI 4140 Steel Surface Coated by Physical Vapor Deposition, Journal of Metal and Materials and Minerals 22 (2012) 69-76.
49. Yılmaz, G. Ş., Delikanlı, K. ve Öncel, E., AISI 4140 Çeliğine Uygulanan İyon Nitrasyon Yüzey Sertleştirme İşleminin Yorulma Dayanımına Etkisi, SDU Teknik Bilimler Dergisi, 4 (2) (2014) 29-39.
50. [http://www.lucefin.com/wp-content/files\\_mf/1.4016a43033.pdf](http://www.lucefin.com/wp-content/files_mf/1.4016a43033.pdf)/Ferritic/Stainless Steel 17.08.2018
51. Edenhofer, B., The Ionitriding Process-Thermochemical Treatment of Steel and Cast Iron Materials, The Metallurgist and Materials Technologist, 8 (1974) 421-426.
52. Öztürk, İ., Investigation The Effect of Film Forming Amines on The Corrosion Inhibition of Carbon Steel, M.Sc Thesis, Istanbul Technical University, Institute of Science and Technology, Istanbul, 2011.
53. Akçakese, O., Yüksek Alaşımlı Çeliklerin Nitrürlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2011.

## ÖZGEÇMİŞ

Doğan Can DEMİR 1991 yılında Üsküdar/İSTANBUL' da doğdu. 2015 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümünden birincilikle mezun oldu. Aynı yıl içerisinde Karadeniz Teknik Üniversitesi Malzeme Anabilim dalında yüksek lisans eğitime başladı. Özel bir şirkette mühendis olarak çalışmaktadır.

