



**AISI-N-AISI O KAPLAMALARIN ÜRETİLMESİ,  
YAPISAL VE TRİBOLOJİK ÖZELLİKLERİN  
ARAŞTIRILMASI**

**Kübra YILDIZ**

**Yüksek Lisans Tezi  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı  
Danışman: Doç.Dr. Hikmet ÇİÇEK**

**2021**

**Her hakkı saklıdır.**



**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**AISI<sub>N</sub>-AISIO KAPLAMALARIN ÜRETİLMESİ, YAPISAL VE TRİBOLOJİK  
ÖZELLİKLERİN ARAŞTIRILMASI**

**Kübra YILDIZ**

**Tez Danışmanı: Doç.Dr. Hikmet ÇİÇEK**

**Anabilim Dalı: Makine Mühendisliği**

**Erzurum**

**2021**

**Her hakkı saklıdır**

## **ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI**

Erzurum Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki tüm bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

06 / 09 / 2021

Kübra YILDIZ

## ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

### **AlSiN-AlSiO KAPLAMALARIN ÜRETİLMESİ, YAPISAL VE TRİBOLOJİK ÖZELLİKLERİN ARAŞTIRILMASI**

Kübra YILDIZ

Erzurum Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Doç.Dr. Hikmet ÇİÇEK

Bu çalışmanın amacı AlSiN ve AlSiO kaplamaların sıçratma tekniği kullanılarak üretilmesi ve yapısal, mekanik ve tribolojik özelliklerinin araştırılmasıdır. Kaplama işleminde AlSiN ve AlSiO için %5, %10, %15 miktarlarında azot ve oksijen gazları kullanılmıştır. AISI D2 çelik taban malzemeler üzerine AlSiN(%5, %10, %15 Azot) ve AlSiO(%5, %10, %15 Oksijen) çok katmanlı kaplamalar yapılmıştır. Filmler ilk üretildiğinde amorf yapıda olduğu tespit edilmiştir. Kristal yapı elde etmek için ısıtma işlemi uygulanması gerekmektedir. AlSiN(%5, %10, %15 Azot) ve AlSiO(%5, %10, %15 Oksijen) kaplamaların kristal hale getirilmesi için 550°C de 2 saat ısıtma işlemi yapılmıştır. Filmlerin tribolojik, yapısal, mekanik özelliklerini belirlemek için XRD, aşınma testi, ısıtma işlemleri, Knoop mikro sertlik test cihazı, 3D Profilometre, SEM ve EDS analizleri yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen verilerden AlSiN- AlSiO kaplamalarda %5 Azot - Oksijen, %10 Azot - Oksijen, %15 Azot - Oksijen şeklinde karşılaştırmalar yapılmıştır. %5, %10, %15 Azot ve benzer şekilde %5, %10, %15 Oksijen miktarıyla elde edilen kaplamalar kendi içlerinde de karşılaştırılmıştır. En yüksek sertlik değeri 595 HK ve en düşük sürtünme katsayısının ise 0.47 olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca en düşük aşınma oranı için  $7.85 \times 10^{-5}$  değeri elde edilmiştir.

**2021, 61 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** AlSiN- AlSiO, Aşınma, Sertlik, Kaplama, Sürtünme

## ABSTRACT

MS. Thesis

### DEPOSITION OF ALSiN-ALSiO COATINGS, INVESTIGATION OF STRUCTURAL AND TRIBOLOGICAL PROPERTIES

Kübra YILDIZ

Erzurum Technical University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Doç.Dr. Hikmet ÇİÇEK

The aim of this study is to produce AlSiN and AlSiO coatings using sputtering technique and to investigate their structural, mechanical and tribological properties. In the coating process, 5%, 10%, 15% nitrogen and oxygen gases were used for AlSiN and AlSiO coatings. AlSiN(5%, 10%, 15% Nitrogen) and AlSiO(5%, 10%, 15% Oxygen) multi-layer coatings were made on AISI D2 steel base materials. It was determined that the films were in amorphous structure when they were first produced. To obtain a crystal structure, heat treatment is required. Heat treatment was carried out at 550°C for 2 hours to crystallize the AlSiN(5%, 10%, 15% Nitrogen) and AlSiO(5%, 10%, 15% Oxygen) coatings. XRD, abrasion test, heat treatments, Knoop microhardness tester, 3D Profilometer, SEM and EDS analyzes were performed to determine the tribological, structural and mechanical properties of the films. Comparisons were made with the data obtained as a result of the experiments as 5% Nitrogen - Oxygen, 10% Nitrogen - Oxygen, 15% Nitrogen - Oxygen in AlSiN - AlSiO coatings. The coatings obtained with 5%, 10%, 15% Nitrogen and similarly 5%, 10%, 15% Oxygen were also compared among themselves. It was determined that the highest hardness value was 595 HK and the lowest friction coefficient was 0.47. In addition,  $7.85 \times 10^{-5}$  value was obtained for the lowest wear rate.

**2021,61 page**

**Keywords:** AlSiN- AlSiO, Wear, Hardness, Coating, Friction

## TEŞEKKÜR

Tez alıŐmam boyunca her konuda yardım eden, alıŐmamım her kısmında destek olan bugünlere gelmemde yol gösterip emek veren danışman hocam Doç. Dr. Hikmet ÇİÇEK'e teŐekkürü bir borç bilirim. Bu süreçte bilgi ve görüşlerinden faydalandığım Öđr. Gör. Mustafa YAZICI' ya teşekkür ederim.

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu alıŐma Bilimsel Araştırma Projeleri(BAP) 2020/01 nolu proje kapsamında Erzurum Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde yapılmıştır. Bu tez çalıŐmasının yapılmasında katkıda bulunan, BAP kurumuna teşekkür ederim.

Eđitim hayatımın her kısmında, her türlü manevi desteğini eksik etmeyen değerli aileme, özellikle her konuda yardım eden biricik kardeŐim Öđr. Gör. Dr. Tuđba YILDIZ'a, annem Yurdađul YILDIZ'a ve babam Gürsel YILDIZ'a sonsuz teŐekkürlerimi sunarım.

**Kübra YILDIZ**  
**Eylül 2021**

## İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>iii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iv</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	<b>vi</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>vii</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	<b>ix</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1. Tezin Amacı .....	2
<b>2. KAYNAK ÖZETLERİ</b> .....	<b>3</b>
2.1. Adezyon Aşınması .....	4
2.2. Abrazif Aşınması .....	4
2.3. Yorulma Aşınması .....	5
2.4. Korozyon Aşınması.....	6
2.5. Kimyasal Buhar Kaplama (CVD) .....	16
2.6. Fiziksel Buhar Kaplama (PVD) .....	16
2.6.1. Termal (dirençli) buharlaştırma yöntemi .....	22
2.6.2. Elektron demeti buharlaştırma yöntemi .....	22
2.6.3. İyon kaplama yöntemi.....	22
2.6.4. Sıçratma ile kaplama .....	23
2.7. Thornton'un Büyütülen Filmler İçin Yapı-Bölge Modeli.....	26
<b>3. MATERYAL ve YÖNTEM</b> .....	<b>29</b>
3.1. Kaplama Prosesleri.....	29
3.2. Yapısal Özelliklerin Analizleri .....	31
3.2.1. Isıl işlem .....	31
3.2.2. X-Ray difraktometre (XRD) analizleri .....	32
3.2.3. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve enerji dispersiv spektrumu (EDS) analizleri .....	33
3.3. Mekanik ve Tribolojik Özelliklerin Analizleri .....	34
3.3.1. Mikro sertlik.....	34
3.3.2. Aşınma testi.....	35

3.3. 3D Profilometre Analizleri.....	36
<b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....</b>	<b>37</b>
4.1. Yapısal Özellikler.....	37
4.2. Mekanik Özellikler.....	44
4.3. Tribolojik Özellikler.....	45
<b>5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....</b>	<b>55</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>57</b>



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<b><u>Simgeler</u></b>	<b><u>Açıklama</u></b>
°	Derece
C	Çevrim zamanı (dakika)
$EB_{ij}$	İşlemin en erken başlama zamanı
g	Yerçekimi ivmesi
K	Kelvin
m	Metre
P	Basınç

### **Kisaltmalar**

CoF	Sürtünme Katsayısı
CVD	Kimyasal Buhar Kaplama
EDS	Enerji Dispersiv Spektrumu
HK	Knoop Sertlik Değeri
İ	İyonik
K	Kovalent
M	Metalik
PVD	Fiziksel Buhar Kaplama
Ra	Yüzey Pürüzlülük Değeri
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
XRD	X-Ray Difraktometre

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Aşınma safhaları .....	3
Şekil 2.2 .Adezyon aşınmada malzeme transferi .....	4
Şekil 2.3. Abrazif aşınma mekanizması.....	5
Şekil 2.4. Yorulma aşınma mekanizması.....	6
Şekil 2.5. Korozyon aşınması .....	7
Şekil 2.6. Kaplama-taban malzeme. ....	9
Şekil 2.7. Mor Al(Si) atomları, koyu mavi azot atomlarını temsil etmektedir. ....	13
Şekil 2.8. Kaplama çeşitleri .....	19
Şekil 2.9. a) vakum buharlaştırma tekniği b) ve c) plazma ortamında sıçratma ile kaplama tekniği, d) vakumda sıçratma ile kaplama tekniği, e) plazma ortamında termal buharlaştırma ile iyon kaplama tekniği, f) sıçratma ile iyon kaplama tekniği, g) ark buharlaştırma ile iyon kaplama tekniği, h) iyon demeti destekli kaplama tekniği.....	21
Şekil 2.10. İyon kaplama yöntemi .....	23
Şekil 2.11. Sıçratma mekanizması.....	24
Şekil 2.12. Sıçratma yöntemi.....	24
Şekil 2.13. Yapı-bölge modelleri.....	26
Şekil 2.14. Fiziksel süreçlerin üst üste binmesini gösteren şematik gösterim sonucu yapısal bölgeler oluşturur. ....	27
Şekil 3.1. Sıçratma sistemi.....	30
Şekil 3.2. Zımpara cihazı .....	31
Şekil 3.3. Atmosfer kontrollü ısıtma fırını.....	32
Şekil 3.4. XRD cihazı .....	33
Şekil 3.5. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve enerji dispersiv spektrumu (EDS) .....	34
Şekil 3.6. Mikro sertlik cihazı ( Shimadzu HMV G20).....	35
Şekil 3.7. Bruker-UMT (Bruker universal mechanical tester) aşınma cihazı.....	35
Şekil 3.8. 3D profilometre ( Bruker Contour GT) .....	36
Şekil 4.1. Isıl işleme uygulandıktan sonra numuneler.....	37
Şekil 4.2. AlSiN XRD grafiği.....	38
Şekil 4.3. AlSiO XRD grafiği.....	39
Şekil 4.4. AlSiN (%5 azot) SEM yüzey ve kesit görüntüleri.....	41

Şekil 4.5. AlSiN (%10 azot) SEM yüzey ve kesit görüntüleri.....	41
Şekil 4.6. AlSiN (%15 azot) SEM yüzey ve kesit görüntüleri.....	41
Şekil 4.7. AlSiO (%5 oksijen) SEM yüzey ve kesit görüntüleri.....	42
Şekil 4.8. AlSiO (%10 oksijen) SEM yüzey ve kesit görüntüleri.....	42
Şekil 4.9. AlSiO (%15 oksijen) SEM yüzey ve kesit görüntüleri.....	43
Şekil 4.10. AlSiN (%5 azot) sürtünme katsayısı grafiği .....	46
Şekil 4.11. AlSiN (%10 azot) sürtünme katsayısı grafiği .....	46
Şekil 4.12. AlSiN (%15 azot) sürtünme katsayısı grafiği .....	47
Şekil 4.13. AlSiO (%5 oksijen) sürtünme katsayısı grafiği .....	48
Şekil 4.14. AlSiO (%10 oksijen) sürtünme katsayısı grafiği .....	48
Şekil 4.15. AlSiO (%15 oksijen) sürtünme katsayısı grafiği .....	49
Şekil 4.16. Sürtünme katsayısı-ortalama sertlik değeri .....	50
Şekil 4.17. Aşınma oranı-ortalama sertlik değeri .....	51
Şekil 4.18. Aşınma oranı-Sürtünme katsayısı.....	52
Şekil 4.19. AlSiN(%5,%10,%15 azot) numunelerin iz genişlikleri.....	53
Şekil 4.20. AlSiO(%5,%10%15 oksijen) numunelerin iz genişlikleri.....	54

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Temel Aşınma Mekanizmaları Ve Oluşma Biçimleri .....	8
Çizelge 2.2. Kaplanmış malzemelerin özelliklerinde etkili faktörler. ....	10
Çizelge 2.3. Değişik gruplardan sert malzemelerin özellikleri ve davranışları. ....	11
Çizelge 2.4. İnce film üretim teknikleri. ....	15
Çizelge 2.5. PVD ve CVD tekniklerin bazı parametreleri ile kıyaslanması .....	18
Çizelge 3.1. AlSiN-AlSiO filmlerin kaplama parametreleri.....	29
Çizelge 3.2. Aşınma parametreleri.....	36
Çizelge 4.1. Yüzey pürüzlülüğü (Ra, $\mu\text{m}$ ) değerleri.....	40
Çizelge 4.2. AlSiN-AlSiO kaplamaların yüzey EDS (% at.) analizi .....	44
Çizelge 4.3. Ortalama sertlik değerleri .....	45
Çizelge 4.4. Sürtünme katsayısı değerleri.....	45
Çizelge 4.5. Kaplamaların aşınma oranları.....	50
Çizelge 4.6. Filmlerin aşınma iz genişliği ( $\mu\text{m}$ ) .....	53

### 1. GİRİŞ

Çağımızın teknolojiyle insanlar özellik olarak daha üstün malzemelere ihtiyaçları olmuştur. Bu sebeple eski çağlardan günümüze kadar insanların kullanmış oldukları malzeme veya aletleri istedikleri hale getirmeye çalışmışlardır. İlerleyen zamanla insanların teknolojiye malzeme ve malzeme türlerinden beklentileri artmıştır. Malzemelerin bütün olarak özelliklerinin değiştirilmesi yerine bölgesel özelliklerinin değiştirilmesi teknolojik açıdan ekonomik olduğu için kaplamanın gelişmesinde itici güç olarak görülmektedir. Çünkü bütün özelliklerinden ziyade özellikle yüzey özelliklerin geliştirilmesi malzemelerin fiziksel ve kimyasal özelliklerini geliştirmekte, korozyon dayanımını yükseltmekte, dekoratif olarak görünmesi sağlamaktadır. Yüzey özelliklerinin geliştirilmesinde bazı teknikler önem kazanmıştır. Bu teknikler;

- Fiziksel buhar biriktirme yöntemi
- Kimyasal buhar biriktirme yöntemi
- Plazma-destekli kimyasal buhar biriktirme yöntemi
- Termal sprey tekniği

İnce filmlerde ilk kez seramik ve cam malzemelerin yüzey kısmının üzerinde dekorasyon amacı ile kullanılmıştır. Zamanla, cam yüzeylerin üzerinde gümüş filmler üretmek için gümüş tuzları kullanılmıştır (Zor,1982). Triboloji teriminin, ilk olarak Yunan kabilelerinde kullanıldığı bilinmektedir. Bu alan büyük ölçüde ihmal edilmiştir. İhmal yüzünden, makine mühendisliği tasarımının gelişmesi aksamıştır. Malzemede gereksiz aşınma ve sürtünme nedeniyle büyük oranda endüstride para kaybedilmiştir(Jost, 1990).

Triboloji bilim dalının gelişmesindeki en büyük etkenlerden biri ekonomik yönünün olmasıdır. Örneğin; Amerika'da bir bütün malzemede oluşan sürtünme ve aşınmanın çözülmesi ile yıllık yaklaşık olarak 100 milyar dolar tasarruf edilebilir. Aşınma veya sürtünmeden dolayı meydana gelen kayıplar ya da kazançlar hem ulusal güvenlik için hem de hayati önem taşıyan koşullarda büyük önem taşır. Bu yüzden hareketli veya temas halinde olan malzemelerin tahribatlarını önlemek amacıyla amaçlanan tribolojik malzemeler uzun yıllardır makine ve malzeme ayrıca kimya mühendisleri ilgilenmiştir.

Bu kadar çok çalışmalar olmasına rağmen hem sürtünme hem de aşınmanın temeli hakkında hala daha çok az bilgiye sahibizdir(Krim 2002). Kullanılacak olan malzemelerin başka bir malzemelerle yani katı, sıvı veya gaz ile temas etmesi halinde mekanik etkenler sonucu yüzey kısmından küçük parçacıkların ayrılması veya kopması ile meydana gelen istenmeyen yüzey tahribatı şeklinde açıklanabilir.

### 1.1. Tezin Amacı

Bu çalışmada sıçratma sistemi ile kaplama yöntemi kullanılmıştır. Taban malzemesi olarak AISI D2 çelik kullanılmıştır. Soğuk iş takım çeliğinin(AISI D2) birden fazla kullanım alanı bulunmaktadır. Bunlar; plastik enjeksiyon kalıpları, kesme ve delme takımları, ağaç ve kesme bıçakları, diş tarakları, derin çekme ve ekstrüzyon takımları, soğuk çekme makaraları ve ölçme takımları gibi kullanım alanları vardır. AISI D2 çelik taban malzemeler üzerine AlSiN(%5,%10,%15 Azot) ve AlSiO(%5,%10,%15 Oksijen) ile çok katmanlı kaplama yapılmıştır. %5 Azot - Oksijen, %10 Azot - Oksijen, %15 Azot - Oksijen hem birbirleriyle hem de kendi içerisinde karşılaştırılma yapılmıştır. Bu kapsamda AlSiO(%5,%10%15 Oksijen)-AlSiN(%5,%10%15 Azot) yapısal, tribolojik, mekanik özellikleri incelenmiştir. Kaplamanın kalınlığını ve iz genişliğini belirlemek için taramalı elektron mikroskop (SEM), kimyasal kompozisyonun belirlenmesi için enerji dispersiv spektrumu (EDS), kristal yapısını incelemek için de X-Ray difraktometre (XRD), 3D yüzey profilometre, mikro sertlik cihazları kullanılmıştır.

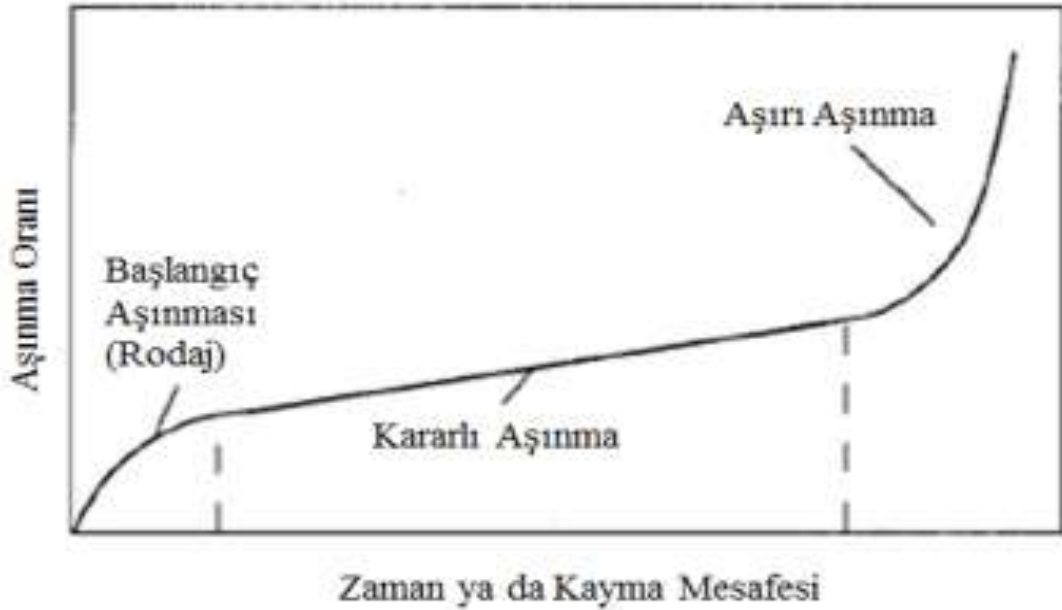
### 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Aşınma neticesinde meydana gelen malzeme kayıpları nedeniyle makine parçasında bir kısım hasarlar oluşmaktadır. Bu aşınmalar sonucunda büyük maddi kayıplar ortaya çıkabilmektedir. Aşınma 3 kademedeyi gerçekleştirir. Bu aşamalar Şekil 2.1’de verilmiştir.

**Başlangıç Aşınması(Rodaj):** Parçaların ilk çalışması ile birlikte büyük bir aşınma oluşur. Bu kademeye başlangıç aşınması veya rodaj ismi verilir. İlk başta kaba gözüken yüzey pürüzlülüğü rodaj uygulamasından sonra daha düz görülür. Böylelikle aşınma azalmaya başlar.

**Kararlı Aşınma:** Aşınma hızı azdır ve aşınma sabittir. Kararlı aşınmada parçanın çalışma süresi belirlenmiştir ve zaman ilerledikçe aşınma artar.

**Aşırı Aşınma:** Bu kademe şiddetli aşınma diye de isimlendirilir. Artık bu alanda parça bütün olarak bozulur. Bozulması ile birlikte makine hasar görür. Başlangıç aşınmasından aşırı aşınmaya kadar geçen süreye ömür(L) denir.



