

**KAPLAMA MALZEMESİ VE KAPLAMA  
KALINLIĞININ FLAME SPREY YÖNTEMİ İLE  
KAPLANMIŞ MALZEMELERİN ELEKTRİK  
İLETKENLİĞİNE ETKİSİ  
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Önder YEŞİL**

**DANIŞMAN**

**Doç. Dr. Osman ASİ**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Temmuz 2012**

**T.C  
UŞAK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜŐÜ**

**MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**KAPLAMA MALZEMESİ VE KAPLAMA KALINLIĞININ FLAME SPREY  
YÖNTEMİ İLE KAPLANMIŞ MALZEMELERİN ELEKTRİK İLETKENLİĞİNE  
ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ÖNDER YEŞİL**

**UŞAK 2012**

Önder YEŞİL tarafından hazırlanan Kaplama Malzemesi ve Kaplama Kalınlığının Flame Sprey Yöntemi İle Kaplanmış Malzemelerin Elektrik İletkenliğine Etkisi adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Osman ASİ  
Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

.....

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Osman ASİ  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Uşak Üniversitesi

.....

Doç. Dr. Mustafa TOPARLI  
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Dokuz Eylül Üniversitesi

.....

Yrd. Doç. Dr. Mehmet AKTAŞ  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Uşak Üniversitesi

.....

Tarih: 10.07.2012

Bu tez ile U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Yrd. Doç. Dr. Mehmet AKTAŞ  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

.....

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Önder YEŞİL



# KAPLAMA MALZEMESİ VE KAPLAMA KALINLIĞININ FLAME SPREY YÖNTEMİ İLE KAPLANMIŞ MALZEMELERİN ELEKTRİK İLETKENLİĞİNE ETKİSİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Önder YEŞİL

UŞAK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2012

## ÖZET

İkinci Dünya Savaşından sonra kaplama teknolojisi hızla gelişmekte ve endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada,  $Cr_2O_3$  ve  $Al_2O_3+TiO_2$  'ın farklı oranlardaki karışımları Al 6082 malzeme yüzeyine 0,3 mm 0,5 mm 1 mm kalınlıkta toz alev sprej yöntemiyle kaplanmıştır. Kaplanmış numunelerin elektriksel dirençleri, farklı elektriksel direnç ölçümü yöntemleri kullanılarak ölçülmüştür. Mikrosertlik ve pürüzlülük ölçümü deneyleri yapılmıştır. Kaplanmış numuneler SEM ve optik mikroskopla incelenmiş ve görüntüleri alınmıştır. Elektriksel direnç ölçümü incelemelerinden kaplama kalınlığı arttıkça elektriksel direncin de arttığı ve yüksekte alçağa doğru elektriksel dirençlerin, kaplama seramik tozuna göre  $Cr_2O_3$ ,  $Al_2O_3+TiO_2$  (%60/40) ve  $Al_2O_3+TiO_2$  (%97/3) numunelerinin sahip olduğu belirlenmiştir. Pürüzlülük ölçümü araştırmalarında kaplama kalınlığı arttıkça pürüzlülüğün arttığı ve  $Al_2O_3$  kompozisyonu numunelerin daha yüksek pürüzlülük değerine sahip olduğu görülmüştür.  $NiAl+Cr_2O_3$  numunelerinin en düşük pürüzlülük değerine ve  $Al_2O_3+TiO_2$  (%97/3) numunelerinin en yüksek pürüzlülük değerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu Yüksek Lisans Tezi Uşak Üniversitesi BAP Birimi Tarafından 2012/TP001 numaralı proje ile desteklenmiştir.

**Bilim Kodu:**625

**Anahtar kelimeler:** Elektriksel direnç, sert seramik tozları, Flame sprej kaplama, yüzey pürüzlülüğü

**Sayfa Adedi:** 146

**Tez Yöneticisi:** Doç. Dr. Osman ASİ

# **THE EFFECT OF COATING MATERIAL AND COATING THICKNESS ON FLAME SPRAYED MATERIALS' ELECTRICAL CONDUCTIVITY**

**(M.Sc. Thesis)**

**Önder YEŞİL**

**UŞAK UNIVERSITY**

**GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES**

**July 2012**

## **ABSTRACT**

After the World War II, coating technology has been rapidly developing and has been widely used in industrial applications. In this study, hard ceramic powders  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  and different mixture ratios of  $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiO}_2$  are coated on Al 6082 aluminum substrate with the thickness of 0,3 mm 0,5 mm and 1 mm by powder flame spray method. The coated samples' electrical resistances were measured by different electrical resistance measurement methods. Microhardness and roughness measurement experiments were performed. Coated samples were investigated by a SEM and Optical microscope and their images were obtained. From the electrical resistance measurement investigations it was found that electrical resistance increases with the increase in coating thickness and samples have from high to low electrical resistances by coating ceramic powder  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiO}_2$  (%60/40) and  $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiO}_2$  (%97/3). From the roughness measurement investigations it was seen that roughness increases with the increase in coating thickness and mixtures of  $\text{Al}_2\text{O}_3$  samples have higher roughness values. It was found that  $\text{NiAl}+\text{Cr}_2\text{O}_3$  samples have the lowest roughness values and  $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiO}_2$  (%97/3) samples have the highest roughness values.

This M.Sc. Thesis is stood by Uşak University Unit of BAP with number of 2012/TP001 project.

**Science Code :625**

**Keywords:** Electrical Resistance, hard ceramic powders, flame spray coating, surface roughness

**Number of Pages:** 146

**Supervisor:** Assoc. Prof. Dr. Osman ASİ

## TEŞEKKÜR

Bu çalıőmanın her safhasında bilgileri ve tecrübeleri ile yolumu aydınlatan, ilgi ve yardımları sayesinde bu çalıőmanın ortaya çıkmasını sağlayan sayın danışman hocam Doç. Dr. Osman ASİ'ye en içten teőekkürlerimi bir borç bilirim.

Ayrıca tezin deneysel çalıőmalarında benden yardımını esirgemeyen sevgili eőim Arzu YEŞİL'e ve değerli arkadaőım Arő. Gör. Yelda AKÇİN' e teőekkürlerimi sunarım.

Tez çalıőmam boyunca heyecanımı ve zorluklarımı paylaşan sevgili Aileme kıymet biçilmez desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Önder YEŞİL

# İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET</b>	i
<b>ABSTRACT</b>	ii
<b>TEŞEKKÜR</b>	iii
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ</b>	vi
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b>	vii
<b>RESİMLER DİZİNİ</b>	xii
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b>	xv
<b>1 GİRİŞ</b>	1
<b>2 MALZEME ÇEŞİTLERİ VE İÇYAPILARI</b>	5
2.1 Malzeme Tanımı ve Özellikleri	5
2.2 Elementler ve Atom Yapısı	6
2.2.1 Periyodik Gruplar	9
2.2.1.1 Alkali Metaller	9
2.2.1.2 Toprak Alkali Metaller	9
2.2.1.3 Geçiş metalleri	9
2.2.1.4 Lantanidler	10
2.2.1.5 Aktinidler	10
2.2.1.6 Transaktinidler	10
2.2.1.7 Ametaller	10
2.2.1.8 Halojenler	10
2.2.1.9 Soygazlar	11
2.2.2 Atom Modelleri	11
2.2.2.1 Thomson Atom Modeli	12
2.2.2.2 Rutherford Atom Modeli	12
2.2.2.3 Bohr Atom Modeli	12
2.2.2.4 De Broglie'un Atom Modeli	13
2.3 Atomlar Arası Bağlar	13
2.3.1 İyonik Bağ	13
2.3.2 Kovalent Bağ	14
2.3.3 Metalik Bağ	14

2.3.4 Van Der Waals Bağları	15
2.3.4.1 Molekül Kutuplaşması	15
2.3.4.2 Ani Kutuplaşma	15
2.3.4.3 Hidrojen Köprüsü	15
2.4 Polimerler	16
2.4.1 Termoplastikler	16
2.4.2 Termosetler	17
2.4.3 Elastomerler	18
2.5 Kompozit Malzemeler	18
2.5.1 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	18
2.6 Metaller	19
2.6.1 Demir	20
2.6.2 Çelik	20
2.6.3 Dökme Demir	20
2.6.4 Bakır	20
2.6.5 Alüminyum	21
2.7 Seramikler	21
2.7.1 Silikatlar	22
2.7.2 Silikat Olmayan Oksit Seramikler	22
2.7.2.1 Alüminyum Oksit	22
2.7.2.2 Titan Di Oksit	23
2.7.2.3 Kromiyum Tri Oksit	23
2.7.2.4 Zirkonyum Di Oksit	23
2.7.2.5 Magnezyum Oksit	24
2.7.3 Oksit Olmayan Seramikler	24
2.7.3.1 Silisyum Karbür	24
2.7.3.2 Silisyum Nitrür	25
2.7.3.3 Titan Karbür	25
2.7.3.4 Bor Karbür	25
2.8 Malzeme Türüne Göre Özelliklerinin Karşılaştırılması	27
<b>3 ELEKTRİK</b>	<b>28</b>
3.1 Elektrik Akımı	28

3.1.1 Kararlı Akımlar	29
3.2 Elektriksel Potansiyel	31
3.3 Elektriksel İletkenlik ve Ohm Yasası	32
3.3.1 Metallerin Elektriksel İletkenliği	34
3.4 İletkenlerin Direnci ve Etki Eden Faktörler	35
<b>4 ELEKTRİKSEL BÜYÜKLÜKLERİN BELİRLENMESİ</b>	<b>39</b>
4.1 Elektriksel Ölçü Aletleri	39
4.1.1 Elektromanyetik Sapma	41
4.1.2 Elektrostatik Sapma	41
4.1.3 Isınma	42
4.1.4 Ampermetre	43
4.1.5 Voltmetre	44
4.1.6 Ohmmetre	46
4.1.7 Multimetre	47
4.1.8 Wattmetre	47
4.1.9 Sayaçlar	48
4.1.9 Frekans Sayıcılar	49
4.1.10 Osiloskop	49
4.2 Elektriksel Direnç Ölçüm Metotları	50
4.2.1 İki Nokta Tekniği	50
4.2.2 Dört Nokta Ölçüm Metodu	51
4.2.3 Eddy Akımı Metodu	51
4.2.4 Sıfır Ölçüm Metodu	53
4.2.5 Wheatstone köprüsü	53
4.2.6 Dört Nokta Prob Tekniği	55
4.2.7 Van Der Pauw Tekniği	57
4.3 Ölçme Hataları	60
4.3.1 Ölçü Aleti Sınırları	60
4.3.2 Ölçü Aleti Hataları	61
4.3.3 Kullanıcı Kaynaklı Hatalar	62
4.3.4 Ölçme İşleminde Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar	62

<b>5 KAPLAMA</b>	64
5.1 Kaplama Yöntemleri	64
5.1.1 Elektrolitik Kaplama	65
5.1.2 Termokimyasal Difüzyon İşlemleri	65
5.1.3 Galvanizleme	66
5.1.4 Emaye Kaplama	66
5.1.5 Kimyasal Buhar Biriktirme Yöntemi (CVD)	67
5.1.6 Fiziksel Buhar Biriktirme Yöntemi (PVD)	67
5.1.7 Sol Jel Prosesi	68
5.1.8 Polimer Kaplama	68
5.1.9 Termal Sprey Kaplama Metodu	68
5.1.9.1 Plazma Sprey Kaplama	71
5.1.9.2 Ark Sprey Kaplama	72
5.1.9.3 Detonasyon Alev Püskürtme (D-GUN)	72
5.1.9.4 Yüksek Hızlı Oksi-yakıt Püskürtme (HVOF)	73
5.1.9.5 Soğuk Gaz Spreyleme Metodu (CGS)	74
5.1.9.6 Toz alev Püskürtme Metodu	74
5.2 Kaplanacak Yüzeyin Hazırlanması	77
5.2.1 Yüzey Temizleme	77
5.2.2 Kaplanacak Yüzey Geometrisinin Uygunluğu	77
5.2.3 Yüzey Pürüzlendirme	78
5.2.4 Ara Bağlayıcı	80
5.2.5 Maskeleme	81
5.2.6 Ön Isıtma	81
5.2.7 Püskürtme Sonrası Yapılan İşlemler	81
5.3 Flame Sprey Kaplama Yönteminde Püskürtme Parametreleri	82
5.3.1 Alev ayarı	82
5.3.2 Püskürtme mesafesi	82
5.3.3 Püskürtme Açısı	83
5.3.4 Püskürtme hızı ve kaplama	83
5.3.5 Kaplama Sıcaklığı	83
5.4 Literatür Araştırması	83

<b>6 MATERYAL METOT</b>	87
6.1 Altlık Malzemenin Hazırlanması	87
6.2 Kaplama Malzemeleri ve Özellikleri	89
6.3 Toz alev Püskürtme İşlemi	90
6.3.1 Toz Alev Sprey Kaplama Parametreleri	91
6.4 Elektriksel Direnç Ölçümü	92
6.5 Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü	94
6.6 Mikrosertlik Ölçümü	97
6.7 Mikroyapı Görüntülerinin Alınması	98
<b>7 DENEYSEL BULGULAR</b>	101
7.1 Elektriksel Direnç Ölçümü Deneyleri Sonuçları	102
7.2 Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü Deney Sonuçları	106
7.3 Mikrosertlik Ölçümü Deney Sonuçları	117
7.4 SEM Mikroskobu ile Alınan Mikroyapı Görüntüleri	117
7.5 SEM Mikroskobu ile Alınan EDX Verileri	122
7.6 Optik Mikroskop ile Alınan Mikroyapı Görüntüleri	131
<b>8 DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ</b>	134
8.1 Elektriksel Direnç Ölçümü ile Elde Edilen Verilerin Değerlendirilmesi	134
8.2 Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü ile Elde Edilen Verilerin Değerlendirilmesi	136
8.3 Mikrosertlik Ölçümü ile Elde Edilen Verilerin Değerlendirilmesi	137
8.4 Mikroyapı İncelemeleri ile Elde Edilen Verilerin Değerlendirilmesi	139
<b>9 SONUÇ VE ÖNERİLER</b>	140
<b>KAYNAKLAR</b>	142
<b>ÖZGEÇMİŞ</b>	146



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

YMK	Yüzey merkezli kübik
LED	Işık yayan diyot
PMK	Polimerik matrisli kompozit
SMK	Seramik matrisli kompozit
MMK	Metal matrisli kompozit
AC	Alternatif akım
DC	Doğru akım
HV	Vickers sertlik
HVOF	Yüksek Hızlı Oksi-Yakıt Püskürtme
FETVM	Alan etkili transistörlü voltmetre
CVD	Kimyasal buhar biriktirme
PVD	Fiziksel buhar biriktirme
D-GUN	Detonasyon Alev Püskürtme
CGS	Soğuk gaz spreyleme
PFCVAD	Atmalı filtreli katodik vakum ark depolama
HSS	Yüksek hız çeliği
EDX	Enerji dispersif X ışını spektroskopisi

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No	
Şekil 2.1	Periyodik cetvel	6
Şekil 2.2	Sodyum atomu şematik gösterimi	7
Şekil 2.3	Elektronun enerji seviyeleri	8
Şekil 2.4	Atom modellerinin tarihi gelişimi	11
Şekil 2.5	Modern atom kuramı	12
Şekil 2.6	İyonik Bağ oluşumu	13
Şekil 2.7	Kovalent bağ	14
Şekil 2.8	Metalik bağ	14
Şekil 2.9	Molekül kutuplaşması	15
Şekil 2.10	Hidrojen köprüsü	16
Şekil 2.11	Monomerlerden polimer üretimi	16
Şekil 2.12	Termoplastik yapılar	16
Şekil 2.13	Elyaf takviyeli kompozit çeşitleri	19
Şekil 2.14	Elyaf takviyeli kompozit çeşitleri	19
Şekil 3.1	Birim hacimden geçen elektronlar	28
Şekil 3.2	Kontak geometrisine bağlı elektrik akımının değişimi	29
Şekil 3.3	S kesitinden elektron akışı	30
Şekil 3.4	Diyot lamba	31
Şekil 3.5	İletken içerisinden geçen elektrik akımı	33
Şekil 3.6	Sodyum atomu enerji seviye bantları ve enerji bantlarının atomlar arası mesafe ile değişimi	36
Şekil 3.7	Silindirik kompozit iletkenlerde elektrik iletimi	36
Şekil 3.8	Bazı malzemelerin sıcaklıkla elektrik iletkenliklerinin değişimi	38
Şekil 4.1	Galvanometre	41
Şekil 4.2	Yüklenmiş elektroskop	42
Şekil 4.3	D'Arsonval mekanizması	43
Şekil 4.4	Mikroampermetre ile gerilim ölçümü	44
Şekil 4.5	Elektrostatik voltmetrenin basit şeması	45
Şekil 4.6	Direnç ölçme devresi	46
Şekil 4.7	Voltmetre ve ampermetre kullanılarak yapılan güç ölçümü	48
Şekil 4.8	Dikdörtgen numune üzerinde iki nokta direnç ölçümü	50

Şekil 4.9	Dikdörtgen numune üzerinde dört nokta direnç ölçümü	51
Şekil 4.10	Eddy akımı ile direnç ölçümünde endüktif reaktans değişimi	52
Şekil 4.11	Basit eddy akımı test cihazı	53
Şekil 4.12	Wheatstone köprüsü	53
Şekil 4.13	Wheatstone köprüsü denge hali	54
Şekil 4.14	Kaplama ölçüm numunesi	55
Şekil 4.15	Dört Nokta Prob Tekniği	56
Şekil 4.16	G düzeltme katsayı değerleri grafiği	57
Şekil 4.17	Van Der Pauw Metodu ölçümü şematik gösterimi	57
Şekil 4.18	$f\left(\frac{R_{AB,CD}}{R_{BC,DA}}\right)$ düzeltme katsayı fonksiyonu	60
Şekil 4.19	Ölçü aleti hata grafiği	61
Şekil 4.20	Ampermetre ile akım ölçümü	61
Şekil 5.1	Kaplama teknolojisinin yıllara ve kullanım alanlarına göre tarihi gelişimi	64
Şekil 5.2	Demir çinko alaşım tabakaları	66
Şekil 5.3	PVD şematik gösterimi	67
Şekil 5.4	Termal sprej metodu ile yapılmış kaplama	69
Şekil 5.5	Termal sprej yöntemlerinin sınıflandırılması	69
Şekil 5.6	Termal sprej yöntemlerinin enerji kaynaklarına göre sınıflandırılması	70
Şekil 5.7	Termal sprej yönteminde parçacık yönlendirilmesi	70
Şekil 5.8	Termal sprej yöntemi proses şeması	70
Şekil 5.9	Termal Sprej Yöntemi Prosesine etki eden faktörler	71
Şekil 5.10	farklı tip plazma sprej tabancaları	72
Şekil 5.11	Ark Sprej uygulaması	72
Şekil 5.12	Detonasyon alev püskürtme tabancası	73
Şekil 5.13	HVOF tabancası	73
Şekil 5.14	Soğuk gaz sprej şeması	74
Şekil 5.15	Toz alev püskürtme yöntemi şematik gösterimi	74
Şekil 5.16	Alev sprej yönteminde kullanılan yalıtkan parçacıkların ısı davranışları	76
Şekil 5.17	Alev sprej püskürtme işlemi	78
Şekil 5.18	Altlık yüzey geometrisi tasarımı	78

Şekil 5.19	Pürüzlü yüzey üzerine ergimiş parçacığın girişimi ve oluşan mekanik bağ	79
Şekil 5.20	Farklı basınçlar için zamana bağlı pürüzlülük değerleri	79
Şekil 6.1	Yüzey pürüzlük parametreleri	96
Şekil 6.2	Profil yataklama uzunluğu oranı	97
Şekil 6.3	Vickers elmas piramit ölçüm ucu ve izi	97
Şekil 7.1	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> numuneleri elektriksel direnç değerleri	102
Şekil 7.2	NiAl+Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> numuneleri elektriksel direnç değerleri	103
Şekil 7.3	NiAl+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> (%97/3) numuneleri elektriksel direnç değerleri	103
Şekil 7.4	NiAl+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> (%60/40) numuneleri elektriksel direnç değerleri	104
Şekil 7.5	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> (%97/3) numuneleri elektriksel direnç değerleri	104
Şekil 7.6	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> (%60/40) numuneleri elektriksel direnç değerleri	105
Şekil 7.7	0,3mm Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> numuneleri yüzey pürüzlülüğü ölçüm değerleri	107
Şekil 7.8	0,3mm NiAl+Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> numuneleri yüzey pürüzlülüğü ölçüm değerleri	107
Şekil 7.9	0,3mm NiAl+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> (%97/3) numuneleri yüzey pürüzlülüğü ölçüm değerleri	108
Şekil 7.10	0,3mm NiAl+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> (%60/40) numuneleri yüzey pürüzlülüğü ölçüm değerleri	108
Şekil 7.11	0,3mm Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> (%97/3) numuneleri yüzey pürüzlülüğü ölçüm değerleri	109
Şekil 7.12	0,3mm Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> (%60/40) numuneleri yüzey pürüzlülüğü ölçüm değerleri	109
Şekil 7.13	0,5 mm Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> numuneleri yüzey pürüzlülüğü ölçüm değerleri	110
Şekil 7.14	0,5 mm NiAl+Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> numuneleri yüzey pürüzlülüğü ölçüm değerleri	110
Şekil 7.15	0,5mm NiAl+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> (%97/3) numuneleri yüzey pürüzlülüğü ölçüm değerleri	111
Şekil 7.16	0,5mm NiAl+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> (%60/40) numuneleri yüzey pürüzlülüğü ölçüm değerleri	111
Şekil 7.17	0,5mm Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> (%97/3) numuneleri yüzey pürüzlülüğü ölçümü	112

Şekil 7.18	0,5mm Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> (%60/40) numuneleri yüzey pürüzlülüğü ölçüm değerleri	112
Şekil 7.19	1 mm Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> numuneleri yüzey pürüzlülüğü ölçüm değerleri	113
Şekil 7.20	1 mm NiAl+Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> numuneleri yüzey pürüzlülüğü ölçüm değerleri	113
Şekil 7.21	1 mm NiAl+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> (%97/3) numuneleri yüzey pürüzlülüğü ölçüm değerleri	114
Şekil 7.22	1 mm NiAl+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> (%60/40) numuneleri yüzey pürüzlülüğü ölçüm değerleri	114
Şekil 7.23	1 mm Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> (%97/3) numuneleri yüzey pürüzlülüğü ölçüm değerleri	115
Şekil 7.24	1 mm Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> (%60/40) numuneleri yüzey pürüzlülüğü ölçüm değerleri	115
Şekil 7.25	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> numunesinin kaplamasının EDX analiz verileri	122
Şekil 7.26	NiAl+Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> numunesinin kaplamasının EDX analiz verileri	123
Şekil 7.27	NiAl+Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> numunesinin astarının EDX analiz verileri	124
Şekil 7.28	NiAl+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> (%97/3) numunesinin kaplamasının EDX analiz verileri	125
Şekil 7.29	NiAl+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> (%97/3) numunesinin astarının EDX analiz verileri	126
Şekil 7.30	NiAl+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> (%60/40) numunesinin kaplamasının EDX analiz verileri	127
Şekil 7.31	NiAl+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> (%60/40) numunesinin astarının EDX analiz verileri	128
Şekil 7.32	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> (%97/3) numunesinin kaplamasının EDX analiz verileri	129
Şekil 7.33	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> (%60/40) numunesinin kaplamasının EDX analiz verileri	130
Şekil 8.1	0,3 mm kalınlığa sahip numunelerin elektriksel direnç değerleri	134
Şekil 8.2	0,5 mm kalınlığa sahip numunelerin elektriksel direnç değerleri	135
Şekil 8.3	1 mm kalınlığa sahip numunelerin elektriksel direnç değerleri	135
Şekil 8.4	Kaplama kalınlığına göre pürüzlülük değerleri	136

Şekil 8.5	Kaplama malzemesine göre pürüzlülük değerleri	137
Şekil 8.6	Kaplama kalınlığına göre yüzey mikrosertlik değerleri	138
Şekil 8.7	Kaplama malzemesine göre yüzey mikrosertlik değerleri	138

## RESİMLER DİZİNİ

		Sayfa No
Resim 1.1	Elektrik akımı kaynaklı ısınması ile yanmış elektrik motoru stator sargıları	1
Resim 1.2	Farklı amper değerlerine sahip elektrik sigortaları	2
Resim 2.1	Polietilen ile imal edilen ürünler	17
Resim 2.2	Polistren ile imal edilen ürünler	17
Resim 2.3	Polikarbonat ile imal edilen ürünler	17
Resim 2.4	Naylon ile imal edilen ürünler	17
Resim 2.5	Termosetlerin kullanım alanları ve bağ yapısı	17
Resim 2.6	Elastomerlerin bağ yapısı ve kullanım alanlarına örnek	18
Resim 2.7	Parçacık takviyeli kompozitler	19
Resim 2.8	Demir Elementi	20
Resim 2.9	Çelik malzeme ürünleri	20
Resim 2.10	Dökme demir ürünleri	20
Resim 2.11	Bakırdan imal edilmiş ürünler	21
Resim 2.12	Alüminyum metali	21
Resim 2.13	Kil ürünleri	22
Resim 2.14	Alüminyum oksit	22
Resim 2.15	Titanyum di oksit (TiO <sub>2</sub> ) tozu	23
Resim 2.16	Kromat tanecikleri	23
Resim 2.17	Zirkonya (ZrO <sub>2</sub> ) tozu	24
Resim 2.18	Magnezyum oksitin toz ve kaplama malzemesi olarak kullanımı	24
Resim 2.19	Silisyum karbürün görünümü ve uygulamaları	24
Resim 2.20	Silisyum nitrür kullanılarak imal edilen ürünler	25
Resim 2.21	Titan karbür kullanım alanları ve imal edilen ürünler	25
Resim 2.22	Bor karbür görünümü ve uygulamaları	26
Resim 4.1	Elektriksel ölçü aletleri	39
Resim 4.2	Ampermetre	43
Resim 4.3	Voltmetre	45
Resim 4.4	Multimetre çeşitleri	47
Resim 4.5	Sayaç	48

Resim 4.6	Osiloskop	49
Resim 5.1	Elektrolitik kaplama yöntemi ile kaplanmış ürünler	65
Resim 5.2	Difüzyon İşlemleri uygulanmış ürünler	65
Resim 5.3	Gözenekli yüzey üzerine yapılmış CVD işlemi	67
Resim 5.4	Polimerik boyalar	68
Resim 5.5	Plazma sprey kaplama uygulamaları	71
Resim 5.6	Kumlama kabini ve Lazerle aşındırma ünitesi	79
Resim 6.1	Altlık malzeme hazırlanması	87
Resim 6.2	Kaplama tozları	90
Resim 6.3	Kaplanmış Numuneler	90
Resim 6.4	Sıfır ölçüm metodu	92
Resim 6.5	İki nokta ölçüm metodu	92
Resim 6.6	Dört nokta ölçüm metodu	93
Resim 6.7	Dört nokta prob metodu	93
Resim 6.8	Van Der Pauw metodu	94
Resim 6.9	Bilgisayar ile bağlantılı olarak yüzey pürüzlülüğü ölçümü	95
Resim 6.10	TR200 yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı	95
Resim 6.11	Metkon Vickers mikrosertlik ölçüm cihazı	98
Resim 6.12	LEO 1430 VP model SEM cihazı	99
Resim 6.13	Nikon optik mikroskop	100
Resim 7.1	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> numunesinin mikroyapısı	118
Resim 7.2	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ve NiAl+Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> numunesinin mikroyapısı	118
Resim 7.3	NiAl+Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> numunesinin mikroyapısı	118
Resim 7.4	NiAl+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> (%97/3) numunesinin mikroyapısı	119
Resim 7.5	NiAl+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> (%97/3) ve NiAl+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> (%60/40) numunesinin mikroyapısı	119
Resim 7.6	NiAl+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> (%60/40) numunesinin mikroyapısı	119
Resim 7.7	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> (%97/3) numunesinin mikroyapısı	120
Resim 7.8	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> (%97/3) ve Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> (%60/40) numunesinin mikroyapısı	120
Resim 7.9	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> (%60/40) numunesinin mikroyapısı	120
Resim 7.10	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> kaplama tozu	121



Resim 7.11	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> (%97/3) kaplama tozu	121
Resim 7.12	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> (%60/40) kaplama tozu	121
Resim 7.13	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> numunesinin mikroyapısı	131
Resim 7.14	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ve NiAl+Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> numunesinin mikroyapısı	131
Resim 7.15	NiAl+Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> numunesinin mikroyapısı	131
Resim 7.16	NiAl+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> (%97/3) numunesinin mikroyapısı	132
Resim 7.17	NiAl+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> (%97/3) ve NiAl+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> (%60/40) numunesinin mikroyapısı	132
Resim 7.18	NiAl+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> (%60/40) numunesinin mikroyapısı	132
Resim 7.19	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> (%97/3) numunesinin mikroyapısı	133
Resim 7.20	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> (%97/3) ve Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> (%60/40) numunesinin mikroyapısı	133
Resim 7.21	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> (%60/40) numunesinin mikroyapısı	133

## ÇİZELGELER DİZİNİ

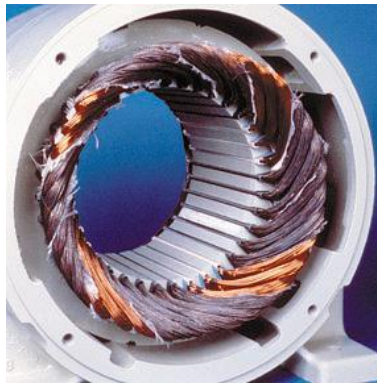
	Sayfa No
Çizelge 2.1 Silikat esaslı seramiklerin bileşimleri	22
Çizelge 2.2 Malzeme Çeşitleri ve Özellikleri	27
Çizelge 4.1 Ölçü aletleri sembolleri	40
Çizelge 5.1 Fe-Zn Denge Diyagramındaki fazların özellikleri	66
Çizelge 5.2 Termal spreyci metoduna ve kaplama malzemesine göre kaplama yapışma mukavemeti	75
Çizelge 5.3 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ve Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> kaplama elektriksel özelliklerinin püskürtme metoduna göre değişimi	76
Çizelge 5.4 Yüzey hazırlama usullerinin başlıca kullanım yerleri	80
Çizelge 6.1 6082 alüminyum alaşımı kimyasal kompozisyonu	88
Çizelge 6.2 6082 alüminyum alaşımı mekanik özellikleri	88
Çizelge 6.3 6082 alüminyum alaşımı fiziksel özellikleri	89
Çizelge 6.4 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ve TiO <sub>2</sub> özellikleri	89
Çizelge 6.5 Numune kaplama parametreleri	91
Çizelge 7.1 Kaplanmış numunelerin kalınlık ve kaplama tipine göre numaralandırılması	101
Çizelge 7.2 Ölçüm metodlarının numaralandırılması	102
Çizelge 7.3 0,3 mm kalınlığa sahip numunelerin ortalama direnç değerleri	105
Çizelge 7.4 0,5 mm kalınlığa sahip numunelerin ortalama direnç değerleri	106
Çizelge 7.5 1 mm kalınlığa sahip numunelerin ortalama direnç değerleri	106
Çizelge 7.6 Aritmetik ortalama Pürüzlülük değerleri	116
Çizelge 7.7 Vickers mikrosertlik değerleri	117

## 1 GİRİŞ

Malzemelerin elektriksel özelliklerinden faydalanılarak günümüzde elektronik devre elemanı üretiminden, elektrik enerjisinin mekanik enerji veya ısı enerjisine dönüşümüne, haberleşme teknolojileri ve malzemelerde hasar analizine kadar birçok farklı alanda gelişmeler kaydedilmiştir.

Elektriksel özellikleri anlamak için sırasıyla element atomlarındaki elektronların enerji seviyelerini, kristal kafes yapıları, tane büyüklüğü ve sınırları, malzeme kompozisyon ve geometrisini incelemek gerekir. Malzeme nedir sorusuna cevap ararken mikroskobik seviyede elektron akışını incelemek, gözlem için elektriksel özellikleri belirlemede kullanılan araçları tanımak ve elektron akışının teorisini öğrenmek elektriksel direnç ölçümü yapabilmek için gereklidir.

Elektriksel direnç kullanım alanına göre malzeme seçiminde rol oynayan en önemli elektriksel özelliklerinden biridir. Sanayide bu gün kullanılan çoğu cihaz ve makineler elektrik enerjisi ile çalışmaktadır. Elektriksel direnç, şebekedeki gerilimden kaynaklı oluşan alternatif akımın ne kadarının sistemden geçeceğini yani kullanılan cihaz veya makinanın ne kadar güç çekeceğinin ayarlanmasında belirleyici en önemli parametredir. Elektriksel direnç değerinin düşük olması, gereğinden fazla akım yani güç çekilmesine bu durum da cihazın veya makinanın hasara uğramasına sebep olabilmektedir. Resim 1.1'de yanmış bir elektrik motorunun stator sargıları görülmektedir. Yüksek elektrik akımının sisteme zarar vermesini önlemek maksadı ile yine elektrik direnç kullanılarak elektrik sigortası yapılmıştır. Resim 1.2'de farklı amper değerlerine sahip elektrik sigortaları görülmektedir.



Resim 1.1 Elektrik akımı kaynaklı ısınması ile yanmış elektrik motoru stator sargıları [1]



Resim 1.2 Farklı amper değerlerine sahip elektrik sigortaları [1]

Elektrik iletiminde, elektriksel iletkenliği yüksek metaller kullanılmaktadır. İletkenlik ve fiyat bakımından en uygun metal olan bakır, altın ve gümüşe göre daha çok tercih edilir ve yaygın olarak kullanılmaktadır. Bakır teller elektrik akımının taşınması esnasında kısa devre olmamaları için dış yüzeyleri plastik bir çeper ile kaplanır. Bu sayede elektrik enerjisi ile çalışan makine ve cihazların kısa devre olarak ya da temasla canlılara zarar vermesi engellenmiş olur. İletkenler dahi sahip oldukları düşük elektriksel dirençlerinden dolayı geçen akımın şiddet ve frekansına bağlı olarak elektrik enerjisinin ısı enerjisine dönüşmesi sonucu ısınırlar. Bu ısı enerjisi sıcaklık artışına sebep olur. Plastiklerin düşük ergime sıcaklarına sahip olmalarından dolayı iletken sıcaklığının yüksek olduğu yerlerde plastik malzeme ile yalıtılmış iletkenler kullanılamaz. Bu duruma çözüm olarak elektriksel dirençleri yüksek seramik malzemeler kullanılmaktadır. Özellikle seramik malzemeler yüksek gerilim hatları ve trafolarında insulatör olarak kullanılmaktadır. Ancak hareketli parçalardan oluşan makinelerde kullanılan çelik veya diğer metallerin sağladığı özellikleri, seramik malzemeler kullanılarak elde etmeye çalışmak yerine metal malzemelerin yüzeyine seramik tozları kaplamak daha ekonomik ve kolay bir çözüm sunmaktadır.

Kaplama işlemi, malzemelerin aşınma, yorulma dayanımı, korozyon direnci, elektriksel ve fiziksel özelliklerini iyileştirmek amacıyla malzeme yüzeyine uygulanarak yapılan bir mühendislik çözümdür. Elektriksel özellikleri istenen değere ulaştırmak malzemenin istenen iletkenlik veya direnç değerini sergilemesidir. İkinci dünya savaşından sonra kaplama teknolojisi bir ivme kazanmış ve birçok yeni metotlar geliştirmiştir. Termal sprey kaplama metodu, içerisinde birçok metot barındıran kaplama metodu ailesine verilen genel bir isimdir.

Termal spre y kaplama metodu kaplama malzemesinin ısı kaynağı ile er g itilerek taşıyıcı yardımıyla eriyik malzemenin parça yüzeyine çarptırılması ve soğuması ile yapılan kaplamadır. Bu çalışmada Toz alev spre y yöntemi kullanılarak altlık malzemeler seramik tozlarla kaplanmıştır. Toz alev spre y metodu, ekonomikliği ve teçhizat düzeneğinin basitliği tercih sebebi olan ve sanayide yaygın olarak kullanılan termal spre y kaplama metodudur.

Bu çalışma, makine parçalarının elektrik kaçağı riski yüksek olan kısımlarında iletken olan parçaların seramik tozlar ile kaplanması ve kaplama kalınlığının elektrik direncini nasıl etkilediğini araştırmak üzere yapılmıştır. Toz alev spre y metodu uygulama ve ekonomikliği nedeniyle sanayideki kullanımının yaygınlığı nedeniyle tercih edilmiştir.

Yapılan bu çalışma dokuz bölümden oluşmaktadır.

Birinci bölümde; Elektriksel özellikler ve bu özelliklerin belirlenmesinin öneminin yanında elektriksel direnç ve çalışmada yapılan kaplama hakkında kısa bilgi verilmiştir.

İkinci bölümde; malzeme çeşitleri ve içyapıları, elementler ve periyodik cetvel, atom modelleri, atomlar arası bağlar ve bazı seramik malzemelerden bahsedilmiştir.

Üçüncü bölümde; Elektrik ve elektriksel büyüklükler, ohm kanunu ve elektriksel iletkenliği etkileyen sebepler anlatılmıştır.

Dördüncü bölümde; Elektriksel büyüklüklerin ölçülmesinin önemi, elektriksel büyüklüklerin ölçümünde kullanılan alet ve yöntemler ve ölçüm yapılırken dikkat edilmesi gereken hususlar ele alınmıştır.

Beşinci bölümde; Kaplama metotları ve detaylı olarak termal spre y kaplama metotlarından, önceki yapılmış çalışmalardan bahsedilmiştir.

Altıncı bölümde; çalışmada kullanılacak numunelerin hazırlanması, toz alev spre y metodu ile kaplanması, elektriksel direnç ölçümü, yüzey pürüzlülük ve mikrosertlik ölçümü deneyleri hakkında bilgiler verilmiştir.

Yedinci bölümde; yapılan deneylerin sonuçları, sem ve optik mikroskop ile alınan mikroyapı görüntüleri verilmiştir.

Sekizinci bölümde; elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

Dokuzuncu bölümde; sonuç ve önerilere değinilmiştir.

## 2 MALZEME ÇEŞİTLERİ VE İÇYAPILARI

### 2.1 Malzeme Tanımı ve Özellikleri

Malzeme, mühendisin yapmış olduğu tasarımı gerçekleştirmek için kullandıkları maddelerdir. Mühendis, tasarımın amacına hizmet edecek özellikleri sahip olması için tasarıma o özellikleri kazandıracak malzemeleri kullanmalıdır. Her mühendislik dalı için farklı malzemeler, kullanım amacına göre önem arz etmektedir [2]. Mühendislik malzemelerinden beklenen özellikler şunlardır:

- Statik gerilmelere karşı dayanıklı olması
- Değişken gerilmelere karşı dayanıklı olması ( Yorulma dayanımının iyi olması)
- Korozyon direncinin yüksek olması
- Aşınma direncinin yüksek olması
- Düşük sıcaklıklarda gevrekleşmemesi
- Hafif olması
- Elektrik ve ısı iletkenliğinin uygulama alanına göre amacına hizmet edecek değerde yüksek veya düşük olması
- Üretilebilir ve şekillendirilebilir olması
- Ucuz olması
- Estetik olması

Malzemeler kimyasal bağ ve yapılarına farklı şekillerde çeşitlere ayrılmaktadır.

Ana malzemeler:

- Metaller
- Polimerler
- Seramikler

Ana malzemelerden türetilmiş malzemeler:

- Kompozit malzemeler
- Yarı iletkenler
- Biyomalzemeler

## 2.2 Elementler ve Atom Yapısı

Maddenin yapı birimi atomlardır. Tek bir tür atomdan oluşmuş, kimyasal tekniklerle ayrıştırılamayan ya da farklı maddelere dönüştürülemeyen saf maddelere “element” denir. Çevremizdeki maddeler element veya elementlerin belirli bir düzene göre bileşik oluşturması sonucu meydana gelmiştir.

Atom, çekirdeğinde nötron, proton ve çekirdeğin dışında çekirdeğin etrafında rastgele yörüngelerde hareket eden elektronlardan oluşur. Atomların kimyasal ve fiziksel özelliklerini etkileyen en önemli faktör sahip oldukları proton sayılarıdır. Bileşik oluşturma karakteristikleri bağ kuvvetleri ve makro boyutta fiziksel davranışları atomun proton sayısı ile alakalıdır ve “atom numarası” olarak isimlendirilir.

Bilinen tüm elementleri belirli bir düzene göre sıralanması ile oluşan tablo “Periyodik Cetvel” olarak isimlendirilir. Periyodik cetvel ya da tablo şekil 2.1 de görülmektedir. İlk olarak 1867 yılında J.A.R Newlands, elementleri artan atom numaralarına göre sıralamış ve bir elementin, kendisini izleyen sekizinci elemente benzer özellikler gösterdiğini ifade eden "Oktavlar Yasası"nı ortaya koymuştur. Daha sonra 1869 yılında Dmitri Mendeleev, benzer özellikler taşıyan elementleri arka arkaya dizdiğinde, atom kütlelerine dayanan bir tablo elde etmiş ve o zamanlar bilinmeyen bazı elementlerin (skandiyum, galyum ve germanyum gibi) varlığını, hatta özelliklerini tahmin edebilmiştir. Lothar Meyer isimli araştırmacı da, 1886 yılında, Mendeleev'den bağımsız olarak, atom kütlelerine göre bir periyodik tablo oluşturmuş ve "valans" kavramını ortaya atmıştır [3].

1A	2A	*	3B	4B	5B	6B	7B	8B	8B	8B	1B	2B	3A	4A	5A	6A	7A	8A
1 H 1,0079																		2 He 4,0026
3 Li 6,941	4 Be 9,012												5 B 10,811	6 C 12,011	7 N 14,007	8 O 15,999	9 F 18,998	10 Ne 20,180
11 Na 22,990	12 Mg 24,305												13 Al 26,982	14 Si 28,086	15 P 30,974	16 S 32,066	17 Cl 35,453	18 Ar 39,948
19 K 39,098	20 Ca 40,078		21 Sc 44,956	22 Ti 47,88	23 V 50,942	24 Cr 51,996	25 Mn 54,938	26 Fe 55,845	27 Co 58,933	28 Ni 58,693	29 Cu 63,546	30 Zn 65,39	31 Ga 69,723	32 Ge 72,61	33 As 74,922	34 Se 78,96	35 Br 79,904	36 Kr 83,80
37 Rb 85,467	38 Sr 87,62		39 Y 88,906	40 Zr 91,224	41 Nb 92,906	42 Mo 95,94	43 Tc 98	44 Ru 101,07	45 Rh 102,91	46 Pd 106,42	47 Ag 107,87	48 Cd 112,41	49 In 114,82	50 Sn 118,71	51 Sb 121,76	52 Te 127,60	53 I 126,90	54 Xe 131,29
55 Cs 132,91	56 Ba 137,33		71 Lu 174,97	72 Hf 178,49	73 Ta 180,95	74 W 183,85	75 Re 186,21	76 Os 190,23	77 Ir 192,22	78 Pt 195,08	79 Au 196,97	80 Hg 200,59	81 Tl 204,38	82 Pb 207,2	83 Bi 208,98	84 Po 209	85 At 210	86 Rn 222
87 Fr 223	88 Ra 226	**	103 Lr 262	104 Rf 261	105 Db 262	106 Sg 265	107 Bh 262	108 Hs 265	109 Mt 266	110 Ds 271	111 Uu 272	112 Uub 277	113 Uuc -	114 Uuq 289	115 Uuh -	116 Uu -	117 Uu -	118 Uu -
		*	57 La 138,91	58 Ce 140,12	59 Pr 140,91	60 Nd 144,24	61 Pm 145	62 Sm 150,36	63 Eu 151,96	64 Gd 157,25	65 Tb 158,93	66 Dy 162,50	67 Ho 164,93	68 Er 167,26	69 Tm 168,93	70 Yb 173,04		
		**	89 Ac 227	90 Th 232,04	91 Pa 231,04	92 U 238,03	93 Np 237	94 Pu 244	95 Am 243	96 Cm 247	97 Bk 247	98 Cf 251	99 Es 252	100 Fm 257	101 Md 258	102 No 259		

Şekil 2.1 Periyodik cetvel [3]



Bağıl Atom Kütlesi; bir elementin, atom kütle birimi (atomic mass units: amu) cinsinden ortalama kütlesidir. Bu rakam, genellikle elementin izotoplarının da ortalama kütlesini belirttiği için, ondalıklı bir sayıdır. Bir elementin bağıl atom kütlesinden atom numarasının (proton sayısının) çıkarılmasıyla, o elementin nötron sayısı bulunabilir. Bir elektron ve protonun elektrik yükü  $\pm 1,6022 \times 10^{-9}$  C' dir.

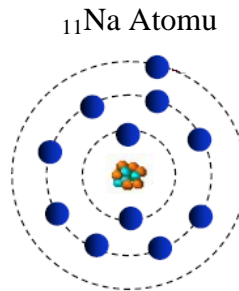
Atom Numarası; bir atomda bulunan proton sayısı, elementi tanımlar ve atom numarası olarak adlandırılır. Atomda bulunan proton sayısı aynı zamanda, elementin kimyasal karakteri hakkında da bilgi verir.

Element Simgesi; Her elemente ait bir ya da iki harften oluşan simgelerin, uluslararası geçerliliği vardır.

Elektron Dizilimi; Uyarılmamış bir atomdaki elektronların konumlarını gösterir. Kimya bilimciler, temel fizik bilgilerine dayanarak, atomların elektron dizilimlerine göre nasıl davranabilecekleri konusunda fikir yürütebilirler. Elektron dizilimi, bir atomun kararlılık, kaynama noktası ve iletkenlik gibi özellikleri hakkında bilgi verir. Atomların son enerji düzeylerine (en dış yörüngelerine) "valans düzeyi", burada yer alan elektronlara da "valans elektronları" adı verilir. Kimyasal tepkimelerde birinci derecede önem taşıyan elektronlar, valans elektronlarıdır. Bu elektronlar kullanılarak diğer atomlar arasında bağlar oluşmaktadır.

Elektronların her bir kabuktaki sayıları  $2n^2$  bağıntısı ile bulunur. Her bir kabuktaki enerji seviyeleri s,p,d,f harfleri ile ifade edilir. Sırasıyla s, p, d, f enerji seviyelerinin barındırabileceği en çok elektron sayıları 2, 6, 10, 14'dür.

Örnek olarak Na element atomunun elektron dizilimi;  ${}_{11}\text{Na} = 1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$  şeklinde 3 enerji seviyesinden oluşur. Şekil 2.2'de Na atomu şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Sodyum atomu şematik gösterimi [4]

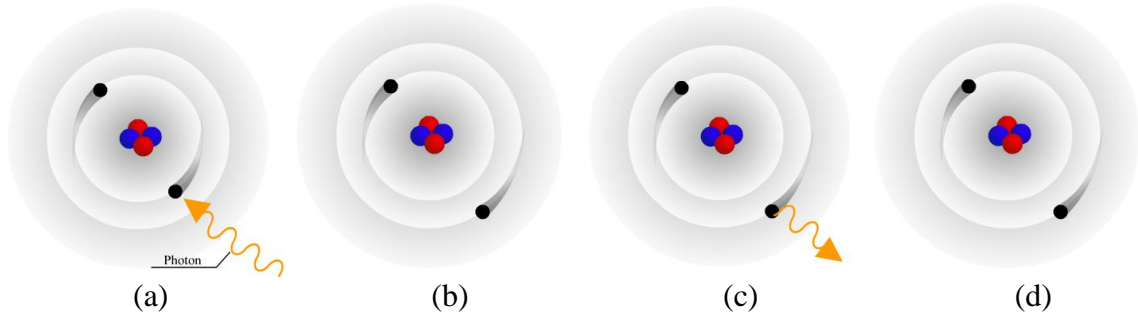
Bir elektronun üst enerji seviyesine geçmesi için enerji alması gerekir. Bu enerji alış veriş ışın halinde olur. Şekil 2.3.a ve şekil 2.3.b bir elektronun enerji alarak bir üst enerji seviyesine yükselmesi, şekil 2.3.c ve şekil 2.3.d de ise enerji vererek bir alt enerji seviyesine geçişi gösterilmektedir. Bu enerji miktarı;

$$E = \nu \times h \quad 2.1$$

Bu denklemden  $\nu$  ışının frekansı,  $h$  ise plank sabitidir [2].

$$\nu = c/\lambda \quad 2.2$$

$c$  : ışık hızı,  $\lambda$  : Işının Dalga Boyu,  $h$  : plank sabiti değeri =  $6,62 \cdot 10^{-27}$  erg.s



Şekil 2.3 a)elektronun enerji alması, b) bir üst enerji seviyesine çıkması, c) elektronun enerji vermesi, d) bir alt enerji seviyesine geçişi [1]

Bir elementin periyodik tablodaki yerine bakarak, o elementin elektron dizilimi de anlaşılabilir. Aynı grupta (dikey sırada) yer alan elementlerin elektron dizilimleri büyük benzerlik gösterir ve bu nedenle de kimyasal tepkimelerde benzer davranış gösterirler.

Yükseltgenme basamağı (sayısı); bir elementin, bileşiklerinde alabileceği değerlikleri gösterir. İngilizcedeki "oxidation state" kullanımına karşılık gelmektedir.

Periyodik tabloda yer alan elementler, gösterdikleri belirli ortak özelliklere göre gruplar halinde incelenmektedir.

## **2.2.1 Periyodik Gruplar**

### **2.2.1.1 Alkali Metaller**

Periyodik tablonun ilk grubunda (dikey sırasında) yer alan metallerdir. Fransiyum dışında hepsi, yumuşak yapıda ve parlak görünüm sergilerler. Kolaylıkla eriyebilir ve uçucu hale geçebilirler [3]. Bağlı atom kütleleri arttıkça, erime ve kaynama noktaları düşüş göstermektedir. Diğer metallere kıyasla, özkütleleri de oldukça düşüktür. Hepsi de, tepkimelerde etkindir. En yüksek temel enerji düzeylerinde bir tek elektron taşırlar. Bu elektronu çok kolay kaybederek +1 yüklü iyonlar oluşturabildikleri için, kuvvetli indirgendirler. Isı ve elektriği çok iyi iletirler. Suyla etkileşimleri çok yüksektir, suyla tepkime sonucunda hidrojen gazı açığa çıkarırlar.

### **2.2.1.2 Toprak Alkali Metaller**

Periyodik tablonun baştan ikinci grubunda (dikey sırasında) yer alan elementlerdir. Sıklıkla beyaz renkli olup, yumuşak ve işlenebilir yapıda bulunurlar. Alkali metallere göre daha az tepken (tepkimelere girmeye eğilimli) karakterde olmalarının yanında, erime ve kaynama sıcaklıkları da daha düşüktür [3]. İyonlaşma enerjileri alkali metallere göre daha yüksektir. Toprak elementleri ismi, bu gruptaki elementlerin toprakta bulunan oksitlerinin, eski kimyabilimciler tarafından ayrı birer element olarak düşünülmesinden gelmektedir.

### **2.2.1.3 Geçiş metalleri**

Sertlikleri, yüksek yoğunlukları, iyi ısı iletkenlikleri ve yüksek erime-kaynama sıcaklıkları belirgin özellikleridir. Özellikle sertlikleri nedeniyle, saf halde ya da alaşım halinde yapı malzemesi olarak kullanılırlar [3]. Geçiş elementlerinin hepsi, elektron dizilimlerinde, en dışta her zaman d orbitalinde elektron bulundururlar. Tepkimelere giren elektronlar da, d orbitalindeki valans elektronlardır. Geçiş metalleri sıklıkla birden fazla yükseltgenme basamağına sahiptir. Çoğu, asit çözeltilerinde hidrojenle yer değiştirecek kadar elektropozitifdir. İyonları renkli olduğundan, analizlerde kolay ayırt edilirler.

#### **2.2.1.4 Lantanidler**

Toprakta az miktarda bulunmaları nedeniyle, "nadir toprak elementleri" olarak da isimlendirilirler. En önemli ortak özellikleri, elektron değişiminin yalnızca 4f orbitaline elektron katılımıyla gerçekleşmesidir. Özellikle +3 değerlikli hallerinde, birbirlerine çok benzeyen özellikler gösterirler. Kuvvetli elektropozitif olmaları nedeniyle, üretilmeleri güçtür [3]. Çoğunun iyon hallerinin karakteristik renkleri vardır.

#### **2.2.1.5 Aktinidler**

Bu elementlerin en önemli ortak özelliği, elektron katılımının 5f orbitalinde gerçekleşmesidir. Geçiş metallerinin bir alt serisi konumundadırlar ve doğada çok ender bulunabilirler [3].

#### **2.2.1.6 Transaktinidler**

Aktinidleri takip eden elementlere bu isim verilmektedir. Uranyumdan daha büyük olan bu elementler, yalnızca nükleer reaktörlerde ya da parçacık hızlandırıcılarda elde edilebilirler. Geçiş elementlerinin bir alt bölümüdürler [3]. Metaller ya da ametaller arasındaki yerleri, kesin olarak belirlenememiştir.

#### **2.2.1.7 Ametaller**

Metal özelliği göstermeyen elementlerdir. Metaller çözeltilerde katyonları (pozitif yüklü iyonları) oluştururken, ametaller anyon (negatif yüklü iyon) oluşturma eğilimi sergilerler. Metallerin aksine iyi iletken değildirler ve elektronegatiflikleri çok yüksektir [3]. Metaller ve ametaller arasında özellikler gösteren bazı yarıiletken elementler, "metaloidler" olarak da adlandırılır. Halojenler ve soygazlar da ametaller davranışı sergilerler.

#### **2.2.1.8 Halojenler**

Periyodik tablonun 7A grubunda bulunan, tepkimeye eğilimi yüksek ametallerdir. Bu gruptaki elementlerin hepsi elektronegatifdir. Doğada sert katılar olarak değil, mineraller halinde bulunurlar. Element halinde 2 atomlu molekül halindedirler. Oda koşullarında flor

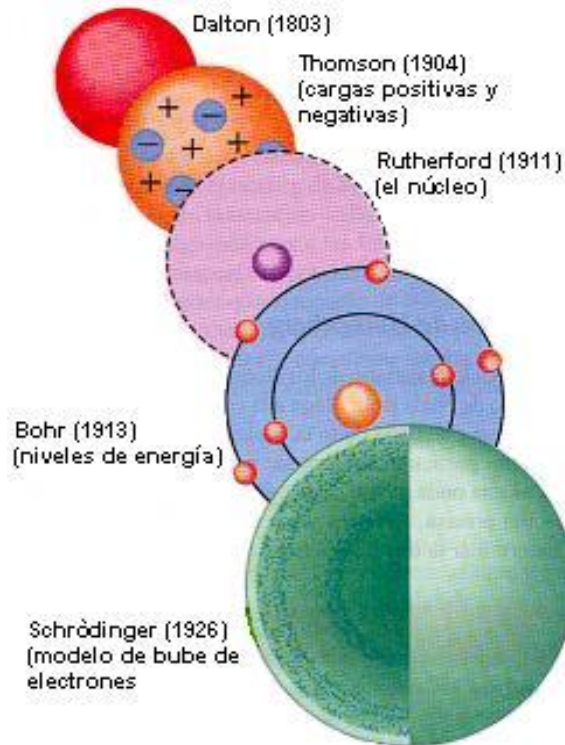
ve klor gaz, brom sıvı, iyotsa katı halde bulunur [3]. Erime ve kaynama noktaları grupta aşağıdan yukarıya doğru azalır. Zehirli ve tehlikeli elementlerdir.

### 2.2.1.9 Soygazlar

Periyodik tablonun en son grubunu oluşturan, tümü tek atomlu ve renksiz gaz halinde bulunan 8A grubu elementlerdir. En dıştaki son yörüngeleri tamamen elektronlarla dolu olduğundan dolayı son derece kararlıdır ve tepkimelere eğilimleri de çok düşüktür [3]. Bu davranışları nedeniyle de "soygaz" adını almışlardır. Atmosferde bulunurlar ve sıvı havanın damıtılmasıyla sonucu elde edilirler. İlk keşfedilen soygaz, hidrojenden sonra en hafif element olan helyumdur. Çok düşük olan erime ve kaynama noktaları, grupta yukarıdan aşağıya gidildikçe yükselir. İyonlaşma enerjileri, sıralarında en yüksek olan elementlerdir.

### 2.2.2 Atom Modelleri

Bilim adamları atomun bulunması ile beraber yapısı hakkında çeşitli hipotezlerde bulunmuşlardır. Şekil 2.4'de bazı bilim adamlarının ilerleyen yıllara göre öngörüle bulduğu modeller ele alınmıştır.



Şekil 2.4 Atom modellerinin tarihi gelişimi [5]

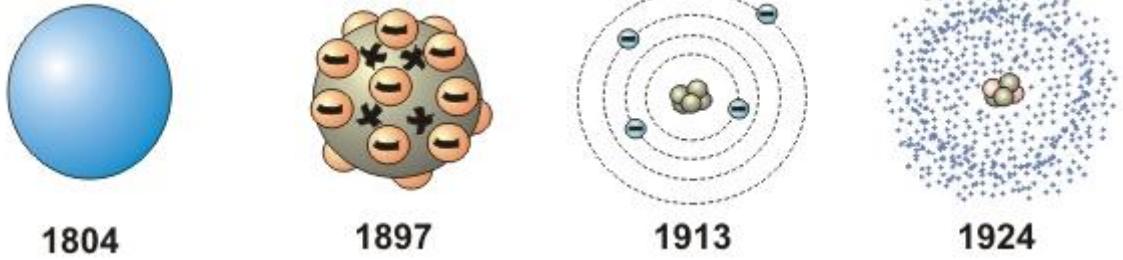
### 2.2.2.1 Thomson Atom Modeli

1902 yılında Thomson atom altı parçacıklar üzerinde çalışmalar yaparken icat ettiği katot tüpü yardımıyla 1887 yılında elektronu keşfinden sonra kendi atom modelinin hipotezini ortaya koymuştur [5]. Thomson'a göre atom dışı tamamen pozitif yüklü bir küre olup ve negatif yüklü olan elektronlar ise kek içerisindeki gömülü üzümler gibi bu küre içerisine gömülmüş bir haldedir.

### 2.2.2.2 Rutherford Atom Modeli

1911 yılında Thomson'un modeline pek inanmayan Rutherford ünlü alfa saçılması deneyi ile kimya tarihine nükleer atom kavramını sokarak yeni bir çığır açmıştır. İnce altın levhayı radyoaktif atomların alfa ışınlarıyla bombardımana tabi tutan Ernest Rutherford gözlemlerine ve deneylerinin sonuçlarını yorumlayarak, atomun Thomson tarafından hayal edilmiş fon statik topluluk olamayacağına karar verdi [5]. Atom yapısını, güneş sistemindeki gibi bir çekirdek etrafında dolanan elektronlardan oluşan dinamik bir model olarak açıkladı.

### 2.2.2.3 Bohr Atom Modeli



Şekil 2.5 Modern atom kuramı [5]

1913 yılında Rutherford atom modeli üzerinde çalışan Danimarkalı fizikçi Niels Bohr, klasik fizik gereği çekirdeğin etrafında dolanan elektronların ivmeli hareketlerinden dolayı, enerji kaybederek çekirdeğe düşmeleri gerektiğini düşünmüştür. Ancak atomun kararlılığını muhafaza ettiğini belirlemiştir. Bohr atomun bu kararlılığını;

1. Elektron hareketlerinin ancak belirli yörüngeler (enerji seviyeleri) üzerinde mümkün olmasıyla,

2. Elektronun, bir yörüngeden bir başkasına geçişini ise belirli bir miktarda (bir kuantum miktarında) bir enerji kazanmasına (ya da kaybetmesine) bağlı olduğuna

3. Bir atomda, elektronların daha da alana düşmeyecekleri bir en alt enerji düzeyinin var olmasıyla açıklanmıştır [5]. Şekil 2.5’de Bohr atom modeli görülmektedir.

#### 2.2.2.4 De Broglie'un Atom Modeli

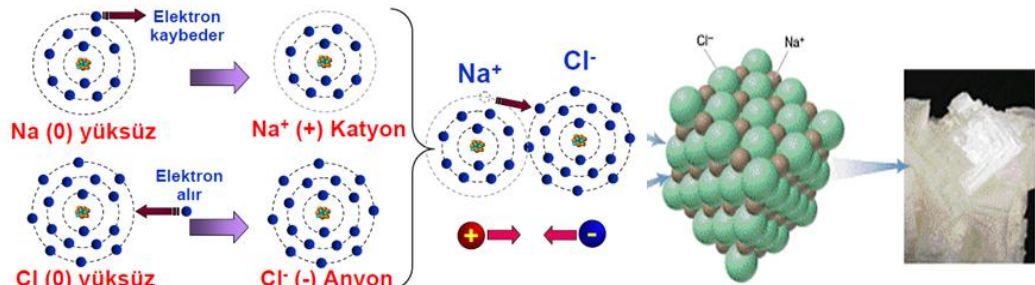
1923 yılında Bohr’un atom modeli elektronların yörüngeler arası geçişlerin mümkün kılan “enerji (kuantum) sıçramaları” açıklamakta yetersiz kalmıştır. Bu olayın çözümü Fransız fizikçisi Prens Victor De Broglie tarafından ortaya koyulmuştur. De Broglie bilinen bazı taneciklerin uygun koşullar altında tıpkı elektromanyetik radyasyonlar gibi, bazen de elektromanyetik radyasyonların uygun şartlarda tıpkı birer tanecik gibi davranabileceklerini düşünerek elektronlara bir "sanal dalga"nın eşlik ettiği öne sürerek bir model teklif etmiştir. Bu modele göre farklı elektron yörüngelerini çekirdeğin etrafında kapalı dalga halkaları oluşturmaktaydılar [5].

