

**S – FAZININ KRİSTOLOGRAFİK YAPISI,  
ELEKTRİK, MANYETİK VE MEKANİK  
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**Mustafa YAZICI**

**Yüksek Lisans Tezi  
Nanobilim ve Nanomühendislik Ana Bilim Dalı  
Doç. Dr. A. Fatih YETİM  
2013  
Her hakkı saklıdır**

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**S – FAZININ KRİSTOLOGRAFİK YAPISI, ELEKTRİK,  
MANYETİK VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**Mustafa YAZICI**

**NANOBİLİM ve NANOMÜHENDİSLİK ANA BİLİM DALI**

**ERZURUM  
2013**

**Her hakkı saklıdır**



T.C.  
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

S-FAZININ KRİSTOLOGRAFİK YAPISI, ELEKTRİKSEL, MANYETİK VE  
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Doç. Dr. A. Fatih YETİM danışmanlığında, Mustafa YAZICI tarafından hazırlanan bu çalışma ...12.../...07.../2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Nanobilim ve Nano Mühendislik Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak **oybirliği/oy çokluğu (3./3.)** ile kabul edilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. A. Fatih YETİM

İmza

Üye : Doç. Dr. Mutlu KUNDAKÇI

İmza

Üye : Yrd. Doç. Dr. Yenal VANGÖLÜ

İmza

Yukarıdaki sonucu onaylıyorum

Prof. Dr. İhsan EFEOĞLU  
Enstitü Müdürü

**Not:** Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### **S-FAZININ KRİSTOLOGRAFİK YAPISI, ELEKTRİKSEL, MANYETİK VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Mustafa YAZICI

Atatürk Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Nanobilim ve Nano Mühendislik Ana Bilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. A. Fatih YETİM

Hastalarda kullanılan implantların ve protezlerin ömürlerini uzatmak ve biyouyumluluğu sağlamak için mühendislikte malzemelere çeşitli işlemler yapılmaktadır. Bunlardan biri de termokimyasal işlemdir. Bu işlemde nitrürleme yöntemi büyük bir avantaja sahiptir. Malzemeler genelde aşınmaya, korozyona ve yorulmaya maruz kalmaktadır. Nitrürleme işlemi bu tür etkileri iyileştirmesinden dolayı tercih edilme sebebidir.

Bu çalışmada biyomalzeme olarak kullanılan 316L paslanmaz çeliğine, %50 H<sub>2</sub> ve %50 N<sub>2</sub> gaz ortamında, 350, 375, 400, 425 ve 450°C'lik sıcaklıklarda, 2 saatlik sürelerde nitrürleme işlemi yapılmıştır. Nitrürleme işleminden sonra mekanik özelliklerini tespit etmek için mikro sertlik, tribolojik özelliklerin belirlenmesi için pim-disk aşınma deneyleri, korozyon özelliklerinin belirlenmesi için polarizasyon deneyleri, manyetizasyon alınganlık ve elektriksel iletkenlik özellikleri için fiziksel ölçümler yapılmıştır. Ayrıca yapısal özelliklerin tespiti için XRD ve SEM kullanılmıştır. Yapılan çalışma sonunda, uygulanan yüzey işlemlerinin 316L paslanmaz çeliğinin tribolojik özelliklerinin iyileştiği görülmüştür.

**2013, 59 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** 316L paslanmaz çelik, Biyomalzeme, Plazma ile nitrürasyon, manyetik alan, Elektriksel öz direnç, Aşınma.

## **ABSTRACT**

Master Thesis

### **CRYTALLOGRAPHIC STRUCTURE OF S-PHASE, PROPERTIES OF ITS ELECTRICAL, MAGNETIC AND MECHANICAL**

Mustafa YAZICI

Atatürk University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Nanoscience and Nanoengineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. A. Fatih YETİM

Engineering various operations are applied for prostheses' and implant's increase life and ensure biocompatibility. Thermochemical process is one than these process. In this process have big advantages. In general materials are exposed to the wear, corrosion and fatigue. Nitriding process is applied for improve those type effect.

In this study, 316L stainless steel alloy, which is one of the materials used to manufacture orthopedic implant devices was nitrided at temperatures between 350°C and 450°C in a gas mixture of 50%N<sub>2</sub>-50%H<sub>2</sub> for 2 hours. After than nitriding process the mechanical properties of nitrided specimens were determined with micro indentation measurements, the tribological properties of specimens were investigated by using pin-on-disk tribotester, the corrosion properties of specimens were investigated by using potentiostat/galvanostat device. In addition, XRD and SEM were used to analyze of the structural properties. Magnetic measurements and electrical conductivity of specimens investigation by using PPMS device. As a result it was found that the surface process applied to AISI 316L stainless steel alloy improved the tribological characteristics of the alloy.

**2013, 59 pages**

**Keywords:** 316L stainless steel, biomaterials, With the nitrogen plasma, Magnetic field, Electrical resistivity, Wear.

## TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın tamamlanmasında desteğini ve yardımını hiçbir zaman esirgemeyen ve her zaman bir ağabey olarak gördüğüm değerli tez danışman hocam Sayın Doç. Dr. A. Fatih YETİM'e gösterdiği ilgi, sabır, anlayış ve yardımlarından dolayı en kalbi saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalarında yardımcı olan Atatürk Üniversitesinden Sayın Prof. Dr. Ayhan ÇELİK'e, Sayın Prof. Dr. Akgün ALSARAN'a, Sayın Doç. Dr. Mutlu KUNDAKÇI'ya, Sayın Yrd. Doç. Dr. Yenal VANGÖLÜ'ne, Sayın Arş. Gör. Özgü BAYRAK 'a Sayın Arş. Gör. Halim KOVACI 'ya ve Makine Yüksek Mühendisi Fatih ALİBEYOĞLU'na, Erzurum Teknik Üniversitesinden Sayın Yrd. Doç. Dr. Fatih YILDIZ 'a ve özellikle kimyasal proseslerde yardımlarından dolayı Sayın Yrd. Doç. Dr. Tuba YETİM 'e, Sayın Arş. Gör. İlyas HACISALİHOĞLU'na, Erzurum Teknik Üniversitesinden, Sayın Arş. Gör. Onur ÇOMAKLI 'ya, Sayın Arş. Gör. Mevra ASLAN 'a ve Sayın Öğr. Gör. Çiğdem ALBAYRAK'a ve Karadeniz Teknik Üniversitesinden Sayın Arş. Gör. Levent KARA'ya ayrıca tezin hazırlanmasında emeği geçen tüm arkadaşlarıma içtenlikle teşekkür ederim.

Yaşamım boyunca beni destekleyen anneme, babama ve kardeşlerime verdikleri maddi ve manevi desteklerinden dolayı teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Mustafa YAZICI

Temmuz, 2013

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. KURAMSAL TEMELLER.....</b>	<b>8</b>
2.1. Paslanmaz Çelikler.....	8
2.1.1. Paslanmaz çelik çeşitleri.....	9
2.1.1.a. Ostenitik paslanmaz çelikler.....	9
2.1.1.b. Ferritik paslanmaz çelikler.....	10
2.1.1.c. Martenzitik paslanmaz çelikler.....	10
2.1.1.d. Dupleks paslanmaz çelikler.....	11
2.1.1.e. Çökelmeyle sertleştirilmiş paslanmaz çelikler.....	11
2.2. Yüzey İşlemleri.....	11
2.2.1. Yüzey kaplamaları.....	15
2.2.2. Fiziksel buhar fazı prosesi.....	15
2.2.2.a. Buharlaştırma.....	16
2.2.2.b. İyon kaplama.....	16
2.2.2.c. Saçılma işlemi.....	16
2.3. Plazma İle Nitrüleme.....	17
2.4. Plazma Hali.....	19
2.4.1. Plazma bileşenlerinin özellikleri.....	19
2.5. Yayınım Tabakası.....	20
2.6. Biyomalzemeler.....	21
2.7. Manyetik Özellikler.....	23
2.7.1. Diyamanyetizmanın Oluşumu.....	25
2.7.2. Paramanyetizmanın oluşumu.....	26

2.7.3. Ferromanyetizmanın oluşumu .....	27
2.8. Elektriksel Özellikler .....	28
<b>3. MATERYAL ve YÖNTEM .....</b>	<b>30</b>
3.1. Materyal .....	30
3.2. Plazma ile Nitrüleme İşlemi .....	30
3.3. SEM ve XRD Çalışmaları .....	32
3.4. Mikrosertlik Ölçümü .....	32
3.5. Aşınma Deneyleri .....	33
3.6. Korozyon Deneyleri .....	35
3.7. Manyetizasyon Deneyleri .....	36
3.8. Elektriksel İletkenlik Ölçümü .....	37
<b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA .....</b>	<b>39</b>
4.1. S-fazının Yapısal Özellikleri .....	39
4.1.1. XRD analizleri .....	39
4.1.2. İçyapı analizleri .....	41
4.1.3. Mikrosertlik analizleri .....	43
4.2. S-fazının sürtünme ve aşınma analizleri .....	44
4.3. S-fazının korozyon analizleri .....	47
4.4. Manyetik Ölçümler .....	51
4.5. Elektriksel Öz Direnç Ölçümleri .....	53
<b>5. SONUÇ .....</b>	<b>56</b>
KAYNAKLAR .....	58
ÖZGEÇMİŞ .....	60



## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

H	Manyetik Alan Şiddeti
K	Kelvin
O	Oksijen
R	Direnç
T	Sıcaklık
$\chi$	Manyetik Alınganlık
$\mu$	Manyetik Dipol Momenti
$\mu_0$	Boşluğun Manyetik Geçirgenlik Katsayısı
$\mu_m$	Malzemenin Manyetik Geçirgenlik Katsayısı

### Kısaltmalar

AC	Alternatif Akım
AFM	Atomik Kuvvet Mikroskobu
CVD	Kimyasal Buhar Biriktirme
DC	Doğru Akım
PPMS	Fiziksel Özellikler Ölçüm Sistemi
PVD	Fiziksel Buhar Biriktirme
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
XRD	X-Işını Difraktometresi
YMK	Yüzey Merkezli Küp

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Nitrüleme Prosesi .....	18
Şekil 2.2. Biyomalzemeler üzerine etki eden fizyolojik etkileri.....	22
Şekil 2.3. Manyetizma çeşitleri ve atomik /manyetik davranış .....	24
Şekil 2.4. r yarıçaplı çemberde dolanan elektronun açısal momentumu (L) ve manyetik momenti ( $\mu$ ).....	26
Şekil 2.5. Ferromanyetik bir maddenin mıknatıslanma grafiği .....	27
Şekil 3.1. Plazma nitrüleme mekanizması.....	31
Şekil 3.2. Pim- Disk aşınma cihazının şematik görünümü .....	34
Şekil 3.3. Korozyon deney cihazı .....	36
Şekil 3.4. Fiziksel özellikler ölçüm sistemi .....	37
Şekil 3.5. Üzerinden akım geçem numunenin görünüşü .....	38
Şekil 4.1. İşlemsiz ve farklı sıcaklıklarda nitrülenmiş 316L paslanmaz çeliğinin XRD grafikleri .....	40
Şekil 4.2. 316L çeliğinin yüzey morfolojisi.....	41
Şekil 4.3. Nitrüleme işlemi sonrası oluşan modifiye tabaka .....	42
Şekil 4.4. İşlemsiz ve nitrülenmiş 316L çeliğinin sürtünme katsayısı-zaman grafiği....	45
Şekil 4.5. İşlemsiz ve farklı parametrelerde nitrülenmiş 316L paslanmaz çeliğinin aşınma oranı-sertlik ilişkisi .....	46
Şekil 4.6. Aşınma izlerinin SEM görüntüleri; a) İşlemsiz b) 350°C c) 450°C’de nitrülenmiş .....	47
Şekil 4.7. İşlemsiz ve farklı sıcaklıklarda nitrülenmiş 316L paslanmaz çeliğinin akım yoğunluğu-gerilim eğrileri .....	48
Şekil 4.8. Korozyona uğramış numunelere ait SEM görüntüleri.....	50
Şekil 4.9. Farklı sıcaklıklara bağlı olarak 316L paslanmaz çeliğin manyetiklik alınanlığı.....	52
Şekil 4.10. Demir ve bazı element atomları arası uzaklığın, 3d ve 4s yörüngelerinin uzaklıkla değişiminin mıknatıslanmaya etkisi .....	52
Şekil 4.11. Plazma ile nitrülenmiş 316L paslanmaz çelik numunelerinin öz direnç değişimleri.....	54

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Yüzey işlemlerinin sınıflandırılması .....	14
Çizelge 2.2. İnsan vücudunda kullanılan implantlar.....	22
Çizelge 3.1 Paslanmaz çeliğin kimyasal kompozisyonu .....	30
Çizelge 3.2. Aşınma deney şartları .....	33
Çizelge 3.3. 1 litrelik SBF çözeltisinin hazırlanması için gerekenler.....	35
Çizelge 4.1. İşlemsiz ve plazma ile nitrülenmiş numunelere ait sertlik, tabaka kalınlıkları ve yüzey pürüzlülük değerleri.....	44

## 1. GİRİŞ

Malzeme biliminde, biyolojik sistemler ile etkileşiminde uyum sağlayan malzemeler üretilmesi ve geliştirilmesi için çalışmalar devam etmektedir. Biyomalzemeler canlı vücudunda biyolojik dokuların işlevini yerine getirebilmek veya desteklemek amaçları için kullanılan doğal üretilmiş veya sentetik olarak üretilen malzemelerdir (Gümüşderelioğlu 2002). Bu malzemeler vücut içerisinde vücut sıvısı ile daima temas halindedir. Bu dal bilimsel anlamda yeni bir disiplin olmasına rağmen uygulamada biyomalzemelerin kullanımı ilk çağlara kadar dayanmaktadır.

Mısır uygarlığında yapay organlar; göz, burun ve dişler en çok bilinen uygulama alanlarıdır (Yetim 2009). Bronz ve bakır kemik implantların da kullanımı milattan öncelere dayanmaktadır. Bakır'ın zehirleyici etkisine rağmen daha iyi bir malzeme bulunamadığından 1900'lü yıllara kadar kullanılmaya devam edilmiştir. 1900'lü yılların ortasına doğru vücutta biyomalzeme kullanılmaya başlanılmıştır. Örnek olarak fildişleri protez olarak vücut içerisine yerleştirilmiştir. İlk metal protez ise vitalyum alaşımından 1938 yılında üretilmiştir. 1960'lara kadar kullanılan bu malzemeler korozyona uğradığında çok büyük tehlikelere neden olmuştur. 1972 yılında ise seramik yapılı olan alümina ve zirkonyum kullanılmıştır. Bu malzemeler herhangi bir olumsuzluk oluşturmamasına rağmen inert yapıda olmalarından dolayı vücut içerisindeki dokuya bağ yapamadıkları için çok faydalı olamamıştır. Aynı yıllarda Hench tarafından geliştirilen biyoaktif seramikler vücut içerisinde canlı dokular ile bağ kurarak dokuların güçlenmesini sağlamıştır.

Sentetik implantlar ilk olarak iskelet sisteminde kırıkların tedavisinde kemik plakalar şeklinde kullanılmıştır. Daha sonraki gelişmeler ise 1950'de kan damarlarının değişimi ve yapay olarak üretilen kalp vanaları geliştirilmiştir, 1960'larda ise kalça protezleri üretilmiştir. Kalp ile ilgili malzemelerde esnekliği yüksek olan polimer politüretan kullanılmıştır. Ancak kalça protezin de paslanmaz çelikler önceliği almıştır. 1970'lerde ise ilk kez bozunur yapıdaki ameliyat ipliği poli (glikolik asit'ten) üretilmiştir. Kısaca özetleyecek olursak yaklaşık son 30 yılda 40'dan fazla metal, seramik ve polimer,

vücutun hemen hemen her kısmının onarılması ve yenilenmesinde kullanılmıştır. Biyomalzemeler, sadece implant olarak değil, vücutun dış kısmına yerleştirilmiş olup fakat vücutla temas ve etkileşimlerde bulunan cihazlarda da kullanılmaktadır. Ayrıca çeşitli eczacılık ürün ve teşhis araçlarında da yaygın olarak kullanılmaktadır. Günümüzde birçok firma tarafından biyomalzeme üretilmektedir. Yaklaşık olarak 2700'dan fazla tıbbi araç, 2500 civarında teşhis ürünü ve 39.000 kadar değişik eczacılık malzemelerinde kullanılmaktadır. Bu durum teknolojiye çok büyük bir pazar alanı oluşturmaktadır. Bu duruma karşı halen biyomalzemelerin kullanımı ile ilgili bazı sorunlar devam etmektedir. Bu sorunları çözmek için doku mühendisliği ve gen tedavisi gibi değişik bölümlerin varlığı ortaya çıkmıştır. Özellikle nanoteknoloji ve fabrikasyon yöntemlerindeki gelişmeler sayesinde mükemmel biyomalzemeler üretilmesi hedeflenmektedir.

Biyomalzemeler genelde tıpta kullanılmalarına rağmen biyoteknolojide de kullanılmaktadırlar. Örnek olarak hücre teknolojisi, atık su arıtımında adsorpsiyon (tutucu) olarak, biyosensörlerde, enzim, doku, hücre gibi biyoaktif maddelerin yapımı ve üretilmesinde kullanılmaktadırlar.

Biyomalzemeler, canlı vücudunda farklı yerlerde kullanılmaktadır. Örnek olarak vücut sıvılarının pH değeri farklı dokularda değişik değerler alabilir. Gün içerisinde farklı aktiviteler esnasında vücudu ayakta tutan kemikler yaklaşık olarak 4MPa civarında gerilmeye maruz kalmaktadır. İnsanın vücudundaki bir kalça kemiğindeki yük vücudun komple ağırlığının 3 katına kadar yük taşır. Vücudun farklı aktivitelerinde ise (sıçrama, koşma, oturma vb.) kalça kemiğine etki eden yük yaklaşık olarak vücut ağırlığının 10 katına kadar çıkar. Üretilen biyomalzemelerin bu tür zor şartlara dayanım göstermesi beklenmektedir. İmplant ve protez olarak kullanılan maddelerde vücut uyumluluğu çok büyük önem taşımaktadır. Vücudun bu malzemeleri kabul edip etmemesi biyouyumluluk testleri ile belirlenir. Biyouyumluluk malzemenin vücut dokuları ile fiziksel, kimyasal ve biyolojik olarak optimum uyum sağlamasıdır. Günümüzde üretilen biyomalzemeler halen mükemmel biyouyumluluk göstermemektedir.

Biyouyumluluğu iyi olan metal, seramik ve kompozit malzemeler vardır. Seramik malzeme gurubunda genelde şu malzemeler bulunur; alüminyum oksit, biyoaktif camlar, karbon ve hidroksiapatit. Biyomalzeme olarak kullanılan metaller ise genelde şunlardır; altın, paslanmaz çelikler, metal ve titanyum alaşımlarıdır. Polietilen (PE), poliüretan (PU), politetraoroetilen (PTFE), poliasetal (PA), polimetilmetakrilat (PMMA), polietilenteraftalat (PET), silikon kauçuk (SR), polisülfon (PS), polilaktik asit (PLA) ve poliglukolik asit (PGA) gibi çok sayıda polimer, tıbbi uygulamalarda kullanılmaktadır (Yılmaz 1997).

Sun *et al.* (1998) yaptıkları bir çalışmada 316L paslanmaz çeliklerin plazma ile nitrüleme işlemi ile aşınma oranları azaldığı ifade edilmektedir. Deneylerini hem kuru ortamda hem de korozif bir sıvı içerisinde yapmışlardır. Karşıt yüzey çelik ve alümina kullanılmışlardır. Test sonuçlarını, plazma nitrüleme sıcaklığına, karşıt yüzey malzemesine ve test koşullarına bağlı olduğu gözlemlemişlerdir. Kuru ortamda ve s-fazı oluşturmuş olan numunelerde yaptıkları aşınma dirençleri ölçümleri işlemsiz 316L paslanmaz çeliğine göre yaklaşık olarak 2-3 kat arttığını gözlemlemişlerdir. Deneylerini korozif çözelti içerisinde yaptıklarında ise düşük nitrüleme sıcaklıklarında 316L paslanmaz çeliğinin hem korozif hem de aşınma oranlarında artış gözlemlemişlerdir. Yüksek sıcaklıklarda nitrüleme işleminden sonraki korozyonlu aşınma değerlerinde bir iyileşme gözlemlememişlerdir.

Kim *et al.* (2000) yaptıkları bir çalışmada paslanmaz çeliklerin yüzeylerinde oluşan  $Cr_2O_3$  filmi sayesinde yüksek korozyon direncine sahip olduklarını belirlediler. İşlemsiz ostenitik paslanmaz çeliklerin yüzey sertlikleri, aşınma dirençleri ve sürtünme özellikleri bakımından zayıf olduklarını belirlediler. Bu yüzden yüzey işlemlerine ihtiyaç duyarlar. Paslanmaz çeliklerin yüzeyinde oluşan  $CrN$  ler çeliğin korozyonunu düşürdüğünü gözlemlemişlerdir.  $320^{\circ}C-500^{\circ}C$  arasında yaptıkları nitrülemeler, paslanmaz çeliğin korozyonunu korurken aynı zaman da aşınım özelliklerini iyileştirdiğini göstermişlerdir.