Şekil 2.1. Aşınma safhaları (Axén et al, 2001)

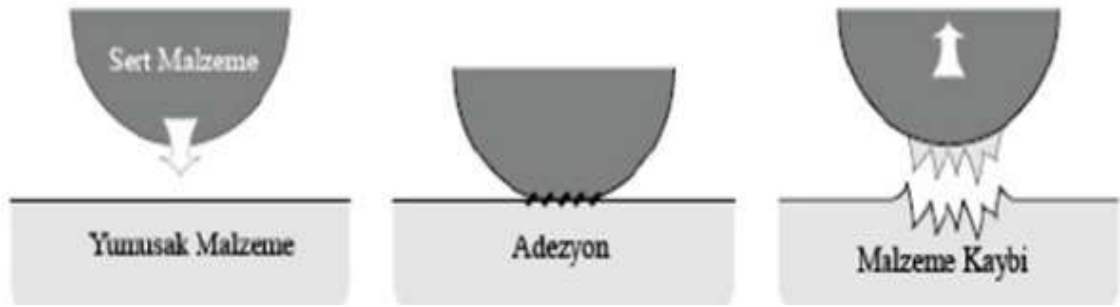
## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Dış etkenlere bağlı olarak 4 aşınma çeşidi vardır. Bunları şu şekilde sıralayabiliriz;

- Adezyon aşınması
- Abrazif aşınması
- Yorulma aşınması
- Korozyon aşınması

### 2.1. Adezyon Aşınması

Şekil 2.2’de görüldüğü gibi birçok defa gerçekleşen bu işlem sonucu malzeme kaybı giderek artar. Adezyon aşınması görünür bir şekilde oluşur ve zamana bağlı olarak malzemenin yüzeyinde bozulmalar meydana gelir.



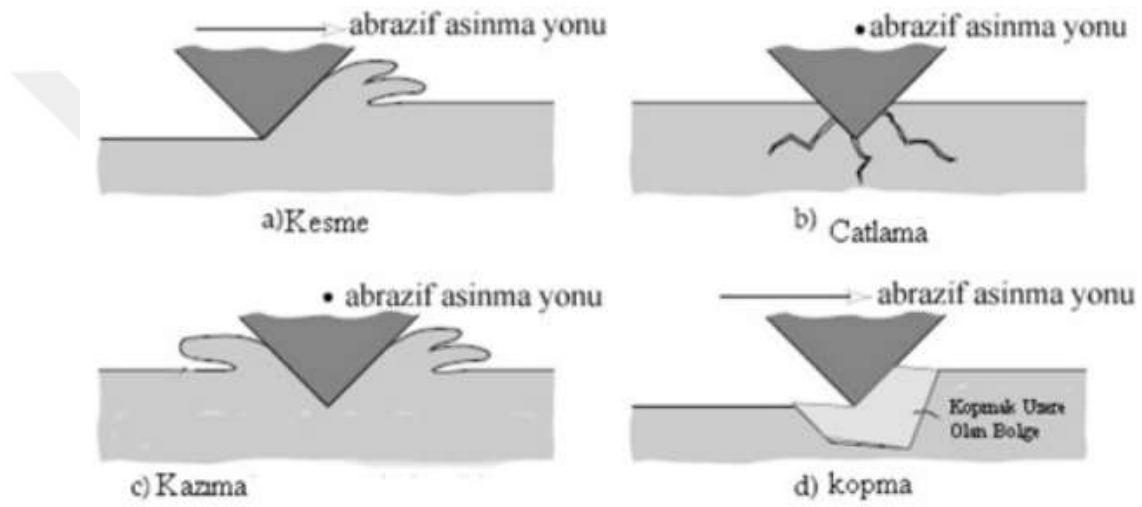
Şekil 2.2 .Adezyon aşınmada malzeme transferi (Stachowiak and Batchelor, 2013)

### 2.2. Abrazif Aşınması

Abrazif aşınma iki yüzey arasında meydana gelen kayma neticesinde oluşan kavis ile birlikte malzemenin bütün halinde yer değiştirmesidir. Ucun yüzeyler arasında ilerlemesi ile birlikte malzeme uzaklaşır ve temas ettiği yüzeyde abrazyon çizgileri oluşmaya başlar. Şekil 2.3’de abrazyon aşınması gösterilmektedir. Abrazyon aşınma hızını azaltmak için malzemenin yüzey kısmına uygulanan yük düşürülebilir. Bunun neticesinde yüzey kısmında daha az iz oluşur(Özer, 2004). Bu aşınma türü genel anlamda hem malzemenin cinsine hem de yüzey yapısına göre dört gruba ayrılır. Bunlar; kesme, çatlama, kazıma (sürtme), kopma olarak sınıflandırılır. Kesme aşınmasında ya keskin şekilli ya da yüksek sertlikle uç kullanılır ve kendine kıyasla daha yumuşak olan yüzeyden

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

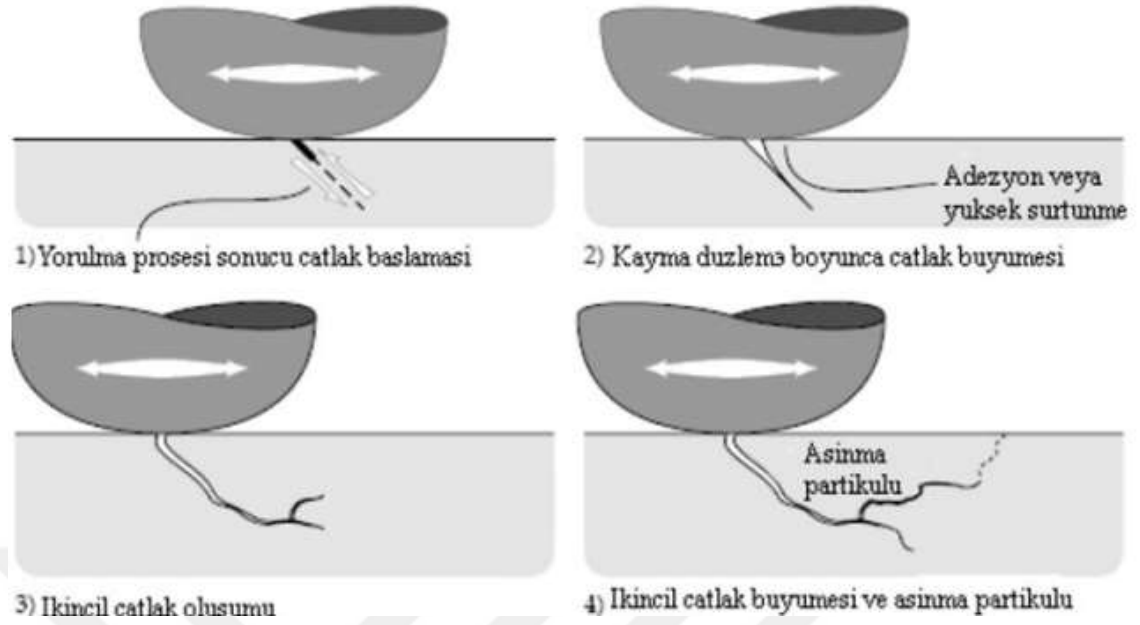
talaş kaldırır. Aşınmanın gerçekleşeceği malzemenin gevrek bir yapıda olması durumunda aşınan yüzeyde çatlama oluşabilir. Oluşan çatlakların bir araya gelmesi ile birlikte aşınma atığı gerçekleşir. Eğer aşındırılacak olan malzeme yumuşak ise keskin köşeli aşındırıcılar kullanılarak aşındırma yapılıyorsa kesme durumu oluşmaz. Aşınma yüzeyinde birden fazla deforme olur ve oluşan deforme kazıma ya da sürtme olarak isimlendirilir. Aşınma atığı metal yorulması neticesinde meydana gelir. Tane ayrılması veya tane kopması ise taneler arasındaki sınırların daha zayıf olduğu durumlarda olabilir. Bu tür de kopan tane aşınma atığı meydana getirir (Stachowiak and Batchelor, 2013).



Şekil 2.3. Abrazif aşınma mekanizması (Stachowiak and Batchelor, 2013)

### 2.3. Yorulma Aşınması

Yorulma aşınmasının gerçekleşmesi için ucun malzemeyle sürekli temas halinde olması gerekiyor ve bu durumda aşınma partikülleri oluşur (Akkurt, 2011; Özer, 2004). Şekil 2.4 'de görüldüğü gibi ilk olarak yüzeyde çatlak zayıf bir kısımda oluşmaya başlar, daha sonra ya kayma düzlemi ya da dislokasyon hücre sınırı boyunca oluşan çatlak ilerlemektedir. İkincil çatlaklarda ya ilk çatlak ile birleşir veya farklı bir çatlaktan devam ederek birincil çatlak ile birleşebilir. Çatlaklar büyür ve yüzey kısmına ulaşıncaya kadar ilerlemeye devam eder. Yüzeyde oluşan çatlaktan sonra aşınma parçacığı malzemeden koparak ayrılır (Stachowiak and Batchelor, 2013).

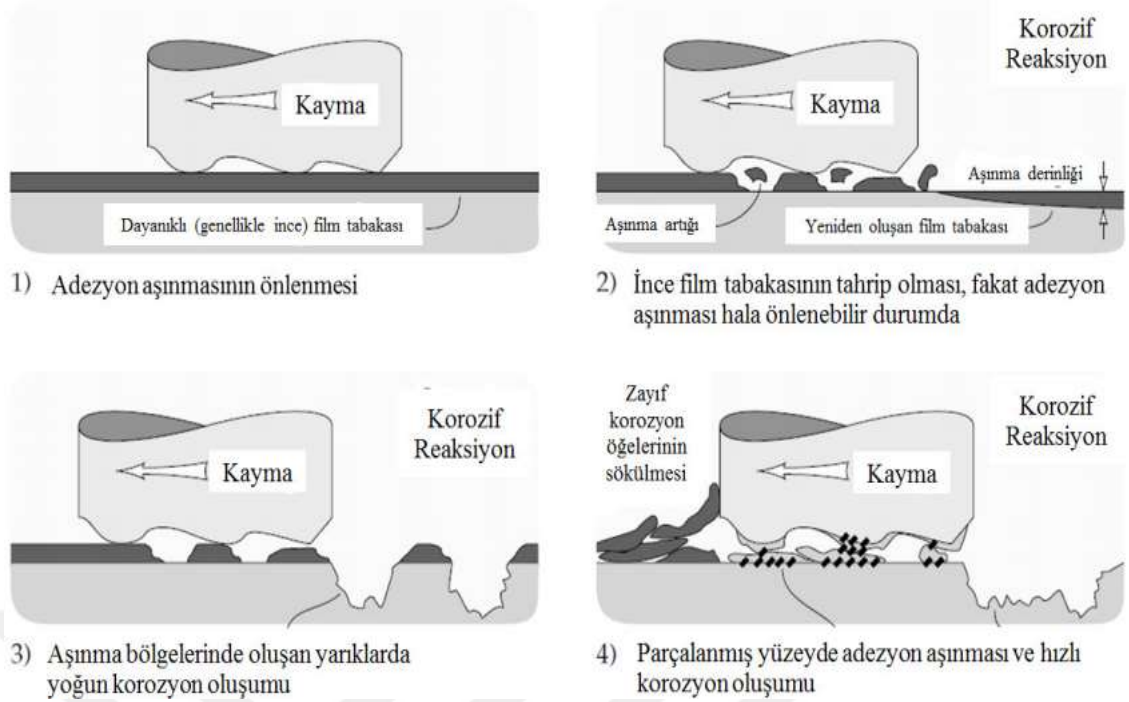


Şekil 2.4. Yorulma aşınma mekanizması (Stachowiak and Batchelor, 2013)

### 2.4. Korozyon Aşınması

Korozyon aşınmasında kimyasal reaksiyon ürünleri malzemenin yüzey bölümünde reaksiyon tabakası oluşturur. Oluşan bu tabaka sürtünme yardımıyla giderilebilir (Akkurt, 2011 ve Özer, 2004). Şekil 2.5’de gözüktüğü gibi korozyon aşınması 4 aşamaya ayrılabilir;

- 1) Hem korozyonu hem de aşınmayı önleyen dayanıklılığı yüksek yağlayıcı film katmanı oluşabilir.
- 2) Kayma altında az ömürlü ince film katmanı oluşur. Film katmanının üzerinde döngü halinde bozulup-oluşmasından dolayı yüksek aşınma oranları oluşabilir. Bundan dolayı sürtünme katsayısı ya düşük olabilir ya da olmayabilir.
- 3) Koruyucu yüzey filmleri aşınabilir. Kalan filmler arasında meydana gelen galvanik etki ile yüzeyde bulunan aşınmada lokal korozyon meydana gelebilir.
- 4) Hem korozyon hem de aşınma malzeme kaybına sebep olabilir. Malzeme kaybı iki olayın birleşmesi şeklinde meydana gelir (Stachowiak and Batchelor, 2013).



**Şekil 2.5.** Korozyon aşınması (Stachowiak and Batchelor, 2013)

Çizelge 2.1’de temel aşınma mekanizmaları verilmiştir. Abrasif aşınma, adhesif aşınma, korozyon aşınması, yorulma aşınma çeşitlerinin gözlemlendiği yerler, yüzey hasarının ne şekilde oluştuğu belirtilmiştir.

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

**Çizelge 2.1.** Temel Aşınma Mekanizmaları Ve Oluşma Biçimleri (Stachowiak and Batchelor, 2013)

<b>Aşınma Mekanizması</b>	<b>Tanımlama</b>	<b>Yüzey Hasarı/Aşınma Belirtisi</b>	<b>Gözlemlenen Yerler</b>
<b>Abrazif Aşınma</b>	Abrazif partiküller ile meydana gelen malzeme kaybı(3 farklı parça etkileşim)ya da karşılık parçasında var olan sert tepelerin etkisi ile oluşan aşınma(2 farklı parça etkileşim)	Kazıma Kesme Yığılma Mikro çatlak Mikro yorulma	Maden, tarım, aksenel olarak ileri geri olarak hareket eden pompalar, valfler ve yatakları, Piston/silindirler
<b>Adhesif Aşınma</b>	Malzeme transferine ve bunun ardından oluşan lokal yapışmalar sonrasında malzeme kopması şeklinde meydana gelir.	Kesme kopması Yırtılma Parça kalkması Sürtme veya sarma	Kaymalı yataklar, motorlar, dişliler, bağlantı elemanları
<b>Korozyon Aşınması</b>	Ara yüzeyde meydana gelen kimyasal ya da elektrokimyasal etkileşimlerin neden olduğu malzeme kaybıdır.	Oyuklaşma Parlama	Motorlar, boru hatları, Denizcilik endüstrisi,
<b>Yorulma Aşınması</b>	Tekrarlı mekanik gerilmelerin neden olduğu malzeme yorulması neticesinde meydana gelen kopmalar şeklinde oluşan malzeme kaybıdır.	Oyuklaşma Pul pul dökülme Katman ayrılması Mikro çatlak	Döner elemanlı rulmanlar, dişliler, teker-ray teması

Aşınma ve sürtünmenin her ikisini de engellemek için elde edilen sert kaplamalarda sayısız ilerleme oluşmuştur. Mühendislik malzemeleri arasında sert kaplamaları tercih etmek, gereklilik veya bir kural olmaktan çıkmış istisna olmaktadır. Sert ve ince kaplama yapılmış malzemelerde plastik deformasyonların oluşmadığı ve taban malzemelerde gerçekleştiği sayısal ve deneysel analizler ile elde edilmiştir. Kullanılan taban malzeme çok yumuşak ise kaplama elastik ve plastik deformasyonu durdurmaz ya da kaplama kırılacak ya da taban malzemedan kaplama ayrılacaktır. Bu hasardan sonra makine elemanı çalışamaz duruma gelir. Herhangi bir hasar gerçekleştirilmeden, taban malzemedede oluşan plastik deformasyona dayanabilecek kaplamalar olmasına rağmen, ince kaplamaların birçoğu kırılmalıdır. Yağlayıcıların temel görevleri arasında sürtünme kuvvetini azaltmak ve birbirine temas eden yüzeylerin

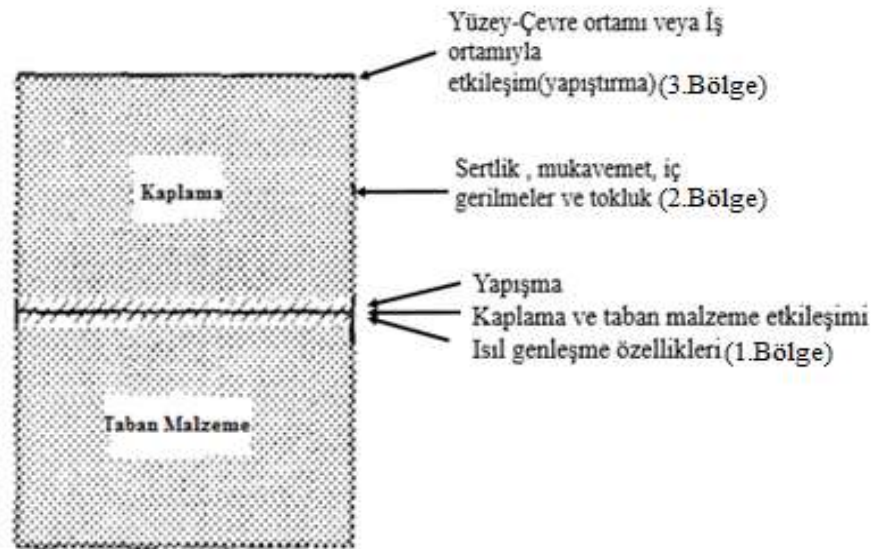
## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

hasarlarını önler ve temas halinde olan yüzeylerin soğutulmasını sağlar. Bütün bunlar için yağlayıcı dağıtım sisteme ihtiyaç duyulur. Uygun filtre sistemi ile birlikte yağlayıcının içine istemediğimiz parçaların dışardan girmesini engelleyebiliriz(Quinn, 2005). Parça performansının geliştirilmesi ve korunmasındaki en büyük etkenlerden biri çeşitli malzeme türlerinin sert kaplamalarla kaplanmasıdır. Kullanım alanlarına yönelik malzemelere uygulanacak kaplama çeşitlerinin tercih edilmesinde birçok seçenek vardır. Tercih edilecek olan kaplama malzemesi için en uygunu seçmek için birtakım bilgilere ihtiyaç vardır. Elde edilen bilgiler ile seçim yapmak her zaman kolay olmuyor. Bunun sebebi ise kaplama ve taban malzemesinin kompleks olmasıdır(Holleck 1986).Şekil 2.6'da verilen farklı üç bölge bulunmaktadır. Bunlar;

**1. Bölge:** Taban malzemesi ara yüzeyi olarak adlandırılır. Bu bölgede kaplamanın taban malzeme ile birlikte yapışması ve ısıl genleşme nitelikleri önemli unsurları oluşturur.

**2.Bölge:** Kaplama malzemesidir. Bu bölgede sertlik, mukavemet, kırılma tokluğu, ısıl kararlılık ve ısıl iletkenlik nitelikleri mikro yapı ile belirlenir.

**3. Bölge:** Kaplama yüzeyidir. Kaplama yapılacak olan malzemenin iş parçası ya da ortamla etkileşim halinde olması önemlidir (Çobanoğlu 1998).



Şekil 2.6. Kaplama-taban malzeme (Holleck 1986).

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Kaplama malzemesinin niteliklerini belirleyen asıl faktörler Çizelge 2.2’de verilmiştir. Bu parametreler, malzeme sisteminin yapısı ile üretimdir. Bu iki etken kaplamanın mikro yapısını etkiler (Holleck 1986). Malzeme türlerinin gelişmesi için kaplamada 3 etkenin birlikte incelemesi gerekir. Bunlar;

1. Yapı(Kaplama, Ara yüzey, Taban malzemesi)
2. Üretim
3. Mikro yapı

**Çizelge 2.2.** Kaplanmış malzemelerin özelliklerinde etkili faktörler(Holleck 1986).



Bütün bileşiklere bakıldığında hem yüksek sertliğe hem de yüksek ergime noktasına sahiptir. İyonik malzeme çeşitlerinde elastisite modülü (E) en aşağı seviyelerdedir. Kovalent sert malzemelerden hem metalik malzemelere hem de iyonik malzemelere doğru ısıl genleşme katsayısı artar. Sert malzeme gruplarının özellikleri karşılaştırılırsa;

- Sert kaplama yapıldıktan sonra bazı avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır.
- Metalik sert malzemelerin kaplama uygulamalarında ideal malzeme grubu olarak görülmektedir.

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

- İyonik malzeme grubunda ise yüksek kararlılık ve düşük etkileşimle birlikte diğer gruplara göre üstün bir şekilde kendini göstermektedir.
- Düşük aşınma direnci oluşturmak için çok katlı ve çok fazlı kaplamalarla elde edilebilir. Değişik malzemelerin özelliklerine bakıldığında iç katmanının taban malzemesiyle birlikte iyi bir şekilde yapıştığı ve ara katmanların sertlikle birlikte mukavemeti sağlar. Dış katmanında oluşan sürtünme, iş parçası ile hem yapışmayı hem de etkileşimi azalttığı için çok katmanlı kaplamalarda istenmekte olan performansı gösterebilir (Holleck 1986).

**Çizelge 2.3.** Değişik gruplardan sert malzemelerin özellikleri ve davranışları(Holleck 1986).

Metalik (m), Kovalent(k), İyonik(i)								
(+)	k	i	m	i	i	m	m	m
	m	k	k	m	m	i	k	i
(-)	i	m	İ	k	k	k	i	k

Ustinov ve arkadaşları fiziksel buhar biriktirme tekniği kullanarak çok katmanlı kaplama yapmışlardır. Çok katmanlı periyodiklik 0.2-0.8  $\mu\text{m}$  arasında değişmiştir. Örnek malzemeler sabit bir oranda ısıtılmıştır. Numunelerin ısıtılması üzerine oluşacak ilk adım olarak metalik  $\text{Al}_3\text{Ni}$  bulunmuştur. Dolayısıyla, çok tabakalardaki reaksiyon süreci,  $\text{Al} - \text{Ni}$  intermetaliklerinin ardışık olarak sonuçlanan bir süreçtir:  $\text{Al}_3\text{Ni} \rightarrow \text{Al}_3\text{-Ni}_2 \rightarrow \text{AlNi} \rightarrow \text{AlNi}_3$ . Dizinin uzun olması 2 şeye bağlıdır. Bunlar; ısıtma sıcaklığına ve ortalama stokiometrisidir. 600 ° C'ye ısıtılan örnek malzemeler için dönüşümler tamamlanmıştır ve  $\text{Al} - \text{Ni}$  denge faz diyagramında beklendiği gibi olmuştur (Ustinov vd. ,2008).