### 2.3 Atomlar Arası Bağlar

Atomları birbirine dört farklı bağ çeşidi ile bağlanmaktadır.

#### 2.3.1 İyonik Bağ

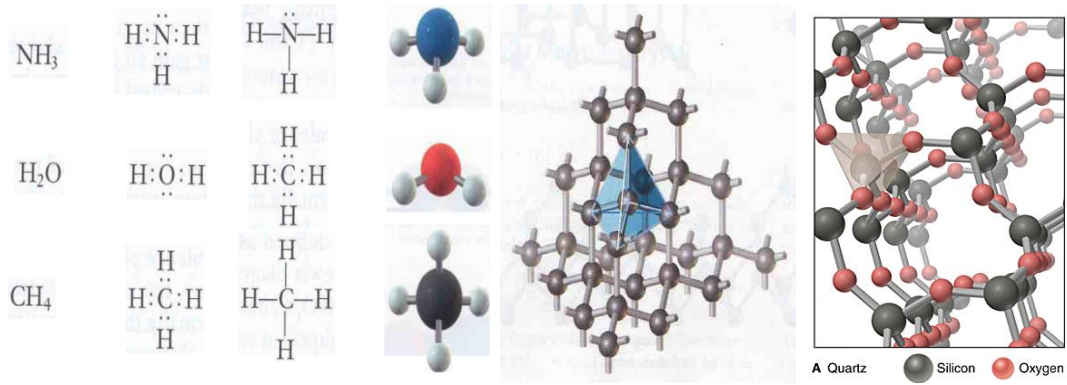
Atomların son yörüngelerinde en çok sekiz elektron bulunabilir. Bütün elementler son yörüngedeki elektron sayısını, elektron alarak ya da vererek soy gazlar gibi kararlı hale geçme eğilimindedir. Metal elementlerinde elektron verme eğilimi, ametallerde ise alma eğilimi fazladır. Bunun sonucu olarak elektron alış verişine dayalı kendi aralarındaki oluşturdukları bağa iyonik bağ denir.



Şekil 2.6 İyonik Bağ oluşumu [4]

### 2.3.2 Kovalent Bağ

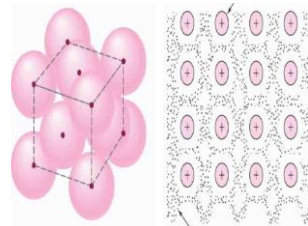
Valans elektronlarının ortak kullanımı ile oluşur. Paylaşılan elektron ile pozitif çekirdek arasında çekim kuvveti oluşur. Ametaller arasında oluşan ve genellikle gazların kendi aralarında oluşturduğu bağıdır. Silisyum, Germanyum, Karbon gibi elementler dört Kovalent bağ ile tetrahedron bağ oluştururlar. Bu tetrahedron gruplar birleşerek elmas kübik bir yapı oluştururlar [4].



Şekil 2.7 Kovalent bağ [4]

### 2.3.3 Metalik Bağ

Metaller son yörüngelerindeki valans elektronlarını serbest bırakarak iyon olurlar. Serbest kalan elektronların metal çekirdeği ile bağları çok zayıftır ve diğer atomlara bağlı kalmadan metal çekirdekleri etrafında serbestçe dolaşırlar. Metal atomları birbirine yaklaştığında son yörüngelerindeki enerji bantları biri birinin içine girer ve serbest elektronlar bu bantlarda hareket edebilirler. Bu özellikleri elektrik iletkenliklerinin yüksek olmasını sağlar. Bu bantlar içinde hareket eden negatif yüklü elektronlar ile pozitif yüklü çekirdek arasındaki çekim, metalik bağı meydana getirir. Metal atomları arasındaki bağ belirli atomlar ve elektronlara bağlı olmadığından dolayı, atomların biri birine göre hareket etmesi ile bu bağ kopmaz. Bu özellik metallerin şekillendirilebilmelerini sağlamaktadır [4].



Şekil 2.8 Metalik bağ [4]



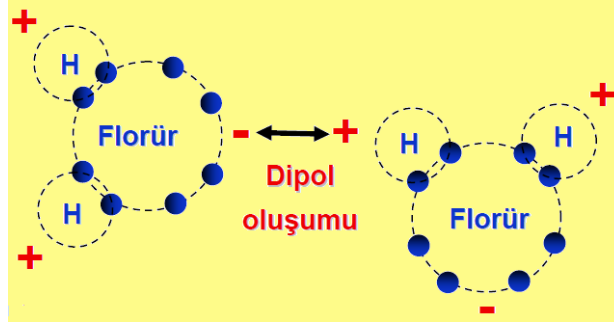
Şekil 2.4’de metalik bağlar şematik olarak gösterilmiştir.

### 2.3.4 Van Der Waals Bağları

Bu bağlar, elektron alış verişini tamamlamış moleküller veya son yörüngesindeki elektron sayısı sekiz olan soy gaz atomları arasında oluşan zayıf bağlardır ve üç şekilde oluşur.

#### 2.3.4.1 Molekül Kutuplaşması

Kovalent bağ ile kurulmuş bir molekülde, örneğin hidrojen florür molekülünde paylaşılan elektronların çoğu florür atomu etrafında toplanacağından, molekül içinde bir elektrik yükü dengesizliği oluşmaktadır. Molekülün hidrojen tarafı pozitif florür tarafı negatif olur ve bu iki yük farkı moleküller arası çekim kuvvetini oluşturur. Bu duruma şekil 2.9’da görüldüğü gibi molekül kutuplaşması denir [4].



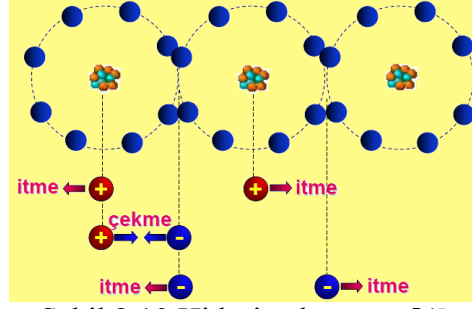
Şekil 2.9 Molekül kutuplaşması [4]

#### 2.3.4.2 Ani Kutuplaşma

Bütün simetrik moleküller ve soy gaz atomlarında, elektronların hareketleri sonucunda ani kutuplaşmalar olmaktadır, bunun neticesinde de çekim kuvveti meydana gelir [4].

#### 2.3.4.3 Hidrojen Köprüsü

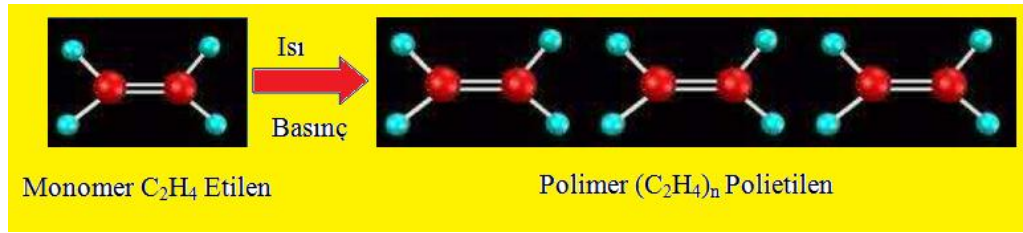
Molekül kutuplaşmasına benzer bir durumdur. Örnek olarak su molekülünde hidrojenin çekirdeği ile oksijenin elektronu arasında bir çekim kuvveti oluşur. Suyun yüksek kaynama sıcaklığı ve yüksek buharlaşma ısısına sahip olmasının nedeni de budur. Metal atomları arasında oluşan itme ve çekme kuvvetlerinin kuvvetin dengelendiği durumdaki atomlar arasındaki uzaklığa atomlar arası mesafe olarak ifade edilir. Bu konumda iç enerji en az seviyededir; yani atomlar en kararlı durumdadırlar [4].



Şekil 2.10 Hidrojen köprüsü [4]

## 2.4 Polimerler

Karbon ile hidrojen bileşiği plastiği meydana getirir. Petrolden ürünü olarak elde edilmektedir. Monomer adı verilen küçük moleküllerin ısı ve basınç altında birleşerek kocaman bir molekül oluşturmasına plastik denir. Molekül sayısı 100 – 1000 arasında değişir. Şekil 2.11’de monomerlerin bağlanması görülmektedir [6].

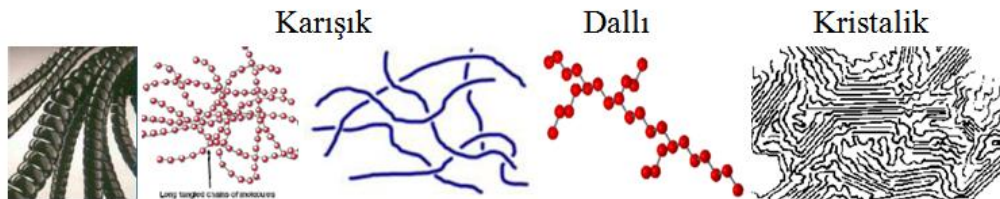


Şekil 2.11 Monomerlerden polimer üretimi [6]

Plastiklerin sünger kadar yumuşak, kemik kadar sert veya ikisi arasında elastik özellikte çeşitleri bulunmaktadır. Üç tür genel plastik vardır.

### 2.4.1 Termoplastikler

Isıtılınca kolayca şekillendirilebilir, soğuyunca mukavim olurlar. Yeniden ısıtılıp şekil verilebilirler, kaynak yapılabilirler [6].

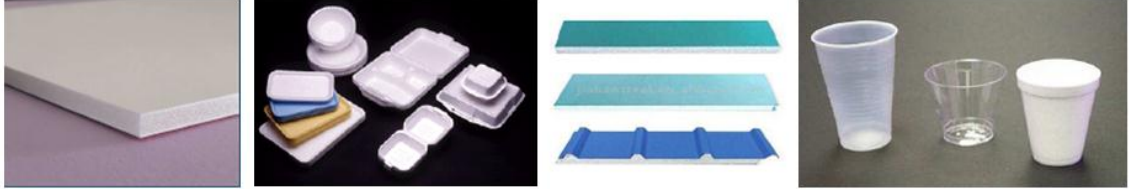


Şekil 2.12 Termoplastik yapılar [6]

Bazı termoplastikler ve kullanım alanlarına aşağıda örnekler verilmiştir.



Resim 2.1 Polietilen ile imal edilen ürünler [6]



Resim 2.2 Polistren ile imal edilen ürünler [6]



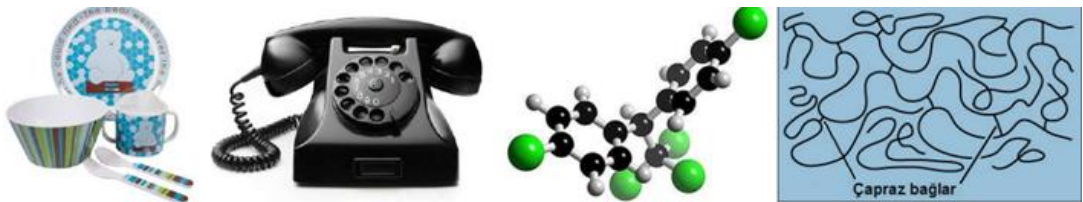
Resim 2.3 Polikarbonat ile imal edilen ürünler [6]



Resim 2.4 Naylon ile imal edilen ürünler [6]

#### 2.4.2 Termosetler

Bir kez reaksiyona girip şekillendirildikten sonra tekrar şekillendirilemezler. Zincirler çapraz şekilde çeşitli noktalardan birbirine sık şekilde bağlanmışlardır. Reaksiyonun gerçekleşmesi için belirli bir miktar süre gereklidir. Yüksek sıcaklıkta tekrar erimezler, yanarlar. Geri kazanmak için bir takım proseslerden geçmesi gerekir [6].



Resim 2.5 Termosetlerin kullanım alanları ve bağ yapısı [6]

### 2.4.3 Elastomerler

Az miktarda çapraz bağ içeren zincirlerden oluşmuştur. Zincirler uygulanan kuvvetle kaymazlar fakat çapraz bağlar yay gibi davranarak elastiklik sağlar. Kuvvet kalktığında eski haline dönerler [6].



Resim 2.6 Elastomerlerin bağ yapısı ve kullanım alanlarına örnek [6]

### 2.5 Kompozit Malzemeler

İki veya daha fazla sayıdaki malzemelerin en az biri matris olmak şartıyla, en iyi özelliklerini bir araya toplamak ya da yeni bir özellik ortaya çıkarmak amacıyla, makro seviyede birleştirilmesiyle oluşan malzemelere kompozit malzeme olarak tanımlanmaktadır. Ortaya çıkan malzeme; çoğu zaman kendisini meydana getiren malzemelerden dayanım, tokluk, elastiklik gibi özellikleriyle daha niteliklidir.

Mukavemet, yorulma dayanımı, aşınma dayanımı, korozyon direnci, termal özellikler, ısı iletkenliği, akustik iletkenlik, elastiklik, rijitlik, hafiflik gibi fiziksel ve mekanik özelliklerin iyileştirilmesi amacıyla kompozit malzemeler üretilmekte ve tercih edilmektedir. Kompozit malzeme üretmenin amacı üstün özellikli malzemeler elde etmektir [7].

#### 2.5.1 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemeler matris malzemenin cinsine göre dört ana gruba ayrılırlar;

- 1- Metal Matris Kompozit Malzemeler
- 2- Seramik Matris Kompozit Malzemeler
- 3- Polimer Matris Kompozit Malzemeler
- 4- Nano Kompozit Malzemeler

Takviye malzemelerinin şekline göre kompozitler Resim 2.7, Şekil 2.13, Şekil 2.14'de görülmektedir.

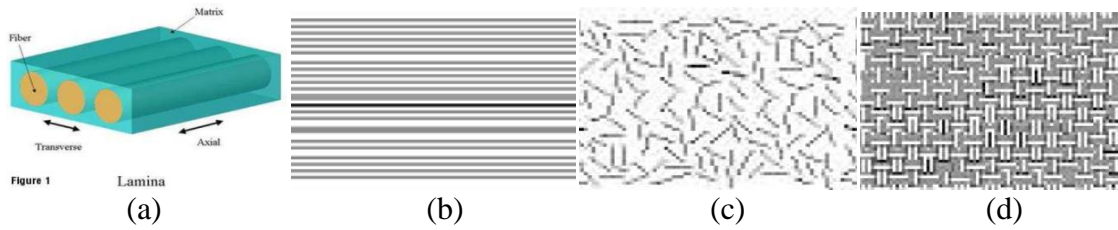
Takviye malzemelerinin şekline göre ise;

### 1- Parçacık takviyeli kompozitler



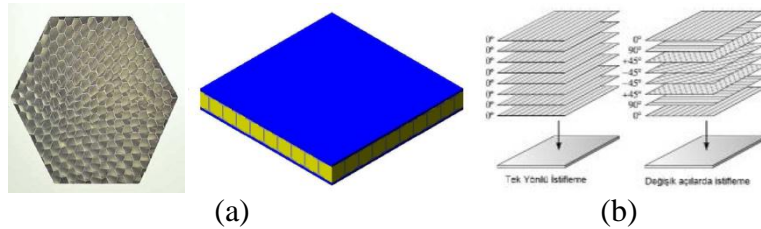
Resim 2.7 Parçacık takviyeli kompozitler [6,8]

### 2- Elyaf takviyeli kompozitler



Şekil 2.13 Elyaf takviyeli kompozit çeşitleri a) Sürekli elyaf [6], b) Sürekli elyaf [8], c) kırılmış elyaf [8], d) dokuma [8]

### 3- Tabakalı kompozitler



Şekil 2.14 Elyaf takviyeli kompozit çeşitleri a) Sandviç panel [6], b) Hibrit kompozit [8]

Olmak üzere üç gruba ayrılırlar.

## 2.6 Metaller

Metaller; demir, çelik, dökme demir, Alüminyum, Bakır, Çinko, Titanyum, Magnezyum, Molibden, Nikel, Kurşun, Kalay gibi kullanılan mühendislik malzemeleridir [2].

Mühendislikte en yaygın kullanılan metaller ve alaşımlarına örnekler aşağıda verilmiştir.



### 2.6.1 Demir

İçerisinde karbon bulundurmeyen Fe atomlarının oluşturduğu  $\rho = 7,83 \text{ g / cm}^3$  yoğunluğa sahip metaldir. Resim 2.8’de demir örnekleri görülmektedir.



Resim 2.8 Demir Elementi [6,4]

### 2.6.2 Çelik

İçerisinde % 0,02 – 2,06 karbon ve diğer alaşım elementlerinden oluşan demir – sementit alaşımına çelik denir. Yoğunluğu  $\rho = 7,8 \text{ g / cm}^3$ ’dür. Resim 2.9’da çelik malzemelerden üretilen parçalar görülmektedir.



Resim 2.9 Çelik malzeme ürünleri [6,4]

### 2.6.3 Dökme Demir

İçerisinde % 2,06 – 6,67 karbon ve diğer alaşım elementlerinden oluşan plastik şekillendirmeye elverişli olmayan, demir – sementit veya demir – grafit alaşımlarıdır. Alaşımli dökme demirlerde karbon oranı % 2,06 C ‘ den daha az olabilir [2]. Resim 2.10’da dökme demir ürünleri görülmektedir.



Resim 2.10 Dökme demir ürünleri [4]

### 2.6.4 Bakır

Bakır; elektrik ve ısıl iletkenliği yüksek, atmosfer korozyonuna yüksek dirençli, soğuk şekillendirme kabiliyeti yüksek, talaşlı şekillendirme işleme sırasında çabuk ısınması

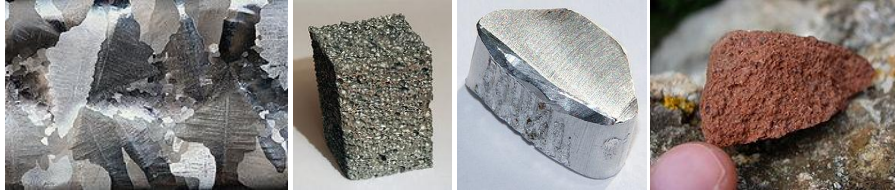
sonucu talaşın kesiciye sarma ve ısıl genişmeden dolayı ölçü tamlığını yakalamak güçtür. Soğutma sıvısı ile işlemek gereklidir. Yoğunluğu  $\rho = 8,9 \text{ g / cm}^3$ 'dür. Resim 2.11'de bakır ürünleri görülmektedir.



Resim 2.11 Bakırdan imal edilmiş ürünler [4]

### 2.6.5 Alüminyum

Alüminyum, çeliğe nazaran mukavemeti düşük olmasına karşı daha düşük yoğunluğa " $\rho = 2,71 \text{ g/cm}^3$ " sahip olmasından dolayı hafif mühendislik ürünleri elde etmede elverişlidir. Katı fazda her sıcaklıkta YMK yapıya sahiptir. Plastik şekillendirme kabiliyeti ve elektrik iletkenliği yüksektir. En önemli alaşım elementleri bakır, silisyum, mangan, magnezyum ve çinkodur. Resim 2.12 Alüminyum metali görülmektedir.



Resim 2.12 Alüminyum metali [4,9]

### 2.7 Seramikler

Seramikler; bir veya birden fazla metalin, ametaller ile bileşik oluşturarak meydana getirdiği inorganik malzemelerdir. Çok eski zamanlardan beri kullanılan malzemelerdir.

Seramiklerin genel özellikleri;

- Genellikle bir metal ve ametal bileşimidir.
- Bağlar tamamen iyonik veya iyonik – Kovalent bağ kombinasyonudur.
- Genel olarak ısıl ve elektriksel dirençleri yüksektir.
- Süper iletkenlik olarak tabir edilen elektrik iletkenliği çok yüksek olan seramik malzemelerde mevcuttur.
- Yarı iletken teknolojisinin temelini oluştururlar [8].

Seramikler kendi aralarında üç grupta incelenirler.

### 2.7.1 Silikatlar

Porselen, beton, tuğla, kiremit, cam gibi malzemelerin temel yapı malzemeleri silikatlardır. Doğada kil, kum olarak bulunurlar. Çizelge 2.1’de silikat esaslı seramik bileşimi oranları, resim 2.13’ de kilden ürünleri görülmektedir.

Çizelge 2.1 Silikat esaslı seramiklerin bileşimleri [8]

Seramik	Bileşim (ağ. %)					
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	CaO	Diğer
Silika refrakter	96					4
Ateş tuğlası	50-70	45-25				5
Elektrik porseleni	61	32	6			1
Portland çimentosu	25	9			64	2



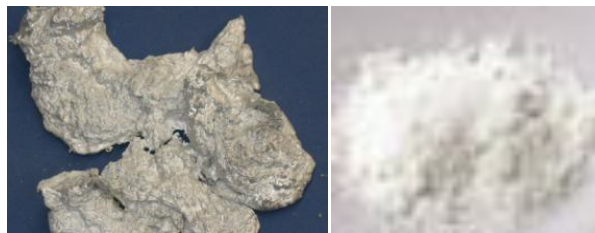
Resim 2.13 Kilden ürünleri [6]

### 2.7.2 Silikat Olmayan Oksit Seramikler

Mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılan seramiklerdir. Silikat seramiklere göre daha pahalıdır. Elektronik, nükleer, yalıtım ve kaplama uygulamalarında kullanılırlar.

#### 2.7.2.1 Alüminyum Oksit

Alüminyum oksit ya da alümina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) seramik bir malzeme için yüksek ısı iletimi ve yüksek elektriksel dirence sahip bir seramiktir. Doğada bulunan kristal hali korondum olarak isimlendirilir. Sertliğinden dolayı aşındırıcı ve kesici, elektriksel direncinden dolayı izolatör olarak kullanılır [6]. Resim 2.14’de alüminyum oksit bileşiği görülmektedir.



Resim 2.14 Alüminyum oksit [9]



### 2.7.2.2 Titan Di Oksit

Boya sanayinde güneş koruyucu, kozmetik ve cilt bakımı ürünlerinden, gıda sanayide renklendirici olarak kullanılmasına kadar endüstride geniş kullanım alanına sahiptir. Ultraviyole ışınlarını emerek ısı enerjisine dönüştürme gibi bir özelliğe sahiptir [9]. Resim 2.15’de titanyum di oksit tozu gösterilmektedir.



Resim 2.15 Titanyum di oksit ( $TiO_2$ ) tozu [9]

### 2.7.2.3 Kromiyum Tri Oksit

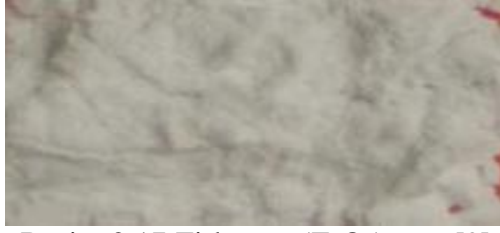
Kromat ( $Cr_2O_3$ ) genel olarak krom kaplama, ahşap koruyucu, manyetik bant, bakır ayırma ve korozyon koruyucu olarak kullanılır. Resim 2.16 Kromat tanecikleri görülmektedir.



Resim 2.16 Kromat tanecikleri [9]

### 2.7.2.4 Zirkonyum Di Oksit

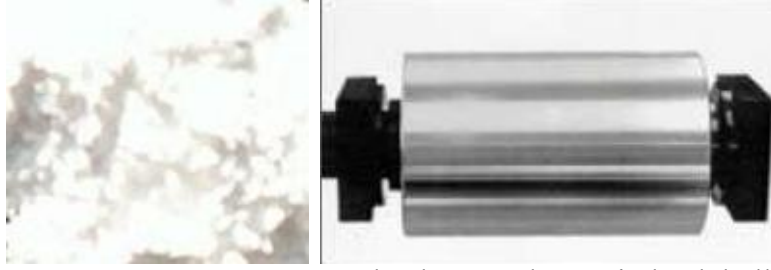
Saf zirkonya ( $ZrO_2$ ) oda sıcaklığında monoklinik kristal kafes yapısına sahiptir. Isıtıldığında önce tetragonal sonra kübik kristal kafes yapısı sergiler. Soğuma esnasında kristal kafes yapısından kaynaklı hacim artışı sergiler. Bu özellik malzemeye artık bası gerilmesi olarak yansır. Zorlanma esnasında artık tetragonal kristal kafes yapısı monoklinik kafes yapısına döner ve hacim artışı olur. Bu özellik malzemenin aşınma sonucu kaybolan hacim artışı sağlarken, bası gerilmesi oluşturarak çatlak ilerlemesine engel olarak malzemenin yorulma ömrünü olumlu yönde etkiler. YMK zirkonya aynı zamanda düşük ısı iletkenlik sergiler. Bu özelliği ile jet türbinleri ve dizel motorlarda termal bariyer kaplama malzemesi olarak kullanılır [9]. Resim 2.17’de zirkonya ( $ZrO_2$ ) tozu görülmektedir.



Resim 2.17 Zirkonya ( $ZrO_2$ ) tozu [9]

### 2.7.2.5 Magnezyum Oksit

Magnezyum oksit ( $MgO$ ) fiziksel ve kimyasal işlemlerde yüksek sıcaklıklara dayanıklı refrakter bir malzemedir. Resim 2.18’de toz ve kaplama malzemesi ürünleri görülmektedir.



Resim 2.18 Magnezyum oksitin toz ve kaplama malzemesi olarak kullanımı [6,9]

### 2.7.3 Oksit Olmayan Seramikler

Bu seramikler adından da anlaşılacağı gibi oksijenden dışındaki ametallerle bileşik oluşturma sonucu medya gelmiş olan seramiklerdir. Bu seramiklere silisyum karbür ( $SiC$ ), silisyum nitrür ( $Si_3N_4$ ), titan karbür ( $TiC$ ), bor karbür ( $B_4C$ ) örnek verilebilir.

#### 2.7.3.1 Silisyum Karbür

Silisyum karbürden balatalar çelik yelekler, kesici takımlar, elektronik devre elemanları üretilmektedir. İlk olarak aşındırıcı olarak kullanılmakla beraber ilerleyen zamanlarda radyolarda akım yönlendirici, LED, yarı iletken ve kesici takım imalatında kullanılmıştır. Saf  $SiC$  renksizdir, içerisine demir türevleri ile alaşımlandığında siyah renk alır [9]. Resim 2.19’da Silisyum Karbür’ün görünümü ve uygulamaları gösterilmiştir.



Resim 2.19 Silisyum karbürün görünümü ve uygulamaları [9]

### 2.7.3.2 Silisyum Nitrür

Silisyum nitrür yüksek sıcaklıklarda ergimesine rağmen 1850 °C sıcaklıktan yukarıdaki çalışma koşullarında kullanıma silisyum ve azotun ayrışmasından dolayı elverişli değildir. Ancak diğer seramik malzemelere kıyasla yüksek mukavemet, ortalama üstü elastisite modülü, Yüksek kırılma tokluğu tercih sebebidir. Bu özellikler malzemeye Mükemmel termal şok direnci, yüksek sıcaklıklara kadar yüksek yüklemelere dayanabilme ve aşınma direnci kazandırmıştır. Gaz türbinleri, içten yanmalı motorlar, kesici takımlar ve yataklarda kullanılmaktadır [9]. Resim 2.20’de Silisyum nitrür kullanılarak imal edilen ürünler gösterilmektedir.



Resim 2.20 Silisyum nitrür kullanılarak imal edilen ürünler [4]

### 2.7.3.3 Titan Karbür

Titan karbür çok sert refrakter olara kullanılan bir seramik malzemedir. YMK yapılı siyah görünümlü bir malzemedir. Kesici takımların helisleri ve dişlerinde kullanılır. Resim 2.21’de Titan karbür kullanım alanları ve imal edilen ürünler görülmektedir.



Resim 2.21 Titan karbür kullanım alanları ve imal edilen ürünler [4]

### 2.7.3.4 Bor Karbür

Boron karbür; Rombohedral kristal kafes yapısına sahip, aşırı sert, tank zırhı ve çelik yelek olarak kullanılan kübik boron nitrit ve elmadan sonra 9 mohs üzeri sertliğe sahip malzemedir [9].

Aynı zamanda radyasyon tutucu özelliğe sahip olduğundan, reaktörlerde kullanılmaktadır. Resim 2.22’de Bor karbür görünümü ve uygulamalarına örnekler görülmektedir.



Resim 2.22 Bor karbür görünümü ve uygulamaları [4]

## 2.8 Malzeme Türüne Göre Özelliklerinin Karşılaştırılması

Çizelge 2.2 Malzeme Çeşitleri ve Özellikleri [10]

Metaller (Fe, çelik, Zn, Cu, Ni vb)	Plastikler (lastik, PVC, Bakalit, Yapıştırıcı)	Seramikler (Briket, cam, porselen vb)	Kompozitler (Beton, kerpiç, kontraplak, kemik vb)
Metalik bağ	Kovalent Bağ	İyonik bağ	Makro düzeyde birleşme
Mukavemet yüksek-(Pb hariç)	Mukavemet düşük	Basma mukavemeti yüksek	Mukavemeti. iyi (MMK) Mukavemeti düşük (PMK)
Isıl iletkenlikleri yüksek	Isıl iletkenlikleri düşük	Isıl iletkenlikleri düşük	Isıl iletkenlikleri değişken
Elektrik iletkenlikleri Yüksek	Elektrik iletkenlikleri düşük	Elektrik iletkenlikleri düşük	Elektrik iletkenlikleri değişken
Korelasyon sayısı $KS \geq 8$	$KS \leq 8$	$KS \leq 6$	-----
Özgül ağırlık yüksek (ağır)	Özgül ağırlık düşük (hafif)	$\rho_{plas} < \rho_{serm} < \rho_{metal}$	Düşük (PMK) Yüksek (MMK)
Plastik şekil verme yeteneği iyi	Plastik şekil verme yeteneği var (termoplastikler) Plastik şekil verme yeteneği yok (termoset)	Plastik şekil verme yeteneği yok	Plastik şekil verme yeteneği düşük
Sünek (Al) Gevrek (W)	Sünek (termoplastikler) Gevrek (termoset)	Sert ve Gevrek	Sünek (PMK) Gevrek (SMK)
Darbe direnci yüksek (çelik) – Düşük (Pb)	Darbe direnci yüksek	Darbe direnci düşük	Darbe direnci yüksek (PMK) düşük (SMK)
Korozyon direnci iyi (paslanmaz çelik), kötü (Fe)	Korozyon direnci iyi	Korozyon direnci iyi	Korozyon direnci iyi (PMK), kötü (MMK)

MMK: Metal matrisli kompozit, PMK: Polimer matrisli Kompozit, KS: Koordinasyon sayısı,  $\rho$ : Özgül ağırlık, SMK: Seramik matrisli kompozit

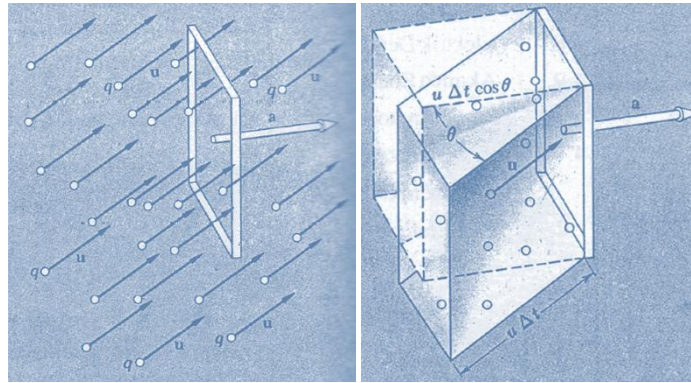
### 3 ELEKTRİK

İnsanlar elektriğin varlığını ilk olarak yılan balığında ve yıldırımlarda görmüştür. Eski mısırdaki M.Ö. 2700'lü yıllarda yılan balığı "Nil'in yıldırımıcısı" olarak isimlendirilmiştir. Bu konu üzerinde ilk araştırmayı Thales gerçekleştirmiştir [11].

Elektrik bütün nesnelere çevreleyen doğal bir kuvvettir. 1600'lü yıllarda Dr. William Gilbert "electricus" Latince kelimesi ile elektrik kelimesine bilim dünyasına kazandırmıştır [9].

#### 3.1 Elektrik Akımı

Elektrik akımı, yüklü parçacıkların hareketinden oluşur. Bir tel içindeki akım, telin bir noktasından geçen yük miktarının bir ölçüsüdür. Birimi C/sn (amper) veya ebs/sn dır. En genel şekilde akım yüklerin yer değiştirmesi sonucu oluşur.  $\text{cm}^3$  başına  $n$  tane serbest parçacık bulunan  $q$  yüklü parçacıkların  $u$  ortalama hızı ile hareket ederek, belli bir doğrultuya sahip  $a$  yüzeyinden  $\Delta t$  süresince geçen parçacık sayısı şekil 3.11'de görülmektedir [12]. Bu ifadeleri formüle edecek olursak;



Şekil 3.1 Birim hacimden geçen elektronlar[12]

Küpün taban uzunluğu;

$$l = u\Delta t \cos \theta \quad (3.1)$$

Küpün hacmi;

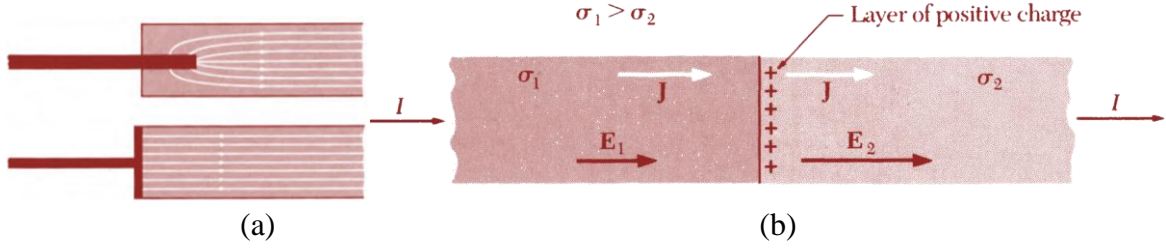
$$V = au\Delta t \cos \theta \quad (3.2)$$

Ya da vektörel formda;

$$V = \mathbf{a} \cdot \mathbf{u} \Delta t \quad (3.3)$$

Yazılabilir. Parçacık sayısı  $n$  ile  $V$  hacmi çarpıldığında küp içerisinde  $\Delta t$  süresince geçen parçacık sayısını verecektir. Parçacık sayısı ile bir parçacığın yükü çarpıldığında geçen toplam yük bulunacaktır. Toplam yükün  $\Delta t$  süresince geçtiği düşünülürse; birim zamanda geçen ortalama yük miktarı yani  $I$  (a) akımı;

$$I(a) = \frac{q(n\mathbf{a} \cdot \mathbf{u} \Delta t)}{\Delta t} = nq\mathbf{a} \cdot \mathbf{u} \quad (3.4)$$



Şekil 3.2 a) Kontakt geometrisine bağlı elektrik akımının değişimi, b) kompozit bir iletkende elektrik iletimi [12]

Malzeme içerisinde gerçekte her parçacık farklı hız, yük yoğunluğu ve yüke sahiptir. Şekil 3.2 a ve b'de sırasıyla kontak şekline göre akım karakteristiği ve iki farklı malzeme içerisindeki elektrik iletimi gösterilmektedir. Buna göre belirli bir küme için denklem düzenlenirse;

$$I(a)_k = n_1 q_1 \mathbf{a} \cdot \mathbf{u}_1 + n_2 q_2 \mathbf{a} \cdot \mathbf{u}_2 + \dots = \mathbf{a} \cdot \sum_k n_k q_k \cdot \mathbf{u}_k \quad (3.5)$$

$$\mathbf{J} = \sum_k n_k q_k \cdot \mathbf{u}_k \quad (3.6)$$

Eş. 3.6'daki ifade birim yüzeyden geçen yük miktarı olup birimi  $A/cm^2$ 'dir.

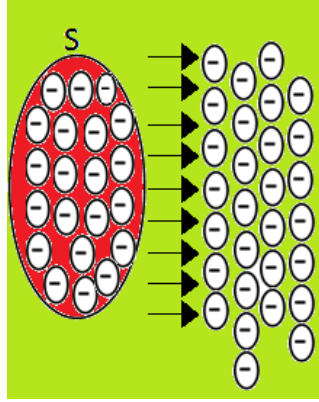
### 3.1.1 Kararlı Akımlar

Bir iletkenen geçen akım;  $\mathbf{J}$  akım yoğunluğunun iletken kesiti boyunca alınan integraline eşittir.

$$I_s = \int_s \mathbf{J} d\mathbf{a} \quad (3.7)$$



$\mathbf{J}$  akım yoğunluğu kesitin her yerinde sabit ise kararlı ya da durgun akım sistemi elde edilir. Kararlı akımlar yük korunumu yasalarına uyarlar [12].



Şekil 3.3 S kesitinden elektron akışı

Kesite giren yük miktarı (-), kesitten çıkan yükler (+) alınır. Şekil 3.3'de bu durum gösterilmektedir. Eğer madde içinde üretim yoksa, zaman içinde hacimde yük kalmayacaktır. Bu sebeple zamandan bağımsız akım için  $\mathbf{J}$  kapalı yüzey boyunca alanın integrali sıfır olacaktır.  $\mathbf{J}$  zamandan bağımsız ise;

$$\text{div } \mathbf{J} = 0 \quad (3.8)$$

$\mathbf{J} = f(x,y,z,t)$  ise eş. 3.8 aşağıdaki şeklini alır.  $\int_S \mathbf{J} d\mathbf{a}$  integrali yükün kapalı bir hacimden bir anda ayrılma hızını vermektedir.  $\int_V \rho_q d\mathbf{v}$  integrali ise herhangi bir anda hacim içindeki yük miktarını vermektedir [12]. O halde;

$$\int_S \mathbf{J} d\mathbf{a} = -\frac{d}{dt} \int_V \rho_q d\mathbf{v} \quad (3.9)$$

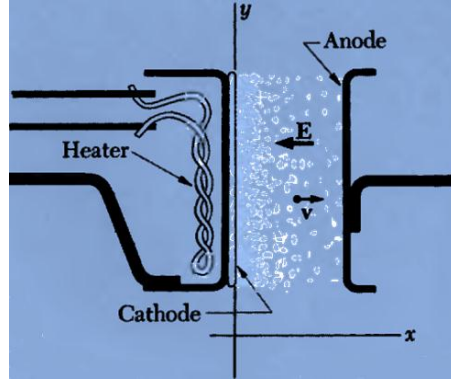
halini alır. Bu hacim  $x,y,z$ 'de sıfıra küçültülecek olursa, zamana bağlı yük dağılımı;

$$\text{div } \mathbf{J} = -\frac{\partial \rho_q}{\partial t} \quad (3.10)$$

Kararlı akım dağılımına iki elektrotlu bir elektronik tüp yani diyot lamba örnek olarak düşünülebilir. Elektrotlardan biri katot olup ısıtıldığında büyük miktarda elektron yayınlayan bir madde ile kaplanmıştır. Anot ise metal bir filminden yapılmıştır. Uygulanan



gerilimle anot katoda karşı (+) potansiyelde tutulur. Isıtılmış katottan çıkan elektronlar, anot katot arasındaki elektrik alanı tarafından elektronlar (+) anoda doğru hız kazandırılır [12]. Şekil 3.4’de diyot lamba şematik gösterimi görülmektedir.



Şekil 3.4 Diyot lamba [12]

Bu ara bölgedeki elektrik akımı, elektronların hareketi ile sağlanır. Diyotun içindeki bir bölgede;

$$\rho_q = -ne \quad (3.11)$$

$$\mathbf{J} = \rho_q \mathbf{v} \quad (3.12)$$

Burada  $n$  birim hacimdeki elektron sayısı,  $\mathbf{v}$  elektronların o bölgedeki hızıdır. Düzlem paralel diyotta  $\mathbf{v}$  hızının  $y$  ve  $z$  bileşenleri sıfır alınabilir. Sistem kararlı hale geçtiğinde Eş. 3.7 deki durum söz konusu olacağından  $\mathbf{J}$ ,  $x$  den bağımsız olacaktır. Kararlı akım şartlarında anot katot arasında herhangi bir düzlemden saniyede eşit sayıda elektron geçmelidir. Elektrik alanı içerisinde hareket eden parçacığın  $\mathbf{v}$  hızı değişkendir, dolayısıyla  $\rho$ 'da değişkendir. Yoğunluğun düşük olduğu yerde elektron hızları daha yüksektir [12].

### 3.2 Elektriksel Potansiyel

Elektriksel potansiyelin birimi volt (V)'tur ve birimi aşağıdaki gibidir;

$$V = w/A = \text{jul}/(\text{s.A}) = \text{jul}/\text{Coulomb}$$

Coulomb başına yapılabilecek işin büyüklüğüdür. İletkenin iki ucu arasındaki elektriksel potansiyel değişimi potansiyel fark olarak isimlendirilir [13].

### 3.3 Elektriksel İletkenlik ve Ohm Yasası

Katı cisimler elektrik öz direncine göre üç gruba ayrılırlar:

- 1) İletkenler:  $\rho = 10^{-6} - 10^{-4}$  ohm.cm
- 2) Yarı iletkenler:  $\rho = 10^{-4} - 10^{10}$  ohm.cm
- 3) Yalıtkanlar:  $\rho \geq 10^{10}$  ohm.cm

Elektrik iletkenliği taşıyıcı sayısı, yük miktarıyla ve taşıyıcının hareketliliğiyle doğru orantılıdır.  $\sigma \sim nq\mu$  ifadesinde n yük taşıyıcı sayısı, q taşıyıcı başına yük,  $\mu$  taşıyıcı hareketliliğini ifade etmektedir. Metaller için taşıyıcı hızı önemli iken yalıtkan ve yarı iletkenlerde taşıyıcı sayısı daha önemlidir. Metaller taşıyıcı elektron yönünden zengindir, burada iletim daha çok taşıyıcı hızı ve kafes yapısı hatalarına bağlıdır. Yarı iletkenlerde ve yalıtkanlarda ise taşıyıcı sayısı az olduğundan taşıyıcı sayısı daha fazla önemlidir [12].

Yükleri hareket ettirmek için çeşitli yöntemler vardır. Yüklü parçacıkların madde ile taşınması da bu yöntemlerden biridir. Madde içindeki elektrik akımlarıyla ilgili ilk deneysel buluşlardan bir tanesi Ohm Yasası'dır;

$$I = \frac{V}{R} \quad (3.13)$$

Bir iletken den geçen I akımı, İletkenin iki ucu arasındaki V potansiyel farkı ile doğru orantılıdır. Bir iletken telin R direnci her yerindeki sıcaklık eşit olduğunda, I akımından bağımsızdır. Telin R direnci; yapılmış olduğu malzemeye, kesitine ve boyuna bağlıdır [13]. Yani;

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (3.14)$$

Burada  $\rho$ 'ya malzemenin öz direnci denir ve birimi Ohm.m'dir. Eş. 3.13 ve Eş. 3.14 mühendisler tarafından dirençlerin hesabında kullanılır.

Katı ve homojen maddeler içinde, herhangi bir noktadaki akım yoğunluğu, elektrik alanı ile orantılıdır. Orantı katsayısı, sadece iletkenin özelliklerine bağlı olup iletkenin şeklinden bağımsızdır [14]

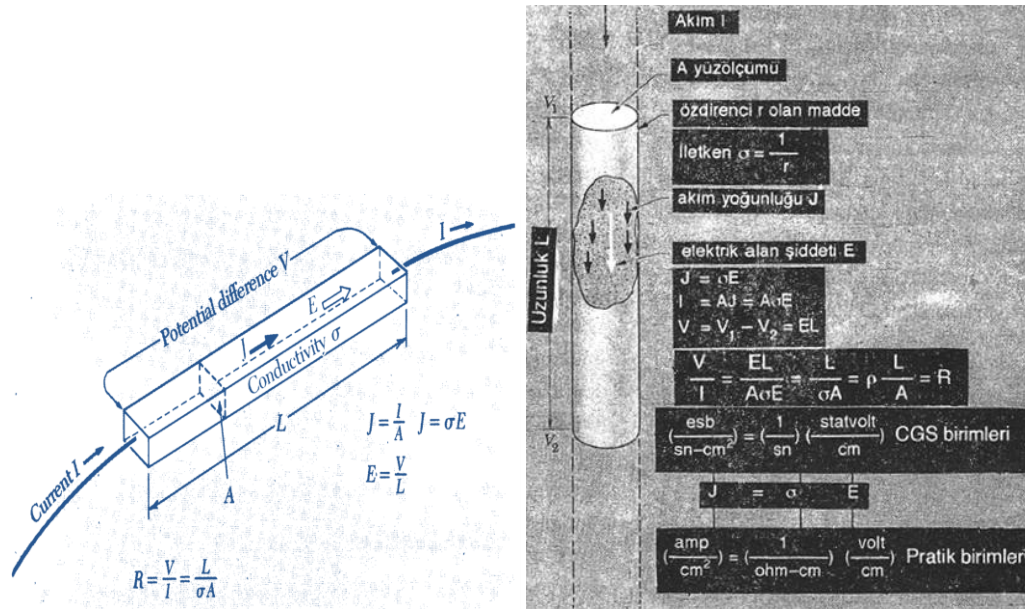
$$\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E} \quad (3.15)$$

Burada  $\sigma$ , maddeye bağlı olup, birçok iletkenin içinde birbirine dik 3 doğrultuda aynı değere sahiptir. Buna göre  $\mathbf{J}$  ve  $\mathbf{E}$  aynı doğrultuda olacaktır.  $\sigma$  skaler bir sayıdır ve malzemenin elektrik iletkenliği denir. Çarpma işlemine göre  $\rho$  öz direncin tersidir [12].

Eş. 3.15 elektriğin temel denklemleri ile türetilemez ancak deney yapılarak ispatlanabilir. Sistemdeki  $\mathbf{J}$  akım yoğunluğu yüklü parçacıkların hızı ile belirlenecektir. Bu sisteme düzgün bir elektrik akımı uygulandığında, her yüklü parçacık bir kuvvetin etkisi altında kalır. Bu kuvvet bütün parçacıklarda hızından bağımsız olarak;

$$\mathbf{F} = q\mathbf{E} \quad (3.16)$$

kuvveti etkimektedir[14]. Şekil 3.5’de iletkenden geçen elektrik akımı gösterilmektedir.



Şekil 3.5 İletken içerisinden geçen elektrik akımı [12,14]

Bu kuvvet etkisi altında parçacıkların sabit bir ivme ile hızlanması beklenmektedir. Fakat sabit akım yoğunluğu sabit bir ivme ile değil sabit bir hızla sağlanmaktadır. Sistemin Ohm Yasası'na uymasının sebebi yüklü parçacıkların ortalama hızlarının kuvvetle orantılı

oluşundan kaynaklanmaktadır. Parçaların sabit ivme altında hızlanamaması parçacıkların serbestçe hareket edemediğini gösterir. O halde elektrik kuvvetinin oluşturduğu harekete karşı koyan bir etki olması söz konusudur. Hareketi engelleyen temel etki, yüklü parçacıkların birbirleri ile veya ortamdaki başka parçacıkların çarpışmalarından kaynaklanmaktadır [14].

Diyot lambalar ohm yasasına uymayan sistemlerdir. Alternatif gerilim uygulanan bir diyot ele alalım. Elektron sayısı, katottan birim zamanda salınan elektron sayısı ile sınırlı olduğundan anot (+) oldukça, akım gerilimden bağımsızdır. Anot (-) yüklü ise geçen akım sıfır olacaktır. Çünkü anot elektron yayınlamaz. Bu nedenle diyot akımı tek doğrultuda geçirdiğinden alternatif akım doğrultucu bir sistem olarak kullanılmaktadır [12].

### 3.3.1 Metallerin Elektriksel İletkenliği

Bilinen en iyi iletkenler, metallerdir. Metallerin elektriği iyi iletmelerinin nedeni serbest elektronlarıdır. Serbest elektronlar, hiçbir atoma bağlı olmayan ve metalin kristal örgüsü içinde rahatça hareket edebilen elektronlardır. Atomlar ayrı ayrı kaldığında bu elektronlar atomlara bağlı kalırlar. Ancak atomlar bir araya gelerek kristal yapı oluşturduğunda valans elektronları serbest kalır. Bu durumda, örgü (+) iyonlardan oluşmuş katı bir yapı haline gelir. Serbest durumdaki valans elektronları bir iletim havuzu oluşturur ve bu örgüde hareket ederler. Her bir metal atomu için bir elektron serbest hale geçtiği düşünülürse, malzeme içerisinde büyük miktarda taşıyıcı elektron serbest olacaktır [12].

Yüklü parçacıkların hareketi, uygulanan elektrik alanından gerekli momentumları alabilmeleri için geçen  $\tau$  süresi Eş. 3.17 ile hesaplanabilir;

$$\tau = \frac{\sigma m_e}{ne^2} \quad (3.17)$$

Burada;  $\tau$  süre (sn),  $\sigma$  iletkenlik ( $\Omega^{-1}$ ),  $m_e$  elektron kütlesi (g),  $n$  ise parçacık sayısıdır. Elektronlarla taşınan elektrik akımı, yüklü parçacıkların rastgele ve çok hızlı ısısal hareketlerine eklenen yavaş ve sürekli bir sürüklenme hali olarak tanımlanır. Elektronların iletken örgüsü tarafından saçılması, sürüklenme hızının alanla oranlı olmasını yani Ohm yasasına uymasını sağlamaktadır [12].

Metallerin çoğunda, dayanamayacağı kadar şiddetli akım yoğunluğu uygulanmasına karşın Ohm yasası geçerliliğini korumaktadır. Teorik bir varsayımla  $10^6$  Amper/cm<sup>2</sup> akım yoğunluğunda bile ohm yasasından sapma %1 kadar olduğu tespit edilmiştir [12].

Saf metallerin elektrik iletkenliği, sıcaklığı ters orantılıdır. Çoğu metaller düşük sıcaklıklarda elektrik akımını çok daha iyi iletmektedir. Bu olay süper iletkenlik olarak tanımlanmaktadır [12]. Şekil 3.8 a'da sıcaklığa bağlı olarak bazı malzemelerin özdirenç ve iletkenlik değerleri verilmiştir.

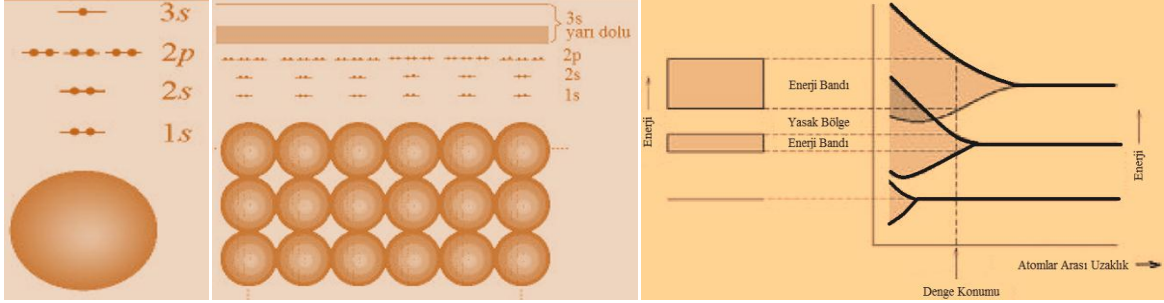
### 3.4 İletkenlerin Direnci ve Etki Eden Faktörler

Elektriksel iletkenliği ve ya  $\rho$  özdirencini anlamak için kusursuz kristal kafes yapılarına sahip pozitif yüklü iyonlardan oluşan ve içerisinde engelle karşılaşmadan hareket edebilen elektronlardan oluşmuş 0 K sıcaklıkta bir sistem göz önüne alınmalıdır. Bu durumda elektriksel direnç varlığından söz edilemez. Direnç rastgele ve tutarsız bir şekilde elektron dalgalarının dağılımından kaynaklıdır. Bu olay kristal kafes yapılarının düzensizliğinden kaynaklanmaktadır. Şekil 3.8 b'de malzeme içerisindeki elektron hareketi görülmektedir. Fiziksel kusurlar; boşluklar, dislokasyonlar, tane sınırları gibi kristal hataları mutlak sıfırda bile elektrik direnci oluşturacaktır. Kristal kafeslerin titreşimi sıcaklıkla beraber artmaktadır. Sıcaklık etkisiyle bozulan kafes yapı elektrik iletkenliğini artıracaktır. Yüksek sıcaklıklarda bu kafes titreşimlerinin genliği artar ve kafeslerin ayrılmalarına neden olmaktadır. Kuantum fizikçiler bu olayın sıcaklık artışı ile fonon sayısındaki artıştan kaynaklanmakta olduğunu ileri sürmektedir. Bu durumda amorf yapılar; sıvı, seramikler, bütün sıcaklıklarda düzensiz içyapılarından kaynaklı yüksek dirence sahiptirler. Metaller ve alaşımlarına uygulanan kristal kafes yapısındaki düzensizliği artırıcı soğuk şekillendirme, ısı işlemler, kimyasal kompozisyon elektrik iletkenliğini değiştirir [14,15].

Elektriksel iletkenlik elektronların enerji bandı modeli ile ifade edelim. Atomda elektronlar tanımlanmış enerji seviyelerinde bulunur. Aynı konumda bir birine ters yönde dönen bir çift elektrondan fazla elektron bulunamaz [Pauli Prensibi] [15].

Atomlar bir katı içinde yan yana bulduklarında, aralarındaki uzaklığa bağlı olarak birbirine girişimde bulunurlar. Birbirine yakın enerji seviyelerine sahip olan atomlar belirli

enerji bantları içine yerleşirler. İletkenlik için en dış bantlar önem taşımaktadır. Na atomunu incelersek;

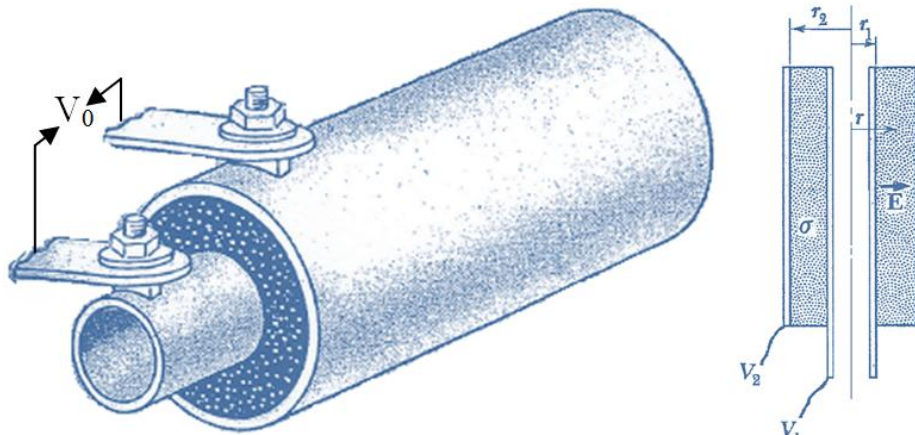


Şekil 3.6 Sodyum atomu enerji seviye bantları ve enerji bantlarının atomlar arası mesafe ile değişimi [8]

İletim bandı, yarı boş valans bandını ifade eder. Malzemeye enerji vererek elektronlar bir üst enerji seviyesine çıkarılarak iletim gerçekleştirilebilir. Buna yalıtkan malzemeler ve yarı iletkenlerde elektrik iletimi güzel bir örnektir. Şekil 3.6’da Sodyum atomu enerji seviye bantları ve enerji bantlarının atomlar arası mesafe ile değişimi gösterilmektedir.

Eş. 3.14 ile iletkenlerin R direnci hesaplanabilir. R direnci ancak iyi tanımlanmış bir akım için tanımlanabilir. Bir hacim içine akımın giriş ve çıkış uçlarının yerini bilmeden dirençten bahsedilemez.

Arası grafitle doldurulmuş silindir şeklinde iki bakır levhanın oluşturduğu kompozit cisimden geçen akımı inceleyerek ve elektriksel direncini inceleyelim.



Şekil 3.7 Silindirik kompozit iletkenlerde elektrik iletimi [14]

Şekil 3.7’de de kompozit cisim görülmektedir. Bakır borunun direnci önemsenmeyecek kadar küçük kabulü ile bakır boruların eş potansiyelli yüzeyler olduğunu söyleyebiliriz. İki kutup arasına  $V_0$  gerilimi uygulandığında, yüklü silindirler arasında elektrik alanı;

$$E = \frac{k}{r} \quad (3.18)$$

Şeklindedir.

$$V_0 = \int_{r_1}^{r_2} \mathbf{E} \cdot d\mathbf{r} = k \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r} = k \ln \frac{r_2}{r_1} \quad (3.19)$$

Olarak bulunur.

Buna göre her hangi bir  $r$  noktasındaki elektrik alanı;

$$E = \frac{V_0}{r \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} \quad (3.20)$$

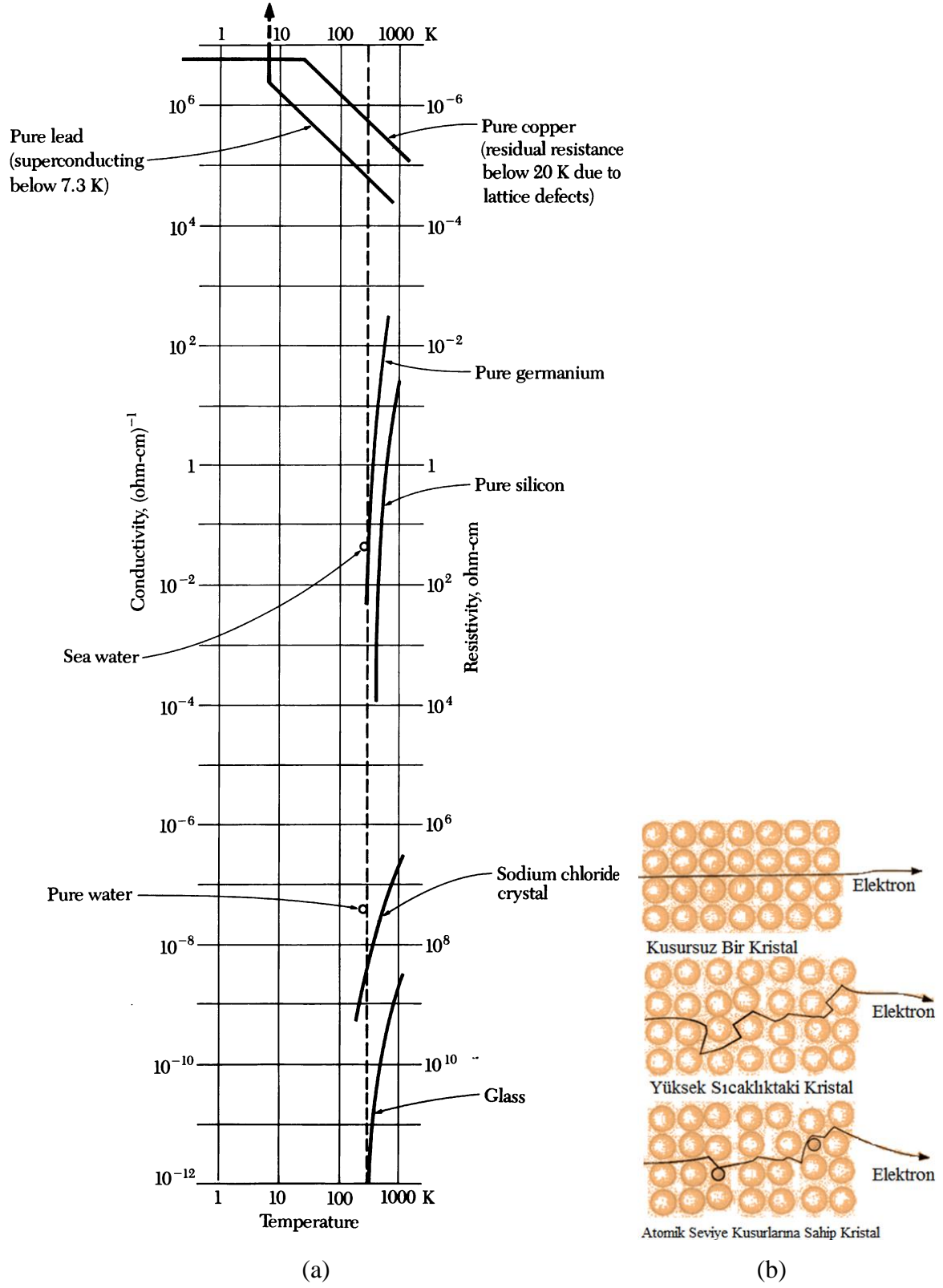
$I$  elektrik akımı,  $\sigma E$  akım yoğunluğunda,  $2\pi rL$  alanı boyunca akmakta olduğuna göre;

$$I = \frac{2\pi L \sigma V_0}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} \quad (3.21)$$

Olacaktır. Beklendiği gibi akım  $r$ 'den bağımsızdır.  $R$  direnci ise;

$$R = \frac{V_0}{I} = \frac{1}{2\pi L \sigma} \cdot \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right) \quad (3.22)$$

Burada  $L$  silindir uzunluğudur. Eş. 3.22 silindirik kaplanmış numunelerin dirençlerinin hesaplanmasında kullanılabilir.