Borgioli *et al.* (2004) yaptıkları çalışmanın birinde 430°C'nin altındaki sıcaklıklarda CrN oluşabileceğini ancak çok uzun işlem süreleri gerekeceğini (30saat ile 60saat) belirlemişlerdir. Bu yüzden düşük sıcaklıklarda ve çok uzun olmayan işlem sürelerinde CrN oluşturmadan, 316L paslanmaz çeliklerin sertliğini ve aşınma direncini artırmak için kullanılabileceğini gözlemlemişlerdir.

S-fazının sertliği Fe<sub>4</sub>N+CrN çift fazlı yapının sertliğinden düşük olmasına rağmen, Jeong *et al.* (2004) yaptıkları çalışmada N'nin etkisi ile oluşan kafes distorsiyonunun ve bası artık gerilmelerin s-fazı sertliğinin oldukça artmasına sebep olduğunu belirlemişlerdir.

Borgioli *et al.* (2005) yaptıkları nitrürleme işlemi sonrası oluşan tabakanın sertlik değerinin matris ile tabakayı ayıran hattın hemen altında taban malzemenin sertliğine düştüğü belirlemiş ve tabaka içerisinde ise sertlik değerinin sabit kaldığını ifade etmişlerdir.

Borgioli *et al.* (2005) yaptıkları bir başka çalışmada yüksek sıcaklıklardaki nitrürleme işlemlerinde plazma ile nitrürlenmiş paslanmaz çeliklerin korozyon dirençlerinin düştüğünü gözlemlemişlerdir. Fakat nitrürleme sıcaklığı 430°C'nin altındaki sıcaklıklarda korozyon direnci azaltmadığını ve bu sıcaklıktaki nitrürlemede s-fazı oluşumu gözlemlemişlerdir.

Fossati *et al.* (2005) çalışmasında 316L paslanmaz çeliğinin işlemsiz numuneleri polarizasyon potansiyelinin bir eşik değerini geçtiğinde pitting korozyonuna maruz kalan pasif bir malzeme davranışı sergilediğini, işlemsiz numunelerde çukurcuk dallanmasının nispeten düşük anodik potansiyel değerlerinde başladığını ve bu değerinde yaklaşık olarak +100mV Ag/AgCl olduğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca daha yüksek polarizasyon potansiyellerinde anodik akım yoğunluğunun oldukça büyük olduğunda belirtmişlerdir. Korozyona maruz kalan numunelerin çok geniş ve derin çukurların varlığını gözlemlemişlerdir. Nitrürlenmiş numunelerin polarizasyon eğrileri incelediklerinde 470°C'ye kadar olan sıcaklıklardaki nitrürleme işlemine tabi tutulmuş

numunelerin pasif aralık (range) gösterdiklerini, 500°C'deki numunelerin aktif davranış sergilediklerini belirlemişlerdir. Numunelerin maksimum akım yoğunluğu değerlerinin konsantrasyon polarizasyon düşüncesi ile sınırlarken, minimum akım yoğunluklarını 470°C'ye kadar olan numuneler için işlemsiz numunelere kıyasla daha düşük olduğunu ölçmüşlerdir. Ayrıca 430°C ve 470°C'deki nitrürlenmiş numunelerinden ölçülen maksimum anodik akım yoğunluklarında işlemsiz numunelere göre 2-3 kat daha düşük olduğunu gözlemlemişlerdir. 500°C'de nitrüledikleri numunelerin maksimum anodik akım yoğunluğu ise işlemsiz numune ile neredeyse aynı değere sahip olduğunu görmüşlerdir. Pasif aralık gösteren nitrürlenmiş numunelerde 470°C'ye kadar bölgesel korozyon hassasiyeti nitrüleme sıcaklığına bağlı olduğu ifade edilmiştir. Yaptıkları çalışma sonunda nitrürlenmiş numunelerin pitting (çukurcuk) korozyon direnci aşağıdaki gibi değiştiğini gözlemlemişlerdir.

$$470^{\circ}\text{C} < 400^{\circ}\text{C} < 450^{\circ}\text{C} < 430^{\circ}\text{C}$$

450°C ve daha az sıcaklıklarda nitrürlenmiş numunelerde, işlemsiz ve 450°C'den daha yüksek sıcaklıklarda nitrürlenmiş numunelere kıyasla oldukça az hasar gözlemlemişlerdir. 430°C ve 450°C'de nitrüledikleri numunelerin yüzeyleri korozyon testinin sonunda incelendiklerinde yüzeyin neredeyse korozyondan hiç etkilenmediği, yalnızca birkaç bölgede noktada lokal renklenmelerin olduğu gözlemlemişlerdir. 470°C ve daha yüksek sıcaklıklarda nitrüledikleri numunelerin tane ayrılmasına sebep olan tane içi korozyon gördüğünü ifade etmişlerdir. Sıcaklık arttıkça tane içi hasarın arttığı gözlemlemişlerdir.

Nitrüleme işlemi yapılan numunelerde sürtünme katsayılarında artış olması beklenmektedir. Sun *et al.* (1998), yaptıkları bir çalışmada, işlem görmemiş numune için, karalı sürtünme durumuna 100m sonra ulaştığı görmüştür. Plazma ile nitrürlenmiş numunelerin sürtünme katsayıları bir pik değerine ulaşıncaya kadar kayma mesafesi arttıkça arttığı, daha sonra kayma mesafesi arttıkça dereceli olarak azaldığı ve mesafe 600m olunca sürtünme katsayısının karalı hale geldiği tespit etmişlerdir. 450 ve 500°C'de nitrüledikleri numunelerin sürtünme eğrilerinin benzer bir davranış



sergilediğini, 500°C’de nitrülenmiş numunelerin sürtünme eğrisinin muhtemelen yüzey pürüzlülüğünün artmasından dolayı daha sonra geniş bir dağılım gösterdiği ifade etmişlerdir.

Borgioli *et al.* (2005), yaptıkları nitrürleme işlemi sonrasında oluşan s-fazının kristal yapısını inceledikleri bir çalışmada bu fazın yapısını tam olarak belirleyememişlerdir. Yaptıkları nitrürleme işlemi esnasında ortama gönderdikleri azot atomlarının konsantrasyonuna bağlı olarak s-fazının kafes boyutları değiştiği ifade etmişlerdir. Borgioli *et al.* (2004), yaptıkları çalışmalardan XRD analizleri s-fazı piklerinin kayması, s-fazı kafesinin  $\gamma$  östenit kafesinden daha geniş olduğu belirlemişlerdir.

Jeong *et al.* (2004) 400°C’de yapılan nitrürlemede Fe kafesi içerisine N difüzyonu desteklendiğini, yer değiştirme elementi olan Cr atomu difüzyonunun engellendiği ifade edilmiştir. Kafes içerisindeki yüksek N konsantrasyonunun yüksek bası artık gerilmelerinin oluşumuna sebep olduğunu ifade etmişlerdir. Bu sıcaklıkta CrN’ün çökmediği ve koruyucu oksit tabakasının oluştuğunu gözlemlemişlerdir. 500°C’de ise tabaka içerisinde mikro çatlaklar oluştuğunu ve bu çatlakların, s-fazının kompozisyon ürünleri olan CrN ve Fe<sub>4</sub>N fazları arasındaki iç gerilmelerinin farklılığından oluştuğunu gözlemlemişlerdir.

Borgioli *et al.* (2005) yaptıkları çalışmada ortamın basınç değerlerinin değişimini inceledikleri bir çalışmada nitrülenmiş numunelerin kafes parametrelerinin değerlerini karşılaştırdıklarında, hata olasılığı işlem basıncı attıkça azalma eğiliminde olduğunu gözlemlemişlerdir. Bu istif hatası olasılığının azalması işlem basıncı azaldıkça kayma bantlarının sayısının azalması ile ilgili olduğunu gözlemlemişlerdir. Çünkü yüzey merkezli kübik (YMK) yapıya sahip alaşımın içerisindeki istif hatalarının varlığı kayma ile oluşan plastik deformasyonlarla ilgili olduğu ifade edilmiştir.

Yapılan bilimsel literatür çalışmalarında nitrürleme işleminin ortamın basınç değerleri difüzyon prosesini etkilediği ifade edilmiştir. Bu çalışmaların biride Jeong *et al.* (2004) tarafından yapılan ve 316L paslanmaz çeliklerin işlem esnasında ortamın basınç

değerine bağlı verimliliğinin araştırılmıştır. Azalan basınç değerine bağlı olarak azot difüzyonu kabiliyetinin arttığını ve ayrıca basınç azaldıkça sputtering (püskürme) oranı arttığını ifade etmişlerdir. Çünkü basıncın azalması boşalma geriliminin artışına ve serbest yol uzunluğunun artışına sebep olduğundan iyon artışına ve nötral enerji artışına sebep olmaktadır. Saçılma oranı arttıkça, işlem sonucu oluşan kayma bantlarının sayısının arttığı ve böylece basınç azalmasına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü değerinde artacağı ifade edilmiştir. Borgioli *et al.* (2005) paslanmaz çeliklerin pik değerlerini literatürde belirlemiştir. 400°C’de baskın olan pik Fe’e ait olan değer olduğunu gözlemlemiş, 500°C baskın olan pik değerlerinin ise Cr’a ait olduğunu gözlemlemiştir. Dolayısı ile 500°C’de N ile Cr arasındaki bağlanma kuvvetinin, N ile Fe arasındaki bağlanma kuvvetinden büyük olduğunu ve dolayısı ile 500°C sıcaklıkta tercihen CrN oluştuğunu ifade etmiştir.

Jeong *et al.* (2004) ise işlem sıcaklığına bağlı olarak, malzeme içerisinde bulunan tanelerde büyüme gözlemlediklerini ve yapılan çalışmaların AFM görüntülerini incelediklerinde sıcaklık arttıkça tanelerin büyüdüğü belirtmişlerdir. 500°C’deki dislokasyon yoğunluğunun 400°C’ye kıyasla daha yüksek olduğu tespit etmişlerdir. Taneler arasında ‘cliff-like’ şeklinde tanımlanan bir yapı oluştuğu belirlendiğini ve bu oluşan cliff’lerin yüksekliğinin, N konsantrasyonunun fazla olmasından dolayı olduğu ifade edilmiştir.

Bu tez çalışmasında yapılan uygulamalar, plazma ile nitrüleme işlemi uygulayarak biyomalzeme olarak kullanılan 316L paslanmaz çeliğinin s-fazını oluşturarak malzeme yüzeyinde serleştirme işlemi yaparak aşınmaya dirençli bir yüzey oluşturmak ve aynı zamanda bu işlemi yaparken korozyon direncini korumak ve daha iyi performans sağlamasını kazandırmak amacı ile yapılmıştır.

## 2. KURAMSAL TEMELLER

### 2.1. Paslanmaz Çelikler

Demir-krom alaşımlarının korozyona karşı olan direnci ilk defa 1821 yılında Fransız metalürjist Pierre Berthier tarafından keşfedilmiştir. O dönemdeki teknoloji krom ile demiri bu günkü gibi işleme tabii tutamadığı için pratik olarak kullanıma geçememiştir. Modern paslanmaz çeliklerin başlangıcı, 1913 yıllarında İngiliz metalürjist Harry Brearly tarafından rastlantısal olarak tüfek namlularını geliştirmek için araştırma yaparken keşfedilerek başlamıştır. Bu da paslanmaz çeliğin başlangıç noktasını oluşturmuştur. Daha sonrasındaki çalışmalarda, 18-8 olarak nitelendirilen (304) östenitik paslanmaz çelik yaklaşık 1920'li yıllarda piyasaya çıkmış ve uygulamalarında büyük bir başarı sağlanmıştır. 1930'lardan itibaren paslanmaz çelik endüstride ve günlük hayatımızda vazgeçilmez bir yer almıştır.

Malzeme biliminde paslanmaz çelikler en az %10,5 krom elementi içeren demir – karbon alaşımları olarak ifade edilirler. Bu alaşımda krom elementi çeliği paslanmaya karşı koruyan temel elementtir. Paslanmaz çelik ismini ise diğer çelikler gibi lekelenmemesinden alır. Özellikle havacılıkta, biyomalzemelerde, savunma sanayisinde tercih edilir. Günlük yaşamımızda ise her an kullandığımız çatal ve kaşıklarda, saatlerde dahi paslanmaz çelikler kullanılır.

Paslanmaz çelikler tüm ortamlarda korozyon ve oksitlenmeye karşı çok dirençlidir. Bu direnci şu şekilde gösterir; Paslanmaz çelikteki krom elementi oksijene maruz kaldığında hemen krom – oksit ( $Cr_2O_3$ ) pasivasyon tabakası oluşur. Bu katman çok ince olup gözle fark edilemeyecek kadar incedir ve paslanmaz çeliğin su veya herhangi bir gaz, oksijenin malzeme ile temas etmesini tamamen engelleyecektir. Ayrıca bu katmanın herhangi bir nedenle yırtılması, açılması veya çizilmesi durumunda oluşacak açıklık çok hızlı bir şekilde katmanın kendisini yenilemesi ile tekrar oluşacaktır. Bu olaya pasivasyon adı verilir ve bu olay bazı diğer metallerde de görülebilir.

Nikel elementi de, çeliğin içerisinde bulunan diğer düşük oranlarda kullanılan molibden ve vanadum gibi elementlerde pasivasyon özelliğine katkı sağlar. Paslanmaz çelik korozyona ve lekelenmeye karşı dirençlidir. Bu özelliğinden dolayı ticari olarak geniş bir uygulama alanına, düşük bakım maliyetine ve diğer çeliklerle karşılaştırıldığında daha ucuz olması ve göz alıcı bir görünüme sahip olması bu çeliği ideal ve vazgeçilmez bir malzeme kılar.

Günümüz dünyasında azalan doğal kaynaklardan dolayı yenilenebilir malzemeler çok büyük bir öneme sahiptirler. Bu bağlamda düşünüldüğünde paslanmaz çelikler %100 geri dönüştürülebilirlerdir. Kullanılan paslanmaz çeliklerin %60'ı ömrünü tamamlamış diğer çeliklerden ve üretim aşamasında oluşan hurda malzemelerin yeniden kullanılmasıyla oluşturulurlar.

### **2.1.1. Paslanmaz çelik çeşitleri**

Paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri değiştirilerek farklı özelliklerde alaşımlar elde edilebilir. Krom miktarı yükseltilecek veya nikel, molibden gibi alaşım elementleri katılarak korozyon dayanımı artırılabilir. Bunun dışında bakır, titanyum, alüminyum, silisyum, niyobyum, azot, kükürt ve selenyum gibi elementlerin eklenmesi ile korozyon dayanımına ek olarak başka özelliklerde kazandırılabilir. Böylece tasarımcılar ve imalatçılar değişik kullanım amaçları için en uygun paslanmaz çeliği seçebilirler. Paslanmaz çeliklerde içyapıyı belirleyen en önemli alaşım elementleri, önem sırasına göre krom, nikel, molibden ve mangandır. Bunlardan öncelikle krom ve nikel, içyapının ferritik veya östenitik olmasını belirler (Kayalı 2006).

Paslanmaz çelikler kristal mikro yapılarına göre beş grupta sınıflandırılırlar:

#### **2.1.1.a. Östenitik paslanmaz çelikler**

Biçim verilebilirlik, mekanik ve korozyon özellikleri bakımından çok iyi bileşimlere sahiptirler. Kullanım alanları ve alaşım çeşitliliği yönünden paslanmaz çelik üretiminin

yaklaşık olarak %85'ini oluşturmaktadır (Doruk 2005, Türkyılmazoğlu 2006). Bu çelikler hem oda sıcaklığında hem de yüksek sıcaklıklarda YMK kafes yapısında oldukları için ve içyapılarını korudukları için bu çeliklere sertleştirme ısıl işlemleri yapılmaz. Paslanmaz çeliğin yapısında yeteri miktarda Ni bulunduğu için oda sıcaklığında bile bu çelikler östenitik halde bulunmaktadır. Bu çeliklere sürünmeye karşı direnç ve korozyon özelliklerini iyileştirmek için az miktarlarda Mo, Ti, Nb, ve Ta gibi alaşım elementleri eklenmektedir. Östenitik paslanmaz çelikler, karbonlu çeliklere göre daha yüksek elektrik direncine, termal genleşme katsayısına ve daha düşük termal iletkenlik katsayısına ve ergime noktasına sahiptirler. Bu çelikleri diğer çeliklerle karşılaştırdığımızda korozyon dirençleri bakımından daha yüksek korozyon direncine sahiptirler.

#### **2.1.1.b. Ferritik paslanmaz çelikler**

Bu çelikleri oluşturan yapıların alaşımlarında korozyon direncini artırması için yeteri miktarda krom(%16 – %30 )veya kromun yanı sıra yüksek sıcaklıklarda östenit oluşmasını engelleyici Al, Nb, Mo ve Ti gibi ferrit yapı oluşturuvcu elementler içeren Fe–Cr–C alaşımlarına ferritik paslanmaz çelikler denir. Bu paslanmaz çelikler ilk geliştirilen paslanmaz çelikler olup endüstride oldukça çok kullanım alanına sahiptir. Korozyon dirençleri martenzitik paslanmaz çeliklere göre çok daha iyidir. Ferritik paslanmaz çeliklere iyi korozyon özellik kazandıran atom Mo'dur. C ve N atomlarının ferritik yapı içerisinde bulunması, bu çeliklerin sünek – gevrek geçişinin çok dar bir sıcaklıkta oluşmasına neden olur. Ayrıca C ve N atomlarının çelik içerisinde bulunma yoğunluğunu azaltarak taneler arası korozyona uğramasına karşılık çeliği daha karalı hale getirir (Fırat 1998).

#### **2.1.1.c. Martenzitik paslanmaz çelikler**

Bu paslanmaz çelikler, %11,5–18 Cr içeren ve normal miktarda C ihtiva eden çeliklerdir. Diğer çeliklere göre daha az Cr içermesinden dolayı korozyon direnci diğer çeliklere göre daha düşüktür. Bu yapının oluşumunda C atomunun oranı yüksek olması

ve ısıtıp soğutma esnasında dönüşüme uğraması nedeniyle hava ortamındaki soğutmalarda bile martenzit yapı oluşur. Martenzit çeliklerin ısıtma işlemi esnasında dikkat edilmesi gereken önemli bir nokta vardır: bu çelikler düşük ısı iletkenliklerine sahip olmalarından dolayı ısıtma ya da soğutma esnasında sıcaklık gradyanının oluşması nedeniyle çatlama oluşabilir.

#### **2.1.1.d. Dupleks paslanmaz çelikler**

Çift fazlı bir içyapıya sahip olan; ferrit taneleri içinde östenit, östenit taneleri içerisinde ise ferrit içeren bu tür çelikler östenitik çeliklere bir alternatif olarak geliştirilmiştir. İçerisinde ihtiva ettiği atomların oranı Cr (%18-%28 ),Ni (%4,5-%8 ) ve Mo (%2,5-%4) dür. Bu çelikler östenitlere nispeten daha iyi gerilme korozyonu direncine, ferritik'lere göre daha iyi tokluk ve sünekliğe sahiptirler. Akma dayanımları iki fazı birlikte ihtiva etmelerinden dolayı fazların tek haldeki akma değerlerinden yaklaşık olarak iki kat daha fazladır.

#### **2.1.1.e. Çökmeyle sertleştirilmiş paslanmaz çelikler**

Çökme ile sertleştirme işlemi temel olarak şu ilkeye göredir; Alaşımı çözeltilmiş alma tavidan sonra uygulanan hızlı şekilde soğutmayı takip eden bir yaşlandırma işlemidir. Bu paslanmaz çelik grubunun ana içyapısı östenitik, yarı-östenitik veya martenzitik olabilir (Türkyılmazoğlu 2006).

### **2.2. Yüzey İşlemleri**

Malzeme yüzeyindeki özellikleri değiştirmek için yapılan işlemlere yüzey işlemleri denir. Malzemeye yüzey işlemi uygulandığında malzeme; yüzey görünümü, yorulma dayanımı, yüzey sertliği, korozyon ve aşınma direnci gibi mekanik, tribolojik ve estetik özellikleri değiştirilebilir.

Malzemelerde yüzey, çevreyle olan mekanik, termal, kimyasal ve elektrokimyasal davranışlarının etkileşiminden sorumludur. Bu etkileşim teknik yüzeyler tarafından yerine getirilmesi gereken temel fonksiyonların ortaya çıkmasını sağlar (Haefer *et al.* 1987). Bunlar;

- ❖ Korozyon direnci,
- ❖ Aşınma direnci,
- ❖ Tanımlanan tribolojik davranış,
- ❖ Optik davranış,
- ❖ Dekoratif davranış,
- ❖ Ara yüzle birleştirilen davranıştır.