Cheng Ding ve arkadaşları  $\text{AlSiN}$  filmlerin magnetron püskürtme yöntemi ile filmlerin mikro yapısı, mekanik ve korozyon özellikleri araştırmıştır. Bu çalışmada biriktirilen tüm  $\text{AlSiN}$  filmleri, aşırı stokiometrik N gösterdi. h-AlN ve c-AlN kristal

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

---

fazı, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> amorf fazda gömülü nanokristalin AlN ile nanokompozit bir yapı oluşturdu. Artan ön gerilim neticesinde yüzeydeki granüller filmler küçüldü ve kesit morfolojisi gözenekli sütunlu bir yapıdan, görünebilen boşluklu ve kompakt sütunlu yapı oluşturdu. Ortalama pürüzlülük değeri ise ön gerilim artışı neticesinde azalan bir eğilim göstermiştir (Ding vd.,2019).

Petkov ve arkadaşları(2017) AlSiN kaplamanın, takım çeliğine (EN ISO HS 6-5-2) çok iyi kaplama olduğu tespit edilmiştir. SEM, EDS, XPS ve XRD analizleri, kaplamada her iki değişimde AlN'yi kübik ve altıgen olarak gösterdi. Kaplama nanokompozit bir yapıya sahiptir. Yüksek nanohardness ve aşındırıcı nitelikler belirli biriktirme parametrelerinde tespit edilir. Bu, kaplamanın çelik top ISO 683/13 ile etkileşiminde gözlenmiştir. Bu çalışma, kaplama kalınlığının nanosertliği ve tribolojik özellikleri üzerinde etkisi olmadığını göstermektedir. Fakat kaplama kalınlığı metal malzemelerin işlenmesinde ve aşınma oranının belirlenmesinde önemlidir. AlSiN kaplama, kesme takımlarına kaplama yapmak için uygundur. Kaplama, ısıya duyarlı çelikler ve alüminyum alaşımları için uygundur(Petkov vd.,2017).

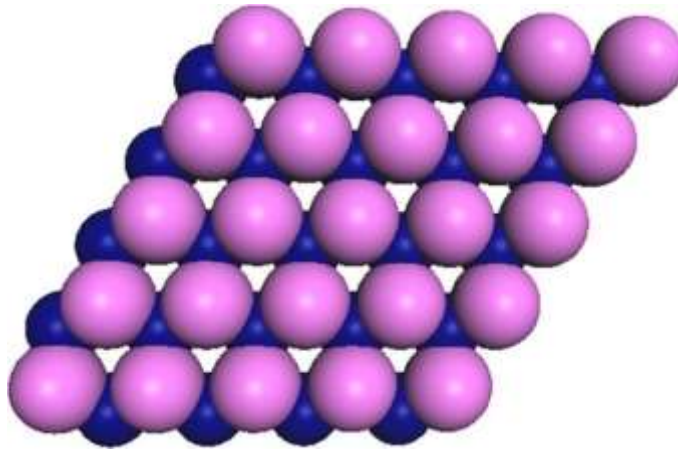
Xian-Qing ve arkadaşları (2003) AlSi alaşımının gözenekli ahşap seramiklere sızması, kuru kayma sürtünmesini, aşınma davranışını, mekanik özelliklerini iyileştirmek için mümkündür. Kompozit malzemenin sürtünme katsayısı matris alaşımınıninkinden biraz daha düşüktür. Kompozit ve matris alaşımı için, sürtünme katsayısı uyguladığımız yüke bağlı olarak artar ve kayma hızının aşınma oranı üzerinde farklı bir etkisi vardır. Bu etki şu şekildedir; kompozit için artar ve matris alaşımı için azalır. Kompozitin aşınma oranı matris alaşımından daha düşüktür. Kompozit ve matris alaşımı için, aşınma oranı uyguladığımız yüke göre farklı oranlarda yükselir. Kompozitin aşınma oranı kayma hızı ile birlikte artar ve matris alaşımı için hiçbir etki oluşturmaz. Hem WCMs/AlSi kompozitinin hem de matris alaşımının aşınma mekanizmaları uygulanan yüke bağlı olarak değişir (Xian-Qing,2003).

Riyadh A ve arkadaşları (2013) 383 Al alaşımındaki aşınma oranının 390 Al alaşımından önemli ölçüde daha yüksek olduğunu bulmuştur. 390 Al alaşımının 383Al alaşıma göre düşük korozyon oranına sahiptir. Uygulanan yükün arttırılması ile yağlanmış yüzeylerde küçük yüklerde sürtünme katsayısında bir artış olmaktadır. Kayma

hızındaki artış, aşınma oranını ve ortalama pürüzlülüğü arttırırken, kayma mesafesi ile ters orantılıdır. Sürtünme katsayısı düşük olduğunda daha az pürüzlülük elde edilir (Al-Samarai,2013).

Kelly (2000) magnetron püskürtme sistemi ile kaplama yapılmıştır. Kapalı alan dengesiz magnetron püskürtme, darbeli magnetron püskürtme, değişken alan gücü magnetronlar ve dubleks yüzey mühendisliği teknikleri içerir. Bu gelişmeler sayesinde magnetron püskürtme tekniği endüstriyel alanda önemli birçok kaplama/substrat sisteminin üretimi için kullanılan bir süreç olarak kurulmasına yardım etmiştir. Bu alandaki birçok çalışmanın sonuçları da eklenmiştir ve ilave olarak birçok endüstriyel uygulama tartışılmıştır (Kelly,2000).

Genellikle, PVD yöntemleri ile elde edilen bir AlN kaplama altıgen kristal yapısına sahiptir. İnce filmlerde yapı ve özelliklerinde kristalitlerin tercih ettiği yönler önemlidir. AlSiN ile kaplama yapıldıktan sonra 001 altıgen formuyla aynı olan 111 kübik formda bir kristalografik düzlem olduğu sonucuna varılabilir. Şekil 2.7' de görüldüğü gibi yüzeye paralel olarak yönlenmiştir. Oluşmasını istediğimiz Si-N bağları XRD (X-Ray Difraktometre) görülmemiştir. Mor renkli olan atomları Al(Si), koyu maviler ise azot atomlarını göstermektedir. AlSiN kaplama çelik parçaların işlenmesi ve kesilmesi için kesici aletleri kaplamak için uygundur (Petkov vd.,2017).



**Şekil 2.7.** Mor Al(Si) atomları, koyu mavi azot atomlarını temsil etmektedir (Petkov vd.,2017).

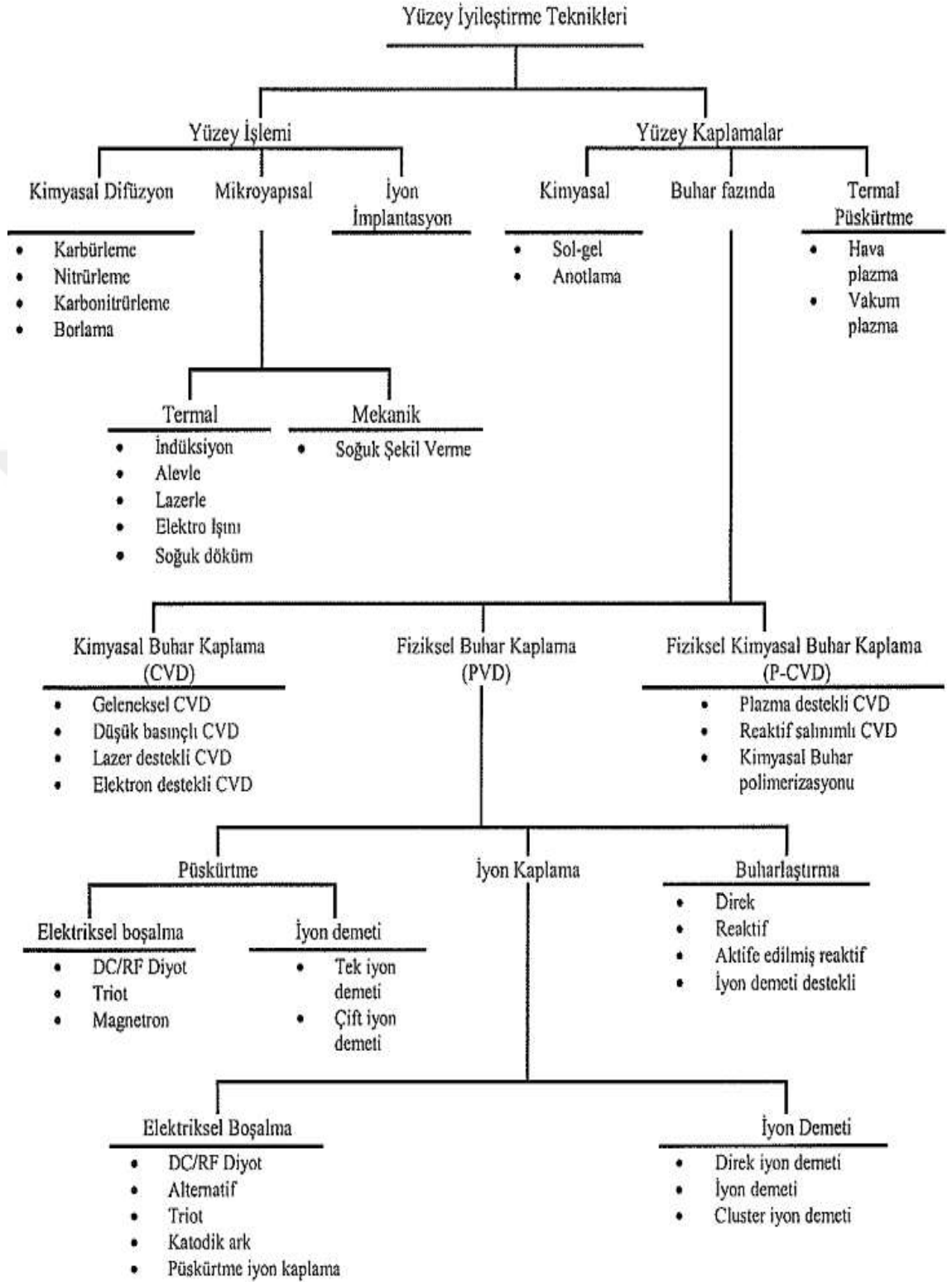
## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

---

Çelik malzemelerin yüzeylerini birtakım sebeplerden dolayı çeşitli işlemler uygulanmaktadır. Yüzey iyileştirme teknikleri Çizelge 2.4’de verilmiştir. Buhar fazda büyütme yöntemi hem kaplamaya hem de malzemeye hiçbir engel olmadan yüksek kalitede kaplama oluşmasını sağlar. Bu yöntem 3 gruba ayrılır. Bunlar; fiziksel buhar biriktirme, kimyasal buhar biriktirme ve fiziksel kimyasal buhar biriktirme yöntemidir Birtakım yüzey işlemleri ve yapıma sebeplerini şu şekilde örnek verebiliriz;

- Korozyon olmasın diye boyama ve kaplama
- Martenzit tabakası elde etmek için su verme
- Tribolojik ve korozif özellikleri düzeltmek için ince film kaplama yapılır(Özgüzar 2017,Yıldız 2005).

Çizelge 2.4. İnce film üretim teknikleri (Alsaran 2001).



### 2.5. Kimyasal Buhar Kaplama (CVD)

Kimyasal buhar biriktirme ile ince film büyütmesi, kompleks bir kimyasal tepkime dizisinin neticesidir ( Sönmezoğlu vd, 2012). Kimyasal buhar kaplama tekniği substrat ve film arasında genel olarak kovalent bağlanmanın bulunduğu, yüzey ile filmin arasında adezyonun artmasına olanak sağlayan filmler oluşturmaktadır. Kimyasal buhar kaplama(CVD) tekniğinin avantajlarını şöyle sıralayabiliriz;

- Basit ve kompleks yapılar düşük sıcaklıklarda yapılabilir.
- Bileşenin fiziksel nitelikleri ve kimyasal reaksiyonlar kaplama şartlarını değiştirilebilir.
- Az miktarda malzeme ile birlikte fazla yüzey kaplama yapılabilir.
- Kimyasal buhar kaplama tekniğinde kaplama malzemenin yüzeyine bir bütün olarak yayılır (Sevgili, 2016).

### 2.6. Fiziksel Buhar Kaplama (PVD)

Buhar fazında yapılmakta olan kaplama yöntemlerinden biri kimyasal buhar biriktirme yöntemi (CVD) bir diğeri ise fiziksel buhar biriktirme yöntemidir. Bu yöntem endüstriyel uygulama alanlarında çok geniş bir kullanım alanına sahiptir. Ayrıca fiziksel buhar biriktirme yöntemi(PVD) diğeri kullanılan yöntemlere göre daha düşük sıcaklıklarda yapılabilir. Geniş kaplama kalınlık ile yapılması bu yöntemin daha fazla kullanım alanını arttırmaktadır (Randhawa and Johnson, 1987).

Fiziksel Buhar Biriktirme tekniklerini kullanılarak elde edilen ince seramik film kaplama çeşitlerinde malzemenin aşınmaya karşı dayanımı artar. Eğer uygun kaplama değişkenleri tercih edildiğinde taban malzemenin kullanım ömrü değişir(Huang vd, 2002). İnce sert kaplamalar günümüzde birçok tribolojik uygulamada kullanılır. Makine elemanlarından birkaç önemli örnek verilirse; metal kesme ve şekillendirme, kaymalı rulmanlar vb. örnekler verilebilir (Hogmark vd, 1997). Yapılan kaplamalar sonucunda sertlik, aşınma ve korozyon direncinin yükselmesi sebebiyle genel anlamda kullanılmasına rağmen, düşük kaplama hızı gibi birtakım dezavantajları da vardır (Aytaç and Malayoğlu, 2018 ).

Kaplama süreci genel anlamda 3 adımda oluşmaktadır:

### **1.Kaplama yapılacak olan malzemenin buhar fazda gerçekleştirilmesi**

Kaplanacak olan malzemenin buharlaştırılabilmesi için ya evaporasyon ya da püskürtme yöntemi başka bir deyişle moleküler seviyede buharlaştırma uygulanır. Genellikle metalik kaplama yapılırken evaporasyon yöntemi tercih edilir.

### **2.Kaplama malzemesinin kaynağından kaplama yapılacak tabana taşınması**

Malzeme buhar fazında ve buharlaşma kaynağından taban malzemesinin yüzeyine taşınması, düzgün bir şekilde ilerler veya moleküler akış koşulları ile gerçekleşmektedir.

### **3.Kaplama yapılacak yüzeyin üzerinde film büyümesi**

Film, kaplama yapılacak yüzey üzerinde hem nükleasyon hem de büyüme neticesinde oluşmaktadır. Filmin mikro yapısı iyonlar yardımıyla bombardımana uğradıktan sonra bir değişime uğramaktadır (Bunshah, 1994).

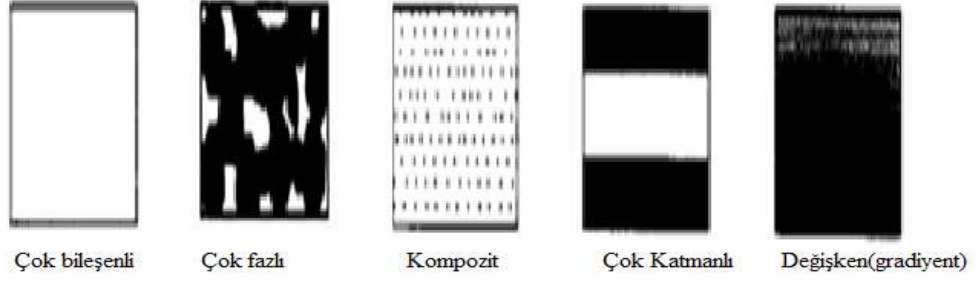
## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

**Çizelge 2.5.** PVD ve CVD tekniklerin bazı parametreleri ile kıyaslanması( Sönmezoğlu vd, 2012).

Değişken	Fiziksel Buhar Biriktirme		Kimyasal Buhar Biriktirme
	Buharlaştırma	Sıçratma	
<b>Biriktirme İçin Üretim Mekanizması</b>	Isıl Enerji	Momentum Transferi	Kimyasal Reaksiyon
<b>Biriktirme Hızı</b>	Çok Yüksek Olabilir	Saf Metaller Hariç Düşük	Orta
<b>Biriktirme Cinsi</b>	Atomlar ve İyonlar	Atomlar ve İyonlar	Atomlar
<b>Fırlatma Gücü</b>	Zayıf	İyi	İyi
<b>Metal Biriktirme</b>	Evet	Evet	Evet
<b>Alaşım Biriktirme</b>	Evet	Evet	Evet
<b>Refrakter Bileşiği Biriktirme</b>	Evet	Evet	Evet
<b>Biriktirme Enerjisi</b>	Düşük(0,1-0,5 eV)	Yüksek(1-100 eV)	Plazma Destek KBB ile Yüksek
<b>Alt Malzemeye/Kaplamaya Bombardıman</b>	Normal Şartlarda Yok	Var	Olasılık Var
<b>Ara Yüzey Gelişimi Kaygısı</b>	Normal Şartlarda Yok	Var	Var(Güçlkle)
<b>Alt Malzeme Isıtılması</b>	Normal Şartlarda Var	Genellikle Yok	Var

Kaplamaları genel olarak türlerine göre ayrılması Şekil 2.8'de verilmiştir.

- Birden fazla bileşenle; Tek, çift veya daha fazla katı çözelti bulunduran,
- Çok fazlı katı çözelti olarak; Katı çözelti, intermetalik bileşik
- Kompozit
- Çok katmanlı
- Değişken şekilde bulunabilir.



**Şekil 2.8.** Kaplama çeşitleri (Subramanian, 1993)

Fiziksel buhar kaplamanın CVD 'ye göre birtakım üstün özellikleri vardır. Bunları şöyle sıralayabiliriz.

### **Avantajları;**

1. Elde edilecek olan kaplamanın kompozisyonu çok geniş bir skalaya sahip olabilir. Metal malzeme çeşitlerinden seramik malzemelerine kadar kaplama yapılabilir.
2. Taban malzemesinin sıcaklık değeri sıfır santigrat derecenin altındaki değerlerden daha yüksek sıcaklıklara çıkabilir.
3. Sıcaklığın farklı aralıklarda değişmesinin sonucunda altlık malzemesi seçiminde geniş bir seçenek sunmaktadır.
4. Kaplanacak olan malzemenin saflığı yüksektir.
5. Kaplama yapıldıktan sonra herhangi yüzey işlemi gerekmez.
6. Kaplama ve altlık malzemesi arasında iyi bir yapışma sağlanır.
7. Biriktirme hızını oldukça artırılabilir.

### **Dezavantajlar;**

1. Karmaşık şekilli parçaların üretiminde birçok zorluklar çıkmaktadır. Bütün yüzeyin eşit kalınlıkta kaplama yapılması oldukça zordur.
2. Bazı uygulama alanlarında büyük tutarlara ulaşabiliyor (Subramanian and Strafford, 1993).

Fiziksel buhar biriktirme (PVD) yöntemlerinden yaygın olarak kullanılanlardan biri vakumla kaplama yöntemidir. Vakum birikimi veya vakum buharlaştırma olarak

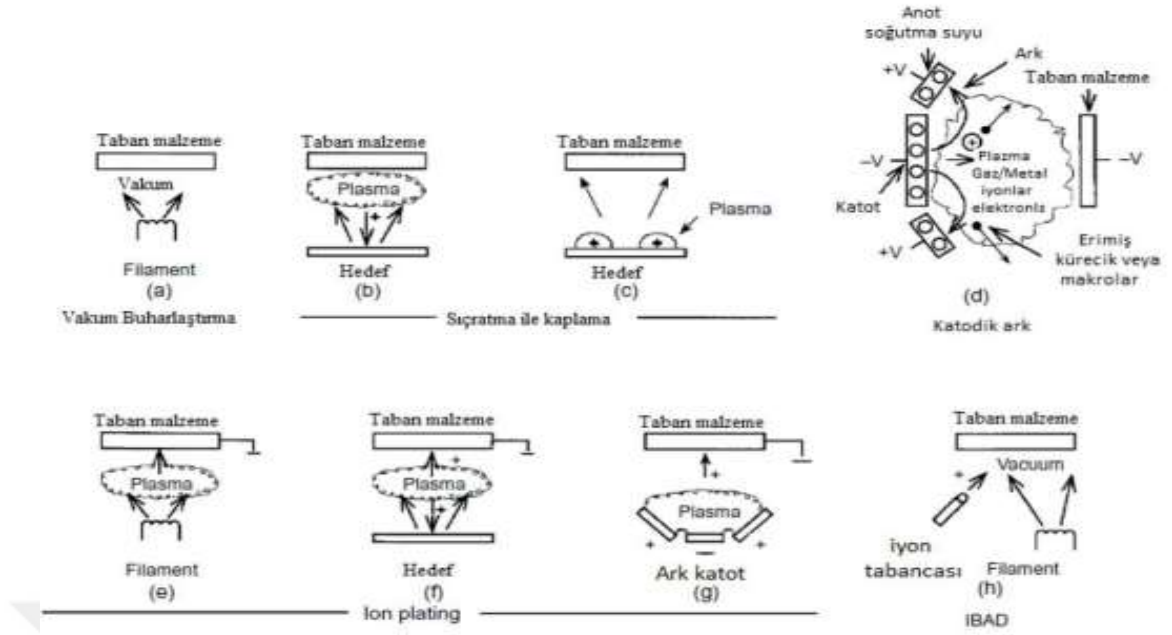
## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

---

adlandırılan kaplama yöntemi uzun yıllarca kullanılmıştır. Fiziksel buhar kaplama tekniğinde kaplama yapılacak olan ince filme malzemenin kaynağından katı ya da sıvı olarak atom- moleküller halinde buharlaştırılır. Bir vakum ya da basınçlı gaz ortama yoğunlaşır. Bu yöntemde kalınlığı bir veya binlerce nanometre olan filmlerin üretilmesi için kullanılmaktadır. Bunların yanı sıra bu alanlarda da kullanılır;

- Çok katmanlı kaplamalar
- Kademeli bileşim yataklar
- Çok kalın yataklar
- Bağımsız yapılar

Fiziksel buhar kaplama (PVD) tekniğinin çalışma prensibi ise; Belirlenmiş olan hedeften koparılabilecek ya atomları ya da iyonları vakum alanında birbiriyle veya diğer gaz molekülleriyle çarpıştırarak kaplama yapılacak olan taban malzeme üzerine gider ve atomik boyut ile ilerleyerek biriktirme sonucu film oluşturulmasıdır. Büyütme esnasında vakum bölgesi kullanılmasının nedeni atmosfer şartlarında ki kontaminasyonları o bölgeden uzaklaştırarak hedeften kopartılarak malzeme üzerine yollanan atomun daha yüksek kinetik enerji ile taban malzemenin üzerine ulaştırılmasıdır. Vakum ortamında gerçekleşen kaplamalar genellikle  $10^{-5}$  Torr -  $10^{-9}$  Torr ( $1,33 \times 10^{-2}$  Pascal -  $1,33 \times 10^{-6}$  Pascal) değerleri arasındadır (Mattox, 1998).