Şekil 3.8 a) Bazı malzemelerin sıcaklıkla elektrik iletkenliklerinin değişimi [12], b) Malzeme içerisinde elektron hareketi [8]



## 4 ELEKTRİKSEL BÜYÜKLÜKLERİN BELİRLENMESİ

Mühendislerin toplumun refah seviyesini artırmak için yapmış oldukları çalışmaların amacına hizmet edecek tasarımlar olması gereklidir. Mühendis tasarım yaparken kullanacağı malzemelerin fiziksel, mekaniksel ve elektriksel özellikleri dikkate alır. Bu özellikler belirli bir ölçünün standart kabul edilerek ona oranla sayısal değeri belirlenmesi işlemine ölçme denir. Ölçme işlemi ile belirlenen malzeme özellikleri göz önüne alarak tasarım yapar. Bu sebeple elektrik ile çalışan sistemlerin tasarımı için elektriksel özelliklerin tespiti önem arz etmektedir. Günümüzde arıza tespiti için de ölçme işlemi yapılmaktadır.

### 4.1 Elektriksel Ölçü Aletleri

Analog ve dijital olmak üzere iki farklı tipte üretilmiş ölçü aletleri mevcuttur. Analog ölçü aletleri çeşitli şekilde elde edilen kuvvetin ölçeklendirilmiş düzlem içinde hareket eden ibreyi hareket ettirmesi ile ölçüm yapar. Dijital ölçü aletlerin de ise bu kuvvet kalibrasyon katsayılarla çarpılarak sonuç dijital ekranda gösterilir. Resim 4.1’de analog ve dijital ölçü aletlerine örnekler görülmektedir.



Resim 4.1 a) Analog ölçü aletleri, b) Dijital ölçü aletleri [16]

Birçok ölçü aleti elektrik ve manyetik alanın şiddeti ile orantılı olarak ürettiği kuvvet sayesinde ölçüm yaparlar. Gergi yayına sabitlenmiş ibreye elektrik veya manyetik alan

kuvvetinin etkimesi, yayı gemesi ya da basması ile ölçeklendirilmiş bir yüzey üzerinde hareketi ile ölçü alınmaktadır. Bu ölçü aletleri elektromanyetik sapma veya elektrostatik sapma mantığı ile çalışırlar [17].

Elektrik akımı, bir rezistansın ürettiği ısı ile ölçülebilir. Bu ölçü aletleri termal ısınma mantığı ile çalışır. Bazı ölçü aletleri küçük motorlar kullanarak devrinin ölçüm büyüklüğüne göre değişmesi ile ölçüm yapar. Devir ölçme aletlerinin çalışma mantığı da budur. Elektronik sayıcılar elektronik darbe (pulse) sayarlar [17]. Çizelge 4.1’de elektriksel ölçü aletleri sembolleri görülmektedir.

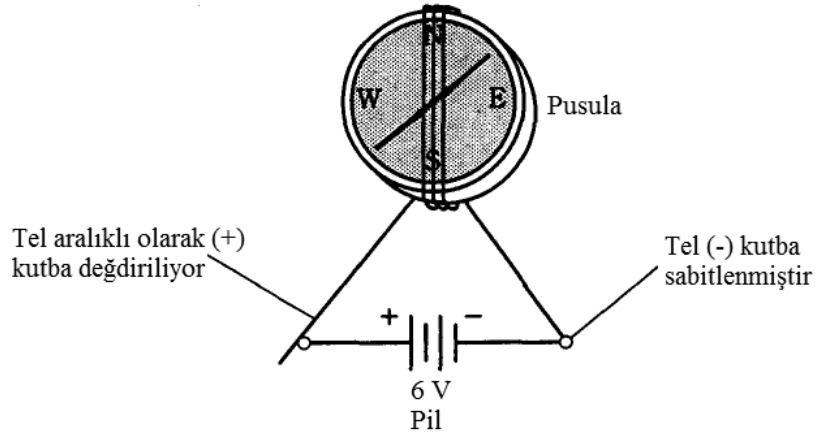
Çizelge 4.1 Ölçü aletleri sembolleri [16]

ÖLÇÜ ALETLERİ SEMBOLLERİ					
No	Şekli	Anlamı	No	Şekli	Anlamı
1		Döner bobinli ölçü aleti	22	ast	Astatik ölçü aleti
2		Termo elemanlı döner bobinli alet	23	$\frac{1.5}{2}$	Alet doğru akımda % 1.5 Alternatif akımda % 2 hatalı
3		Redresörlü döner bobinli alet	24		Alet demir örtülü
4		Döner mıknatıslı ölçü aleti	25		Alternatif akım için
5		Çapraz mıknatıslı ölçü aleti	26	—	Doğru akım için
6		Elektrodinamik ölçü aleti (demirsiz)	27		Doğru ve alternatif akım için
7		Elektrodinamik ölçü aleti (demirli)	28		Üç fazlı akım için (bir ölçme sistemli)
8		Elektrodinamik çapraz bobinli ölçü aleti (demirsiz)	29		Üç fazlı akım için (iki ölçme sistemli)
9		Elektrodinamik çapraz bobinli ölçü aleti (demirli)	30		Üç fazlı akım için (üç ölçme sistemli)
10		Termik ölçü aleti	31		Aletin muayene gerilimi 500 V.
11		Elektrostatik ölçü aleti	32		Aletin yalıtkanlık deneyi yapılmamış
12		Yumuşak demirli ölçü aleti	33		Yalıtkanlık deneyi 2 kV'la yapılmış ölçü aleti
13		Çapraz bobinli ölçü aleti	34		Alet dik olarak kullanılacak
14		İndüksiyon ölçü aleti	35		Alet yatay olarak kullanılacak
15		İndüksiyon tipi çapraz bobinli ölçü aleti	36		Alet eğik olarak kullanılacak rakam eğiklik açısını gösterir
16		Bimetal ölçü aleti	37		Alete dıştan bağlanan şönt direnç
17		Döner demirli ölçü aleti	38		Alete dıştan bağlanan ön direnç
18		Titreşimli ölçü aleti	39		Alete dıştan bağlanan indüktans
19		Termo eleman	40		Yalıtkanlık deney gerilimi
20		İndrekt ısıtılmış termo eleman	41		Sıfır ayar tertibatı
21		Redresör	42		Çalışma tertibatına dikkat ediniz

#### 4.1.1 Elektromanyetik Sapma

Elektrik ve manyetizma üzerine yapılmış çalışmalar, elektrik akımının manyetik alan oluşturduğunu göstermiştir. Muhtemelen kazara bir buluş olmasına rağmen, bilim adamlarının ilgisini çekmeyi başarmış bir buluş olmuştur. Manyetik kumpas içerisinden doğru akım geçen bir iletkene yaklaştırıldığında kuzeyi göstermediği gözlenmiştir. İbrenin sapması iletkene yakınlığı ve iletken üzerinden geçen akım şiddeti ile orantılıdır [17].

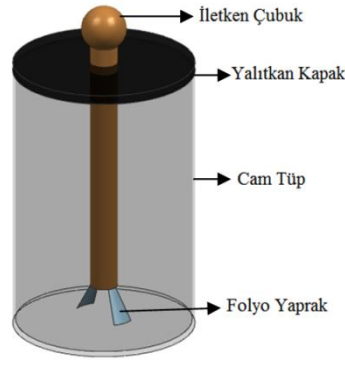
Bu etki ilk kez incelendiğinde, bilim adamları ibrenin ne kadar sapabileceğini ve ne kadar küçük akım ölçülebileceğini görme üzerine değişik düzenekler kurmuşlardır. En yüksek ölçü hassasiyeti için bir çalışma yapılmıştır. Bir tel, pusula etrafına sarılarak elde edilen cihaz en düşük elektrik akımını ölçebilir. Bu etkiye galvanizim ve bu etkiyi ölçen cihaza da galvanometre denilmiştir [17].



Şekil 4.1 Galvanometre [17]

#### 4.1.2 Elektrostatik Sapma

Elektrostatik kuvvetleri göstermek için kullanılan en yaygın cihaz elektroskoptur. İletken bir çubuk, iki adet folyo yaprak ve hava akımını engelleyecek bir kaba kapatılarak elde edilebilir. Yüklü bir çubuk iletken çubuğa değdirildiğinde aynı yükü yüklenen folyo yapraklar birbirini iter. Elektrik yüküne bağlı olarak yaprak açıklığı değişecektir. Elektroskop ölçme aleti olarak kullanmaya hassasiyet olarak elverişli değildir. Fakat çalışma mantığı itibarıyla diğer ölçü aletlerine örnek teşkil etmektedir [17]. Şekil 4.1’de ölçüm yapan bir galvanometre görülmektedir.



Şekil 4.2 Yüklenmiş elektroskop

Elektrostatik cihazlar doğru akım parametrelerini ölçebildiği gibi alternatif akım parametrelerini de ölçer. Bu özellikleri elektromanyetik ölçümlere göre üstünlükleridir. Alternatif akımda galvanometre kullanılırsa; akım sürekli yön değiştireceğinden manyetik kuvvetlerinde yön değiştirmesinden dolayı ibre sürekli salınım yapacak ve kesin bir değer vermeyecektir. Ayrıca elektrostatik ölçerler başlangıçta çok az bir akım çekerek kararlı hale geçer ve ölçüm yapılan devreyi etkilemezler [17]. Elektromanyetik ölçerler az da olsa ölçüm yapabilmek için elektrik akımına ihtiyaç duyarlar. Şekil 4.2’de elektroskop elemanları görülmektedir.

#### 4.1.3 Isınma

Elektrik akımı ölçümünde kullanılan bir başka olgu ise; üzerinden akım geçen ve herhangi büyüklükte direnç sahip iletkenlerin ısınmasıdır. Kusursuz malzeme olmadığından bütün malzemeler direnç sahiptir. Isınma iletken üzerinden geçen akımla doğru orantılıdır [17].

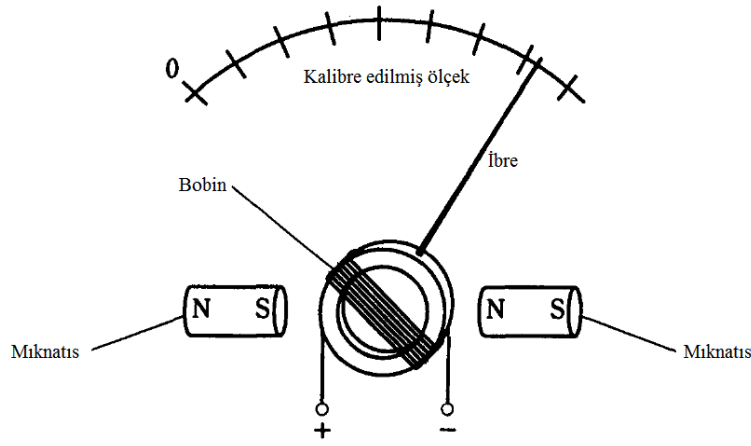
Doğru metal veya alaşım malzemesi kullanılarak belirli boy ve kesite sahip üretilmiş bir tel ve hassas bir termometre kullanılarak sistemin yalıtılmış bir kutu içerisine yerleştirilmesi ile sıcak-tel ölçü aleti yapılabilir. Bu ölçü aleti AC ve DC elektrik akımında ölçü almaya, akımdan dolayı ısınma olgusu akımın yönünden bağımsız olduğundan elverişlidir [17].

Sıcak tel prensibi iki farklı metali temas ettirerek kullanılabilir. Bu iki metalin birleşme noktası metallerin üzerinden akım geçmesi ile ısınır. Bu olaya ısı çift prensibi denir.

Bir ısı çift ısıtıldığında doğru akım üretir. Bu akım konveksiyonel DC ölçerle ölçülebilir. Hızlı ölçüm almada bu özellik çok kullanışlıdır. Sıcak tel ve ısı çift etkileri sıklıkla 100 kHz ve 10 GHz frekans aralığındaki radyo akımlarını ölçmede kullanılır [17].

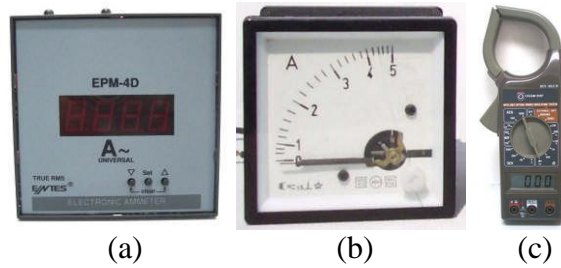
#### 4.1.4 Ampermetre

Güçlü manyetik kuvvet çok daha düşük elektrik akımlarını ölçmeye yarar. Bunu elde etmek için ibrenin gövdesi üzerine sarım yapılarak, mıknatısların manyetik alanında zembek yay ile sabitlenmiştir. D'Arsonval mekanizması olarak isimlendirilen bu sistem günümüzde halen yaygın olarak kullanılmaktadır [17]. Şekil 4.3'de D'Arsonval mekanizması görülmektedir.



Şekil 4.3 D'Arsonval mekanizması [17]

Buna benzer olarak ibre bir mıknatısa ve mıknatıs etrafına sarım yapılmasıyla elde edilir. Bobin içindeki akım manyetik bir alan üretir. Mıknatıs ve bobin birbirine uygun şekilde sabitlendiyse manyetik alan bir kuvvet meydana getirecektir. Bu yöntem de uygulanabilir bir uygulama olmasına rağmen, mıknatısın ataletinden kaynaklı geç ölçüm verecektir. Aynı sebepten dolayı doğru değeri geçerek tekrar düşme eğilimine geçecektir [17].



Resim 4.2 a) Dijital ampermetre, b) Analog ampermetre, c) Pens ampermetre [16]

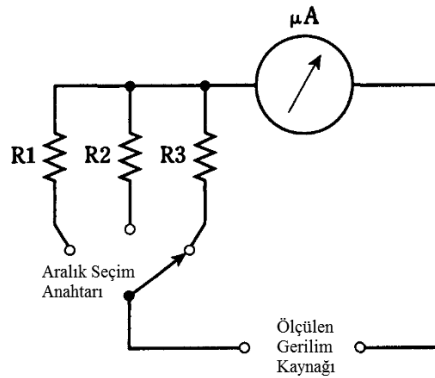
Ampermetreler devrelerde ölçüm yapılacak yerdeki direnci etkileyerek akım değişimine sebep olmaması için dirençleri  $0\Omega$ - $1\Omega$  aralığındadır. Ampermetreler devreye kesinlikle dirençle beraber ve seri bağlanmalıdır. Bir direnç ile paralel bağlanması veya kaynağa

direkt bağlanması sonucu direncinin düşüklüğünden dolayı yüksek akım çekecek ve ampermetre yanacaktır [17]. Resim 4.2’de ampermetre çeşitlerine örnekler görülmektedir.

#### 4.1.5 Voltmetre

Akım, yük taşıyıcıların bir iletken boyunca akmasıdır. Voltaj, elektromotor kuvvet veya potansiyel fark ise bu akışı sağlayan basınç gibidir. Direnci sabit bir devrede geçecek akım doğrudan devreye bağlanmış potansiyel ile doğru orantılıdır. Önceleri gerilim ölçmede ampermetreler kullanılmıştır. Şekil 4.4’de Mikroampermetre ile gerilim ölçüm devresi görülmektedir [17].

Voltmetrenin iç direncinin her zaman yüksek olması istenir. Bunu sebebi kaynaktan fazla akım çekmemesi ve ölçümü etkilememesidir. Bazı durumlarda voltmetrenin sürekli bağlı olması gereken durumlar olabilir. Güç kaynağına bağladığınız voltmetrenin bağlı olduğu devrenin davranışını değiştirmesi istenmez. Voltmetre ne kaynaktan ne kadar az akım çekerse devrenin çalışma davranışı o kadar az etkilenecektir [17].

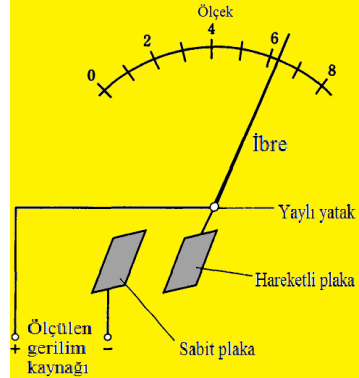


Şekil 4.4 Mikroampermetre ile gerilim ölçümü [17]

Elektromanyetik sapma mantığıyla ölçüm yapan voltmetre tipleri de vardır. Bir çift plaka yüklendiği zaman bir birini çekmeye veya itmeye çalışacaktır. Elektrostatik voltmetreler bu mantık kullanılarak zıt yüklerle yüklenmiş plakaların çekim kuvvetinden faydalanarak ölçüm yaparlar.

Elektrostatik voltmetreler kaynaktan neredeyse hiç akım çekmezler. Plakalar arasında yalnızca hava vardır ki hava iyi bir yalıtıcıdır. Hem AC hem de DC akımda kullanılmaya uygundur. Hassasiyeti yüksek bir yapıya sahip olmasına rağmen mekanik titreşimler ölçüm

değeri okumayı etkiler [17]. Şekil 4.5’de elektrostatik voltmetrenin basit şeması görülmektedir.



Şekil 4.5 Elektrostatik voltmetrenin basit şeması [17]



(a)



(b)

Resim 4.3 a) Dijital voltmetre, b) Analog voltmetre [16]

Voltmetreler devreye paralel olarak bağlanırlar ve kaynağın veya devrenin gerilimini düşürecek kadar akım çekmemelidirler. Bu sebeple voltmetrelerin iç direncinin yüksek olmasını gereklidir. Elektrik devrelerinde voltmetrenin yanlışlıkla seri bağlanması durumunda iç direnci çok fazla olduğundan kaynak geriliminin büyük bir kısmı voltmetre üzerinde düşeceğinden alıcı düzgün olarak çalışmaz. Eğer alıcı yüksek akımlı ise bu durumda voltmetre seri bağlanacak olursa yanar [16]. Resim 4.3’de voltmetre çeşitleri görülmektedir.

İyi bir voltmetrenin direncinin yüksek olması gerektiği bahsedilmişti. Direnç yükselterek cihazın çekeceği akımı düşürmenin yolu ya vakum tüpü ya da alan etkili transistör (FET) kullanmaktır. Çekilen akımı minimize etmek için vakum tüpü yükselteçler kullanılarak elde edilen voltmetrelere vakum tüplü voltmetreler denir. FET kullanılarak yapılan voltmetreler ise FET voltmetre (FETVM) olarak isimlendirilir. Bu iki cihaz da çok yüksek

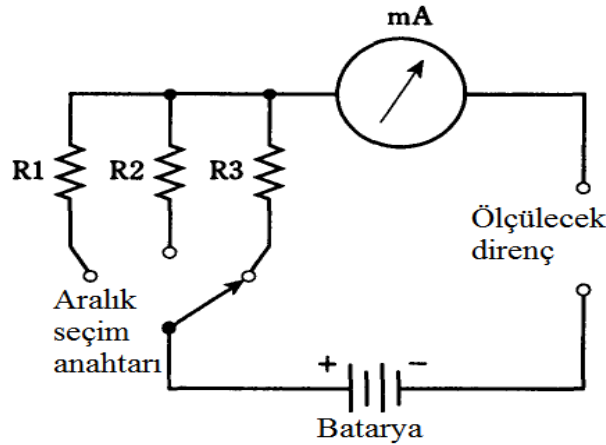
iç direnç, hassasiyete sahiptir. Elektrostatik voltmetrelere göre genel olarak daha düşük değerleri ölçebilirler [17].

#### 4.1.6 Ohmmetre

Bir devreden geçen akım devrenin direncine bağlıdır. Bu ilke kullanılarak bir direnç ve ampermetre ile voltmetre üretilebilir. Direnç aralığı ne kadar fazla ise o kadar fazla voltaj aralığı ölçülebilir. Bunun tersi de geçerlidir. Sabit bir gerilim uygulanarak, devre direnci değiştirildiğinde geçen akım da değişecektir. Bu direnç ölçümünde bir yöntem olarak kullanılmaktadır [17].

Bir ohmmetre bilinen ve sabit bir gerilim kaynağı, seri bağlanmış bir ampermetre ve bir dizi değiştirilebilir direnç setinden oluşan bir cihazdır. Uygun aralık seçilerek cihazdan ohm biriminden ölçü alınır. Şekil 4.6'da direnç ölçme devresi görülmektedir.

Ohmmetreler üretildiği fabrikalarda kalibrasyon yapılmaktadır. Cihazda kullanılan dirençlerdeki ufak hatalar ölçme sonucunda büyük hata değerlerine sebep olur. Bu sebeple cihazda kullanılan dirençlerin doğrulukları önemlidir. Ayrıca gerilim kaynağı da sabit gerilim sağlaması çok önemlidir. Kaynaktaki en ufak devrim ölçme hataların sebep olacaktır. Cihaz bataryası dışında dışarıdan ölçüm yapılan direnç üzerinde bir gerilim varsa cihazın hatalı ölçüm yapmasına neden olur [17].



Şekil 4.6 Direnç ölçme devresi [17]

Ohmmetre ile ölçüm yapılacaksa devre herhangi bir kaynağa bağlı olmamalıdır.



#### 4.1.7 Multimetre

Elektronik laboratuvarındaki en temel cihazlardan biridir. Akım, gerilim ve direnç ölçebilmesinden dolayı bu büyüklüklerin birimlerinin baş harfleri kullanılarak avometre olarak da isimlendirilmiştir. Buna ek olarak sıcaklık ölçme özelliği yeni çıkan modellerinde mevcuttur. Resim 4.4’de multimetre çeşitleri görülmektedir.

Ticari multimetrelerin ölçebileceği belirli aralıklar mevcuttur. Üst limit 1000 V civarındır. Daha yüksek değerler için özel başlıklar, yalıtım elemanları ve güvenlik elemanları gereklidir.



Resim 4.4 Multimetre çeşitleri [16]

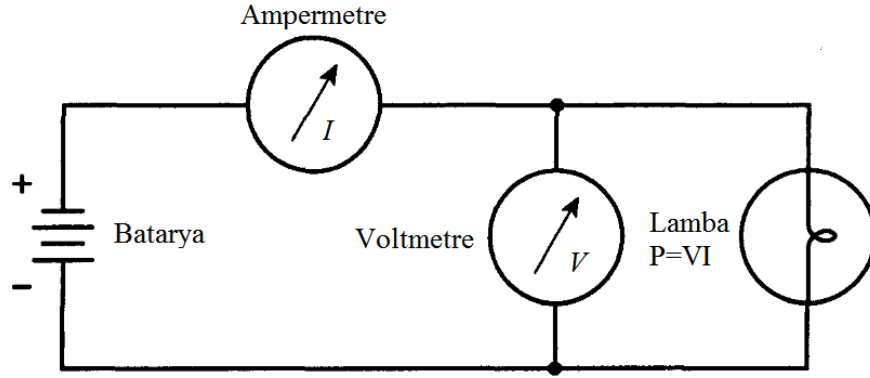
#### 4.1.8 Wattmetre

Elektriksel güç ölçümü eşzamanlı gerilim ve akım ölçümü işlemi ile yapılır. Alınan gerilim ve akım değeri;

$$P = VI \quad (4.1)$$

Eş. 4.1’de yerine konularak güç ölçülür. Burada P watt, V volt, I amper cinsindedir. Doğru akım devrelerinde watt, volt-amper olarak da ifade edilir.

Devreye paralel bir voltmetre ve seri bir ampermetre bağlanılarak, okunan değerlerin çarpılması ile güç bulunabilir.

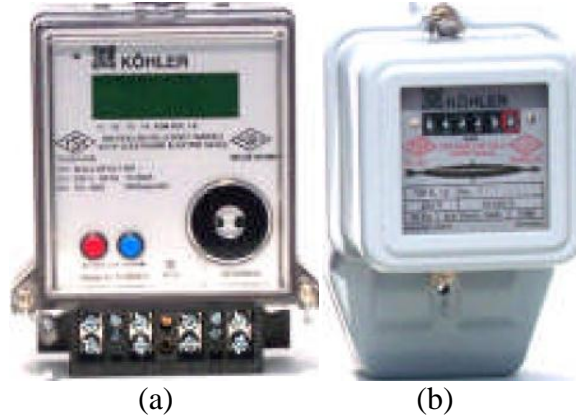


Şekil 4.7 Voltmetre ve ampermetre kullanılarak yapılan güç ölçümü [17]

Radyo frekansı gücünü, ses sistemlerinin tepe değerini ölçmek için özel wattmetrelere ihtiyaç vardır. Ne kadar farklı maksatla üretilmiş olurlarsa olsunlar hepsinin içerisinde birer ampermetre mevcuttur [17]. Şekil 4.7’de voltmetre ve ampermetre kullanılarak yapılan güç ölçümü devresi görülmektedir.

#### 4.1.9 Sayaçlar

Dağıtım şirketleri evlerde kullanılan anlık güçlerle ilgilenmezler. Onların ilgilendikleri; haftalık, aylık, yıllık toplam enerji kullanımınıdır. Elektrik enerjisi Wh ya da kWh olarak ölçülür. Bu ölçümü yapan cihazlara ise watt-saat metre ya da sayaç denir [16].



Resim 4.5 a) Dijital sayaç, b) Analog sayaç [16]

Elektrik enerjisini ölçmenin en yaygın yöntemi, sabit bir gerilim altında çekilen değişken akımla çalışan ve geçen akımın şiddetine göre devri değişen küçük bir elektrik motoru kullanmaktır. Belirli bir zamanda motorun yaptığı devir sayısı harcanılan enerji kWh ile doğru orantılıdır [17]. Resim 4.5’de sayaç çeşitleri görülmektedir.

#### 4.1.9 Frekans Sayıcılar

Frekans sayıcılar, bir motorun devir sayacı gibi darbeleri sayarlar. Fakat mekanik aksamaları olmadan elektronik olarak sayım yaparlar. Saniyede milyonlarca veya milyarlarca darbeyi sayıp dijital ekranında gösterirler [17].

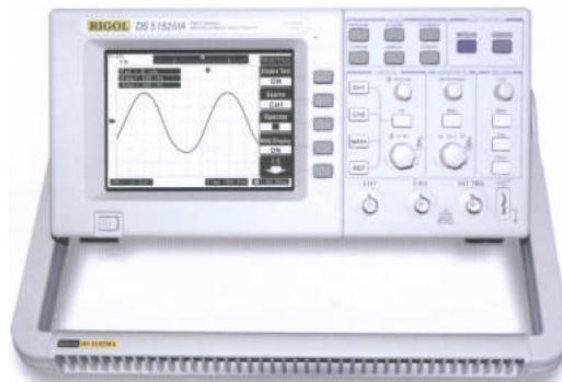
Frekans sayıcıların doğruluk derecesi okuma süresinin bir fonksiyonudur. Genellikle veri okuma süresi 0,1; 1; 10 saniyedir. Bu süreyi  $q_0$  kat artırmak doğruluğu bir hane artıracaktır. Modern frekans sayıcılar 6-8 haneye kadar frekans ölçebilirler.

#### 4.1.10 Osiloskop

Osiloskop grafik ölçer bir cihazdır. Saniyede milyonlarca hatta milyarlarca çok hızlı değişen verileri kayıt eder. Fosfor ekrana elektron ışını ile grafik oluşturur. Televizyondakine benzer bir katot ışın tüpü vardır [17].

Osiloskoplar sinyalin; şeklini, dalga formunu, tepe değerini ölçmekte kullanılır. Yaklaşık olarak frekans ölçmekte de kullanılır. Yatay düzlem zamanı, dikey düzlem anlık gerilimi gösterir. Giriş terminaline bağlanan değeri bilinen bir direnç yardımıyla akım ve güç ölçümü osiloskop yardımıyla yapılabilir [16]. Resim 4.6'da Osiloskop görülmektedir.

Tekniker ve mühendisler çalışma karakteristiğini bildikleri devrelerin ölçümünü alarak doğru çalışıp çalışmadığını ya da arızalı olan yeri tespit edebilir.

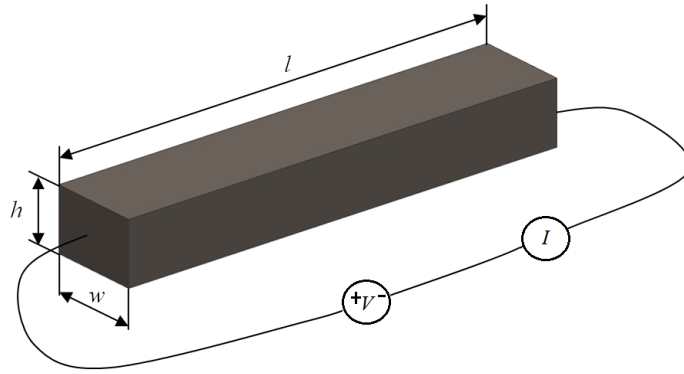


Resim 4.6 Osiloskop [16]

## 4.2 Elektriksel Direnç Ölçüm Metotları

### 4.2.1 İki Nokta Tekniği

Bir malzemenin öz direnci, direnci ve boyutları ölçülerek hesaplanabilir. Uzunluğu  $l$ , genişliği  $w$ , yüksekliği  $h$  olan ve iki ucuna da bakır tel tutturulmuş çubuk düşünelim. Gerilim kaynağı, çubuktan geçen bir  $I$  akımına neden olmaktadır. Çubuğa ve gerilim kaynağına bağlanan bir ampermetre yardımıyla çubuktan geçen akım okunur. Ampermetrenin direncinin çok düşük olmasından dolayı üzerine düşen gerilim ihmal edilebilir. Bu yöntem gerilim kaynağı yerine akım kaynağı ve ampermetre yerine paralel bağlanmış bir voltmetre ile de yapılabilir. Tabi bu defa sistem girdisi akım olup okunan değer gerilimdir [18]. Şekil 4.8’de dikdörtgen numune üzerinde iki nokta direnç ölçümü elektrik devre şeması görülmektedir.



Şekil 4.8 Dikdörtgen numune üzerinde iki nokta direnç ölçümü [18]

Eş. 3.13  $R$  direnci, Eş. 3.14 kullanılarak  $\rho$  öz direnci hesaplanabilir.

$$I = \frac{V}{R} \quad (3.13)$$

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (3.14)$$

Burada  $A$  kesiti akıma dik kesittir.

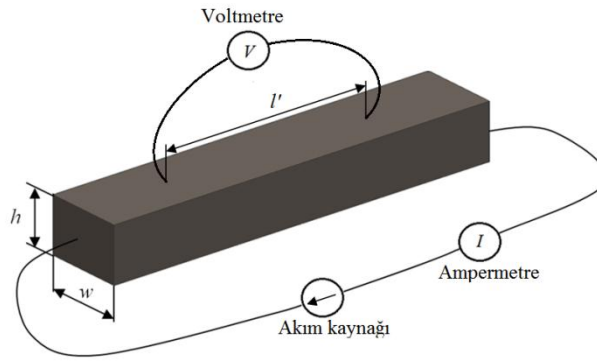
$$A = wh \quad (4.1)$$

Burada  $R$  ( $\Omega$ ),  $V$  (volt),  $I$  (amper),  $\rho$  ( $\Omega\text{m}$ ) birimindedir.

Bu ölçüm metodu çok hassas ölçümler için çok güvenli değildir. Ölçme cihazı iç direnci ve telin birleşme noktalarında oluşan dirençlerden dolayı gerçekten yüksek sonuç verirler. Ayrıca geçen akımın yarı iletken malzemelerde modülasyonu söz konusudur. Dört nokta ölçüm metodunda bu problemler yoktur [18].

#### 4.2.2 Dört Nokta Ölçüm Metodu

Akım kaynağı çubuğa sabit bir akım verir. Bu akım seribağlanmış bir ampermetre ile ölçülürken eş zamanlı olarak paralel bağlı bir voltmetre ile parça içerisindeki oluşan  $l'$  aralığında iki noktanın potansiyeli ölçülür. Aynı şekilde dış uçlara bir gerilim kaynağı bağlanarak, voltmetre ile seri bağlanmış bir ampermetre ile bu çubuktan geçen akımı ölçerek de yapılabilir. Şekil 4.9'da dikdörtgen numune üzerinde dört nokta direnç ölçümü elektrik devre şeması görülmektedir.



Şekil 4.9 Dikdörtgen numune üzerinde dört nokta direnç ölçümü [18]

Eş. 3.13 ve eş. 3.14 kullanılarak;

$$\rho = \frac{Vwh}{Il'} \quad (4.2)$$

Eş. 4.2 öz direnç hesabında bu numuneye için geçerli bir denklemdir. R direnci hesaplamak için eş. 3.13 kullanılır.

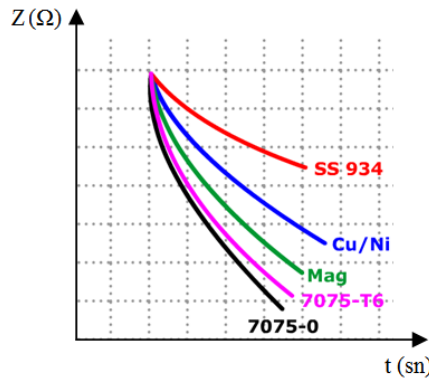
#### 4.2.3 Eddy Akımı Metodu

Eddy akımı metodu çok amaçlı kullanılan bir yöntem olup elektriksel iletkenlik ölçümünde de kullanılmaktadır. Teknik genellikle kesin değer olarak havada sıfırlanmış bir ucun

numune üzerinde gezdirilmesi ile yapılmaktadır. Manyetik olmayan malzemelerde bobin empedansının değişimi doğrudan malzemenin elektrik iletkenliği ile ilişkilendirilebilir. Bu teknik malzemeleri manyetikten, manyetik olmayana doğru kolayca sıralamak için kullanılabilir fakat iletken malzemelerin manyetik geçirgenliklerinden dolayı iletkenliklerini ayırmak zordur. Bu sebepten dolayı sadece manyetik olmayan malzemelerin elektrik iletkenliği ölçümünde kullanılabilir. Sonuçları etkileyebilecek olan ölçüm sıcaklığı, parça geometrisi gibi etkileri kontrol etmek önemlidir. İletkenlik sıcaklıkla değiştiğinden dolayı ölçüm yapılacağı sıcaklık sabit ve belirli değerlerde olmalıdır. Numune kalınlığı üç standart penetrasyon derinliğinden fazla olmalıdır. Böylece numune arka yüzeydeki eddy akımları numune içindeki akım değişikliklerine göre daha zayıf olduğundan ölçümü etkilemezler [11].

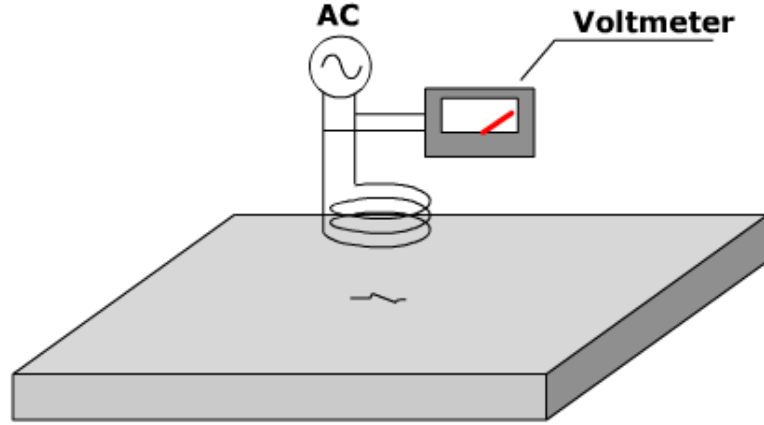
Genel olarak yassı uçlar kullanılarak nispeten büyük yüzeyler ölçülür. Bütün aletler genel olarak ferromanyetik malzemeler neredeyse dik bir sonuç verecek şekilde ayarlanırlar. O halde bütün iletken manyetik olmayan malzemeler, okuma ucu yüzeyde gezdirildiğinde yukarıdan aşağıya düşüş gösteren bir eğri çizecektir [11].

Okuma ucu manyetik olmayan iletken bir malzemeye yaklaştırıldığında bobinin endüktif reaktansı eddy akımı manyetik alanı, bobin manyetik alanına karşı koyduğundan düşüşe geçer. Bobinin direnci, enerjisinin bir kısmını kullanarak eddy akımı üretir fakat bu olay bobin direncinin yükselmesine ve devreye ilave direnç artışı olarak yansır. İletkenliği yüksek malzemelerde testin başladığı anda artar, direnç kaybı giderek azalır ve endüktif reaktans artar. Şekil 4.10'da gösterildiği gibi iletkenlik artınca endüktif reaktans daha dik düşüş gösterir [11].



Şekil 4.10 Eddy akımı ile direnç ölçümünde endüktif reaktans değişimi [11]

En temel eddy akımı ölçüm cihazları bir alternatif akım kaynağı, bu kaynağa bağlı bir bobin ve bobindeki voltaj değişimini ölçen bir voltmetreden oluşur. Bobindeki akım değişimini ölçmeye voltmeter yerine ampermetre de kullanılabilir. Şekil 4.11’de basit eddy akımı test cihazı gösterilmiştir.



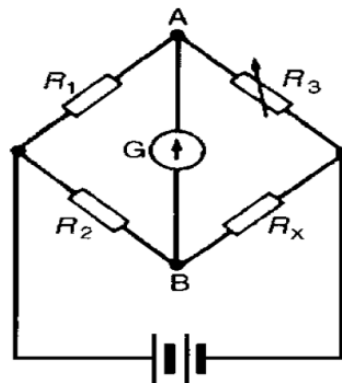
Şekil 4.11 Basit eddy akımı test cihazı [11]

#### 4.2.4 Sıfır Ölçüm Metodu

Sıfır ölçüm metodu basit kolay uygulanabilir ve yaygın kullanılan yöntemdir. Boşta olduğunda sıfır değerini gösterecek şekilde kalibre edilmiş cihazlar ile yapılan ölçüm yöntemidir. Ölçüm cihazları ile yapılan ölçme işlemi sıfır ölçüm metodudur [13].

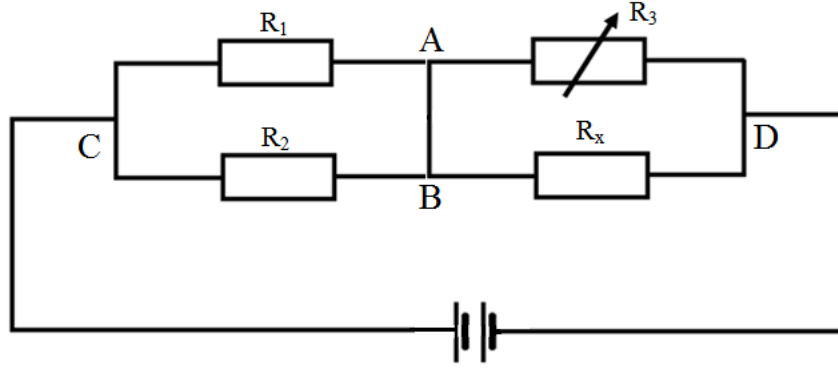
#### 4.2.5 Wheatstone köprüsü

Direnç ölçmekte kullanılan ve ohmmetrelerde bulunan bir devredir ve şekil 4.12’ de elektrik devre şeması görülmektedir.



Şekil 4.12 Wheatstone köprüsü [13]

Burada  $R_1$ ,  $R_2$  sabit ve değeri belli iken  $R_3$  ayarlı direnç (reosta) değeri artırılarak  $R_x$  direnci ölçülür. Ampermetreden akım geçmeyene kadar  $R_3$  artırılır. Ampermetreden akım geçmediği anda  $V_A=V_B$  olur. Bu duruma köprü dengede denir [13]. Şekil 4.13'de Wheatstone köprüsü denge hali görülmektedir. Denge durumunda;



Şekil 4.13 Wheatstone köprüsü denge hali

$$V_1 = V_C - V_A \quad (4.3)$$

$$V_2 = V_C - V_B \quad (4.4)$$

$$V_3 = V_A - V_D \quad (4.5)$$

$$V_4 = V_B - V_D \quad (4.6)$$

olur. Burada  $V_A = V_B$  olduğundan;  $V_1 = V_2$ ,  $V_3 = V_4$  olacaktır. Ayrıca  $R_1$  ve  $R_3$  dirençlerinden  $I_1$  akımı,  $R_2$  ve  $R_x$  dirençlerinden  $I_2$  akımı geçecektir. Paralel kollarda gerilimlerin eşit olduğu da göz önüne alınır;

$$I_1 R_3 = I_2 R_x \quad (4.7)$$

$$I_1 R_1 = I_2 R_2 \quad (4.8)$$

olacaktır. Eş. 4.7 ve eş. 4.8 taraf tarafa bölünürse;

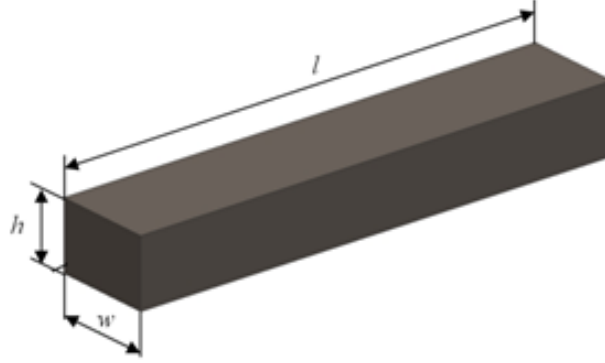
$$R_x = \frac{R_2 R_3}{R_1} \quad (4.9)$$

bulunur.



#### 4.2.6 Dört Nokta Prob Tekniği

Genel olarak ince film kaplamaların elektriksel direnç ve özdirenç ölçümünde kullanılan, dört probun düzlem yüzeye bir doğru üzerinde olacak şekilde bastırılarak yapılan ve adını buradan alan ölçüm tekniğidir. Kaplamaların elektriksel direncini ifade etmek maksadıyla film direnci olarak adlandırılan bir ifade kullanılmaktadır [18].



Şekil 4.14 Kaplama ölçüm numunesi [19]

Şekil 4.14'deki kaplama için özdirenç Eş. 4.2 ile hesaplanabilir.

$$\rho = \frac{Vwh}{Il} \quad (4.2)$$

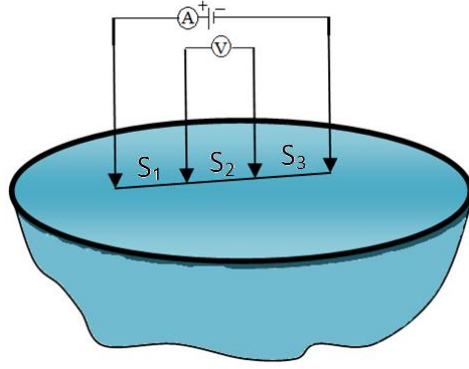
Kare şeklinde yapılmış bir kaplama için  $l = w$  olduğundan Eş. 4.2

$$\rho_s = \frac{Vh}{I} \quad (4.10)$$

Olur. Burada  $\rho_s$  değeri kare film kaplamannın özdirenci olarak ifade edilir. Kare film direnci  $R_s$  olarak ifade edilir ve Eş. 4.11 ile hesaplanabilir [18].

$$\rho_s = R_s h \quad (4.11)$$

$R_s$  değeri kalınlıktan bağımsız olduğundan kaplama malzemelerinin dirençlerinin kıyaslanmasında kullanılır.



Şekil 4.15 Dört Nokta Prob Tekniği [19,20]

Dört nokta prob tekniği dış problara uygulanan akımın ölçülmesi ve iç problar arasında potansiyel fark ölçümü ile yapılan bir metottur. Kaplamanın gözeneksiz ve her yerde aynı öz dirence sahip olduğu kabulü ile eşitlik 4.12 kullanılabilir [19]. Şekil 4.15’de dört nokta prob tekniği ölçüm metodunun şematik gösterimi görülmektedir.

$$\rho = \frac{V}{I} \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{S_1} + \frac{1}{S_3} - \frac{1}{S_1 + S_2} - \frac{1}{S_2 + S_3}\right)} \quad (4.12)$$

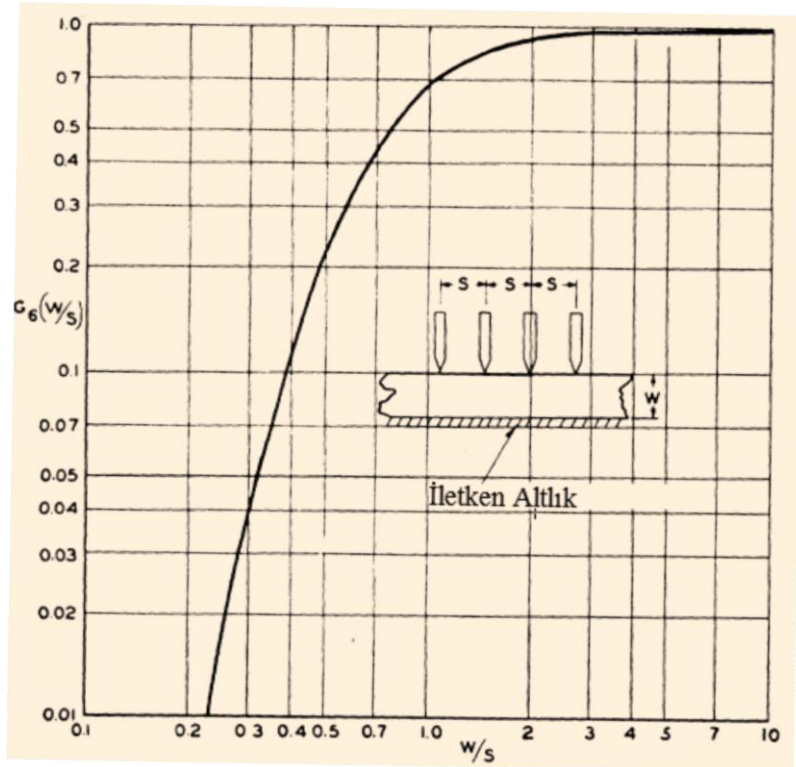
Eğer probların ölçüm alma mesafeleri eşitse;  $S_1 = S_2 = S_3 = S$  bu durumda Eş. 4.12

$$\rho = \frac{V}{I} 2\pi S \quad (4.13)$$

halini alır [19].

Uygulamada ölçüm yapılan parçanın kalınlığı, ölçüm probları arasındaki mesafe, kaplamanın yapıldığı altlık malzeme özellikleri ve kaplama malzemesi özellikleri göz önüne alınarak yapılan deneyler sonucu düzeltme katsayılar tablosu ve grafiği oluşturulmuştur. Burada Eş. 4.13 denklemi ile hesaplanan  $\rho = \rho_0$  kabulü ile bir düzeltme katsayısı olan  $G$  ile bölünerek gerçek  $\rho$  değeri hesaplanır. Şekil 4.16’da  $G$  düzeltme katsayı değerleri grafiğinden düzeltme katsayı belirlenir.

$$\rho = \frac{\rho_0}{G} \quad (4.14)$$

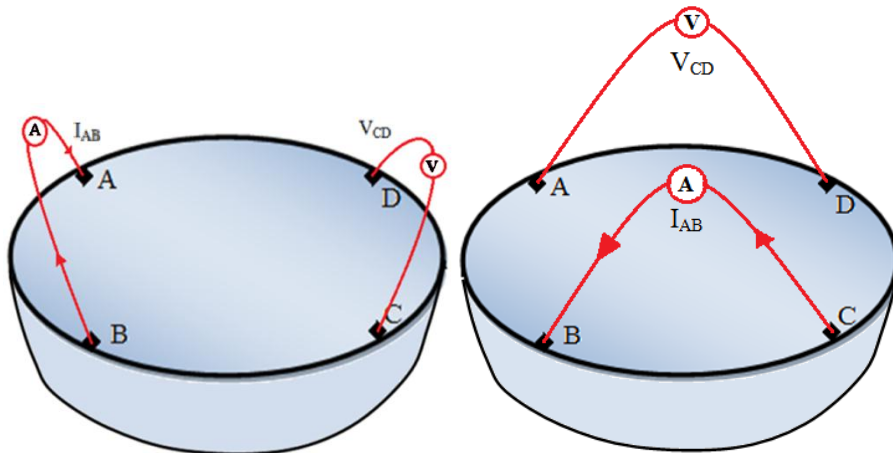


Şekil 4.16 G düzeltme katsayı değerleri grafiği [19]

Düşük öz dirence sahip numunelerin ölçümü için yüksek akıma ihtiyaç duyulmaktadır aksi takdirde voltmetreden ölçüm alınmaz.

#### 4.2.7 Van Der Pauw Tekniği

Dört nokta ölçüm tekniğinde numune dikdörtgen prizma olarak kabul edilerek hesap yapılırken, van der pauw tekniği gelişigüzel bir düzlem yüzeye sahip geometri için uygulanabilmektedir.



Şekil 4.17 Van Der Pauw Metodu ölçümü şematik gösterimi

Bu metodun uygulanabilmesi için;

- 1- Kaplamanın porozitesi düşük olması
- 2- Kaplama homojen ve izotropik bir yapıya sahip olması
- 3- Kaplama yapılan yüzey düzlemsel ve üniform kalınlığa sahip olması
- 4- Ölçüm alınacak A,B,C ve D noktaları parçanın köşelerinden seçilmesi
- 5- Ohmic kontaklar küçük olmalıdır. Probların geniş yüzeye sahip olması

şartlarının sağlanması gereklidir.[19, 20,21]

Ölçüm öncelikle A ve B noktalarına akım uygulanarak  $I_{AB}$  ölçülürken, C ve D noktaları arasında  $V_{CD}$  değeri ölçülür. Daha sonra B ve C noktasına akım uygulanıp  $I_{BC}$  ölçülürken  $V_{DA}$  potansiyel farkı ölçülür. Bu ölçümler  $I_{AC}$ ,  $V_{BD}$  ve  $I_{BD}$ ,  $V_{AC}$  çapraz şekilde yapılabilir. Kutuplardan simetrik ölçüm alındığında sapma değerleri %5'den fazla olmamalıdır. Aksi halde yapılan ölçümdeki hata yapılabilecek unsurlar gözden geçirilmelidir. [21]

$$R_{AB,CD} = \frac{V_{CD}}{I_{AB}} \quad (4.15)$$

$$R_{BC,DA} = \frac{V_{DA}}{I_{BC}} \quad (4.16)$$

Değerleri hesaplandıktan sonra;

$$e^{-\pi R_{AB,CD} \frac{h}{\rho}} + e^{-\pi R_{BC,DA} \frac{h}{\rho}} = 1 \quad (4.17)$$

eşitliği ile iterasyon yapılarak  $\rho$  değeri hesaplanabilir [22].  $R_{AB,CD} \geq R_{BC,DA}$  şartını sağlayacak şekilde ölçüm noktaları isimlendirilmelidir. Burada  $\rho$  ( $\Omega\text{cm}$ ) özdirenç,  $h$  (cm) ise kaplama kalınlığıdır. Eş. 4.16 ile  $\rho$  değeri hesabı uygulamada pratik olmadığından, uygulaması kolay pratik yöntemler geliştirilmiştir. Eş. 4.16'da  $\rho$  değerinin  $R_{AB,CD}$ ,  $R_{BC,DA}$  ve  $h$  kalınlığına bağlı olduğu açıkça görülmektedir. Yapılan ölçümler ve numunelerin teorideki haline uygun olması halinde  $R_{AB,CD} = R_{BC,DA}$  olması gerekirdi.

$$e^{-\pi R \frac{h}{\rho}} + e^{-\pi R \frac{h}{\rho}} = 1 \quad (4.18)$$

Eş. 4.18 doğal logaritması alınıp düzenlenirse;

$$\rho = \frac{\pi V}{\ln 2 I} h \quad (4.19)$$

bulunur. Burada R değeri ölçülerek elde edilen V/I oranıdır. Eş. 4.11 ile Eş. 4.19 birleştirilirse  $R_s$  kare film direnç değeri;

$$R_s = \frac{\pi V}{\ln 2 I} \approx 4,532 \frac{V}{I} \quad (4.20)$$

olur [18]. Teorik olarak geçerli olan bu durumu uygulanabilir hale getirmek amacıyla Eş. 4.19 yapılan hataları ortadan kaldırmak için  $R_{AB,CD}$  ve  $R_{BC,DA}$  değerlerinin aritmetik ortalaması ile  $R_{AB,CD}$  ve  $R_{BC,DA}$  oranına bağlı olarak belirlenen bir düzeltme katsayı fonksiyonu ile çarpılarak;

$$\rho = \frac{\pi}{\ln 2} \frac{(R_{AB,CD} + R_{BC,DA})}{2} f \left( \frac{R_{AB,CD}}{R_{BC,DA}} \right) \quad (4.21)$$

halini almaktadır [21].

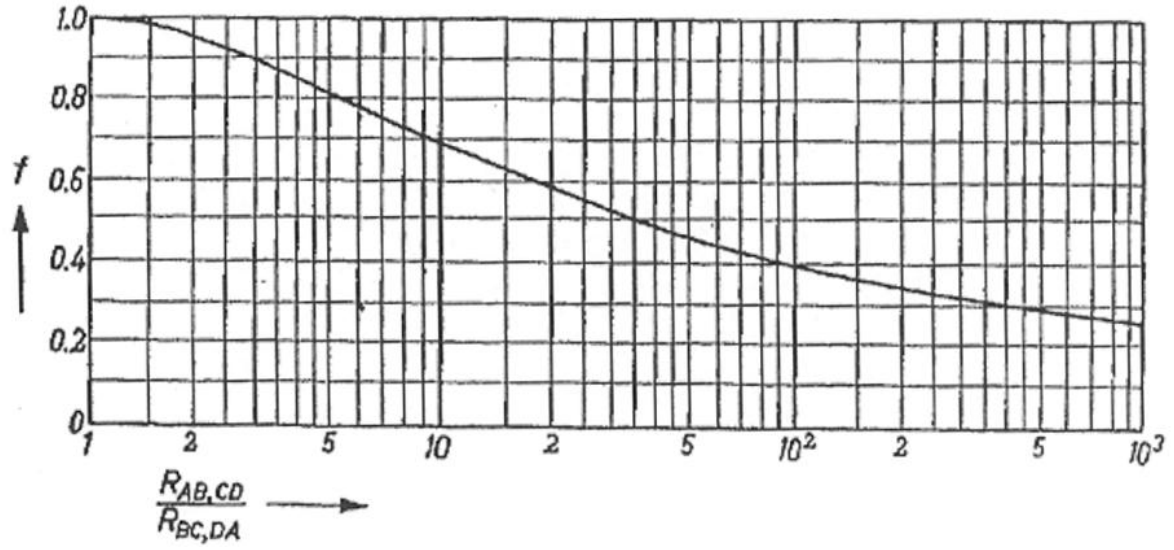
Hata fonksiyonu;

$$\frac{R_{AB,CD} - R_{BC,DA}}{R_{AB,CD} + R_{BC,DA}} = f \cosh^{-1} \left( \frac{e^{\ln 2/f}}{2} \right) \quad (4.22)$$

eşitliği ile hesaplanabilir [21]. Fakat bu eşitlikte de çözüm için iterasyon yapmak gereklidir. Yapılan ölçümler sonucu bulunan  $R_{AB,CD}$  ve  $R_{BC,DA}$  değerleri birbirine yakın olması durumunda;

$$f \approx 1 - \left( \frac{R_{AB,CD} - R_{BC,DA}}{R_{AB,CD} + R_{BC,DA}} \right)^2 \frac{\ln 2}{2} - \left( \frac{R_{AB,CD} - R_{BC,DA}}{R_{AB,CD} + R_{BC,DA}} \right)^4 \left( \frac{(\ln 2)^2}{4} - \frac{(\ln 2)^3}{12} \right) \quad (4.23)$$

eşitliği kullanılabilir [21]. Şekil 4.18'de  $\left( \frac{R_{AB,CD}}{R_{BC,DA}} \right)$  oranına karşı  $f$  düzeltme katsayısı grafiği verilmiştir.



Şekil 4.18  $f\left(\frac{R_{AB,CD}}{R_{BC,DA}}\right)$  düzeltme katsayı fonksiyonu [21]

### 4.3 Ölçme Hataları

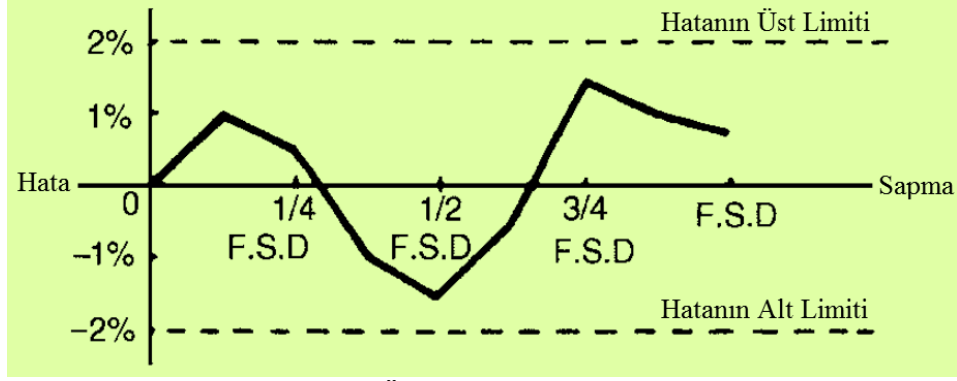
Hata ölçüm yapılan her alanda vardır. Bu sebeptendir ki ölçme hassasiyeti veya toleransları ölçüm doğruluğunu belirtir. Elektriksel ölçümlerde de hatalar üç unsura göre;

- 1- Ölçü aleti sınırları
- 2- Ölçü aleti hataları
- 3- Kullanıcı hataları

olarak sınıflandırılabilir [13].

#### 4.3.1 Ölçü Aleti Sınırları

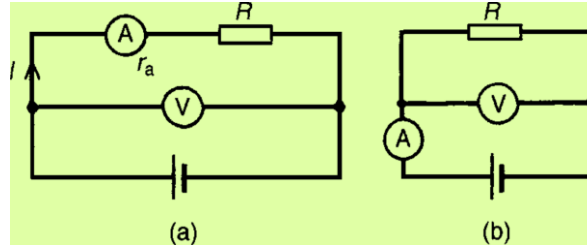
Bir ölçü aletinin doğruluğu yapıldığı malzemelerin hassasiyeti ile doğru orantılıdır. Bütün ölçü aletlerinin bir hata toleransı vardır. Bu üretici firma tarafından katalog belirtilmiştir. Bu tolerans değeri ölçü sınırı üzerinde yaptığı hata oranıdır. Örnek olarak piyasada kullanılan voltmetreler genel olarak 1000V'luk gerilim ölçebilmektedir. Üretici firma  $\pm 1,2$  olarak veriyorsa; 100V luk bir gerilimi  $\pm 12V$ 'luk bir farkla yani 88V ~ 112V olarak ölçebildiğini göstermektedir. Şekil 4.19  $\pm 2$  sapmaya sahip ölçü aleti grafiği gösterilmektedir. Şekil 4.19'da ölçü aleti hata sapması grafiği görülmektedir.



Şekil 4.19 Ölçü aleti hata grafiği [13]

#### 4.3.2 Ölçü Aleti Hataları

Ölçü aletleri bağlandıkları devreleri az da olsa etkiler. Bunun sebebi kendilerinin de çalışmaları için elektrik akımına ihtiyaç duymalarındandır. Fakat bu değer ölçüm işlemi yapılan devrenin çektiği güce kıyasla çok düşük olduğundan ihmal edilebilecek seviyededir. Ölçü aletinin çekmiş olduğu güç sebebiyle düşük de olsa ölçüm hatası yapılmış olacaktır. Dört nokta ölçüm metoduna benzer şekilde bir ampermetre ve bir voltmetre kullanarak  $R$  direncini ölçmek üzere tasarlanmış devreler şekil 4.20' de görülmektedir. Şekil 4.20.a'da görülen ampermetrenin direnci çok düşük olmasına rağmen  $R$  direncine düşecek potansiyelin bir miktarını kendisi alacaktır. Voltmetrenin ölçtüğü potansiyel  $R$  direnci ve ampermetre üzerine düşen potansiyeldir.



Şekil 4.20 a) Ampermetre  $R$  kolundaki akımı ölçmekte, b) Ampermetre ana koldaki akımı ölçmekte [13]

Bu ölçüm sonucu  $R$  direnci değerinden daha düşük olarak ölçülür. Şekil 4.20.b'de ise voltmetrenin direnci çok yüksek olduğundan akım geçirmediği kabul edilir. Mükemmel yalıtkanlık söz konusu olmadığından voltmetre az da olsa akım geçirecektir. Ampermetre ana koldaki akımı ölçmektedir yani voltmetre ve  $R$  direnci üzerinde düşen akımdır. Bu sebepten dolayı ölçülecek  $R$  direncinde az da olsa bir hata söz konusudur.