Mühendislik malzemelerinde üç önemli faktör vardır bunlar;

- i. Emniyet
- ii. Ekonomi
- iii. Estetik

Malzeme üzerine gelen yük ilk olarak malzemenin yüzeyi ile temas halinde olur. Eğer malzemenin yüzey özellikleri iyileştirilirse malzemedeki meydana gelecek olan korozyon, aşınma vb. deformasyonlar en aza indirgenmiş olur. Dolayısıyla sadece yüzeye ait olan özellikler iyileştirmek hem maliyet hem de zaman tasarrufu yapılmış olur. Yüzey sertleştirme işleminde oluşan basınç gerilmesi artışı ile malzemenin yorulma mukavemeti artmaktadır. Yüzey sertleştirmenin iki metodu bulunmaktadır;

- i. Yüzey sertleştirme işleminde yeni bir tabaka ilavesi veya inşasını içeren metot,
- ii. Parça boyutunda herhangi bir değişiklik veya tabaka ilavesi olmadan yapılan modifikasyon metodu,

Yüzey sertleştirmede yeni bir tabaka ile oluşturulan ince film ve kaplamalar taban malzemedan bağımsız bir biçimde malzeme yüzeyi ile bağ yapabilen yüzeyde istenilen özellikleri sağlayabilecek yeni bir tabaka oluşturulması amacı ile yapılır.

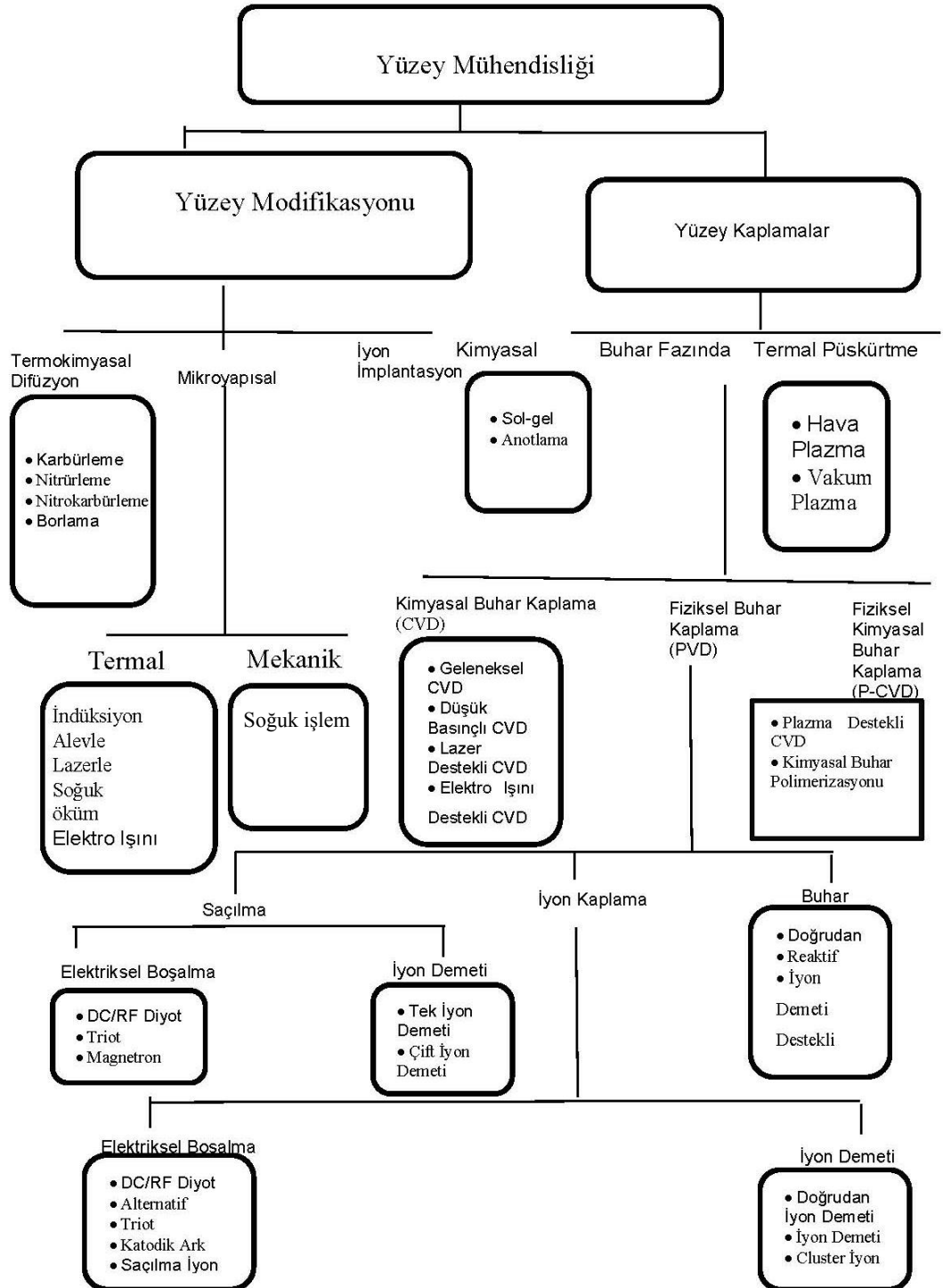
Yüzeyde yeni bir tabaka oluşturmaksızın sertleştirme yapmak için yüzeyde difüzyon yöntemi ile sertleştirme yapılır. Difüzyon işlemi bir parçanın yüzey sertliğini artırmak için kullanılan en etkili yöntemdir.

Yüzey işlemlerinin uygulamasının farkı nedenleri vardır bunlar; korozyonu önlemek için boyama ve kaplama, bası artık gerilmesi oluşturmak için bilye püskürtme, martenzit tabakası oluşturmak için su verme, tribolojik ve korozif özellikleri iyileştirmek için ince film kaplama ve yüzeyin kimyasını değiştirme.

Aşağıdaki Çizelge 2.1’de yüzey işlemlerinin sınıflandırılması gösterilmiştir.



Çizelge 2.1. Yüzey işlemlerinin sınıflandırılması



Termokimyasal işlemler katı, sıvı ve gaz ortamında gerçekleşmesine rağmen ekonomik ve teknik ekipman yetersizliğinden dolayı plazma teknolojisi daha çok tercih edilmektedir. Plazma termokimyasal işlemleri diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında düşük işlem sıcaklığı, düşük gaz tüketimi ve difüzyon oluşturmak için daha hızlı bir yöntemdir.

### **2.2.1. Yüzey kaplamaları**

Yüzey özelliklerini iyileştirmek için birçok kaplama tekniği ve yüzey işlemi ortaya çıkmıştır. Kaplama tekniği ya da yüzey işleminin seçiminde, taban malzemenin şekli, boyutu ve metalürjisi, kaplama malzemesinin uygulanma tekniğe uyumu arzu edilen adezyon seviyesi, kaplama cihazının kullanılabilirliği ve maliyet gibi hususlar dikkate alınır. Yüzey kaplamalar genelde 3 ayrı gruba incelenir bunlar; kimyasal kaplamalar, buhar fazında yapılan kaplamalar ve termal püskürtme kaplamalardır. Kimyasal kaplamada bir çözelti içerisinde kaplama ya anorganik polimer reaksiyonları ile ya da elektrik akımı vasıtasıyla gerçekleştirilir. Buhar fazında ki kaplamalarda ise malzeme buhar fazına getirilip daha sonra taban malzeme üzerinde depolanmasıyla gerçekleştirilir. Termal püskürtme yönteminde ise malzeme taban malzeme üzerine belirli bir mesafeden uzaklıkta eritilir ve küçük partiküllere dönüştürülerek püskürtülür. Daha sonra taban malzemesi belli bir sıcaklığa kadar soğutulur taban malzeme üzerine vuran tanelerin katılaşmasıyla kaplama oluşturulmuş olur.

### **2.2.2. Fiziksel buhar fazı prosesi**

Fiziksel buharlaştırma tekniğinin temelinde vakum altına alınan malzemelerin buharlaştırılarak ve saçılma ile atomlarının yüzeyden koparılması daha sonra ise taban üzerine atomik veya iyonik olarak çöktürülmesidir. PVD tekniği çok yüksek vakum gerektirir( $10^{-6}$ Pa). Kaplamanın gerçekleştirilebilmesi için ise sıcaklığın genelde C 5000°C civarında olması gerekir. Yüzeyde meydana gelen difüzyon tabakasının kalınlığı kaplama yaptığımız malzemenin kinetik enerjisi ve yüzeyin temiz olup olmamasına bağlıdır. PVD deki temel aşamalar şunlardır;

- i. Buharlaştırma
- ii. Saçılma
- iii. İyon kaplama

#### **2.2.2.a. Buharlaştırma**

Vakum ortamında kaplama tekniği bilinen en eski ve en çok kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem nemli ortamdaki çif oluşumundan farksızdır. Ortam vakuma alınır ve sıcaklık yaklaşık olarak 1000-2000°C getirilir. Buharlaştırma işlemi için gerekli olan sıcaklık direnç, indüksiyon, elektron demeti gibi yöntemlerle sağlanır. Diğer kaplama yöntemleri ile karşılaştırıldığında en önemli avantajları ucuz, basit ve yüksek kaplama hızına sahiptirler.

#### **2.2.2.b. İyon kaplama**

İyon kaplamada bir yüzey işlemidir. Bundaki tek fark ise kaplamanın iyon şeklinde taban üzerine biriktirilmesi ile oluşturulur. Bu kaplama buharlaştırma ile sıçratmanı karışımı bir kaplama yöntemidir. Taban malzemeye 2-5 kV arasında değişken bir AC akımı oluşturulur. Bu gerilim sayesinde malzeme ile filament arasında bir elektriksel boşanma meydana gelir. İyon kaplamalar yapılmadan önce malzemenin yüzeyindeki bulunan kirlilikler ve oksit tabakasını gidermek için inert (pasif) olan gazlarla iyon bombardımanı yapılır.

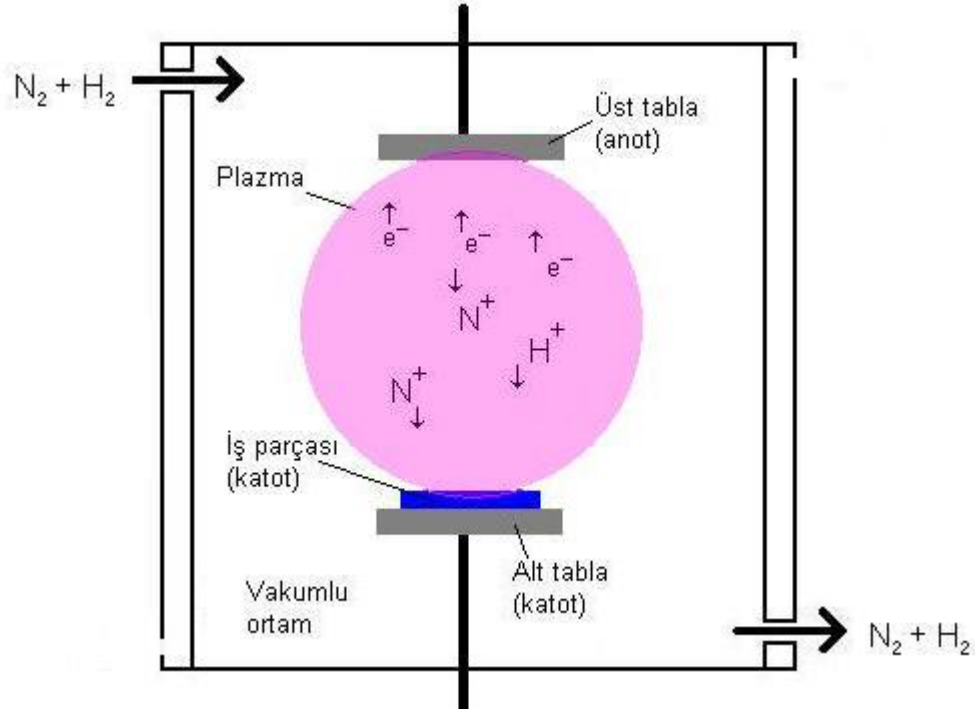
#### **2.2.2.c. Saçılma işlemi**

Saçılma, enerjik partiküller tarafından hedef yüzeyinin bombardıman edilmesi ile moment değişimine bağlı olarak, kaplama malzemesinin katı yüzeyden çıkarılıp püskürtüldüğü bir prosestir (Bhushan *et al.* 1991). Yüksek enerjiye sahip parçacıklar ya yoğun inert veya reaktif gaz ya da kaplama malzemesi türlerinin pozitif iyonlarıdır. Saçılan malzemeler, hedef olarak kullanılan kaplama malzemesi kaynağından atomik

halde püskürtülür. Taban malzemeleri püskürülen atomların akışını engellemek için hedef önüne yerleştirilerek kaplama gerçekleştirilir.

### 2.3. Plazma İle Nitrürleme

Plazma nitrürleme yöntemi 20–30 yıllık bir geçmişe sahiptir. Plazma ismi işlemde kullanılan azot ve diğer karışımının oluşturduğu plazmadan alır. Bu yöntemde ki temel prensip, vakuma alınan ortamda azot gazlarının elektrik yükü ile iyonlaştırılır. İyonlaşan azot katot (negatif uç) olarak kullanılan parça yüzeyine çarptırılması olayıdır. İşlem esnasında ortamın vakum değeri 1-10 mbar'dır, uygulanan gerilim (DC)de 400-1000V dur. Bu gerilim azot atomunu  $N \longrightarrow N^+ + e^-$  iyonlarına ayırması ve iyon haline gelen azot atomlarının malzeme yüzeyine çarparak difüze olmalarıyla gerçekleşir. Burada DC akımının kullanılmasındaki amaç oluşturulan plazma ortamının sürekliliğini sağlamak içindir. Aşağıdaki şekilde nitrürleme mekanizmasını temel alarak, nitrürlemek istenen parçalar, vakumlu ortamı oluşturabilmek için, kapalı kap içindeki hava vakumla dışarı atılır ve vakum dengede tutulur daha sonra kap içerisine azot gazı gönderilir azot gazı elektrik enerjisi ile iyonlaştırılır ve plazma oluşmuş olur. Plazma içindeki pozitif yüklü azot iyonları negatif kutup (katot) durumundaki parça yüzeyine çarpar. Çarpma esnasında azot, iyonlaşırken aldığı fazla enerjini parçaya verirken, hem bu enerji hemde çarpmanın etkisiyle malzeme yüzeyine difüze olur. Nitrürlemede kullanılan gaz  $N_2$ ,  $N_2+H_2$  gaz karışımı veya amonyak ( $HN_3$ ) olabilir. Aşağıdaki şekilde nitrürleme prosesi gösterilmiştir.



**Şekil 2.1.** Nitrüleme Prosesi (Tosun *et al.* 2012)

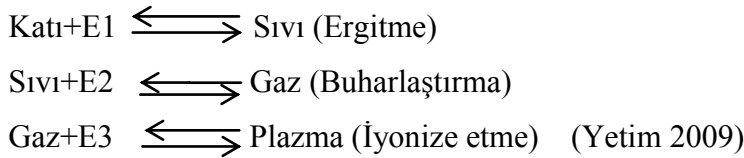
Nitrüleme işleminde amonyak (HN<sub>3</sub>) kullanabileceği gibi, işlem sırasında sadece (N<sub>2</sub>) veya (N<sub>2</sub>) yanında hidrojen (H<sub>2</sub>), argon (Ar) gibi malzemeye etkileşime girmeyecek gazlarda kullanılabilir. Hidrojen (H<sub>2</sub>) gazı kullanılarak yapılan nitrülemelerde, vakumlu ortama yerleştirilmiş parçalar, ilk olarak sadece hidrojen gazının ortama verilmesi ve enerji uygulaması sonucunda akım boşalması (glow discharge) denilen ve parça yüzeyinin hidrojen bombardımanına tutulması olarak tanımlayabileceğimiz işleme maruz bırakılır. Parça yüzeyinin temizlenmesi aşamasında kullanılan hidrojen (H<sub>2</sub>) gazı, açık mavi renkte ışık görülmesine sebep olurken, nitrüleme aşamasında geçildiğinde ortama giren azot gazı (N<sub>2</sub>) atomlarının etkisiyle ışığın rengi mor renge dönüşür. Bu renk farklılığının nedeni ise, her gazın fazla enerjisini verirken açığa çıkan enerjinin farklı olması ve bununla ışımının dalga boyunun farklı değerler almasına sebep olmasıdır.

Hem plazma nitrüleme hem de diğer yöntemlerle yapılan nitrüleme sonrasında parça yüzeyinde oluşan nitrür, iki tabakadan oluşur. Bunlar; yüzeyde beyaz tabaka adı verilen

gevrek, sert ve nispeten ince olan kısım bulunurken, yüzeyden aşağıya inilmeye başlandığında görünen kısım yayınım (difüzyon) tabakasıdır.

## 2.4. Plazma Hali

Temel olarak maddenin dört hali vardır. Bunlar katı, sıvı, gaz ve plazma halidir. Katı halde maddeler kristal düzlemlerden oluşur, belli bir mukavemete sahiptir ve kırılma yapıdadır. Sıvı halde ise maddenin belirli bir şekli yoktur içerisine konulduğu kabın şeklini alır. Gazlar da sıvılar gibi belli şekilleri yoktur içerisine konulan kabın hacmini ve şeklini alırlar. Son olarak maddenin plazma hali ise bu hale ait özellikleri olan, yüksek enerjili bir haldir. Temel olarak bu haller arasındaki temel fark maddenin sahip olduğu enerjidir. Maddeye ait olan enerji değiştirilerek madde bir halden başka bir hale getirilebilir. Katı haldekilerin enerjisini artırarak sıvı hale, sıvı haldekini de ısıtarak gaz haline getirilir. Gaz halinde enerji vererek plazma haline geçirilir. Tersten ilerletilen işlemi yapılarak da bu hal değişimini gerçekleştirilebilir.



En düşük enerjiye sahip olan hal katı hal ve en büyük enerjiye sahip olan hal ise plazma halidir. (Karadeniz 1990)

### 2.4.1. Plazma bileşenlerinin özellikleri

Plazmanın bileşenlerini aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- **Nötr moleküller ve nötr atomlar:** Ortamda bulunan negatif yüklerle pozitif yüklerin sayısının eşit olması durumudur.

- **İyon:** Bünyesinde bulundurduğu pozitif yüklerin sayının negatif yük sayısından farklı olması durumudur. Atomlar en az bir elektronlarını kaybedip veya bir elektron kazandıklarında iyon durumuna geçerler.
- **Elektronlar:** Atomun yörüngelerinde bulunan parçacıklardır. Yük olarak değeri  $1,6 \times 10^{-19}$  Coulomp'tur.
- **Foton:** Işını oluşturan enerji yüklü olan temel parçacıklardır.
- **Uyarılmış Atomlar:** Bir elementin atomuna enerji verilerek elektronların bir yada bir kaçını daha yüksek enerjili orbitale çıkartılabilir. Bu tür atomlara uyarılmış atom denir. Uyarılmış atomlar temel hale göre daha kararsız olurlar. Uyarılmış halin enerjisi büyüktür. Kararlı halin enerjisi az enerjilidir.

## 2.5. Yayınım Tabakası

Nitrüleme işleminde azotun malzeme yapısına girmek istemesiyle yüzeye yakın bölümlerde alaşım elementleri arayer atomu olmaları nedeniyle malzeme içerisine itildikçe ilerlemeleri yavaşlar. Yani malzeme içerisine difüze edilen azotun da ilerleyişinin yavaşlaması anlamına gelir. Oda sıcaklığında soğumaya gerçekleşirken ( $\gamma'$  ( $Fe_4N$ ),  $\alpha'$  ( $Fe_{16}N_2$ )) gibi nitrürler oluşur. Bu nitrürler kafes yapılarının yüksek sıcaklıktaki malzemenin iç kesimlerine doğru göndermesiyle azot, alaşım elementleriyle tepkimeye girerek nitrürler oluşturmuş olur. Genellikle paslanmaz çeliklerde CrN ve Cr<sub>2</sub>N nitrürleri gözlemlenir. Yayınım tabakası olarak adlandırılan tabaka azotun elementlerle yaptığı nitrürlerden oluşan kısımdır. Oluşan bu nitrürler hem tane sınırlarında hem de tane içlerinde oluşur. Yayınım tabakasındaki sertlik artışında; oluşan bu nitrürlerin, kafes yapısında meydana getirmiş olduğu çarpıklıklar ve dislokasyonların kilitlenerek ilerlemesinin yavaşlaması neden olmaktadır. Yayınım tabakasında; kafes yapısının azota doyması ve nitrürlerin oluşmasının bir sonucu olarak, yapı genişlemeye çalışacak; buna karşılık malzemenin iç kısımlarındaki yapının bunu engellemesiyle artık gerilmeler görülecektir.

## 2.6. Biyomalzemeler

Biyomalzemelerin birçok tanımı olmasına rağmen kısaca özetlenecek olursa; insan vücudundaki organ ya da dokuların işlevlerini yerine getirmek veya desteklemek amacıyla kullanılan ve canlı dokularla temas ettiğinde istenmeyen tepkiler ortaya çıkarmayan doğal ya da sentetik malzemeler olarak tanımlanabilir. (Gümüşderelioğlu 2002).