**Şekil 2.9.** a) vakum buharlaştırma tekniği b) ve c) plazma ortamında sıçratma ile kaplama tekniği, d) vakumda sıçratma ile kaplama tekniği, e) plazma ortamında termal buharlaştırma ile iyon kaplama tekniği, f) sıçratma ile iyon kaplama tekniği, g) ark buharlaştırma ile iyon kaplama tekniği, h) iyon demeti destekli kaplama tekniği (Mattox, 1998)

İnce film kaplama üretiminde kullanılan alanların bir kısmı şunlardır:

- Tek veya çok katmanlı kaplamalar
- Katmanlı Malzemeler
- İletim ve yansıma için optik filmler
- Dekoratif filmler
- Dekoratif ve aşınmaya karşı dayanıklı kaplamalar
- Korozyona dayanıklı filmler
- Mikro elektronik için elektrik yalıtkan katmanları
- Aşınmaya ve erozyona dayanıklı (sert) kaplamalar (takım kaplamaları)
- Nano kompozit malzemeler
- İnce duvarlı bağımsız yapılar ve folyolar (Mattox, 1998)

### 2.6.1. Termal (dirençli) buharlaştırma yöntemi

Kaplamanın malzemesi, en basit durumda bile buharlaşma sıcaklığı elde edilene kadar direnç kullanılarak ısıtma işlemi yapılır. Buharlaştırıcı malzeme telini ele almak için ya sepet ya da çukurlu tekne kullanılmıştır. Yüksek buharlaşma noktaları olduğu için tekne olarak ya tungsten ya da tantal kullanılır. Atomların tabakaya doğru düz bir şekilde yörünge ile birlikte hareket eder. Bunun neticesinde yalnızca düşük erime noktaları olan metal ve metal alaşımlarına uygulanabilir (Zn, Au, Al, vb.). Buharlaştırma işleminde kumaşların metalizasyonu gibi farklı teknolojik alanlarda kullanılmaktadır (Taşdemir,2015).

### 2.6.2. Elektron demeti buharlaştırma yöntemi

Kaplama malzemesinden elde edilmiş olan hedefte küçük bir noktada odaklanmış ya bir elektron ya da lazer ışını kullanılarak kesilir. Elektron sıcaklığı W, Ta gibi yüksek erime sıcaklığına sahip olan metaller için uygun 10.000 K kadar yüksek olabilir. Kaynak yüzeyinde, buharlaşma meydana geldikçe yerel bir noktada oluşur ve potadan çok az kirlenme olur. Bütün metal ve metal alaşımları, seramikler, polimerler, termal buharlaşmanın yanı sıra oda sıcaklığı gibi düşük olan bir yöntemle kaplama malzemesi için kullanılabilir. Malzemelerin yüksek maliyeti bu tekniğin dezavantajlarından biridir. Ayrıca organik malzemeler için tercih edilmesi uygun değildir (Taşdemir,2015).

### 2.6.3. İyon kaplama yöntemi

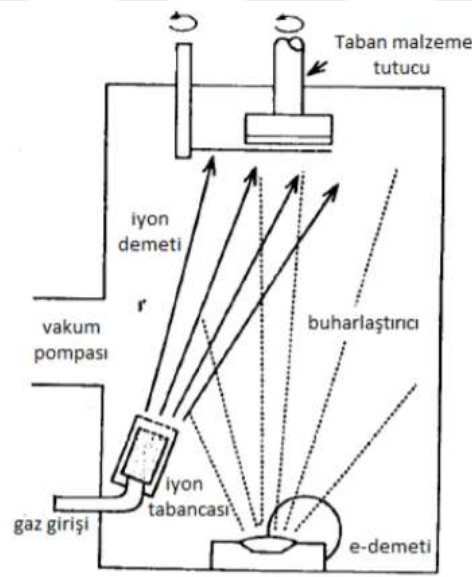
Fiziksel buhar kaplama(PVD) tekniklerinden bir diğeri ise iyon kaplama yöntemidir. Taban malzemesinin yüzey kısmına periyodik bombardıman neticesinde atomik boyuttaki parçacıkların yüzey kısmında biriktirilmesi sonucu oluşur. Birçok çeşitli yöntemleri bulunmaktadır. Bunlar;

- Vakum iyon kaplama,
- Reaktif iyon kaplama,
- Kimyasal iyon kaplama gibi yöntemler vardır.

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

İyon kaplama yönteminde soy gaz deşarj tekniği kullanılabilir. Kullanılan bu teknikte ilk olarak taban malzemesine inert gaz bombardımanı uygulanır ve hiç ara vermeden devam edilir. Bu kaplama yöntemi genel olarak yüzey ve film arasında daha yüksek adezyon kuvveti tercih edildiği zaman uygulanır. İyon kaplama tekniğinin adezyon açısından avantajları şu şekilde sıralanabilir;

- Film tabakası oluşturmadan önce film ile taban malzeme ilişkili ara tabakanın oluşturulması ile iyi bir adezyon sağlamaktadır.
- Yüksek kusur konsantrasyonu verilmesi ile yüzey ve ara yüzey yapısından sonra film ve taban malzemenin fiziksel olarak bağlanması,
- Sadece yüzey kısmında oluşan yüksek sıcaklık sonucunda taban malzemenin yüzey bölgesine yüksek enerji aktarımı sağlar.
- Kütlenin ısıtılmasına gerek duymadan hem kimyasal reaksiyonlar hem de difüzyon oluşturulur (Mattox, 1998).



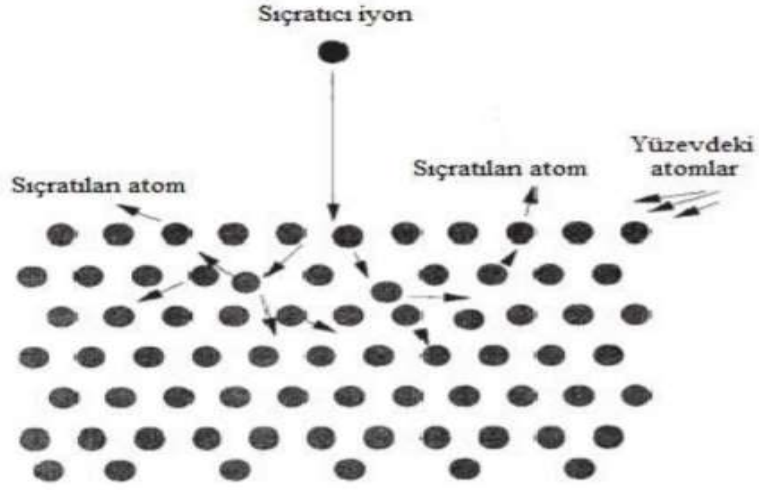
**Şekil 2.10.** İyon kaplama yöntemi (Mattox, 1998)

### 2.6.4. Sıçratma ile kaplama

Sıçratma işlemi bir momentum transferi neticesinde oluşmaktadır. Uygulanan bu teknikte katı malzeme pozitif iyonlarla bombardıman edildikten sonra atomlar yüzeyden

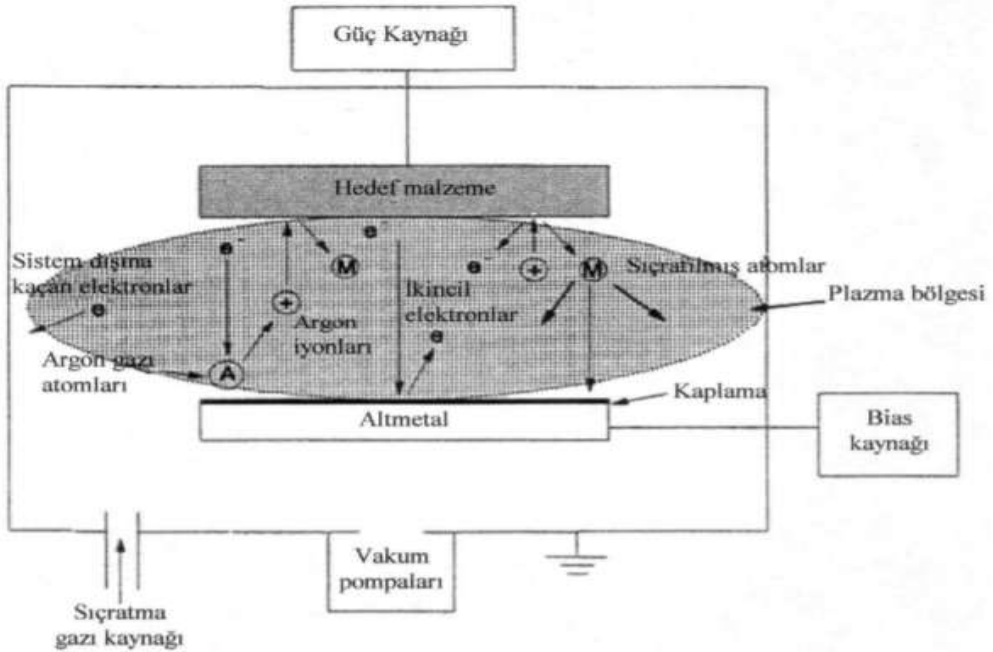
## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

kopartılmaktadır. Hedeften sıçratılan atomlar taban malzemenin üst kısmında film tabakası oluşturur.



Şekil 2.11. Sıçratma mekanizması (Seshan, 2002).

Sıçratma yöntemiyle fiziksel buhar kaplama(PVD) sistemi ya negatif doğru akımı(d.c) ya da radyo frekansı(r.f) potansiyelli uygulama alanlarında hem hedef malzemeleri hem de taban malzeme tutucusunun olduğu vakum ortamında oluşur (Seshan, 2002).



Şekil 2.12. Sıçratma yöntemi(Cansever, 2001)

Taban malzeme tutucusu hedef malzeme ile karşılıklı olarak bulunur ve ikisi de topraklanabilir. Negatif potansiyel uygulanabilir veya kendi haline bırakılır. Hedef ve taban malzeme hem ısıtılıp hem de soğutulabilmektedir. Sistemin çalışma basıncı genel olarak  $10^{-3}$  ile  $10^{-2}$  milibar aralığında tutulmak istenir. Hedef malzemelere 2-3 kilovoltluk potansiyel uygulandıktan sonra plazma oluşur ve pozitif iyonlar hedef malzemeye çarptıktan sonra kendisinde bulunan enerji sayesinde atomu koparır. Böyle bir şekilde hedef malzemedan atom koparılmasına sıçratma denir. Taban malzemesine sıçratılmış olan atomlar birikir ve film oluşur. Sıçratma esnasında hedef yüzeyine pozitif yüklü iyonlar çarpar ve ilave tepkimelerde oluşur (Arnell and Kelly, 1999).

### **DC Püskürtme Sistemi Sıçratma Sistemi**

DC püskürtme tekniği genel anlamda hedef atomları, anot ve katodun arasında oluşan bir ışımaya deşarjı ile birlikte uygun bir numuneye aktarılır. Katot ve anodun her ikisine de uygulanan fazla negatif potansiyel topraklanır. Oluşan sisteme gazın girmesi neticesinde plazma oluşur ve voltajda ani bir şekilde bir düşüş meydana gelir. Bunun nedeni ise plazma yüksek elektriksel iletkenidir. Hedef olan yüzeye yüksek iyon bombardımanı yapılır ve yüzeyden atom uzaklaşır. İyon atom çarpışmaları neticesinde ikincil elektronlar meydana gelir. Oluşan bu elektronlar iyonlaşma prosesine katkı sağlar ve plazma oluşumunu devam ettirir. Üretilen elektronların bir kısmı çarpışmalara dâhil olmayacak ve bu kısım yerine anoda kaçacak bunun neticesinde prosesisi oldukça verimsiz bir hale getirecektir(Tuna vd.,2010).

### **RF Püskürtme Sistemi Sıçratma Sistemi**

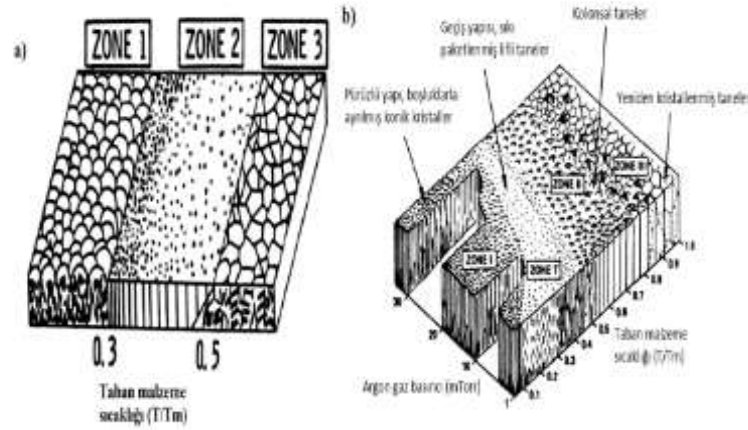
İzolasyon numunelerini püskürtmek için DC püskürtme tekniğini kullanmak elverişli değildir. İyon ilerleyişi hedef yüzeydeki pozitif yük tarafınca iptal olur ve bunun sonucunda püskürtme işlemi durur. DC püskürtme tekniğinde elektrik alanı ve enerjik iyonları katoda yönlendirir. RF püskürtmede yönteminde ise elektrotlar, alternatif akım uygulayarak kendi aralarında değişir. RF püskürtme yönteminde kHz gibi daha düşük frekansı MHz'e yükseltildiği zaman elektrotların alanı iyonları substrata göndermek için çok önemli bir etken haline gelir. Anotun alanı katodunkinden daha büyüktür. Hedef elektrot, anota göre az iyon yoğunluğu almaktadır ve elektron yoğunluğu, elektrot yüzey

bölgesine bağlı değildir. İyon yönelimi yalnızca hedef elektrot üzerindedir. İkincil elektronlar katot bölgesinde korunmuş olur (Taşdemir, 2015).

### 2.7. Thornton'un Büyütülen Filmler İçin Yapı-Bölge Modeli

Taban malzemenin üst kısmına kaplanan filmler büyüme modeli göstermeden ilk olarak taban malzeme yüzeyinden ya da ara tabaka yüzeyinden etkilenmektedir. Oluşturulacak olan filmin büyüme modeli seçildikten sonra filmin yapısı 'yapı-bölge modeli'ne bağlı olarak belirlenebilir.

Yapı-bölge modelini ilk olarak Movchan ve Demchishin bilim insanları 1969 senesinde vakum kaplamalar ile uygulamıştır (Şekil 2.7. a). Bundan sonra Thornton modeli biraz daha geliştirmiş ve magnetron sıçratma tekniğine uyarlamıştır (Şekil 2.7. b)



Şekil 2.13. Yapı-bölge modelleri (Movchan, 1969; Thornton, 1977)

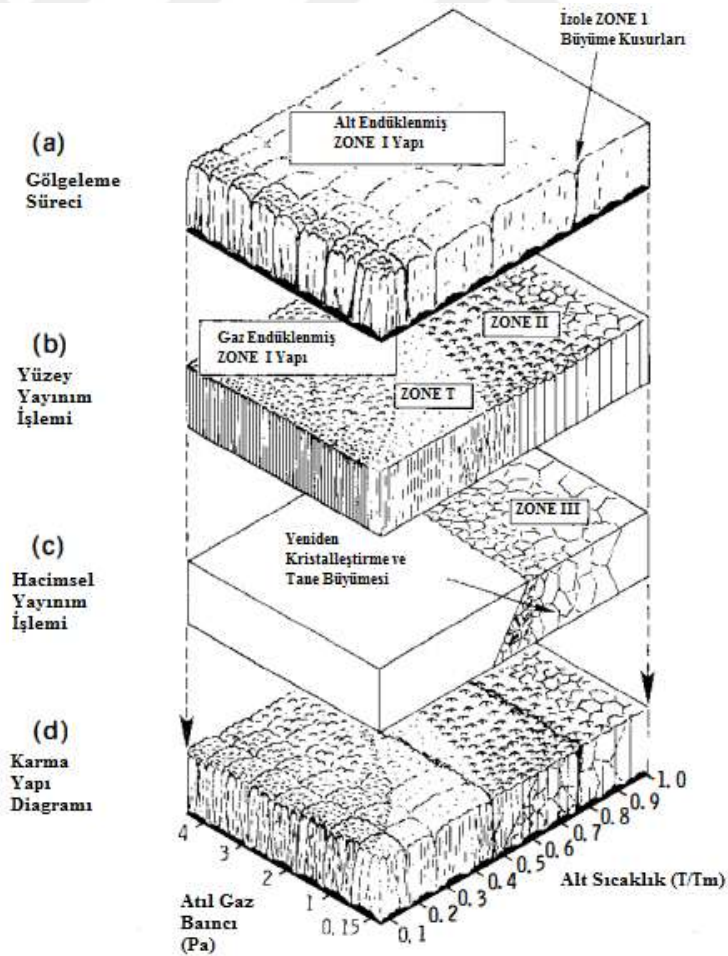
**Bölge I (Zone I):** Taban malzemesi geometrik kusurlara sahip olmasından dolayı hedeften gelmiş olan atomlar yüzeye difüze olamamıştır. Bu nedenle kolonlar arasında açık sınırlar oluşmuştur. Bu morfolojiyle büyüyen filmlerin yüzeyleri dalgalı olarak gözükmektedir.

**Bölge T (Zone-T):** Yapı modelinin bu bölgesindeki kaplamanın yüzey morfolojisi lifli bir yapıya sahiptir. Ayrıca bu Bölge I'den Bölge II'ye geçiş bölgesi olarak bilinmektedir. Bu tür yapılar düşük gaz basınç değerleri altında hedeften

sıçratılacak yüksek enerjiye sahip nötrallerin oluşturduğu kaplamalardır. Yüksek enerjiye sahip atomların kaplama esnasında taban malzemenin yüzeyindeki tepelikleri aşındırmakta ve çukurları belirli bir miktar doldurmaktadır.

**Bölge II (Zone II):** Bu bölgede büyütülecek olan kaplamalarda atomların taban malzemenin yüzeyine difüzyonu yüksek olacağı bilinmektedir. Difüzyon aracılığıyla kolonlar arasındaki sınırlar atomlar sayesinde doldurulmaktadır. Fakat temel kolonsal yapılar halen daha mevcut bulunmaktadır. Tane büyüklüğü artar ve kaplama yüzeyi yönlenmeli olmaktadır.

**Bölge II (Zone III):** Bu bölgede oluşan yoğun difüzyon yüzünden kaplamada tane büyümesi, yoğunlaşma ve kristalleşme meydana gelmektedir. Tek kristalli kaplamalarda yüksek seviyede değişime uğrayan kolonsal yapılar saptanmaktadır (Mattox 1998).



**Şekil 2.14.** Fiziksel süreçlerin üst üste binmesini gösteren şematik gösterim sonucu yapısal bölgeler oluşturur (Thornton, J. A, 1977).

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

---

Düşük sıcaklık şartlarında film büyütme esnasında oluşabilecek film yapısını etkileyen faktörler şu şekilde sıralanmıştır.

- Sıçratılacak olan atomun taban malzemeye geliş açısı
- Kaplama sırasındaki sıcaklığın malzemenin ergime sıcaklığına oranı ( $T/T_m$ )
- Yoğuşma sırasındaki enerji çıkışı
- Atomların yüzey hareketliliği ve farklı kristalografik yönelme durumları
- Yüzey pürüzlülük değerleri
- Kaplama hızları
- Boşluk birleşimleri
- Kaplama sırasında oluşan kütle taşınımı ve tane büyümesi

Düşük çalışma basınç değerlerinde büyütülen filmlerin yüksek enerjili nötrallerin bombardımanı ile beraber aşağıdaki faktörlerde etkili olmaktadır;

- İnert ve reaktif gazlar büyütülen yüzeye tutunabilmesi
- Buharlaşan parçacıkların gaz saçılımı sağlaması
- Yüksek enerjiye sahip partiküllerin eş zamanlı olarak bombardımanı

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

#### 3.1. Kaplama Prosesleri

AlSi(N-O) kaplamalar çok katmanlı olarak (Al/AlSi/AlSi(N-O)) AISI D2 taban malzeme üzerine büyütülmüştür.

- Al tabaka için; Al hedef akımı 400 volt, basınç 5mTorr ve süre 40 dakika olarak ayarlanmış ve kalınlığın yaklaşık 250nm seviyesinde olması hedeflenmiştir.
- AlSi tabaka için; Al hedef için 400 volt (DC), Si hedef için 120 watt (RF) ve süre 40 dakika olarak ayarlanmış ve kalınlığın 500nm olması hedeflenmiştir.
- Üst tabakalar olan AlSi(N-O) kaplamaların parametreleri ise Çizelge 3.1 de verilmiştir. Üst tabaka kalınlığının 1000nm olması hedeflenmiştir ve 80 dk süreyle kaplama yapılmıştır.