### 4.3.3 Kullanıcı Kaynaklı Hatalar

Kullanıcı kaynaklı hatalar genel olarak analog ölçü aletlerinde okuma esnasında yapılmaktadır. Kadrana bakış açısı bile okunan değer hatalı olmasını neden olmaktadır. Dijital ölçü aletleri ile bu kusur büyük oranda ortadan kaldırılmış olsa da çevresel etkenler ölçümü etkilemektedir [13].

### 4.3.4 Ölçme İşleminde Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar

Ölçme işlemi yapılırken dikkat edilmesi gereken en önemli hususlardan birisi temas hatalarıdır. İyi temas olmazsa iletim sağlıklı olmayacağından direnç değeri yüksek okunacaktır. Buna en müsait ölçüm metodu iki nokta ölçüm metodudur. Bu hataların kontrolü için dört nokta ölçüm metodu ve varyasyonlarını kullanmak daha sağlıklı olacaktır [18].

Ölçme işlemi yapılırken aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir:

1- Genel olarak ölçmedeki en zor kısım numuneye elektrik bağlantısının iyi yapılabilmesidir. Teması iyileştirmek için bağlantı yüzeyi alkol veya uygun solvent malzeme ile temizlenmelidir. Elektrik bağlantıları; lehimleme klipsle tutturma, gümüş boyama, bir metali yüzeye, bastırma gibi birçok farklı şekilde yapılabilir. Elektrik kontağının iletim özelliğini etkileyen birçok çevresel faktör mevcuttur. İyi bir şekilde yapılmış olan elektrik kontağı zamanla çalışma ortamı, toz, kirlilik ve korozyondan dolayı iyi iletim özelliğini yitirmeye başlar. Bu olay yaşlanma olarak tabir edilir [18].

2- Voltmetrelerin giriş ve çıkışları arasındaki direnci yüksektir. Fakat numune ölçümündeki ölçü alınan noktalar arasındaki direnç voltmetre direncine yaklaştıkça voltmetre üzerine düşen akım miktarı artacaktır. Ana koldaki akım miktarı ve numune üzerine düşen potansiyel ölçülerek bu hata ortadan kaldırılabilir [18].

3- Kullanılacak olan cihaz ölçme işlemi öncesinden kalibre edilmelidir. Cihaz kalibrasyonu için üretici firma cihazla beraber kalibrasyon aparatını vermekte ve kullanma kılavuzunda gerekli bilgilere değinmektedir [18].

4- Numunenin geometrisi ve elektrik kontağı ölçüm için önemli parametrelerdendir.



Multimetreler ile ölçüm yapılırken iki adet metal elektrot (ölçme probu) numuneye temas ettirilerek yapılmaktadır. Bu elektrotlar genişliği artar ya da aralarındaki mesafe azalırsa ölçüm doğruluğu da buna bağlı olarak düşecektir. Dört nokta ölçüm metodunda akım kolları mümkün olduğu kadar uzak ve voltmetrenin ölçüm aralığı ne kadar kısa olursa o kadar doğru ölçüm yapılabilir [18].

5- Ölçme işlemi esnasında numuneye ölçme elektrotları dışında hiçbir cisim temas etmemelidir. Her hangi bir malzeme temasında malzemenin iletkenliğine göre ölçüm değerini artıracak ya da azaltacaktır [18].

6- Uygulanan gerilim, yüksek değerlerde malzemenin ısınmasına bu da malzeme direncinin artmasına neden olur. Bu sebeple ölçüm yapılacak malzemeye uygulanan gerilim alçaktan başlayarak artırılmalı ve cihazın ölçebildiği ve değişmediği değere kadar artırılmalıdır [18].

7- Malzemelerin elektriksel direnci sıcaklıkla değiştiği gibi uygulanan gerilimle de değişmektedir ki, bu bölgeler ohm kanununun geçerli olmadığı bölgelerdir. Genel olarak bu durum yüksek gerilimin olduğu yerlerde gözlemlenmektedir. Ölçüm yapılacak gerilimin ohm kanunu bölgesinde olduğuna dikkat edilmelidir [18].

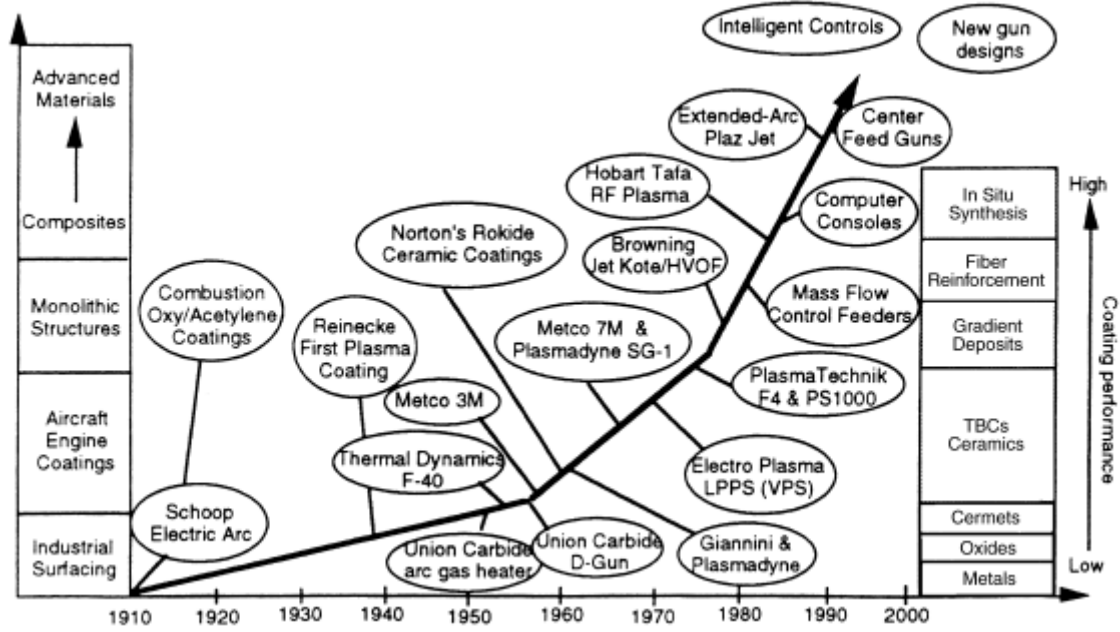
8- Voltmetre bağlantı noktaları iyi temas etmiyorsa voltmetre parça içerisinden geçen akımla alakasız rastgele gerilim değerleri gösterecektir. Bu durumda voltmetre devreden çekilmeli ve iyi bir şekilde elektrik kontağı yapılmalıdır [18].

9- Ölçümün sağlanması olacak bir uygulama da voltmetreye giden iç bağlantılar ile kaynak ve ampermetreye giden dış bağlantıların değiştirilmesidir. Bu metod dört nokta ölçüm ve çeşitleri içindir. Akım iç bağlantılardan akarken ampermetre ile akım ölçümü, dış bağlantılarda ise potansiyel fark ölçülür. Hesaplanan direnç değerinin hatası %10'u geçmemelidir [18].

10- Bazı malzemeler ışıktan etkilenecek elektriksel özellikleri değişebilir. Buna bağlı olarak ölçüm hataları olmaması için ışıksız ortamda deneyler gerçekleştirilmelidir [18].

## 5 KAPLAMA

Kaplama; yüzeylerin sürtünme, aşınma, darbe, elektriksel özellikler, korozyon ve ısıl direnç, performans, görüntüsünü değiştirmek, malzeme ömrünü artırmak amacıyla yapılan bir mühendislik çözümdür. Kaplama teknolojisi ikinci dünya savaşından sonra hızlı bir gelişme göstermiştir [23]. Şekil 5.1'de kaplama teknolojisinin yıllara ve kullanım alanlarına göre tarihi gelişimi görülmektedir.



Şekil 5.1 Kaplama teknolojisinin yıllara ve kullanım alanlarına göre tarihi gelişimi [23]

İyi bir kaplama genel olarak; iyi bir yapışma, uygun parçacık malzemesi, istenilen mekanik, fiziksel özellikleri ve düşük gözeneklilik sergilemelidir. İyi bir kaplama yöntemi de kaplanacak malzemenin fiziksel yapısına (örnek olarak sıcaklık, ısıl genleşme katsayısı ve geometri) uyumlu olmalıdır [23].

### 5.1 Kaplama Yöntemleri

Kaplama yöntemleri kaplama için kullanılan prosesten, kullanılan enerji kaynağına, kaplama malzemesinin şeklinden, püskürtme şekline göre isimlendirilmiş yöntemler mevcuttur.

### 5.1.1 Elektrolitik Kaplama

Metalik veya metalik olmayan malzemelerin yüzeyine elektro-kimyasal metotlarla elektrik akımı yardımı ile metalik film oluşturulmasıdır. Örnek olarak saatlere gümüş kaplama, gözlük ve tabancaların altın kaplanması verilebilir. Korozyon, aşınma ve çizilmeye karşı dayanım ve estetiklik bu kaplama türünde daha ön plandadır [24]. Resim 5.1’de elektrolitik kaplama yöntemi ile kaplanmış ürünler gösterilmektedir.



Resim 5.1 Elektrolitik kaplama yöntemi ile kaplanmış ürünler [24,4]

### 5.1.2 Termokimyasal Difüzyon İşlemleri

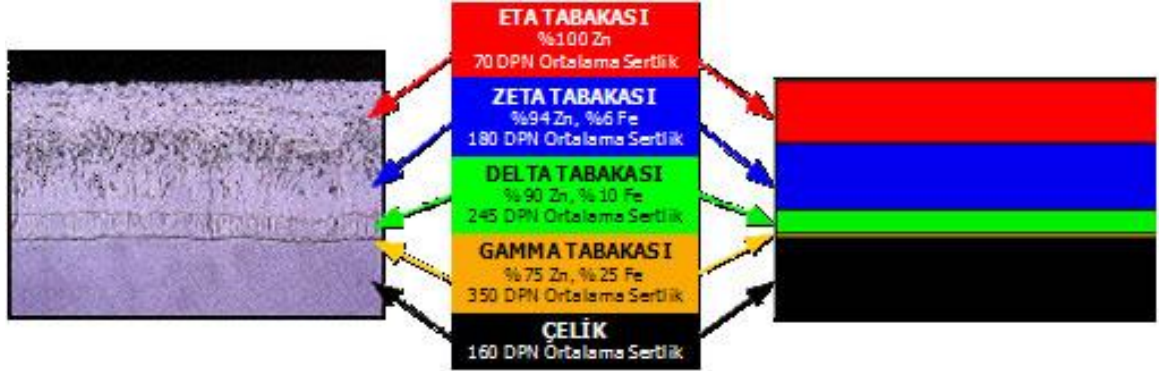
Karbürleme, nitrürleme, borlama, vanadyumlama gibi sıcaklık etkisi altında yüzeye malzeme geçişine dayalı yöntemleri kapsar. Her yöntemde belirli bir element atomunu, belirli sıcaklıktaki ortamlarda (katı, sıvı, gaz) iş parçası yüzeyine geçirilmesine dayalıdır. Genellikle çelik malzemelerin sertlik, aşınma direnci ve darbeye karşı dayanımı artırmak amacıyla yapılmaktadır [27]. Resim 5.2’de difüzyon İşlemlerine tabi tutulmuş ürünler görülmektedir.



Resim 5.2 Difüzyon İşlemleri uygulanmış ürünler a) Nitrürasyon işlemine tabi tutulmuş tabanca kabzası, b) Sementasyon yapılmış dişli çarklar c) Borlama işlemi yapılmış muldefon [4]

### 5.1.3 Galvanizleme

Demir esaslı malzemelerin yüzeylerinin sıvı çinkoya batırılarak kaplanması işlemine galvanizleme denir. Genelde korozyona karşı direncin artırılmak istendiği yerlerde uygulanır. Galvaniz borular ve saclar günlük hayatta geniş kullanım alanı bulmuştur. Şekil 5.2’de demir çinko alaşımı kaplama tabakaları görülmektedir. Çizelge 5.1’de Fe-Zn denge diyagramındaki fazların özellikleri verilmiştir.



Şekil 5.2 Demir çinko alaşım tabakaları [25]

Çizelge 5.1 Fe-Zn Denge Diyagramındaki fazların özellikleri [26]

Faz	Kristal yapı	Formül	Sertlik (HV 0.025 )
a -Fe (alfa)	HMK	Fe(Zn)	104
G (gama)	HMK	Fe <sub>3</sub> Zn <sub>10</sub>	326
d (delta)	Hegzagonal	FeZn <sub>10</sub>	358
z (zeta)	Monoklinik	FeZn <sub>13</sub>	208
h (eta)	Hegzagonal	Zn(Fe)	52

### 5.1.4 Emaye Kaplama

Emaye kaplama eski yıllardan beri yaygın olarak özellikle mutfak eşyalarında kullanılan bir kaplama yöntemidir. Yapışma özelliği, fiziksel ve kimyasal açıdan dış etkilere dayanımı, yüksek korozyon direnci ve göze hitap etmesi nedeniyle özellikle çelik malzemelerin kaplanmasında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Kullanım alanlarına örnek olarak:

- Dekoratif amaçlı eşyalar,
- Endüstriyel kazan ve kaplar,
- Mutfak eşya ve cihazlarının kaplamaları

verilebilir [27].

### 5.1.5 Kimyasal Buhar Biriktirme Yöntemi (CVD)

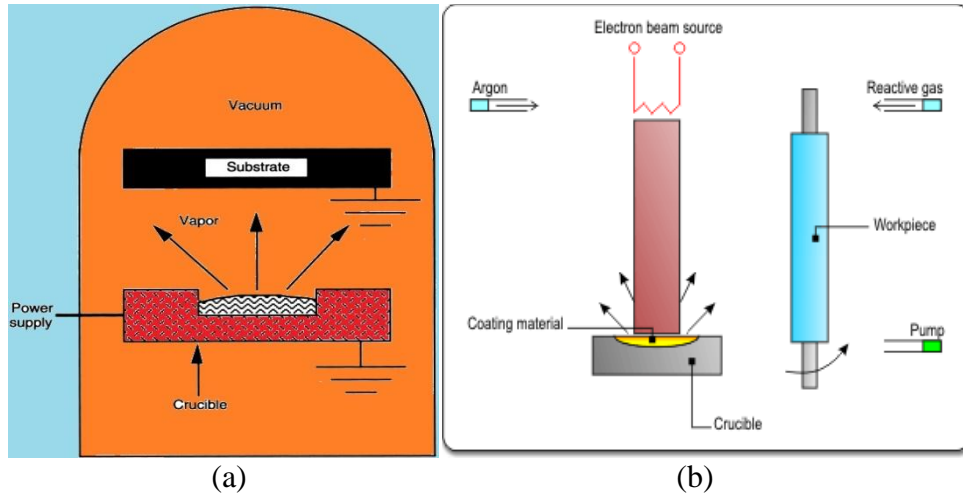
Kimyasal buhar biriktirme gaz veya buhar halde kaplama yapma yöntemlerinin genel adıdır. 1000 °C sıcaklık gerektiren bir prosestir. Bir vakum çemberinde yüzeye etkileşime giren gazla yapılan bir yöntemdir. Elmas ve elmas benzeri karbon kaplama bu yöntem ile elde edilir. En büyük dezavantajı yüksek sıcaklık gerektirmesidir [23]. Resim 5.3'de gözenekli yüzey üzerine yapılmış CVD işlemi görüntüsü verilmiştir.



Resim 5.3 Gözenekli yüzey üzerine yapılmış CVD işlemi [23]

### 5.1.6 Fiziksel Buhar Biriktirme Yöntemi (PVD)

Katı haldeki bir kaplama malzemesinin elektrik akımı yardımıyla elektron ışınına maruz kalması 350°C - 450°C sıcaklığa kadar ısıtılarak iyonlaştırılması ile başka bir malzeme üzerinde biriktirilmesine dayalı bir kaplama yöntemidir. Şekil 5.3'de fiziksel buhar biriktirme yöntemi metodu çeşitleri görülmektedir [23].



Şekil 5.3 a) PVD şematik gösterimi, [23] b) Saçılma kaynaklı PVD uygulama şekli [28]

Altlık malzeme sıcaklığı düşük olduğundan dolayı mikroyapısında herhangi bir değişiklik söz konusu değildir. Yalnız sıcaklık farklılığı fazla olduğundan dolayı kaplamanın yapışma mukavemeti düşüktür. Bu sebeple aşınma dirençleri düşüktür [23].

### 5.1.7 Sol Jel Prosesi

Bir sıvı içerisinde bulunan katı taneciklerden oluşan kolloidal süspansiyonların (sol) oluşması ve sonrasında sürekli bir sıvı faz içerisinde üç boyutlu katı inorganik ağ yapılarının (jel) oluşmasını içen ve kimya mühendislerinin seramik tozları üretiminde özelliklere oksitlerin üretiminde kullandığı bir yöntemdir [27].

### 5.1.8 Polimer Kaplama

Polimerle kaplama, altlık malzemenin dış yüzeylerinin hava ile temasını engelleyecek şekilde kaplanmasıdır. En basit tabiri ile metalik malzemelerin korozyon direncini artırmak maksadı ile boyanması işlemidir [27]. Resim 5.4'de polimerik boyalar görülmektedir.



Resim 5.4 Polimerik boyalar [4]

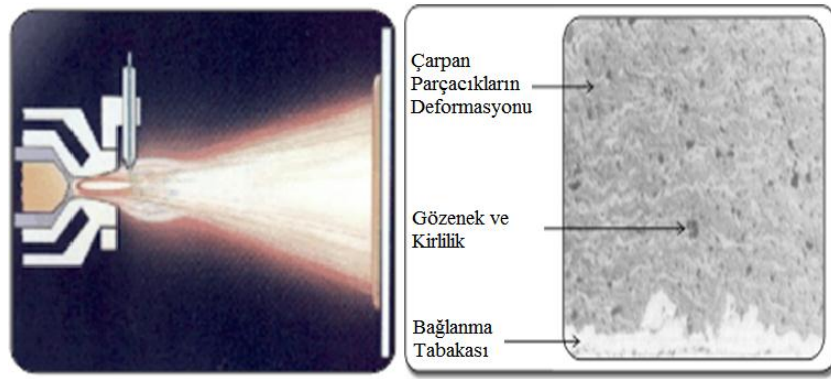
### 5.1.9 Termal Sprey Kaplama Metodu

Kaplanacak malzemenin yüzeyine, kaplama malzemesinin bir enerji kaynağı ile ısı enerjisi verilerek eriyik, yarı eriyik veya katı halde malzeme yüzeyine belli bir hızla püskürtülerek yapılan kaplama ailesinin adıdır. Kaplama işlemi esnasında, erimiş veya buhar haldeki kaplama malzemesinin sıcaklığına maruz kalan altlık malzeme ısı etkisi ile zarar görebilmektedir. Kaplama malzemesinin faz durumu, kullanılan enerji kaynağı, kaplamanın yapıldığı ortama göre çeşitli metotlar geliştirilmiştir. Şekil 5.4'de termal sprej metodu ile yapılmış kaplama örneği görülmektedir.

Metaller üzerine uygulanan kaplamalar, iki temel prensibe göre yapılmaktadır:

1. Kaplama malzemesinin altlık malzeme yüzeyine difüzyonu sonucu
2. Kaplama malzemesinin eriyik, katı ya da yarı eriyik, buhar olarak çarptırılarak soğuması ile yüzey pürüzlülüğü sayesinde yüzeye mekanik olarak yapışması [28]

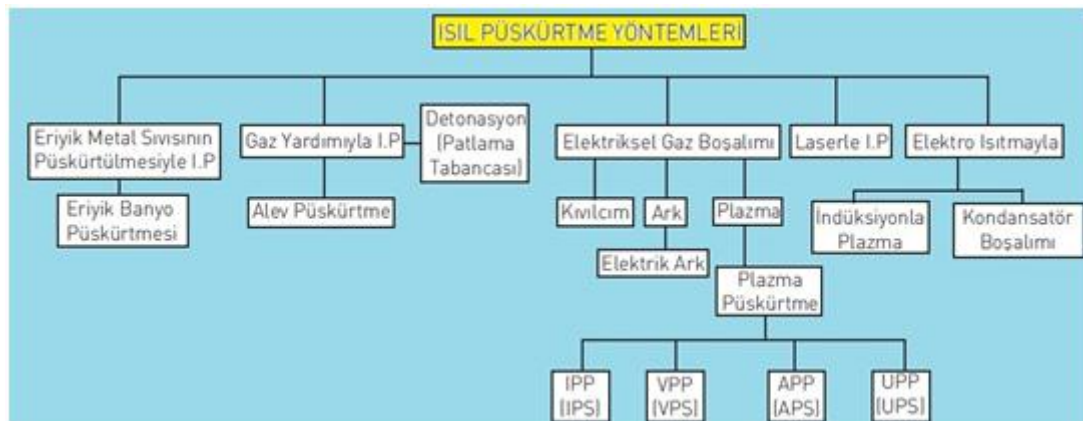
Difüzyonlu kaplamalarda, kaplama özellikleri, malzemelerin bileşimleriyle, proses sıcaklığı ve süresiyle doğrudan ilişkilidir. Yüzeye mekanik olarak yapışan kaplamalarda ise, yapışma özellikleri tamamen kaplama prosesi şartlarına bağlıdır.



Şekil 5.4 Termal sprey metodu ile yapılmış kaplama [29]

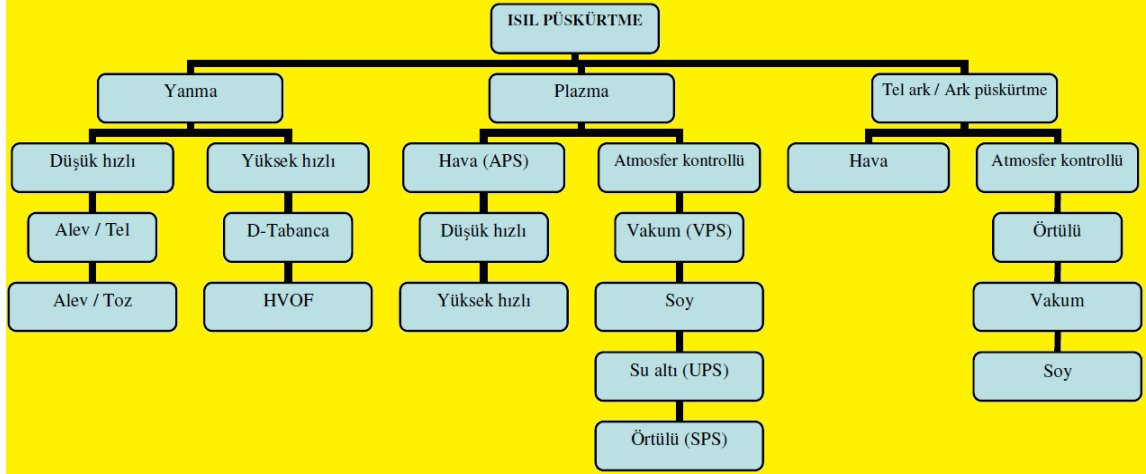
Termal sprey kaplamalar aşağıdaki amaçlara uygun olarak fonksiyonel yüzey kaplamaları olarak uygulanmaktadır:

- Abrasif aşınmaya karşı direnç
- Termal yalıtım/ bariyerler
- Korozyon direnci
- Elektriksel olarak yalıtkan veya iletken yüzeyler
- Yağlama
- Dolgu malzemesi



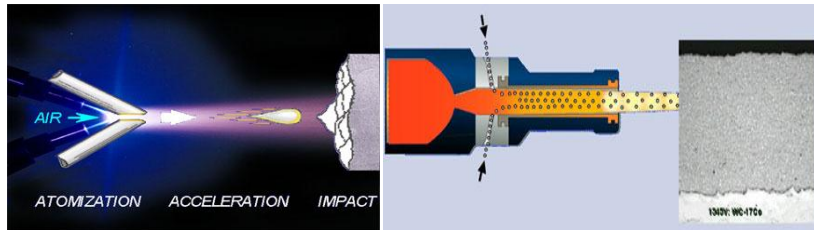
Şekil 5.5 Termal sprey yöntemlerinin sınıflandırılması [30]



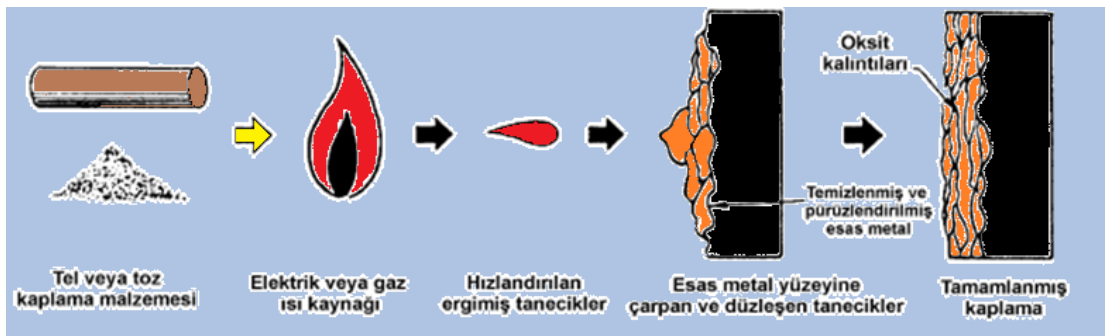


Şekil 5.6 Termal sprey yöntemlerinin enerji kaynaklarına göre sınıflandırılması [31]

Şekil 5.5’de termal sprey yöntemlerinin sınıflandırılması ve Şekil 5.6’da ısı enerjisi kaynaklarına göre sınıflandırılması görülmektedir. Termal püskürtme tekniği, metalik veya metalik olmayan kaplama uygulamalarında kaplama malzemesinin (toz, tel, çubuk) ergiyik, yarı ergiyik, katı veya gaz fazındaki zerrecikler, proses gazları ve atomize jetler ile önceden hazırlanmış yüzeye doğru hızlandırılarak yönlendirilirler. Parçacıkların yüzeye çarpması ve ısı kaybı sonucu katılaşması ile birlikte ara yüzeyde mekanik bir bağlanma meydana gelir. Parçacıkların üst üste çarptırılarak biriktirilmesi ile lamelar bir kaplama yapısı oluşur. Bu ince yapışmış parçacıkların çok hızlı bir soğuyarak katılaşması kaplama oluşturması şeklinde açıklanabilir [32]. Şekil 5.7’de ergimiş parçacığın yönlendirilmesi, şekil 5.8’de termal sprey yöntemi proses şeması görülmektedir.



Şekil 5.7 Termal sprey yönteminde parçacık yönlendirilmesi [33]



Şekil 5.8 Termal sprey yöntemi proses şeması [31]





Şekil 5.9 Termal Sprey Yöntemi Prosesine etki eden faktörler [26]

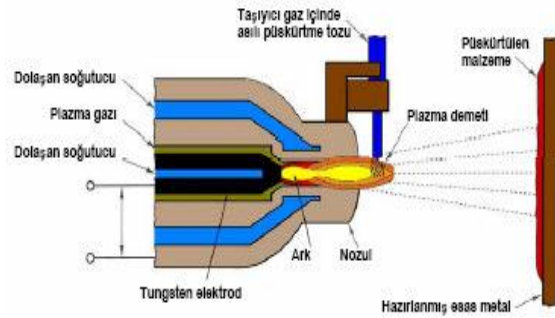
Şekil 5.9’da termal spre y yöntemi uygulamasında etkili olan faktörlere değinilmiştir.

### 5.1.9.1 Plazma Sprey Kaplama

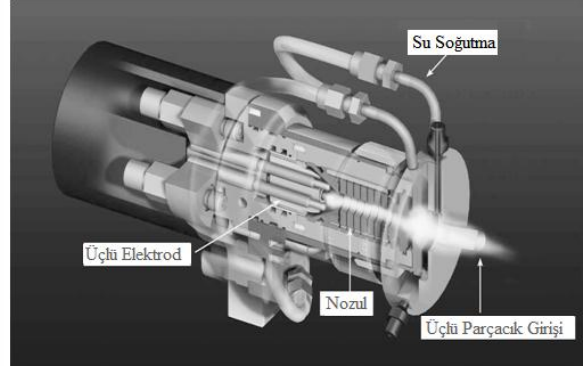
Plazma, elektriği ileten iyonize olmuş yüksek sıcaklığa sahip bir gaz akımıdır. Uygulama olarak su ile soğutulan, ucu bir meme sekinde daralan nozul, anot olarak kullanılan bir zarf ve merkezinde izole edilmiş olan katottan oluşur. Bu üfleçten geçen gaz ( argon, helyum, hidrojen içeren azot) anot ve katot arasında oluşan ark sonucu ısınır ve iyonize olarak memeden bir plazma jeti halinde çıkar. Bu jetin çıkış hızı 5000 ila 6000 m/sn ve sıcaklığı ise 15000 ila 25000 °C’ dır. Toz halindeki püskürtme malzemesi plazma jetinde erir ve parça üzerine püskürtülür [34]. Resim 5.5’de farklı plazma spre y metotlarına ait kaplama uygulamaları görölmektedir.



Resim 5.5 Plazma spre y kaplama uygulamaları [9]



(a)



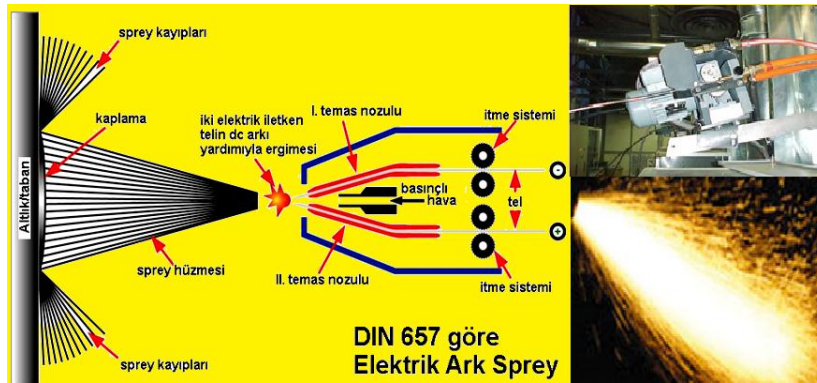
(b)

Şekil 5.10 a) Plazma sprej tabancası [31], b) Üçlü plazma sprej tabancası [23]

Şekil 5.10'da farklı tip plazma sprej tabancaları gösterilmiştir.

### 5.1.9.2 Ark Sprej Kaplama

Ekonomik kaplama yapma imkanı sunan termal sprej yöntemidir. İki telin anot ve katot olarak tabancanın ucunda birleştirilip, elektrik akımı kullanılarak ergitilmesi, basınçlı havayla kaplama yüzeyine püskürtülmesi esasına dayanır. Burada alev sprejden farklı olarak ısı kaynağı oksijen-yakıt yerine elektrik enerjisidir [35]. Şekil 5.11'de ark sprej uygulamasının şeması verilmiştir.

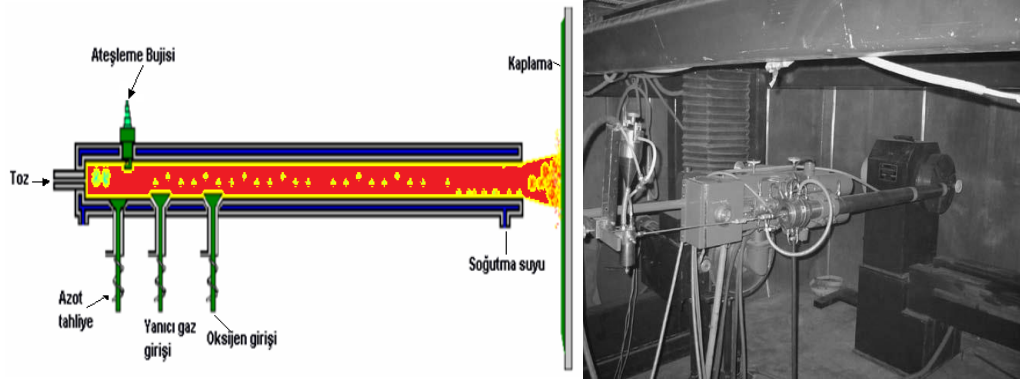


Şekil 5.11 Ark Sprej uygulaması [35]

### 5.1.9.3 Detonasyon Alev Püskürtme (D-GUN)

Detonasyon Alev Püskürtme her yöntemde olduğu gibi kendine has olarak tasarlanmış bir tabanca ile yapılır. Tabancanın çalışma mantığı dolma tüfeklere, kaplama işlemi ise saçmaların çarpmasına benzetilebilir. Tabanca içerisinde oksijen, asetilen ve azot gazı

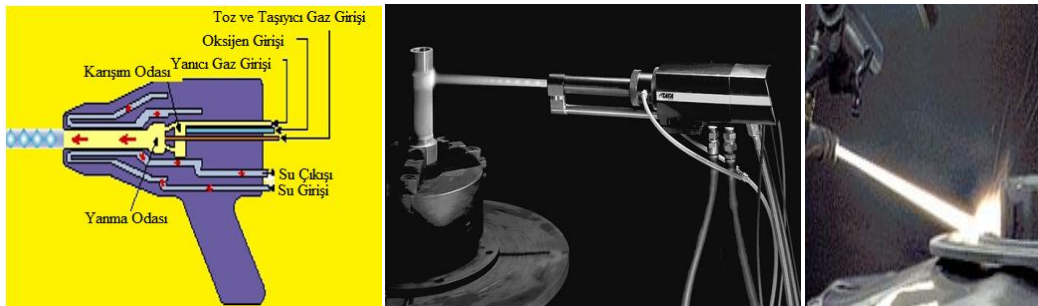
bulunmaktadır. Kaplama malzemesi toz halde gazlar içerisinde dağılmış durumdadır. Oksi-asetilen karışımını buji ile ateşlenerek yanması sonrası kaplama malzemesi ısı enerjisi ile erir ve 600m/sn hız kazanır. Ateşleme sonrası 4000 °C sıcaklığa ulaşılır. Ergimiş parçacıklar altlık parçanın yüzeyine çarparak soğuduktan sonra kaplamayı oluşturur [36]. Şekil 5.12’de detonasyon alev püskürtme tabancası görülmektedir.



Şekil 5.12 Detonasyon alev püskürtme tabancası [31,36]

#### 5.1.9.4 Yüksek Hızlı Oksi-yakıt Püskürtme (HVOF)

Yüksek hızlı oksi-yakıt püskürtme prosesi alev püskürtme yöntemine benzerdir. Yanıcı gaz olarak kullanılan propan, propilen veya hidrojen, şekil 5.13’de görüldüğü üzere HVOF tabancası içerisindeki bir odada alev püskürtme yöntemine göre çok daha yüksek basınç altında yakılır. Yanma işlemi sonucunda basınçlı gazın basıncı sıcaklıkla daha çok artar. Sıcak gaz nozul yardımı ile hızı daha da artırılır ve kaplama tozlarının bu gazın içine bırakılması ile 550-800 m/s gibi yüksek bir hızda kaplama işlemi gerçekleştirilir. Burada kaplama parçacıklarının hızının yüksek olması bu yöntemle çok daha ince kalınlıklarda kaplama yapmaya olanak sağlamaktadır [31]. Atmosferik plazma sprej ile 0,0254 - 0,0750 mm kalınlıkta, HVOF ile 0,00635 – 0,012 mm kalınlıkta kaplama işlemi yapılabilmektedir [37].



Şekil 5.13 HVOF tabancası [31,36, 37]

### 5.1.9.5 Soğuk Gaz Spreyleme Metodu (CGS)

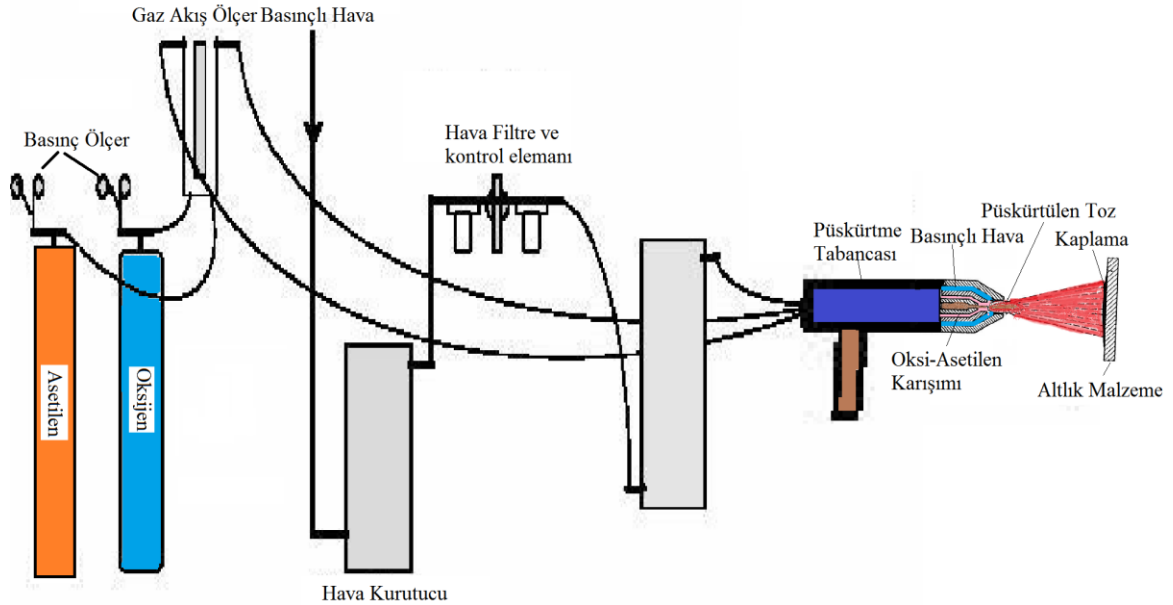
Parçacıklara yüksek hız kazandırarak kinetik enerjisinden ve momentumundan faydalanılarak yapılan kaplama yöntemidir. 3.5 Mpa basınç ve 600 °C He veya N gazı bir nozul yardımıyla süpersonik hızlara ulaştırılır. Nozul boğazında eklenen partiküller erime sıcaklığının altında kazandıkları impulsu yüzeye çarparak kaplama yüzeyini oluştururlar [36]. Şekil 5.14 soğuk gaz spreyleme şeması görülmektedir.



Şekil 5.14 Soğuk gaz spreyleme şeması [36]

### 5.1.9.6 Toz alev Püskürtme Metodu

Isıl püskürtme işlemlerinin en basit ve en ucuzu olan alev püskürtme yöntemi, kaplama malzemesinin tel ve toz halinde püskürtüldüğü iki tipi mevcuttur. Asetilen ve propan yanıcı gaz, oksijen ise yakıcı gaz olarak kullanılır. Şekil 5.15'te toz alev püskürtme yöntemi teçhizatı görülmektedir. Kullanılan basınçlı hava yakma işleminde ve partiküllerin hızlandırılmasını sağlar [31,38].



Şekil 5.15 Toz alev püskürtme yöntemi şematik gösterimi [31,38].

3300 °C sıcaklığa sahip oksii-asetilen alevi ile toz partiküller ergitilir. Sıkıştırılmış hava altlık malzeme yüzeyine toz seramik malzemeyi 200 m/sn hızla püskürtülmesini sağlar. Plazma ve HVOF gibi yöntemlere göre toz alev püskürtme yöntemi daha düşük sıcaklık ve hızlara sahip olduğundan yüksek porozite ve daha düşük yapışma mukavemeti sergiler. Düşük ergime noktalı oksit seramikler toz alevde kullanıma daha uygundur [38]. Çizelge 5.2’de kaplama yöntemine ve kaplama malzemesine göre yapışma mukavemetinin değişimi verilmektedir [39].

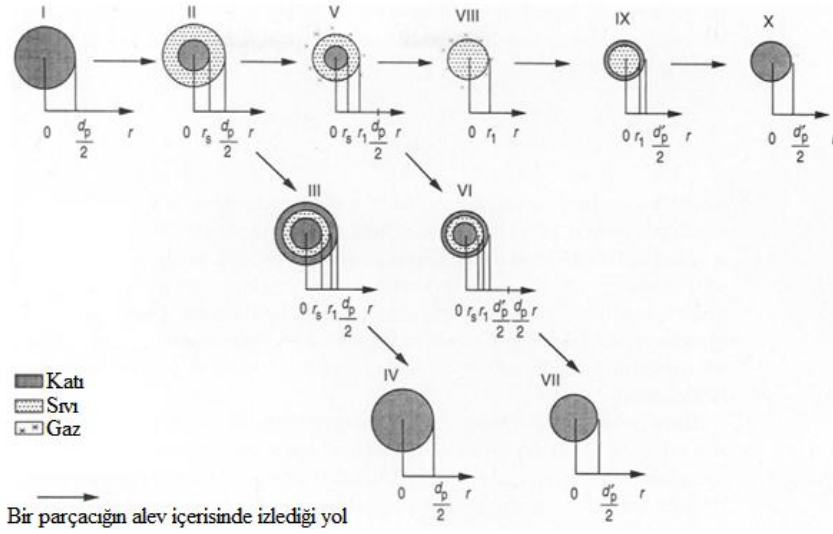
Çizelge 5.2 Termal sprej metoduna ve kaplama malzemesine göre kaplama yapışma mukavemeti (MPa) [39]

Sprej Malzemeleri	Yapılan İşlem				
	Tel Alev Sprej	Toz Alev Sprej	Ark Sprej	Plazma Sprej	Yüksek Hızlı Oksii-yakıt
Demir türevi tozlar	14	28	41	>34	62
Demir olmayan tozlar	21	21	>41	>34	70
Kendiliğinden ergiyen alaşımlar		>69			62
Seramikler		14-34		>21	
Sermetler		34-48		55-69	>83

Toz alev kaplama basınçlı hava olmadan oksii-asetilen kaynak torcuna benzeyen ve ucuna kısılmalı belli kütleli debide toz akan bir tabanca sistemi ile de yapılmaktadır. Kaplama tozuna katkı malzemeler katılarak istenilen özelliklere cevap verecek kaplamalar yapmak mümkündür. 900 °C’nin üzerindeki sıcaklıklarda katılan bor ve silisyum dekapan etkisi olan bor silikatlar oluşur [38]. Püskürtülen tabaka ve yüzeyde bulunan oksitler çözünür ve kaplamanın yüzeyine çıkar. Bu işlem yüzeydeki poroziteyi düşürür ve altlık ile kaplama arasında güçlü bir bağ oluşturur.

Kaplama malzemesi olarak kullanılan tozlar tabancadan çıktığında şekil 5.16’ da görüldüğü gibi sıvı-katı, sıvı-gaz, katı-sıvı-katı kısmi faz dönüşümleri sergilemektedir. Bu dönüşümler alev sıcaklığı, toz tane büyüklüğü, toz malzemesine bağlıdır. Kaplamadan istenilen özellikleri elde etmek için toz alev kaplama parametreleri gerektiği şekilde ayarlanmalıdır. Ayrıca kaplama tozları gerekli tane büyüklüğü ve kurutma işlemine tabi tutulmuş olmalıdır.





Şekil 5.16 Alev spray yönteminde kullanılan yalıtkan parçacıkların ısıl davranışları [36]

Alev spray metodu; tamirat, aşınmaya ve korozyona karşı koruma, ısıl yalıtım, medikal implant kaplanması, dekoratif kaplama, X ışını kalkanı olarak kullanılmaktadır [39].

Çizelge 5.3  $Al_2O_3$  ve  $Al_2O_3 + Cr_2O_3$  kaplama elektriksel özelliklerinin püskürtme metoduna göre değişimi [36]

Number	Reference	Coating characteristics						
		Chemical composition (wt%)	Temperature range (K)	Frequency range (Hz)	Resistivity ( $\Omega$ cm)	Dielectric constant	Loss factor	Dielectric strength (kV/cm)
<i>Atmospheric plasma-spraying</i>								
1	Pawłowski, 1988	$Al_2O_3$	300	$0-10^3$	$10^{10}-10^{15}$	5-8	0.01-0.5	100-175
2	Brown <i>et al.</i> , 1986			$10^2-10^6$	—	9-37	0.01-0.1	—
3	Smyth and Anderson, 1976			$0-10^3$	—	60-120	80	—
4	Müller and Kreye, 2001	$Al_2O_3 + 8Cr_2O_3$		0 and $2 \times 10^4$	$2 \times 10^{11}$ and $2 \times 10^8$	at AC 14	at AC 0.03	At DC 25
5		$Al_2O_3 + 20Cr_2O_3$			$2 \times 10^{11}$ and $2 \times 10^8$	At AC 13	at AC 0.28	At DC 25
<i>Flame-spraying</i>								
6	Pirogov <i>et al.</i> , 1966	$Al_2O_3$	300-1000	$0-10^5$	$10^{12}-10^6$	5-24	—	—
<i>High-velocity oxy-fuel spraying</i>								
7	Müller and Kreye, 2001	$Al_2O_3$	300	0 and $2 \times 10^4$	$3 \times 10^9$ and $3.5 \times 10^8$	at AC 13	At AC 0.0175	At DC 125

Elektriksel direnç, kaplama ve altlık malzemesinin aynı olmasına rağmen kaplama metodunun farklı olması halinde farklılıklar gösterir. Çizelge 5.3'te alümina üzerine yapılmış çalışma verileri görülmektedir.

## 5.2 Kaplanacak Yüzeyin Hazırlanması

Altlık malzeme ve kaplama malzemesi arasındaki bağ tipi mekanik, metalurjik, kimyasal ya da bunların kombinasyonu şeklindedir. Kaplamanın sağlam bir yapışma mukavemeti sergilemesi isteniyorsa, kaplama öncesi yüzey hazırlama işlemi önem arz etmektedir.

Püskürtülen tabakanın kalınlığı arttıkça, soğuma esnasında meydana gelen çekme gerilimlerinden dolayı yüzeye yeterli yapışma mukavemeti sergileyemediğinden dolayı çatlama ile kaplama tabakasının kalkma tehlikesi ortaya çıkar [38]. Yapışma mukavemetini iyileştirmek için parça yüzeyine; mekanik işlemler yani talaş kaldırma ve kumlama, kimyasal, lazerle dağlama gibi yöntemler kullanılarak yüzey pürüzlülüğü artırmaya yönelik işlemler yapılmaktadır.

### 5.2.1 Yüzey Temizleme

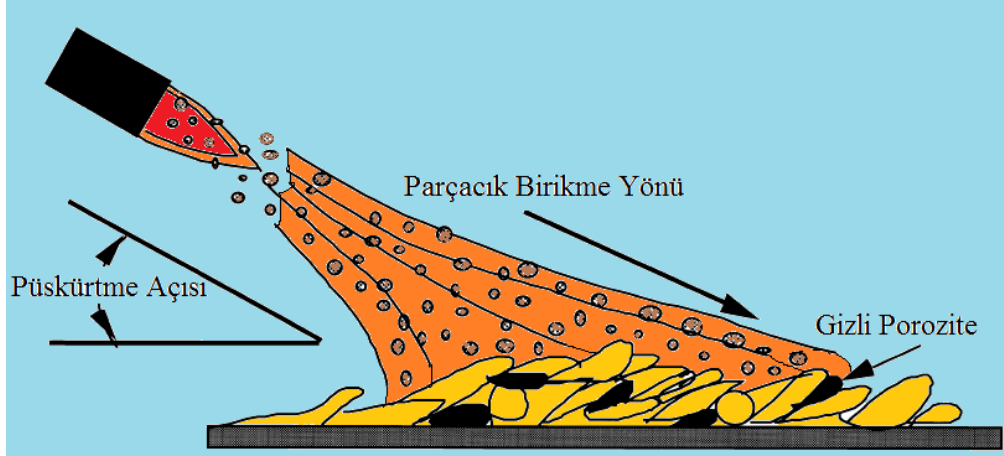
Malzeme yüzeyinin temizliği kaplamanın yapışma mukavemetini doğrudan etkiler. Özellikle yüzeyin yağ ve toz gibi yabancı maddelerden temizlenmesi şarttır. Temiz olmayan yüzey üzerine yapılan kaplamalarda en alt kaplama tabakasında gözeneklilik artacağında yüzeye mekanik olarak yapışma mukavemeti düşük olacaktır.

Temizleme için seçilecek yöntem yapılacak olan kaplama metoduna göre farklılıklar gösterir. Organik çözücüler metil alkol, aseton, yüksek basınçlı sıcak su, kumlama, kimyasal metot ve elektrik ark metodu örnek olarak verilebilir [36].

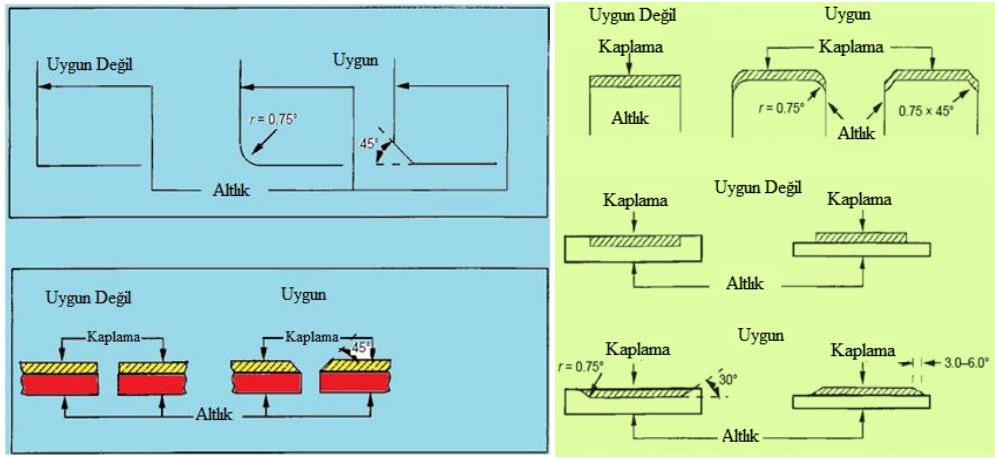
### 5.2.2 Kaplanacak Yüzey Geometrisinin Uygunluğu

Kaplanacak yüzeyin geometrisi, kaplama kalınlığını da göz önüne alacak şekilde ölçü tamlığı sağlamalı ve spreyl kaplamanın zor olduğu, kaplama kalınlığını etkileyecek, termal gerilmelerden dolayı kaplamanın yüzeye yapışma mukavemetini zayıflatacak olan keskin köşelerden kaçınılmalıdır.

Püskürtme işleminde de püskürtmeyi mümkün olduğunca yüzeye 45° ile 90° olacak şekilde yapmak kaplamanın mekanik yapışma mukavemetini olumlu yönde etkiler [23]. Şekil 5.17'de alev püskürtme işlemi uygulaması ve Şekil 5.18'de uygun kaplama geometrisi tasarımı örnekler görülmektedir.



Şekil 5.17 Alev sprej püskürtme işlemi [23]



Şekil 5.18 Altlık yüzey geometrisi tasarımı [36]

### 5.2.3 Yüzey Pürüzlendirme

Mekanik bağ, termal püskürtme ile elde edilen en geçerli mekanizma olduğundan dolayı genellikle mekanik pürüzlendirmenin yöntemleri yaygın olarak kullanılır. Kumlama, su jeti metodu, lazerle aşındırma, kimyasal dağlama uygulamalara örnek olarak verilebilir. Bunun yanında mekanik olarak tezgahlarda diş ya da kanal profilleri ile mekanik yapışma özelliğini iyileştirmek mümkündür. Yüzeğe açılan dişin dip kısımlarının radyuslu olması yapışma mukavemetini olumlu yönde etkiler [38]. Resim 5.6'da kumlama ve lazerle aşındırma üniteleri görülmektedir.

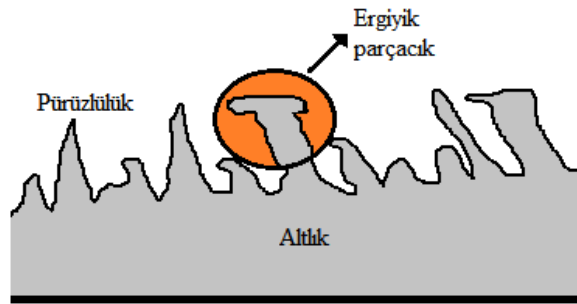
Kumlamadan kasıt, Alüminyum oksit tozlarının veya silisyum karbür zımpara tozunun iş parçası üzerinde basınçlı bir şekilde bir tabanca (nozül) yardımı ile püskürtülmesidir.



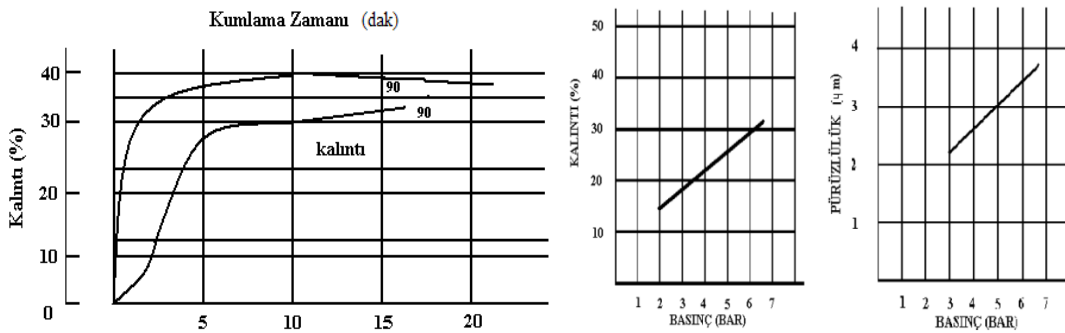
Altlık malzeme, kaplama malzemesi ve kumlama tozu büyüklüğü kumlama işleminde basınç seçiminde etkilidir [38]. Şekil 5.19’da kaplama ile altlık arasında mekanik bağ oluşumu görülmektedir.



Resim 5.6 a)Kumlama kabini [36], b) Lazerle aşındırma ünitesi [36]



Şekil 5.19 Pürüzlü yüzey üzerine ergimiş parçacığın girişimi ve oluşan mekanik bağ. Basınç arttıkça, yüzeye yapışan kum zerrelere zamanla yüzey kirliliğini artıracaktır. Şekil 5.20’de basınca ve zamana bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünün değişimi görülmektedir.



Şekil 5.20 Farklı basınçlar için zamana bağlı pürüzlülük değerleri [40]

Çizelge 5.4’de yüzey hazırlama usullerinin başlıca kullanım yerleri ve amaçları verilmiştir.

Çizelge 5.4 Yüzey hazırlama usullerinin başlıca kullanım yerleri [38].

Malzeme Cinsi	Uygulama Amacı	Yöntem	Limitler
Tahta, plastik malzeme, karton, porselen ve çeşitli taşlar gibi	Güzel bir dış görünüşün temininde, elektrik akımını iletmede, ısı yalıtımında, ateşe ve ısıya karşı korumada	1- Mekanik bir hazırlama yapmadan yalnız üzerindeki yağ, oksit ve diğer pislikleri temizlemek	Püskürtme tabakası 0.3 mm kadar
Bütün çelik cinsleri, kır dökme demir, demir olmayan metal ve alaşımlar	1. kısımdakilere ek olarak korozyona ve kavlamaya karşı korumada	2- Kum püskürtme	Püskürtme tabakası 0.5 mm kadar. 0.5 mm’den fazla da olabilir
Bütün çelikler, kır püskürtme dökme demir, demir olmayan metal ve alaşımlar gibi bütün metalik malzeme için	1 ve 2. deki kısımların aynı	3- Çelik kumu püskürtme	0.5 mm’den kalın püskürtme tabakaları için
	Tamirat işlerinde, 1mm’den kalın korozyona karşı koruma tabakalarının püskürtülmesinde	4- Tornalama, planyalama, frezeleme, delme ve keskilme	
Düşük karbonlu alaşımsız çelikler, dökme çelikler ve dökme demir	Dinamik zorlamalara maruz kalmayan parçalarda ve dökme demirin tamirinde. Elektrikli arkla yapılan hazırlamadan sonra yüzeye hafif bir kum püskürtme ile temizleme yapılmalıdır.	5- Nikel, Tungsten ve karbon elektrotla yüzey dağlama	0.5 mm’den kalın püskürtme tabakaları için de tatbik edilebilir, düşük akım şiddetli ile ark söndürülmeden yapılmalı

#### 5.2.4 Ara Bağlayıcı

Bazı malzemelerin yüzeyini işlemek, kuşlama veya diğer yöntemlerle dağlayarak istenilen derecede yüzey pürüzlülüğü elde etmek mümkün olmamaktadır. Bu durum kaplamanın mekanik yapışmasının kötü yönde etkilemekte sonuç olarak kaplama ile altlık yüzeyi arasında açılmaları neden olmaktadır. Kaplamanın yüzeye iyi bir şekilde yapışmasını sağlamak maksadı ile ara bağlayıcılar kullanılır. Ara bağlayıcı altlık yüzeyine püskürtülür

ve altlık yüzeyinin pürüzlülüğünün artmasını sağlar. Yüzey pürüzlülük değerinin artması kaplama malzemesinin mekanik olarak daha iyi yapışmasını sağlar. Genellikle Ni ve Al tozları belirli oranlarda karışımı ara katman olarak yüzeye kaplanır.

Kaplama yapılırken taneciklerin soğuması esnasında büzülme olur. Taneciklerin büzülmesi altlık yüzeyinde artık bası gerilmesine neden olur. Bası gerilmesi mekanik yapışma mukavemetinden fazla ise kaplama yüzeyden ayrılır. Bu duruma kavlama denilmektedir. Bası gerilmesinin belirli bir değerde olması değişken gerilme genliği ile zorlanması durumunda yüzey pürüzlülüğünden kaynaklı çatlak oluşumu ve ilerleyerek yorulma hasarının oluşumuna gerilme genliğini düşürerek engellemeye olumlu katkıda bulunur.

### **5.2.5 Maskeleme**

Kaplama işlemi esnasında kaplama malzemenin istenmeyen yüzeylere yapışmaması ve yüzeyi bozmaması için kaplanmayacak yüzlere maskeleme yapılır. Metal maskeleme, lastik maskeleme ve bazı oksit boyalarla maskeleme işlemleri yapılmaktadır. Kaplama hızı yüksek olan kaplama metotlarında metal ve lastik maskeleme daha uygundur [40].

### **5.2.6 Ön Isıtma**

Kaplama işlemi sonrası kavlamaya engel olmak ve artık bası gerilmesini istenilen değerlerde tutmak için ön ısıtma işlemi yapmak gereklidir. Ön ısıtma altlık malzemenin sadece yüzeyde bölgesel olarak değil homojen bir şekilde parçanın ısınmasını sağlar. Soğuma hızı ve gerilmelerin homojen olarak dağılması çatlamaı engeller. 200 – 300 °C aralığında uygun bir sıcaklıkta ön ısıtma yapmak uygundur. Kaplama parametrelerinden kaynaklı olarak altlığın fazla ısınması istenmeyen bir durumdur. Bu duruma ek bir düzenele ile altlık malzemenin soğutulması da gereklidir [38].

### **5.2.7 Püskürtme Sonrası Yapılan İşlemler**

Termal sprey kaplama yöntemi kullanılarak yapılan kaplamamalar ani olarak soğumaya bırakılmamalıdır. Seçilen yöntemle göre partikül sıcaklığı, kaplama kalınlığı, altlık ve kaplama malzemesi cinsi kaplamanın ani soğumaya maruz kalması sonucu çatlak oluşumunu etkiler. Kaplamanın çatlamaı altlığın genleşmesi ve kaplama malzemesinin ani olarak soğuması sonucu artık termal gerilmelerin yığılması sonucu oluşur.

Bu durumu ortadan kaldırmak için kaplama işlemi sonrası ısı iyileştirme işlemine tabi tutulmalıdır. Isıl iyileştirme yöntemi olarak;

- Elektromanyetik ısıtma
- Fırında iyileştirme
- Sıcak izostatik presleme
- Alevle kullanarak iyileştirme

olmak üzere dört ana yöntem mevcuttur [36].

### **5.3 Flame Sprey Kaplama Yönteminde Püskürtme Parametreleri**

Alev sprej kaplamada en önemli parametreler toz parçacık hızı, sıcaklık, püskürtme mesafesi, tozun kütleli debisidir.

#### **5.3.1 Alev ayarı**

Alev ayarı burada toz sıcaklığını ve fazını doğrudan etkiler. Alev püskürtme yönteminde genel olarak nötr alev kullanılmalıdır. Bazı durumlarda örnek olarak alüminyum püskürtülmesinde hafif karbonlayıcı (asetileni fazla) olmalıdır. Asetilen fazlalığı alevdeki isten anlaşılabılır.

#### **5.3.2 Püskürtme mesafesi**

Kaplama genel olarak 75 ila 200 mm arasındaki bir mesafede yapılmaktadır. İnce levha veya ısıya karşı hassas malzeme yüzeyine püskürtme uzak mesafeden yapılır. Çarpılmaların fazla olmaması ve yapışma mukavemetinin iyi olması için bazı alüminyum tozları gibi düşük ergime sıcaklığına sahip malzemeler kısa mesafelerde hızla püskürtülmelidir [38]. Buna alternatif olarak toz debisini artırmak da birim kütlenin alacağı ısı enerjisini düşüreğinden aynı özellikleri sağlayacaktır. Nitekim çalışmamızda NiAl astar 200mm mesafe ve 80 g/dak kütleli debi ile seramik tozlara göre çok daha yüksek değerlerle kaplama işlemi yapılmıştır.