Biyomalzeme olarak geliştirilen ilk metal, vityum çeliğidir. Bu malzeme kırıklarda vida ve levha halinde kullanılmıştır. Ama vityum çeliği korozyona uğradığından çok ciddi tehlikeler ortaya çıktığı gözlemlenmiştir. Teknolojideki ilerlemelerle; kobalt-krom, paslanmaz çelikler, polimerler ve seramik biyomalzemeler kullanılmaya başlanmıştır (Pasinli 2004).

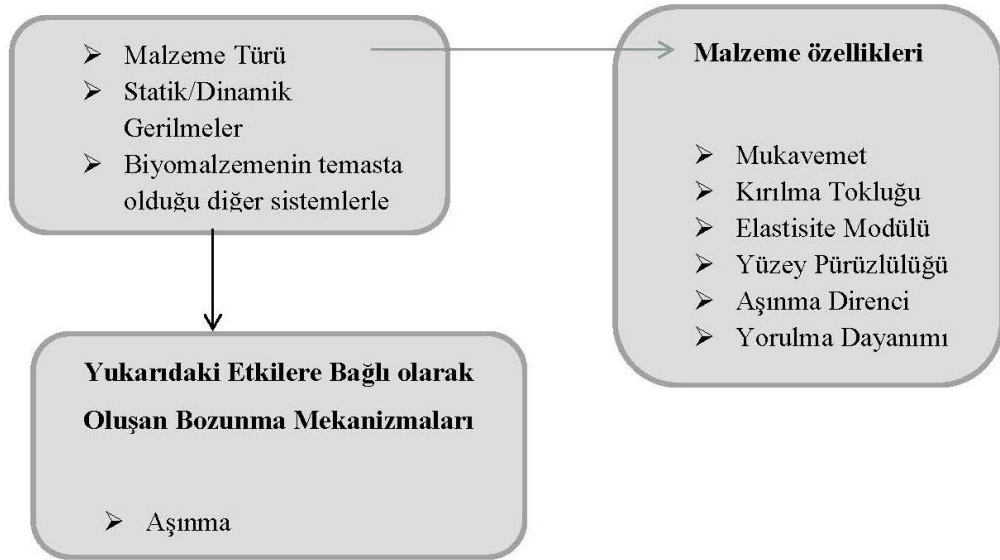
Biyomalzemeler vücutta canlı dokularla birlikte kullanıldıklarından bu malzemelerin vücutla uyumlu olması gerekir bu olayda biyoyumluluğu ortaya çıkarır. Kısaca biyoyumluluk şöyle tanımlanabilir; implatın, kendilerini çevreleyen dokuların normal değişimlerine engel olmaması ve dokularda fonksiyon değişikliğine neden olacak tepkimeler meydana getirmemesi anlamına gelmektedir (Yetim 2009). Biyomalzemelerden beklenen diğer özellikler ise şunlardır; vücudun yerine getirmesi gereken işlev ve fonksiyonlara dayanabilecek yapısal ve mekanik özelliklere sahip olmasıdır. Biyomalzemelerde önemli olan diğer bir özellikte implatın yüzey uyumluluğudur yani implatın vücut kimyası ile uyuşmasıdır. Aşağıdaki Çizelge 2.2'de implant malzemelerin kullanıldığı bazı vücut sistemleri verilmiştir.



**Çizelge 2.2.** İnsan vücudunda kullanılan implantlar

Sistemler	İmplant
İskelet sistemi	Kemik plakası, kalça ve diz protezleri, diş imlantları
Kas sistemi	Dikiş malzemesi
Dolaşım sistemi	Yapay kalp valfleri
Üriner sistem	Kataterler
Dermatik sistem	Kozmetik ürünler, plastik cerrahi implantlar
Diğerleri	Makaslar, enjektörler

Biyomalzemeler vücutta kullanıldıklarında çeşitli faktörlerden etkilenecek hasara maruz kalmaktadır. Aşağıdaki Şekil 2.2’de biyomalzemeler üzerine etki eden fizyolojik çevrenin etkileri görülmektedir.

**Şekil 2.2.** Biyomalzemeler üzerine etki eden fizyolojik etkileri.

Şuan kullanılan biyomalzemelerin birtakım avantajları olmasına rağmen birçok dezavantajda sahiptir. Birçok malzeme biyomalzeme olarak kullanılmasına rağmen bu malzemelerden hiç biri tam olarak yapısal ve yüzey özellikleri bakımından ihtiyaçlara

karşılık vermemektedir. Bu nedenle bir protez kullanılırken optimum yapısal değerler seçilip uygun yüzey özellikleride kazandırılmalıdır. Biyomalzemeler genel olarak 4 ana gruba ayrılırlar; metaller, polimerler, seramikler ve kompozitlerdir. Bu malzemeler isteğe ve gerekliliğe göre levha, tel vb. hallerde kullanılabilirler. Ortopedide ve diş implantlarında kullanılan biyomalzemeler genellikle metal veya seramikten yapılmaktadır. Vücut içerisindeki damar ve yumuşak dokularda ise genellikle polimer biyomalzemeler kullanılmaktadır.

## 2.7. Manyetik Özellikler

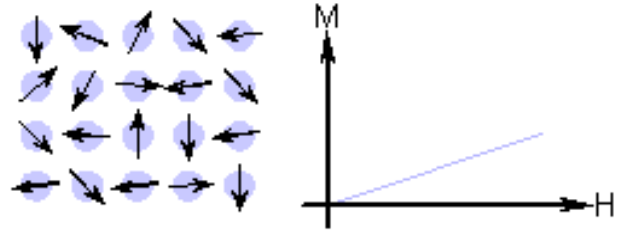
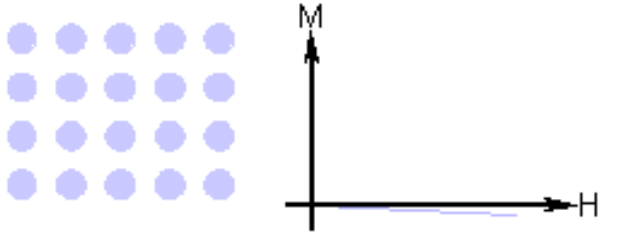
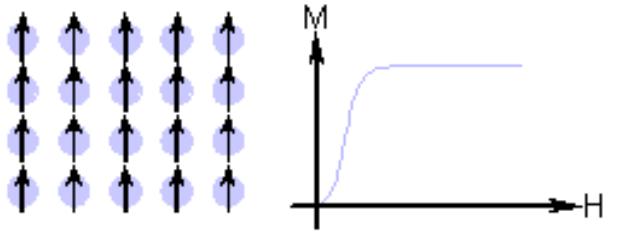
Maddelerin manyetik özellikleri tamamen atomların elektron dizilişleriyle ilgilidir. Her madde manyetik alan içerisinde farklı özellikler göstermektedirler. Fakat bu farklı özellikler kendilerine has özellik değildir yani manyetizasyon maddeler için ayırt edici bir özellik değildir. Maddeler manyetik ortamda ki davranışlarına göre diyamanyetik, paramanyetik ve ferromanyetik olmak üzere genelde üç grupta toplanılır.

Şiddetli manyetik alana yerleştirilen birçok malzeme, dış manyetik alanın yönünden bağımsız olarak, alanın zayıf olan kısmına doğru hareket etmek ister bu tür maddelere diyamanyetik maddeler denir. Organik bileşikler ve periyodik cetvelin sağ tarafındaki elementlerin çoğu diyamanyetik özellik gösterirler.

Bazı maddeler de diyamanyetiklerin tersine dış manyetik alanın yüksek olduğu bölgeye doğru hareket etmeye çalışırlar. Bu tür davranış sergileyen maddelere ise paramanyetik maddeler denir. Paramanyetik maddeleri etkileyen kuvvet; sıcaklık düşük değerlere doğru yani mutlak sifıra (0 K) doğru gittikçe kuvvet değeri maksimum seviyeye çıkar.

Atomları sürekli manyetik momente sahip olan az sayıda kristal yapılu madde, ferromanyetizma denen kuvvetli manyetik olaylar gösterirler. Bu maddeler zayıf bir dış manyetik alan içerisine bırakıldıklarında bile manyetik dipol momentleri birbirlerine paralel olacak şekilde yönelmeye çalışırlar. Bu manyetik dipoller bir kez birbirlerine paralel hale geldikten sonra artık dış manyetik alan kaldırılrsa bile dipollerin birbirlerine

paralelliği bozulmadan devam etmektedir. Bu sürekli yönelimin nedeni birbirlerine yakın olan manyetik momentler arasındaki kuvvetli bir etkileşimden kaynaklanmaktadır.

Manyetizasyon Şekli	Hassasiyet	Atomik /Manyetik Davranış
Paramanyetizma	Küçük ve Pozitif	 <p>The diagram shows a 4x4 grid of blue circles representing atoms. Each circle has a black arrow pointing in a different direction, indicating random orientation of magnetic moments. To the right is a graph with a vertical axis labeled 'M' and a horizontal axis labeled 'H'. A blue line starts at the origin and increases linearly with a shallow slope.</p>
Diyamanyetizma	Küçük ve Negatif	 <p>The diagram shows a 4x4 grid of blue circles representing atoms, with no arrows, indicating no net magnetic moment. To the right is a graph with a vertical axis labeled 'M' and a horizontal axis labeled 'H'. A blue line starts at the origin and has a very shallow negative slope.</p>
Ferromanyetizma	Büyük ve pozitif. Uygulanan alanın fonksiyonu mikro yapıya bağımlı	 <p>The diagram shows a 4x4 grid of blue circles representing atoms. Each circle has a black arrow pointing upwards, indicating aligned magnetic moments. To the right is a graph with a vertical axis labeled 'M' and a horizontal axis labeled 'H'. A blue curve starts at the origin, rises steeply, and then levels off to a horizontal line, indicating saturation.</p>

Şekil 2.3. Manyetizma çeşitleri ve atomik /manyetik davranış (Porikli 2009)

### 2.7.1. Diyamanyetizmanın Oluşumu

Yukarıda maddelerin manyetik özellikleri ile ilgili genel bir bilgi verdikten sonra şimdi bu özelliklerin nasıl oluştuğu ile ilgili bilgi verelim. Atom modellerinden en önemlisi olan Bohr atom modeline göre; maddeleri oluşturan atomlar, bir çekirdek ve onun etrafındaki yörüngelerde dolanan elektronlardan oluşmaktadır. Elektronlar çekirdeğin etrafında  $w$  ile ifade edilen bir açısal hızla dönmektedir. Bu dönme hareketi bir akım oluşturduğu düşünülebilir. Çünkü akımlarda elektronların belirli hızlarda hareketi ile taşındığından böyle bir kabul yanlış olmaz. Yani çekirdek etrafında bir akım halkası olduğu düşünülebilir. Bu akımın yönü elektronların hareket yönüne bağlıdır. Bir atom içerisinde elektronun hangi yönde döneceği kesin değildir. Bunun iki ihtimali vardır. Birincisi elektronların saat yönünde dönme ihtimali diğeri ise saat yönünün tam ters istikametinde dönme ihtimalidir. En basit yapıya sahip olan tek elektronlu H elementini göz önüne alalım. Bu elementte bir elektron vardır ve bu elektron yörüngede hareket ederken yörüngesel açısal momentum oluşturur ve bu  $L$  ile ifade edilir.

$$L = m_e v r \quad (2.1)$$

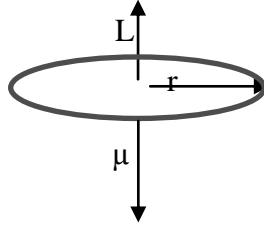
Bu akım ilmeğinden geçen akımın oluşturduğu manyetik moment

$$\mu = IA \quad (2.2)$$

(2.2) ve (2.1) ifadelerinde gerekli düzenlemeler yapıldığında

$$\mu = \left( \frac{e}{2m_e} \right) L \quad (2.3)$$

ifadesi elde edilir. Bu ifade elektronun, manyetik momentinin yörüngesel açısal momentumu ile orantılı olduğunu göstermektedir. Elektronun yükü negatif olduğundan  $\mu$  ile  $L$  vektörlerinin zıt yönlerde yönelmişlerdir. Aşağıdaki Şekil 2.4'te bu vektörlerin yönleri gösterilmiştir.



**Şekil 2.4.**  $r$  yarıçaplı çemberde dolanan elektronun açısal momentumu ( $L$ ) ve manyetik momentini ( $\mu$ )

Bu iki kuvvet birbirlerine eşit ve zıt yönlerdedir. Yani toplam manyetik alan sıfıra eşit olmaktadır. Ancak bu malzeme bir dış manyetik alana yerleştirildiğinde malzeme dış manyetik alan tarafından hareket ettirilmektedir. Bunun nedeni çekirdek etrafında eşit ve zıt yönlerde dönen elektronların üzerine  $qv \times \mathbf{B}$  ile ifade edilen bir ek kuvvet etki eder. Bu kuvvet nedeniyle elektronların merkezci kuvvetleri yani hızları artık eşit değildir. Manyetik alana zıt yönde manyetik dipolu olan elektron manyetik alanın etkisini azaltmaya çalıştığı için elektronun hızı artar, diğer yandan alanla aynı yönde dipol momentini olan elektron ise hızını azaltır ve böylece bu elektronların oluşturdukları manyetik momentler birbirine eşit olmazlar dolayısıyla ile alandan etkilenerek alan içinde hareket ederler.

### 2.7.2. Paramanyetizmanın oluşumu

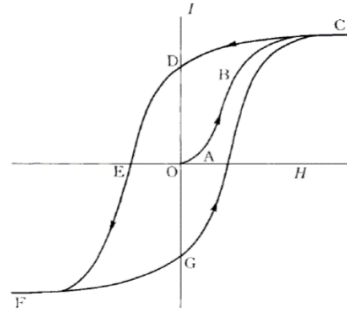
Paramanyetik maddeler pozitif fakat küçük bir manyetik doyumluğa sahiptirler. Bu doyumluğun nedeni, sürekli manyetik dipol momentini olan atomların varlığından kaynaklanır. Paramanyetik madde içerisinde atomların dipol momentleri gelişmiş olarak yönelmişlerdir. Malzeme dış bir manyetik alan içerisine konulduğu zaman, atomik momentleri alan yönünde yönelmeye zorlanırlar. Bu yönelim kuvveti, atomları rastgele yönelmeye zorlayan ısısal kuvvetlerden büyük olmalı ki dipolleri kendi doğrultusunda çevirebilsin. Paramanyetik maddeler uygulanan manyetik alanla doğru, sıcaklıkla ters orantılıdır.

$$M = C \frac{B_0}{T} \quad (2.4)$$

Bu bağıntıda  $C$  Curie sabiti,  $B_0$  dış manyetik alan,  $T$  sıcaklıktır.  $B_0=0$  olduğunda manyetik momentler rastgele dizilmiş halde bulunurlar yani mıknatıslanma değeri sıfır olur. Bağıntıdan görülmektedir ki artan dış manyetik alan ve azalan sıcaklıkla mıknatıslanma değeri artmaktadır.

### 2.7.3. Ferromanyetizmanın oluşumu

Atomları sürekli manyetik momente sahip olan az sayıda kristal yapılı maddeler ferromanyetizma denen kuvvetli manyetiklik gösterirler. Bu maddelere örnek olarak demir, kobalt, nikel vb. maddeler verilebilir. Bu tür maddeler çok zayıf bir manyetik alan içinde bile birbirlerine paralel olarak yönelmeye çalışan atomik manyetik dipol momentlere sahiptirler. Bu dipol momentler paralel hale geldikten sonra dış manyetik alan kaldırılrsa bile madde mıknatıslanmış olarak kalırlar. Bu sürekliliğin nedeni komşu olan atomların manyetik momentleri arasındaki kuvvetli etkileşimden dolayı kaynaklanır.



**Şekil 2.5.** Ferromanyetik bir maddenin mıknatıslanma grafiği

Şekil 2.5'te ferromanyetik bir malzemeye bir dış manyetik alan uygulanmaktadır. A noktasında alan 0, mıknatıslanma 0 dır. Dış alan artırılmaya başlandığı zaman mıknatıslanma A B C şeklinde bir mıknatıslanma izler. Bu değer C'ye ulaştığında malzeme doyum noktasına gelmiştir bu noktadan sonra dış alan artırılrsa bile mıknatıslanma değişmemektedir. Daha sonra dış alan azaltılmaya başlandığında mıknatıslanmada biraz azalır. Dış alan tamamen kaldırıldığında ise malzeme yine bir

mıknatıslanma değerine sahiptir ve bu değer D noktasıdır. Yani malzeme artık mıknatıslık özelliği göstermektedir. Daha sonra alan ters yönde uygulanmaya başlanırsa malzemenin mıknatıslanma değeri azalmaya başlar ve E noktasında tamamen mıknatıslanma değeri sıfır olur. Dış alan ilk yöndekinin aksi yönde artırılmaya devam edilirse malzeme içerisindeki manyetik momentler tekrar birbirlerine paralel olarak yönelirler ve tekrar doygunluk noktasına ulaşırlar ama bu sefer ilk yöndekinin tam ters istikametinde yönelme olur.

## 2.8. Elektriksel Özellikler

Bir maddenin elektriksel iletkenliği, o maddenin atom başına düşen serbest elektrik yükü sayısı ile belirlenir. Serbest elektrik yükünün madde ortamında hareket edebilme yeteneğini ifade eden hareketlilik yani ‘mobilité’ elektriksel iletkenliğin belirlenmesinde rol oynayan başka bir parametredir. Hareketlilik elektrik alan başına serbest elektrik yükünün hızı olarak tanımlanır. Serbest elektrik yükünün içinde hareket ettiği elektrik alanı  $\mathbf{E}$  ile elektrik yükünün hızı  $\mathbf{v}$  ile gösterilirse hareketlilik;

$$\mu = \frac{\mathbf{v}}{\mathbf{E}} \quad (2.5)$$

olarak yazılır. Burada  $\mu$ 'nün birimi  $\text{cm}^3/\text{volt}\cdot\text{sn}$  dir. Maddenin elektriksel iletkenliği, elektrik alan başına düşen akım yoğunluğudur. Aynı zamanda öz direncin tersine eşittir ve elektriksel iletkenlik;

$$\rho = J/E \quad (2.6)$$

olarak verilir. Birimi ise  $(\text{ohm}\cdot\text{cm})^{-1}$  dir. Maddenin uçları arasına gerilim uygulandığı zaman oluşan J akım yoğunluğu;

$$J = q n v \quad (2.7)$$

bağıntısı ile ifade edilir. Burada  $q$  elektrik yükü,  $n$  birim hacimdeki yüklü parçacık sayısıdır. Elektriksel iletkenlik ise;

$$\rho = q n \mu \quad (2.8)$$

hareketlilik cinsinden elde edilir.



### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

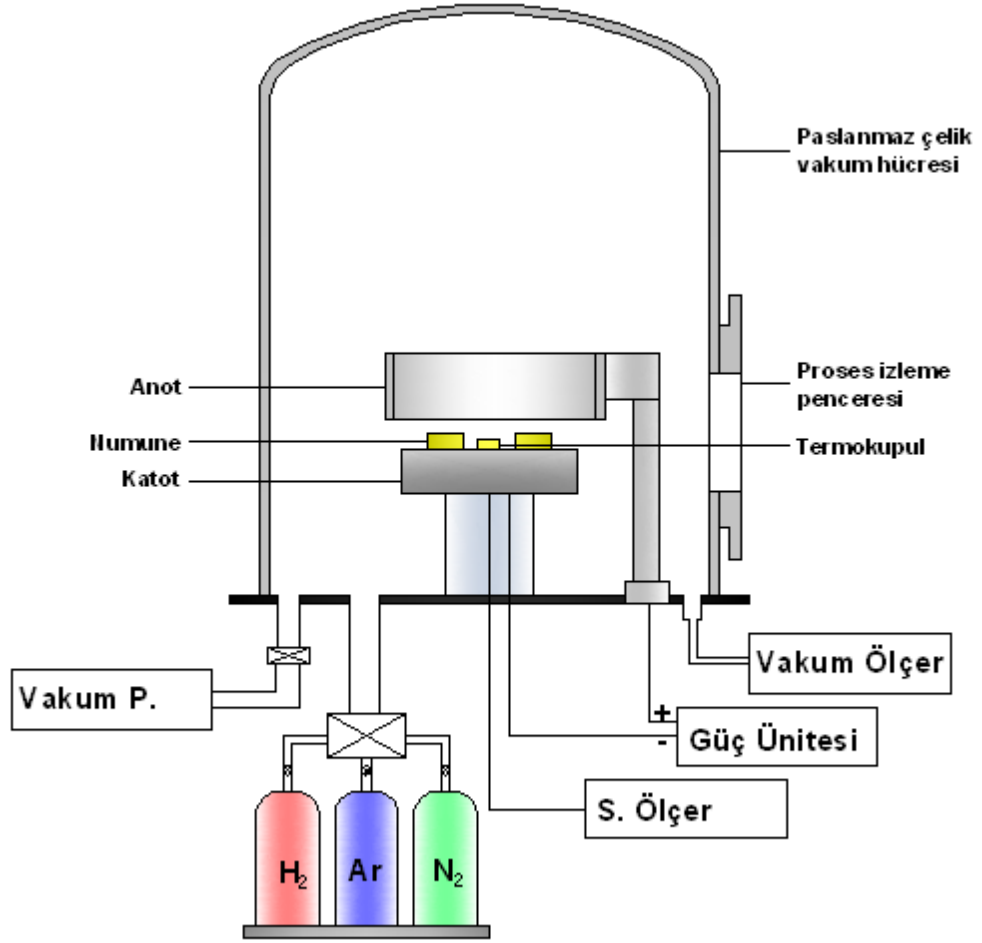
Yapılan bu çalışmada, aşağıda kimyasal kompozisyonu çizelgede 3.1’de verilen 316L paslanmaz çelik kullanılmıştır.