**Çizelge 3.1.**AlSiN-AlSiO filmlerin kaplama parametreleri

Kaplamalar	Al Hedef (volt) DC	Si Hedef (watt) RF	N/Ar (%)	O/Ar (%)	Basınç (mTorr)	Süre (dk.)
AlSiN (%5-Azot)	450	100	5	-	5	160
AlSiN (%10-Azot)	450	100	10	-	5	160
AlSiN (%15-Azot)	450	100	15	-	5	160
AlSiO (%5-Oksijen)	500	65	-	5	10	160
AlSiO (%10-Oksijen)	500	65	-	10	10	160
AlSiO (%15-Oksijen)	500	65	-	15	10	160

AlSiN-AlSiO kaplamalar Şekil 3.1'de verilen fiziksel buhar kaplama (PVD) üretim yöntemlerinden olan sıçratma sistemi ile üretilmiştir.



**Şekil 3.1.** Sıçratma sistemi

AlSiN-AlSiO filmlerin kaplanması için taban malzeme olarak AISI D2 çeliği kullanılmıştır. Parlatma işlemi için Şekil 3.2’de verilen zımpara cihazı kullanılmıştır. Sırayla kalın taneli zımparadan ince taneliye doğru 240, 400, 600, 800, 1000, 1200 mesh SiC zımparalar ile parlatma işlemi yapılmıştır. Bu işlemden sonra %5 nitrik asit çözeltisi ile dağlama yapılmıştır.



Şekil 3.2. Zımpara cihazı

## 3.2. Yapısal Özelliklerin Analizleri

### 3.2.1. Isıl işlem

Isıl işlemin gerçekleştirilmesi için Erzurum Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümü malzeme laboratuvarında bulunan tüp fırın kullanılmıştır. AlSiO-AlSiN kaplamaları amorf bir yapıya sahiptirler. Bunları kristal bir yapıya dönüştürmek için hem uygun sıcaklık hem de uygun sürede ısıl işleme tabi tutulması gerekmektedir. Numuneleri ısıl işlem fırınına yerleştirildikten sonra ilk önce vakum pompası ile vakumlama işlemi 5 dakika yapıldı ve fırın içerisindeki atmosfer temizlenmiş olur. Bu aşamadan sonra tüpün içerisine argon gazı verilmiştir. Numunelere 550°C 'de 2 saat ısıl işlem uygulanmış ve soğumaya bırakılmıştır.



Şekil 3.3. Atmosfer kontrollü ısıl işlem fırını

#### 3.2.2. X-Ray difraktometre (XRD) analizleri

Sıçratma tekniği ile büyütülen AlSiN-AlSiO filmlerin kristal yapılarının incelenmesi için X-Ray Difraktometre analizleri yapılmıştır. Şekil 3.4 'de verilen GNR-Explorer markalı cihaz kullanılmıştır. Filmler  $10^{\circ}$ - $100^{\circ}$  tarama açılarında bakır  $K\alpha$  (dalga boyu 1.54 Angström) X-ışını kullanılarak belirlenmiştir.



Şekil 3.4. XRD cihazı

### 3.2.3. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve enerji dispersiv spektrumu (EDS) analizleri

AlSiN-AlSiO kaplamaların yüzey ve kesit görüntülerini incelemek için Şekil 3.5’de verilen Quanta FEG 250 taramalı elektron mikroskobu kullanılmıştır. Kimyasal kompozisyonun belirlenmesi için de Enerji Dispersiv Spektrumu (EDS) analizleri yapılmıştır.



**Şekil 3.5.** Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve enerji dispersiv spektrumu (EDS)

### 3.3. Mekanik ve Tribolojik Özelliklerin Analizleri

#### 3.3.1. Mikro sertlik

AISI D2 çeliği üzerine kaplanmış AlSiN ve AlSiO filmlerin mikro sertlik değerlerini ölçmek için Şekil 3.6'da verilen Shimadzu HMV G20 markalı mikro sertlik cihazı kullanılmıştır. Knoop sertlik yöntemi ile ölçümler yapılmıştır. Mikro sertlik ölçümleri 10 saniyede 25 gram yük uygulanarak değerler elde edilmiştir. Her numune için en az 3 ölçüm yapılmıştır. Her bir numuneden alınan sertlik değerlerinin ortalaması alınmıştır.



Şekil 3.6. Mikro sertlik cihazı ( Shimadzu HMV G20)

#### 3.3.2. Aşınma testi

Aşınma deneylerini Şekil 3.7’de gösterilen Bruker-UMT (Bruker Universal Mechanical Tester) cihazı kullanılmıştır. Numunelerin aşınma oranları formül yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\text{Aşınma Oranı (mm}^3\text{/Nm)} = \frac{\text{Aşındırılan Hacim (mm}^3\text{)}}{\text{Uygulanan Yük (N).Aşınma Mesafesi(m)}}$$



Şekil 3.7. Bruker-UMT (Bruker universal mechanical tester) aşınma cihazı

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

Aşınma deneyinde kullandığımız parametreleri Çizelge 3.2' de verilmiştir. Bu teste 2 N yük ve 2000 s yükleme süresi ile birlikte elmas batıcı uç kullanılarak ölçümler yapılmıştır.

**Çizelge 3.2.** Aşınma parametreleri

Parametreler	Değerler
Test türü	Lineer(İleri-Geri)
Uygulanan yük (N)	2
Aşınma süresi (sn)	2000
Aşınma hızı (mm/sn)	10
Sıcaklık (°C)	22±2
Karşı bilye malzemesi	Çelik
Nem	%40
Aşındırma Mesafesi(m)	20

#### 3.3. 3D Profilometre Analizleri

Aşınma testleri sonrası numunelerin aşınma izlerinin tespiti, yüzey pürüzlülüklerinin belirlenmesi ve aşınma hacimlerinin hesaplanması için Şekil 3.8'de verilen Bruker Contour-GT 3D profilometre cihazı kullanılmıştır.

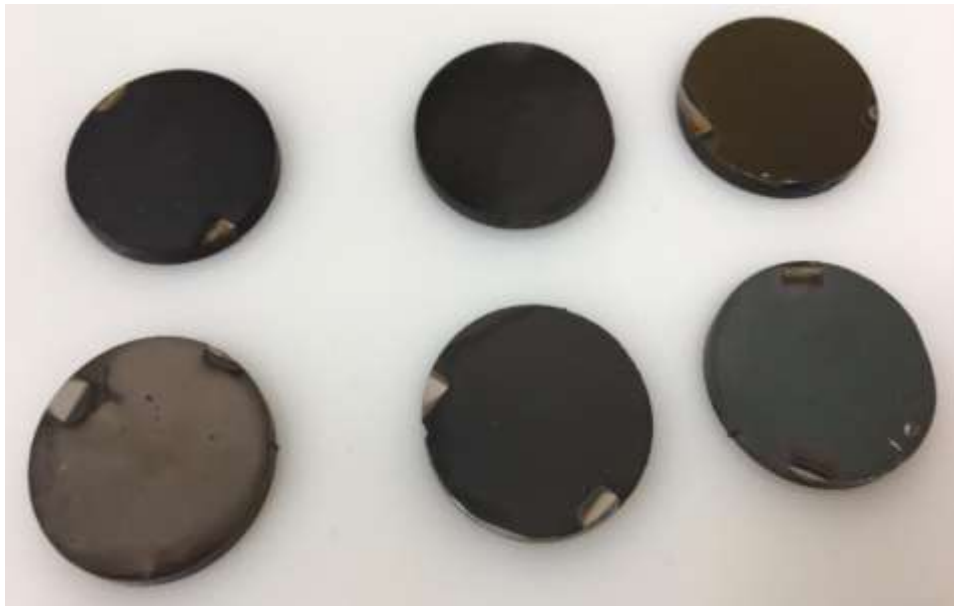


**Şekil 3.8.** 3D profilometre ( Bruker Contour GT)

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

##### 4.1. Yapısal Özellikler

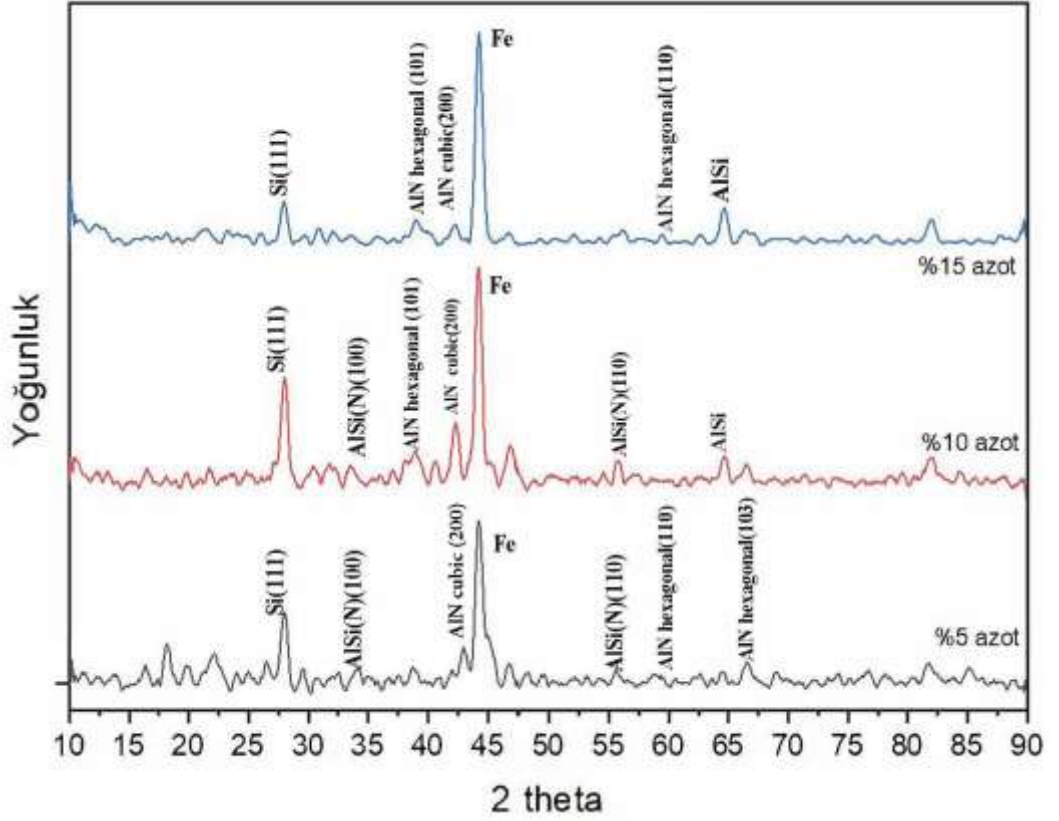
AISI D2 çelik taban malzemeler üzerine AlSiO -AlSiN kaplamalar yapılmış ve kaplamaların amorf bir mikro yapıya sahip olduğu belirlenmiştir. Kaplamaları kristal yapıya dönüştürmek için numunelere ısıtma işlemi uygulanmıştır. Bu işlemden sonra kaplamaların kristal yapısını belirlemek için X-Işını kırınım yöntemi (XRD) kullanılmıştır. Literatürdeki çalışmalara bakıldığında Le ve arkadaşları yaptığı çalışmada CrN/AlSiN'in ince filmlerin üretimi için katodik ark plazma biriktirme sistemi kullanmıştır ve kaplama işleminden sonra amorf AlSiN katmanlarının oluştuğu gözlemlenmiştir (Le vd.,2013). Jiang ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada ise farklı azot-argon akış oranlarına bağlı olarak XRD' de farklı şiddetlerde pikler oluşmuştur. c-AlN ve Al fazlarının her ikisinin de X-Işınları Difraktometresinde farklı pik noktaları oluşmuştur. Azot/argon akış miktarı oranı arttıkça oluşan piklerin şiddetlerinde azalma meydana gelmiştir. Bunun neticesinde AlSiN kaplamaların kristal yapısının azaldığı gözlemlenmiştir. Si içeriği yüksek olduğunda ( $\geq$  %25 at.) AlSiN amorf yapıda oluşmuştur. Kaplama yapısı ilk olarak kristal bir taneden nanokompozite, bundan sonra da azot/argon akış oranı yükseldiğinde amorf bir mikro yapıya dönüşür (Jiang vd.,2017).



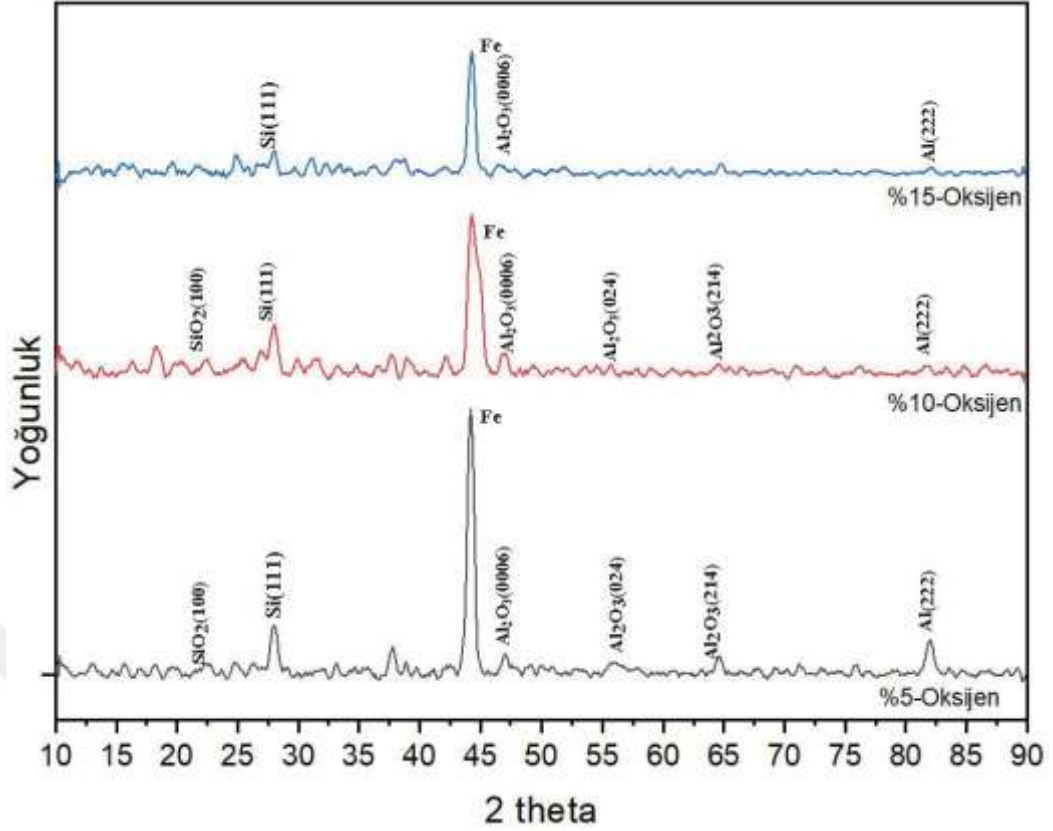
**Şekil 4.1.** Isıl işlemi uygulandıktan sonra numuneler

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

AISI D2 çelik taban malzemeler üzerine belirlemiş olduğumuz kaplama parametrelerinde büyütülen AlSiN filmlerin mikro yapılarını incelemek için X-ışını kırınımı yöntemi kullanılmıştır. Fazların tespitinde JCPDS programı ve literatür verileri kullanılarak tespit edilmiştir. Yapılan analizler neticesinde %5 N , %10 N , %15 N miktarlarına göre elde edilen kaplamaların XRD grafiği Şekil 4.2’de verilmiştir. 27.5°’de Si(111) ,33°’de AlSi(N) (100),37.5°’de AlN hexagonal(101), 45° de Fe, 65°’de AlSi, 66°’de AlN hexagonal(103) fazları oluşmuştur. Jiang ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada c-AlN(200) fazı bütün yüzdelik dilimlerde oluşmuştur ve %5 ve %10 ’da pik şiddeti daha yüksektir.%15 ’de pik şiddeti azalmıştır( Jiang vd.,2017). Şekil 4.2’de verilen grafikte 42.5°’de c-AlN(200) fazı elde edilmiştir ve benzer şekilde pik şiddetleri meydana gelmiştir.



Şekil 4.2. AlSiN XRD grafiği



Şekil 4.3. AlSiO XRD grafiği

AISI D2 çelik taban malzemeler üzerine büyütülen AlSiO filmlerin mikro yapısı incelemek için %5 O , %10 O , %15 O miktarlarına göre oluşan XRD grafiği Şekil 4.3’de verilmiştir. 22.5°’de SiO<sub>2</sub>, 27.5°’de Si(111), 45° ‘de Fe, 47.5° ‘de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(0006), 65°’de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(214), 82.5°’de Al(222) fazları oluşmuştur. AlSiN-AlSiO kaplamalarda %5 Azot - Oksijen, %10 Azot - Oksijen, %15 Azot - Oksijen yüzdeliklerine göre karşılaştırılmıştır. Filmlerin ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri (Ra, µm) Çizelge 4.1’de gösterilmiştir. AlSiN (%5 Azot) ile AlSiO (%5 Oksijen)’de AlSiO (%5 Oksijen) filminde 0,375 µm değeri ile daha yüksektir. AlSiN (%10 Azot) ile AlSiO (%10 Oksijen)’de AlSiO (%10 Oksijen) filminde 0,575 µm yüzey pürüzlülük değeri ile daha yüksektir. AlSiN (%15 Azot) ile AlSiO (%15 Oksijen)’de AlSiO (%15 Oksijen) filminde 1,02 µm yüzey pürüzlülük değeri ile daha yüksektir. %5, %10, %15 Azot ve benzer şekilde %5, %10, %15 Oksijen miktarıyla elde edilen kaplamalar kendi içlerinde de karşılaştırılmıştır. %5, %10, %15 Azot ‘da en yüksek yüzey pürüzlülük AlSiN (%15 Azot) filminde 0.485 µm elde edilmiştir. %5, %10, %15 Oksijen ‘de en yüksek yüzey pürüzlülük AlSiO (%10 Oksijen) filminde 0.575 µm elde edilmiştir. En yüksek yüzey pürüzlülük( Ra) değeri

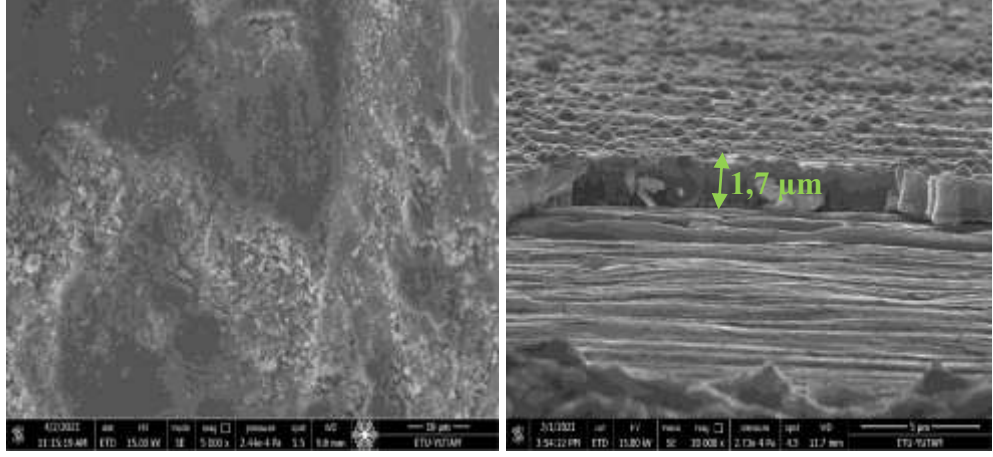
AlSiO (%15 Oksijen) olan filminde 1,02  $\mu\text{m}$  olarak ve en düşük Ra değeri ise AlSiN (%10 Azot) filminde 0,182  $\mu\text{m}$  olarak bulunmuştur.

**Çizelge 4.1.** Yüzey pürüzlülüğü (Ra,  $\mu\text{m}$ ) değerleri

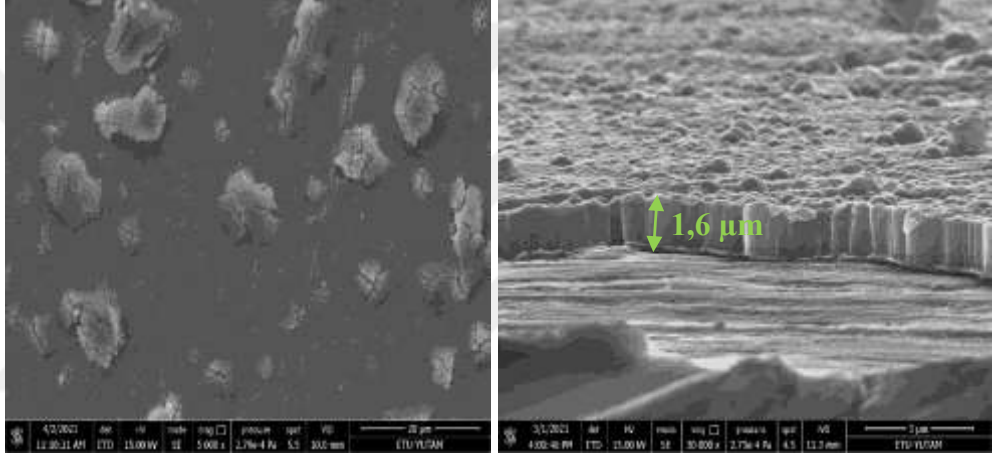
Kaplamalar	Yüzey Pürüzlülüğü(Ra, $\mu\text{m}$ )
AlSiN (%5 Azot)	0.358
AlSiN (%10 Azot)	0.182
AlSiN (%15 Azot)	0.485
AlSiO (%5 Oksijen)	0.375
AlSiO (%10 Oksijen)	0.575
AlSiO (%15 Oksijen)	1.02

AlSiN-AlSiO filmlerin mikro yapısal niteliklerini bulmak amacıyla taramalı elektron mikroskopu (SEM) kullanılmıştır. Filmlerin taramalı elektron mikroskopu ile alınmış olan yüzey görüntüleri Şekil 4.4, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6 'da verilmiştir. AlSiN(%5, %10, %15 Azot) SEM yüzey görüntüsünde %5 Azot 'da küçük taneli bir yapı sergilemiştir. Kesit görüntüsünde ise yoğun ve ince kolonsal bir yapı elde edilmiştir.%10 Azot'da yüzey biraz daha belirgin tanecikler oluşmuştur. Kesit görüntüsünde ise çok yoğun ve dalgalı bir şekilde kolonsal yapı elde edilmiştir. %15 Azot'da ise dalgalı bir yüzey elde edilmiştir. Kesit görüntüsünde ise çok yoğun ve bütün halde kolonsal yapı elde edilmiştir. Magnusson ve arkadaşları film pürüzlülüğünün kalınlıkla ilişkili olduğunu ve daha düşük kalınlığa sahip bir filmin daha pürüzsüz yüzey elde edildiğini belirtmiştir ( Magnusson vd.,2021) . AlSiO (%5, %10, %15 Oksijen ) filmlerin yüzdelik miktarları arttıkça kalınlıkları da artmıştır. AlSiO filminde en düşük kalınlık değerinde en düşük yüzey pürüzlülüğü elde edilmiştir.