### **5.3.3 Püskürtme Açısı**

Püskürtme demeti ile altlık yüzeyi arasındaki açı  $45^\circ$  'den küçük olmamalıdır. Bu değerden küçük olması durumunda gizli porozite olayı gerçekleşir [23]. Uygun geometri ve kaplama için yapılması gerekenler beşinci bölümde ele alınmıştır.

### **5.3.4 Püskürtme hızı ve kaplama**

Ekonomik paso başına başarılı kaplama miktarı artırılması için püskürtme hızının açısı küçük olmalıdır. Bu durum aynı zamanda kütleli debinin korunabilmesi durumunda homojen bir kaplama kalınlığı elde edilir. Hız açısının dar olması aynı zamanda püskürtme hızı ile alakalıdır. Özellikle kenar kısımlar radyuslu olmalı keskin köşelerden kaçınılmalıdır.

### **5.3.5 Kaplama Sıcaklığı**

Kaplama sıcaklığı ile altlık malzeme sıcaklığı arasındaki sıcaklığın fazla olması kaplamanın ani soğuması sonucu mikroçatlaklara neden olmaktadır. Bu sebepten yüzeylerin püskürtme işleminden önce 60 ila 80 °C bir ön tavlama tabii tutulması gerekir. Kum ile temizlemeden sonra püskürtme hemen yapılması daha iyi yapışma mukavemetini artırır.

## **5.4 Literatür Araştırması**

Mühendislik uygulamalarında kullanım yerine göre malzemelerin en iyi sonuçları vermesi istenir. Lakin bu özellikte malzemeler üretmek zor ve zaman aldığı gibi maliyet olarak da yüksek olmaktadır. Özellikle aşınma dayanımı, yorulma dayanımı, elektriksel ve termal özellikler, korozyon direnci gibi özellikleri iyileştirmek amacıyla üretimi pahalı olan yüksek alaşımlı malzemeler üretmek yerine uygulama alanına uygun altlık malzeme ve kaplama malzemesi ile yüzey kaplama işlemleri yapmak daha uygundur. Bu sebeple termal spreysel kaplama metodu ailesi sanayide geniş bir kullanım alanı bulmuş ve ihtiyaçlara cevap verecek şekilde metotlara ayrılmıştır. Alev spreysel metodu bu aile içerisinde en ucuz ve kullanımı kolay metot olmasından dolayı sanayide geniş uygulama alanına sahiptir.

Bu bölümde; ince filmlerin elektrik iletkenliği ve toz alev spreyleme yöntemiyle kaplanan malzemelerin, sertlik, aşınma, yüzey pürüzlülüğü, mikroyapı özelliklerine ilişkin yapılan çalışmalara yer verilmiştir.

ÖZDEMİR, R. [20] Yapmış olduğu çalışmayla üretim şartlarını da özdirenç formülü içerisine dahil edilerek literatüre kazandırmaya çalışmıştır. Formülün elde edilmesinde Sezgisel yöntemler olarak bilinen Genetik Programlama ve Neural Network programlarından yararlanmış ZnFe alaşımı için yeni bir özdirenç formülü elde edilerek literatüre uygunluğu araştırmıştır. Elde edilen grafiklerin literatürdeki sonuçlarla uyumlu olduğunu bulmuştur. Türettiği her iki formülün doğruluğunu karşılaştırmıştır. Her iki formülünde yüksek doğruluk paylarıyla çalıştığını göstermiştir.

VALDEST, L. B. [19] Yarı iletken germanyum özdirençini ölçmek için uygun metot üzerine bir araştırma yapmıştır. Dört nokta prob metodunu kullanarak farklı film özellikleri kombinasyonları üzerinde çalışmış, geometrik şartlar ve kaplama malzemesinin durumuna göre yapılan ölçümleri kıyaslamıştır. Sonuç olarak deneysel olarak elde edilen sonuçların geometrik düzeltme katsayıları ile çarpılarak gerçek sonuçlara ulaşabilmiş ve ölçümler için 1 mA altında akım kullanmayı ısınmadan dolayı tavsiye etmiştir.

SAĞLAM, İ. [41] 470°C, 500°C ve 530°C’de 60 dakika, 120 dakika ve 180 dakika yaşlandırılan Cu-Cr-Zr alaşımlarında yapıda oluşturulan çökeleklerin malzemenin elektrik iletkenliği ve aşınma dayanımına etkisini incelemiştir. Yaşlandırma ısıl işlemi ile Cu-Cr-Zr alaşımlarında yüksek sertlik değerleri elde etmiştir. İrileşen Cr zengin çökelekler elektrik iletkenliğini artırdığını bulmuştur. Yaşlandırma ısıl işlemi ile yapıda oluşturulan katı çökelti elektrik iletkenliğini düşürmesine karşın (470°C), çökeltme sertleşmesinde uygun yaşlandırma koşulları seçilerek iletkenlik ve dayanım değerleri birlikte yükseldiğini tespit etmiştir.

SOYLU, M. [42] tez çalışmasında yarıiletken ZnO ince filmlerin elektriksel iletimi ve ısıl işlemle değişimi incelemiştir. Atmalı filtreli katodik vakum ark depolama (PFCVAD) depolama yöntemiyle cam ve silikon altlık üzerine farklı O<sub>2</sub> basıncı kullanarak farklı basınçlarda depolanan ince filmlerle, farklı kalınlıklarda depolanan filmlerin sıcaklıkla elektriksel iletkenliği, soğurma katsayısı, yasak enerji aralığı gibi yarıiletken parametrelerinin kıyaslanması ve ölçümünü yapmıştır. Aynı kalınlıklı film serilerinin hem

cam altlığa hem de Si altlığa yapılan kaplamalarda artan basınçla elektriksel iletkenliklerin azalma olduğunu görmüştür.

ULUTAŞ, K. [43] Cam Altlık üzerine İndiyum oksit ve kalay oksit ince filmlerini reaktif buharlaştırma metodu ile hazırlamıştır. İndiyum oksit örneklerinde bir kalınlık bölgesinde iletkenliğin ve geçirgenliğin arttığını gözlemlemiştir. İndiyum Oksit örneklerinde absorpsiyon katsayısının değişiminin, ışığın girişimi ile açıklanamayacağı sonucuna varılmıştır.

MUSA, M.Z. vd. [44] altın, platin ve paladyum metal yapılan nano yapıdaki  $TiO_2$  kaplamaların kontak özelliklerini incelemiştir. Kaplama sol-jel metodu kullanılarak yapılmıştır. Akım ve gerilim ölçümlerini yapmışlardır. Altın, platin ve paladyum sırayla en düşük direnç değerleri sergilediğini gözlemlemiştir.

SARAH, M.S.P. vd. [45] Sol-jel metodu kullanarak cam altlık üzerine  $TiO_2$  kaplama yapmışlardır. Daha sonra bu filmleri farklı sıcaklıklarda tavlama işlemine tabi tutmuşlardır. Dört nokta ölçüm metodu ile elektriksel özelliklerin değişimini araştırmışlardır. Sonuç olarak tavlama sıcaklıklarının artması ile öz direncin düştüğü gözlenmiştir.

KAHRAMAN, N. [46] alev spreyleme metodu ile dişli ve dişsiz mil numuneler üzerine yapılmış kaplamaların, yüzey pürüzlülük ölçümleri yapılan numunelerin ölçümlerde kalın arttıkça pürüzlülük artışı gözlemiştir. Dişli numunelerde ise, diş yüksekliği kaplama sonrası yüzeyde etkili olduğu için, kaplama kalınlığı artarken pürüzlülük değerinin artıp azalmasının değişkenlik gösterdiğini tespit etmiştir.

KAHRAMAN, N. Vd. [47], alev spreyleme yöntemiyle dişli ve dişsiz mil numuneler üzerine yapılmış kaplamaların, kaplama kalınlığının artmasıyla sertlikte azalma meydana geldiğini saptamıştır. Kaplama işleminin soğuk oluşu sonucu değiştirmedeği aynı türdeki tozlarla kaplanmış, yaklaşık aynı kalınlığa sahip kaplamalarda, soğuk püskürtme ile üretilen kaplama malzemeleri sıcak püskürtme ile üretilen kaplama malzemelerinden daha sert olduğunu gözlemiştir. Soğuk ve sıcak püskürtme yöntemi ile kaplanan numunelerde, kaplama öncesindeki tozların sertlik sıralamasının, kaplama sonrasında da değişmediğini gözlemlemiştir.

KAHRAMAN, N. ve GÜLENC, B. [48] alev spreyleme yöntemiyle dişli ve dişsiz mil numuneler üzerine yapılmış kaplamaların, optik mikroskop analiz sonuçlarına göre, dişli numunelerdeki ara yüzey geçiş bölgesinin dişsiz numunelere göre daha iyi olduğunu gözlemlemiştir. Altlık malzemesinin sıcak oluşu, ara yüzeyi ve kaplama tabakasını olumsuz yönde etkilemiştir. Bunun için altlık malzemeyi ısıtmak, numunenin çarpılması ve kaplama maliyeti açısından doğru bir tercih olmadığı sonucuna varmışlardır. Numunelere yapılan termal şok testi sonrasında, yüzey pürüzlendirilmiş (dişli) numunelerdeki hataların, yüzeyi tornada talaş kaldırma pürüzlülüğünde islenenlere (düz) göre daha az olduğunu tespit etmişlerdir.

KİPER, G. [49] alev püskürtme yöntemiyle alüminyum üzerine asetilen fazlası, nötr, oksijen fazlası yapılan düşük karbonlu ve yüksek karbonlu çelik kaplamaların, yüksek karbonlu çelik kaplamaların düşük karbonlu çelik kaplamalara nazaran daha yüksek sertlik ve gözeneklilik gösterdiğini gözlemlemiştir. Yüksek karbonlu çelik kaplamaların aşınma direnci düşük karbonlu çelik kaplamaların aşınma direncinden daha yüksek olup kayma hızından etkilenmediğini belirtmişlerdir. Düşük karbonlu çelik kaplamalarda artan kayma hızıyla aşınma miktarı artmakta olduğunu ve oksijen fazlası ortamda yapılan kaplama koşulunda gerek yüksek gerekse düşük karbonlu çelik kaplamalarda en yüksek aşınma direncinin elde edildiğini saptamışlardır.

Kurt, C. [50] Ç1010 ve Ç1050 malzemelerine toz alev püskürtme yöntemi ile bronz tozu kaplanmış, püskürtme mesafesi arttıkça parçacık ısı kaybederek Küreselleşmekte ve buna bağlı olarak yüzeye yapışan tozlar arasında boşlukların arttığını gözlemlemiştir. Altlık malzeme olarak kullanılan numunelerde karbon oranı farklılığının kaplama tabakasının ısıl şok testinde olumsuz bir etkisi olmadığını görmüşlerdir. Alevle toz püskürtme yöntemi ile oluşturulan kaplama tabakalarına yağ emdirmek mümkün olduğunu ve metal metale sürtünme aşınma kayıplarında, yağ emdirilmiş numunelerin aşınma kayıplarının yağ emdirilmemiş olanlara göre yaklaşık yarısı kadar olduğunu belirtmişlerdir.

Toz alev spreyleme yöntemi ile yapılan çalışmaların sayısı olarak çokluğuna rağmen bu çalışmalarda elektriksel özelliklerinin incelenmediğini gözlemledik. Yaygın olarak kullanılan bu yöntemle malzemelerin yüzeyleri farklı seramik tozları ve farklı kalınlıklarda olacak şekilde kaplanması ve bu kaplamaların elektriksel özelliklerinin belirlenmesi üzerine bu çalışma yapılmıştır.

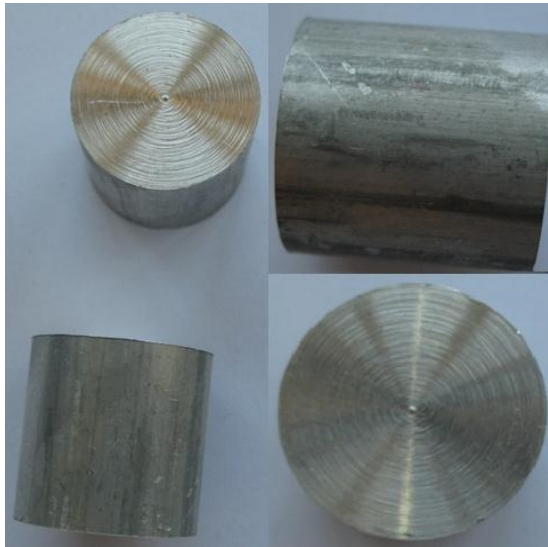


## 6 MATERYAL METOT

Bu çalışmada kaplama malzemesi ve kaplama kalınlığının, alev sprej yöntemi ile kaplanmış malzemelerin elektrik iletkenliğine etkisi araştırılmıştır. Altlık malzeme olarak 6082 Alüminyum alaşımı, kaplama malzemesi olarak krom oksit ( $Cr_2O_3$ ), alüminyum oksit ( $Al_2O_3$ ) ve titanyum di oksit ( $TiO_2$ ) karışımı seramik tozları kullanılmıştır. Kaplama numuneleri tornada  $\Phi$  20mm ve 20mm boyuna tornalanmıştır. Alın ve boyuna yüzeyler NiAl astar ve astarsız olarak 0,3mm; 0,5mm; 1mm kalınlık olacak şekilde toz alev sprej metodu kullanılarak kaplanmıştır. Kaplama malzemesi olarak kullanılan seramik tozların belirli oranlarda karışımları da kullanılarak karışım oranlarının etkisi gözlemlenmiştir. Üretilen numuneler elektriksel direnç ölçüm metotları kullanılarak ölçülmüş veriler grafik ve tablolar halinde toplanmıştır. Ohmik kontaklara etkisini gözlemleyebilmek maksadı ile yüzey pürüzlükleri TR 200 yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. Bu çalışmalara ek olarak kaplamaların mikrosertlik ölçümleri yapılmış, optik ve sem mikroskobu görüntüleri incelenmiştir. Elde edilen veriler ışığında gerekli değerlendirmeler yapılarak bulgular yorumlanmıştır.

### 6.1 Altlık Malzemenin Hazırlanması

Seykoç Alüminyum şirketinden  $\Phi$  20mm 6082 Alüminyum alaşımı malzeme alınmıştır. Aldığımız malzemeler torna tezgahında Resim 6.1’de görüldüğü gibi  $\Phi$  20mm ve 20mm boyuna tornalanmıştır.



Resim 6.1 Altlık malzeme hazırlanması

Kesici takım olarak HSS kesme kalem ve HSS sol yan kesme kalem kullanılmıştır. TOS marka torna tezgahında kesme kalem ile 370 dev/dak, sol yan kalem ile alın tornalama işlemi 1200dev/dak. yapılmıştır.

Kullanılan 6082 Alüminyum alaşımının kimyasal kompozisyonu Çizelge 6.1’de, mekanik özellikleri ise Çizelge 6.2’de verilmiştir.

Çizelge 6.1 6082 alüminyum alaşımı kimyasal kompozisyonu [51]

Alaşım Elementi	% Kompozisyon
Si	0,7 – 1,3
Fe	0,0 – 0,5
Cu	0,0 – 0,1
Mn	0,4 – 1,0
Mg	0,6 – 1,2
Zn	0,0 - 0,2
Ti	0,0 - 0,1
Cr	0,0 - 0,25
Al	Balans

Çizelge 6.2 6082 alüminyum alaşımı mekanik özellikleri [51]

Isıl İşem	O	T4	T6/T651
Orantısız Uzama Gerilmesi %0,2 (MPa)	60	170	310
Çekme Dayanımı (MPa)	130	260	340
Kayma Dayanımı	85	170	210
Kopma Uzaması A5 (%)	27	19	11
Sertlik (HV)	35	75	100

Çizelge 6.2’deki simgeler:

- O simgesi tavllanmış dövme alaşımı
- T4 simgesi ısıtılmış işlem görmüş ve doğal yaşlandırmaya tabi tutulmuş
- T6 simgesi ısıtılmış işlem görmüş ve yapay yaşlandırılmış
- T651 simgesi ısıtılmış işlem görmüş, çekilmiş ve yapay yaşlandırılmış

olduğunu göstermektedir.

6082 Alüminyum alaşımı sanayide zorlanma yüksek olan yerlerde, kafes sistemler, köprüler, vinçler, transport uygulamaları, cevher kasaları, süt yayıklarında kullanılmaktadır [51]. 6082 Alüminyum alaşımının fiziksel özellikleri Çizelge 6.3’de verilmiştir.

Çizelge 6.3 6082 alüminyum alaşımı fiziksel özellikleri [51]

Isıl İşlem	Değerler
Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	2700
Ergime Noktası (°C)	555
Elastisite Modülü (MPa)	7x10 <sup>4</sup>
Elektriksel Özdirenç (ohm.m)	0,038x10 <sup>-6</sup>
Isı İletim Katsayısı (W/mK)	180
Isıl Genleşme Katsayısı (1/K)	24x10 <sup>-6</sup>

## 6.2 Kaplama Malzemeleri ve Özellikleri

Kaplama malzemesi olarak krom oksit (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), alüminyum oksit (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ve titanyum di oksit (TiO<sub>2</sub>) karışımı seramik tozları kullanılmıştır. Krom oksit sert ve gevrek bir malzemedir. 34 °C' ye kadar antiferromagnetiktir. Boya, mürekkep ve camda renklendirici olarak kullanılmaktadır.

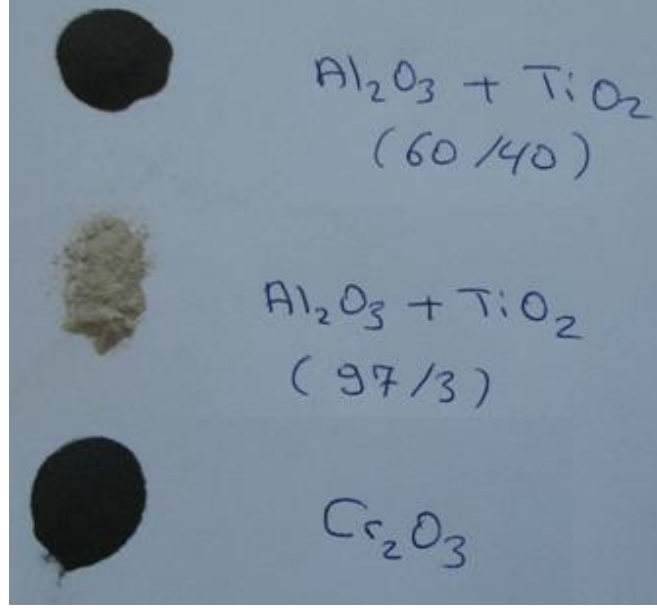
Alüminyum oksit mühendislik seramiklerinden en yaygın olarak kullanılanlarından biridir. Yüksek aşınma direnci, iyi ısı iletimi, iyi şekillendirilebilme yeteneği, yüksek dayanım ve rijitlik, asidik ortamlarda kullanılabilmesi sanayide geniş kullanım alanına sahip olmasını sağlamıştır. Kullanım alanlarına gaz lazer tüpleri, balatalar, contalar, yüksek sıcaklık elektrik yalıtımında, yüksek gerilim yalıtımında, fırınlarda, tel çekme gaydında, termal özellikler belirleyen test cihazlarında ve taşlama taşları örnek olarak verilebilir [52].

Çizelge 6.4 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve TiO<sub>2</sub> özellikleri [52]

ÖZELLİK	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>
Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	3,95	4
Çekme Dayanımı (MPa)	200-250	140
Basma Dayanımı (MPa)	1900-2000	680
Poisson Oranı	0,25 - 0,30	0,27
Elastisite Modülü (GPa)	380	230
Mikro Sertlik (HV 0,5)	1800 - 2000	880
Isı İletim Katsayısı (W/mK)	40	11,7
Özdirenç (Ωcm)	10 <sup>14</sup>	10 <sup>12</sup>

Titanyum di oksit beyaz renkli iyi bir pigmenttir. Boya, plastik ve kağıtta renklendirici olarak kullanılır. Işığı geçirme özelliği elmadan bile daha iyidir. Güneş enerjili sistemlerde geniş uygulama alanına sahiptir. Çizelge 6.4'te alümina ve titanyum di oksite ait bazı

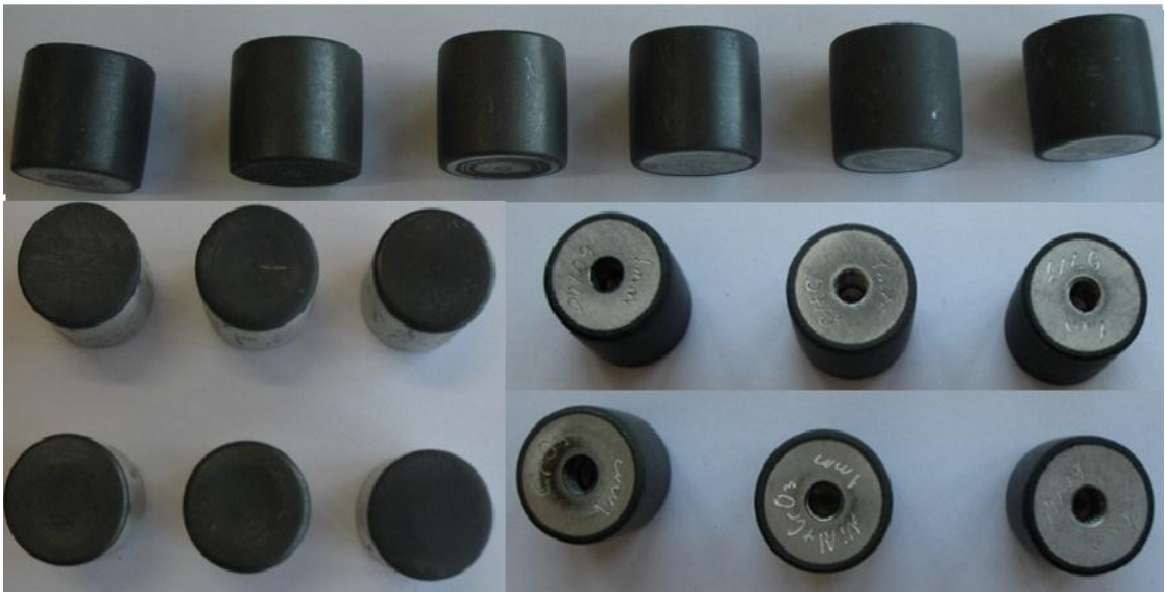
fiziksel ve mekanik özellikleri verilmiştir. Resim 6.2’de çalışmada kullanılan seramik tozlarının görüntüleri verilmiştir.



Resim 6.2 Kaplama tozları

### 6.3 Toz alev Püskürtme İşlemi

Tornada hazırlanmış numuneler Metser kaplama şirketinde kaplanmıştır. Temizleme ve kumlama işlemi sonrasında toz alev sprej teçhizatının kaplama tozuna göre parametreleri ayarlanmış ve kaplama işlemleri yapılmıştır. Resim 6.3’de kaplanmış numuneler görülmektedir.



Resim 6.3 Kaplanmış Numuneler

Boyuna kaplanmış numuneler mikroskop incelemeleri için, alın numuneleri elektriksel ölçümler yapmak için üretilmiştir.

### 6.3.1 Toz Alev Sprey Kaplama Parametreleri

Çizelge 6.5'te numunelerin kaplanmasında kullanılan toz alev sprej metoduna ait püskürtülen toza göre kaplama parametreleri verilmiştir.

Çizelge 6.5 Numune kaplama parametreleri

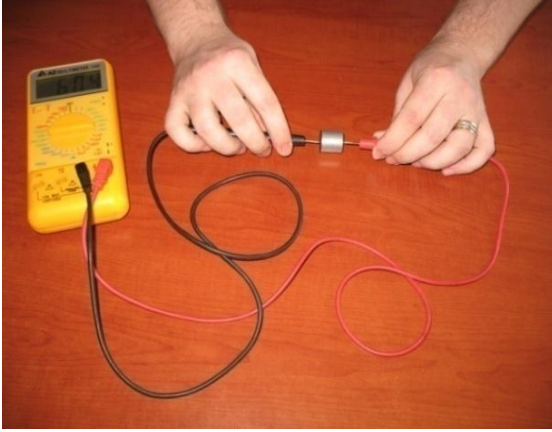


### Alev Sprey Kaplama Parametreleri

NiAl (% 95 / 5) Astar Toz	
Oksijen Basıncı (bar)	4
Asetilen Basıncı (bar)	0,7
Hava Basıncı (bar)	2
Mesafe (mm)	200
Toz Debisi (g/dak.)	80
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Seramik Toz (% 99,5)	
Oksijen Basıncı (bar)	4
Asetilen Basıncı (bar)	0,7
Hava Basıncı (bar)	4
Mesafe (mm)	75
Toz Debisi (g/dak.)	13
Tane Büyüklüğü (µm)	20-45
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + TiO <sub>2</sub> (% 60 / 40) Seramik Toz	
Oksijen Basıncı (bar)	4
Asetilen Basıncı (bar)	0,7
Hava Basıncı (bar)	4
Mesafe (mm)	90
Toz Debisi (g/dak.)	15
Tane Büyüklüğü (µm)	5-45
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + TiO <sub>2</sub> (% 97 / 3) Seramik Toz	
Oksijen Basıncı (bar)	4
Asetilen Basıncı (bar)	0,7
Hava Basıncı (bar)	4
Mesafe (mm)	90
Toz Debisi (g/dak.)	15
Tane Büyüklüğü (µm)	5-20

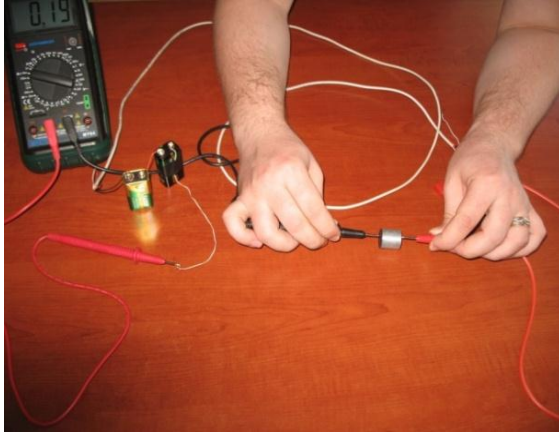
## 6.4 Elektriksel Direnç Ölçümü

Ölçüm metotları hakkında geniş bilgi dördüncü bölümde verilmiştir. Ölçme işleminde Mastech MY 64 ve AZ marka multimetreler kullanılmıştır. Ölçme devrelerinde kullanılan gerilim ve akım kaynakları doğru akım kaynaklarıdır. Ölçüm metotları ve uygulamaları dördüncü bölümde detaylı olarak ele alınmıştır. Resim 6.4 ile Resim 6.8 arasında elektriksel direnç ölçüm metotlarının uygulamaları görülmektedir.



Resim 6.4 Sıfır ölçüm metodu

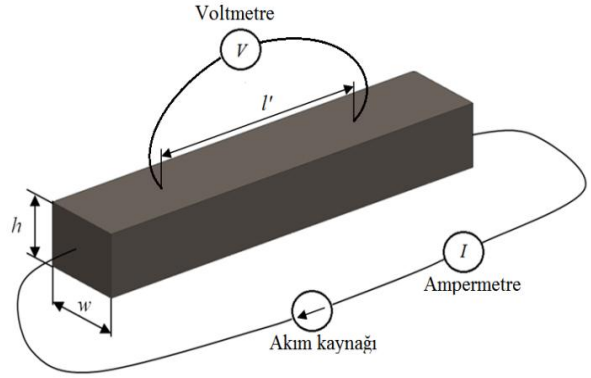
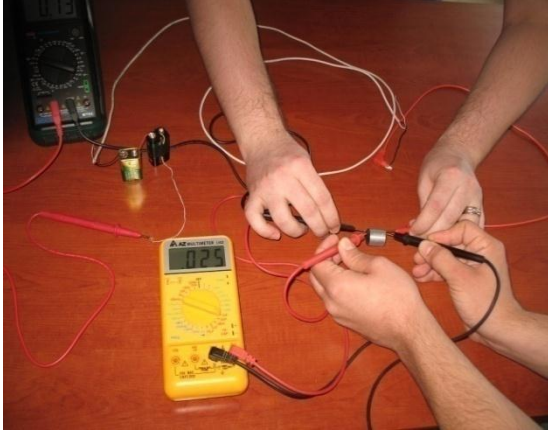
Resim 6.4'te görüldüğü üzere bir multimetre ile direkt olarak direnç ölçümü yapılmaktadır. Bu ölçüm metodu sıfır ölçüm metodu olarak bilinmektedir.



Resim 6.5 İki nokta ölçüm metodu

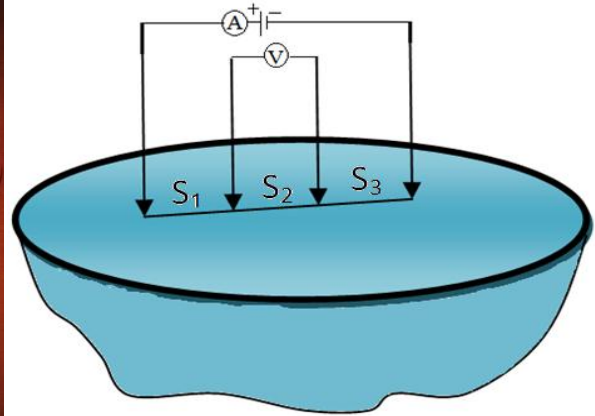
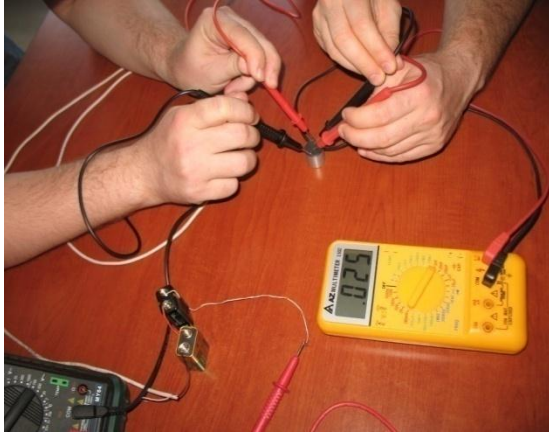
Resim 6.5'te dışarıdan bağlanmış potansiyeli daha önceden ölçülmüş bir doğru akım kaynağı ile elektrik akımı ölçümü yapılmaktadır. Bu ölçüm metoduna iki nokta ölçüm metodu denilmektedir.





Resim 6.6 Dört nokta ölçüm metodu

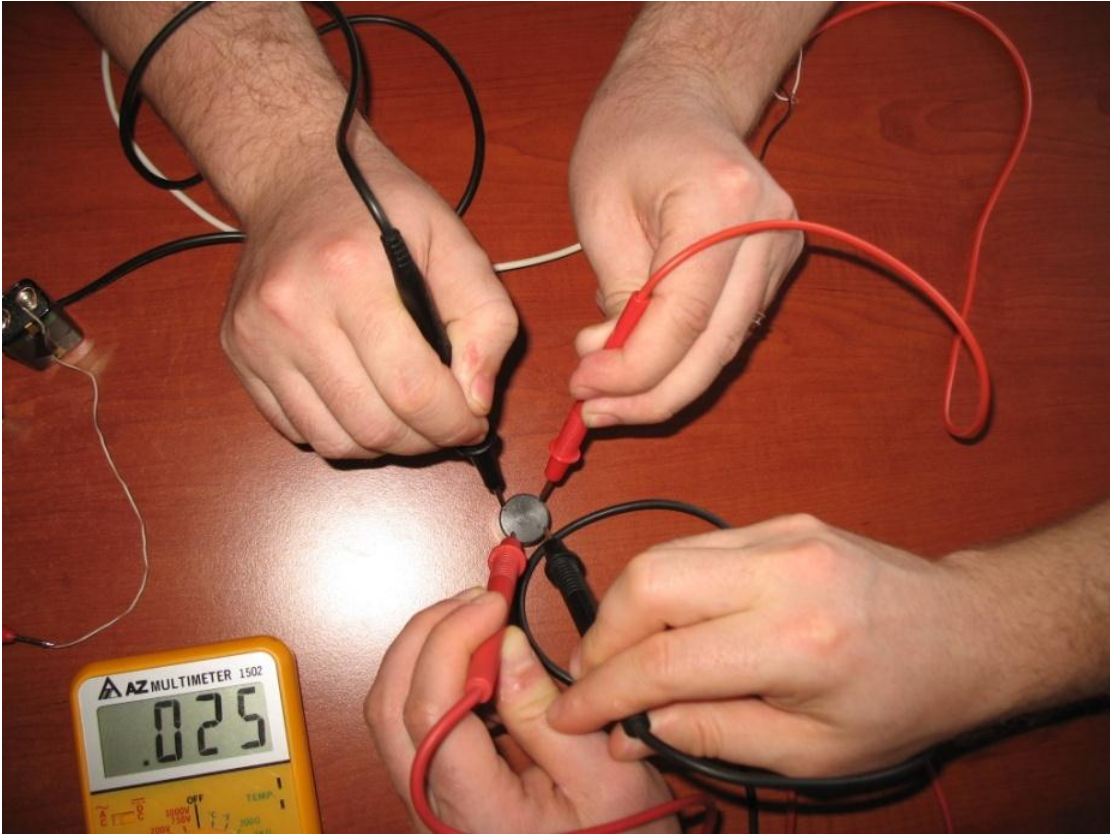
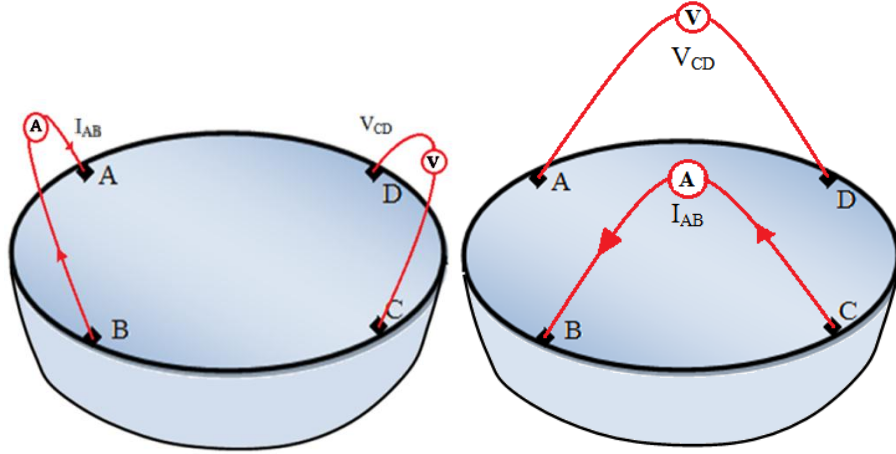
Resim 6.6’da potansiyeli belli bir doğru akım üretici ile elde edilen akımın, bir multimetre ile ölçümü ve numunenin belirli bölgesi üzerinde simültane olarak ikinci bir multimetre ile yapılan potansiyel ölçümü görülmektedir. Bu metoda dört nokta ölçüm metodu denir.



Resim 6.7 Dört nokta prob metodu

Resim 6.7’de iki adet multimetre ile simültane olarak doğru akım kaynağı ile elde edilen elektrik akımı ve numune üzerindeki potansiyel ölçümü yapılmaktadır. Ölçüm problemleri belirli aralıklarda bastırılarak ölçü alınmaktadır. Bu ölçüm metoduna dört nokta prob metodu denir.

Resim 6.8’de potansiyeli belli bir akım kaynağından sağlanan akım AB noktalarından ölçülürken CD noktaları arasında potansiyel ölçümü daha sonra BC noktalarında akım ölçülürken AD noktaları arasında potansiyel ölçümü yapılmaktadır. Bu metot Van Der Pauw metodu olarak bilinmektedir.



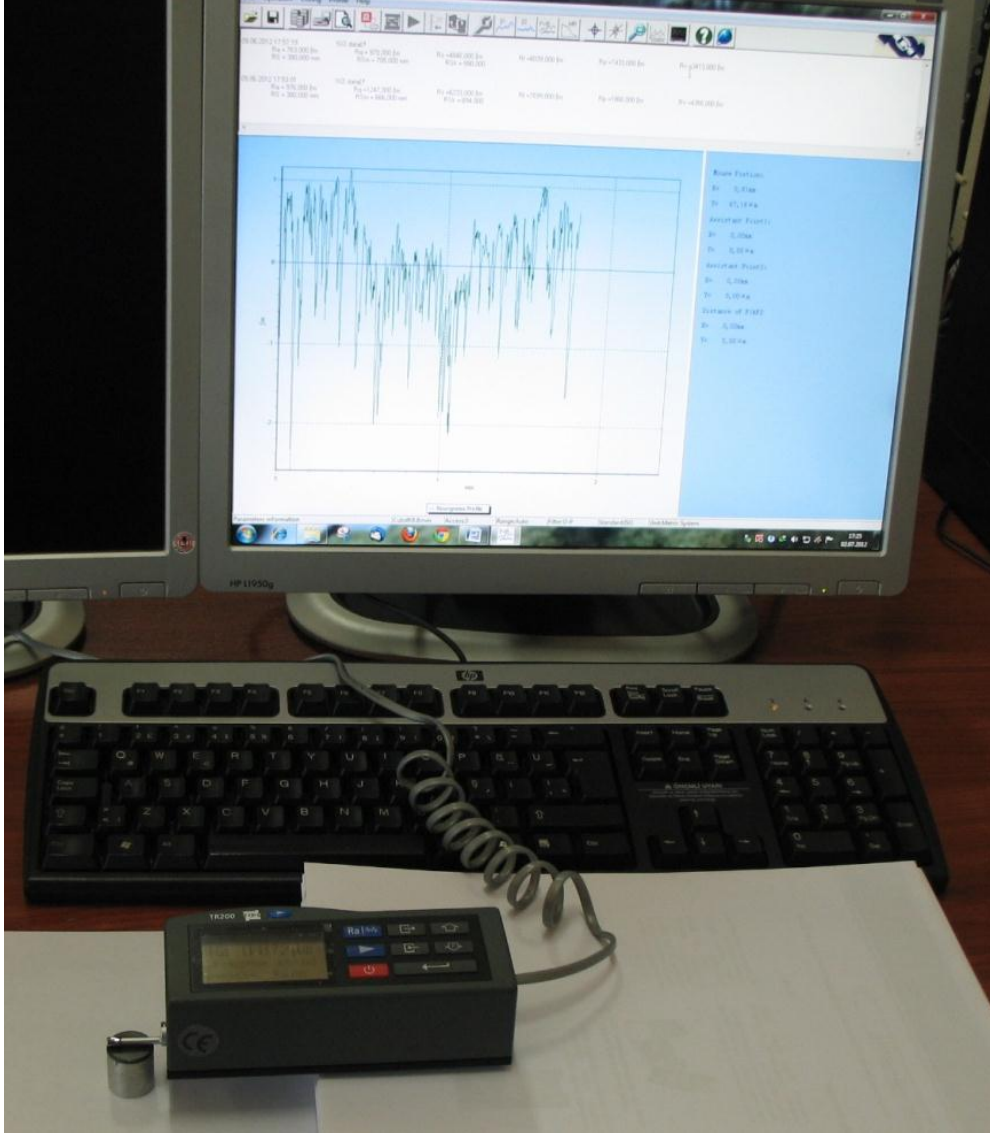
Resim 6.8 Van Der Pauw metodu

### 6.5 Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü

Kaplamalarda tane büyüklüğü elektrik iletkenliğini etkilediğinden dolayı tane büyüklüğünün kaplama yüzeyi boyunca üniform olması çok önemlidir. Kaplama yüzey pürüzlülüğü kaplama malzemesinin tane büyüklüğü ile orantılıdır. Kaplama yüzey pürüzlülüğü elektriksel iletkenliği etkilemektedir. Kaplamanın yüzey pürüzlülüğünün kaplama yüzeyi boyunca düzgün olması gereklidir [44].



Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri TR 200 el tipi pürüzlülük ölçüm cihazı ile yapılmıştır. Cihaz Rs 232 kablo ile bilgisayara bağlanmış ve pürüzlülük değerleri bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Ölçme aralığı 160  $\mu\text{m}$  olan cihazın ölçüm yapan uç açısı  $90^\circ$  ve uç yarıçapı 2  $\mu\text{m}$ 'dir. Ölçme işlemi için 4 mN'luk bir kuvvet kullanılmaktadır.



Resim 6.9 Bilgisayar ile bağlantılı olarak yüzey pürüzlülüğü ölçümü



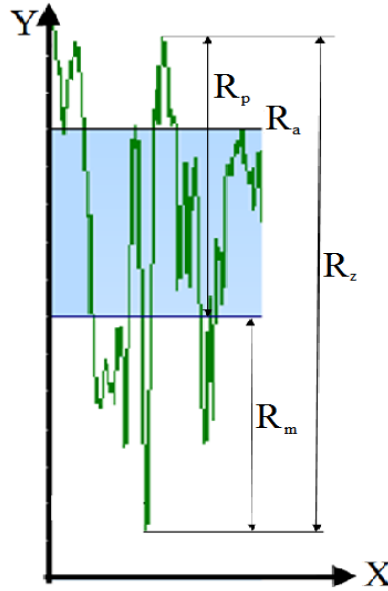
Resim 6.10 TR200 yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı

Resim 6.9 ve Resim 6.10’da sırasıyla pürüzlülük ölçüm cihazı ve yüzey pürüzlülük ölçümü uygulaması görülmektedir. Yüzey pürüzlülüğü ile elde edilen veriler sırasıyla;

Aritmetik ortalama profil değişimi ( $R_a$ ) :

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i| \quad (6.1)$$

Burada  $i$  değeri  $x$  eksenini boyunca ölçüm çözünürlüğünü ifade etmektedir. Şekil 6.1’de bazı yüzey pürüzlülük parametreleri gösterilmiştir.



Şekil 6.1 Yüzey pürüzlülük parametreleri

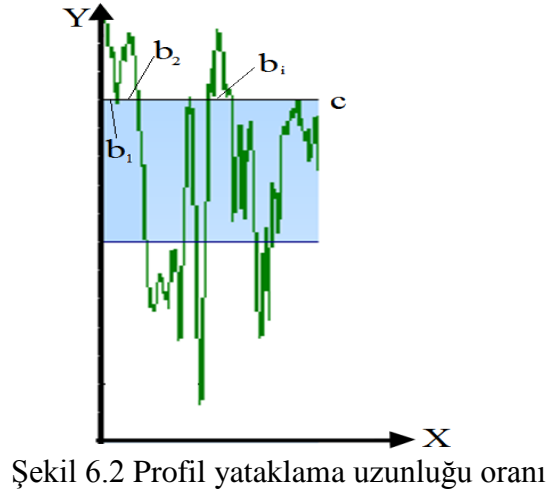
Karekök ortalama profil değişimi ( $R_q$ ) :

$$R_q = \sqrt{\left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right)} \quad (6.2)$$

Maksimum profil yüksekliği ( $R_z$ ) :

$$R_z = R_p - R_m \quad (6.3)$$

Profil temas uzunluğu oranı en yüksek tepenin altında, eksen çizgisinden  $c$  mesafesi kadar yukarıdaki  $b_i$  tepelerinin uzunluğu toplamının toplam ölçüm uzunluğuna oranıdır.

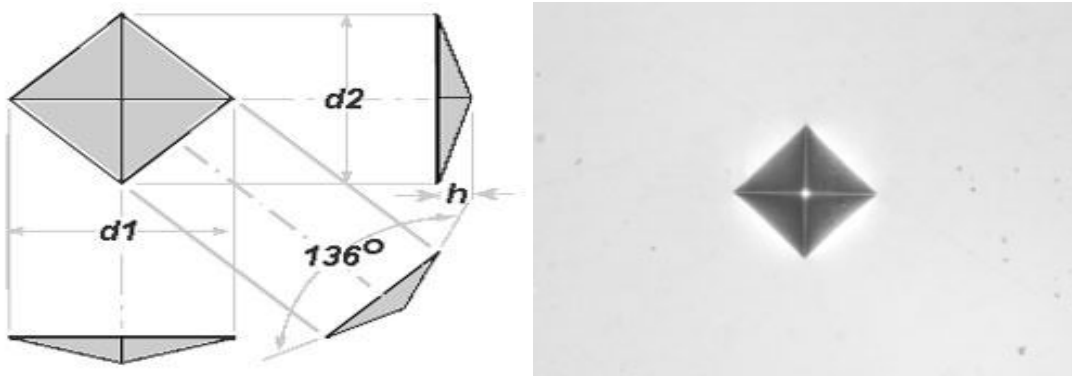


$$t_p = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^n b_i \quad (6.4)$$

Eşitliği ile hesaplanabilir. Şekil 6.2’de profil yataklama uzunluğu oranı grafiksel olarak gösterilmiştir.

## 6.6 Mikrosertlik Ölçümü

Mikrosertlik ölçümü Vickers ve Knoop mikrosertlik ölçme deneyi olmak üzere iki farklı şekilde yapılmaktadır. Avrupa ülkeleri Vickers mikrosertlik ölçüm metodunu daha yaygın olarak kullanmaktadır. Resim 6.3’de Vickers mikrosertlik ölçümünde kullanılan elmas piramit uç ve izi görülmektedir.



Şekil 6.3 Vickers elmas piramit ölçüm ucu ve izi [37]

Çalışmamızda mikrosertlik ölçümlerini Vickers mikrosertlik ölçme metodu kullanılmıştır. Vickers mikrosertlik değeri;

$$HV = 0,189 \frac{F}{d^2} \text{ (Mpa)} \quad (6.5)$$

formülü ile hesaplanır. Burada F (N) uygulanan kuvvet, d (mm) ise izdüşürülmüş köşegen uzunluğudur. Resim 6.11’de görülen Metkon marka Vickers mikrosertlik ölçüm cihazı ile mikrosertlik ölçümleri yapılmıştır.



Resim 6.11 Metkon Vickers mikrosertlik ölçüm cihazı

## 6.7 Mikroyapı Görüntülerinin Alınması

SEM (Scanning Electron Microscope) ve optik mikroskop altında numunelerin mikroyapılarının görüntüleri alınmış ve EDX (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy) analizleri yapılmıştır. SEM ve EDX analizleri Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji

Uygulama ve Araştırma Merkezinde Resim 6.12’de görülmekte olan LEO 1430 VP model SEM cihazı ile yapılmıştır.



Resim 6.12 LEO 1430 VP model SEM cihazı [53]

Cihaz W (Tungsten) filament ile çalışmakta olup üzerinde ikincil elektron (secondary electron), geri yansıyan elektron ve X ışınları (EDX- Energy Dispersive X-ray Spectroscopy) detektörleri mevcut bulunmaktadır. Cihaz alınmış SEM görüntüsü üzerinde nokta, çizgi, alan ve haritalama yöntemleri ile kalitatif ve semi-kantitatif olarak EDX analizleri yapılabilmektedir [53].

Numune yüzeyine kaplanan seramik tozlar yalıtkan olduklarından dolayı, görüntü alabilmek için nano boyutta karbon kaplanmıştır.

Nikon marka mikroskop ile Uşak Üniversitesinde optik mikroskop görüntüleri alınmıştır. Resim 6.13’te Nikon marka optik mikroskop görülmektedir.





Resim 6.13 Nikon optik mikroskop

## 7 DENEYSEL BULGULAR

Bu bölümde yapılan deneyler sonucunda elde edilen verilere ait grafik, çizelge ve fotoğraflar ele alınmıştır. Çizelge 7.1’de numunelerin kaplama tozu ve kalınlığına göre numaralandırılması verilmiştir.

Çizelge 7.1 Kaplanmış numunelerin kalınlık ve kaplama tipine göre numaralandırılması

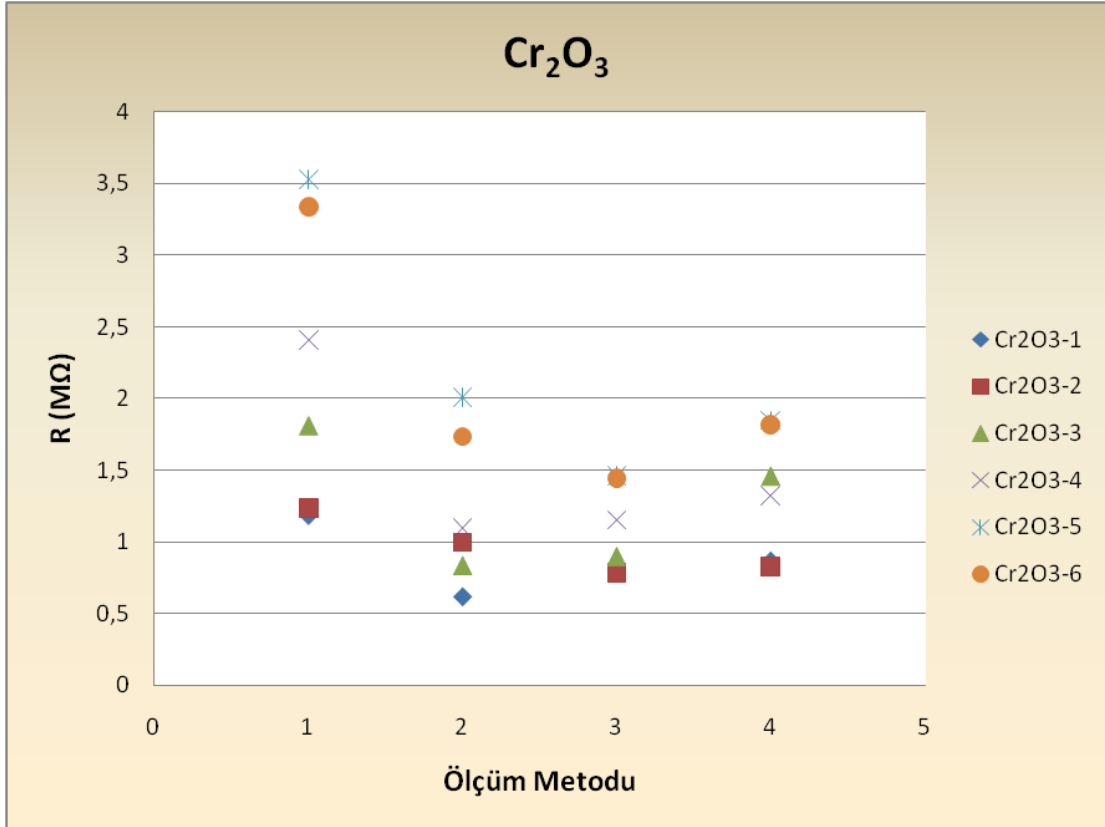
Numune Tipi	Kalınlık (mm)	Numune Numarası	Numune Tipi	Kalınlık (mm)	Numune Numarası
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,3	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -1	NiAl + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> 60/40	0,3	NiAl + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> (60/40)-1
	0,3	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -2		0,3	NiAl + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> (60/40)-2
	0,5	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -3		0,5	NiAl + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> (60/40)-3
	0,5	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -4		0,5	NiAl + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> (60/40)-4
	1	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -5		1	NiAl + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> (60/40)-5
	1	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -6		1	NiAl + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> (60/40)-6
NiAl+Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,3	NiAl+Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -1	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> 97/3	0,3	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> (97/3)-1
	0,3	NiAl+Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -2		0,3	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> (97/3)-2
	0,5	NiAl+Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -3		0,5	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> (97/3)-3
	0,5	NiAl+Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -4		0,5	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> (97/3)-4
	1	NiAl+Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -5		1	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> (97/3)-5
	1	NiAl+Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -6		1	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> (97/3)-6
NiAl + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> 97/3	0,3	NiAl + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> (97/3)-1	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> 60/40	0,3	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> (60/40)-1
	0,3	NiAl + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> (97/3)-2		0,3	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> (60/40)-2
	0,5	NiAl + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> (97/3)-3		0,5	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> (60/40)-3
	0,5	NiAl + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> (97/3)-4		0,5	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> (60/40)-4
	1	NiAl + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> (97/3)-5		1	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> (60/40)-5
	1	NiAl + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> (97/3)-6		1	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> (60/40)-6

## 7.1 Elektriksel Direnç Ölçümü Deneyleri Sonuçları

Çizelge 7.2’de görüldüğü üzere kullanılan elektriksel direnç ölçüm metotları grafiklerde gösterim kolaylığı olması açısından numaralandırılmışlardır. Elektriksel direnç değerlerinin gösterildiği grafiklerde X eksenini ölçüm metotlarını, Y eksenini ise x. metotla elde edilen ölçüm değerlerini ifade etmektedir. Şekil 7.1’den Şekil 7.6’ya kadar elektriksel direnç ölçüm metotları ile elde edilmiş kaplama numunelerine ait elektriksel direnç değerleri verilmiştir.

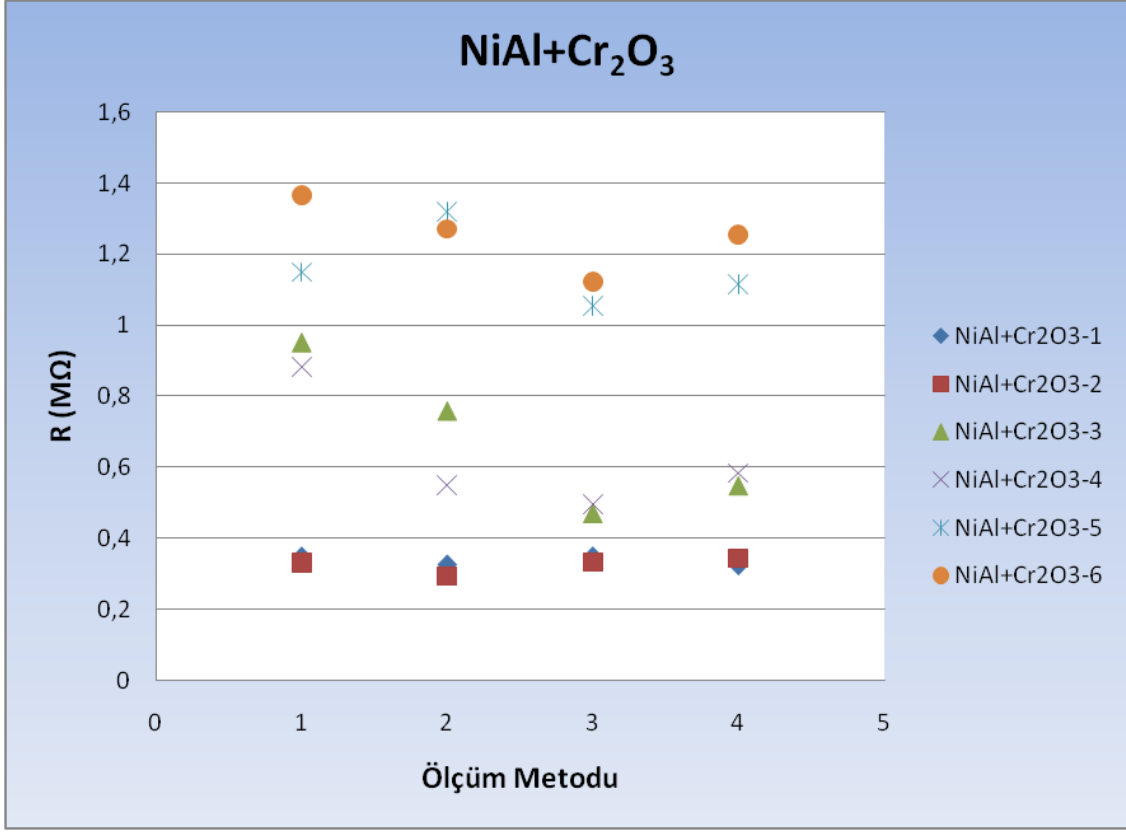
Çizelge 7.2 Ölçüm metotlarının numaralandırılması

Metot Numarası	Elektriksel Direnç Ölçümünde Kullanılan Metot
1	Sıfır Ölçüm Metodu
2	İki Nokta Ölçüm Metodu
3	Dört Nokta Ölçüm Metodu
4	Dört Nokta Prob Metodu
5	Van Der Pauw Metodu

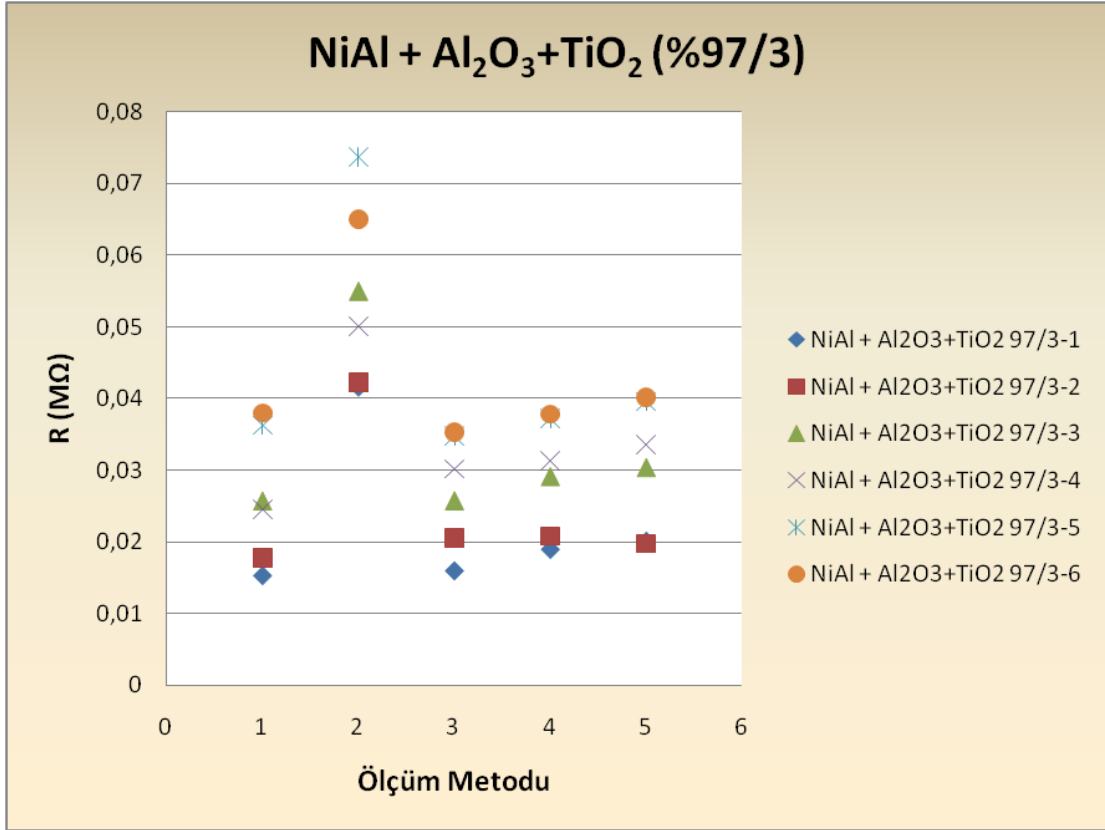


Şekil 7.1 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> numuneleri elektriksel direnç değerleri

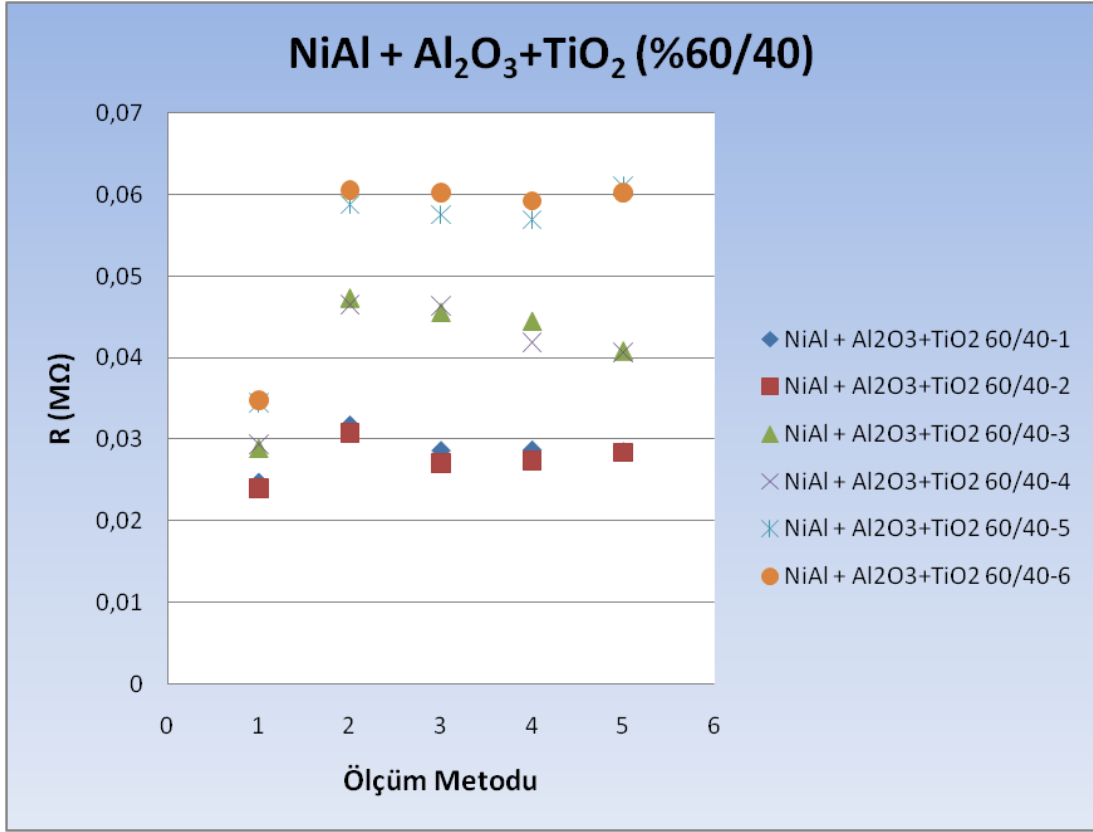




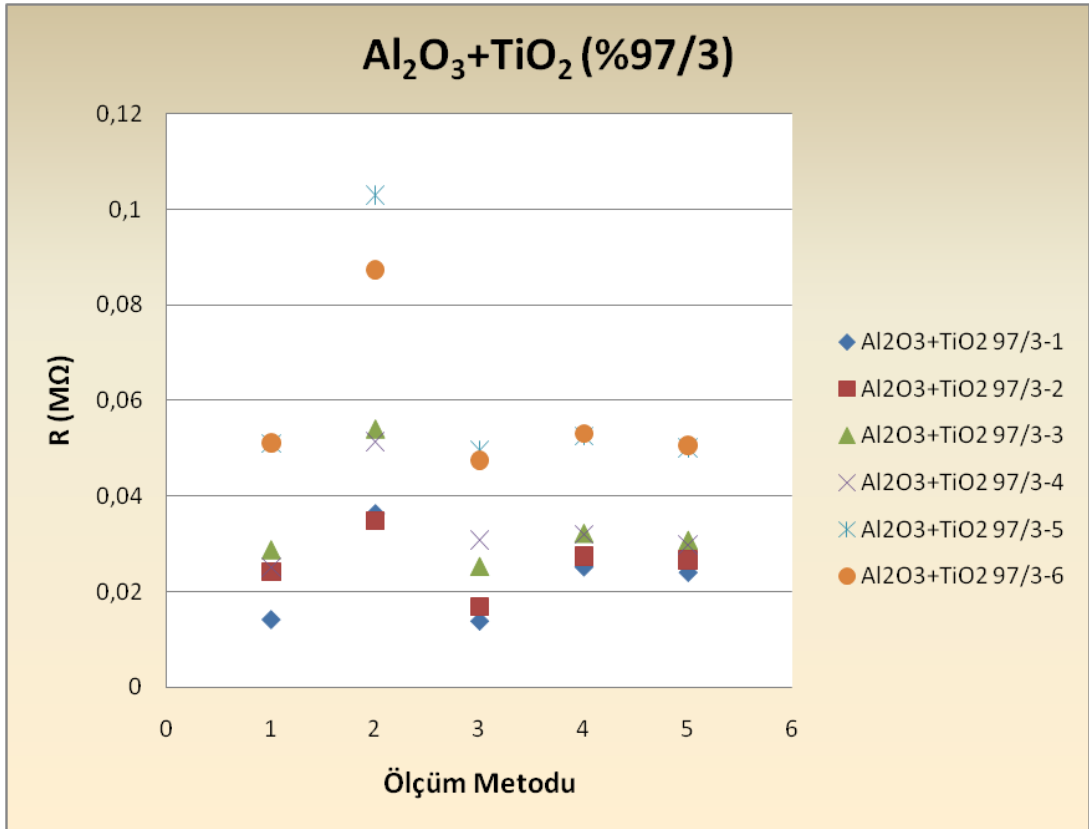
Şekil 7.2 NiAl+Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> numuneleri elektriksel direnç değerleri



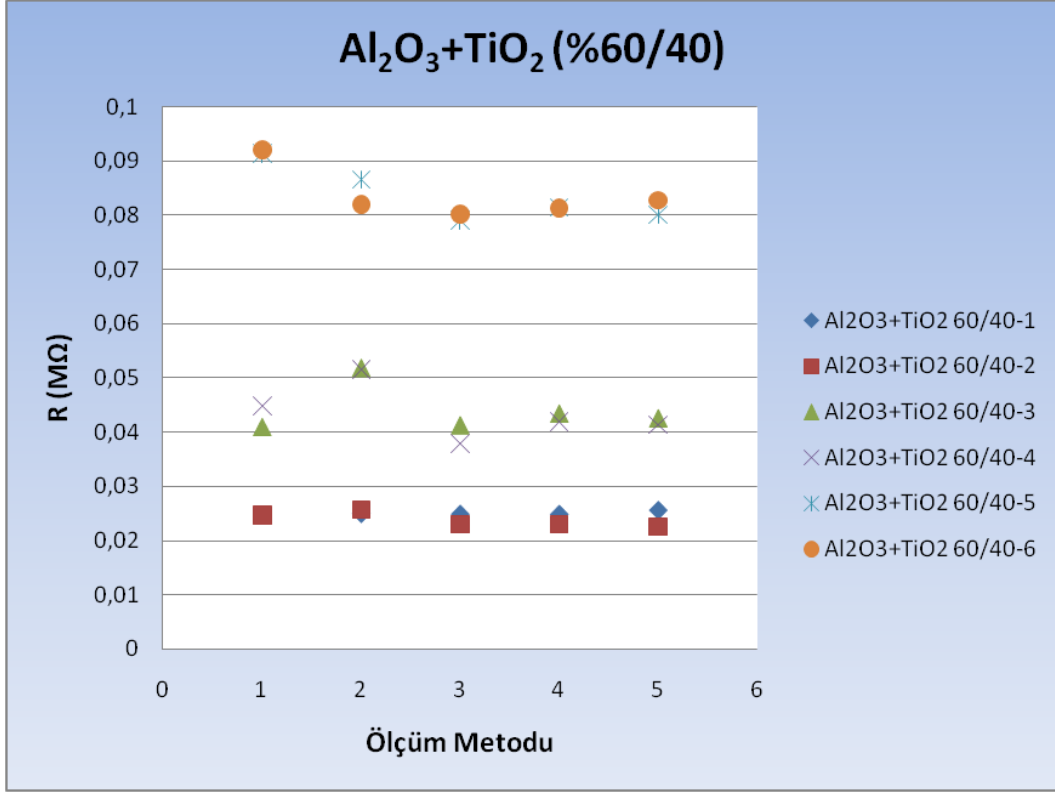
Şekil 7.3 NiAl+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiO<sub>2</sub> (%97/3) numuneleri elektriksel direnç değerleri



Şekil 7.4 NiAl+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiO<sub>2</sub> (%60/40) numuneleri elektriksel direnç değerleri



Şekil 7.5 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiO<sub>2</sub> (%97/3) numuneleri elektriksel direnç değerleri



Şekil 7.6 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiO<sub>2</sub> (%60/40) numuneleri elektriksel direnç değerleri

Çizelge 7.3'ten Çizelge 7.5'e kadar numunelerin kaplama kalınlığına göre elektriksel direnç ölçüm metotları ile elde edilen ortalama elektriksel direnç değerleri verilmiştir.