**Çizelge 3.1** Paslanmaz çeliğin kimyasal kompozisyonu

Çelik Tipi	Yüzde Bileşimi (%)					
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo
316L	0,01	1,76	0,21	17,2	15,3	2,7
	Cu	Nb	Ti	Al	Co	Fe
	0,514	0,0618	0,00814	0,0163	0,186	68,56

#### 3.2. Plazma ile Nitrürleme İşlemi

Plazma ile nitrürleme işlemi Atatürk Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde üretilen ve Şekil 3.1’de şematiği gösterilen iyon nitrürleme deney sisteminde yapılmıştır. Vakum pompası, gaz dağıtım sistemi, enerji kaynağı ve paslanmaz çelikten imal edilmiş vakum odasından oluşmaktadır. Vakum ortamına anot ve katot yerleştirilip numune tutucuda katot olarak kullanılmaktadır. Katota sıcaklığı ölçmek için termokupul bağlanmıştır. Numuneler silindirik bir anotla çevrilidir. Anotun yuvarlak olmasının nedeni oluşturulan plazmanın numunelere homojen olarak dağıtılması sağlamaktır.



**Şekil 3.1.** Plazma nitrüleme mekanizması (Yetim 2009)

Plazma ile nitrüleme işlemi aşağıdaki adımlarla gerçekleştirilmiştir.

- ❖ 15 mm çaplı numuneler 5 mm yüksekliğinde kesildikten sonra sırasıyla 80-1200 numaralı zımparalarla parlatıldıktan sonra sırasıyla 5 ve 3  $\mu\text{m}$ 'lik alimüna tozları iyice parlatma işlemine tabii tutuldu.
- ❖ Numuneler hazır hale getirildikten sonra etil alkol ile temizlendikten sonra numuneler tutucuya yerleştirildi ve vakum  $3 \cdot 10^{-2}$  mbar'a düşürüldü.
- ❖ İyon nitrüleme işlemine başlamadan önce hazırlanan numuneler üzerinde bulunabilecek kirlilikleri gidermek için, 375 V gerilim altında, 20 dakika süre ile ortalama  $\text{H}_2$  gazı ile saçılma işlemi yapıldı.
- ❖  $\text{H}_2$  gazı ortama verildikten sonra tekrardan vakuma alınır.
- ❖ Vakum ortamına %50 $\text{H}_2$  ve %50  $\text{N}_2$  gazları gönderilerek deneye devam edildi.

- ❖ Vakum odasının basıncı 500 Pa'la sabitlenmiştir.
- ❖ Elektriksel boşalma güç kaynağının açılmasıyla başlamıştır.
- ❖ Numunelerin sıcaklığı önceden belirlenen değerlerde sabitlendi bu sabitlemede  $\pm 5$  sıcaklık farkı olabilir.
- ❖ Belirlenen sıcaklığa ulaştığımız anda deney zamanı başlatılmıştır.
- ❖ Deneyi, belirlenen sürede işleme tabii tuttukten sonra enerji kaynağı kesildi fakat vakum ortamı, sıcaklık oda sıcaklığına ulaşana kadar vakum ortamı devam ettirildi.

Yapılan çalışmada 350, 375, 400, 425 ve 450°C sıcaklıklarında ve her bir sıcaklık değeri içinde 2 saatlik sürelerde plazma nitrüleme işlemi yapılmıştır. Deneyden sonra vakum devam ettirilip sıcaklığın, oda sıcaklığına düşmesi beklenmiştir.

### 3.3. SEM ve XRD Çalışmaları

Plazma ile nitrülenen 316L paslanmaz çelikler  $\lambda=1,5405\text{\AA}$  dalga boyuna sahip Cu – K $\alpha$  katot kullanılarak Rigaku Geigerflex XRD cihazı vasıtası ile belirlenmiştir. Cihazdan alınan sonuçlar JCPDS (Joint Committee on Powder Diffraction Standards) pik listeleri ile kıyaslanarak oluşan fazların bileşimleri (kompozisyonları) tespit edilmiştir. Numunelerin yüzeyden görünümü, içyapıları, aşınma izleri, korozyondan sonra oluşan yüzey görüntüleri Jeos 6400 ve Zeiss Evo-LS-10 markalı SEM (Taramalı elektron mikroskobu) kullanılarak gözlemlenmiştir. Metalurjik incelemeler yapabilmek için dağlama işlemi yapıldı. Bu işlemde 316L paslanmaz çelik için kullanılan kimyasal bileşimler şöyledir. 3 br Gliserin, 2br HCl, 1br HNO<sub>3</sub> kullanıldı. Dağlama esnasında istenilen yapının oluşup oluşmadığı Metkon optik mikroskobu ile incelenmiştir.

### 3.4. Mikrosertlik Ölçümü

Numunelere nitrüleme işlemi yaptıktan sonra 15mm çapa ve 5mm yüksekliğindeki numuneler 80-1200 numaralı SiC zımparalardan geçirildikten sonra 0,05  $\mu\text{m}$ 'lik alümina ile parlatılmıştır.

Mikrosertlik ölçümleri (100 g) altında ve 15 sn yükleme süresinde Buehler mikro sertlik cihazı ile en dış kısımdan başlamak üzere numune merkezine doğru her mesafede en az üç ölçüm alınmıştır. Yüzeyle yakın ölçülen ilk sertlik değeri yüzey sertliği olarak kabul edilirken, merkeze doğru çekirdek malzeme sertliğine ulaşılan kadar gidilen mesafe difüzyon derinliği olarak kaydedilmiştir.

### 3.5. Aşınma Deneyleri

Kontak halinde bulunan iki yüzeyde, malzemenin yüzeyinde malzemenin kopup ayrılması olayına aşınma denir. Bu durumda her iki yüzeyde ilk şekillerini kaybederler. Aşınma, adezif, abrazif, yorulma, korozif, fretting, katı partikül, akışkan veya kaviteasyon sonucu oluşan erozyon şeklinde meydana gelir. Tribolojik özellikleri belirlemek için Şekil 3.2’de şematik olarak gösterilen Turkyus PODTW&RWT pim-disk aşınma cihazı kullanılmıştır. 15 mm çapında 4 mm yüksekliğinde 6 mm çapında alimüna bilyeye karşı kuru sürtünme şartlarında aşındırılmıştır. Uygulanan pim – disk aşınma deney şartları Çizelge 3.2’de verilmiştir.

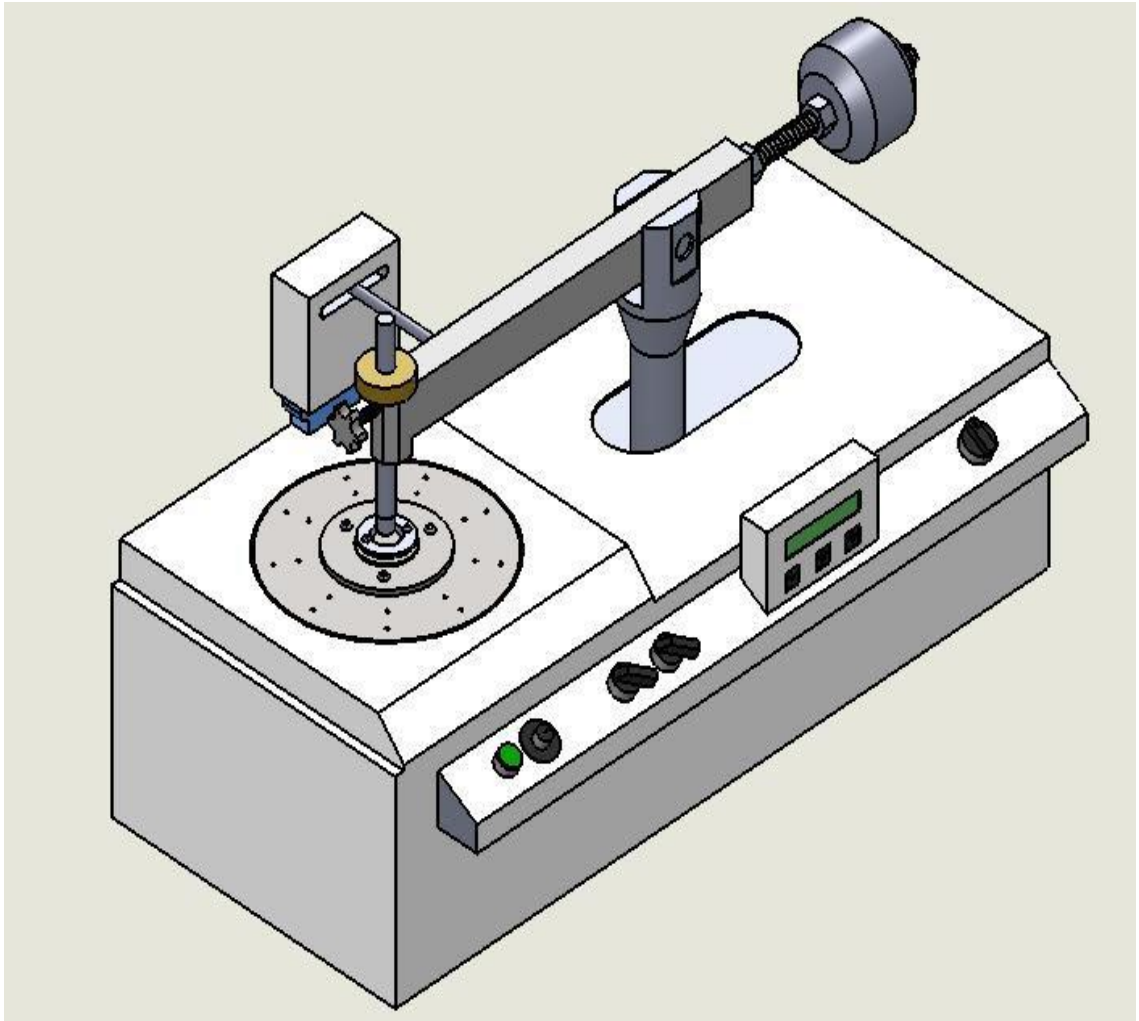
**Çizelge 3.2.** Aşınma deney şartları

Parametreler	Değerler
Uygulanan Yük	1 N
Aşınma izi çapı	13mm
Sıcaklık	22°C
Nem	%50
Aşındırma hızı	4.7 m/dak
Aşındırma süresi	1740
Aşındırma mesafesi	141 m

Yapılan deneylerde sürtünme katsayısı, cihaz tarafından otomatik olarak verilmektedir. Deneyden sonra yüzey pürüzlülüğü, Mahr marka yüzey profilometre ile ölçülmüştür. Kaplamanın aşınma oranı aşağıdaki formül yardımı ile hesaplanmıştır.

$$\text{Kaplama Aşınma oranı} = \frac{\text{Aşınulan hacim}}{\text{Uygulana yük} * \text{Aşınma mesafesi}} \quad (3.1)$$

$$\text{Aşınma mesafesi} = \text{Aşınma izinin çevresi} * \text{Devir sayısı} * \text{Aşınmanın zamanı} \quad (3.2)$$



Şekil 3.2. Pim- Disk aşınma cihazının şematik görünümü (Aslan 2011)

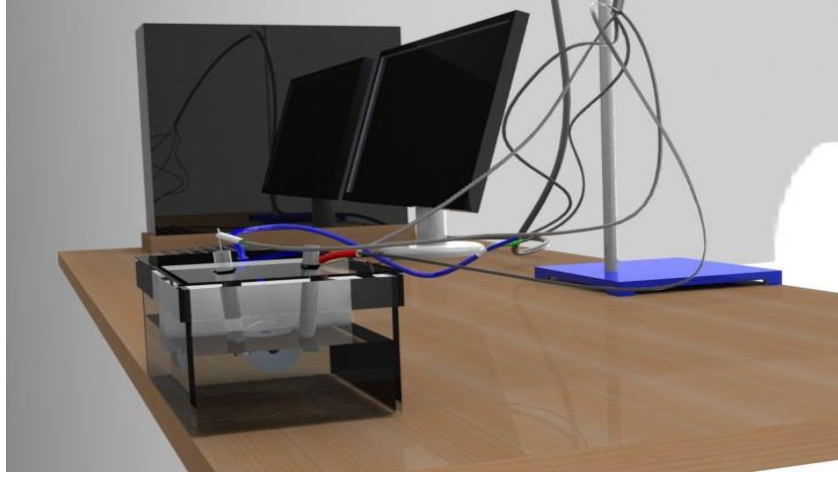
### 3.6. Korozyon Deneyleri

Korozyon, metalik malzemeler içerisinde bulunduğu ortam tarafından elektrokimyasal tahribata uğraması, yüzeyinden belli zaman sonra metalik parçaların kopması ve malzemenin fonksiyonunu yitirmesi olayı olarak tanımlanmaktadır. Korozyonun sebebi nötr haldeki metallerin son yörüngelerinde bulunan elektronlarını ortama vererek metalden ortama akım geçmesi korozyona neden olur. Korozyon deneylerini plazma ile nitrülenmiş 316L paslanmaz çeliğe korozyon özelliklerinin değişmesi gözlemlenmesi amacı ile gerçekleştirilmiştir. Korozyon deneyi için, pH'ı 7.4 ve çözelti sıcaklığı 36°C olan yapay vücut sıvısı kullanılmıştır. Kullanılan yapay vücut sıvısının içeriği Çizelge 3.3'te gösterilmiştir.

**Çizelge 3.3.** 1 litrelik SBF çözeltisinin hazırlanması için gerekenler (Kokubo *et al.* 1991)

Sıra	Reaktif	Miktar
1	NaCl	7.996 g
2	NaHCO <sub>3</sub>	0.350 g
3	KCl	0.224 g
4	K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> · 3H <sub>2</sub> O	0.228 g
5	MgCl <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O	0.305 g
6	1 kmol/m <sup>3</sup> HCl	40 cm <sup>3</sup>
7	CaCl <sub>2</sub>	0.278 g
8	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.071g
9	(CH <sub>2</sub> OH) <sub>3</sub> CNH <sub>2</sub>	6.057g
10	1 kmol/m <sup>3</sup> HCl	pH 7.4 için yeteri kadar

Deneyler GAMRY markasının Series G750<sup>TM</sup> Potansiyostat\Galvanostat\ZRA cihazında, Tafel Tekniği ve OCP (Açık devreli potansiyeli) Tekniği kullanılarak yapılmıştır. Polarizasyon ölçümleri Ag/AgCl referans elektrot, karşı elektrot durumunda ise grafit ve çalışma elektrotu olarakta deney numunesi kullanılmıştır. Korozyon test düzeneği Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



**Şekil 3.3.** Korozyon deney cihazı (Aslan 2011)

İlk önce numunelerin açık devre potansiyeli değişimi ölçülmüştür. Numuneler ile elektrolitlerin dengeye ulaşması için, SBF'nin içinde bulunan numuneler 2 saat bekletilmiştir. Korozyon hücresinden akımın geçmesi mümkün olmayacak kadar yüksek ise, devremiz açık devredir ve potansiyeli en büyük değerindedir. Bu potansiyel açık devre potansiyeli olarak adlandırılır. Devredeki direnç küçültülürse akım yavaş yavaş geçmeye başlar. Anot ve katotta potansiyel farklılıklar oluşur. Bu halde anot ve katot polarize olur. Tamamen korozyonun başlaması için polarizasyonun yeterli derecede oluşması gerekir.

### **3.7. Manyetizasyon Deneyleri**

Hazırlanan numuneler biyoyumluluk için kullanılacağından vücut sıcaklığı olan 36°C'de, magnetik mıknatıslanma ölçümleri alınmıştır. Bu ölçüm Hacettepe Üniversitesi Fizik Mühendisliği Bölümünde bulunan, Quantum Design Fiziksel Özellikler Ölçüm Sistemi (PPMS) kullanılmıştır. 2–400 K arasındaki sıcaklıklarda ölçüm alabilen PPMS cihazı, sıvı azot soğutmalı ve sıvı helyum tankı ile birlikte, Quantum Design Model 6000 kontrolcü, ölçüm problemleri ve manyetik alan kaynağından oluşmaktadır (Şekil 0.4).



**Şekil 3.4.** Fiziksel özellikler ölçüm sistemi

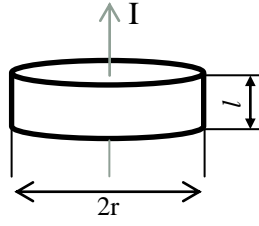
### 3.8. Elektriksel İletkenlik Ölçümü

Plazma nitrüleme ile elde ettiğimiz numunelerin elektriksel iletkenliği Atatürk Üniversitesi Fizik Bölümü'nde iki nokta yöntemiyle ölçülmüştür. Bu yöntemde altın (Au) proplar kullanılmıştır. Altın propların kullanılmasının sebebi, numune ile kontak halde bulunan propların kendi direncini minimum seviyeye düşürmek ve sadece numunenin direncini ölçmek amacıyla altın prop seçilmiştir. Numuneler 15mm çapında 5 mm kalınlığında hazırlanmış ve numuneler 0,05µm boyutundaki alümina tozları ile parlatılmıştır.

Belirli bir geometriye sahip olan malzemelerin direnç ifadesi aşağıdaki 3.3 denkleminde verilmiştir.

$$\rho = \frac{RA}{l} \quad (3.3)$$





**Şekil 3.5.** Üzerinden akım geçem numunenin görünüşü

Buradaki numune için alan değeri;

$A = \pi r^2$  dir ve bu ifade 3.4 denkleminde yerine yazılırsa;

$$\rho = \frac{R\pi r^2}{l} \quad (3.4)$$

ifadesi elde edilir. Elektriksel iletkenlikle öz direnç ters orantılı olduğundan;

$$\sigma = \frac{l}{R\pi r^2} \quad (3.5)$$

ifadesi elde edilir.

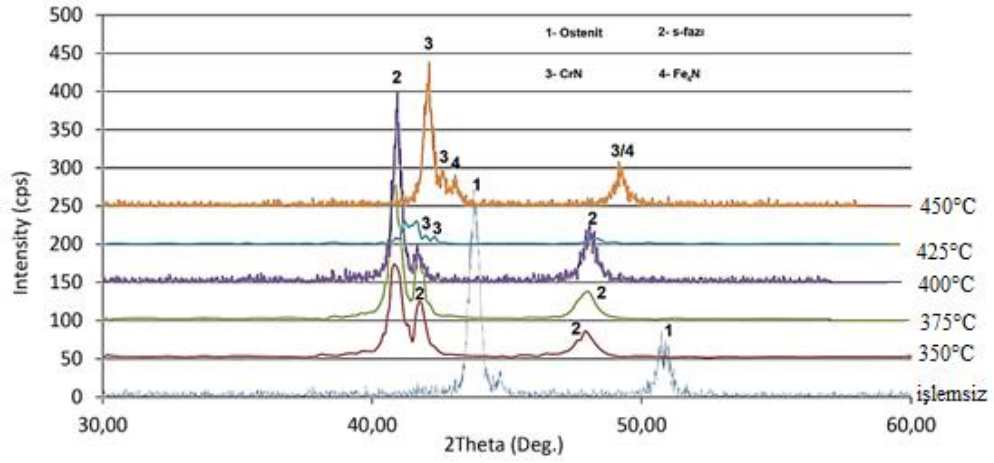
## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

### 4.1. S-fazının Yapısal Özellikleri

#### 4.1.1. XRD analizleri

İşlem görmemiş ve farklı işlem sıcaklıklarında 2 saat süre ile nitrülenmiş numunelere ait XRD grafikleri Şekil 4.1'de verilmiştir. XRD grafiklerinde, işlem görmemiş 316L paslanmaz çelikte yapının tamamen ostenit fazından oluştuğu görülmüştür. Plazma ile nitrülenmiş numunelerde ise işlem parametrelerine bağlı olarak modifiye olmuş tabaka içerisinde s-fazı, CrN ve  $\gamma'$ -Fe<sub>4</sub>N fazları meydana gelmiştir.