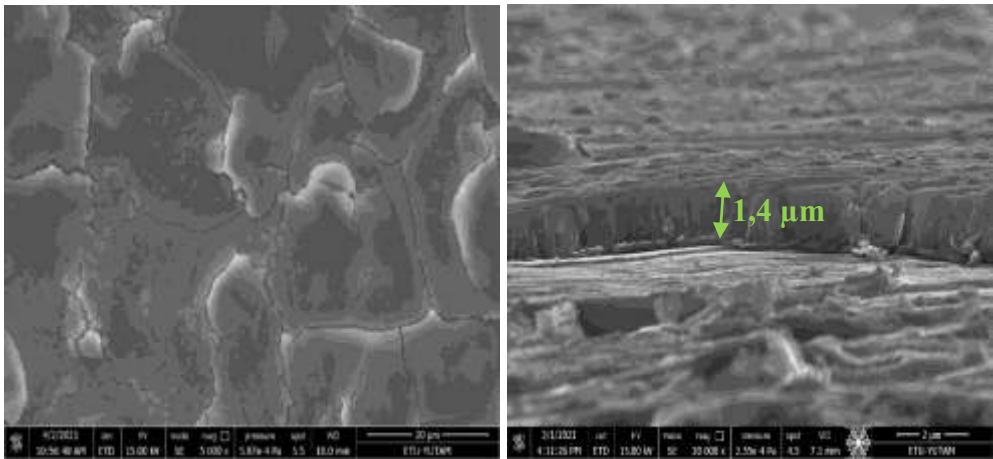
#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.4. AlSiN (%5 azot) SEM yüzey ve kesit görüntüleri



Şekil 4.5. AlSiN (%10 azot) SEM yüzey ve kesit görüntüleri

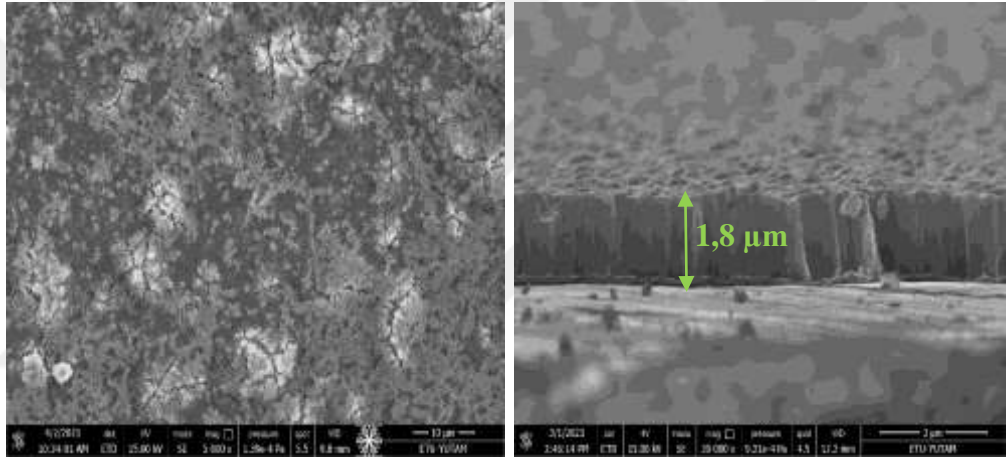


Şekil 4.6. AlSiN (%15 azot) SEM yüzey ve kesit görüntüleri

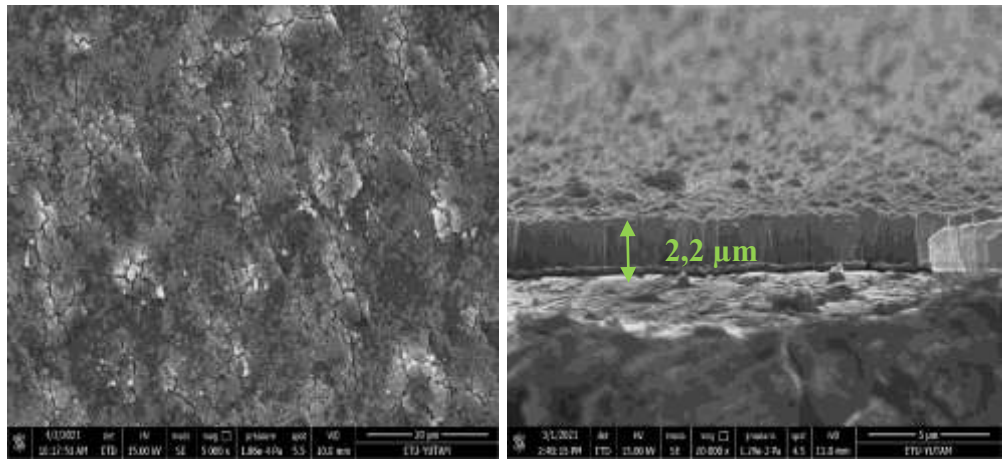
Magnusson ve arkadaşları AlSiO filmleri biriktirme tekniğinde reaktif (RF) magnetron sputtering kullanmıştır. Elde ettikleri sonuçlarda yüzey pürüzlülük değerleri

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

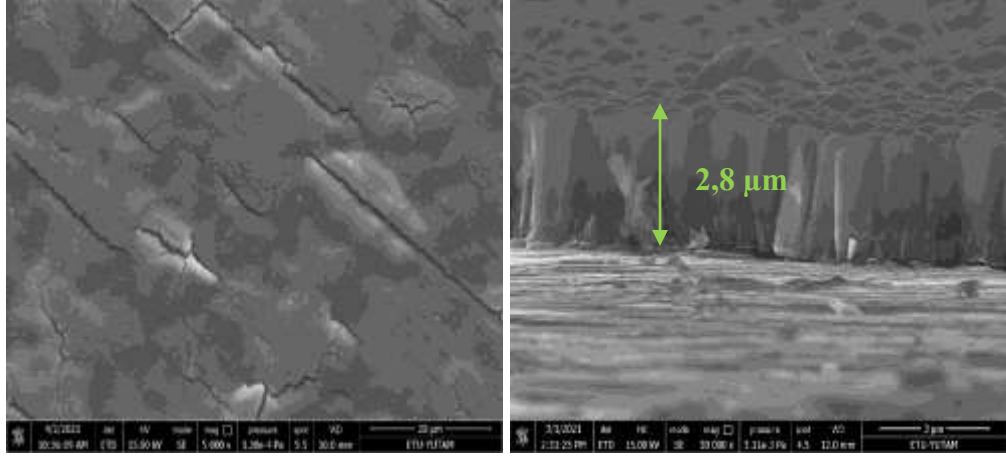
(Ra ) 0,89–1,98  $\mu\text{m}$  arasında değişmektedir. Sırasıyla 100, 300 ve 500  $^{\circ}\text{C}$ 'de biriken Al-Si-O filmlerin SEM görüntülerine bakıldığı zaman biriktirme sıcaklığından bağımsız olarak bileşimsel olarak homojen olduğu gösterilmiştir (Magnusson vd.,2021). Literatürdeki bu değerlerle yüzey pürüzlülük değerlerimiz yakındır. Filmlerin taramalı elektron mikroskopi ile alınmış olan yüzey görüntüleri Şekil 4.7, Şekil 4.8 ve Şekil 4.9 'da verilmiştir. AlSiO(%5, %10, %15 Oksijen) SEM yüzey görüntüsünde %5 - %10 Oksijenli olan filmde yüzeyde küçük taneler oluşmuştur. Kesit görüntülerinin ikisinde de bütün bir şekilde kolonsal bir yapı elde edilmiştir. %15 Oksijen olan filmde ise yüzey daha pürüzsüz hale gelmek üzere ama dalgalanmalar meydana gelmiştir. Kesit görüntüsünde ise çok yoğun ve dalgalı kolonsal bir yapı elde edilmiştir.



Şekil 4.7. AlSiO (%5 oksijen) SEM yüzey ve kesit görüntüleri



Şekil 4.8. AlSiO (%10 oksijen) SEM yüzey ve kesit görüntüleri



Şekil 4.9. AlSiO (%15 oksijen) SEM yüzey ve kesit görüntüleri

#### Kimyasal Kompozisyon Analizleri (EDS)

AISI D2 çelik taban malzemeler üzerine AlSiO(%5, %10, %15 Oksijen) ve AlSiN(%5, %10, %15 Azot) ile kaplama yapılan numunelerin kimyasal kompozisyonları, film kalınlıkları Enerji Dispersiv Spektrumu (EDS) ile belirlenmiştir. Filmlerin EDS analizleri atomik yüzde olarak ve film kalınlıkları Çizelge 4.2’de gösterilmektedir. En yüksek kalınlık değeri AlSiO (%15 Oksijen)’de  $2.8 \mu\text{m}$ , en düşük kalınlık değeri ise AlSiN (%15 Azot)’de  $1.4 \mu\text{m}$  olarak elde edilmiştir. AlSiN kaplamasındaki atomik yüzde olarak en yüksek AlSiN (%5 Azot)’de alüminyumdur ancak kaplama yapılan %5, %10, %15 Azot oranı arttıkça alüminyum ve azot neredeyse eşit hale gelmiştir. AlSiO kaplamasında ise %5, %10, %15 Oksijen oranı arttıkça en yüksek atomik yüzde %52 ile AlSiO (%15 Oksijen) olmuştur. Jiang ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada atom konsantrasyonu(%) ve  $\text{N}_2/\text{Ar}(\%)$  karşılaştırılmıştır.  $\text{N}_2/\text{Ar}(\%)$  akış oranı arttıkça Al ve Si düşmüştür. N ve O miktarlarında artış meydana gelmiştir ve kalınlık değeri azalmıştır ( Jiang vd.,2017). Çizelge 4.2’de verilen AlSiN (%5, %10, %15 Azot) ve AlSiO (%5, %10, %15 Oksijen) kaplamalarında alüminyum ve silisyumun atomik yüzdesi azaldıkça azotun artmıştır. AlSiN (%5, %10, %15 Azot) olan kaplamalarda benzer bir şekilde azot oranı arttıkça kalınlık azalmıştır.

**Çizelge 4.2.**AlSiN-AlSiO kaplamaların yüzey EDS (% at.) analizi

<b>Kaplamalar</b>	<b>Al</b>	<b>Si</b>	<b>N</b>	<b>O</b>	<b>Kalınlık((µm)</b>
AlSiN (%5 Azot)	46	31	18	5	1.7
AlSiN (%10 Azot)	42	29	25	4	1.6
AlSiN (%15 Azot)	35	26	32	7	1.4
AlSiO (%5 Oksijen)	51	26	-	23	1.8
AlSiO (%10 Oksijen)	49	20	-	31	2.2
AlSiO (%15 Oksijen)	34	14	-	52	2.8

#### 4.2.Mekanik Özellikler

AlSiN- AlSiO kaplamaların ortalama mikro sertlik değerleri Çizelge 4.3’de verilmiştir. Bütün numunelerin %5 Azot - Oksijen, %10 Azot - Oksijen ve %15 Azot - Oksijen yüzdeliklerine göre karşılaştırılmıştır. AlSiN (%5 Azot) ve AlSiO (%5 Oksijen)’de AlSiN (%5 Azot) 595 HK değeri ile daha serttir. AlSiN (%10 Azot) ve AlSiO (%10 Oksijen)’de AlSiO (%10 Oksijen) 477 HK değeri ile daha serttir. AlSiN (%15 Azot) ve AlSiO (%15 Oksijen) ‘de AlSiO (%15 Oksijen) 413 HK değeri ile daha serttir. AlSiO (%5,%10,%15 Oksijen) ve AlSiN (%5,%10,%15 Azot) arasından en yüksek sertlik değeri AlSiN (%5 Azot)’de 595 HK, en düşük sertlik değeri ise AlSiN (%15 Azot) ‘de 301 HK elde edilmiştir. Le ‘nin yaptığı çalışmada Si içeriği arttıkça, CrN/AlSiN ince filmlerin sertliği ve aşınma direnci artmıştır (Le vd.,2013).

**Çizelge 4.3.** Ortalama sertlik değerleri

<b>Kaplamalar</b>	<b>Ortalama Sertlik Değerleri(HK)</b>
AlSiN (%5 Azot)	595
AlSiN (%10 Azot)	362
AlSiN (%15 Azot)	301
AlSiO (%5 Oksijen)	564
AlSiO (%10 Oksijen)	477
AlSiO (%15 Oksijen)	413

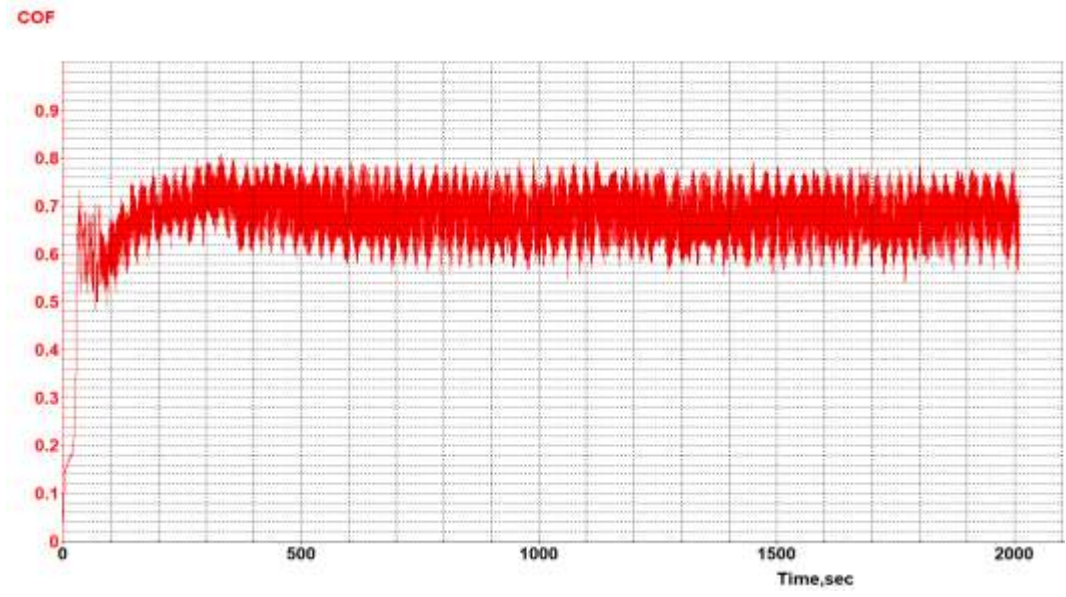
### 4.3. Tribolojik Özellikler

AlSiN ‘nin %5N, %10N, %15N oranında olan kaplamalara 2 N sabit yük uygulanarak çizik testi yapılmıştır ve sürtünme katsayıları (CoF) Çizelge 4.4’de verilmiştir. Bütün numuneler %5 Azot - Oksijen, %10 Azot - Oksijen ve %15 Azot - Oksijen yüzdeliklerine göre sürtünme katsayıları karşılaştırılmıştır. AlSiO (%5 Oksijen) ve AlSiN (%5 Azot) ‘de en yüksek sürtünme katsayısı AlSiO (%5 Oksijen)’de 0.69 değerindedir. AlSiO (%10 Oksijen) ve AlSiN (%10 Azot) ‘de en yüksek sürtünme katsayısı AlSiN (%10 Azot)’de 0.49 değerindedir. AlSiO (%15 Oksijen) ve AlSiN (%15 Azot) ‘de en yüksek sürtünme katsayısı AlSiN (%15 Azot)’de 0.56 değerindedir. Kaplamaların hepsi karşılaştırıldığında en düşük sürtünme katsayısı AlSiO (%10 Oksijen) ‘de 0.47 ve en yüksek sürtünme katsayısı AlSiO (%5 Oksijen) ‘da 0.69 ‘dir. Petkov ve arkadaşları katodik ark biriktirme yöntemi ile elde edilen bir AlSiN kaplamanın sürtünme katsayısı 0.7 ‘dir (Petkov vd.,2017). Literatürdeki bu değerlerle karşılaştırıldığında bu değerden daha düşük sürtünme katsayısı değerleri elde edilmiştir.

**Çizelge 4.4.** Sürtünme katsayısı değerleri

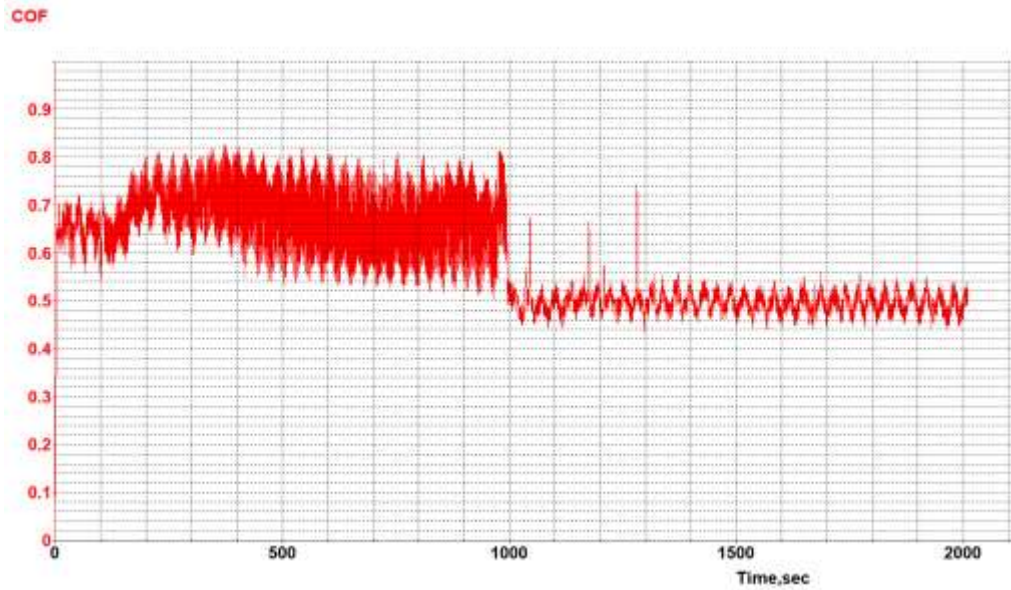
<b>Kaplamalar</b>	<b>Sürtünme Katsayısı(CoF)</b>
AlSiN (%5 Azot)	0.67
AlSiN (%10 Azot)	0.49
AlSiN (%15 Azot)	0.56
AlSiO (%5 Oksijen)	0.69
AlSiO (%10 Oksijen)	0.47
AlSiO (%15 Oksijen)	0.54

AlSiN (%5 Azot) ile kaplama yapılan numunenin sürtünme katsayısı grafiği Şekil 4. 10’da verilmiştir. Sıkı bir şekilde pikler oluşmuştur. Bu numunenin sürtünme katsayısı 0.67’dir.



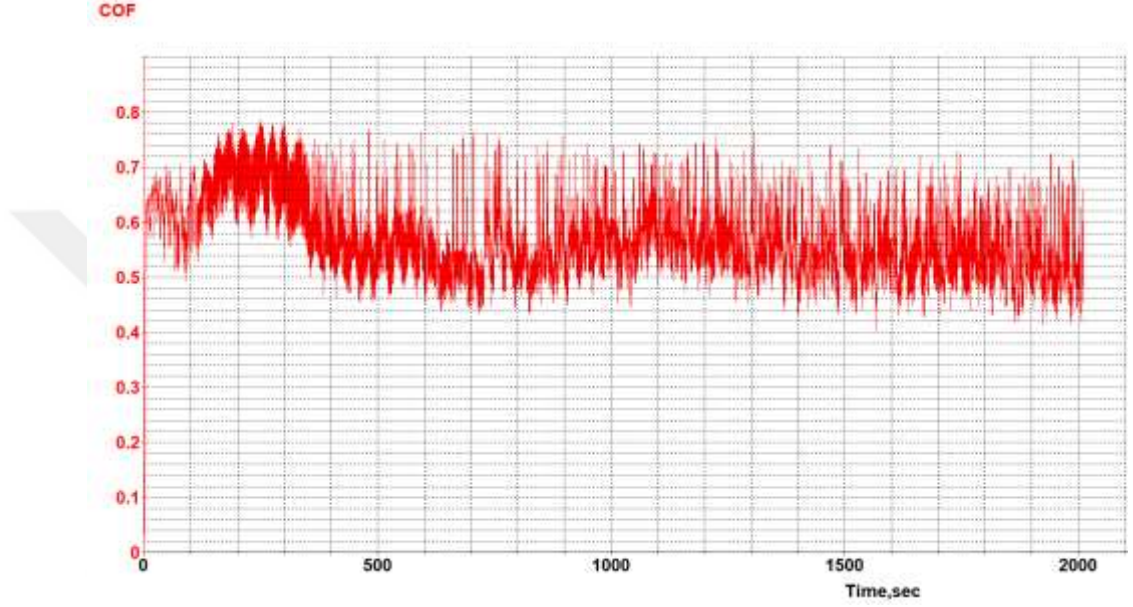
**Şekil 4.10.** AISiN (%5 azot) sürtünme katsayısı grafiği

AISiN (%10 Azot) ile kaplama yapılan numunenin sürtünme katsayısı grafiği Şekil 4. 11’de verilmiştir. 1000 ‘nci saniyeye kadar sık bir şekilde pikler oluşmuş ve 1000 ‘nci saniyeden sonra stabil pikler elde edilmiştir. Bu numunenin sürtünme katsayısı 0.49 ’dur. Petkov ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada AISiN-Küresel çelik kaplamanın sürtünme katsayısı yaklaşık olarak 8 metreden sonra stabil bir şekilde devam etmiştir. Bu değişim, kaplamadan daha düşük bir sertliğe sahip olan parçacıkların deney sırasında ayrılmasından dolayı hızlı gerçekleşir(Petkov vd.,2017). Şekil 4.11’de 1300’ncu saniyeden sonra stabil devam etmiştir.