Çizelge 7.3 0,3 mm kalınlığa sahip numunelerin ortalama direnç değerleri

Kalınlık 0,3 mm	Sıfır Ölçüm Metodu (MΩ)	İki Nokta Ölçüm Metodu (MΩ)	Dört Nokta Ölçüm Metodu (MΩ)	Dört Nokta Prob Metodu (MΩ)	Van Der Pauw (MΩ)
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,20825	0,806605	0,792862	0,846794	
NiAl+Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,339625	0,310314	0,341146	0,333802	
NiAl+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> (%97/3)	0,016475	0,041945	0,018206	0,019867	0,019904
NiAl+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> (%60/40)	0,024325	0,031275	0,027863	0,028037	0,028413
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> (%97/3)	0,019213	0,035543	0,015366	0,026294	0,025347
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> (%60/40)	0,02465	0,025302	0,023876	0,0239	0,024041

Çizelge 7.4 0,5 mm kalınlığa sahip numunelerin ortalama direnç değerleri

Kalınlık 0,3 mm	Sıfır Ölçüm Metodu (MΩ)	İki Nokta Ölçüm Metodu (MΩ)	Dört Nokta Ölçüm Metodu (MΩ)	Dört Nokta Prob Metodu (MΩ)	Van Der Pauw (MΩ)
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,11	0,966795	1,028336	1,391669	
NiAl+Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,916875	0,653137	0,481525	0,564951	
NiAl+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> (%97/3)	0,025075	0,052597	0,027939	0,030214	0,031955
NiAl+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> (%60/40)	0,029138	0,046983	0,04603	0,043236	0,040792
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> (%97/3)	0,026988	0,052852	0,028133	0,032177	0,030336
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> (%60/40)	0,042788	0,051721	0,039481	0,042636	0,041866

Çizelge 7.5 1 mm kalınlığa sahip numunelerin ortalama direnç değerleri

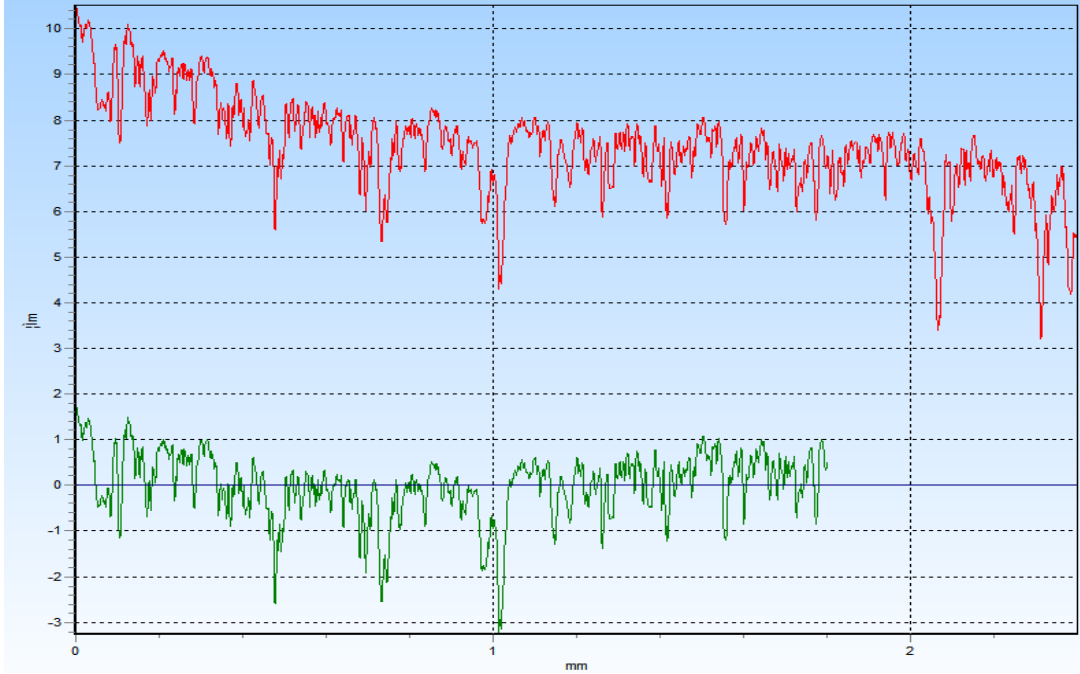
Kalınlık 0,3 mm	Sıfır Ölçüm Metodu (MΩ)	İki Nokta Ölçüm Metodu (MΩ)	Dört Nokta Ölçüm Metodu (MΩ)	Dört Nokta Prob Metodu (MΩ)	Van Der Pauw (MΩ)
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,43125	1,872241	1,454303	1,835869	
NiAl+Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,257625	1,295942	1,088285	1,184957	
NiAl+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> (%97/3)	0,0372	0,069414	0,035079	0,037571	0,03991
NiAl+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> (%60/40)	0,034663	0,059725	0,058939	0,058108	0,06066
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> (%97/3)	0,051088	0,09529	0,04853	0,052879	0,050401
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> (%60/40)	0,09175	0,084379	0,079663	0,081426	0,081472

## 7.2 Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü Deney Sonuçları

Yüzey pürüzlülüğü deneyleri sonucunda elde edilen bulgular Şekil 7.7'den Şekil 7.24'e kadar verilmiştir. Grafiklerde görülen yeşil renkli çizgi en küçük kareler metoduna göre çizilmiş yüzey pürüzlülüğünü, kırmızı çizgi ise filtrelenmemiş yüzey profilini göstermektedir.



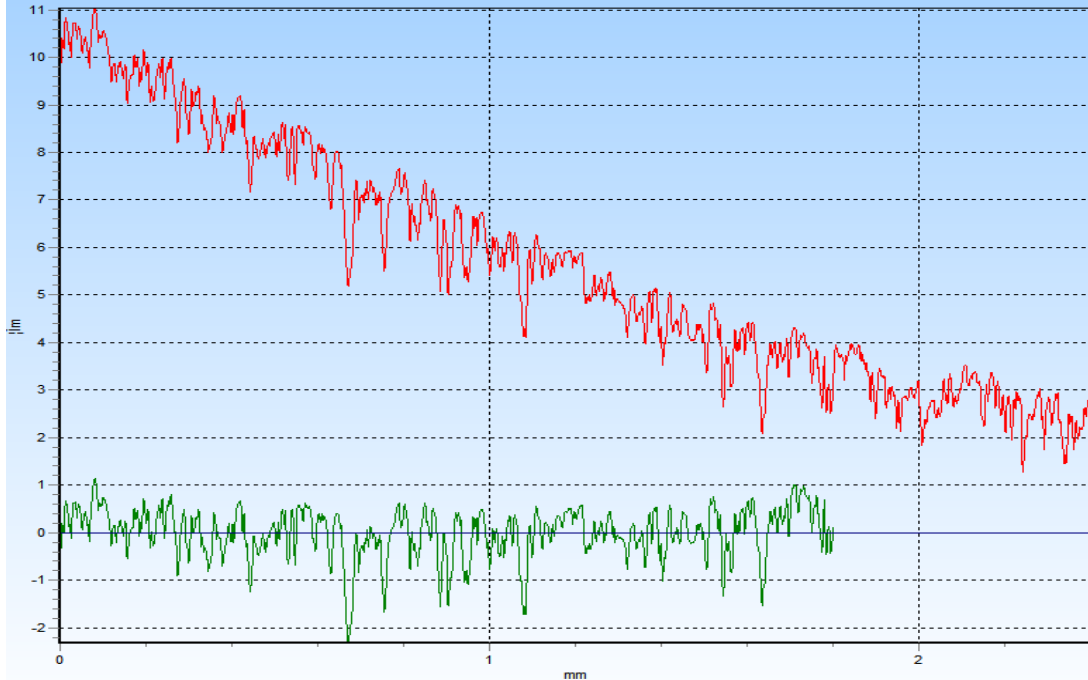
Ra =1068 nm	Rq =1420 nm	Rz =7273 nm	Rt =1026 nm
Rp =2333 nm	Rv =4940 nm	RS = 413 mm	RSm = 585mm




Şekil 7.7 0,3mm Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> numuneleri yüzey pürüzlülüğü ölçüm değerleri

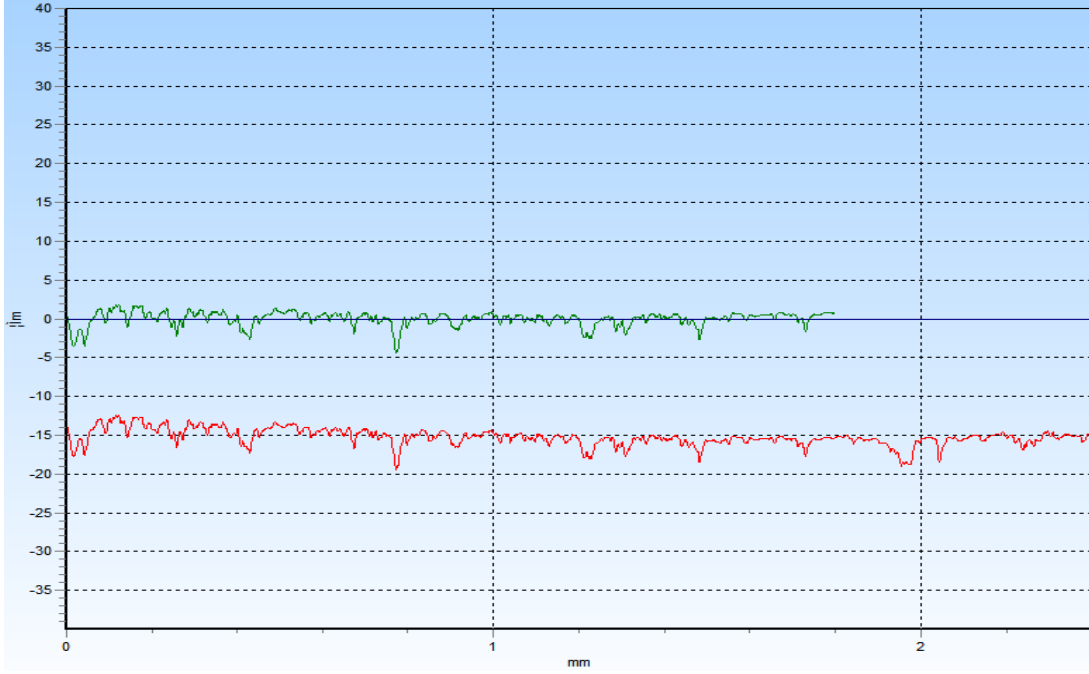


Ra = 787 nm	Rq = 1031 nm	Rz =5366 nm	Rt =7059 nm
Rp =1900 nm	Rv =3466 nm	RS =320 mm	RSm =489 mm




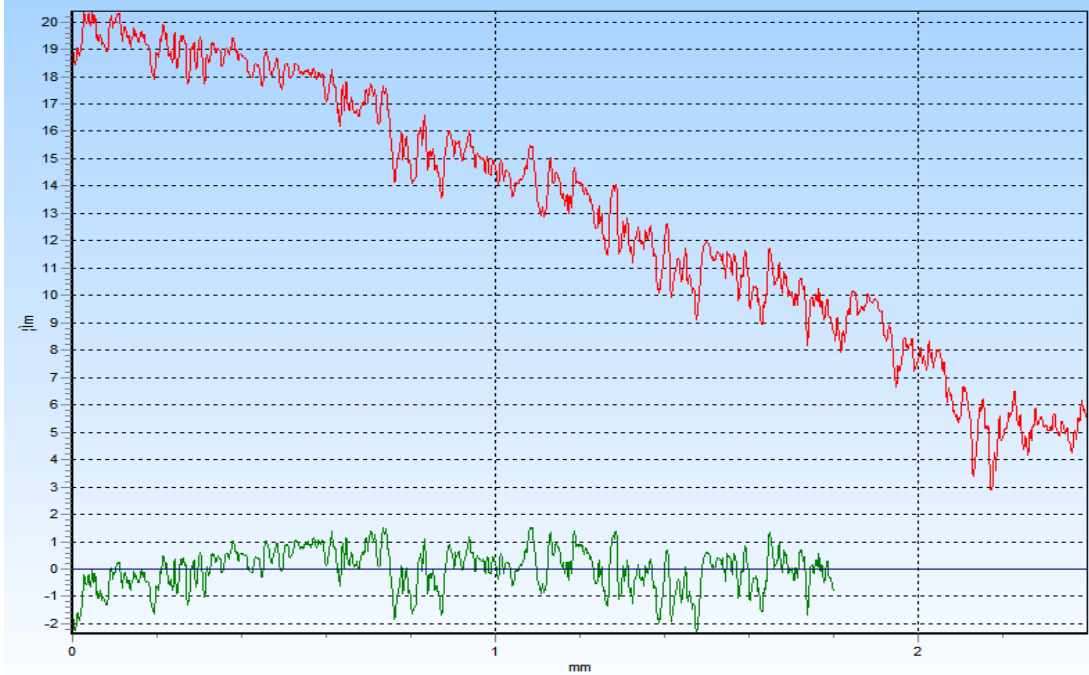
Şekil 7.8 0,3mm NiAl+Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> numuneleri yüzey pürüzlülüğü ölçüm değerleri

	Ra = 1325 nm	Rq = 1827 nm	Rz = 9686 nm	Rt = 1277 nm
	Rp = 2433 nm	Rv = 7253 nm	RS = 521 mm	RSm = 727 mm




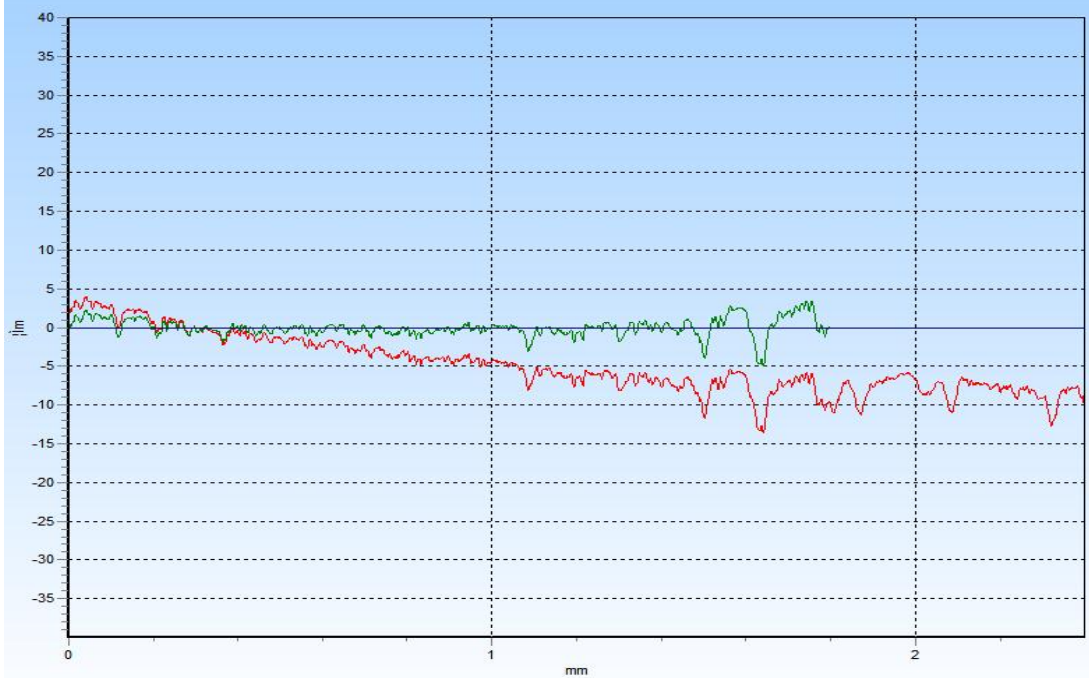
Şekil 7.9 0,3mm NiAl+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiO<sub>2</sub> (%97/3) numuneleri yüzey pürüzlülüğü ölçüm değerleri

	Ra = 1167 nm	Rq = 1473 nm	Rz = 7159 nm	Rt = 7960 nm
	Rp = 2759 nm	Rv = 4400 nm	RS = 324 mm	RSm = 510 mm




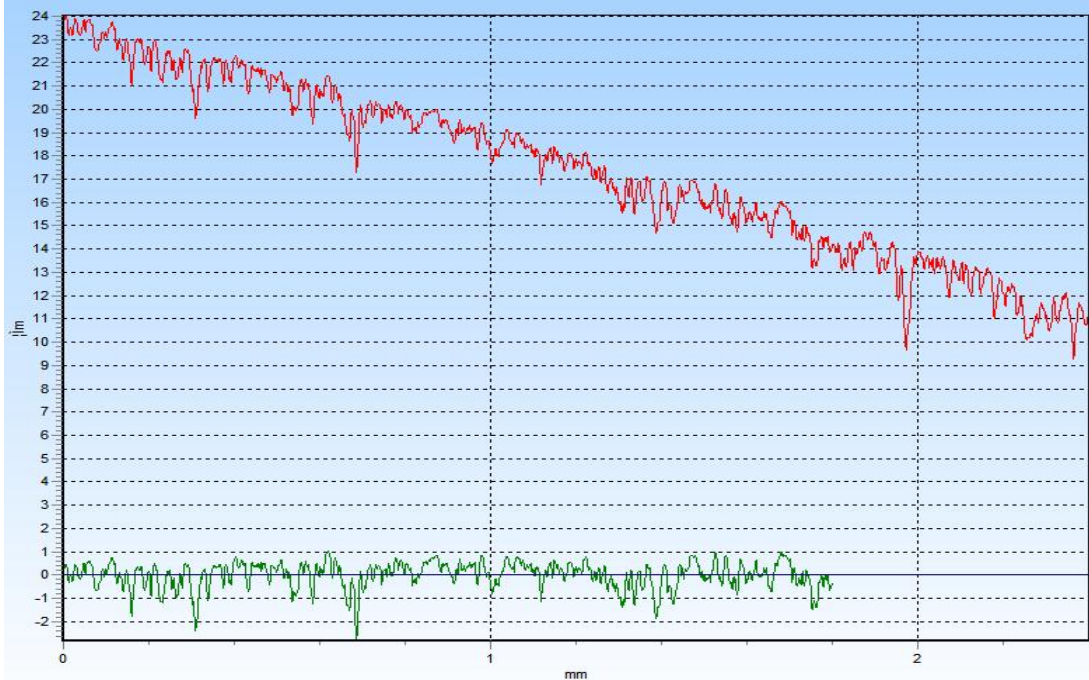
Şekil 7.10 0,3mm NiAl+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiO<sub>2</sub> (%60/40) numuneleri yüzey pürüzlülüğü ölçüm değerleri

	Ra = 1589 nm	Rq = 2141 nm	Rz = 1107 nm	Rt = 1720 nm
	Rp = 4333 nm	Rv = 6746 nm	RS = 585 mm	RSm = 923 mm




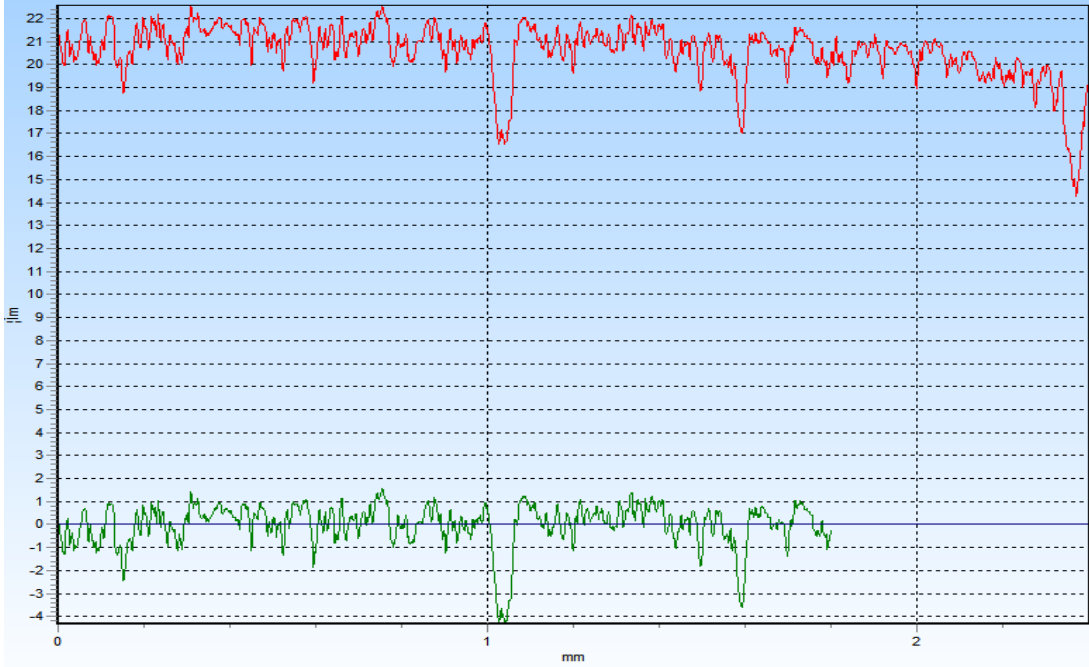
Şekil 7.11 0,3mm Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiO<sub>2</sub> (%97/3) numuneleri yüzey pürüzlülüğü ölçüm değerleri

	Ra = 1213 nm	Rq = 1495 nm	Rz = 8013 nm	Rt = 1047 nm
	Rp = 3493 nm	Rv = 4519 nm	RS = 470 mm	RSm = 685 mm




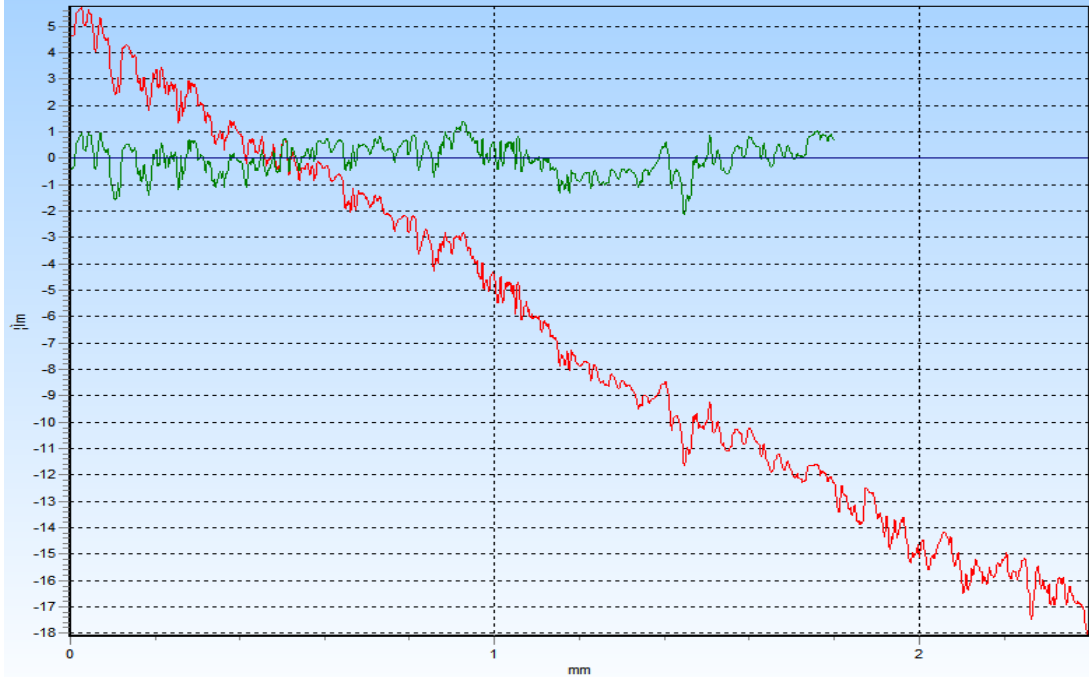
Şekil 7.12 0,3mm Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiO<sub>2</sub> (%60/40) numuneleri yüzey pürüzlülüğü ölçüm değerleri

	Ra = 1293 nm	Rq = 1829 nm	Rz = 1003 nm	Rt = 1200 nm
	Rp = 2973 nm	Rv = 7066 nm	RS = 380 nm	RSm = 571 nm




Şekil 7.13 0,5 mm Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> numuneleri yüzey pürüzlülüğü ölçüm değerleri

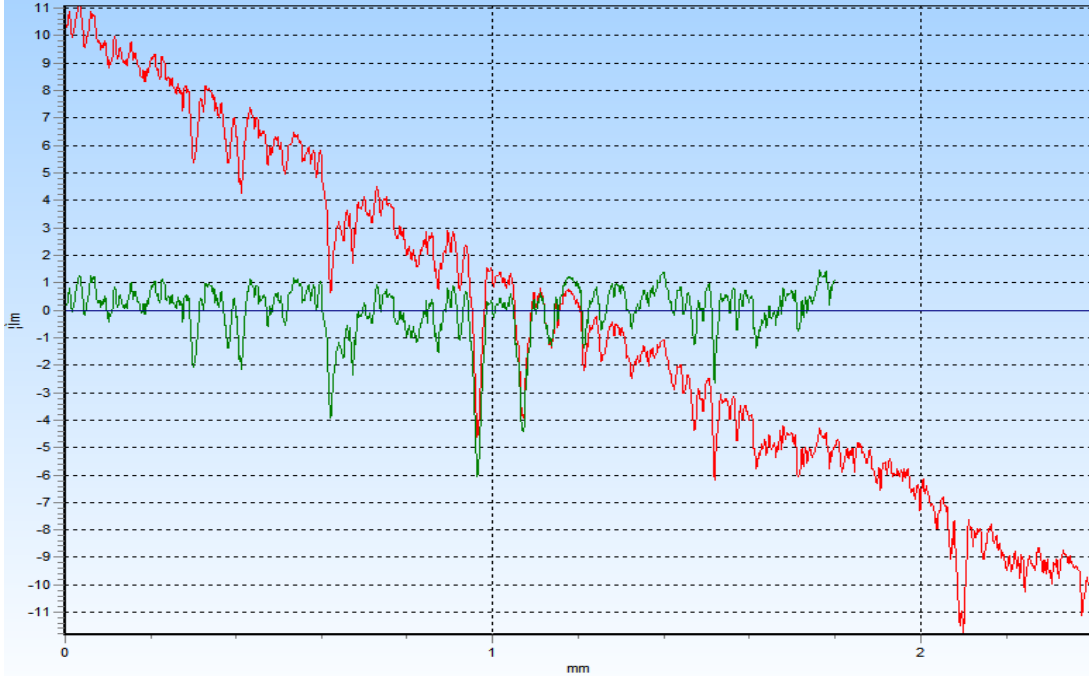
	Ra = 978 nm	Rq = 1195 nm	Rz = 5753 nm	Rt = 7239 nm
	Rp = 2326 nm	Rv = 3426 nm	RS = 413 nm	RSm = 750 nm




Şekil 7.14 0,5 mm NiAl+Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> numuneleri yüzey pürüzlülüğü ölçüm değerleri

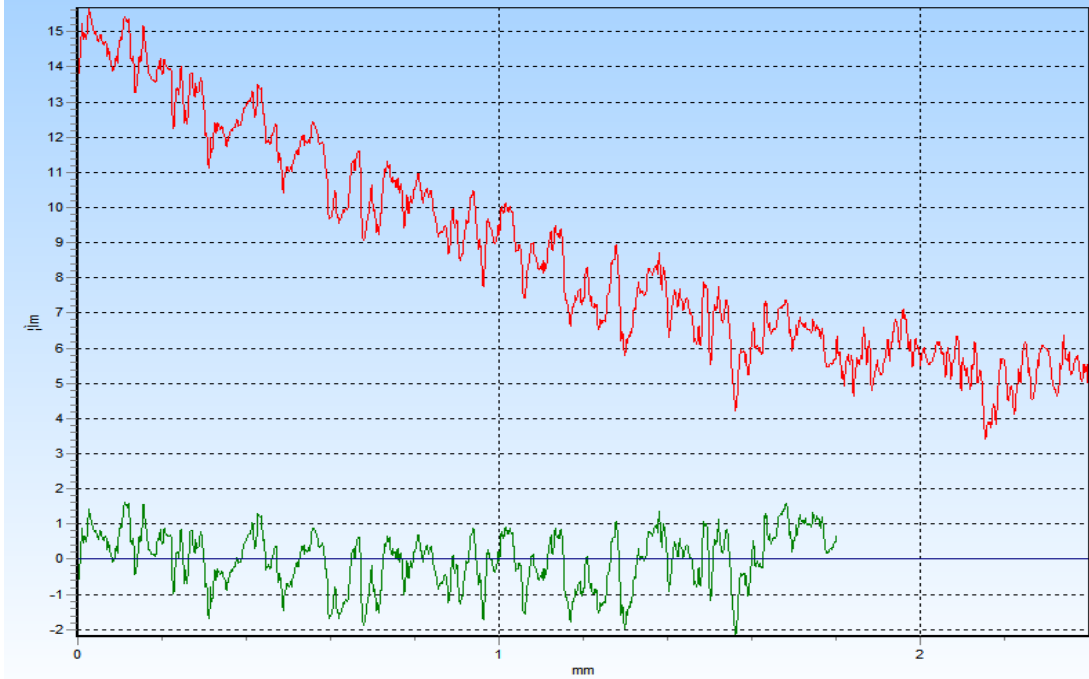


	Ra = 1394 nm	Rq = 1893 nm	Rz = 1007 nm	Rt = 1538 nm
	Rp = 2680 nm	Rv = 7393 nm	RS = 615 mm	RSm = 857 mm



Şekil 7.15 0,5mm NiAl+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiO<sub>2</sub> (%97/3) numuneleri yüzey pürüzlülüğü ölçüm değerleri

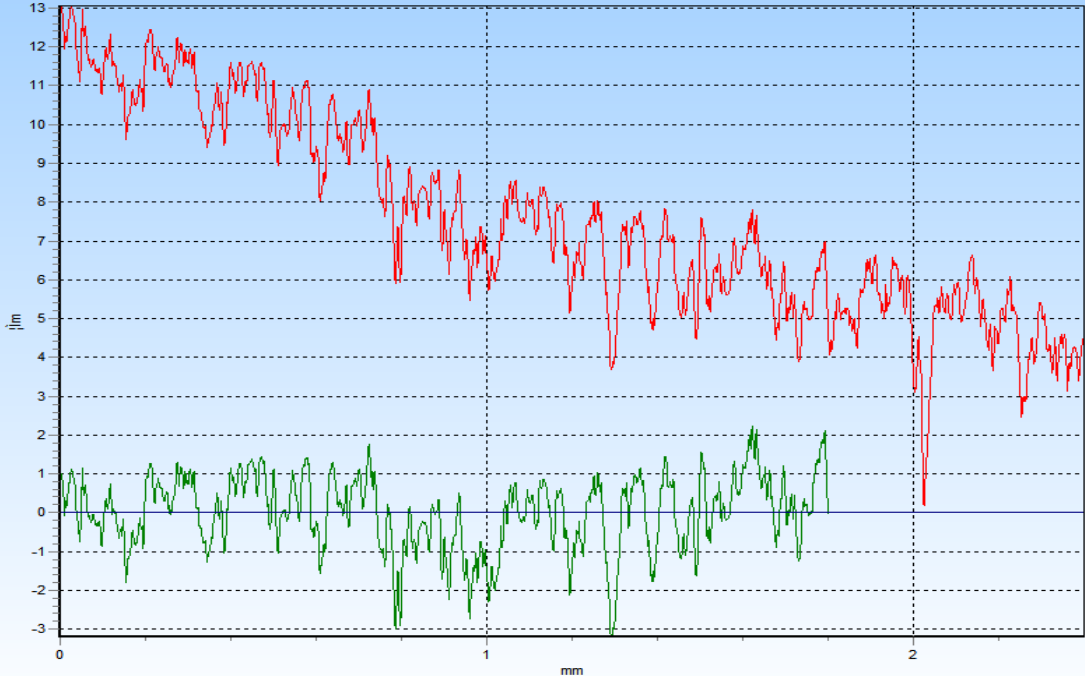
	Ra = 1288 nm	Rq = 1561 nm	Rz = 6666 nm	Rt = 7760 nm
	Rp = 2773 nm	Rv = 3893 nm	RS = 461 mm	RSm = 857 mm



Şekil 7.16 0,5mm NiAl+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiO<sub>2</sub> (%60/40) numuneleri yüzey pürüzlülüğü ölçüm değerleri



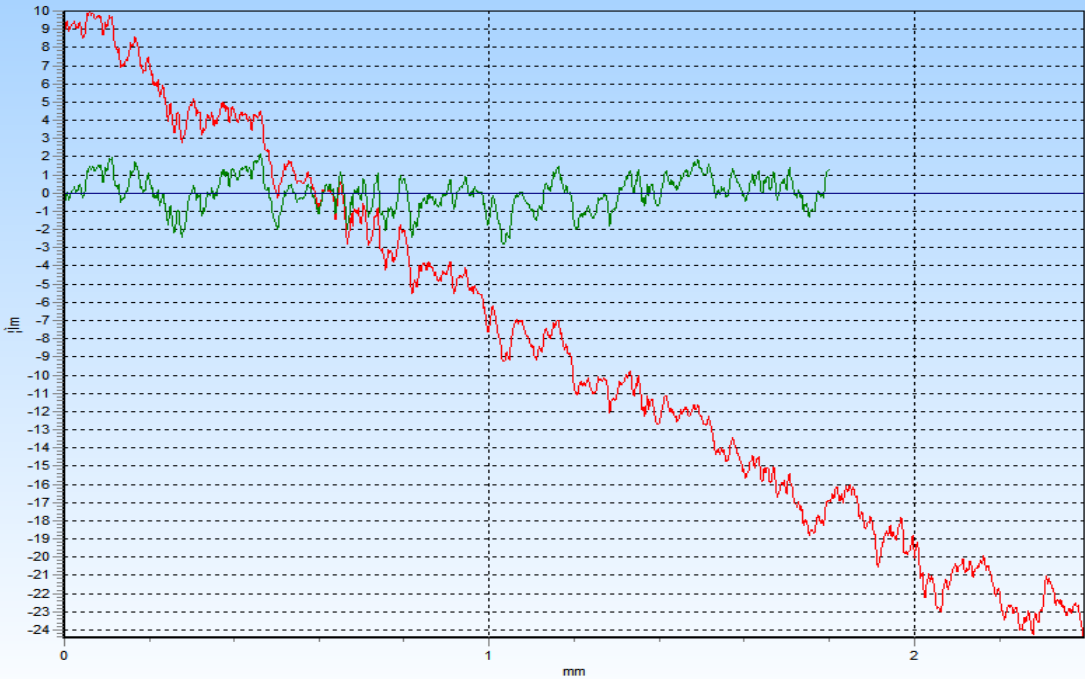
Ra = 1727 nm	Rq = 1892 nm	Rz = 9146 nm	Rt = 1110 nm
Rp = 3700 nm	Rv = 5446 nm	RS = 369 nm	RSm = 705 nm




Şekil 7.17 0,5mm Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiO<sub>2</sub> (%97/3) numuneleri yüzey pürüzlülüğü ölçüm değerleri

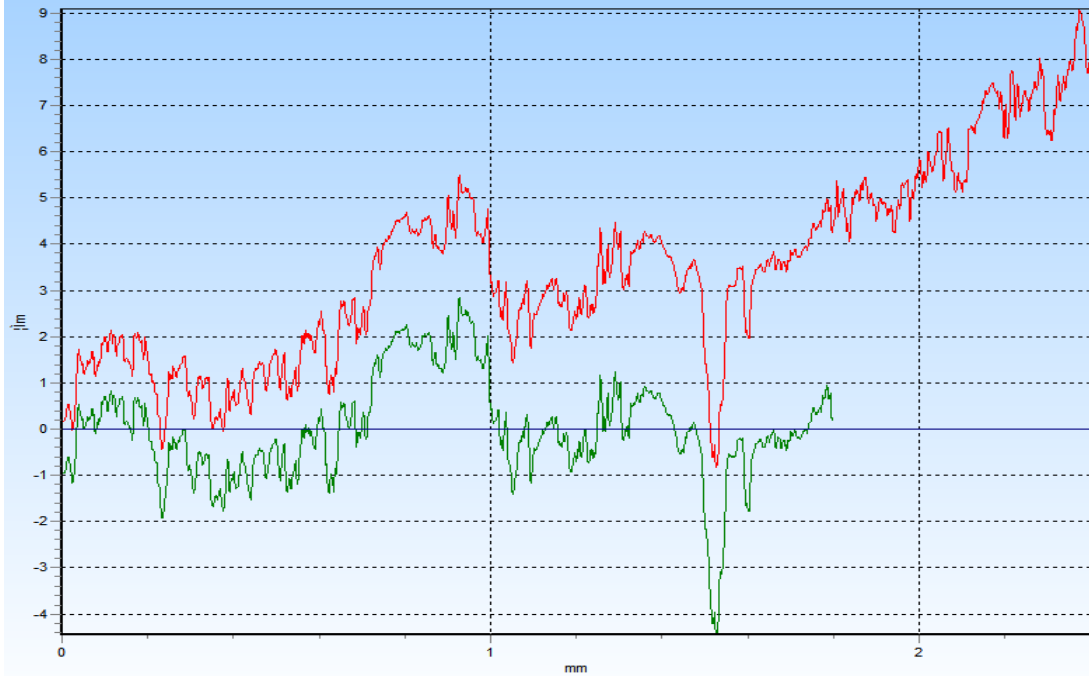


Ra = 1453 nm	Rq = 1856 nm	Rz = 8533 nm	Rt = 1007 nm
Rp = 3653 nm	Rv = 4880 nm	RS = 428 nm	RSm = 923 nm




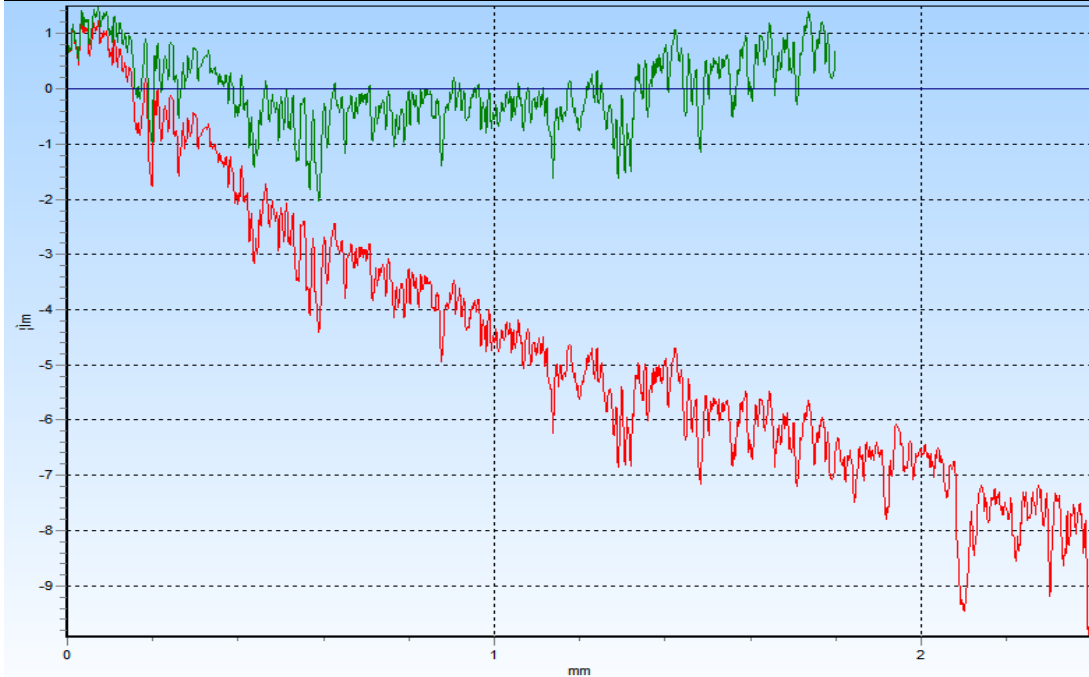
Şekil 7.18 0,5mm Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiO<sub>2</sub> (%60/40) numuneleri yüzey pürüzlülüğü ölçüm değerleri

	Ra = 1650 nm	Rq = 2221 nm	Rz = 8659 nm	Rt = 1494 nm
	Rp = 3353 nm	Rv = 5306 nm	RS = 1043 mm	RSm = 2181 mm




Şekil 7.19 1 mm Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> numuneleri yüzey pürüzlülüğü ölçüm değerleri

	Ra = 1053 nm	Rq = 1280 nm	Rz = 5713 nm	Rt = 7219 nm
	Rp = 2113 nm	Rv = 3599 nm	RS = 324 mm	RSm = 800 mm




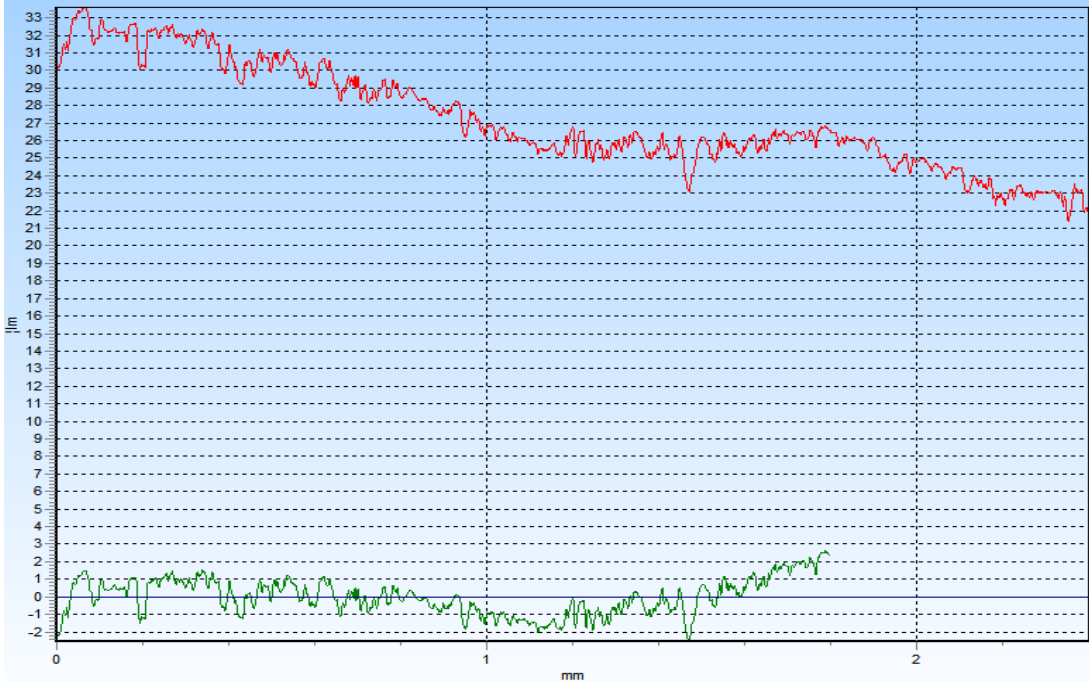
Şekil 7.20 1 mm NiAl+Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> numuneleri yüzey pürüzlülüğü ölçüm değerleri

	Ra = 1836 nm	Rq = 2309 nm	Rz = 1042 nm	Rt = 1396 nm
	Rp = 4840 nm	Rv = 5586 nm	RS = 413 mm	RSm = 888 mm




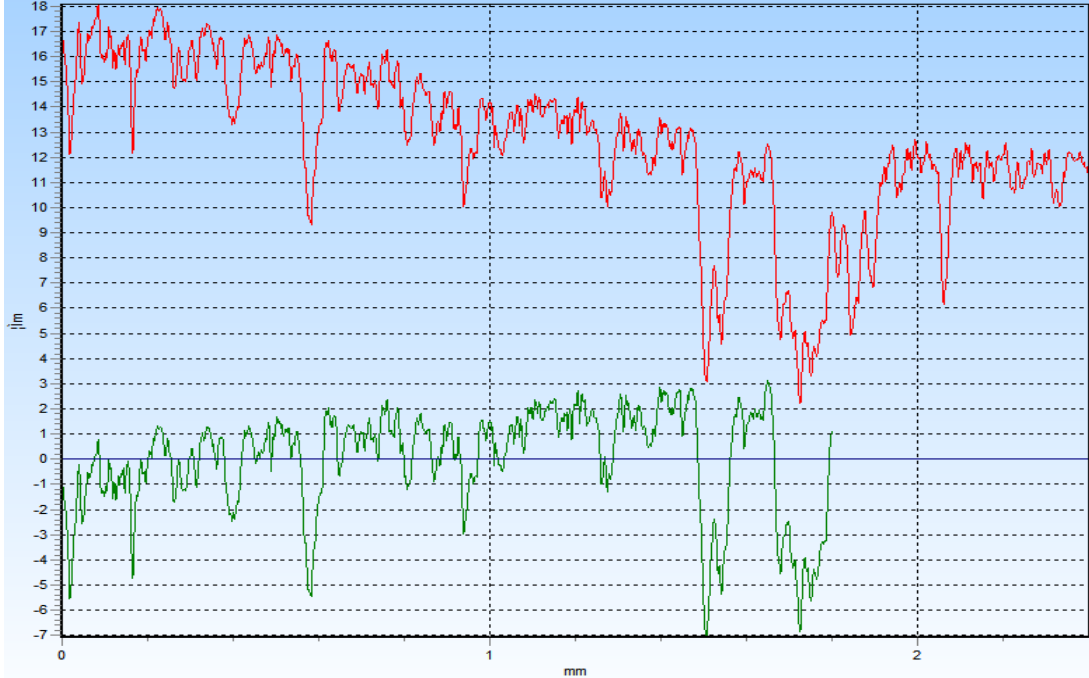
Şekil 7.21 1 mm NiAl+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiO<sub>2</sub> (%97/3) numuneleri yüzey pürüzlülüğü ölçüm değerleri

	Ra = 1704 nm	Rq = 2052 nm	Rz = 8239 nm	Rt = 1052 nm
	Rp = 3586 nm	Rv = 4653 nm	RS = 452 mm	RSm = 1263mm




Şekil 7.22 1 mm NiAl+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiO<sub>2</sub> (%60/40) numuneleri yüzey pürüzlülüğü ölçüm değerleri

	Ra = 3263 nm	Rq = 3962 nm	Rz = 1550 nm	Rt = 2084 nm
	Rp = 4880 nm	Rv = 1062 nm	RS = 600 mm	RSm = 1411 mm



Şekil 7.23 1 mm Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiO<sub>2</sub> (%97/3) numuneleri yüzey pürüzlülüğü ölçüm değerleri

	Ra = 1858 nm	Rq = 2494 nm	Rz = 1054 nm	Rt = 1723 nm
	Rp = 3173 nm	Rv = 7373 nm	RS = 705 mm	RSm = 1600 mm



Şekil 7.24 1 mm Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiO<sub>2</sub> (%60/40) numuneleri yüzey pürüzlülüğü ölçüm değerleri

Çizelge 7.6'da kalınlık ve kaplama malzemesine bağı olarak pürüzlülük ölçüm deneyleri sonucu elde edilen  $R_a$  ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri ve numune kodları verilmiştir.

Çizelge 7.6 Aritmetik ortalama Pürüzlülük değerleri

Kaplama Tipi	Numune Kodu	Kaplama Kalınlığı	Aritmetik Ortalama Yüzey Pürüzlülükleri ( $R_a$ ) nm
$Cr_2O_3$	1	0,3	1068
		0,5	1293
		1	1650
Kaplama Tipi	Numune Kodu	Kaplama Kalınlığı	Aritmetik Ortalama Yüzey Pürüzlülükleri ( $R_a$ ) nm
NiAl+ $Cr_2O_3$	2	0,3	787
		0,5	978
		1	1053
Kaplama Tipi	Numune Kodu	Kaplama Kalınlığı	Aritmetik Ortalama Yüzey Pürüzlülükleri ( $R_a$ ) nm
NiAl + $Al_2O_3$ + $TiO_2$ 97/3	3	0,3	1325
		0,5	1394
		1	1836
Kaplama Tipi	Numune Kodu	Kaplama Kalınlığı	Aritmetik Ortalama Yüzey Pürüzlülükleri ( $R_a$ ) nm
NiAl + $Al_2O_3$ + $TiO_2$ 60/40	4	0,3	1167
		0,5	1288
		1	1704
Kaplama Tipi	Numune Kodu	Kaplama Kalınlığı	Aritmetik Ortalama Yüzey Pürüzlülükleri ( $R_a$ ) nm
$Al_2O_3$ + $TiO_2$ 97/3	5	0,3	1589
		0,5	1727
		1	3263
Kaplama Tipi	Numune Kodu	Kaplama Kalınlığı	Aritmetik Ortalama Yüzey Pürüzlülükleri ( $R_a$ ) nm
$Al_2O_3$ + $TiO_2$ 60/40	6	0,3	1213
		0,5	1453
		1	1858

### 7.3 Mikrosertlik Ölçümü Deney Sonuçları

Yapılan Vickers mikrosertlik deneyi sonucunda elde edilen yüzey mikrosertliğine ait veriler Çizelge 7.7’de verilmiştir. Deneyler 200gr’lık yük uygulanarak yapılmıştır. Altlık malzeme olarak kullanılan Al 6082 malzemenin sertliği 114 HV<sub>0,2</sub> olarak ölçülmüştür.

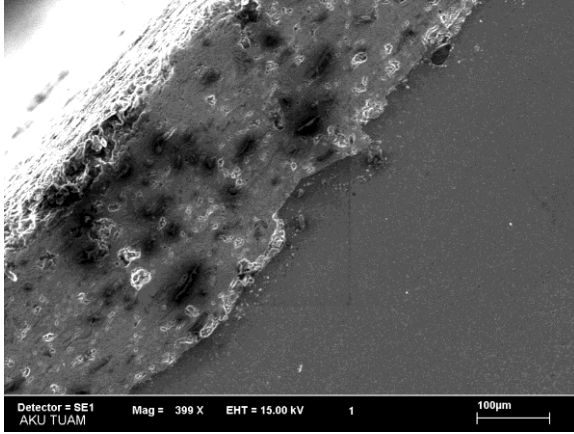
Çizelge 7.7 Vickers mikrosertlik değerleri

Kaplama Tipi	Numune Kodu	Kaplama Kalınlığı	Mikrosertlik (HV <sub>0,2</sub> )
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1	0,3	985
		0,5	1218
		1	1138
Kaplama Tipi	Numune Kodu	Kaplama Kalınlığı	Mikrosertlik (HV <sub>0,2</sub> )
NiAl+Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2	0,3	1314
		0,5	1225
		1	869
Kaplama Tipi	Numune Kodu	Kaplama Kalınlığı	Mikrosertlik (HV <sub>0,2</sub> )
NiAl + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> 97/3	3	0,3	577
		0,5	623
		1	895
Kaplama Tipi	Numune Kodu	Kaplama Kalınlığı	Mikrosertlik (HV <sub>0,2</sub> )
NiAl + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> 60/40	4	0,3	780
		0,5	590
		1	1225
Kaplama Tipi	Numune Kodu	Kaplama Kalınlığı	Mikrosertlik (HV <sub>0,2</sub> )
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> 97/3	5	0,3	561
		0,5	654
		1	845
Kaplama Tipi	Numune Kodu	Kaplama Kalınlığı	Mikrosertlik (HV <sub>0,2</sub> )
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> 60/40	6	0,3	780
		0,5	565
		1	904

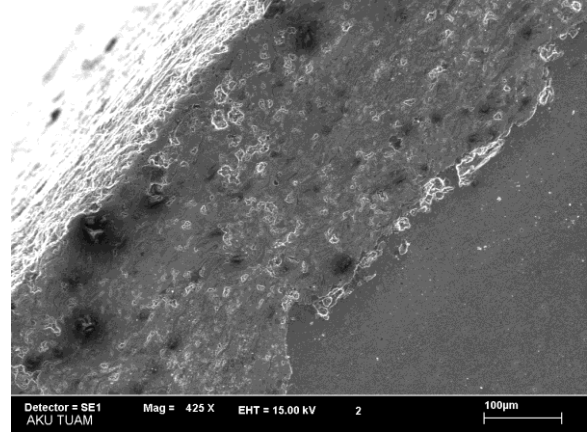
### 7.4 SEM Mikroskobu ile Alınan Mikroyapı Görüntüleri

SEM mikroskobu ile alınan, numunelere ait mikroyapı görüntüleri Resim 7.1 ile Resim 7.9 arasında verilmiştir.