İşlemsiz 316L paslanmaz çeliği ostenitik paslanmaz çeliklerden olup, Şekil 4.1 incelendiğinde işlemsiz numunelerin yalnızca yüzey merkezli kübik (YMK) ostenit demire ait pikler verdiği tespit edilmiştir. Plazma ile nitrüleme sonrasında ise düşük sıcaklıklarda (350-400°C arasındaki sıcaklıklar) yapıda s-fazı olarak isimlendirilen bir fazın oluştuğu, daha yüksek sıcaklıklarda ise (425 ve 450°C) yapıda azot atomlarının Cr atomları ile bağ yapmasından dolayı CrN fazının oluştuğu gözlemlenmiştir. Şekil 4.1 detaylı bir şekilde incelendiğinde, düşük sıcaklıklarda yapılan nitrüleme sonucu oluşan s-fazının piklerin aslında daha düşük açılarda yansıyan ostenit pikleri olduğu görülmektedir. Bir başka ifade ile ostenit piklerinin bir blok halinde düşük yansıma açlarına kaydığı söylenebilir. Ostenit piklerinin düşük açılara kaymış hali, literatürde aşırı doymuş yarı kararlı bir faz olarak tanımlanan s-fazını oluşturmuştur. S-fazının oluşumu, azot atomlarının YMK ostenit kafesi içerisine yayınlaması sonucu ostenit kafesini genişletmesi ile açıklanmaktadır. Bu şekilde ostenit kafesinde meydana gelen fiziksel değişim ostenit piklerinin daha düşük yansıma açılarında oluşmasına neden olmuştur.



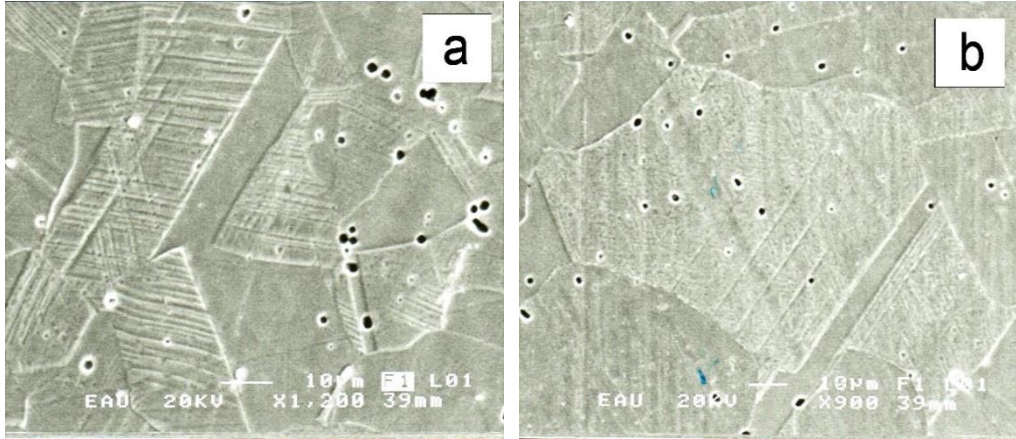
**Şekil 4.1.** İşlemsiz ve farklı sıcaklıklarda nitrülenmiş 316L paslanmaz çeliğinin XRD grafikleri

400°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda yapılan nitrüleme işlemlerinde yapıda  $\gamma'$ -Fe<sub>4</sub>N ve CrN fazlarının oluştuğu görülmüştür. İşlem sıcaklığının artması ile birlikte azot atomları yapıdan ayrılmaya başlar ve ortamdaki krom atomları ile birleşerek CrN çekirdeklerinin oluşmasına sebep olur. İşlem süresi arttıkça oluşan CrN çekirdekleri büyür (Singh *et al.* 2002). CrN fazı, aktivasyonu artan Cr atomları ile s-fazından ayrılan azot atomlarının birleşmesiyle oluştuğu için artan işlem süresi ve sıcaklığı, CrN miktarını artırırken s-fazı piklerinin şiddetinde azalmaya sebep olmuştur. Ayrıca sıcaklığın artışı yarı kararlı s-fazının, kararlı  $\gamma'$ -Fe<sub>4</sub>N fazına dönüşmesine sebep olur (Borgioli *et al.* 2005).

316L paslanmaz çeliği paslanmazlık özelliğini yapısında bulunan yüksek orandaki serbest Cr atomlarının oksijen atomları ile reaksiyonu sonucu yüzeyde oluşturduğu pasif oksit tabakası ile sağlamaktadır. XRD analizleri ile elde edilen veriler ışığında 316L paslanmaz çeliğine nitrüleme sonucu özellikler kazandırırken (sertlik, aşınma direnci gibi), paslanmazlık özelliğinin sağlanması için düşük sıcaklıklarda nitrülenmesi yani, yapıda s-fazının oluşturulması gerektiği tespit edilmiştir.

#### 4.1.2. İçyapı analizleri

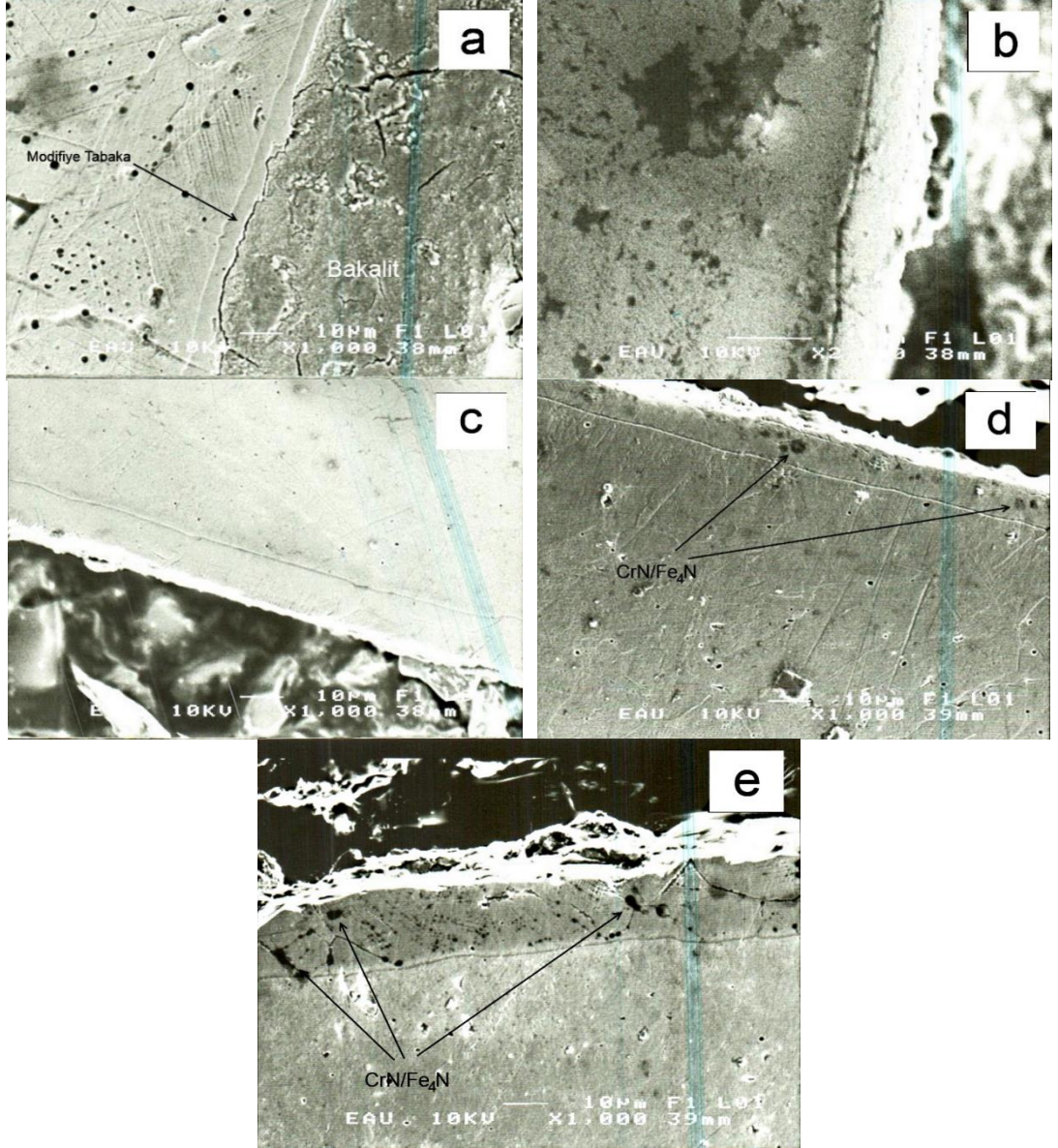
Nitrüleme işlemi sonrası 316L eliğinin içyapı analizleri yüzeyde oluşan modifiye tabaka mekanik olarak uzaklaştırdıktan sonra uygun bir dağlayıcı solüsyon kullanılarak yapılmıştır. İşlemsiz ve plazma ile nitrülenmiş numunelere ait SEM görüntüleri Şekil 4.2 ve 4.3'te verilmiştir. İşlemsiz numunelerde ostenitik yapı ve tipik ikiz oluşumları açık bir Şekilde görülmektedir. Ostenit taneleri ve 316L paslanmaz çeliğinin üretiminden gelen kayma bantları belirgindir (Şekil 4.2a). Nitrüleme işlemi sonrası oluşan yüzey özel bir morfoloji sergiler. Elde edilen yüzey plazma ile dağlanmış gibi görülmektedir. Bu dağlanmış görünüm hem nitrüleme öncesi yapılan katodik temizleme işlemi hem de nitrüleme sırasında oluşmaktadır (Şekil 4.2b) (Borgioli *et al.* 2005).



**Şekil 4.2.** 316L eliğinin yüzey morfolojisi  
a) İşlemsiz b) 450°C'de nitrülenmiş

Şekil 4.3'te farklı sıcaklıklarda 2 saat süre ile plazma ortamında nitrülenmiş numunelere ait kesitlerin SEM görüntüleri verilmiştir. SEM görüntülerinden, işlem sonrasında malzeme yüzeyinde taban malzeme ile belirgin bir çizgi ile ayrılmış, homojen bir kalınlığa sahip modifiye olmuş tabaka oluşumu gözlemlenmiştir. İşlem parametrelerine göre elde edilen tabaka kalınlıkları izelge 4.1'de verilmiştir. En düşük tabaka kalınlığı 350°C'de 2 saat nitrüleme sonucunda yaklaşık 3-4 µm ölçülürken, en yüksek tabaka kalınlığı yaklaşık 17 µm olarak 450°C'de nitrüleme sonucunda elde

edilmiştir. Oluşan tabaka kalınlığı işlem parametrelerine göre değişmektedir. İşlem sıcaklığı arttıkça, artan difüzyon ile birlikte oluşan tabaka kalınlığı da artmaktadır. Nitrüleme işlemi sonrası yüzeyde oluşan tabakanın mikroyapı özellikleri işlem sıcaklığına bağlı olarak farklılıklar göstermiştir.



**Şekil 4.3.** Nitrüleme işlemi sonrası oluşan modifiye tabaka

\*a) 350 b) 350 c) 400 d) 425 e) 450°C'de nitrülenmiş

Şekil 4.3a, b ve c'deki kesit resimlerinde, düşük sıcaklıklarda yapılan nitrüleme sonucunda oluşan tabaka ile iç bölgenin belirgin bir hat ile ayrıldığı ve tabakanın

homojen ve açık renkli bir görüntüde olduğu görülmektedir. Tabakanın açık renkte görülmesi, s-fazının kimyasal dağılayıcılara karşı dirençli olduğunun bir göstergesidir (Sun *et al.* 1999). İşlem sıcaklığı arttıkça Cr atomları ile azot atomları arasındaki bağ yapma eğilimi ısı aktivasyonunun etkisi ile artmakta ve azot atomları tercihen ostenit kafesi içerisinde yarı kararlı bir yapıda kalmaktansa, Cr atomları ile kararlı nitürler yapma eğilimine girmektedir. Bu yüzden 400°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda yapıda kararlı demir ve/veya krom nitür fazları oluşmaktadır. 400°C'nin üzerinde nitürleşmiş numunelerin kesit resimleri bu durumu desteklemektedir. Şekil 4.3d ve e'de nitürleme sonucu oluşan tabaka içerisinde bölgesel koyu renkli nitür noktacıkları oluşmuştur. İşlem sıcaklığının artması ile tabaka içerisindeki koyu renkli bölgelerin sayısı ve büyüklük olarak artma eğiliminde olduğu görülmektedir.

#### 4.1.3. Mikrosertlik analizleri

Yapılan mikrosertlik ölçümlerinde işlem görmemiş 316L çeliğinin sertliği 270-300 HV<sub>0,01</sub> olarak ölçülürken, plazma ile nitürleme sonucunda sertliği işlem sıcaklığı ile 4 kata kadar artan bir modifiye tabaka oluşmuştur. Plazma ile nitürleşmiş numunelerde, yüzey sertliğinin taban malzeme ile modifiye olmuş tabakayı birbirinden ayıran çizginin hemen altında taban malzeme sertliğine düştüğü, tabaka içerisinde ise sabit kaldığı görülmüştür. En düşük sertlik değeri ve tabaka kalınlığı 350°C'de nitürleşmiş numunelerde ölçülmüşken, en yüksek sertlik değeri ve tabaka kalınlığına 450°C'lik işlem sıcaklığı sonunda ulaşılmıştır. Plazma ile nitürleme sonunda elde edilen sertlik değerleri taban malzeme sertliğine ve işlem sonucu oluşan tabakanın kalınlığına bağlıdır. Tabaka kalınlığının artışı taban malzemenin tabaka sertliği üzerine etkisini azaltır ve daha yüksek sertlik değerleri elde edilmesine sebep olur (Çelik *et al.* 2007). Ölçülen yüksek sertlik değerleri nitürleme işlemi sonucu tabaka içerisinde oluşan fazlardan kaynaklanmaktadır. 400°C'ye kadar olan sıcaklıklarda yapıda ağırlıklı olarak s-fazı görülmektedir. S-fazı sertliğinin yüksek olması, azot atomlarının ara yer atomu olarak ostenit kafesini zorlamasına, dolayısıyla azot yoğunluğuna bağlıdır (Borgioli *et al.* 2006). Azot yoğunluğu arttıkça ostenit kafesi daha fazla çarpılmaya uğrayacak ve daha yüksek bir sertleşme etkisi beklenecektir. İşlem sıcaklığının artışı, yapıdaki azot

yoğunluğunu artırmakta ve daha yüksek sertlik değerlerinin elde edilmesi sağlanmaktadır. 400°C'nin üzerindeki sıcaklıkta ise s-fazının ayrıştığı ve CrN ve  $\gamma'$ -Fe<sub>4</sub>N fazlarının oluştuğu gözlemlenmiştir. Hem tabaka kalınlığının artışının getirdiği etki hem de s-fazının ayrışması ile elde edilen nitrürlerin s-fazından daha sert olmalarından dolayı yüksek sıcaklıklarda yapılan nitrüleme sonucu daha yüksek sertlik değerleri elde edilmiştir.

**Çizelge 4.1.** İşlemsiz ve plazma ile nitrürlenmiş numunelere ait sertlik, tabaka kalınlıkları ve yüzey pürüzlülük değerleri

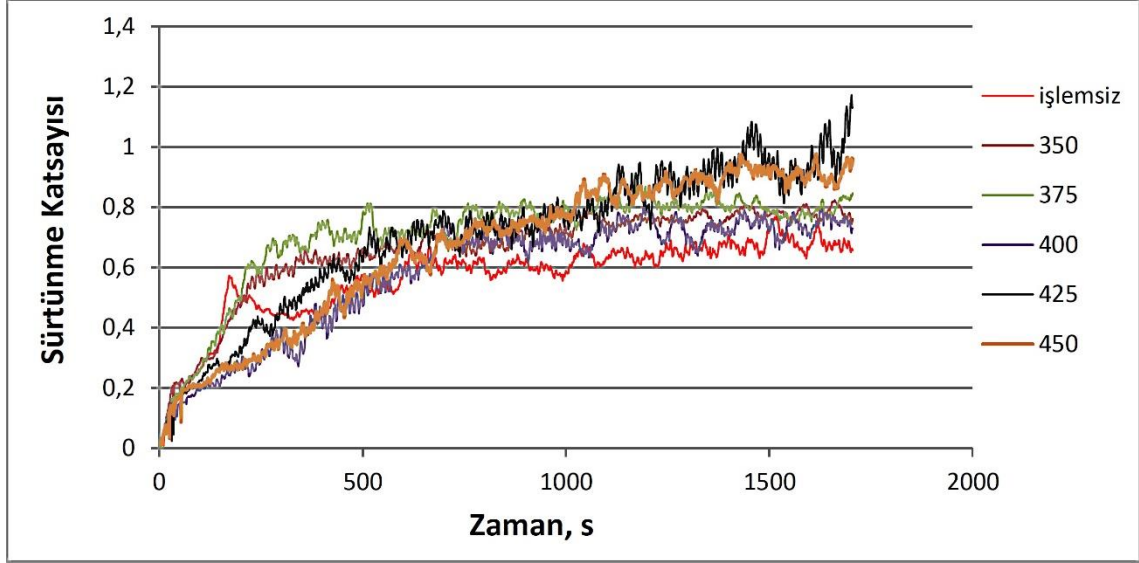
Plazma ile Nitrüleme Şartları	Sertlik (HV <sub>0.01</sub> )	Tabaka Kalınlığı (µm)	Yüzey Pürüzlülüğü (Ra) (µm)
350°C/2h	450-480	3-4	0,07
375°C/2h	540-570	5-6	0,09
400°C/2h	650-680	8-10	0,11
425°C/2h	950-1000	10-12	0,22
450°C/2h	1100-1150	15-17	0,34
İşlemsiz 316L	270-300	-	0,06

#### 4.2. S-fazının sürtünme ve aşınma analizleri

İşlemsiz ve farklı sıcaklıklarda nitrürlenmiş 316L çeliğinin tribolojik özellikleri pim-disk aşınma cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Aşınma testi sonrası elde edilen sürtünme katsayısı-zaman grafikleri Şekil 4.4'te verilmiştir. İşlemsiz numunenin ortalama sürtünme katsayısı 0.6 iken nitrüleme sonucu işlem parametrelerine göre yüzey pürüzlülüğündeki artışa paralel olarak sürtünme katsayısı ortalama 0.65-0.85 değerleri arasında değişmiştir. Şekil 4.4 incelendiğinde, işlemsiz numunelerin run-in period olarak isimlendirilen sürtünme davranışı sergilediği görülmüştür. Bu tip sürtünme davranışında, sürtünme katsayısı testin başında hızlı bir şekilde artmakta, daha sonra azalma eğilimine girmekte ve daha sonra ise kararlı bir şekilde testin sonuna kadar devam etmektedir. Şekil 4.4'teki işlemsiz numunenin sergilediği sürtünme katsayısı-



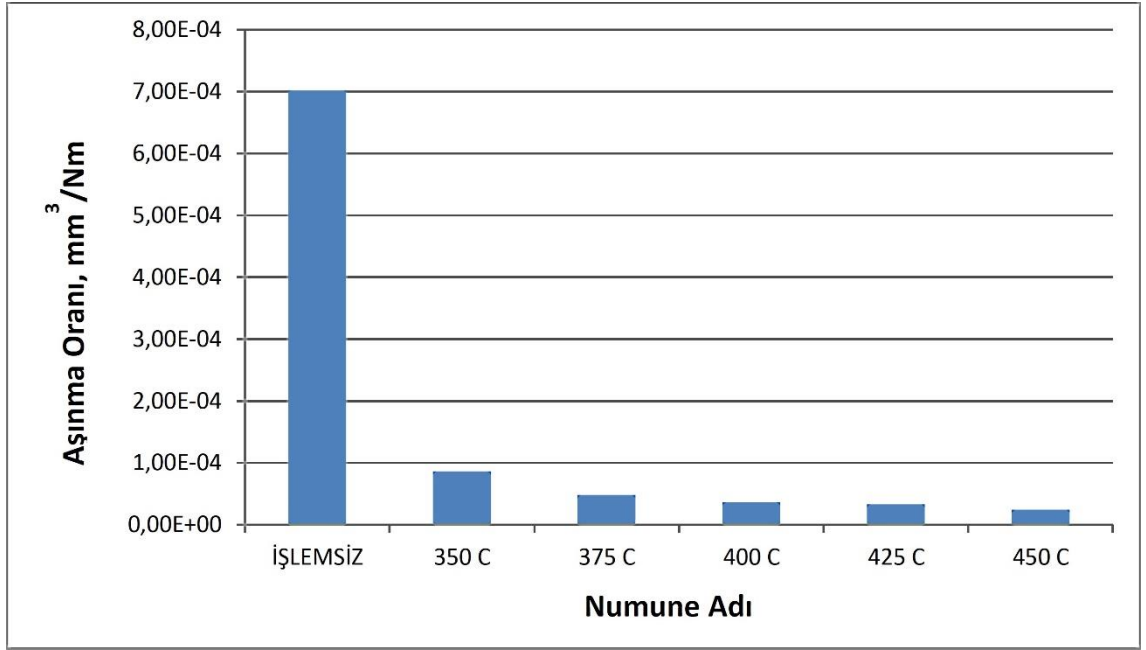
zaman grafiğine göre, sürtünme katsayısı testin ilk 200 saniyesinde hızlı bir artış göstermiş, 200-400 saniye arasında azalma eğilimine girmiş ve daha sonra testin sonuna kadar ortalama 0.6 değeri civarında kararlı halde devam etmiştir. Plazma ile nitrürlenmiş numunelerde ise böyle bir davranış tespit edilmemiştir.