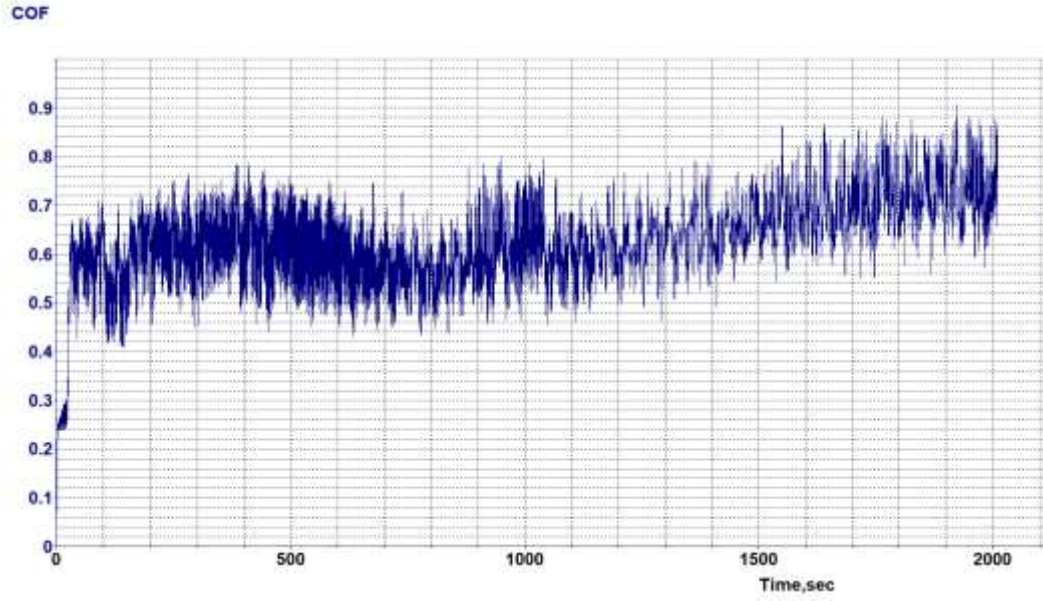
**Şekil 4.11.** AISiN (%10 azot) sürtünme katsayısı grafiği

AlSiN (%15 Azot) ile kaplama yapılan numunenin sürtünme katsayısı grafiği Şekil 4. 12’de verilmiştir. 300’uncu saniyeye kadar daha sıkı bir şekilde pikler oluşmuş ve 300’uncu saniyeden sonra seyrek pikler elde edilmiştir. Bu numunenin sürtünme katsayısı 0.56 ’dir. AlSiN numunelerden görüldüğü üzere azot miktarı arttıkça sürtünme katsayılarında (CoF) azalma meydana gelmiştir. Petkov ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada AlSiN-Küresel seramik kaplamada büyük zikzaklı pikler elde etmiştir (Petkov vd.,2017).



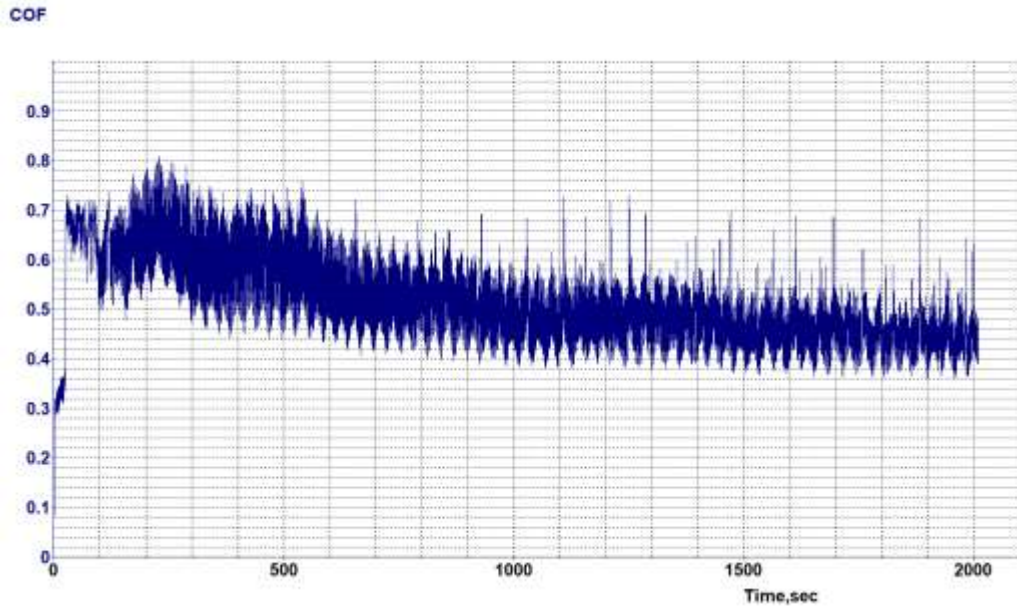
**Şekil 4.12.** AlSiN (%15 azot) sürtünme katsayısı grafiği

AlSiO (%5 Oksijen) ile kaplama yapılan numunenin sürtünme katsayısı grafiği Şekil 4. 13’de verilmiştir. 1000 ‘nci saniyeye kadar sık bir şekilde pikler oluşmuş ve 1000 ‘nci saniyeden sonra biraz daha seyrek pikler elde edilmiştir. Bu numunenin sürtünme katsayısı 0.69’dur.



Şekil 4.13. AlSiO (%5 oksijen) sürtünme katsayısı grafiği

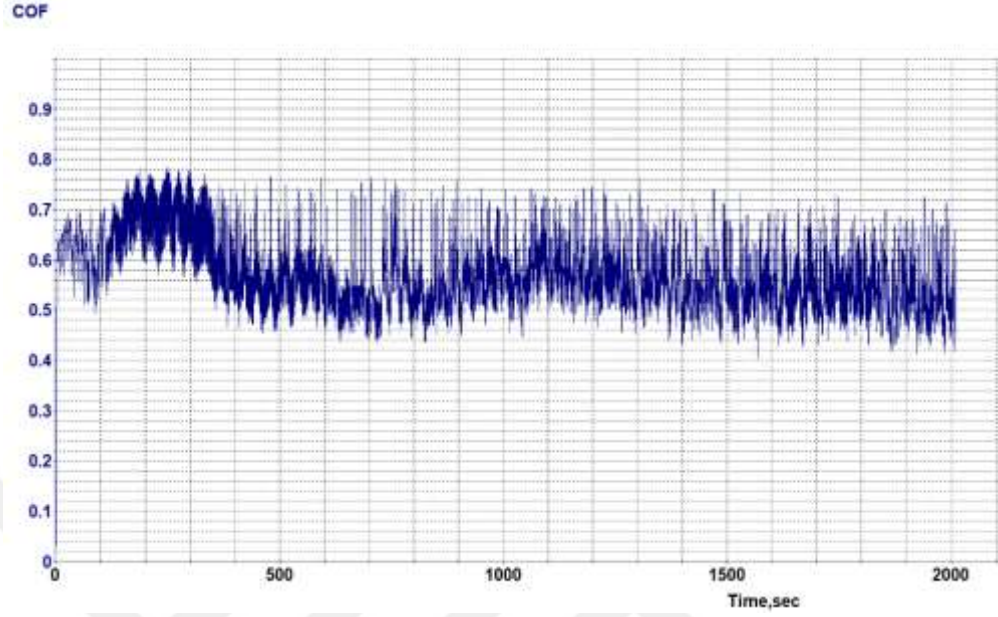
AlSiO (%10 Oksijen) ile kaplama yapılan numunenin sürtünme katsayısı grafiği Şekil 4. 14’de verilmiştir. Sık bir şekilde pikler oluşmuştur. Bu numunenin sürtünme katsayısı 0.47’dir.



Şekil 4.14. AlSiO (%10 oksijen) sürtünme katsayısı grafiği

AlSiO (%15 Oksijen) ile kaplama yapılan numunenin sürtünme katsayısı grafiği Şekil 4. 15’de görüldüğü gibi sık bir şekilde pik noktaları oluşmuştur. 300 ‘ncü saniye kadar biraz

daha sık pikler belli oluşmuştur ve daha sonra seyrek pikler meydana gelmiştir. Bu numunenin sürtünme katsayısı 0.54 olarak ulaşıldığı açıkça görülmektedir.



**Şekil 4.15.** AlSiO (%15 oksijen) sürtünme katsayısı grafiği

AlSiN- AlSiO kaplamalarda %5 Azot - Oksijen, %10 Azot - Oksijen, %15 Azot - Oksijen şeklinde CoF grafiklerinin davranışlarının karşılaştırması yapılmıştır. %5 Azot - Oksijen CoF grafiğinde nitrür olan filmde daha sıkı pikler elde edilmiştir. Oksit tabakada ise büyük zikzaklara ve daha kararsız bir CoF grafiğine sahip olduğu görülmektedir. Bu durum oksit yapıların nitrür yapılarına göre daha gevrek davrandığının bir göstergesidir. %10 Azot - Oksijen, CoF grafiğinde nitrür olan filmde 1000'nci saniyeye kadar sık ve 1300'ncü saniyeden sonra stabil devam etmiştir. Oksit tabakasında ise daha sık pikler elde edilmiştir ve nitrür kaplamaya göre daha kararlıdır. Bu durum nitrür yapıların oksit yapılarına göre daha gevrek davrandığının bir göstergesidir. %15 Azot - Oksijen CoF grafiğinde nitrür ve oksit olan filmlerin her ikisinde de büyük zikzaklara ve daha kararsız bir CoF grafiğine sahip olduğu görülmektedir. Bu durumda oksit ve nitrür yapıların gevrek davrandığının bir göstergesidir.

AlSiN-AlSiO filmlerin aşınma oranları hesaplanmıştır ve Çizelge 4.5'de verilmiştir. Bütün numunelerin %5 Azot - Oksijen, %10 Azot - Oksijen, %15 Azot - Oksijen yüzdelerine göre aşınma oranları karşılaştırılmıştır. AlSiN (%5 Azot) ve AlSiO (%5 Oksijen)'de AlSiO (%5 Azot)  $1,24 \times 10^{-4}$  değerle daha düşük aşınma oranına

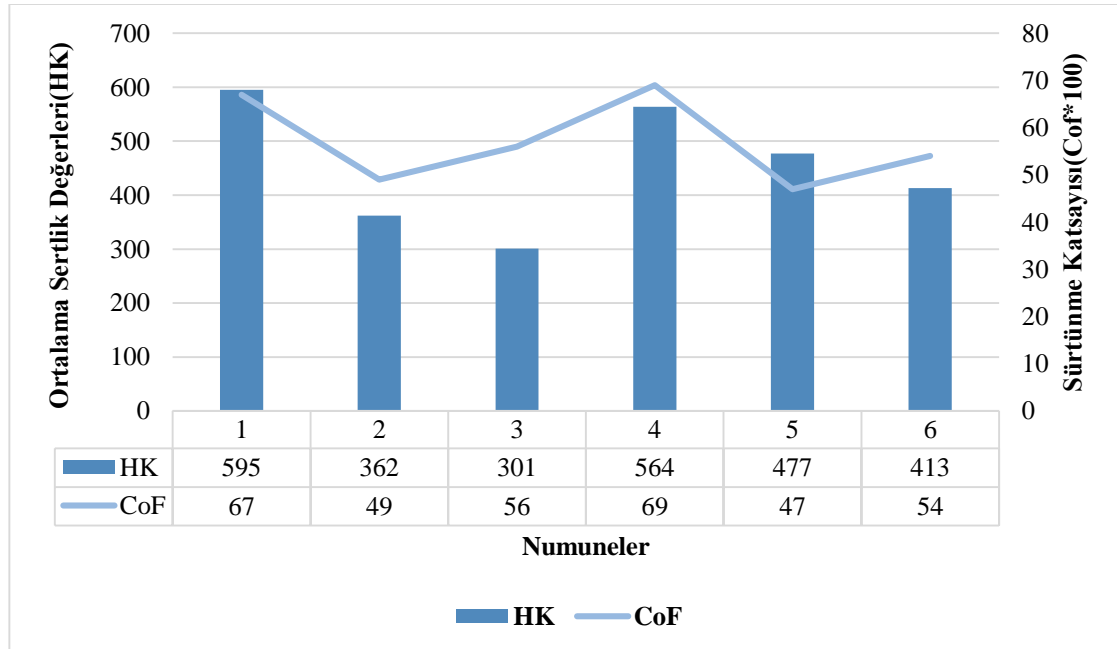
#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

sahiptir. AlSiN (%10 Azot) ve AlSiO (%10 Oksijen)'de AlSiO (%10 Oksijen)  $7,85 \times 10^{-5}$  değerle değerle daha düşük aşınma oranına sahiptir. AlSiN (%15 Azot) ve AlSiO (%15 Oksijen)'de AlSiO (%10 Oksijen)  $7,85 \times 10^{-5}$  değerler ile en düşük aşınma oranlarına sahiptir.

**Çizelge 4.5.** Kaplamaların aşınma oranları

Kaplamalar	Aşınma oranları
AlSiN (%5 Azot)	$1.24 \times 10^{-4}$
AlSiN (%10 Azot)	$7.85 \times 10^{-5}$
AlSiN (%15 Azot)	$9.525 \times 10^{-5}$
AlSiO (%5 Oksijen)	$1.395 \times 10^{-4}$
AlSiO (%10 Oksijen)	$1.0775 \times 10^{-4}$
AlSiO (%15 Oksijen)	$1.295 \times 10^{-4}$

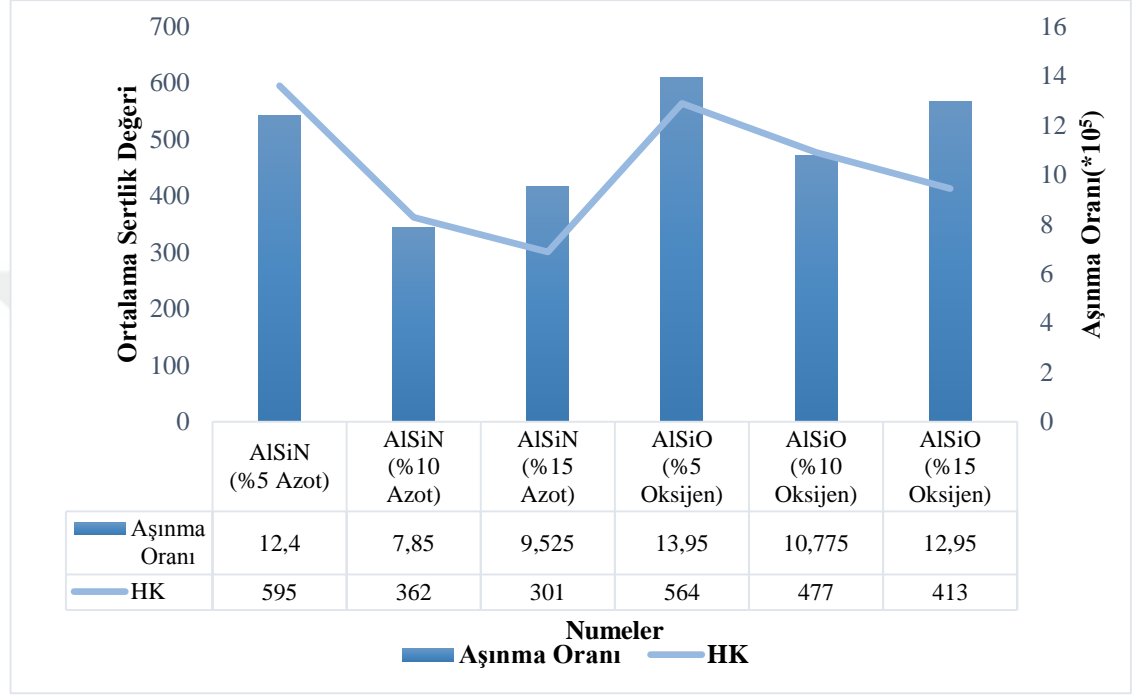
AISI D2 çelik taban malzemeler üzerine kaplama yapılan AlSiN-AlSiO numunelerin sertlik ile sürtünme katsayısı (CoF) karşılaştırılmasının sonucu Şekil 4.16'da verilmiştir. En yüksek iki sertlik değerlerinde 595 ve 564 HK'da en yüksek sürtünme değerleri 0.67 ve 0.69 değerleri elde edilmiştir. Şekil 4.16'da verilen %5, %10, %15 Azot ve %5, %10, %15 Oksijen miktarı arttıkça sertlik değeri azalmıştır.



**Şekil 4.16.** Sürtünme katsayısı-ortalama sertlik değeri

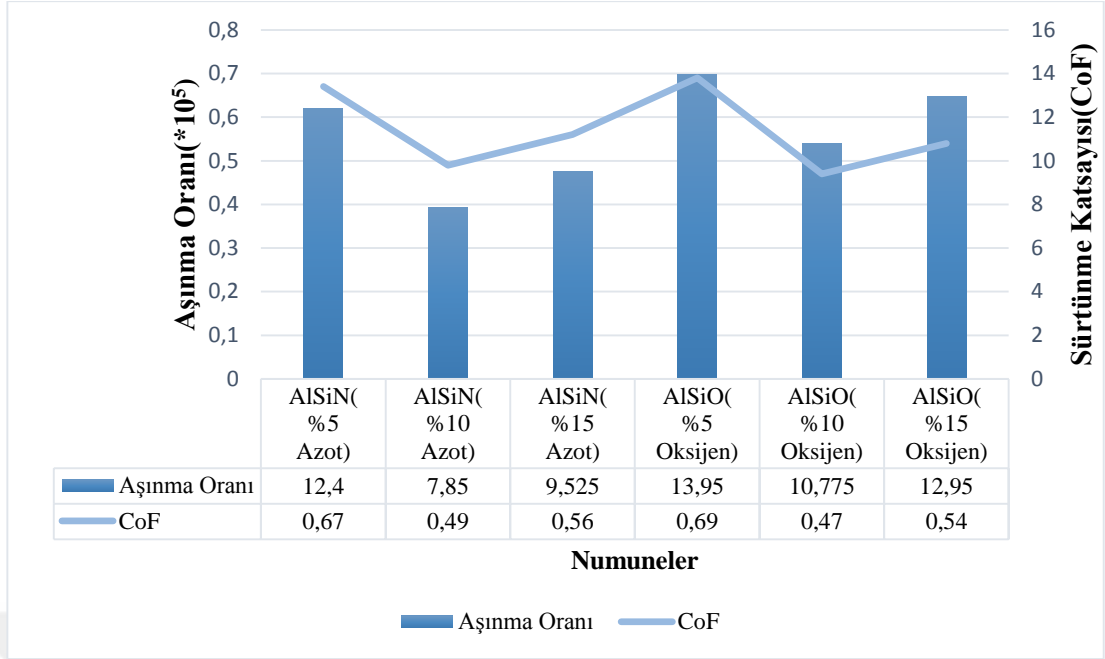
#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

AISI D2 çelik taban malzemeler üzerine kaplama yapılan numuneler üzerine aşınma oranı ile sertlik değerlerinin karşılaştırılmasının sonucu Şekil 4.17’de verilmiştir. Numuneler arasında en sert olanlar 595 HK değeriyle AlSiN (%5 Azot) ve 564 HK değeriyle AlSiO (%5 Oksijen) ‘dir ve en düşük sertliğe de 301 HK değeriyle AlSiN (%15 Azot)’dir.



Şekil 4.17. Aşınma oranı-ortalama sertlik değeri

AISI D2 çelik taban malzemeler üzerine kaplama yapılan numunelerin aşınma oranı ile sürtünme katsayısı (CoF) karşılaştırılmasının sonucu Şekil 4.18’de verilmiştir. En düşük sürtünme katsayısı AlSiO (%10 Oksijen) ‘de 0.47 değeri ve en yüksek sürtünme katsayısı AlSiO (%5 Oksijen)’de 0.69 değeri elde edilmiştir.