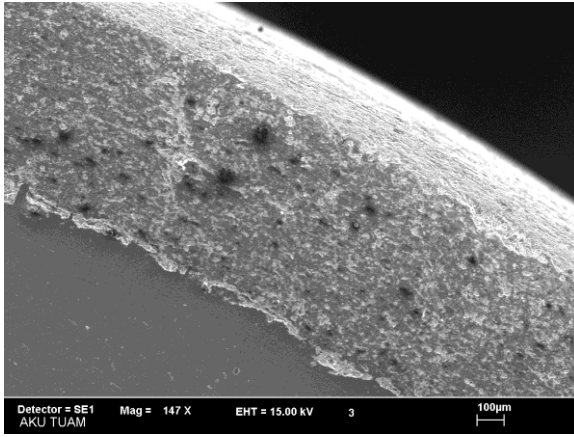


(a)

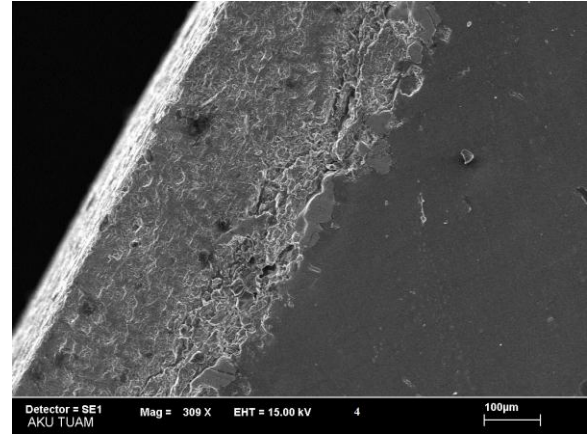


(b)

Resim 7.1 a) 0,3mm Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> numunesinin mikroyapısı,  
b) 0,5mm Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> numunesinin mikroyapısı

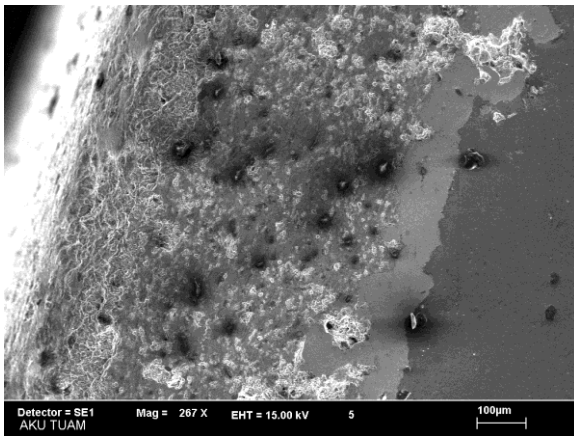


(a)

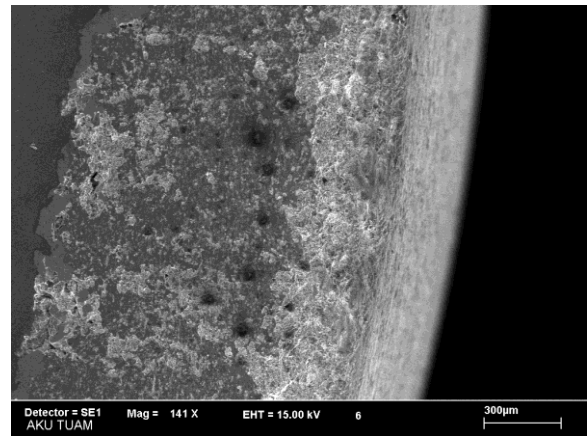


(b)

Resim 7.2 a) 1mm Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> numunesinin mikroyapısı,  
b) 0,3mm NiAl+Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> numunesinin mikroyapısı



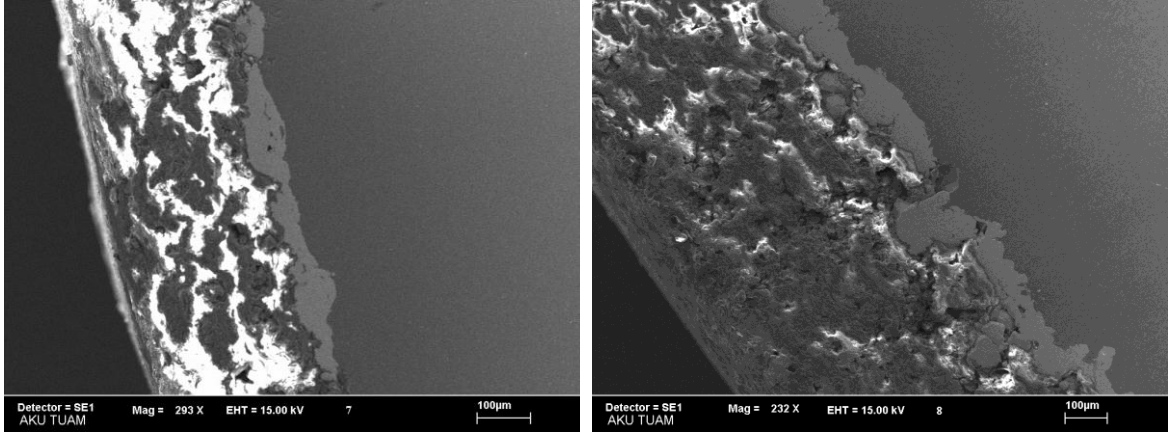
(a)



(b)

Resim 7.3 a) 0,5mm NiAl+Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> numunesinin mikroyapısı,  
b) 1mm NiAl+Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> numunesinin mikroyapısı

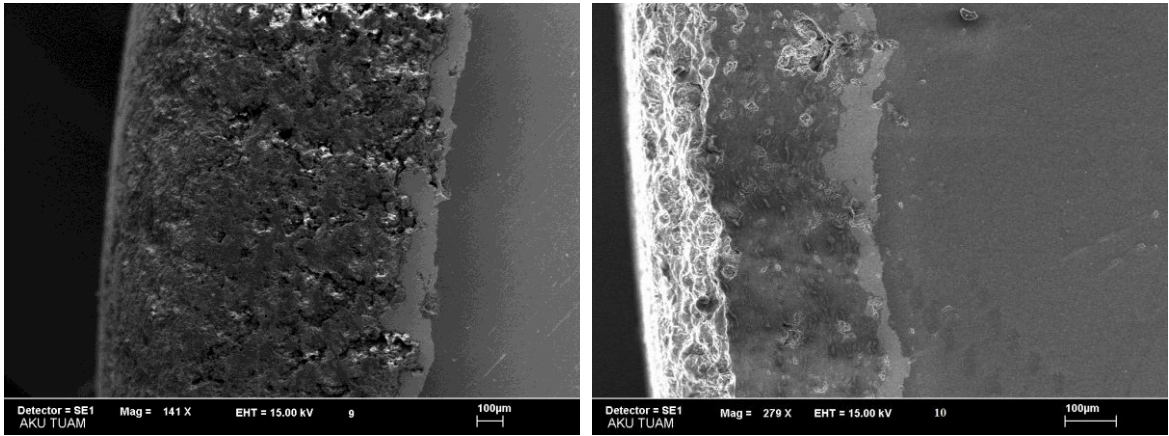




(a)

(b)

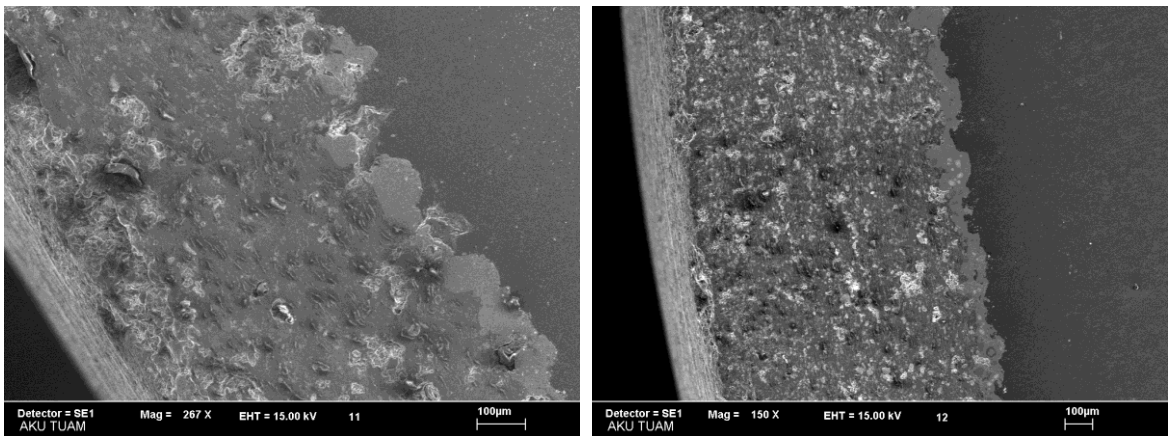
Resim 7.4 a) 0,3mm NiAl+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiO<sub>2</sub> (%97/3) numunesinin mikroyapısı ,  
 b) 0,5mm NiAl+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiO<sub>2</sub> (%97/3) numunesinin mikroyapısı



(a)

(b)

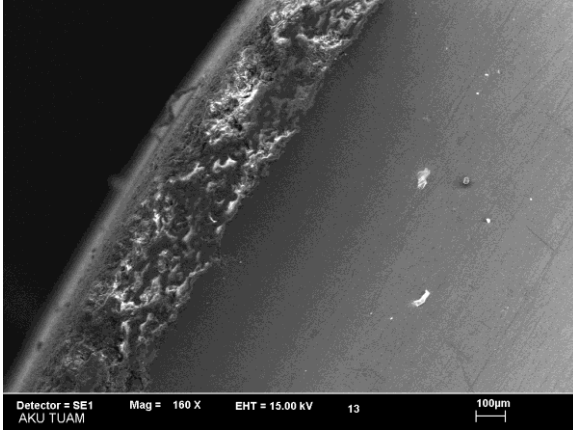
Resim 7.5 a) 1mm NiAl+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiO<sub>2</sub> (%97/3) numunesinin mikroyapısı,  
 b) 0,3mm NiAl+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiO<sub>2</sub> (%60/40) numunesinin mikroyapısı



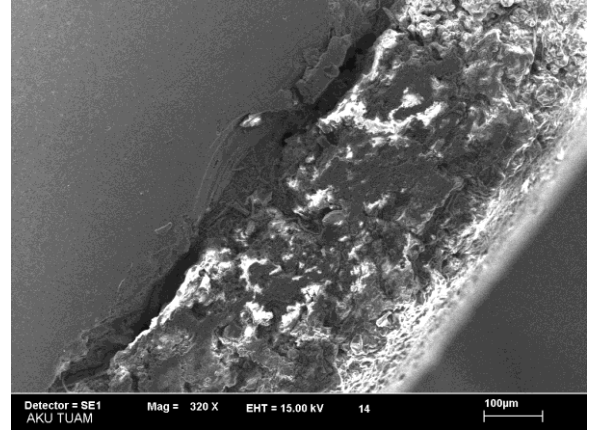
(a)

(b)

Resim 7.6 a) 0,5mm NiAl+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiO<sub>2</sub> (%60/40) numunesinin mikroyapısı,  
 b) 1mm NiAl+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiO<sub>2</sub> (%60/40) numunesinin mikroyapısı

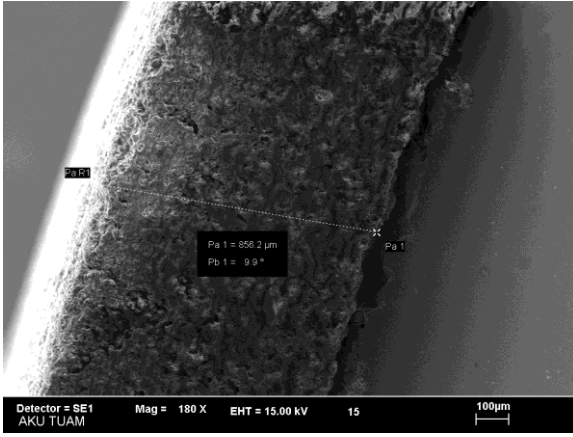


(a)

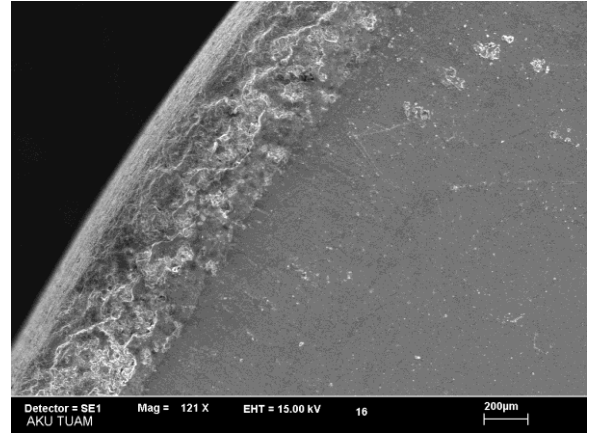


(b)

Resim 7.7 a) 0,3mm  $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiO}_2$  (%97/3) numunesinin mikroyapısı,  
b) 0,5mm  $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiO}_2$  (%97/3) numunesinin mikroyapısı

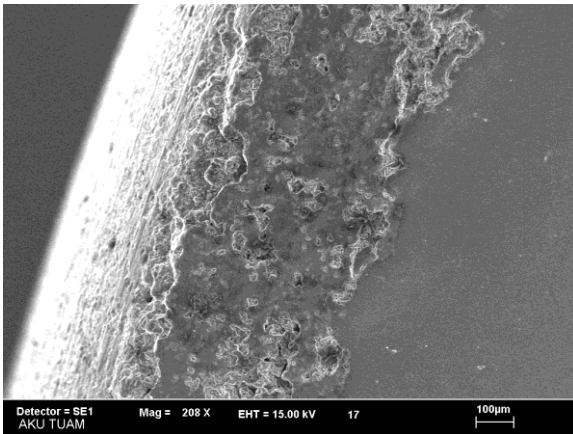


(a)

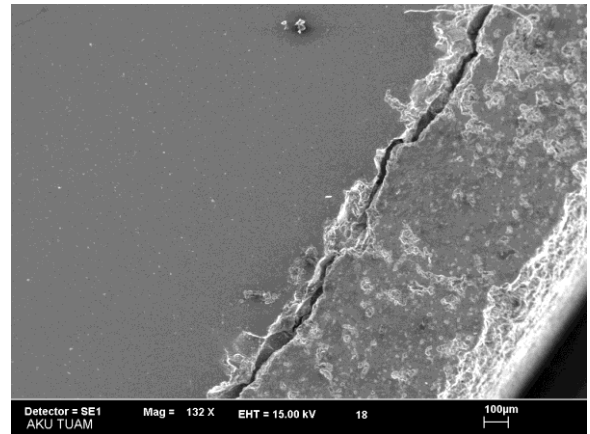


(b)

Resim 7.8 a) 1mm  $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiO}_2$  (%97/3) numunesinin mikroyapısı,  
b) 0,3mm  $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiO}_2$  (%60/40) numunesinin mikroyapısı



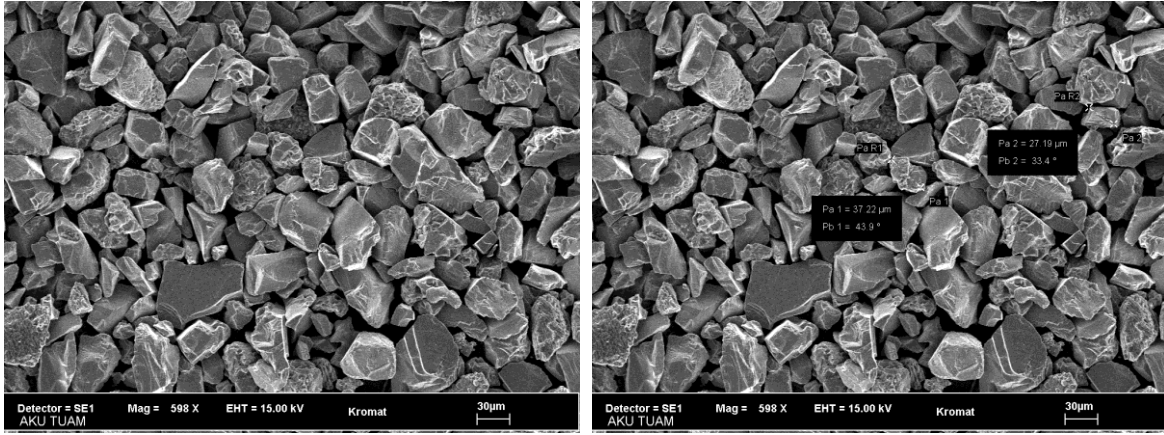
(a)



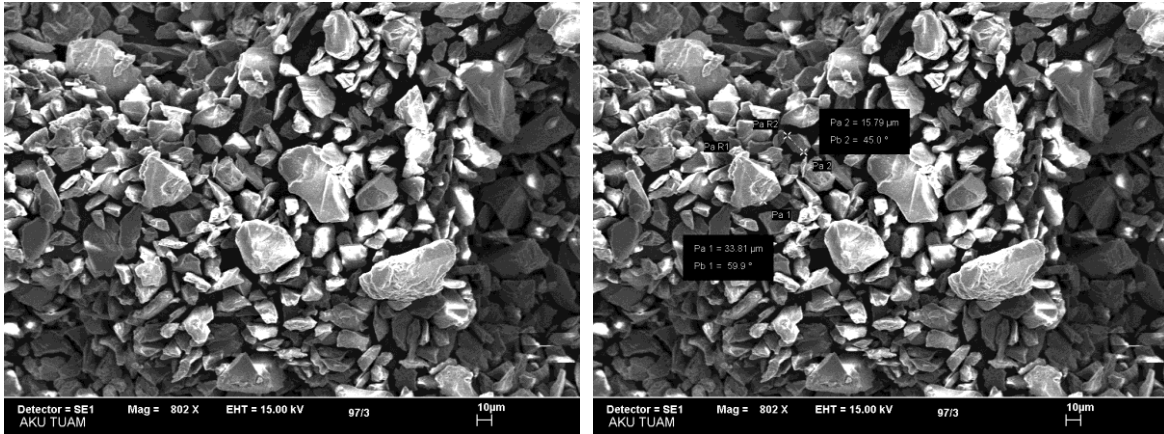
(b)

Resim 7.9 a) 0,5mm  $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiO}_2$  (%60/40) numunesinin mikroyapısı,  
b) 1mm  $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiO}_2$  (%60/40) numunesinin mikroyapısı

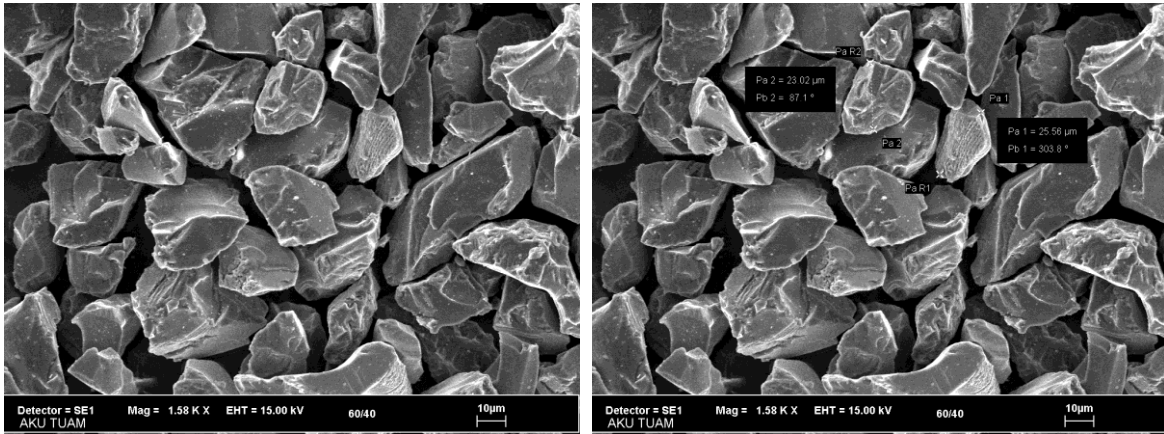
Kaplama tozlarının SEM mikroskobu görüntüleri Resim 7.10 ile Resim 7.12 arasında verilmiştir.



Resim 7.10 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplama tozu



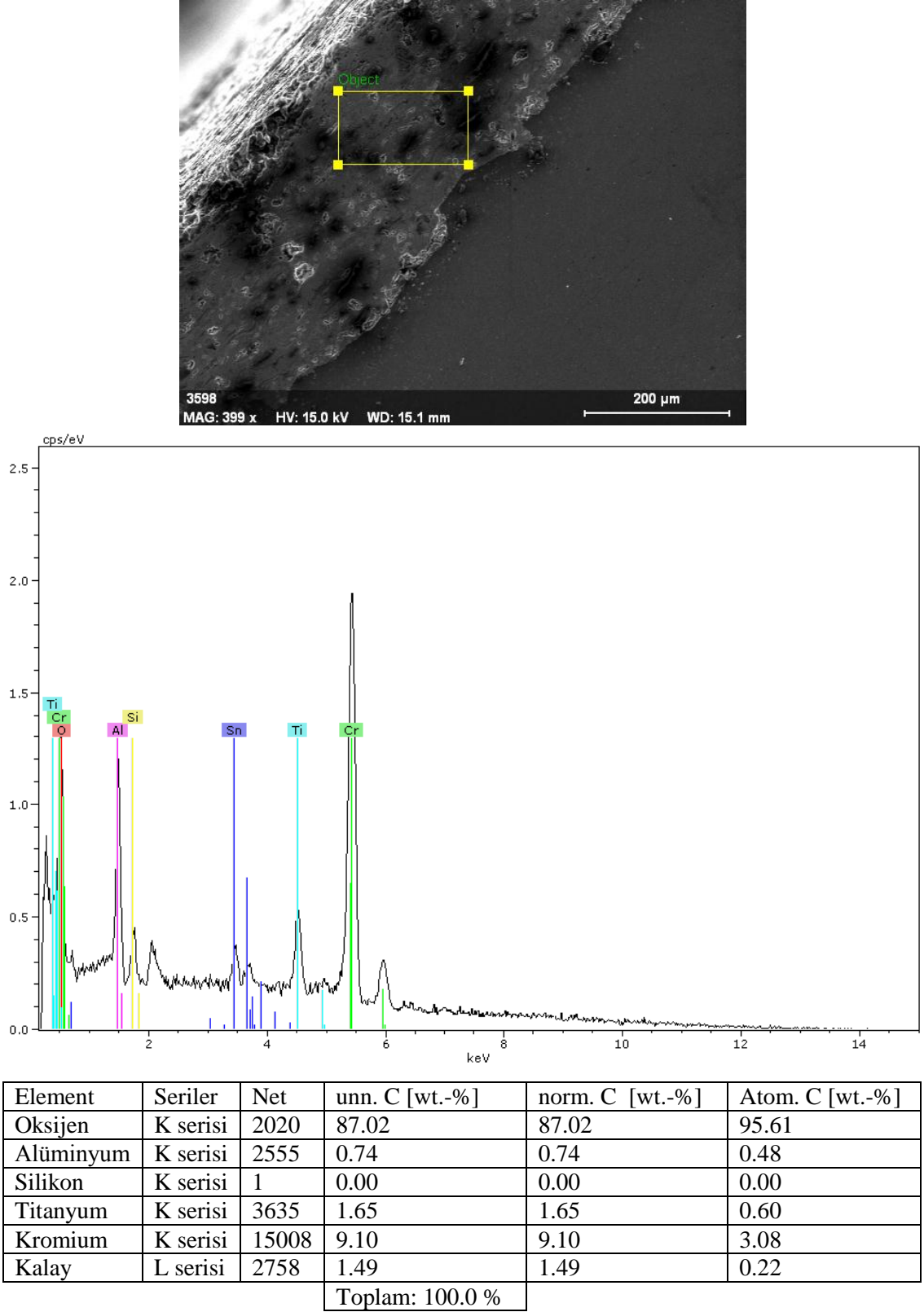
Resim 7.11 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiO<sub>2</sub> (%97/3) kaplama tozu



Resim 7.12 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiO<sub>2</sub> (%60/40) kaplama tozu

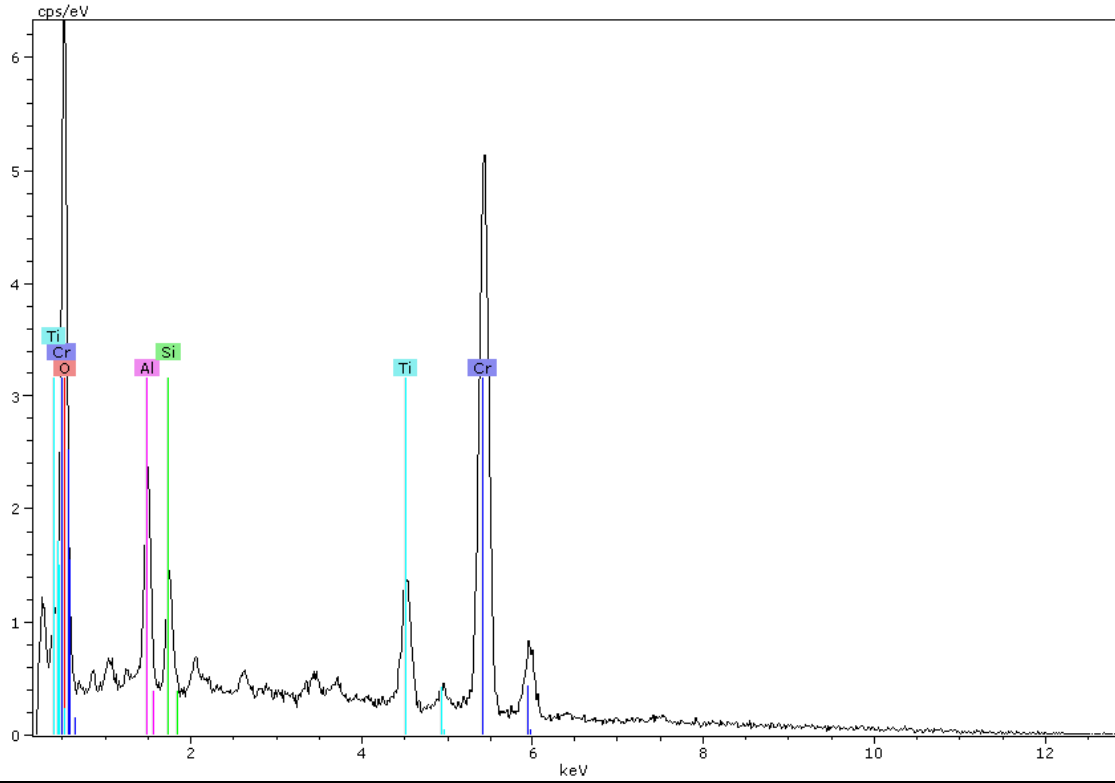
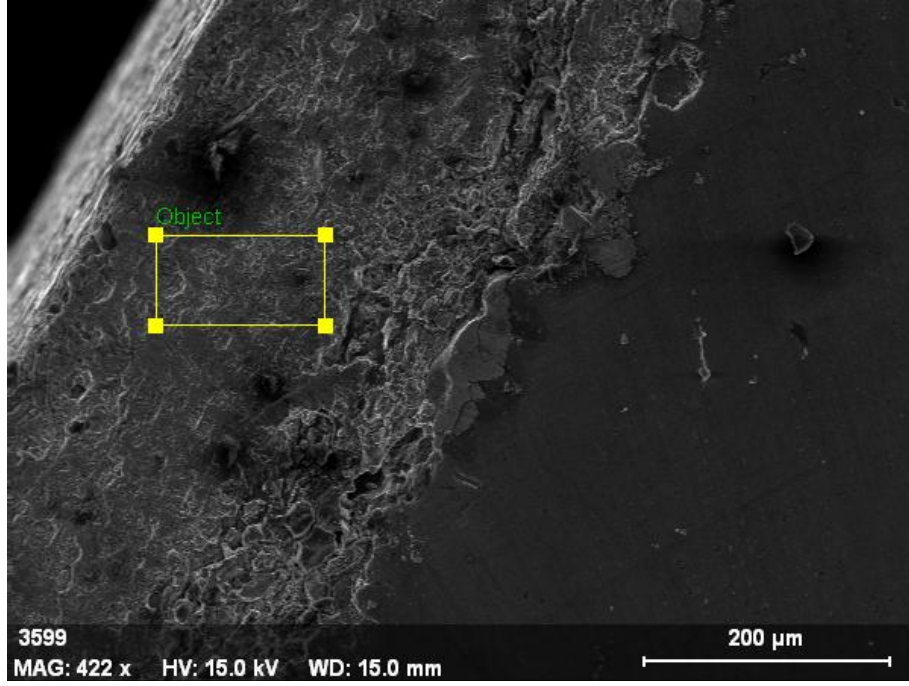
## 7.5 SEM Mikroskobu ile Alınan EDX Verileri

Şekil 7.25 ile Şekil 7.33 arasında kaplama numunelerine ait EDX analizleri verilmiştir.



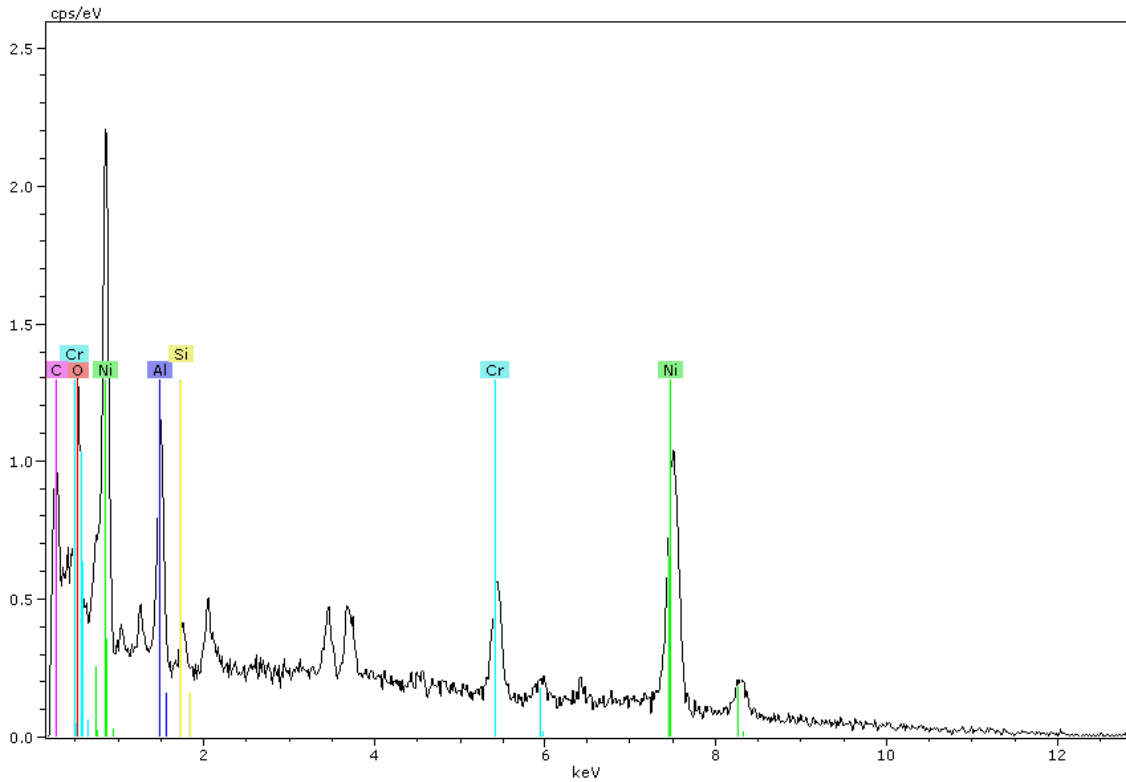
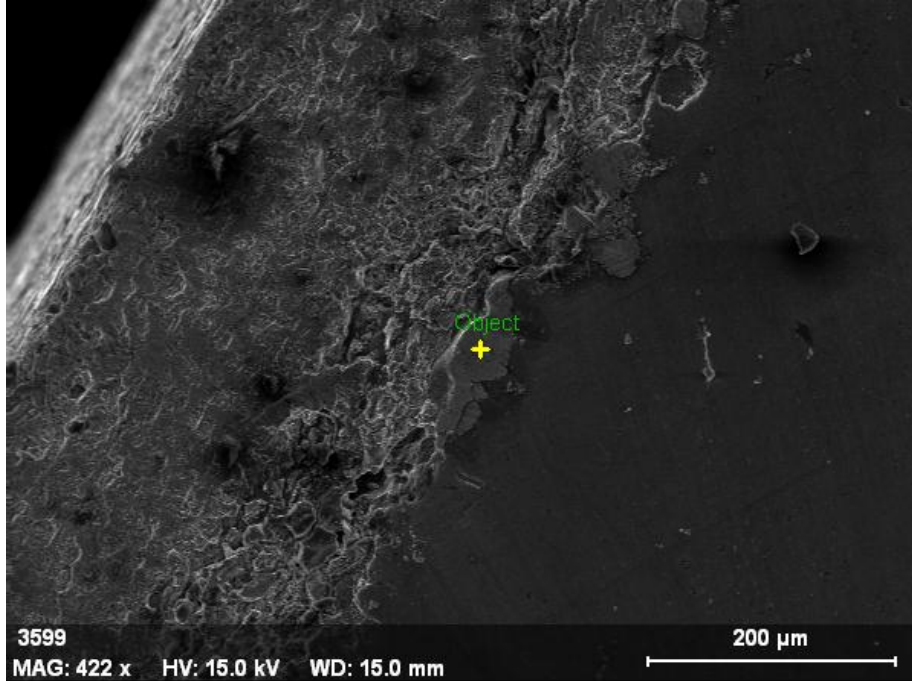
Şekil 7.25 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> numunesinin kaplamasının EDX analiz verileri





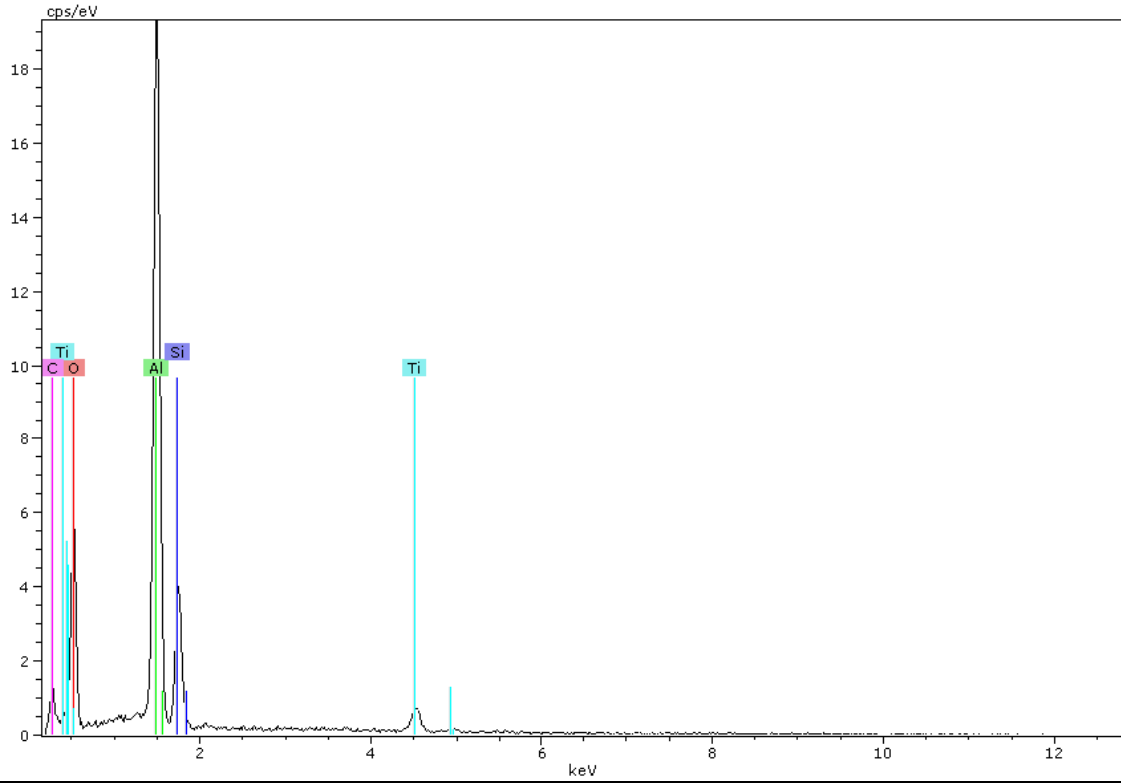
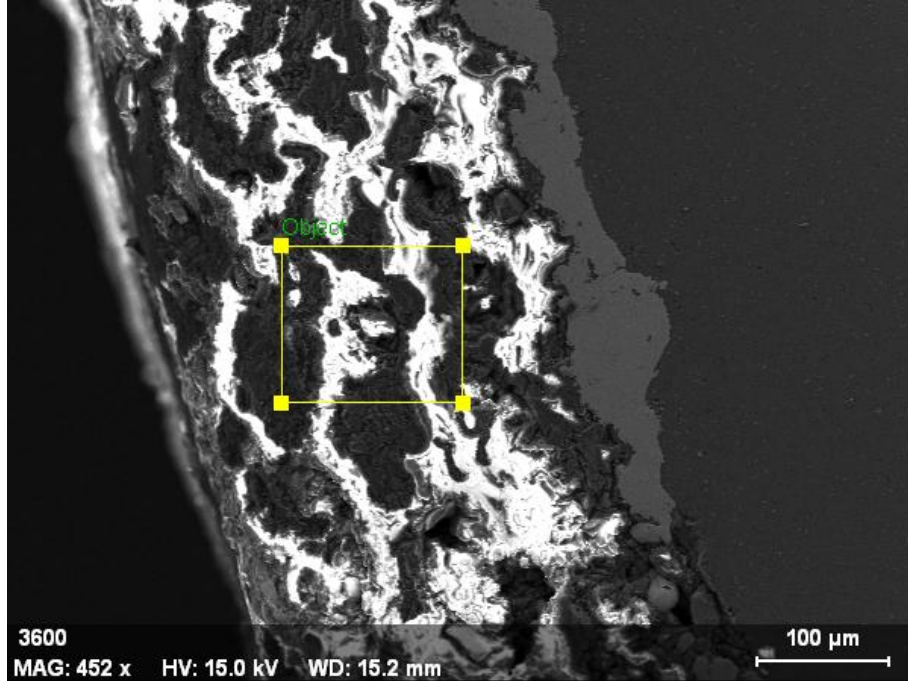
Element	Seriler	Net	unn. C [wt.-%]	norm. C [wt.-%]	Atom. C [wt.-%]
Oksijen	K serisi	7270	81.77	81.77	92.93
Alüminyum	K serisi	3700	1.43	1.43	0.96
Silikon	K serisi	1522	0.54	0.54	0.35
Titanyum	K serisi	3635	1.65	1.65	0.60
Kromium	K serisi	18897	14.03	14.03	4.91
			Toplam: 100.0 %		

Şekil 7.26 NiAl+Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> numunesinin kaplamasının EDX analiz verileri



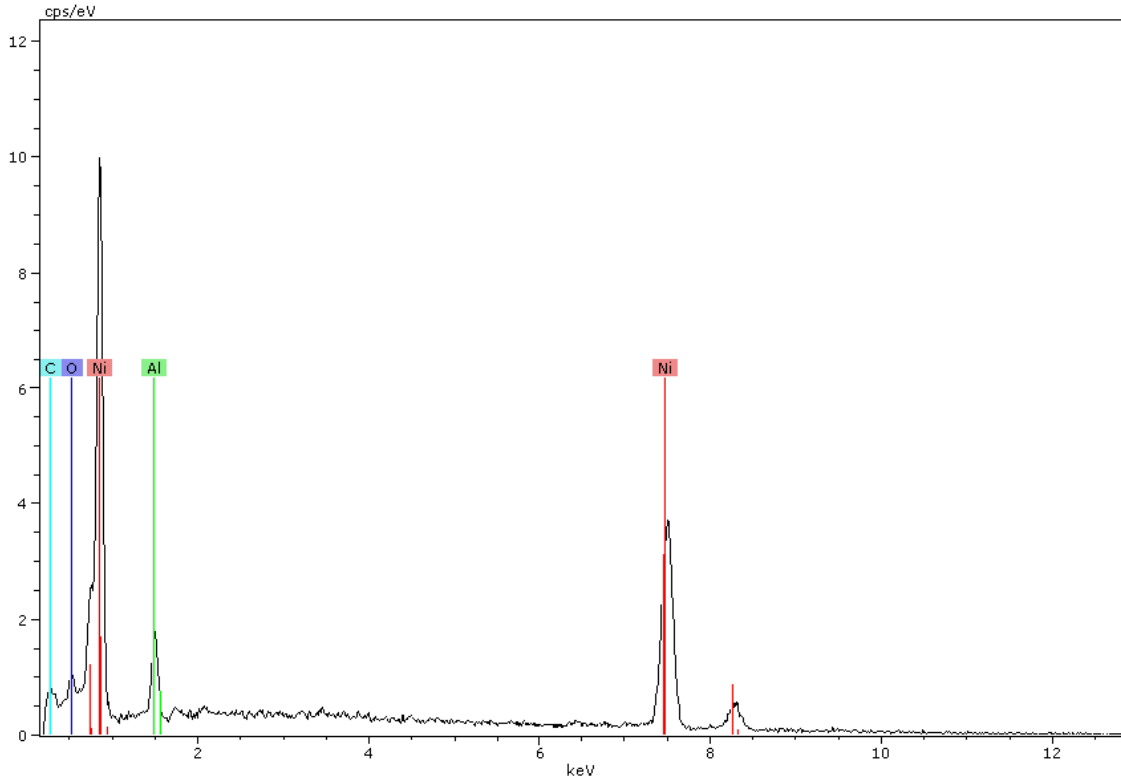
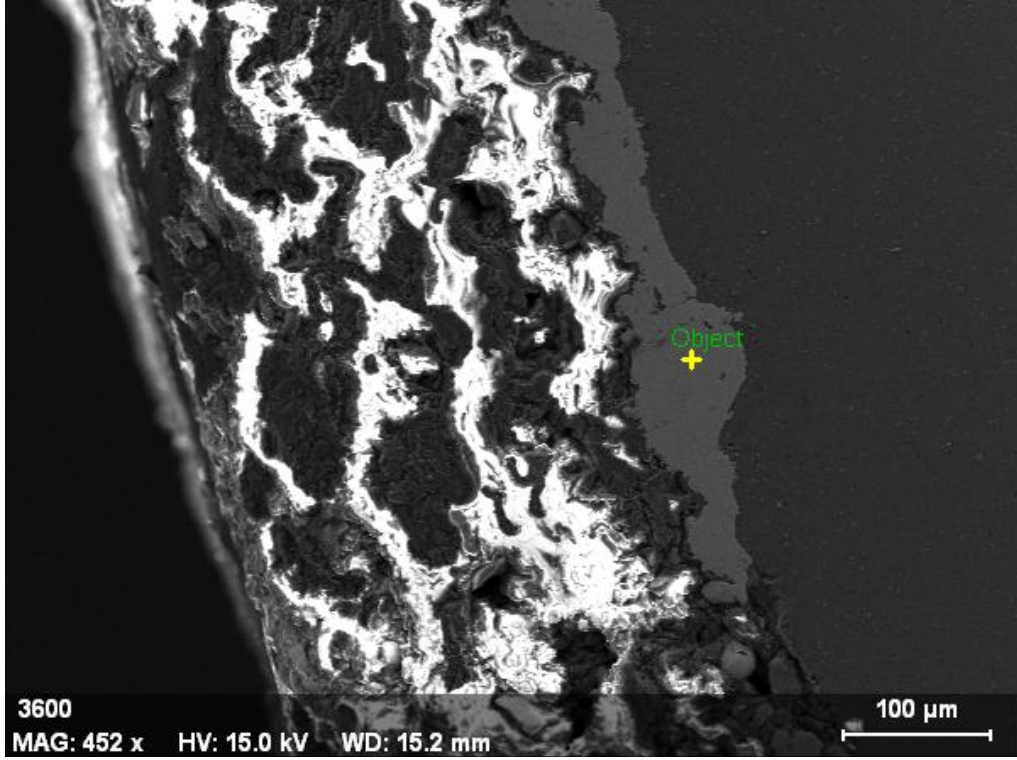
Element	Seriler	Net	unn. C [wt.-%]	norm. C [wt.-%]	Atom. C [wt.-%]
Karbon	K serisi	4006	89.51	89.51	95.40
Oksijen	K serisi	13	3.55	3.55	2.84
Alüminyum	K serisi	2388	0.82	0.82	0.39
Silikon	K serisi	176	0.06	0.06	0.03
Kromium	K serisi	1799	0.75	0.75	0.19
Nikel	K serisi	6124	5.30	5.30	1.16
			Toplam: 100.0 %		

Şekil 7.27 NiAl+Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> numunesinin astarının EDX analiz verileri



Element	Seriler	Net	unn. C [wt.-%]	norm. C [wt.-%]	Atom. C [wt.-%]
Karbon	K serisi	1639	7.98	9.51	14.39
Oksijen	K serisi	7275	46.72	55.64	63.25
Alüminyum	K serisi	32284	21.07	25.10	16.92
Silikon	K serisi	6118	5.42	6.46	4.18
Titanyum	K serisi	1581	2.77	3.30	1.25
			Toplam: 84.0 %		

Şekil 7.28 NiAl+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiO<sub>2</sub> (%97/3) numunesinin kaplamasının EDX analiz verileri

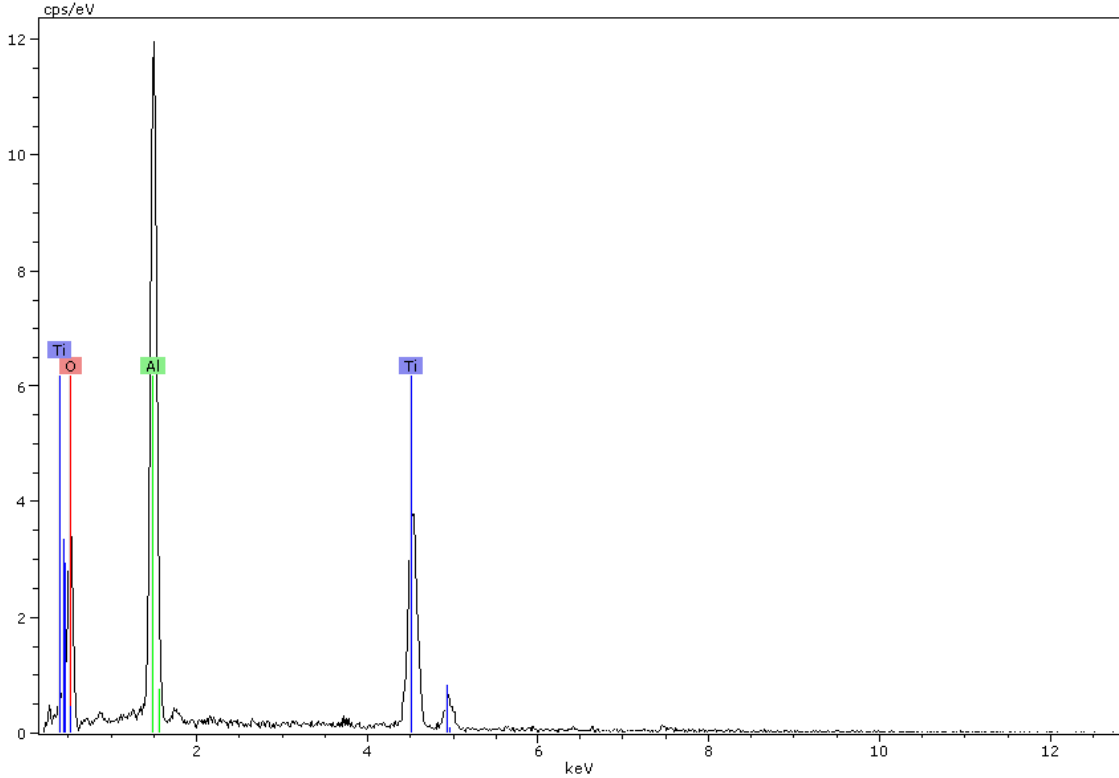
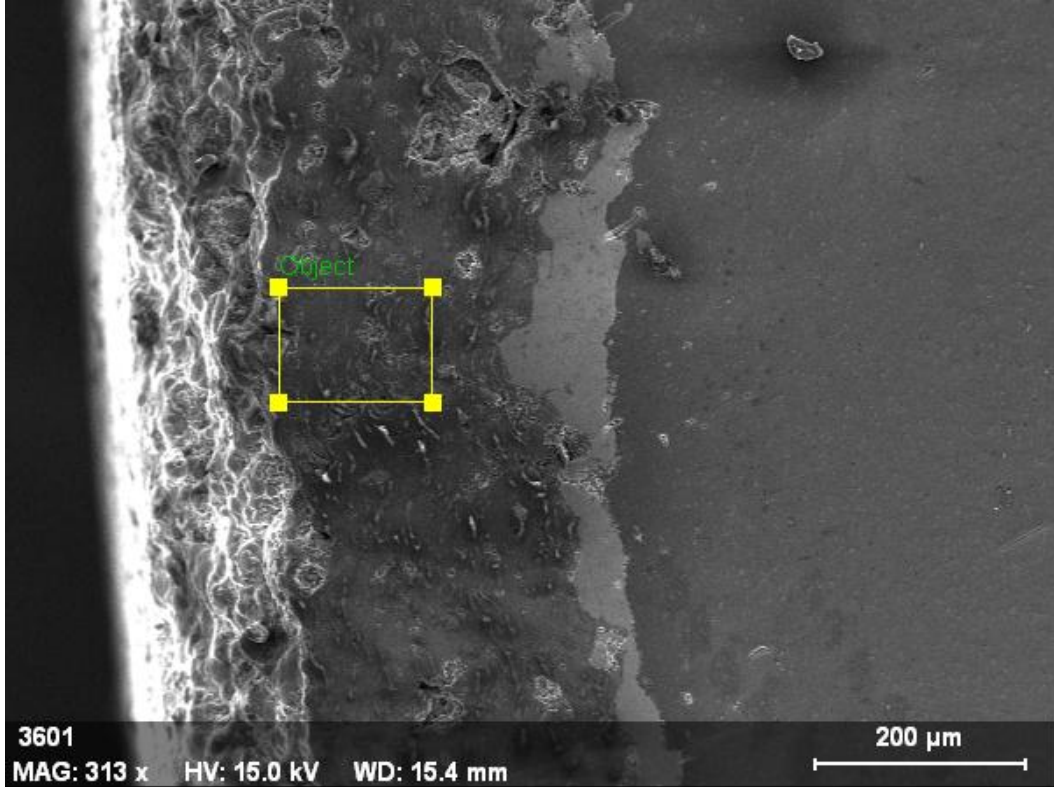


Element	Seriler	Net	unn. C [wt.-%]	norm. C [wt.-%]	Atom. C [wt.-%]
Karbon	K serisi	2120	6.50	10.62	27.51
Oksijen	K serisi	2371	9.51	15.55	30.23
Alüminyum	K serisi	2497	3.07	5.02	5.79
Nikel	K serisi	13014	42.10	68.82	36.48

Toplam: 61.2 %

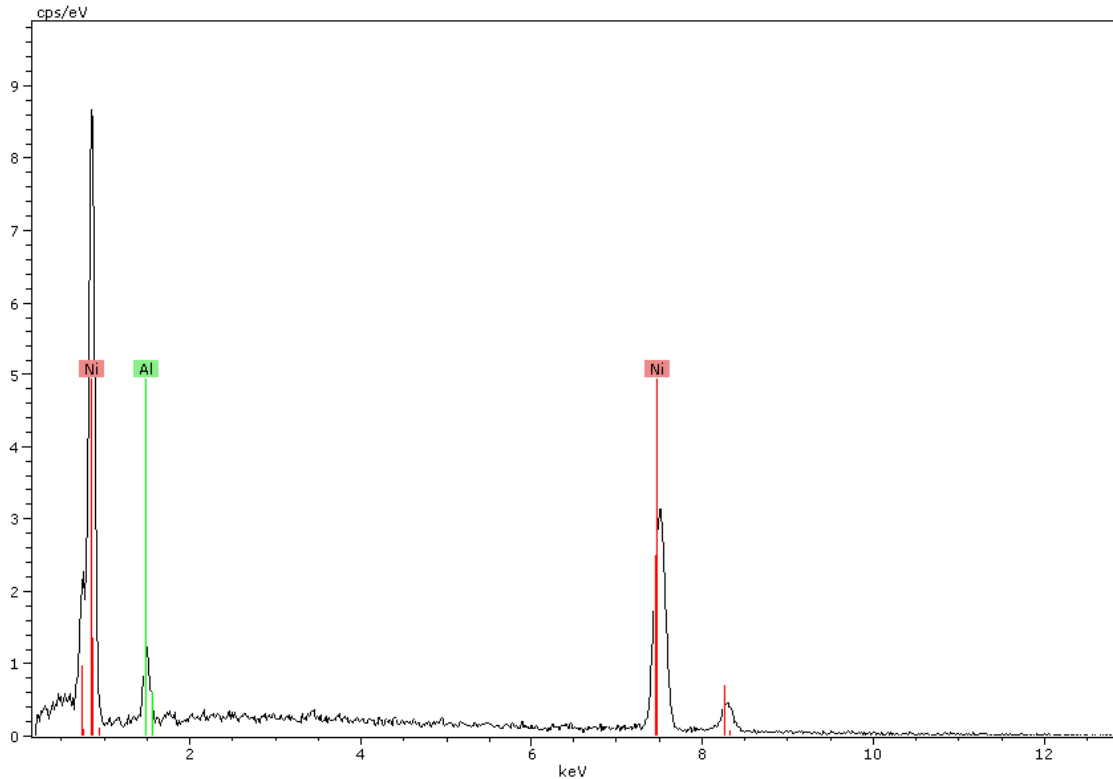
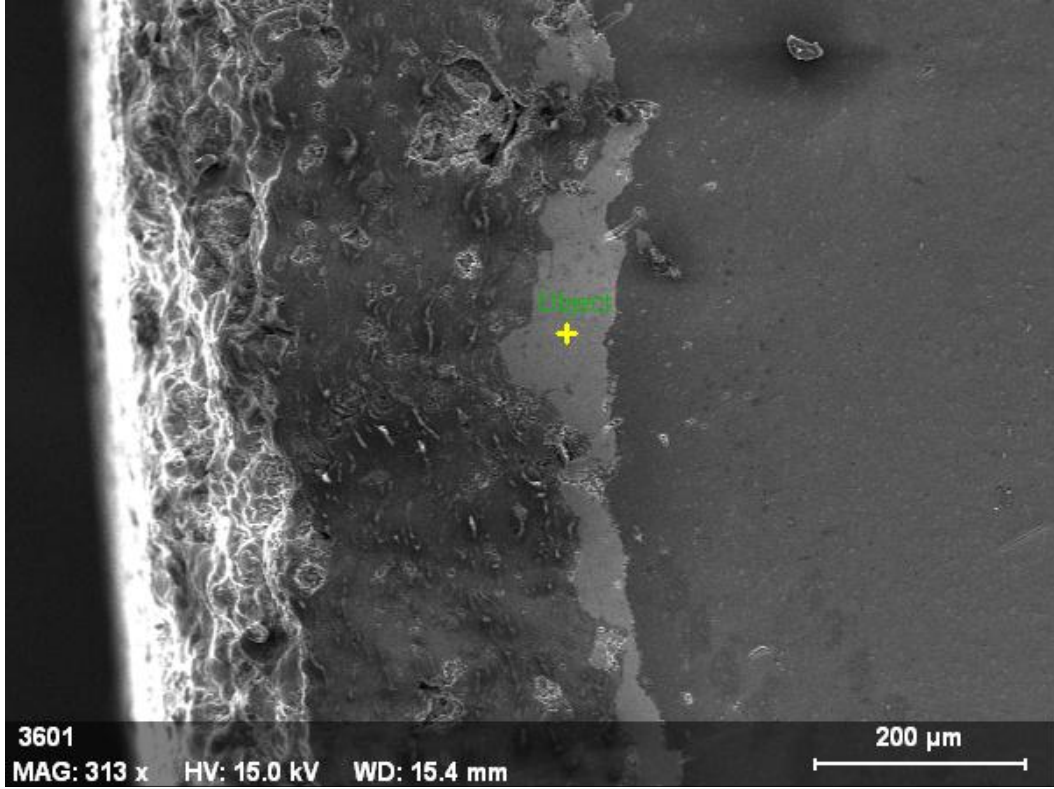
Şekil 7.29 NiAl+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiO<sub>2</sub> (%97/3) numunesinin astarının EDX analiz verileri





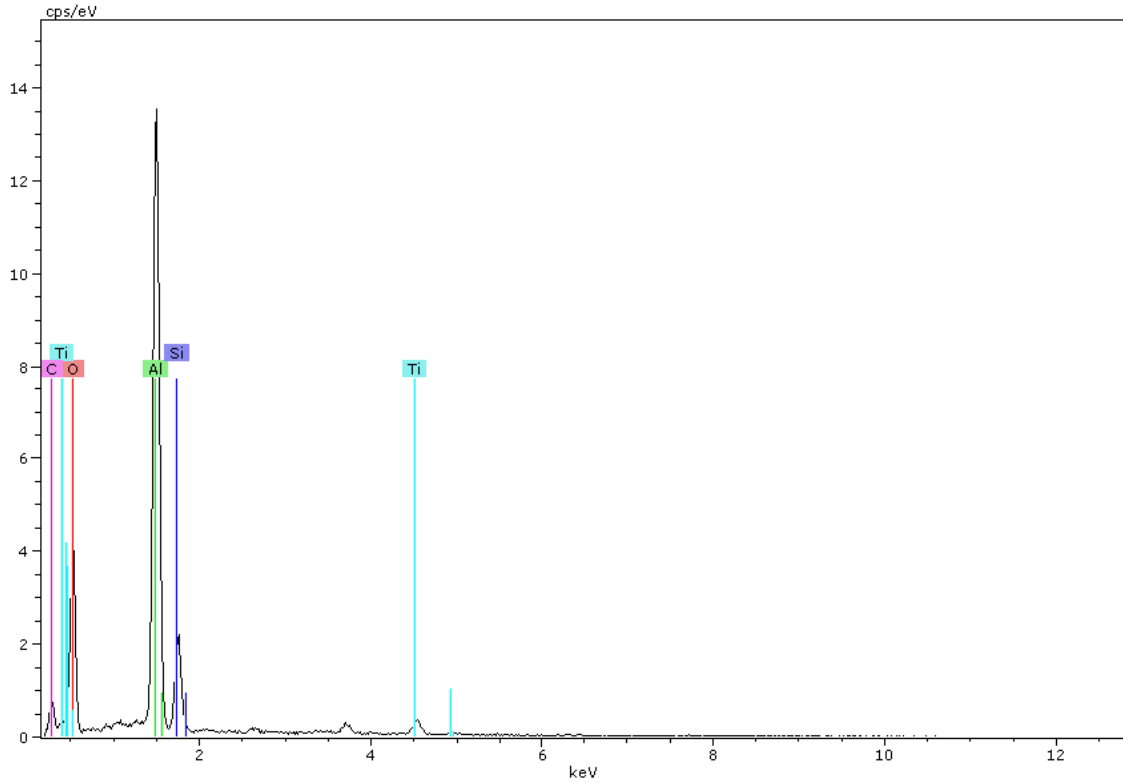
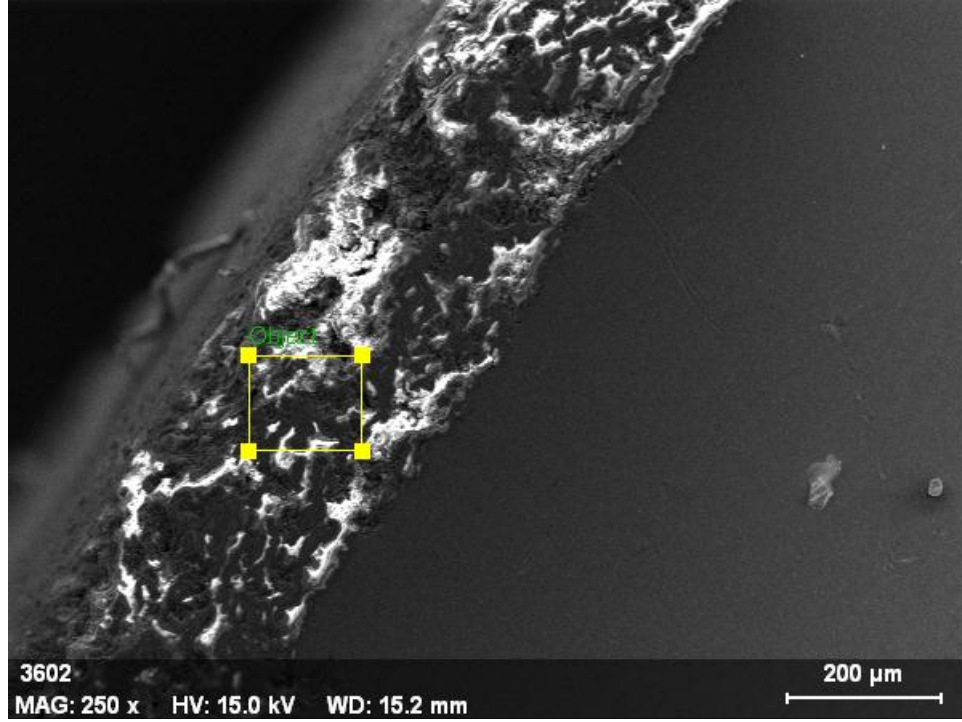
Element	Seriler	Net	unn. C [wt.-%]	norm. C [wt.-%]	Atom. C [wt.-%]
Oksijen	K serisi	2586	48.54	52.23	69.81
Alüminyum	K serisi	11578	23.77	25.57	20.27
Titanyum	K serisi	5916	20.63	22.20	9.92
			Toplam: 92.9 %		

Şekil 7.30 NiAl+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiO<sub>2</sub> (%60/40) numunesinin kaplamasının EDX analiz verileri