**Şekil 4.4.** İşlemsiz ve nitrürlenmiş 316L çeliğinin sürtünme katsayısı-zaman grafiği

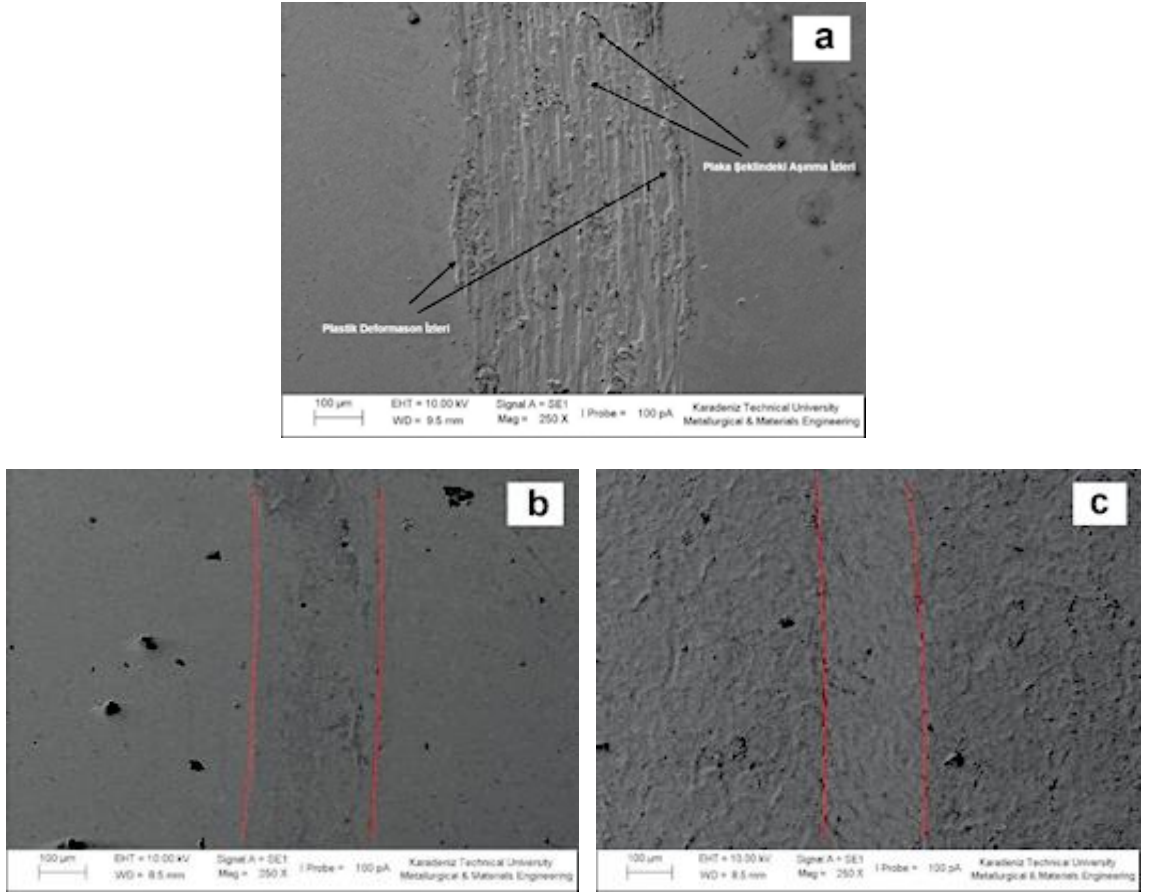
Aşınma testi sonrası, işlemsiz ve plazma ile nitrürlenmiş numunelerin hesaplanan aşınma oranları Şekil 4.5'te verilmiştir. 316L paslanmaz çeliğinin aşınma direncinin nitrüleme işlemi ile arttığı gözlemlenmiştir. Genel olarak düşük işlem sıcaklıklarında nitrürlenmiş numunelerde aşınma oranının, yüksek sıcaklıklarda nitrürlenmiş olan numunelere göre yüksek çıktığı, ancak işlem görmemiş numunelere göre ise azaldığı görülmektedir. Düşük sıcaklıklarda oluşan s-fazının 316L paslanmaz çeliğinin aşınma özelliklerini iyileştirdiği açıkça görülmektedir. Ancak s-fazının tabaka içerisinde baskın faz olduğu numunelerde elde edilen tabaka kalınlığı ve sertliğinin nispeten düşük olması yüksek sıcaklıklarda ve sürelerde nitrürlenmiş numunelere kıyasla aşınma direncindeki artışın az olmasına sebep olmuştur. İşlem sıcaklığı arttıkça yapıda görülen sert CrN ve Fe<sub>4</sub>N çift fazlı yapı ve tabaka kalınlığının artışı aşınma miktarının azalmasına neden olmuştur.





**Şekil 4.5.** İşlemsiz ve farklı parametrelerde nitrürlenmiş 316L paslanmaz çeliğinin aşınma oranı-sertlik ilişkisi

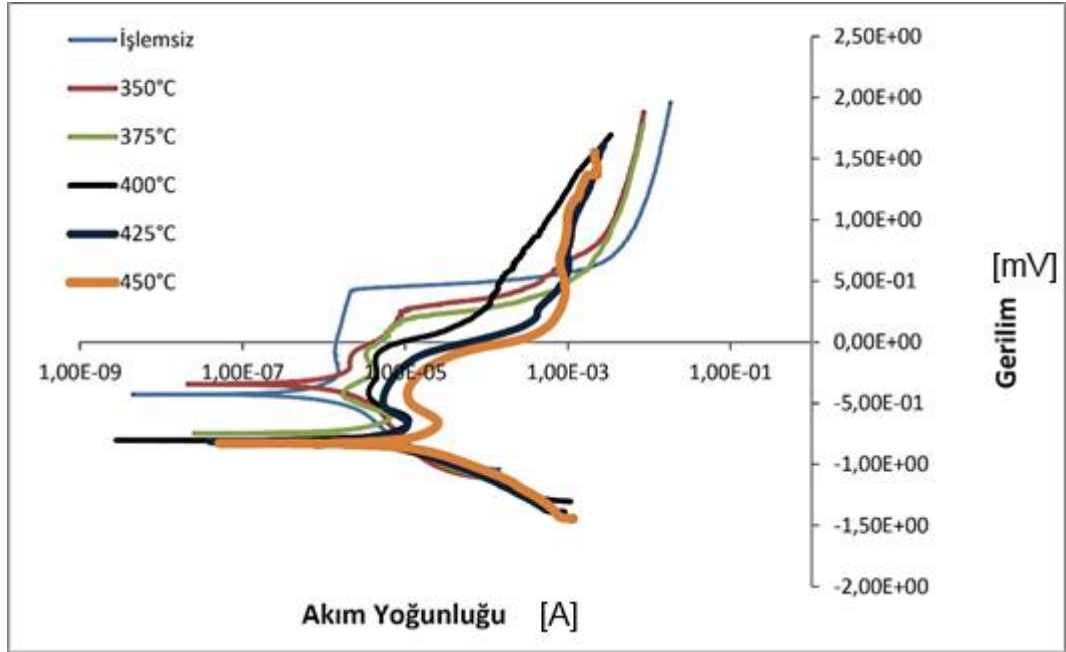
Şekil 4.6'da işlemsiz ve farklı sıcaklıklarda nitrürlenmiş numunelerin aşınma testi sonrası SEM görüntüleri verilmiştir. İşlem görmemiş numunelerin aşınma davranışı şiddetli adezif aşınma ile birlikte, abrazyon ve plastik deformasyon mekanizmalarının birleşimi şeklinde açıklanabilir. Aşınma izi üzerindeki plaka şeklindeki aşınma ürünleri adezif aşınmanın bir göstergesidir (Smith 1984). Bu durumun aşınma testi sırasında transfer olmuş malzeme veya aşınma ürünlerinin aşındırıcı bilye ile taban malzeme arasındaki sürtünme hareketinden dolayı plastik deformasyona uğraması sonucu oluştuğu söylenebilir. Aşındırıcı bilye ile numune arasında sıkışarak sertleşen aşınma ürünleri aşınma esnasında bilyenin kayma hareketi ile birlikte 316L paslanmaz çelik yüzeyi üzerinde abrasif kanallar oluşumuna sebep olmaktadır. İşlem görmemiş 316L paslanmaz çeliğinin aşınmış yüzeylerinde dikkat çeken diğer bir önemli nokta, aşınma sırasında meydana gelen aşırı plastik deformasyondur. Plastik deformasyon belirtileri aşınma iz kenarlarında açıkça görülmektedir. İz kenarlarında görülen yığılmalar, yumuşak olan paslanmaz çeliğin sert aşındırıcı bilye vasıtasıyla deforme edildiğini göstermektedir.



**Şekil 4.6.** Aşınma izlerinin SEM görüntüleri; a) İşlemsiz b) 350°C c) 450°C'de nitrürlenmiş

### 4.3. S-fazının korozyon analizleri

İşlemsiz ve farklı sıcaklıklarda nitrürlenmiş 316L paslanmaz çeliğinin akım yoğunluğu-gerilim eğrileri Şekil 4.7'de verilmiştir.



**Şekil 4.7.** İşlemsiz ve farklı sıcaklıklarda nitrürlenmiş 316L paslanmaz çeliğinin akım yoğunluğu-gerilim eğrileri

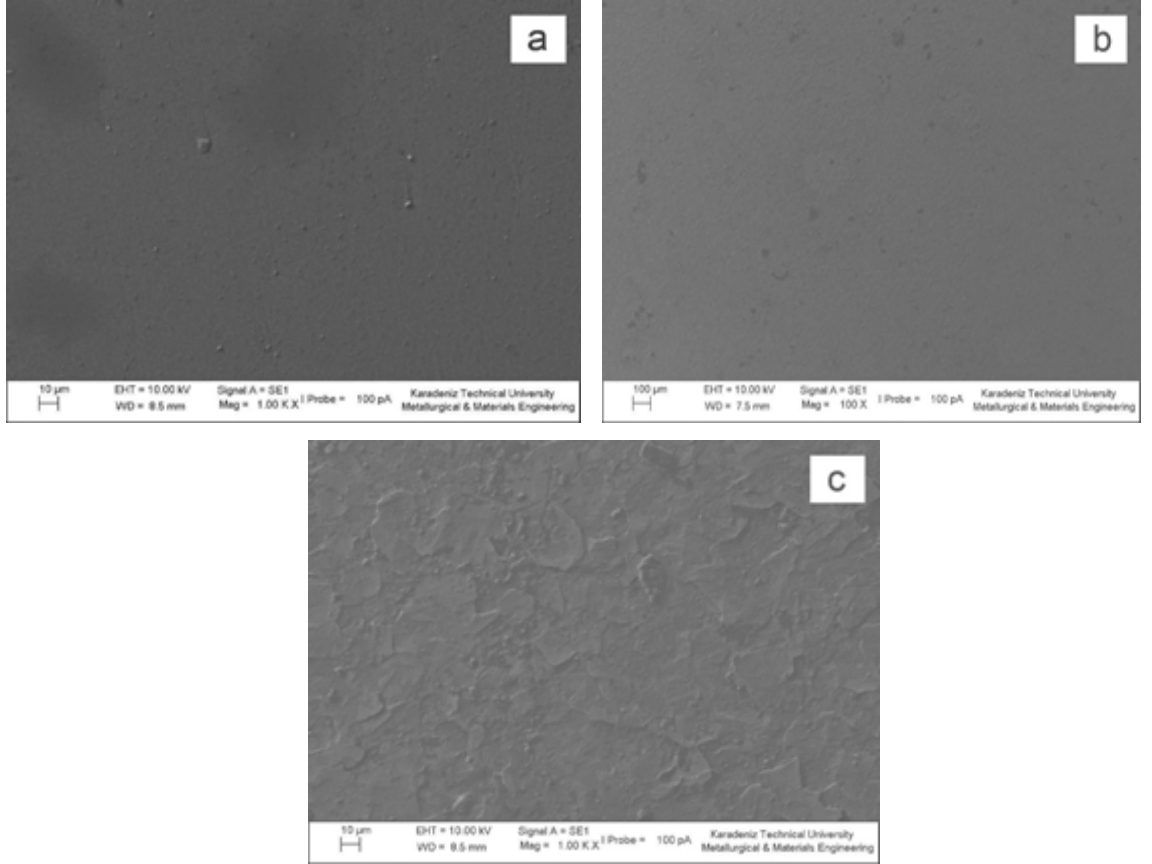
İşlemsiz 316L paslanmaz çeliği, polarizasyon eğrilerinde görüldüğü gibi çukurcuk korozyonuna karşı hassas pasif bir malzeme davranışı sergiler. İşlemsiz ve bazı şartlarda nitrürlenmiş 316L paslanmaz çeliğinin anodik polarizasyon eğrisi iki bölgeye ayrılabilir. Birinci bölgede nitrürlenmiş paslanmaz çeliğin ayrışması kinetik olarak sınırlandırılır ve anodik akım pasif bir davranış gibi potansiyelle yavaşça artar. İkinci bölgede ise, pasif filmin kırılması nedeniyle akımın hızla arttığı kritik potansiyelde (çukurcuk potansiyeli) başlayan trans pasif bölge vardır. Bu bölgeye genelde kırılma potansiyeli veya çukurcuk potansiyeli denir. Polarizasyon grafikleri incelendiğinde, nitrürlenmiş numunelerin korozyon potansiyellerinin işlemsiz numuneye göre düşük, fakat bununla birlikte anodik akım yoğunluklarının düşük olduğu görülmektedir (Yetim 2009).

Şekil 4.7'de işlemsiz numuneler ile plazma ile nitrürlenmiş numuneler karşılaştırıldığında, nitrüleme sıcaklığına bağlı olarak korozyon davranışlarının değiştiği görülmektedir. Yapılan korozyon testleri sonucunda nitrürlenmiş numunelerin korozyon davranışlarının modifiye olmuş tabaka kalınlığı ve işlem sonucu oluşan

fazların türü ve yoğunluğuna bağlı olduğunu söylenebilir. Düşük sıcaklıklarda yapılan nitrülenmiş numunelerde daha düşük korozyon akımları, buna karşın daha yüksek korozyon potansiyelleri elde edildiği görülmektedir. Bu durum düşük sıcaklıklarda yapılan nitrüleme sonrası oluşan s-fazının 316L paslanmaz çeliğinin korozyon özelliklerini kötüleştirmediğinin, aksine korozyon direncine katkıda bulunduğunu işaret etmektedir. Literatürde s-fazının korozyon direncine etkisi şu şekilde açıklanmaktadır: S-fazının korozyon özellikleri de sahip olduğu yüksek azot içeriğine bağlıdır. Bilindiği gibi, ostenitik paslanmaz çelikler içerisindeki az miktarda arayer azot atomu bile bu tür çeliklerin çukurcuk korozyonuna karşı dirençlerini önemli ölçüde artırır. Nitrüleme sonucu azot atomlarının ostenit kafesi içerisine arayer atomu olarak yerleşmesi sonucu s-fazı olarak isimlendirilen yeni bir faz oluşur. S-fazı içeren ostenitik paslanmaz çelik korozyona tabi tutulduğunda yapı içerisinde bulunan arayer azot atomu yapıdan ayrılır. Serbest kalan azot atomu  $H^+$  ile reaksiyona girerek  $NH_4^+$  oluşturur (Fossati *et al.* 2006). Bu katodik reaksiyon sonucu bölgesel olarak artan pH tekrar pasifleşmeyi (repassivation) hızlandırır. Burada serbest kalan azot miktarındaki artışın daha etkili bir yeniden pasifleşmeye sebep olacağı düşünülmektedir.  $400^\circ C$ 'nin üzerindeki sıcaklıklarda ise yapıda oluşan CrN ve bunun sebep olduğu serbest Cr miktarındaki azalma bu sıcaklıkta pasifleşmenin yetersiz olmasına ve hızlı korozyona sebep olmuştur. XRD sonuçları ile birlikte değerlendirildiğinde, yüksek sıcaklıklarda yapılan nitrüleme sonrası oluşan tabaka içerisinde baskın faz CrN fazıdır ve modifiye olmuş tabaka içerisinde yoğun miktarda CrN oluşumu paslanmaz çelik içerisinde Cr açısından zayıf bölgelerin oluşumuna dolayısıyla pasif oksit tabakasının bölgesel olarak kırılmasına sebep olmaktadır. Bu yüzden Cr açısından fakir olan bölgelerde çukurcuk korozyonu gözlemlenmektedir.

Yapılan SEM incelemeleri sonucunda tüm numunelerde etkin korozyon mekanizmasının çukurcuk tipi (pitting) korozyon olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.8). Korozyonun bu tipinde metal yüzeyinde çeşitli şekil ve boyutlarda çukurlar meydana gelmektedir. Metal yüzeyinde anot ve katot olmak üzere iki farklı bölge oluşur ve bu bölgeler birbirinden kesin sınırlar ile ayrılmışlardır. Anot metal yüzeyinde açılan çukurun içerisindeki dar bir bölge, katot ise çukurun çevresindeki geri kalan alandır.

Korozyon sonucu çukur gittikçe derinleşerek metalin o noktadan kısa sürede tahrip olmasına sebep olur. Bu nedenle çukur tipi korozyon, bilinen en tehlikeli korozyon türüdür. Korozyonun çok dar bölgeler üzerinde yoğunlaşması nedeniyle derin ve dar oyuklar şeklinde meydana gelir (Yetim 2009).



**Şekil 4.8.** Korozyona uğramış numunelere ait SEM görüntüleri

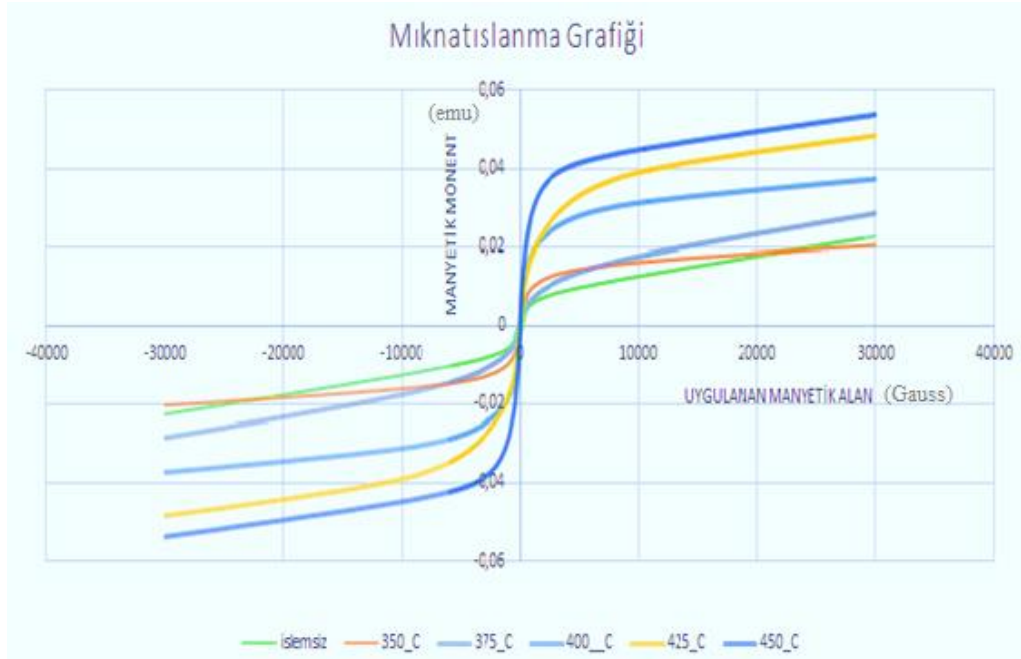
\* a) 350°C b) 400°C c) 450°C’de nitrürlenmiş

Şekil 4.8a, b ve c karşılaştırıldığında, düşük sıcaklıklarda yapılan nitrülemeler sonucunda yüzeyde meydana gelen hasarın yüksek sıcaklıklarda yapılan numunelere göre çok az olduğu görülmektedir. XRD grafikleri ile SEM görüntüleri birlikte değerlendirildiğinde, 400°C’ye kadar olan sıcaklıklarda tabakanın esas olarak s-fazından oluştuğu sıcaklığın artışı ile birlikte s-fazı ile beraber CrN çökeltilerinin oluşmaya başladığı ve sıcaklığın 450°C’ye ulaşması ile yapının ağırlıklı olarak CrN fazından oluştuğu gözlemlenmiştir. Yapının homojen olması korozyon açısından her

zaman faydalıdır. Tabaka içerisinde CrN ve  $\gamma'$ -Fe<sub>4</sub>N'ün birlikte oluşması bu nitrürlerin galvanik pil gibi davranmasına sebep olur (Fossati *et al.* 2006). Bu durum paslanmaz çeliğin korozyon direncini düşürmektedir. SEM incelemelerinde, XRD grafiklerini destekler şekilde işlemsiz ve 400°C de nitrürlenmiş numunelerin yüzeyinin birkaç bölgesel çukurcuk dışında neredeyse hiç korozyona uğramadığı görülmüştür (Şekil 4.8a ve b). İşlem sıcaklığının ve süresinin artışı ile yüzeyde çok sayıda çukurcuk oluştuğu, yüzeydeki tabaka kırılmış gibi sınırlar belirgin hale geldiği ve bazı bölgelerde ise film tabakasının pullanma eğiliminde olduğu görülmüştür (Şekil 4.8c).