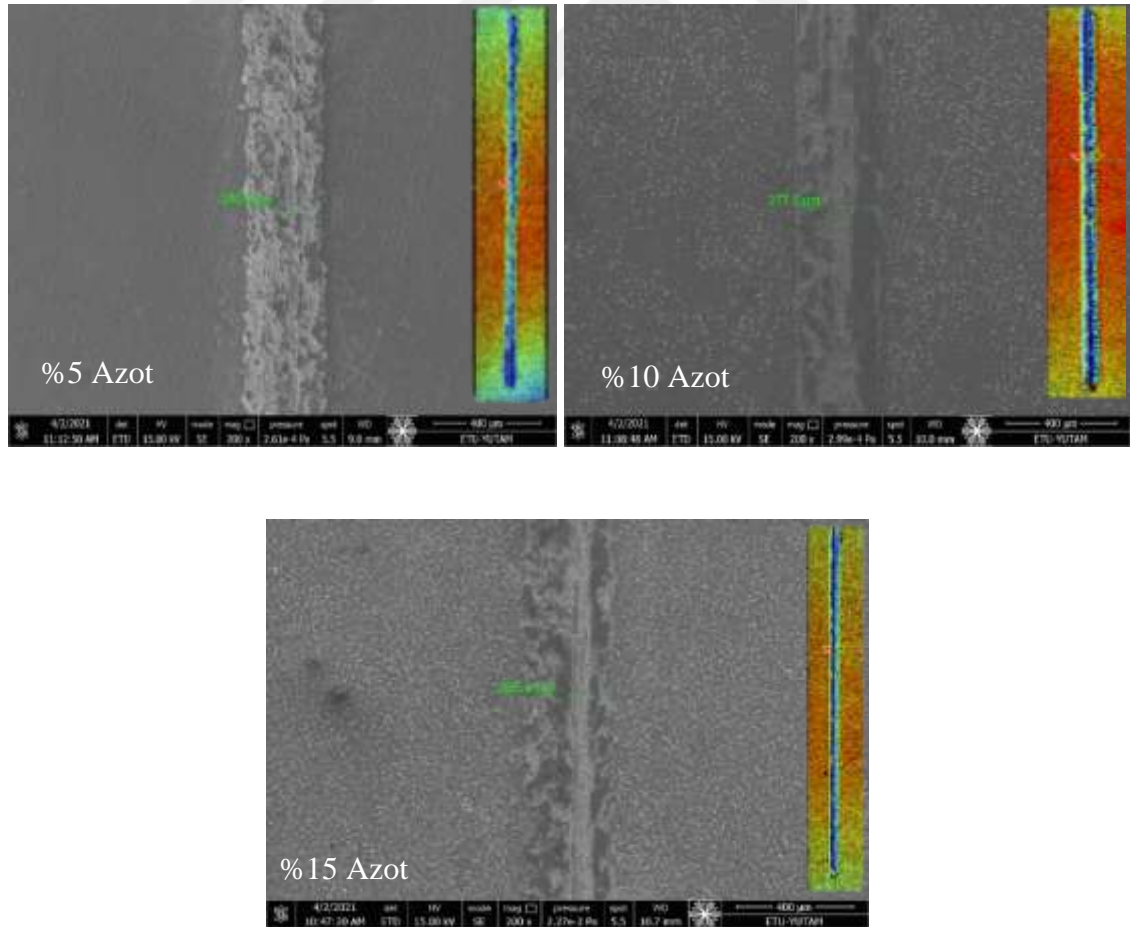
**Şekil 4.18.** Aşınma oranı-Sürtünme katsayısı

AlSiN(%5,%10,%15 Azot) -AlSiO(%5,%10,%15 Oksijen) ile kaplanan filmlerin mikro yapısal özelliklerini belirlemek için SEM görüntüleri alınmıştır. SEM görüntüleri Şekil 4.19'da AlSiN(%5,%10,%15 Azot) numunelerin iz genişlikleri ve Şekil 4.20'de AlSiO(%5,%10,%15 Oksijen) numunelerin iz genişlikleri verilmiştir. Bütün numunelerin %5 Azot - Oksijen, %10 Azot - Oksijen, %15 Azot - Oksijen yüzdelerine göre iz genişliği karşılaştırılmıştır. AlSiN (%5 Azot) ve AlSiO (%5 Oksijen)'de en yüksek 402  $\mu\text{m}$  değerinde AlSiO (%5 Oksijen)'dir. AlSiN (%10 Azot) ve AlSiO (%10 Oksijen)'de en yüksek 338.6  $\mu\text{m}$  değerinde AlSiO (%10 Oksijen)'dir. AlSiN (%15 Azot) ve AlSiO (%15 Oksijen)'de en yüksek 315.7  $\mu\text{m}$  değerinde AlSiO (%15 Oksijen)'dir. %5, %10, %15 Azot ve yine %5, %10, %15 Oksijen miktarıyla elde edilen kaplamalar kendi içlerinde de karşılaştırılmıştır. %5, %10, %15 Azot 'da en yüksek iz genişliği AlSiN (%15 Azot) filminde 295.4  $\mu\text{m}$ 'dır. %5, %10, %15 Oksijen 'de en yüksek iz genişliği AlSiO (%5 Oksijen) filminde 402  $\mu\text{m}$  elde edilmiştir. Oluşan izler arasında iz genişliği en küçük olan AlSiN (%5 Azot)'un 280.6  $\mu\text{m}$  olarak ölçülmüştür ve en yüksek değer ise AlSiO (%5 Oksijen)'un 402  $\mu\text{m}$  olarak ölçülmüştür. AlSiO filmlerinde oksijen miktarı arttıkça yüzeyde oluşan taneler belirgin hale gelmiştir. Magnusson ve arkadaşları AlSiO filmleri biriktirme tekniğinde reaktif (RF) magnetron sputtering kullanarak kaplama yapmıştır. İz genişlikleri sırasıyla 203 ile 392  $\mu\text{m}$  'dir ( Magnusson vd.,2021). Literatürdeki bu değerlerle iz genişlikleri değerlerimiz yakındır.

Çizelge 4.6. Filmlerin aşınma iz genişliği ( $\mu\text{m}$ )

Kaplamalar	İz Genişliği ( $\mu\text{m}$ )
AlSiN (%5 Azot)	280.6
AlSiN (%10 Azot)	317
AlSiN (%15 Azot)	295.4
AlSiO (%5 Oksijen)	402
AlSiO (%10 Oksijen)	338.6
AlSiO (%15 Oksijen)	315.7

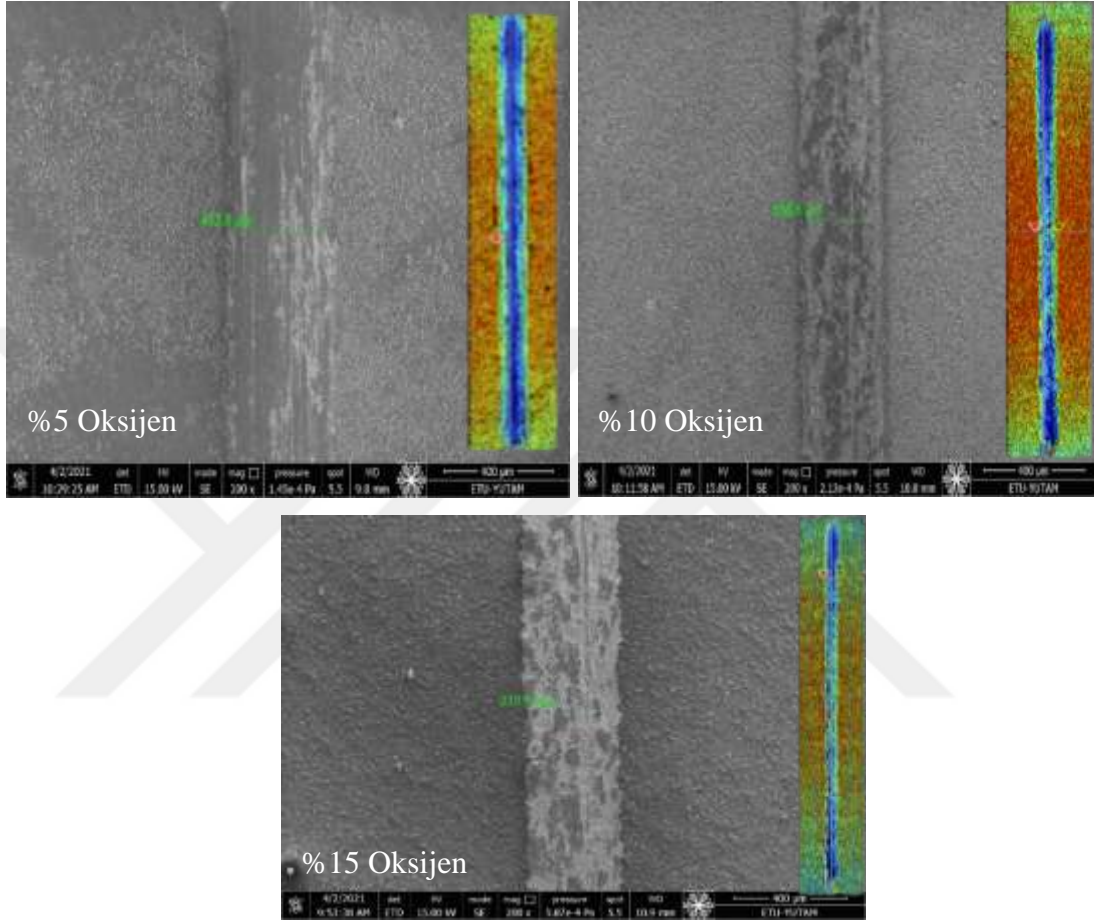
Şekil 4.19' da AlSiN(%5,%10,%15 Azot) kaplamalarının iz genişliklerinin SEM ve 3D Profilometre görüntüleri verilmiştir. Bu kaplamalar arasında en yüksek sertliğe sahip olan AlSiN (%5 Azot) kaplamada en düşük iz genişliği elde edilmiştir.



Şekil 4.19. AlSiN(%5,%10,%15 azot) numunelerin iz genişlikleri

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Şekil 4. 20' de AlSiO(%5, %10, %15 Oksijen) kaplamaların iz genişliklerinin SEM ve 3D Profilometre görüntüleri verilmiştir. Bu kaplamalar arasında en yüksek sertlik ve sürtünme katsayısına sahip olan AlSiO (%5 Oksijen) kaplamada en yüksek iz genişliği elde edilmiştir.



**Şekil 4.20.** AlSiO(%5,%10%15 oksijen) numunelerin iz genişlikleri

### 5. SONUÇ ve ÖNERİLER

AISI D2 çelik taban malzemeler üzerine AlSiO-AlSiN çok katmanlı kaplamalar fiziksel buhar kaplama yöntemlerinden biri olan sıçratma yöntemiyle büyütülmüştür. Elde edilen kaplamalara SEM, EDS, XRD, 3D yüzey profilmetre, mikro sertlik, ısıl işlem, aşınma cihazları yardımıyla analizler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda özet halinde verilmektedir.

- Fiziksel buhar kaplama yöntemlerinden biri olan sıçratma yöntemiyle büyütülmüş olan kaplamalar amorf bir yapıda olduğu gözlemlenmiştir. Bundan dolayı numunelere ısıl işlem uygulanmıştır.
- Kaplamaların XRD analizlerinde AlSiO-AlSiN filmlere ayrı ayrı bakıldığında; AlSiN ile kaplanan numunelerde  $33^\circ$ 'de AlSi(N) (100),  $37.5^\circ$ 'de AlN hexagonal(101),  $65^\circ$ 'de AlSi,  $66^\circ$ 'de AlN hexagonal(103) fazları oluşmuştur. AlSiO ile kaplanan numunelerde ise  $22.5^\circ$ 'de SiO<sub>2</sub>,  $27.5^\circ$ ,  $47.5^\circ$  'de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(0006),  $65^\circ$ 'de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(214),  $82.5^\circ$ 'de Al(222) fazları oluşmuştur.
- Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve Enerji Dispersiv Spektrumu (EDS) ile kaplamaların yüzey pürüzlülük, iz genişliği ve kalınlığı analiz edilmiştir. Bunun neticesinde AlSiO-AlSiN filmler incelendiğinde en yüksek yüzey pürüzlülük( Ra) değeri 1,02 µm ile AlSiO (%15 Oksijen) ve en düşük yüzey pürüzlülük( Ra) değeri 0,182 µm ile AlSiN (%10 Azot) 'de elde edilmiştir. Kaplama kalınlıkları incelendiğinde ise en yüksek kalınlık değeri 2.8 µm ile AlSiO (%15 Oksijen) ve en düşük kalınlık değeri 1.4 µm ile AlSiN (%15 Azot)'de elde edilmiştir. İz genişlikleri incelendiğinde ise en düşük iz genişliği 280.6 µm ile AlSiN (%5 Azot) ve en yüksek iz genişliği 402 µm ile AlSiO(%5 Oksijen) 'de elde edilmiştir. Ayrıca AlSiN %5 Azot ve AlSiO%15 Oksijen olan numunelerde iz genişliğinde belirgin abrasif taneler oluşmuştur.
- Kaplamalar arasında en düşük sürtünme katsayısı(CoF) 0.47 ile AlSiO (%10 Oksijen) 'de ve en yüksek sürtünme katsayısı 0.69 AlSiO (%5 Oksijen) 'de elde edilmiştir.

- Kaplamaların mikro sertlik değerlerinde en yüksek sertlik değeri 595 HK ile AlSiN (%5 Azot) ve en düşük sertlik değeri ise 301 HK ile AlSiN (%15 Azot)'de elde edilmiştir. Genel anlamda AlSiO (%5,%10,%15 Oksijen)'nin sertlik değerleri daha yüksektir. Ayrıca AlSiO (%5,%10,%15 Oksijen) ve AlSiN(%5,%10,%15 Azot)'de yüzdelik dilim arttıkça sertlik düşmüştür.
- 3D profilometre cihazından elde edilen sonuçlar neticesinde %5 Azot - Oksijen, %10 Azot - Oksijen, %15 Azot - Oksijen yüzdelik dilimlere göre ve kendi içlerinde de karşılaştırılma yapılmıştır. En düşük aşınma oranı  $7.85 \times 10^{-5}$  değeriyle AlSiN(%10 Azot) ve en yüksek aşınma oranı ise  $1.0775 \times 10^{-4}$  değeriyle AlSiO (%10 Oksijen)' de elde edilmiştir.

## KAYNAKLAR

- Alsaran, A., 2001. Dupleks yüzey işleme uygulanmış AISI 5140 çeliğinin yapısal, mekanik ve tribolojik özelliklerinin belirlenmesi, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum
- Akkurt, M. 2011. Makine Bilgisi. Birsen Yayınevi, 664, İstanbul
- Aytaç, A., & Malayoğlu, U. (2018). Fiziksel buhar biriktirme yöntemlerinden PVD ve JVD/DVD ince film kaplamaların karşılaştırılması ve DVD kaplama teknolojisinin endüstriyel uygulamaları üzerine kavramsal, akademik ve teorik bir analiz. *Savunma Bilimleri Dergisi*, 17(1), 131-164.
- Al-Samarai, A. R. A., Haftirman, K. R. A., & Al-Douri, Y. (2013). Effect of roughness of hypo-and hyper-eutectic Al-Si piston alloy on wear characteristics under lubrication. *Procedia Engineering*, 53, 616-623.
- Axén, N., Hogmark, S., Jacobson, S., 2001, *Modern Tribology Handbook Chapter 13: Friction and Wear Measurement Techniques*, CRC Press LLC
- Arnell, R. D., & Kelly, P. J. (1999). Recent advances in magnetron sputtering. *Surface and Coatings Technology*, 112(1-3), 170-176.
- Akan, T. (2006). 'Maddenin 4. hali plazma ve temel özellikleri. *Elektronik Çağdaş Fizik Dergisi*, 4.
- Bunshah, R. F. (Ed.). (1994). *Handbook of deposition technologies for films and coatings: science, technology, and applications*. William Andrew.
- Cansever, N. Manyetik Alanda Sıçratma Yönteminde Son Gelişmeler.
- Canci, U., CBD Yöntemiyle Hazırlanmış Katkılı ve Katkısız CdS İnce Filmlerin Elektriksel ve Optik Özelliklerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gebze İleri Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze, 2009
- Çobanoğlu, A. (1998). Ark PVD Yöntemi İle AISI 316 L İmplant Grade Paslanmaz Çelik Üzerine Kaplanmış ZrN Kaplamaların Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ding, J. C., Wang, Q. M., Liu, Z. R., Jeong, S., Zhang, T. F., & Kim, K. H. (2019). Influence of bias voltage on the microstructure, mechanical and corrosion properties of AlSiN films deposited by HiPIMS technique. *Journal of Alloys and Compounds*, 772, 112-121.
- Gürmen, S., Ebin, B., & İTÜ, M. (2008). Nanopartiküller ve üretim yöntemleri-1. *Metalurji Dergisi*, 150, 31-38.
- Hasançebi, Ö. Y. (2006). Sol-Gel Yöntemiyle Hazırlanan Bakır Oksit İnce Filmlerin Elektriksel, Yapısal Ve Optik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.

- Holleck, H. (1986). Material selection for hard coatings. *Journal of Vacuum Science & Technology A: Vacuum, Surfaces, and Films*, 4(6), 2661-2669.
- Hogmark, S., Hedenqvist, P., & Jacobson, S. (1997). Tribological properties of thin hard coatings: demands and evaluation. *Surface and Coatings Technology*, 90(3), 247-257.
- Huang, J.H., Hsu, C.Y., Chen S.S., ve Yu, G.P. (2003). Effect of substrate bias on the structure and properties of ion-plated ZrN on Si and stainless steel substrates. *Mater. Chem. Phys.*, 77:7-14.
- Jiang, X., Yang, F. C., Chen, W. C., Lee, J. W., & Chang, C. L. (2017). Effect of nitrogen-argon flow ratio on the microstructural and mechanical properties of AlSiN thin films prepared by high power impulse magnetron sputtering. *Surface and Coatings Technology*, 320, 138-145.
- Jost, H. P. (1990). Tribology—origin and future. *Wear*, 136(1), 1-17.
- Kelly, P. J., & Arnell, R. D. (2000). Magnetron püskürtme: son gelişmeler ve uygulamaların gözden geçirilmesi. *Vakum*, 56(3), 159-172.
- Krim, J. (2002). Surface science and the atomic-scale origins of friction: what once was old is new again. *Surface science*, 500(1-3), 741-758.
- Le, V. V., Nguyen, T. T., Kim, S. K., & Pham, K. H. (2013). Effect of the Si content on the structure, mechanical and tribological properties of CrN/AlSiN thin films. *Surface and Coatings Technology*, 218, 87-92.
- Mattox, D.M., 1998. *Handbook Of Physical Vapor Deposition (Pvd) Processing* New Jersey, U.S.A, Noyes Publications. New Jersey, U.S.A.
- Mattox, D.M., 1998. *Handbook of Physical Vapor Deposition (PVD) Processing*. United States of America, Noyes Publications. United States of America.
- Movchan, B.A., Demchishin, A. V., 1969. Study of the Structure and Properties of Thick Vacuum Condensates of Nickel, Titanium, Tungsten, Aluminum Oxide and Zirconium Oxide. *Phys. Met. Metalogr.*, 28,
- Magnusson, R., Paul, B., Eklund, P., Greczynski, G., Birch, J., Jonson, B., & Ali, S. (2021). Preparation and tunable optical properties of amorphous AlSiO thin films. *Vacuum*, 187, 110074.
- Navinšek, B., Panjan, P., & Milošev, I. (1999). PVD coatings as an environmentally clean alternative to electroplating and electroless processes. *Surface and Coatings Technology*, 116, 476-487.
- Nyaiesh, A. R. (1981). The characteristics of a planar magnetron operated at a high power input. *Thin Solid Films*, 86(2-3), 267-277.

- Özgüzar, H. F. (2017). Biyomedikal Uygulamalara Yönelik Amin Gruplarınca Zengin İnce Filmlerin Kararlılıklarının Geliştirilmesi: Plazma Polimerizasyon Yöntemi İle N-Hekzan Alttaş Film Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, TOBB Ekonomi Ve Teknoloji Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Özdemir, R. (2010). Elektrodopolama Yöntemi ile Elde Edilen ZnFe İnce Filmlerinin Elektriksel Özdirenç Özelliklerinin Sezgisel Yöntemler Yardımıyla İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kilis 7 Aralık Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kilis.
- Özel,S.,(2004).Cu-Sn-Zn-Al Bronz Alaşımı Yüzeyine Ferromangan Kaplamasının Aşınma Direncine Etkisinin Deneysel Olarak Araştırılması ,Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elâzığ.
- Petkov, N., Bakalova, T., Cholakova, T., Bahchedzhiev, H., Louda, P., Ryšánek, P., ... & Kejzlar, P. (2017). Study of surface morphology, structure, mechanical and tribological properties of an AlSiN coating obtained by the cathodic arc deposition method. *Superlattices and Microstructures*, 109, 402-413.
- Randhawa, H., & Johnson, P.C. (1987). Katodik ark plazma biriktirme süreçlerinin ve uygulamalarının gözden geçirilmesi. *Yüzey ve Kaplama Teknolojisi*, 31(4), 303-318.
- Sönmezoğlu, S., Koç, M., & Akın, S. (2012). İnce film üretim teknikleri. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 28(5), 389-404.
- Subramanian, C., Strafford, 1993, Review of Multicomponent and Multilayer Coating for Tribological Applications, *Wear*, 165, 85-95
- Seshan, K. (2002). Handbook of Thin Film Deposition Techniques Principles, Methods, Equipment and Applications, Second Editon. CRC Press.
- Sevgili, E. (2016). Başlatıcılı Kimyasal Buhar Biriktirme Yöntemi İle Tersiyer Amin İçeren Antibakteriyel Nano Kaplamaların Sentezi Ve Bu Kaplamaların Antibakteriyel Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Stachowiak, G., & Batchelor, A. W. (2013). *Engineering tribology*. Butterworth-Heinemann.
- Şimşek, B. (2017). Nanoyapılı Süperhidrofobik Tekstil Yüzeyi Modifikasyonu İçin Başlatıcılı Kimyasal Buhar Biriktirme (İCVD) Yöntemi İle Poli (Hekzafloro Bütül Akrlat) İnce Filmlerin Sentezi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Tuna, O., Selamet, Y., Aygun, G., & Ozyuzer, L. (2010). High quality ITO thin films grown by dc and RF sputtering without oxygen. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 43(5), 055402.
- Taşdemir, A. (2015). Thin film coating of silver on fibers by roll to roll inverted cylindrical magnetron sputtering (Master's thesis, Izmir Institute of Technology)

- Thornton, J.A., 1977. High-Rate Thick-Film Growth. Annual Review of Materials Science, 7, 239-260.
- Ustinov, A., Olikhovska, L., Melnichenko, T., & Shyshkin, A. (2008). Effect of overall composition on thermally induced solid-state transformations in thick EB PVD Al/Ni multilayers. Surface and coatings technology, 202(16), 3832-3838.
- Xian-Qing, X., Tong-Xiang, F., Bing-He, S., Di, Z., Sakata, T., Mori, H., & Okabe, T. (2003). Dry sliding friction and wear behavior of woodceramics/Al-Si composites. Materials Science and Engineering: A, 342(1-2), 287-293.
- Yıldız, F. 2005. Farklı Yüzey İşlemlerinin Metalik İmplant Malzemeler Üzerine Etkileri. Atatürk Üniveristesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi
- Zor, M., Spray-Pyrolysis ile Elde Edilen AgInS<sub>2</sub> Bileşiğinin Bazı Fiziksel Özellikleri, Doçentlik Tezi, Ankara, 1982