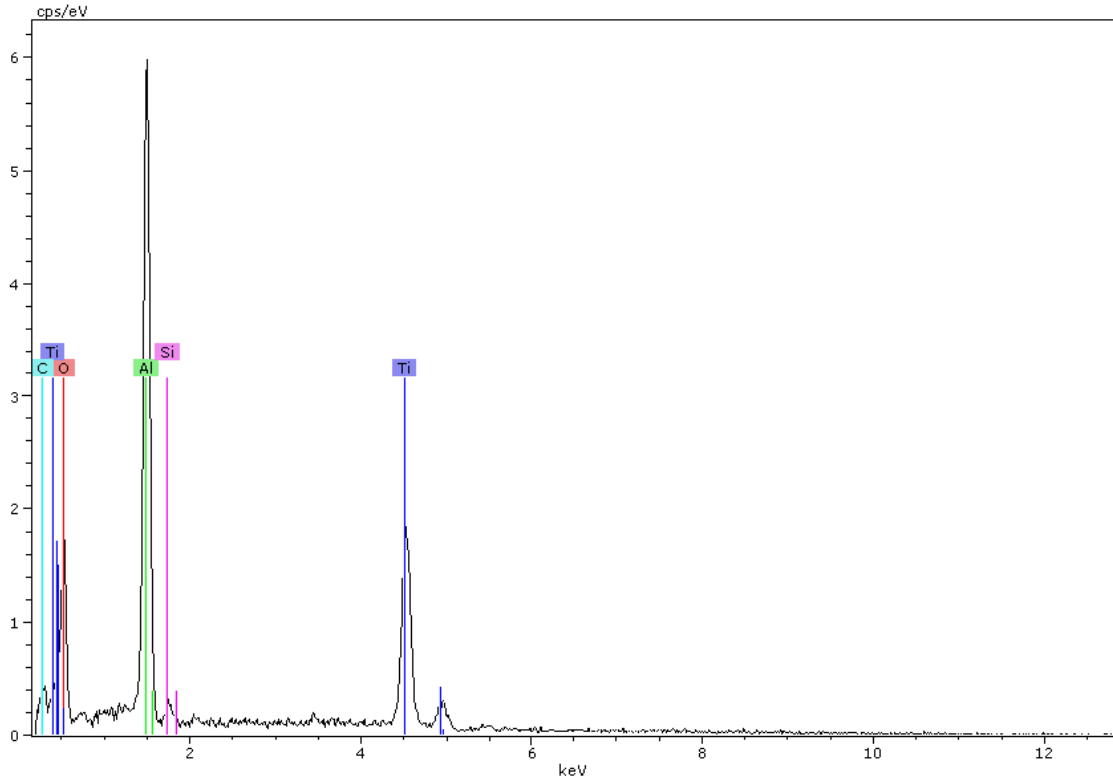
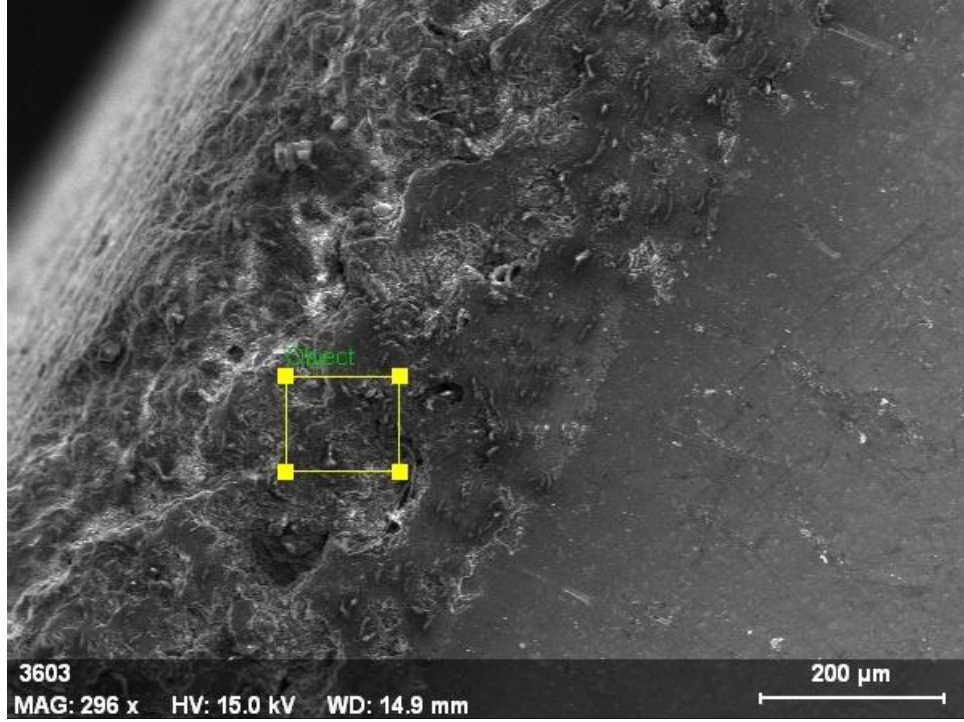
Element	Seriler	Net	unn. C [wt.-%]	norm. C [wt.-%]	Atom. C [wt.-%]
Alüminyum	K serisi	761	1.58	2.32	4.91
Nikel	K serisi	8670	66.40	97.68	95.09
			Toplam:68.0 %		

Şekil 7.31 NiAl+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiO<sub>2</sub> (%60/40) numunesinin astarının EDX analiz verileri



Element	Seriler	Net	unn. C [wt.-%]	norm. C [wt.-%]	Atom. C [wt.-%]
Karbon	K serisi	1940	7.30	8.72	13.07
Oksijen	K serisi	10381	48.90	58.40	65.72
Alüminyum	K serisi	42129	21.50	25.67	17.13
Silikon	K serisi	6242	4.30	5.13	3.29
Titanyum	K serisi	1290	1.75	2.08	0.78
			Toplam: 83.7 %		

Şekil 7.32 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiO<sub>2</sub> (%97/3) numunesinin kaplamasının EDX analiz verileri



Element	Seriler	Net	unn. C [wt.-%]	norm. C [wt.-%]	Atom. C [wt.-%]
Karbon	K serisi	855	7.58	9.69	14.96
Oksijen	K serisi	2917	45.27	57.90	67.07
Alüminyum	K serisi	12353	13.92	17.80	12.23
Silikon	K serisi	199	0.27	0.35	0.23
Titanyum	K serisi	5948	11.15	14.27	5.52
			Toplam: 78.2 %		

Şekil 7.33 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiO<sub>2</sub> (%60/40) numunesinin kaplamasının EDX analiz verileri

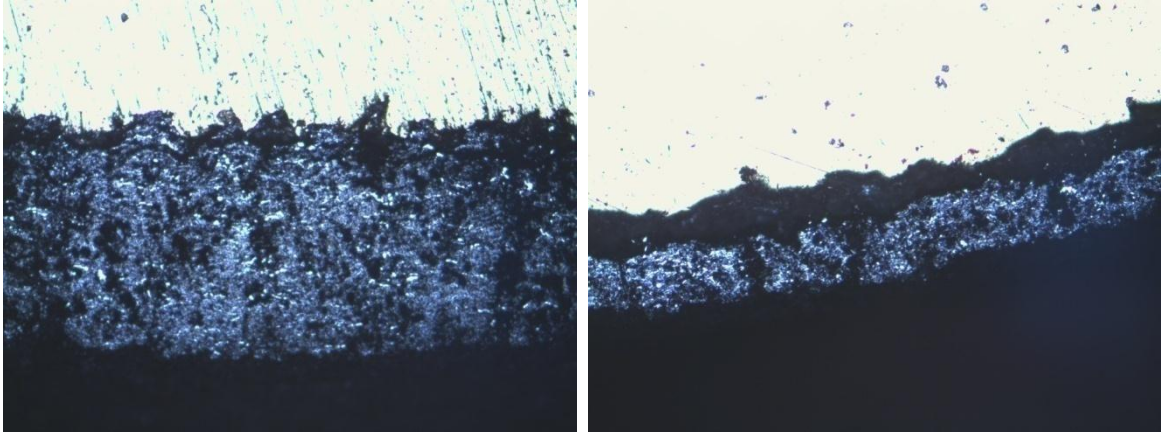


## 7.6 Optik Mikroskop ile Alınan Mikroyapı Görüntüleri

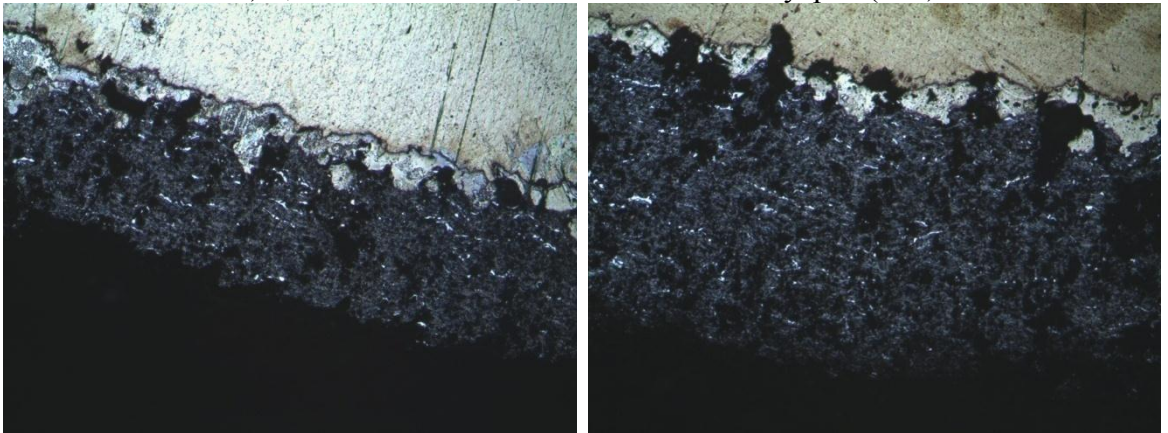
Optik mikroskop ile alınan, numunelere ait mikroyapı görüntüleri Resim 7.13 ile Resim 7.21 arasında verilmiştir.



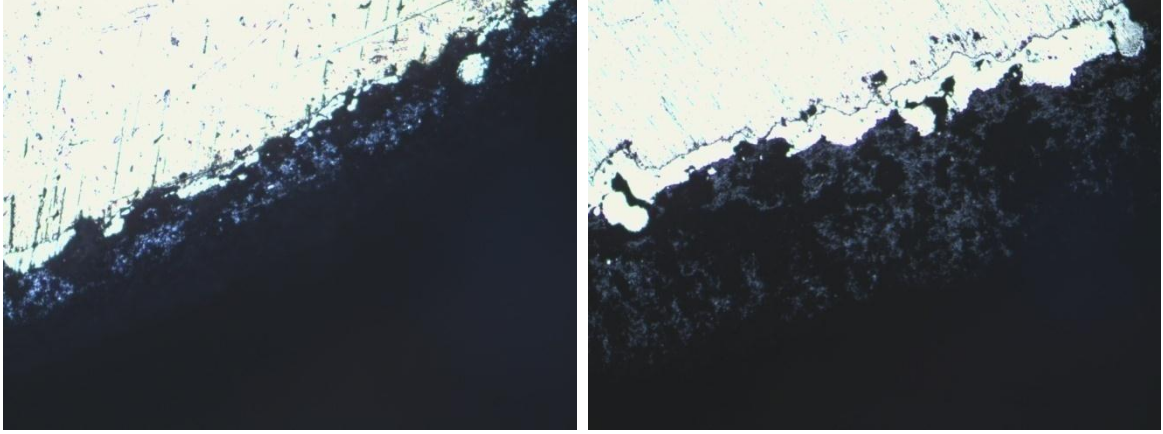
(a) (b)  
Resim 7.13 a) 0,3mm Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> numunesinin mikroyapısı (x50),  
b) 0,5mm Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> numunesinin mikroyapısı (x50)



(a) (b)  
Resim 7.14 a) 1mm Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> numunesinin mikroyapısı (x50),  
b) 0,3mm NiAl+Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> numunesinin mikroyapısı (x50)



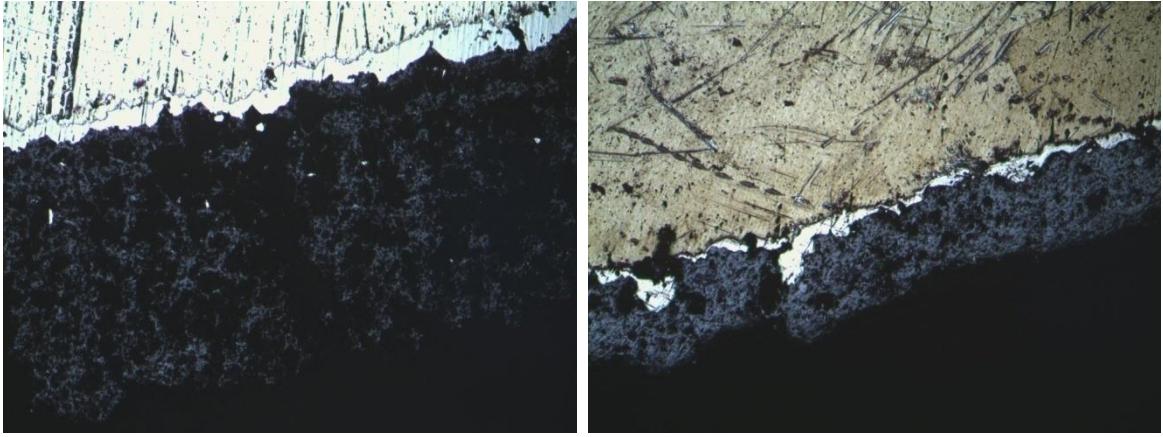
(a) (b)  
Resim 7.15 a) 0,5mm NiAl+Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> numunesinin mikroyapısı (x50),  
b) 1mm NiAl+Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> numunesinin mikroyapısı (x50)



(a)

(b)

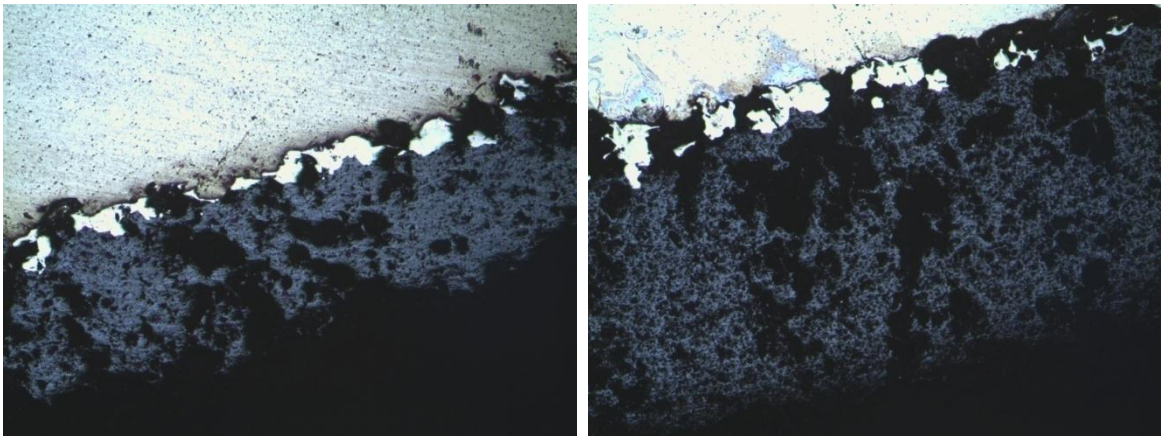
Resim 7.16 a) 0,3mm NiAl+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiO<sub>2</sub> (%97/3) numunesinin mikroyapısı (x50),  
b) 0,5mm NiAl+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiO<sub>2</sub> (%97/3) numunesinin mikroyapısı (x50)



(a)

(b)

Resim 7.17 a) 1mm NiAl+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiO<sub>2</sub> (%97/3) numunesinin mikroyapısı (x50),  
b) 0,3mm NiAl+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiO<sub>2</sub> (%60/40) numunesinin mikroyapısı (x50)

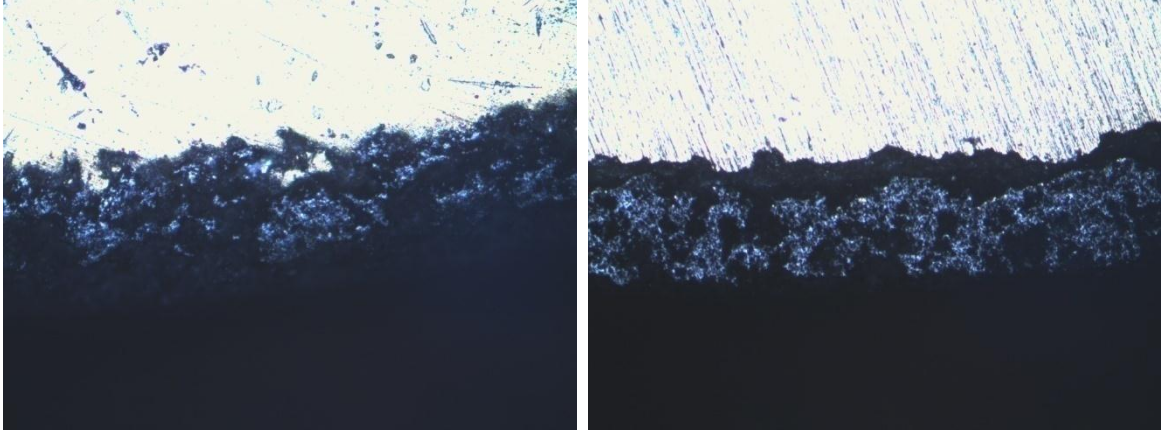


(a)

(b)

Resim 7.18 a) 0,5mm NiAl+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiO<sub>2</sub> (%60/40) numunesinin mikroyapısı (x50),  
b) 1mm NiAl+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiO<sub>2</sub> (%60/40) numunesinin mikroyapısı (x50)

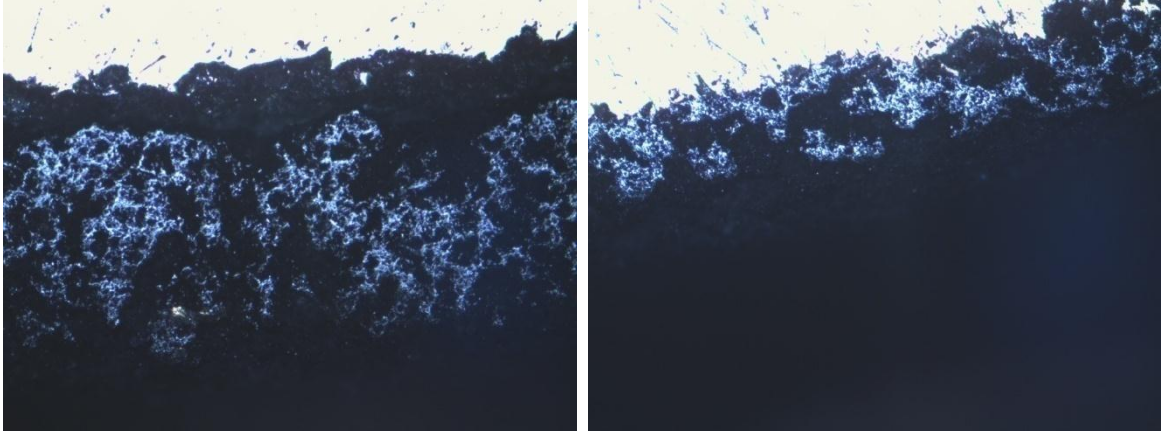




(a)

(b)

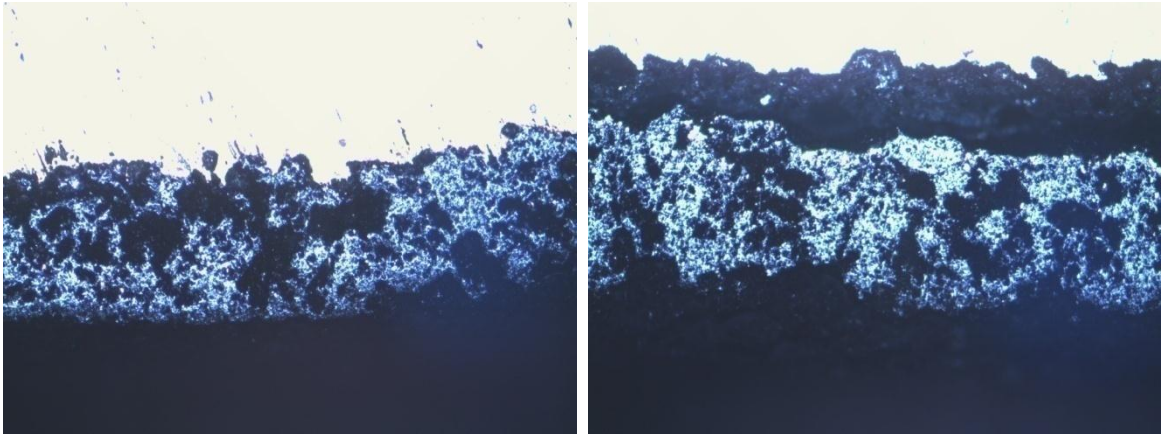
Resim 7.19 a) 0,3mm Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiO<sub>2</sub> (%97/3) numunesinin mikroyapısı (x50),  
b) 0,5mm Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiO<sub>2</sub> (%97/3) numunesinin mikroyapısı (x50)



(a)

(b)

Resim 7.20 a) 1mm Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiO<sub>2</sub> (%97/3) numunesinin mikroyapısı (x50),  
b) 0,3mm Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiO<sub>2</sub> (%60/40) numunesinin mikroyapısı (x50)



(a)

(b)

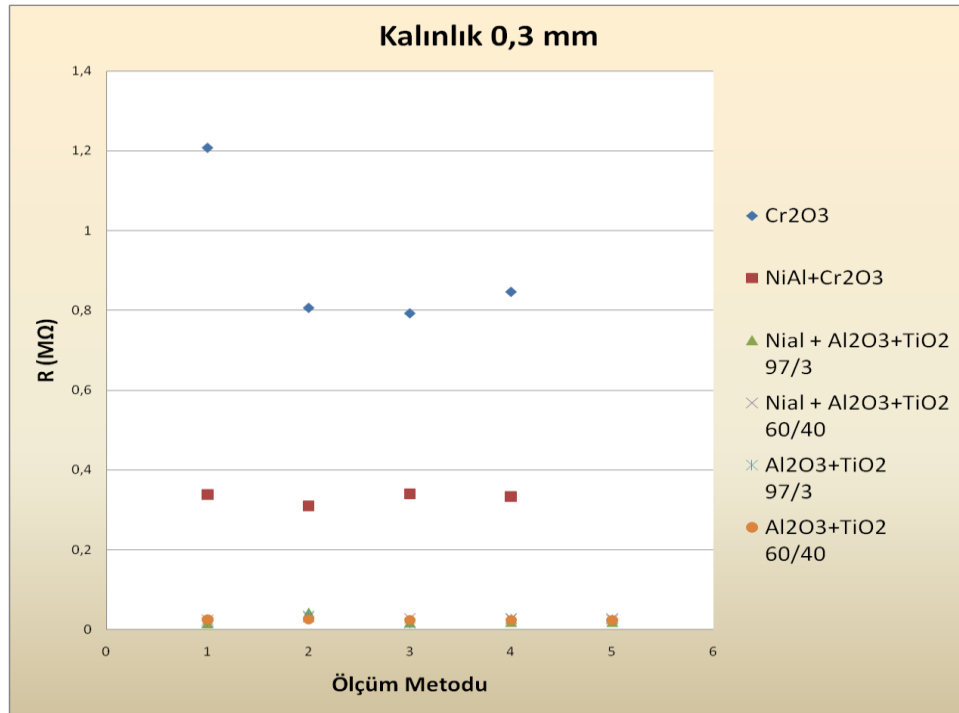
Resim 7.21 a) 0,5mm Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiO<sub>2</sub> (%60/40) numunesinin mikroyapısı (x50),  
b) 1mm Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiO<sub>2</sub> (%60/40) numunesinin mikroyapısı (x50)

## 8 DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

### 8.1 Elektriksel Direnç Ölçümü ile Elde Edilen Verilerin Değerlendirilmesi

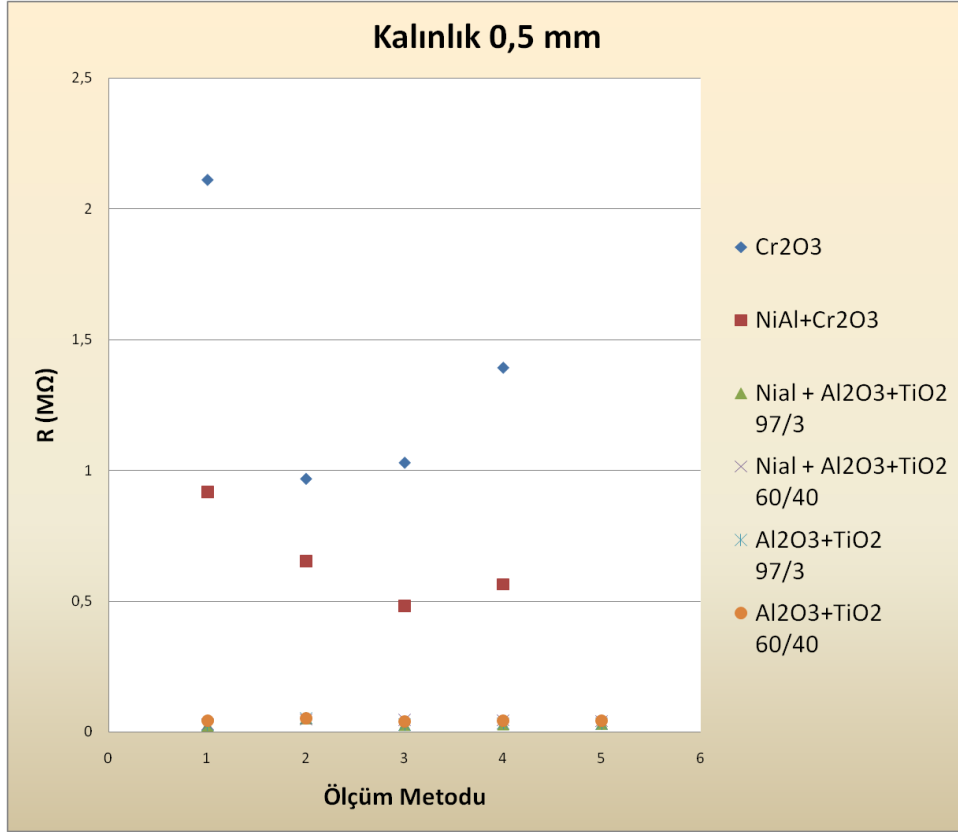
Genel olarak yapılan ölçümler sonucunda sıfır ölçüm metodu ile iki nokta ölçüm metodunda elde edilen verilerin diğer üç metoda nazaran daha yüksek değerler sergilediği gözlenmiştir. Dört nokta, dört nokta prob ve Van Der Pauw metodu ile elde edilen veriler birbirine daha yakın değerleri göstermektedir.

Yapılan ölçümler sonucunda aynı kaplama kalınlığına sahip numuneler arasında en yüksek direnç değerlerini sırasıyla  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiO}_2$  %60/40 ve  $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiO}_2$  (%97/3) kaplanmış numuneler sergilemiştir. NiAl astar kaplanmış numunelere yapılan  $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiO}_2$  (%60/40) ve  $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiO}_2$  (%97/3) kaplamaların 0,3 mm ve 0,5 mm değerleri için astarsız numunelerle yakın değerleri sergilediği gözlenmiştir. 1mm kaplama kalınlığına sahip NiAl astarlı numunelerin tamamının aynı kalınlıkta astarsız kaplamalara nazaran daha düşük direnç değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir. Bu durum Şekil 8.1 ile Şekil 8.3 arasında elektriksel direnç ölçüm metotlarına göre elektriksel direnç değerlerinin gösterilmiş olduğu aynı kaplama kalınlığına sahip numunelere ait grafiklerde açıkça görülmektedir.

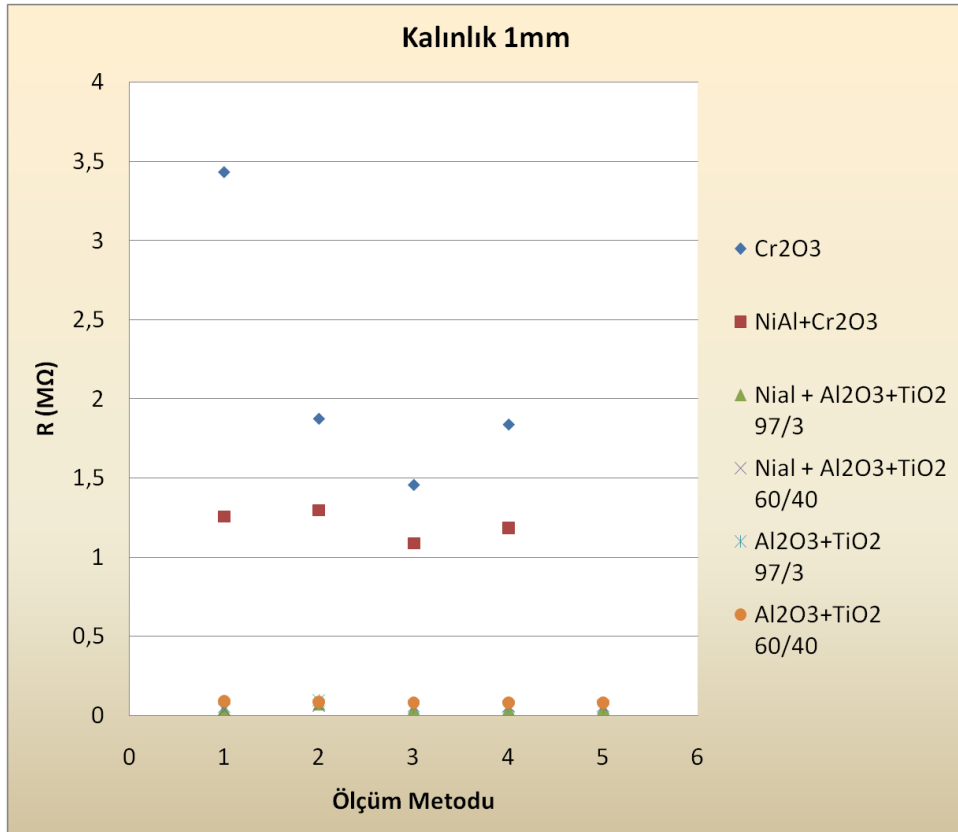


Şekil 8.1 0,3 mm kalınlığa sahip numunelerin elektriksel direnç değerleri





Şekil 8.2 0,5 mm kalınlığa sahip numunelerin elektriksel direnç değerleri



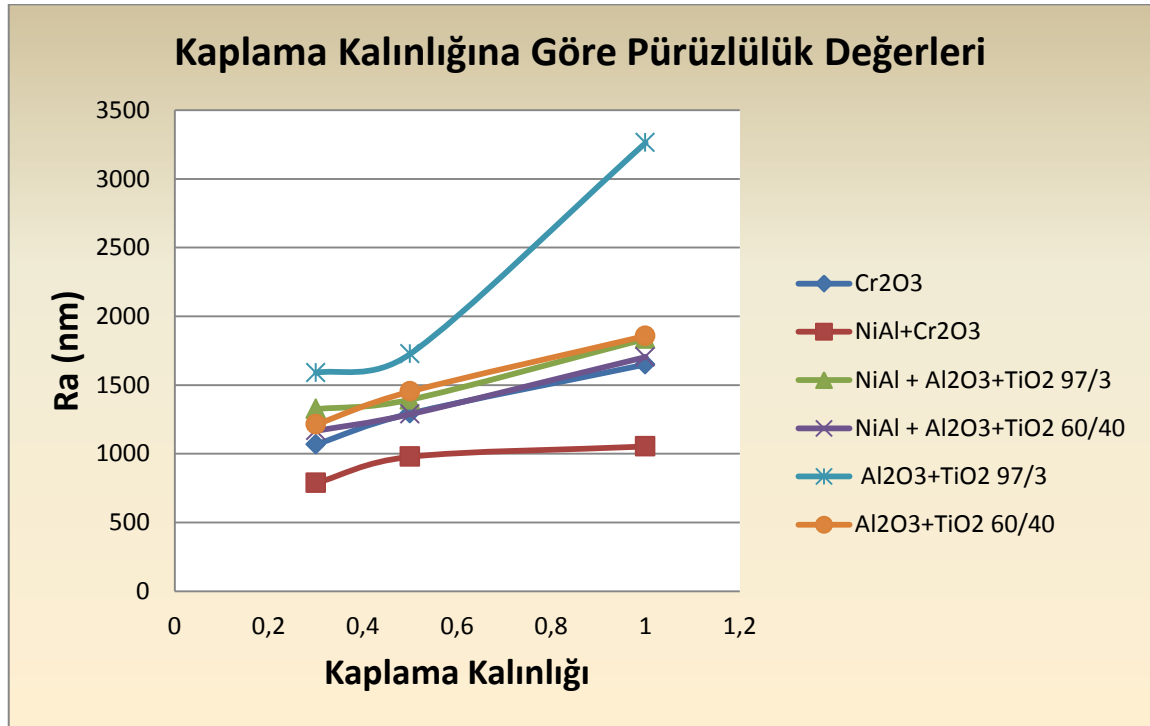
Şekil 8.3 1 mm kalınlığa sahip numunelerin elektriksel direnç değerleri

Numunelerin elektriksel direnç değerlerinin kaplama kalınlığına bağlı olarak arttığı gözlemlenmiştir. Ancak kaplama kalınlığına bağlı elektriksel direnç artışı, saf metaller ve bileşiklerdeki gibi lineer olmamaktadır.

## 8.2 Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü ile Elde Edilen Verilerin Değerlendirilmesi

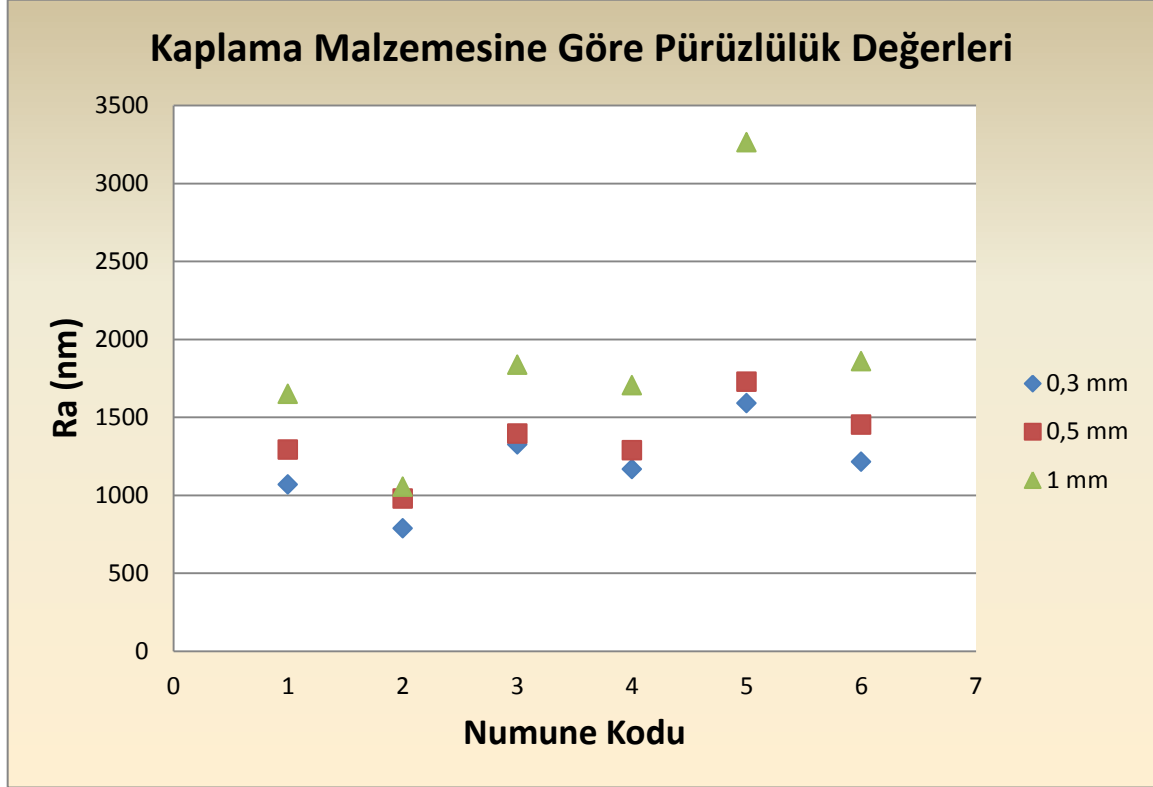
Ölçüm için numune yüzeyine yapılan ohmik kontaklarda ölçümü etkileyen etkenlerden birisi yüzey pürüzlülüğüdür. Özellikle elektriksel direnç ölçüm metotlarından dört nokta prob ve Van Der Pauw metodunda kalınlığın üniform olması önem teşkil etmektedir. Yapılan pürüzlülük ölçümleri ile elde edilen ve kırmızı çizgi ile gösterilen yüzey profili 2,5mm uzunlukta 6-34  $\mu\text{m}$  arasında olduğu gözlenmiştir. Bu değerler için kaplama kalınlığı üniform kabul edilebilir. Şekil 8.4 ve Şekil 8.5'te sırasıyla kaplama kalınlığına ve kaplama malzemesinin türüne göre  $R_a$  aritmetik ortalama pürüzlülük değerleri verilmiştir.

Şekil 8.4'ü incelersek NiAl astarlı numunelerin yüzey pürüzlülüğünün, aynı kalınlık ve kaplama tozu ile kaplanmış numunelere nazaran daha düşük olduğu gözlenmiştir. Pürüzlülük değerleri Alümina kompozisyonu olan numunelerde yüksektir. Kaplama kalınlığı arttıkça pürüzlülük değerleri arttığı Şekil 8.4'te görülmektedir.



Şekil 8.4 Kaplama kalınlığına göre pürüzlülük değerleri

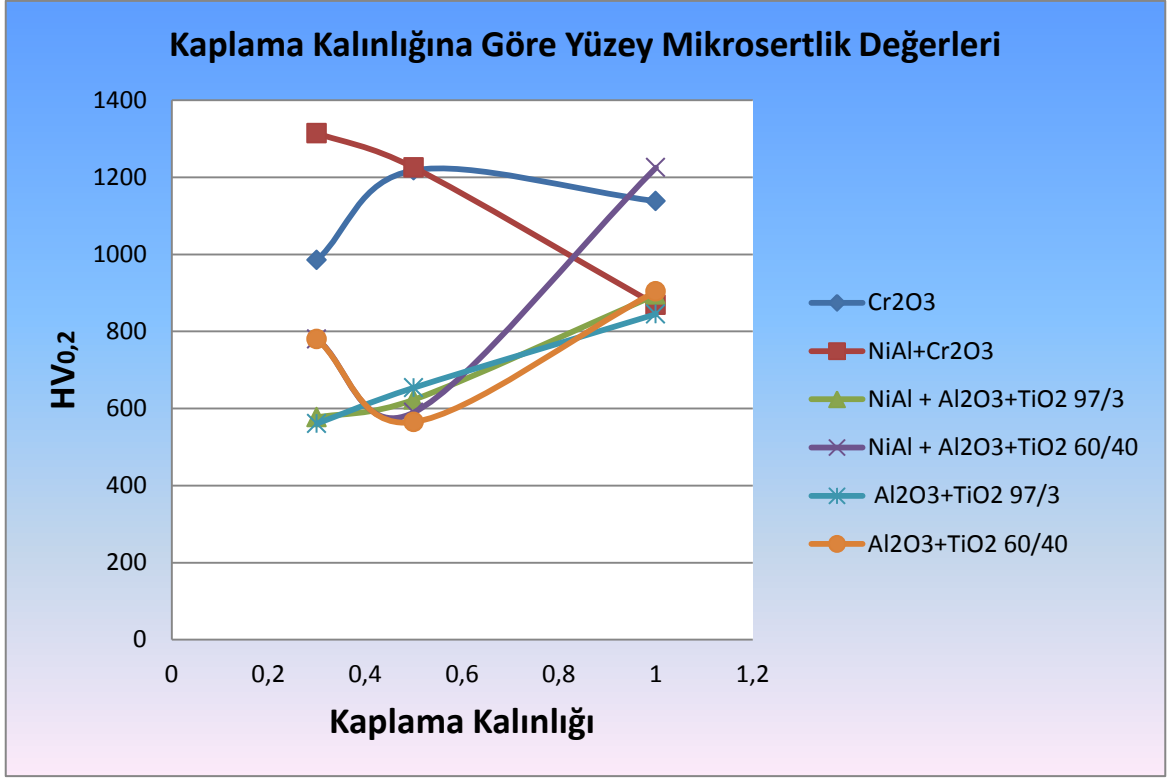
Şekil 8.5'te en düşük yüzey pürüzlülüğünü NiAl+Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> numuneleri ve en yüksek pürüzlülüğü Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiO<sub>2</sub> (%97/3) numuneleri sergilediği görülmektedir. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 'ya yapılan TiO<sub>2</sub> takviyesi pürüzlülüğü azaltma yönünde etki etmekte olduğu şekil 8.5'te görülmektedir.



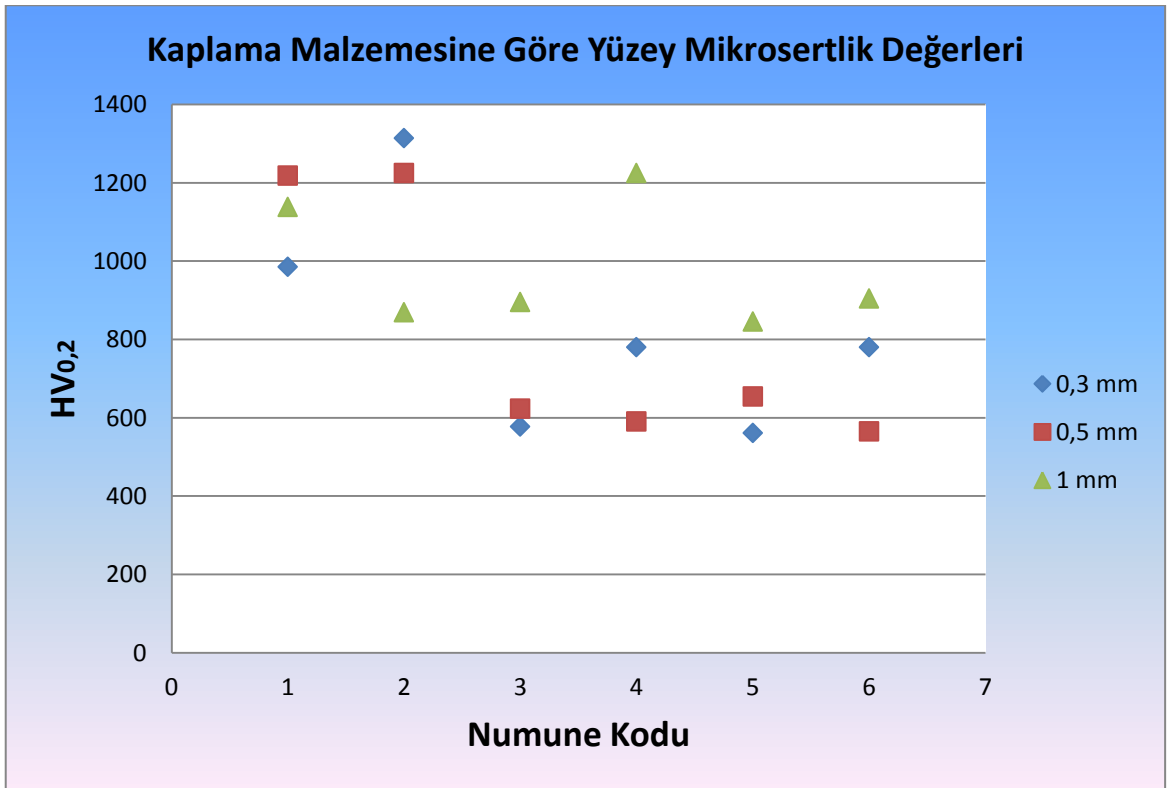
Şekil 8.5 Kaplama malzemesine göre pürüzlülük değerleri

### 8.3 Mikrosertlik Ölçümü ile Elde Edilen Verilerin Değerlendirilmesi

Şekil 8.6 ve Şekil 8.7'de sırasıyla kaplama kalınlığına ve kaplama malzemesinin türüne göre yüzey mikrosertlik değerleri görülmektedir. Yapılan yüzey mikrosertlik ölçümleri sonucunda NiAl astar üzerine yapılan kaplamaların sertlik değerlerinin, aynı kaplama kompozisyonu ve kalınlığa sahip astarsız kaplamalara göre yüksek değerler sergilediği gözlenmiştir. Bu durum Şekil 8.7'de görülmektedir.



Şekil 8.6 Kaplama kalınlığına göre yüzey mikrosertlik değerleri



Şekil 6.7 Kaplama malzemesine göre yüzey mikrosertlik değerleri

#### **8.4 Mikroyapı İncelemeleri ile Elde Edilen Verilerin Değerlendirilmesi**

Mikroskop incelemeleri sonucunda  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  numuneleri astarsız olmalarına rağmen altlık malzemeye uygun şekilde mekanik yapışma sergilemiştir. Alümina kompozisyonu kaplamalar astarsız olarak kaplanabilmektedir. Ancak altlık yüzeyine üniform bir yapışma sergilememiştir. Bu ayrılma astarsız alümina kompozisyonu kaplamalarına ait mikroskop görüntülerinde görülmektedir. Altlık yüzeyine uygulanan NiAL astarın, kaplamanın daha üniform olarak altlık yüzeyine yapışmasını sağladığı NiAl astarlı alümina kompozisyonu kaplamalarda belirgin olarak görülmektedir.

Yapılan EDX analizlerinde bazı numunelerde karbon elementine rastlanmıştır. Kaplama esnasında kullanılan asetilen gazının karbonlayıcı özelliğinin bu duruma neden olduğu düşünülmektedir.

## 9 SONUÇ VE ÖNERİLER

Al 6082 malzeme üzerine toz alev sprej metodu ile iyi bir kaplama işlemi yapılabilmektedir. Kaplanmış numunelerin elektriksel dirençleri, yüzey pürüzlülükleri, yüzey mikrosertlik değerleri, SEM ve optik mikroskop ile mikroyapı görüntüleri ile EDX analizleri incelenmiş, aşağıdaki bulgulara ulaşılmıştır.

- 1) NiAl astarlı numunelerde ölçüm alınırken ölçü aletinde sapma miktarının düşük olduğu gözlenmiştir. Bunu sebebi astarsızlara göre yüzey pürüzlülüğü değerinin daha düşük olmasından kaynaklanmaktadır.
- 2) Yapılan ölçümler sonucunda aynı kaplama kalınlığına sahip numuneler arasında en yüksek direnç değerlerini sırasıyla  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiO}_2$  %60/40 ve  $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiO}_2$  (%97/3) kaplanmış numuneler sergilemiştir.
- 3) Numunelerin elektriksel direnç değerlerinin kaplama kalınlığına bağlı olarak arttığı gözlemlenmiştir. Ancak kaplama kalınlığına bağlı elektriksel direnç artışı, saf metaller ve bileşiklerdeki gibi lineer olmamaktadır. Buna yüzey pürüzlülüğü ve porozite artışının neden olduğu düşünülmektedir.
- 4) NiAl astar kaplanmış numunelere yapılan  $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiO}_2$  (%60/40) ve  $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiO}_2$  (%97/3) kaplamaların 0,3 mm ve 0,5 mm değerleri için astarsız numunelerle yakın değerleri sergilediği gözlenmiştir.
- 5) 1mm kaplama kalınlığına sahip NiAl astarlı numunelerin tamamının aynı kalınlıkta astarsız kaplamalara nazaran daha düşük elektriksel direnç değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir.
- 6) Yüzey pürüzlülük profilinin 2,5mm uzunlukta 6-34 $\mu\text{m}$  aralığında değiştiği gözlenmiştir.
- 7) Pürüzlülük değerleri Alümina kompozisyonu olan numunelerde yüksektir. Kaplama kalınlığı arttıkça pürüzlülük değerleri arttığı görülmüştür. En düşük yüzey pürüzlülüğünü NiAl+ $\text{Cr}_2\text{O}_3$  numuneleri ve en yüksek pürüzlülüğü  $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiO}_2$  97/3 numuneleri sergilemektedir.  $\text{Al}_2\text{O}_3$  'ya yapılan  $\text{TiO}_2$  takviyesi pürüzlülüğü azaltma yönünde etki etmektedir.

- 8) Yapılan yüzey mikrosertlik ölçümleri sonucunda NiAl astar üzerine yapılan kaplamaların sertlik değerlerinin, aynı kaplama kompozisyonu ve kalınlığa sahip astarsız kaplamalara göre yüksek değerler sergilediği gözlenmiştir.
- 9) Mikroskop incelemeleri sonucunda Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> numuneleri astarsız olmalarına rağmen altlık malzemeye uygun şekilde mekanik yapışma sergilemiştir.
- 10) Altlıksız kaplanan alümina kompozisyonu kaplamalar üniform bir yapışma sergilememiştir.
- 11) Altlık yüzeyine uygulanan NiAL astarın, kaplamanın daha üniform olarak altlık yüzeyine yapışmasını sağladığı mikroskop incelemelerinde görülmüştür.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlardan yola çıkarak yapılacak çalışmalara aşağıdaki öneriler verilebilir.

- 1) Porozite kaplama yöntemine bağlı olarak değişmektedir. Yüksek püskürtme hızına sahip termal spreycaplama yöntemleri ile üretilmiş numunelerle porozitenin elektriksel dirence etkileri daha detaylı araştırılabilir.
- 2) Farklı kaplama malzemeleri ile farklı altlık malzemeler yüzeyine yapılan kaplamaların elektriksel özellikleri araştırılabilir.
- 3) Kaplama parametrelerinin, kaplamanın elektriksel özelliklerine etkisi incelenebilir.
- 4) Mikrosertlik değerlerinin kaplama kalınlığı ile bütün numunelerde doğru orantılı olarak artmadığı görülmüştür. Sebepleri üzerine bir araştırma yapılabilir.

## KAYNAKLAR

- [1] İnternet: Google Görseller Arama Sayfası, 2012, Sonuç sayfası, [www.google.com.tr](http://www.google.com.tr)
- [2] CAN, A. Ç., “Tasarımcı Mühendisler İçin Malzeme Bilgisi”, 2006, *Birsen Yayınevi*, İSTANBUL, 1-40.
- [3] İnternet: Türkiye Bilimsel Araştırma kurumu, 2012, Elementler ve Atom Yapısı, <http://www.biltek.tubitak.gov.tr/bilgipaket/periodydik/periodydik1.html>
- [4] İnternet: Hayri ÜN Malzeme Bilgisi Ders Notları, 2007, Atom Yapısı, [www.http://hun.pau.edu.tr/dersleri.htm](http://hun.pau.edu.tr/dersleri.htm)
- [5] İnternet: Fen Bilgisi, 2012, Atom Modelleri, [www.zamandayolculuk.com.tr](http://www.zamandayolculuk.com.tr)
- [6] İnternet: İrfan AY Malzeme Teknolojisi Ders Notları, 2008, Malzeme tek. 1-2, <http://w3.balikesir.edu.tr/~ay/?view=lectures>
- [7] İnternet: Serap KARAGÖZ Malzeme Bilgisi, 2008, Kompozit Malzemeler, [www.ADU.edu.tr](http://www.ADU.edu.tr)
- [8] İnternet: Ahmet ARAN Malzeme Bilgisi Ders Notları, 2008, Malzeme Bilgisi, <http://www2.isikun.edu.tr/personel/ahmet.aran/dersnotlari.htm>
- [9] İnternet: Arama Sayfası, 2012, Sonuç Sayfası, [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)
- [10] İnternet: İrfan AY Endüstride Malzeme Seçimi, 2010, Ders notları, <http://w3.balikesir.edu.tr/~ay/?view=lectures>
- [11] İnternet: Elektrik, 2012, Elektrik, [http://www.ndt-ed.org/EducationResources/HighSchool/Electricity/hs\\_elec\\_index.htm](http://www.ndt-ed.org/EducationResources/HighSchool/Electricity/hs_elec_index.htm)
- [12] PURCELL, E. M., ” Berkeley Physics Course Volume 2 2<sup>nd</sup> ed.”, 1985, *McGraw-Hill, Inc.*, USA, 2-167.
- [13] BIRD, J., “Electrical and Electronic Principles and Technology 3<sup>rd</sup> ed.”, 2007, *Elsevier Ltd.*, USA, 3-134.
- [14] PURCELL, E. M., “Elektrik ve Manyetizma Berkeley Fizik Dersleri Cilt 2 2<sup>nd</sup> ed.”, 2000, DURLU, T. N., ELERMAN, Y., *Bilim Yayınları*, ANKARA, 2-190.
- [15] DUGDALE, J. S., “The Electrical Properties Of Disordered Metals”, 1995, *Cambridge University Press*, UK, 20-34.
- [16] İnternet: Milli Eğitim Bakanlığı, 2011, Elektriksel Büyüklükler ve Ölçülmesi, [http://megep.meb.gov.tr/mte\\_program\\_modul/modul\\_pdf/522EE0018.pdf](http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/modul_pdf/522EE0018.pdf)
- [17] GIBILISCO, S., “Teach Yourself Electricity and Electronics 3<sup>rd</sup> ed.”, 2002, *McGraw-Hill*, New York, 3-114.



- [18] HEANEY, M. B., 2004, "Electrical Conductivity and Resistivity", Electrical Measurement, Signal Processing and Displays, *CRC Press LLC*, New York, 7-1,7-14.
- [19] VALDEST, L. B., 1954, "Resistivity Measurement On Germanium For Transistors", *Proceedings of the IRE*, 420-427.
- [20] ÖZDEMİR, R., 2010, "Elektrodepolama Yöntemi İle Elde Edilen ZnFe İnce Filmlerinin Elektriksel Özdirenç Özelliklerinin Sezgisel Yöntemler Yardımıyla İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Kilis 7 Aralık Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, KİLİS, 15-19.
- [21] VAN DER PAUW, L. J., 1958, "A Method of Measuring Specific Resistivity and Hall Effect of Discs of Arbitrary Shapes," *Philips Res. Repts.*, Netherlands, **13**, 1-9.
- [22] İnternet: San Jose State University,2012, Thin Film Surface Resistivity, <http://www.sjsu.edu/faculty/selvaduray/page/papers/mate210/thinfilm.pdf>
- [23] ASM International, "Hand Book Of Thermal Spray Technology", 2004, Davis, J. R.,Davis & associates, *ASM International*, USA, 3-272.
- [24] İnternet: Motosiklet Forum, 2012, Elektrolitik Kaplama, <http://www.motosiklet.net/forum/mt-kendin-yap-%5Bdiy-do-it-yourself%5D/71675-krom-kaplama-nasil-yapilir.html>
- [25] İnternet: Özyaşar Şirketi, 2012, Galvanizleme, [http://www.ozyasar.com.tr/sicak\\_daldirma\\_galvanizleme.html](http://www.ozyasar.com.tr/sicak_daldirma_galvanizleme.html)
- [26] AKÇİN, Y.,2011, "Kompozit Malzemelerin Kaplanabilirliğinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Uşak Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, UŞAK, 4,15.
- [27] İnternet: Afyon Kocatepe Üniversitesi, 2006, Kaplama Teknikleri Ders Notları, <http://www.kimmuh.com/evcin/coating/coating9.pdf>
- [28] ÜSTEL, F., 1995, "Plazma Sprey Kaplama Teknolojisi", Yüksek Lisans Tezi, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, İSTANBUL, 2-45.
- [29] İnternet: Dynamic Ceramic, 2012, Coatings, <http://www.dynacer.com/index.htm>
- [30] TARAFLI, M., 2006, "Isıl Püskürtme Yöntemleri", *Yüzey İşlem ve Kumlama Dergisi*, 38-41.

- [31] CEYLAN, İ., 2006, “Toz Püskürtme Yöntemi İle Boru İç Yüzey Kaplamasının İncelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, SAKARYA, 1-62.
- [32] GÜLEÇ, A., 2006, “Termal Püskürtme Tekniği İle Yüksek Performanslı Zn/Al (85/15) Kaplamaların Üretimi Ve Karakterizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, SAKARYA, 29-37.
- [33] İnternet: Ellison Surface Technology, 2012, Thermal Spray Process, [www.ellisonsurfacetech.com/index.html](http://www.ellisonsurfacetech.com/index.html)
- [34] CERİT, A. M., 1996, “Metal püskürtme, Makina Mühendisliği El Kitabı Üretim ve Tasarım, Cilt 2, *TMMOB*, ANKARA, 208-211.
- [35] İnternet: Dere Metalurji ve Mühendislik Hizmetleri, 2012, Ark Sprey, <http://www.deremetalurji.com/bro%20C5%9F%20C3%BCr.ppt>
- [36] PAWLOWSKI, L., 2008, “The Science and Engineering of Thermal Spray Coatings 2<sup>nd</sup> ed.”, *John Wiley & Sons*, ENGLAND, 1-230.
- [37] İnternet: Surface Engineering Forum, 2012, Thermal Spray Process, <http://www.gordonengland.co.uk/sef/>
- [38] ÇÖĞÜR, T., 2007, “Toz Alev Spreyleme Yöntemi Kullanılarak Kaplanan Farklı Malzemelerin Aşınma Davranışlarının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, KÜTAHYA, 3-38.
- [39] BACH, F.W., MÖHWALD, K., LAARMANN, A., WENZ, T., “Modern Surface Technology”, 2006, *WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA*, Weinheim, Germany, 135-143.
- [40] AYDINLI, N., 2008, “Plazma Sprey Kaplamada Olivinin Değerlendirilmesi ve Kaplama Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, SAKARYA, 30-46.
- [41] SAĞLAM, İ., 2008, “Cu-Cr-Zr Alaşımında Yaşlandırma Isıl İşleminin, Elektrik İletkenliği ve Aşınma Davranışları Üzerine Etkisinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, KARABÜK, V,71.
- [42] SOYLU, M., 2006, “Atmalı Katodik Vakum Ark Depolama Sistemiyle Üretilen Zn'nun Elektriksel İletkenliği ve Isıl İşleme Değişimi”, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, ADANA, II,110.
- [43] ULUTAŞ, K., 1999, “Optik Geçirgenliğin ve Elektrik İletkenliğinin Kalınlığa Bağlılığı”, Doktora Tezi, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İSTANBUL, V,

[44] MUSA, M.Z., SARAH, M.S.P., SHARİFFUDİN, S.S., MAMAT, M.H., RUSOP, M., 2010, “A Study on Ohmic Contact of Different Metal Contact Materials on Nanostructured Titanium Dioxide (TiO<sub>2</sub>) Thin Film”, *ICEDSA*, 412-414.

[45] SARAH, M.S.P., MUSA, M.Z., ASİAH, M.N., RUSOP, M., 2010, “Electrical Conductivity Characteristics of TiO<sub>2</sub> Thin Film”, *ICEDSA*, 361-364.

[46] KAHRAMAN, N., 2000, “Toz Alev spreyleme yöntemi ile kaplanan numunelerde kaplama parametrelerinin etkisinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi FenBilimleri Enstitüsü*, Ankara.

[47] KAHRAMAN, N., GÜLENC, B., KAÇAR, R., 2000, “Alev spreyleme yöntemiyle kaplanan malzemelerdeki kaplama kalınlığının sertliğe etkisinin araştırılması”, 8. *Denizli Malzeme Sempozyumu*, Denizli, 245-255.

[48] KAHRAMAN, N., GÜLENC, 2002, “Alev spreyleme yöntemiyle kaplanan malzemelerde kaplama tabakası ve ara yüzeyinin incelenmesi”, *ODTÜ Makine Tasarım ve İmalat Dergisi*, ANKARA, 146-154.

[49] KİPER, G., 2003, “Alüminyum üzerinde ısıl püskürtme yöntemiyle oluşturulan çelik kaplamaların aşınma davranışlarının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, İSTANBUL.

[50] KURT, C., 2001, “Toz püskürtme yöntemiyle bronz kaplanmış çelik malzemelerde kaplama ara yüzeylerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, ANKARA.

[51] İnternet: Azom malzeme sitesi, 2012, 6082 Alüminyum malzeme özellikleri, <http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=2813>

[52] İnternet: Accuratus, 2012, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kullanım alanları, <http://accuratus.com/alumox.html>

[53] İnternet: AKU TUAM, 2012, SEM özellikleri, <http://www.aku.edu.tr/web/Sayfa.aspx?ID=57JQM25NDAU119832AQ101>

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı: YEŞİL Önder  
Uyruğu: T.C  
Doğum Tarihi ve Yeri: 15.01.1983 Kocaeli  
Medeni Hali: Evli  
Telefon: 0 506 217 71 92  
e-mail: onder.yesil@usak.edu.tr  
Yabancı Dili: İngilizce

### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Uşak Üniversitesi Mühendislik Fakültesi	2012
Lisans	Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi	2006
Lise	Kocaeli Anadolu Meslek Lisesi	2001

### İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2010	Uşak Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2008	Gurbetçiler Plastik A.Ş.	Kalıphane Mühendisi
2008	Maktes A.Ş.	Makine Mühendisi

### Yabancı Dil

İngilizce

### Yayınlar

BALCIOĞLU, H.E., YEŞİL, Ö., AKTAŞ, M., 2012 , “Ceviz Kabuğu Takviyeli Polyester Reçinenin Aşınma Dirençlerinin Belirlenmesi”, *1. Ulusal Geri Kazanım Kongre ve Sergisi, UŞAK*

### Hobiler

Bilgisayar teknolojileri, bağlama, yüzmek