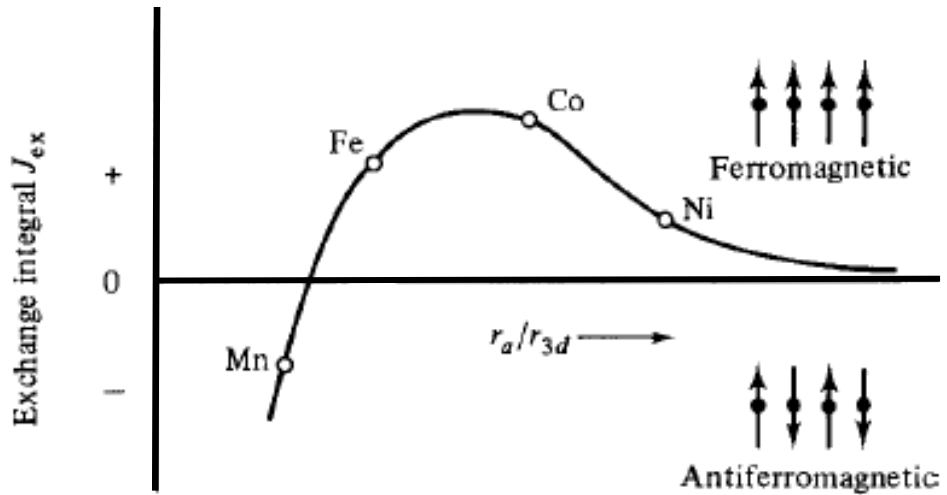
#### 4.4. Manyetik Ölçümler

Şekil 4.9'de hem işlem görmemiş hem de farklı işlem şartlarında plazma ile nitrürlenmiş 316L ostenitik paslanmaz çeliğine ait manyetik alınganlık analizi verilmiştir. İşlemsiz halde, yüzey merkezli kübik yapıya sahip olan 316L ostenitik paslanmaz çelik, 450°C'lik sıcaklığa kadar bu kafes yapısını koruduğu yapılan XRD analizlerinden belirlenmiştir. Nitrüleme işleminde uygulanan gerilim nedeniyle enerji kazanan N atomları difüzyon yöntemiyle çok yoğun bulunduğu ortamdan az bulunan ortam olan çeliğin içerisine yerleşmektedir. Difüze olan N atomları YMK yapıdaki kafes atomlarının arasına konumlanır. Burada Fe atomları ile bağ yapmadığı XRD sonuçlarından elde edilmiştir. Sonuç olarak bu N atomları Fe-Fe atomları arasındaki uzaklığı artırmaktadır. Bunun sonucu olarak kafes yapısı genişlemektedir. Miknatıslığı etkileyen parametreler arasında, atomlar arası mesafe büyük önem taşımaktadır (Öztürk *et al.* 2009). Bunun nedeni ise miknatıslığa sebep olan 3d ve 4s yörüngelerindeki çiftlenmemiş elektronların varlığıdır. Bu yörüngelerde bulunan çiftlenmemiş elektron sayısı ne kadar çoksa malzeme o kadar kuvvetli miknatıslık özelliği gösterir.



**Şekil 4.9.** Farklı sıcaklıklara bağlı olarak 316L paslanmaz çeliğin manyetiklik alınganlığı

Atomlar arası uzaklığa bağlı olarak manyetizasyon değişimi ilk kez Bethe-Slater tarafından tanımlanmış ve değişim grafiğinin aşağıdaki gibi olduğunu göstermiştir.



**Şekil 4.10.** Demir ve bazı element atomları arası uzaklığın, 3d ve 4s yörüngelerinin uzaklıkla değişiminin mıknatıslanmaya etkisi (McHenry *et al.* 1999)

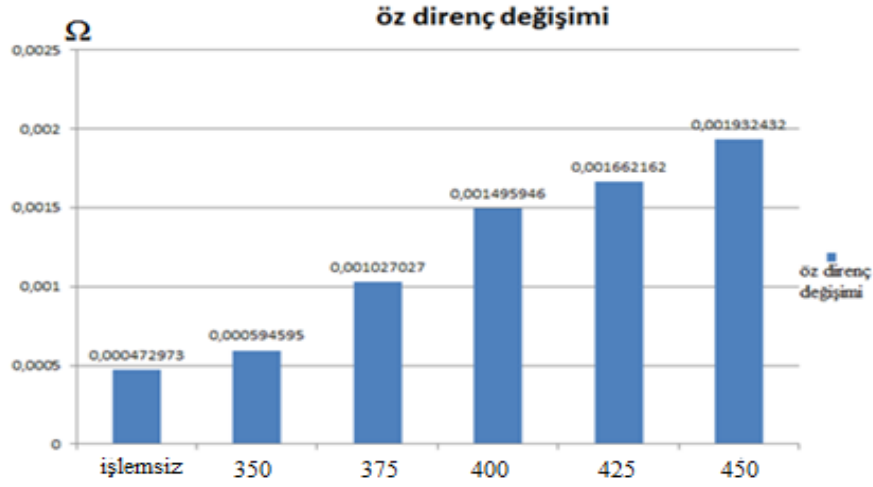
Bethe-Slater, atomlar arası uzaklığı  $r_a$  ile 3d yörüngesinin yarıçapını ise  $r_{3d}$  ile tanımlamıştır. YMK yapıdaki bir kristalde normalde demir (Fe) atomları birbirlerine temas etmektedir. Bundan dolayı iki tane demir (Fe) atomu arasındaki mesafe  $2r_a$  olur. Bu grafiğe göre eğer 3d yörüngelerinin yarıçapı değiştirilmeden, sadece aynı cins atom olan Fe atomlarının birbirlerine yaklaştırılırsa  $r_a / r_{3d}$  oranı azalır. Atomlar arası mesafe 3d yörüngeleri arası mesafeden büyük olduğu zaman mıknatıslanmaya katkıları pozitif ama küçük miktarlarda olmaktadır. Atomlar arası mesafeyi azalttıkça mıknatıslanmaya katkıları negatif yönde olmaktadır yani antiferromanyetiklik oluşur. İki atomun birbirini destekleyeceği konum ise atomların arasındaki uzaklığın, 3d orbitalinin yarıçapına oranının 1,5 olduğu noktada maksimum değerine ulaşır.

Yaptığımız çalışmada N atomları kafes yapısının içerisine girip atomlar arası mesafeyi artırmıştır. İşlem sıcaklığı artırıldıkça kafese difüze olan N atomlarının sayısı da artmaktadır. Böylece atomlar arası uzaklık mıknatıslanmaya katkıda bulunacak olan optimum değere doğru yaklaşmıştır. Hazırlanan numunelerin paralel olarak yönelen manyetik momentlerinin sayısı işlem sıcaklığı ile birlikte artış göstermiştir. Şekil 4.9'da işlem sıcaklığı arttıkça malzemenin daha kuvvetli ferromanyetik özellik göstermektedir. Ayrıca numunelerimiz daha yüksek değerlerde manyetik doygunluğa ulaşmıştır. Buna neden olarakta atomlar arası mesafenin artması gösterilebilir.

#### 4.5. Elektriksel Öz Direnç Ölçümleri

Birçok metalin elektriksel öz direncindeki önemli etmen, oda sıcaklığında elektronların örgü kusurları ile çarpışmasıdır. Bu büyük sayıdaki kusurlar ortalama serbest yolu değiştirir. Bunun neticesi olarak öz dirençte bir değişim gözlemlenir. Yapı içerisinde bulunan farklı atomlar safsızlığı azaltmakta ve malzemenin öz direncini artırmaktadır. Benzer şekilde malzeme içerisindeki boşluklar, dislokasyonlar ve tane sınırları gibi yüzey hatalarında metalin iletkenliğini azaltır. Şekil 4.11'te hazırlamış olduğumuz numunelerin öz direnç değişimi verilmiştir.





**Şekil 4.11.** Plazma ile nitrülenmiş 316L paslanmaz çelik numunelerinin öz direnç değişimleri

Şekil 4.11. incelendiğinde öz direnç değeri; en küçük olan işlemsiz numunedir. Uyguladığımız işlem sıcaklığındaki artış ile numunelere difüze olan nitrür atomlarının sayısındaki artış malzemenin yüzeyinde bir tabaka oluşturmaktadır. Oluşan bu tabakanın yapısı XRD analizleri ile incelendiğinde seramik bir yapıya sahip olan CrN'lerin varlığı görülmektedir. Seramik yapı malzemeler yalıtkan özellik göstermektedir. İletken malzeme içerisinde oluşan bu yalıtkan yapı, malzemenin öz direncinde artışa neden olduğu düşünülmektedir. Ayrıca elektronlar tek tip kristal yapılarında daha rahat hareket ederler. Nitrüleme işlemi sonrasında N atomlarının varlığı kristal yapıdaki çeşitliliği artırdığından iletkenliğide azaltmış olabilir. Ayrıca nitrüleme işleminde N atomları kafes yapısının aralarına girerek dislokasyonların artmasına neden olmaktadır. Bunun neticesinde elektronların ortalama serbest yolunu değiştirdiğinden dolayı öz dirençte artış gözlemlenmiş olabilir. Tane sınırlarındaki genişlemenin neticesi olarak numunede artık bası gerilmeleri olmakta ve yüzey pürüzlülüğünü artırmaktadır. Yüzey pürüzlülüğü iletkenlikte önemli olduğu için öz dirençteki artışa katkıda bulunmaktadır. Yukarıdaki Şekil 4.11'den açık bir şekilde görülmektedirki işlemsiz numuneye göre en yüksek işlem sıcaklığı olan 450°C'de ki öz direnç değeri yaklaşık olarak dört kat artmıştır. Metallerde elektronların çok hızlı hareket etmesinin nedeni valans bandı ile iletkenlik bandının birbirlerine bitişik olmasından dolayıdır. Yalıtkanlarda ve yarı iletkenlerde bu bantlar arası mesafe

büyüktür ve elektron bu aralığı aşarken enerjisinin belli bir kısmını kaybeder eğer enerjisi artarsa iletkenlik bandına ulaşmış ve elektron akışını devam ettirmiş olur.

## 5. SONUÇ

Sanayide, tıpta, savunmada vb. yerlerde kullanılan malzemelerin mekaniksel ve fiziksel özelliklerini, uygun duruma göre kullanmak için çeşitli işlemler yapılmıştır. Bu işlemlerden biri de plazma ile nitrürleme işlemidir. Bu işlem genelde demir esaslı malzemelerde tercih edilir. Son zamanlarda ise nitrürleme biyomalzemelerin üretiminde de kullanılmaya başlanmıştır. Yapılan bu çalışmada ostenitik 316L paslanmaz çelik kullanılmıştır. Bu çeliğe düşük sıcaklıklarda nitrürleme işlemi yapılmış ve s-fazının oluşumu amaçlanmıştır. Elde ettiğimiz numunelerin aşınma, sertlik, yüzey özellikleri, içyapı, korozyon, manyetik özellikleri ve elektriksel özellikleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

- Plazma ile nitrürleme işlemi sonrası malzeme yüzeyinde, yapısındaki faz içeriği işlem parametrelerine göre değişiklik gösteren modifiye olmuş tabaka elde edilmiştir. İşlem sıcaklığımız düşük sıcaklıklar olduğu için oluşan bu tabakadaki ağırlıklı faz s-fazıdır.
- İşlemsiz numunede görülen ostenit pikleri, düşük sıcaklıklarda plazma ile nitrürasyon sonucu azot difüzyonu etkisi ile daha düşük yansıma açlarına kaydığı ölçülmüştür.
- Yapılan yüzey işlemi sonrasında işlemsiz numunenin yüzey sertliği artmıştır. Numunenin yüzey sertlik değerleri yaklaşık olarak 450 – 1150 HK<sub>0.01</sub> dir. En yüksek sertlik değeri 450°C’de gözlemlenmiştir.
- Nitrürleme işlemi sonucunda numune yüzeyinde oluşan tabakanın belirgin bir hat ile taban malzemedan ayrıldığı ve tabaka içerisinde sertliğin sabit kaldığı görülmüştür.
- 316L paslanmaz çeliğinin aşınma direnci yapılan nitrürleme işlemi ile arttığı tespit edilmiştir. Nitrürleme işleminde işlem sıcaklığının artması ile aşınma direncinin de arttığı görülmüştür.
- Sürtünme katsayısı dikkate alındığında nitrürleme işleminden sonra numunenin yüzey pürüzlülüğü artmasından dolayı sürtünme katsayısı da artmıştır.
- 316L paslanmaz çeliğinin yüzey işlemi öncesi ve sonrası çukurcuk tipi korozyona karşı hassas olduğu görülmüştür.

- Düşük sıcaklıklarda yapılan nitrürleme işlemi sonucunda oluşan s-fazı malzemenin korozyon direncini artırmıştır.
- Normal halde ferromanyetik özellik gösteren işlemsiz 316L paslanmaz çeliği, yapılan bu nitrürleme işlemi sonrası oluşan numunelerin manyetik alınganlıklarında artma görülmüştür.
- Metallerin elektriksel iletkenliklerinin çok iyi olduğu bir gerçektir ancak yapılan bu nitrürleme işlemi sonrasındaki malzemelerin elektriksel öz dirençlerinde artma görülmüştür.

Bu çalışmada, korozyon özelliklerini incelemek için sadece SBF sıvısı kullanılmış ve yapılan bu yüzey işlemlerinin vücut sıvısı içerisindeki davranışları incelenmiştir. Bu çalışmaya ek olarak daha detaylı korozyon çalışmaları ve 316L paslanmaz çeliğin vücut içerisinde kullanılacağı *in vitro* ve *in vivo* şartlarda biyouyumluluk testlerinin incelenmesi gerekmektedir.

**KAYNAKLAR**

- Aslan, M., 2011. İmplant Malzemesi Olarak Kullanılan CoCrMo Malzemesinin Plazma Oksidasyonu. Yüksek Lisans Tezi. Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Bayrak, Ö., 2007. Plazma ile nitrülenmiş CoCrMo implant malzemenin yapısal ve tribolojik özelliklerinin incelenmesi, Y.Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum
- Bhushan, B. and Gupta, K.B., 1991, Handbook of Tribology. McGraw-Hill, U.S.A
- Borgioli, F., Fossati, A., Galvanetto, E., Bacci, T., 2005. Glow-discharge nitriding AISI 316L austenitic stainless steel: influence of treatment temperature, Surface and Coating Technology, 200, 7, 2474-2480
- Borgioli, F., Fossati, A., Galvanetto, E., Bacci, T., Pradelli, G., 2006. Glow-discharge nitriding of AISI 316L austenitic stainless steel: influence of treatment pressure, Surface and Coating Technology, 200, 18-19, 5505-5513
- Celik, A., Arslan, Y., Yetim, A.F., Efeoglu, I., 2007. Fatigue behaviour of duplex treated AISI 316L stainless steel, Kovove Materialy, 45, 35-40
- Doruk, İ., 2005, "Gıda sanayinde kullanılan paslanmaz çelikler ve bu çeliklere uygulanan kaynak yöntemleri", Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üni.,Fen Bil.Ens., Denizli.
- Fırat, M., 1998, "AISI 304,310,316 ve 430 tip paslanmaz çeliklerin sulu ortamdaki korozyon davranışlarına etkileri", Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üni.,Fen Bil.Ens., Niğde, Haziran.
- Fossati, A., Borgioli, F., Galvanetto, E., Bacci, T., 2005. Glow-discharge nitriding of AISI 316L austenitic stainless steel: influence of treatment time, Surface and Coating Technology, 200, 11, 3511-3517
- Fossati, A., Borgioli, F., Galvanetto, E., Bacci, T., 2006. Corrosion resistance properties of glow-discharge nitrated AISI 316L austenitic stainless steel in NaCl solutions, Corrosion Science, 48, 6, 1513, 1527
- Gümüşderelioğlu, M., 2002. Biyomalzemeler, Bilim Teknik, Temmuz.
- K. A. Gallagher, M. A. Willard, V. N. Zabenkin, D. E. Laughlin, and M. E. McHenry Journal of Applied Physics, S0021-8979(99)76608-9
- Haefler, R., 1987. Oberflächen- und Dünnschicht-Technologie, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo.
- Jeong, B., Kim, M., 2001. Effects of pulse frequency and temperature of the nitride layer and surface characteristics of plasma nitrated stainless steel, 137, 249-254
- Karadeniz, S., 1990. Plazma Tekniği. TMMOB, MMO, Yayın no:137, Ankara
- Kayalı, Y. 2011. Borlanmış AISI 316 L Paslanmaz Çeliğin Korozyon ve Aşınma Davranışlarının İncelenmesi. Doktora Tezi. Afyon Kocatepe Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Afyon
- Kim, H., Jung, D. H., Park, B., Yoo, K. C., Lee, J. J., Joo, J. H., 2005. The effect of the substrate bias voltage and the deposition pressure on the properties of iamondlike carbon produced by inductively coupled plasma assisted chemical vapor deposition, Surface and Coating Technology, 193, 255-258
- Kimya Ders. [http:// www.kimyaders.net](http://www.kimyaders.net) (19.04.2013).

- Kokubo, T., Kushitani, H., Sakka, S., Kitsugi, T., and Yamamuro, T., 1990. Solutions able to reproduce in vivo surface-structure changes in bioactive glass-ceramic AW, J. Biomed. Mater. Res., 24, 721-734.
- Öztürk, O., 2009. Structural and magnetic characterization of plasma ion nitrided layer on 316L stainless steel alloy. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 267 (2009) 1540–1545
- Pasinli, A., 2004. Biyomedikal uygulamalarda kullanılan biyomalzemeler, Teknolojik Araştırmalar, 4, 25-34
- Porikli, S., 2009. Dış manyetik alanda 3d ve 4d grubu geçiş elementlerinin k tabakası x-ışını şiddet oranı ve emisyon çizgileri üzerine kimyasal etkilerin araştırılması. Doktora Tezi. Atatürk Üni. Fen Bil. Enst. Erzurum.
- Singh, V., Marchev, K., Cooper, C.V., Meletis, E.I., 2002. Intensified plasma-assisted nitriding of AISI 316L stainless steel, Surface and Coating Technology, 160, 249-258
- Smith, A.F., 1984. The friction and sliding wear of Unlubricated 316 stainless steel at room temperature in air, Wear, 96, 3, 301-318
- Sun, Y., Bell, T., 1998. Sliding wear characteristics of low temperature plasma nitrided 316 austenitic stainless steel, Wear, 218, 34-42
- Sun, Y., Li, X.Y., Bell, T., 1999. X-ray diffraction characterisation of low temperature plasma nitrided austenitic stainless steel, Journal of Materials Science, 34, 4793-4802
- Tosun, M., 2012. Micro and Nano Effects of Plasma Nitridation on Material Properties of 316L Austenitic Stainless Steel. 20-21 Ekim 2011 tarihlerinde Makina Mühendisleri Odası tarafından İstanbul'da düzenlenen Geleceğin Teknolojileri Sempozyumu'nda sunulan bildiri.
- Türkyılmazoğlu, A., 2006. “Dubleks, martenzitik ve ferritik paslanmaz çeliklerin kaynağı”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üni., Fen Bil. Ens., Sakarya.
- Yetim, A.F., 2009. Biyomalzeme olarak kullanılan AISI316L paslanmaz çelik ve Ti6Al4V alaşımının plazma ile nitrüleme davranışı, Ti-DLC ince film kaplama ile karşılaştırılması. Doktora Tezi. Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Yılmaz, Ş., 1997. Volkanik bazalt kayalarından cam-seramik malzeme üretim koşullarının araştırılması ve özelliklerinin incelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

## ÖZGEÇMİŞ

1989 yılında Erzurum'un Pasinler ilçesinde doğdu. İlköğrenimini Vali Vefik Kitapçıgil İlköğretim okulunda, liseyi Adnan Menderes Lisesinde tamamladı. 2007 yılında Atatürk Üniversitesi Fizik Bölümü'nü kazandı ve 2011 yılında bu bölümden mezun oldu. Aynı yıl Atatürk Üniversitesinde Fen Bilimleri Enstitüsü Nanobilim ve Nanomühendislik Ana Bilim Dalı, Nanomalzeme Bilim Dalında yüksek lisansa başladı.